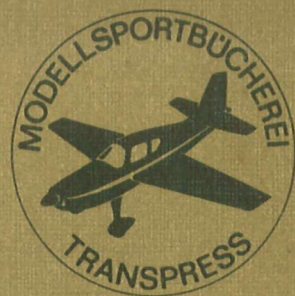
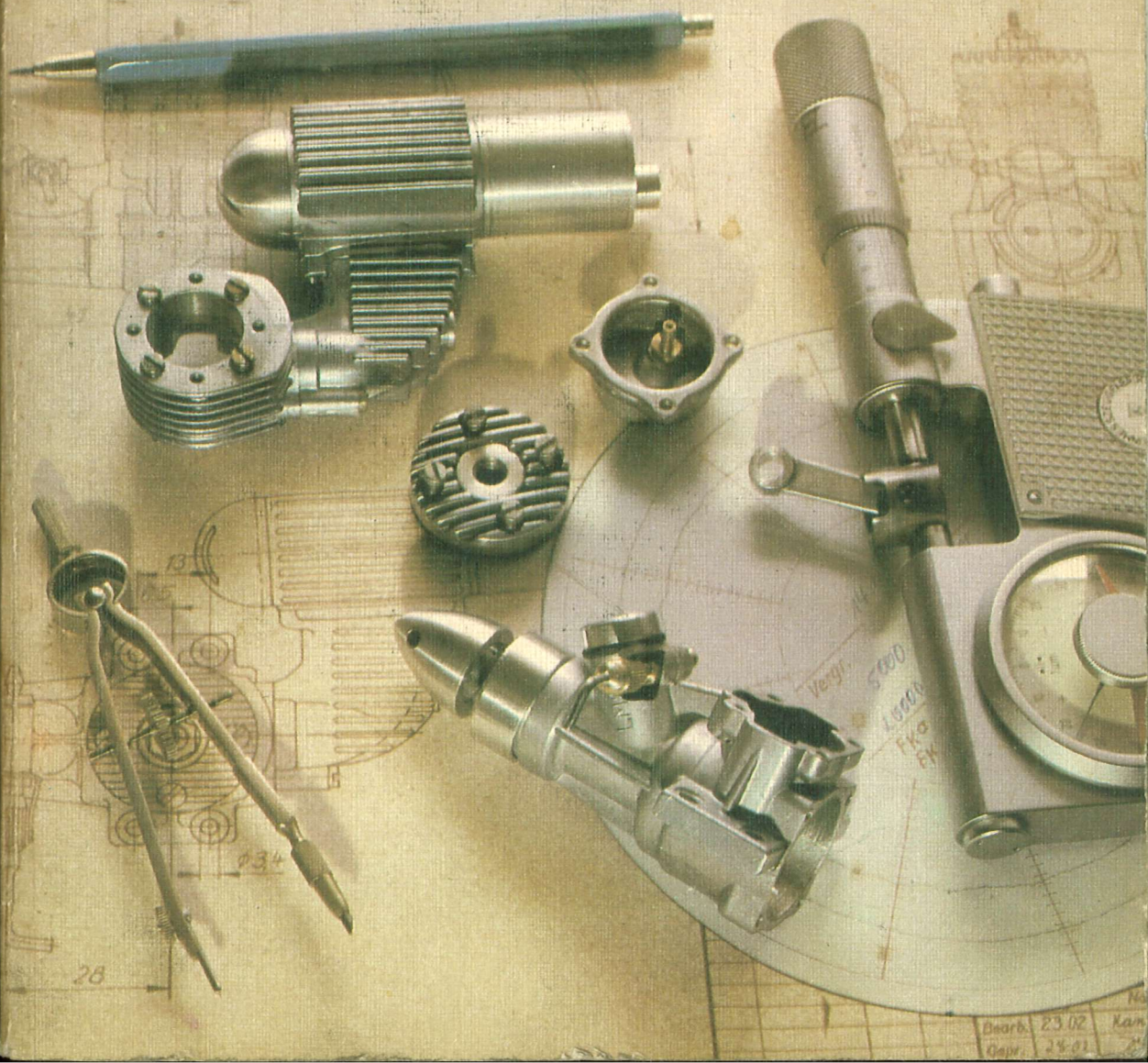


Bernhard Krause



Modell- motorentechnik



Bernhard Krause

Modellmotoren- technik



transpress

VEB Verlag für Verkehrswesen
Berlin 1986

Inhalt

Vorwort	5			
----------------	----------	--	--	--

1. Grundlagen	6	1.1.	Energieumwandlung	5
		1.2.	Kräftespiel an der Kolbenmaschine	15

2. Kolbenmaschinen für Modellantriebe	21	2.1.	Die geschichtliche Entwicklung der Modellmotoren	21
		2.2.	Der Zweitakt-Modellmotor	25
		2.3.	Der Kreiskolbenmotor System Wankel	36
		2.4.	Der Viertakt-Modellmotor	38
		2.5.	Der Druckgas-Modellmotor	45

3. Konstruktive Auslegung des Zweitakt-Modellmotors	50	3.1.	Die Motorgröße	50
		3.2.	Der Kurbeltrieb	51
		3.3.	Spülverfahren	55
		3.4.	Einlaßsteuerungen	63
		3.5.	Steuerzeiten	67
		3.6.	Bemessung einiger Bauteile für den Selbstbau	68

4. Leistungsmessung	85	4.1.	Ziele der Leistungsmessung	85
		4.2.	Methoden der Leistungsmessung an Modellmotoren	86
		4.3.	Auswertung der Messungen	95
		4.4.	Leistungscharakteristiken	97

5. Motorreparaturen	99	5.1.	Herstellerservice oder Eigenreparatur	99
		5.2.	Auswahl des Reparaturmaterials	99
		5.3.	Beseitigung von Verschleißerscheinungen	100
		5.4.	Neuanfertigung von Bauteilen	104
		5.5.	Reparatur von Bauteilen	110

6. Tuning	114	6.1.	Die Wege zur Leistungssteigerung	114
		6.2.	Praktische Tuningbeispiele und Umbauten	140

		6.3.	Besonderheiten beim Tuning von Kreiskolbenmotoren	145
		6.4.	Besonderheiten beim Tuning von Viertakt-Modellmotoren	146
7.	Rückstoßantriebe für Modelle	149		
		7.1.	Gasturbinen	149
		7.2.	Pulsotriebwerke	150
		7.3.	Impellerantriebe	152
8.	Einsatz der Modellmotoren	154		
		8.1.	Motor – Luftschaube	154
		8.2.	Motor – Schiffsschraube	155
		8.3.	Motor – Rad	156
9.	Kraftstoffe	158		
		9.1.	Benzinmotoren	158
		9.2.	Selbstzündmotoren	158
		9.3.	Glühzündmotoren	159
		9.4.	Strahltriebwerke	160
10.	Motorenzubehör	161		
		10.1.	Vergaser	161
		10.2.	Luftfilter	167
		10.3.	Abgasschalldämpfer	168
		10.4.	Leistungssteigernde Abgasschalldämpfung	171
		10.5.	Kraftstoffpumpen	176
		10.6.	Getriebe	177
		10.7.	Schwungscheiben, Kupplungen	180
		10.8.	Anlasser	182
		10.9.	Tankeinrichtungen	186
		10.10.	Tankanlagen	187
		10.11.	Kraftstoffschalter und Ventile	191
		10.12.	Spezial-Luftschauben	193
		10.13.	Spezial-Unterwasserantriebe	195
		10.14.	Kühlgebläse	197
11.	Der neue Modellmotor	198		
		11.1.	Der Einlaufstand	198
		11.2.	Das Anwerfen	200
		11.3.	Das Einlaufen	201
		11.4.	Wartung und Pflege	202
12.	Literaturverzeichnis	204		
13.	Sachwortverzeichnis	205		

Vorwort

Das Buch „Modellmotoren“ der transpress-Modellsportreihe war für den Anfänger und den fortgeschrittenen Anwender von Modellmotoren konzipiert. Das nun vorliegende Buch soll zusätzlich alles das den Lesern bieten, was in „Modellmotoren“ unerwähnt bleiben mußte. Zum besseren Verständnis der Zusammenhänge wird etwas Theorie in leicht verständlicher Form geboten, um so das Hauptanliegen der transpress-Modellsportreihe, allen Modellsportlern die nötigen Grundkenntnisse zu vermitteln, zu wahren. Besonders für die jungen Modellsportler sind die teilweise aus dem Buch „Modellmotoren“ übernommenen Kapitel und Abschnitte 2, 3.1 bis 3.4., 8, 9 und 11 gedacht.

Viele Leserbriefe zeigten, daß gerade die Problematik der Motorenreparatur von großem Interesse ist. Daher wurde dieser Problembereich umfassender behandelt, wobei natürlich nicht auf alle gebräuchlichen Technologien eingegangen werden konnte. Da die Modellmotorentechnik nach langer Stagna-

tion zur Zeit einer sehr schnellen Weiterentwicklung unterliegt, wird es nicht möglich sein, den jeweils letzten Entwicklungsstand zu zeigen. Das gleiche gilt auch für das Spezialzubehör der einzelnen Modellklassen. Es wird jedoch versucht, den Trend der Entwicklung darzulegen. Nicht zuletzt soll auch der „Edelbastler“ auf seine Kosten kommen, in dem ihm die Grundlagen und Erfahrungswerte in leicht verständlicher Form geboten werden, die ihm ermöglichen, sich Motoren selbst zu bauen bzw. vorhandene Motoren sinnvoll umzubauen.

Autor und Verlag möchten Herrn Prof. Dr. Ing. Peter Demuth von der Ingenieurhochschule Trier und Herrn Studiendirektor Dipl.-Ing. Eberhard Klimmer von der Ingenieurschule für Maschinenbau Wildau für ihre freundliche Unterstützung bei der Entstehung dieses Buches danken.

Bernhard Krause

1.1.3. Druck-Weg-Diagramm Zweitaktmotor

Wesentlich günstiger erscheint dagegen der wirkliche Kreisprozeß eines Zweitaktmotors (Bild 3), da die Verlustarbeit wesentlich geringer ist als beim Viertaktmotor und außerdem dieser Kreisprozeß bei jeder Kurbelwellenumdrehung abläuft. In der Tat ist

auch ein Zweitaktmotor bei gleicher Leistung leichter und kleiner als ein Viertaktmotor und gibt seine Leistung – vorausgesetzt gleicher Hubraum – bei einer niedrigen Drehzahl ab.

Aus diesem Grund ist der Zweitaktmotor für den Einsatz in Modellen nahezu ideal. Außerdem ist er auf Grund seiner geringen Zahl an Bauteilen viel leichter in miniaturisierter Form herzustellen als der Viertaktmotor. Allerdings ist durch die Spül- und Auslaßschlitze der wirksame Hubraum etwa 35 % kleiner als der geometrische Hubraum.

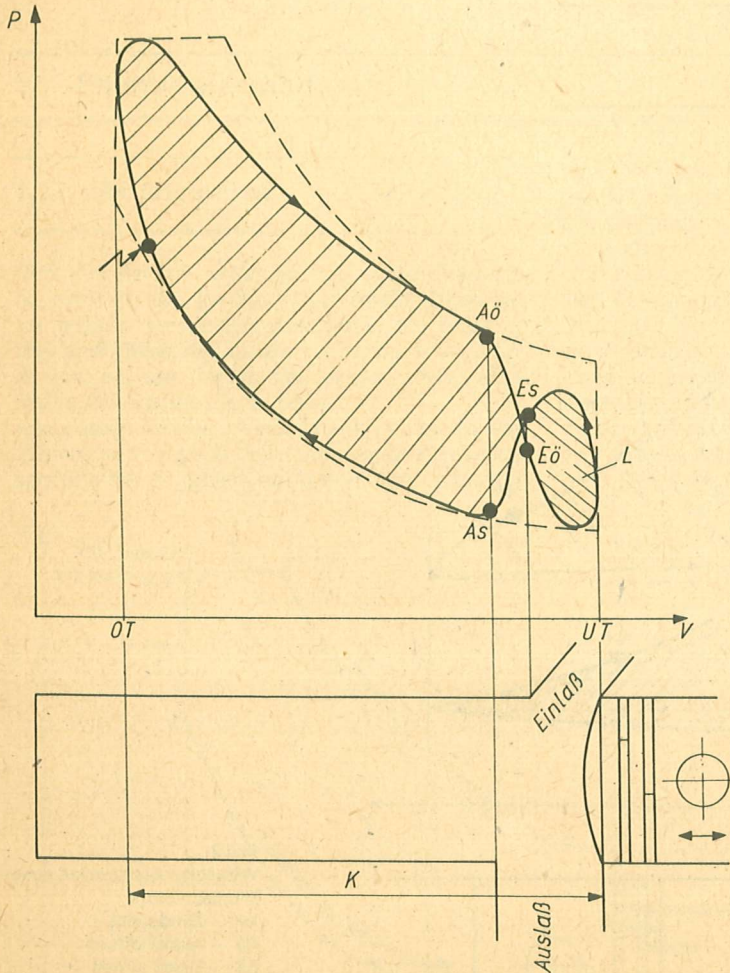


Bild 3
Wirklicher Kreisprozeß eines
Zweitaktmotors

1.1.4. Heizwert, Luftbedarf Kraftstoffverbrauch

Da unsere Motoren Verbrennungsmotoren sind, ist es naheliegend, daß die Qualität der Verbrennung und die Eigenschaften der Kraftstoffe entscheiden den Anteil am Laufverhalten, an der Leistung und dem Wirkungsgrad unserer Motoren haben.

Bild 4 Verbrennungstechnische Eigenschaften der gebräuchlichen Modellmotorenkraftstoffe

Kraftstoffart Selbst- entzündungs- temperatur °C	Chem. Formel	mittl. Heizwert kJ/kg	Luftbedarf kg/Luft kg Kraftstoff	m ³ Luft	Dichte kg/L	Siede- punkt °C
Diäthyläther (Äther) 188	$C_2H_5 \cdot O \cdot C_2H_5$	11 100*	7,7	9,63	0,719	34,6
Methanol 475	$CH_3 \cdot OH$	19 000	6,52	8,15	0,792	64,7
Äthanol/Spiritus 400	$C_2H_5 \cdot OH$	26 800	9,07	11,34	0,789	78,4
Benzin (Leichtbenzin) 230–260	Kohlenwasser- stoffgemisch	43 600	16,5	20,62	0,75	70–100
Vergaserkraftstoff (VK 94) 230–260		43 600	14,72	1,84	0,8	70–205
Benzol 580	C_6H_6	40 200	13,38	16,72	0,879	80,1
Petroleum > 300	Kohlenwasser- stoffgemisch	42 700	16,8	21,0	0,81–0,84	110–325
Dieselmotorkraftstoff > 300		42 700	13,5	16,9	0,84	110–325
Amylnitrit —**	$(CH_3)_2 \cdot CH \cdot (CH_2)_2$ ONO $C_5H_{11} \cdot NO_2$	—**	—**	—	0,88	98,5
Amylnitrat —**	$(CH_3)_2 \cdot CH \cdot CH_2$ ONO $C_5H_{11} \cdot NO_3$	—**	—**	—	0,996	147,5
Nitromethan —**	$CH_3 \cdot NO_2$	12 100	1,8*	2,25	1,138	101,2
Nitroäthan —**	$CH_3 \cdot CH_2 \cdot NO_2$	17 500*	4,2*	5,25	1,052	114,8
Nitropropan —**	$(CH_3)_2 \cdot CH_2 \cdot NO_2$	22 000*	5,8*	7,25	1,003	120,3
Nitrobenzol —**	$C_6H_5 \cdot NO_2$	24 200*	11,1*	13,9	1,203	210,3

* nach Dr. Demuth

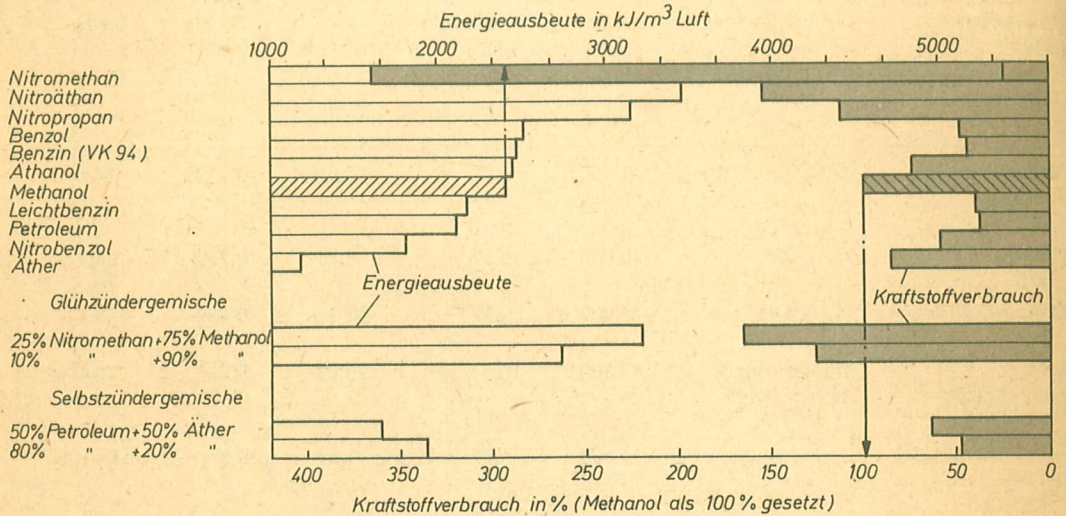
** keine Werte erhältlich

Betrachten wir als erstes die Eigenschaften unserer Kraftstoffe.

Sie sind im wesentlichen charakterisiert mit den Eigenschaften: Heizwert, Siedepunkt, Flammpunkt und Luftbedarf.

Siedepunkt und Flammpunkt sagen uns, wie aus den Beziehungen zu ersehen ist, die Temperatur bei der das betreffende Kohlenwasserstoff siedet bzw. sich selbst entzündet. Der Heizwert gibt an, wieviel Wärmeenergie in einer bestimmten Menge dieses

Stoffes gespeichert ist und der Luftbedarf gibt die Luftmenge an, die benötigt wird, um eine bestimmte Menge dieses Stoffes restlos zu verbrennen. Im Bild 4 sind die Eigenschaften der gebräuchlichen Kraftstoffe für Modellmotoren zusammengetragen. Anhand dieser Werte ist es uns jetzt möglich, die Kraftstoffmenge zu errechnen, die bei der Zylinderfüllung verbraucht werden kann. Gleichzeitig kennen wir damit die freiwerdende Wärmeenergie.



Gemische ohne Ölanteil

Bild 5 Energieausbeute und theoretischer Kraftstoffverbrauch im Verhältnis zum „Normalkraftstoff“

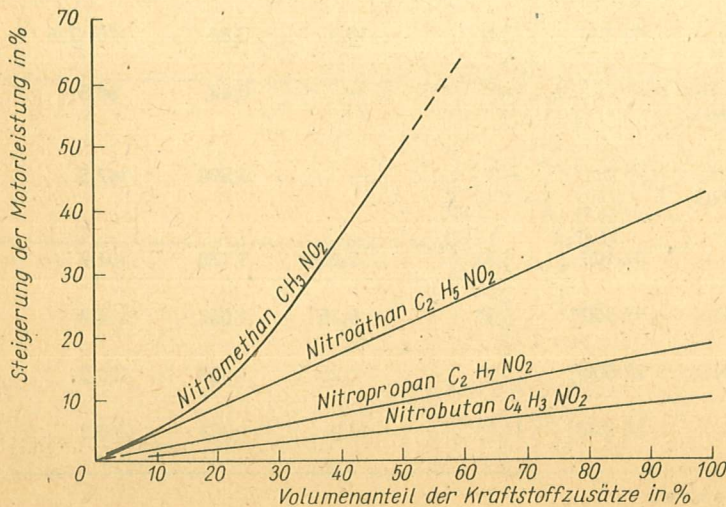


Bild 6 Leistungssteigerung bei Zusatz der verschiedenen Doopmittel (nach Prof. Demuth)

Dieser Wert, der in kJ/m^3 angesaugter Luft angegeben wird, heißt Energieausbeute und ist im Bild 5 zu ersehen.

Auf Grund des unterschiedlichen Luftbedarfs ergibt sich natürlich auch ein unterschiedlich hoher Kraftstoffverbrauch, der bei der Modellkonstruktion berücksichtigt werden muß. Der zu erwartende Kraftstoffverbrauch im Verhältnis zum „Normkraftstoff“ aus Methanol und Öl gibt ebenfalls Bild 5 an. Da nur selten Kraftstoffzusätze in Reinform verwendet werden, ist für den Modell-Praktiker die zu erwartende Leistungssteigerung bei Zumischung von Doopmitteln interessant. Darüber gibt Bild 6 Auskunft. Die bisherigen Betrachtungen zu diesem Thema bezogen sich in der Hauptsache auf den Glühzündermotor, deshalb noch einiges zum Selbstzünder.

Mit den Bestandteilen Öl, Petroleum und Äther sowie den üblichen Zündbeschleunigern Amylnitrat, Amylnitrit oder Zyklohexanolnitrit besteht kaum eine Möglichkeit, große Leistungssteigerungen über den Kraftstoff zu erzielen.

Das Selbstzünderverfahren bietet uns aber – wie kein anderes – die Möglichkeit, einen supersparsamen Motor zu verwirklichen, in dem in Abweichung der üblichen Gemische aus 20 bis 25 % Öl, 25 bis 50 % Petroleum und 25 bis 50 % Äther, der Petroleumanteil durch Senkung des Öl- und des Ätheranteils drastisch erhöht werden kann. So ist z. B. ein moderner Selbstzündermotor durchaus in der Lage, mit nur 5 bis 8 % Rizinusöl zur Schmierung auszukommen und 18 bis 20 % Äther genügen völlig, um die Zündwilligkeit des Gemisches zu erhalten. Dadurch erhält man einen Petroleumanteil von 72 bis 77 % abzüglich der 1 bis 3 % Zündbeschleuniger, was wiederum gemäß Bild 5 eine relativ hohe Energieausbeute und einen konkurrenzlos niedrigen Kraftstoffverbrauch gibt.

1.1.5. Wirkungsgrad, Literleistung

Wie gut ein Motor den ihm zugeführten Kraftstoff in Motorleistung umsetzt, wird mit dem Wirkungsgrad ausgedrückt. Er gibt an, wieviel Prozent der zugeführten Wärmeenergie in mechanische Leistung umgesetzt und wieviel als Abwärme oder Reibungswärme verloren geht. Im Bild 7 ist die Aufteilung der einzelnen Verluste an einem Zweitakt-Modellmotor aufgezeigt.

Errechnen wir als Beispiel einmal den Wirkungsgrad, die zur Innenkühlung benutzte Kraftstoffmenge und die spezifische Leistung eines 10cm^3 -Modellmotors in einem FSR-Rennboot unter

Vernachlässigung des Liefergrades und idealisierter Verbrennung.

Gegeben:

Hubraum $9,95\text{ cm}^3$
 Leistung: $1,8\text{ kW}$
 bei Drehzahl $20\,000\text{ 1/min}$
 Kraftstoff: 84% Methanol
 16% Rizinusöl
 Kraftstoffverbrauch: $2,8\text{ l/h}$
 Heizwert von Methanol: $19\,000\text{ kJ/kg}$
 Dichte von Methanol: 792 kg/m^3
 Luftbedarf zur Verbrennung des Methanols = $8,15\text{ m}^3/\text{kg}$

Gesucht:

1. zugeführte Energie
2. abgegebene Energie
3. Wirkungsgrad
4. Luftverbrauch des Motors
5. maximal zu verbrennende Kraftstoffmenge
6. Anteil des Kraftstoffes, der zur Innenkühlung dient
7. Literleistung

1. zugeführte Energie

$$A = 2,8\text{ l} \times 0,84 \times 19\,000\text{ kJ/kg} \times 0,792\text{ kg/l}$$

$$= 35\,390\text{ kJ} \text{ beträgt die durch den Kraftstoff zugeführte Energie}$$

2. abgegebene Energie

$$1,8\text{ kW} \text{ werden abgegeben, } 1\text{ kW} = 3600\text{ kJ/h}$$

$$A = 1,8\text{ kW} \times 3600\text{ kJ/h}$$

$$= 6\,480\text{ kJ} \text{ werden an Energie abgegeben}$$

3. Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{\text{abgegebene Energie}}{\text{zugeführte Energie}}$$

$$= \frac{6\,480\text{ kJ}}{35\,390\text{ kJ}} = 0,183$$

Der Wirkungsgrad beträgt $18,3\%$.

4. Luftverbrauch des Motors

$$v = 9,95\text{ cm}^3$$

$$n = 20\,000\text{ 1/min}$$

$$Q = 9,95\text{ cm}^3 \times 20\,000\text{ 1/min} \times 60\text{ min/h}$$

$$Q = 11\,940\,000\text{ cm}^3/\text{h}$$

$$= 11\,940\text{ dm}^3/\text{h}$$

$$= 11,94\text{ m}^3/\text{h}$$

5. maximal zu verbrennende Kraftstoffmenge

$$V_{\text{methanol}} = 8,15\text{ m}^3/\text{kg}$$

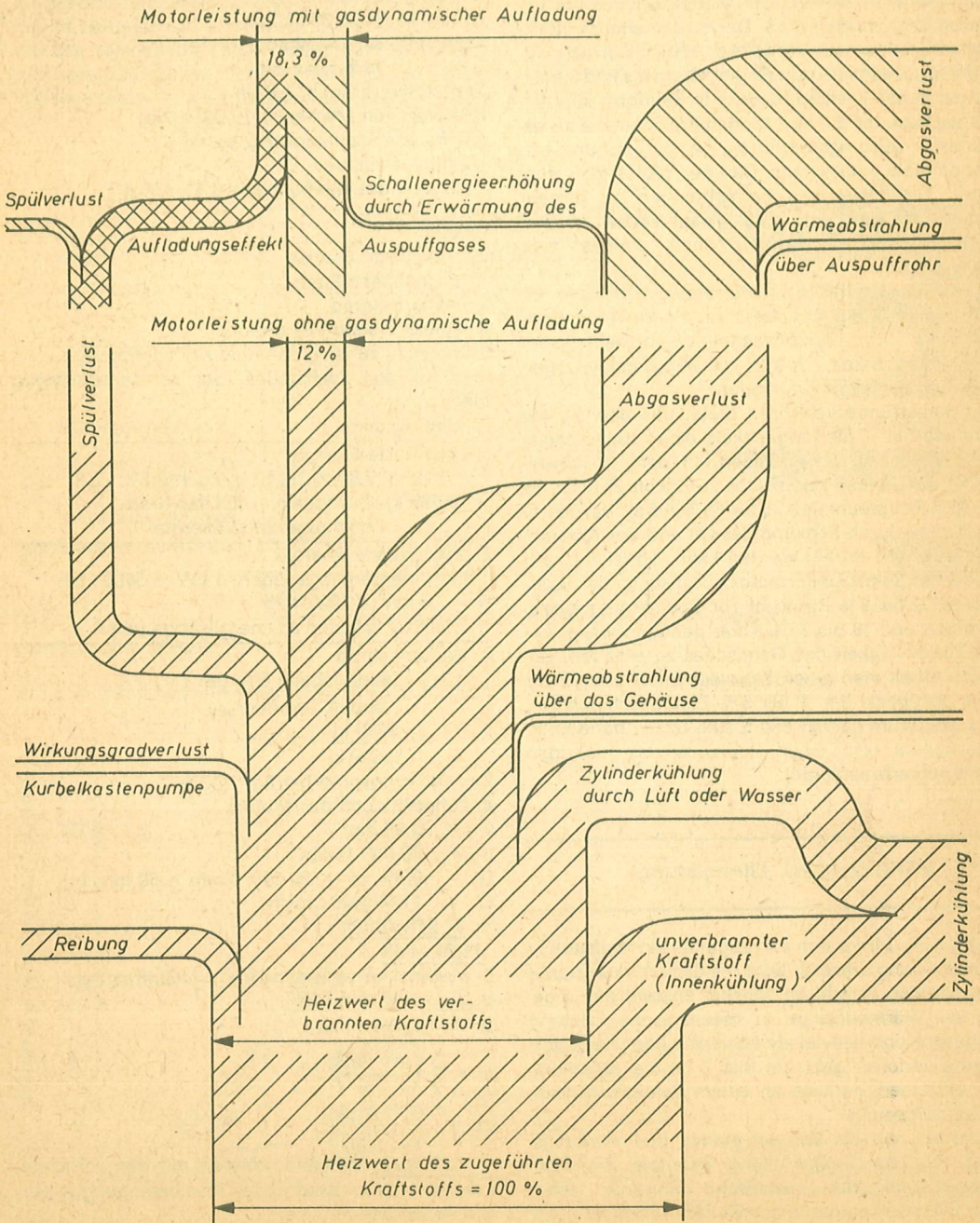
$$Q = 11,94\text{ m}^3/\text{h}$$

$$m = \frac{Q}{V} \left(\frac{\text{m}^3 \cdot \text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^3} \right)$$

$$m = \frac{Q}{V} = \frac{11,94}{8,15}$$

= $1,46\text{ kg/h}$ Methanol können mit der vorhandenen Verbrennungsluft unter Idealbedingungen verbrannt werden.

Bild 7 Wärmeflußbild eines Zweitaktmotors. In ihm wird dargestellt, wie sich die Verluste des Motors aufteilen und wodurch die Leistungssteigerung bei Benutzung eines Resonanzschalldämpfers möglich ist.



6. Anteil des Kraftstoffes, der zur Innenkühlung dient

Zugeführt wurden

$2,8 \text{ l} \times 0,84 \times 0,792 \text{ kg/l} = 1,86 \text{ kg Methanol}$
 verbrannt wurden $1,46 \text{ kg Methanol}$

Differenz = $0,40 \text{ kg Methanol}$

$0,40 \text{ kg}$ werden nicht verbraucht und daher zur Innenkühlung herangezogen

Der Anteil des zur Innenkühlung herangezogenen Kraftstoffes beträgt damit $21,5 \%$.

7. Literleistung

$V = 9,95 \text{ cm}^3$

$P = 1,8 \text{ kW}$

Die Literleistung wird angegeben mit $\text{kW je } 1 \text{ dm}^3$ Hubraum

$$\frac{P}{V} = \frac{P \cdot 1000}{V}$$

$$= \frac{1,8 \text{ kW} \cdot 1000}{9,950 \text{ cm}^3}$$

$$= 181 \text{ kW/dm}^3$$

Damit ein Motor eine hohe Literleistung erreicht, muß natürlich der Gesamtwirkungsgrad gut sein. Um Optimierungsbetrachtungen anstellen zu können, dann der Gesamtwirkungsgrad des Zweitaktmotors auch in folgende Wirkungsgrade zerlegt werden:

1. Mechanischer Wirkungsgrad (entspricht der mech. Verluste im Bild 7)
2. Wirkungsgrad der Spülung (Spülverluste im Bild 7)
3. Wirkungsgrad der Spülpumpe (Teil des Motors unter dem Kolben)
4. Wirkungsgrad der Verbrennung (Anteil des wirklich verbrauchten Kraftstoff-Luftgemisches)

Zu 1.: Besonders bei den hohen Drehzahlen spielt der mechanische Wirkungsgrad eine immer größere Rolle. Bei der Entwicklung von Rennmotoren muß daher besonderes Augenmerk auf die Probleme der Reibungsverminderung gelegt werden. Spezielle Hinweise und Konstruktionsrichtlinien behalten Abschnitt 3. und Abschnitt 6.1.5.

Eine einfache Methode zur Messung der mechanischen Verluste ist das Schleppen. D. h. der Motor wird durch einen Elektromotor auf seine Betriebsdrehzahl gebracht, und es wird das Rückdrehmoment des Motors gemessen. Zum einfachen Beurteilen und Vergleichen benutzt man einen Elektromotor mit der der Motor auf 16000 1/min gebracht werden kann. Zum Vergleichen reicht es dann, den Winkel zu messen, um den der Motor aus der Waagerechten angehoben wird (Bild 8).

Zu 2.: Die Optimierung der Spülung von Zweitaktmotoren ist eine sehr schwierige Aufgabe, die der einzelne Modellsportler nicht immer lösen kann.

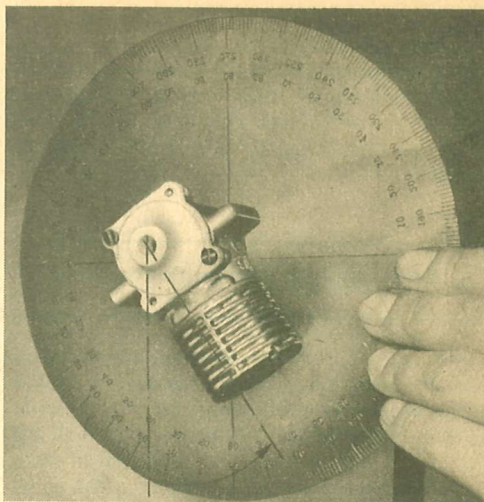


Bild 8 Kontrolle der mechanischen Reibung der Kurbelwellenlagerung eines Modellmotors mit Hilfe einer Dental-Bohrmaschine

Das beweisen die vielen verschiedenen Varianten der Spülung, die z. B. benutzt werden.

Die Gestaltung von Spülsystemen wird in den Abschnitten 3.3. und 3.6.8. behandelt.

Zu 3.: Der Modellsportler kann dagegen den Wirkungsgrad der Spülpumpe beeinflussen. Wir verstehen unter Spülpumpe die Hälfte des Motors unter dem Kolben, die genau wie eine Luftpumpe arbeitet und nur die Spülluft für den Zylinder anzusaugen und zu verdichten hat. Gemäß den Naturgesetzen verschlechtert sich der Wirkungsgrad einer Luftpumpe mit relativen Zunehmen des Verdichtungsraumes. Die ideale Pumpe behält demnach keinen Rest verdichteter Luft nach dem Ausstoßen im Pumpenraum. Betrachten wir unter diesem Gesichtspunkt unsere Modellmotoren, so sehen wir, daß dort noch viel Entwicklungsarbeit auf uns wartet.

Wir müssen also, um den Wirkungsgrad der Spülpumpe zu verbessern, den Raum unter dem Kolben so klein wie möglich gestalten. Durch diese Maßnahme wird jedoch nicht nur der Wirkungsgrad der Spülpumpe verbessert, sondern auch der Spüldruck und damit die Spülgeschwindigkeit erhöht; wodurch der Spülung die Möglichkeit gegeben wird, auch bei höheren Drehzahlen, wo ja für den Spülvorgang ein kleinerer Zeitraum zur Verfügung steht, noch gut zu funktionieren.

Zu 4.: Der Wirkungsgrad der Verbrennung kann nur in geringen Grenzen vom Motorenbenutzer beeinflusst werden, in dem er durch Optimierung der Verdichtung und der Brennraumform, Auswahl ge-

eigneter Glühkerzen bzw. Optimierung des Anteils des Zündbeschleunigers bei Selbstzündermotoren dem Motor die Möglichkeit schafft, in der jeweiligen Betriebsdrehzahl sein Kraftstoff-Luftgemisch vollständig zu verbrennen. Zu diesem Problem wird noch in den Abschnitten 6.1.2. und 6.1.12. Stellung genommen.

1.1.6. Verbrennung, Kühlung, Abwärme

Die im Abschnitt 1.1.4. dargestellten Werte für den Luftbedarf sagen aus, wieviel Kraftstoff im Idealfall in einer bestimmten Luftmenge verbrannt werden kann. Fast immer liegt der Kraftstoffverbrauch aber höher, da es nicht gelingt, den Kraftstoff in jedem Fall so ideal mit der Luft zu mischen, so daß er völlig verbrennt. Meist muß, um die gesamte Luft für die Verbrennung zu verwerten, eine höhere Kraftstoffmenge zugemischt werden.

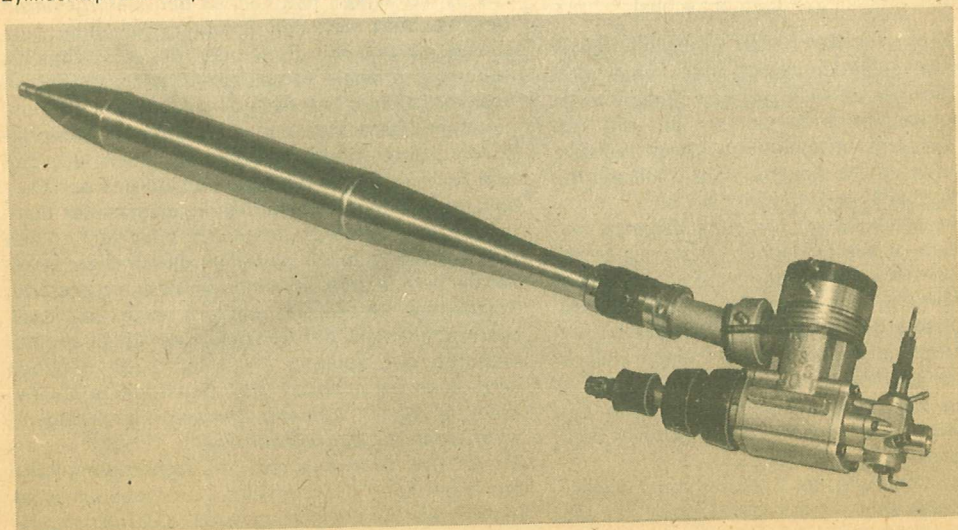
Der überflüssige Brennstoff verdampft während des Verbrennungsvorganges ohne selbst zu verbrennen und entzieht durch die benötigte Verdampfungs-

wärme dem Motor Wärme. Bei dieser Art des Wärmeentzuges spricht man von Innenkühlung. Je geringer der benötigte Anteil an Innenkühlung ist, je geringer ist der Kraftstoffverbrauch und je höher ist demnach der Wirkungsgrad des Motors; vorausgesetzt durch die hohe Temperatur verschlechtert sich nicht sein mechanischer Wirkungsgrad. Eine weitere Innenkühlung des Motors entsteht durch den Ölanteil im Kraftstoff, der nicht an der Verbrennung teilnimmt, sich aber stark erwärmt (etwa 230°–250 °C) und dann den Motor verläßt.

Die Kühlung des Motors von außen soll nun so erfolgen, daß der Zylinder nicht überhitzen kann, aber was noch wichtiger ist, nicht zu kalt läuft und das Kurbelgehäuse so kalt wie möglich bleibt. Ein am Zylinder unterkühlter Motor bringt nicht seine volle Leistung, verbraucht viel Kraftstoff und hat eine kürzere Lebensdauer (siehe dazu Bilder 192, 193).

An Rennbootmotoren werden deshalb immer häufiger getrennte Kühlwasseranschlüsse für Zylinder, Zylinderkopf und Auspuffflansch verwendet. Dadurch ist es möglich, die benötigten unterschiedlichen Temperaturen für diese Bauteile einzuregulieren (Bild 9).

Bild 9 Am Rennbootmotor Rossi 90 für die FSR-15 Rennklasse wurde durch getrennte Kühlwasseranschlüsse für Zylinder, Zylinderkopf und Auspuffflansch die Möglichkeit der Kühloptimierung gegeben.



1.2. Kräftespiel an der Kolbenmaschine

1.2.1. Gaskräfte

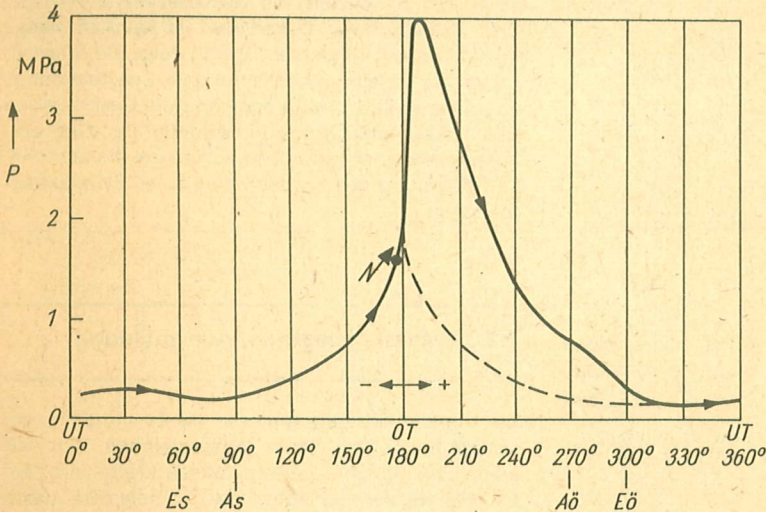


Bild 10
„aufgeklappter“ Kreisprozeß
eines Zweitaktmotors zur
Ermittlung der auf den Kolben
wirkenden Gaskräfte

Die auf die Bauteile eines Verbrennungsmotors wirkenden Kräfte aus dem Ladungswechsel und Verbrennungsvorgang werden Gaskräfte genannt. Prinzipiell sind die Gaskräfte, die von oben (vom Verbrennungsraum aus) auf den Kolben eines Zweitaktmotors wirken, schon im Bild 3 dargestellt.

Klappt man dieses Kreisprozeß-Diagramm auf, so erhält man das im Bild 10 dargestellte Diagramm. Die auf Grund der Pumpenarbeit des Kolbens im Kurbelgehäuse wirkenden Drücke sind genauso wie die Addition beider Drücke ebenfalls im Bild 10 dargestellt. Diese Addition beider Kurven ergeben unsere auf den Kolben wirkenden Gaskräfte. Da in der Kurve lediglich Drücke angegeben sind, ist es erforderlich, unter Verwendung der Kolbenbodenfläche die Kräfte zu ermitteln, und dabei die Richtung der Kräfte in bezug auf die Richtung der Kolbenbewegung zu berücksichtigen.

Beispiel:

Höchstdruck lt. Diagramm 4,0 MPa

Motor 10 cm³, Kolbendurchmesser 24 mm, Kolbenfläche

$$A = \frac{d^2 \pi}{4} = 452,4 \text{ mm}^2$$

$$F = A \cdot p$$

$$F = 452,4 \text{ mm}^2 \cdot 4,0 \text{ MPa} = \underline{1809,6 \text{ N}}$$

1.2.2. Massenkräfte

Die Eigenart aller Kolbenmaschinen ist es, daß bei ihnen die oszillierende Bewegung (hin und hergehende Bewegung) des Kolbens in eine Drehbewegung umgewandelt werden muß. Die für diese Umwandlung günstigste Getriebeart ist der Kurbeltrieb, der mit wenigen Ausnahmen in allen Kolbenmaschinen Verwendung findet.

Bei jeder Umdrehung des Kurbeltriebs muß der Kolben zweimal auf die Geschwindigkeit 0 in den Totpunkten abgebremst und wieder auf seine Maximalgeschwindigkeit beschleunigt werden. Die dabei auftretenden Kräfte sind abhängig von der Kolbenmasse und der Kolbenbeschleunigung und müssen vom Kurbeltrieb und Motorfundament aufgenommen werden.

Daher ist es verständlich, daß die Belastung eines Kurbeltriebes nur durch Verringerung der Kolben und Pleuelmasse zu verringern ist, wenn die Drehzahl beibehalten werden soll. Andererseits kann nur durch Verringerung der Kolben und Pleuelmasse die Drehzahl erhöht werden, ohne den Kurbeltrieb zu überlasten. Dieser Weg ist der, den der Modell-

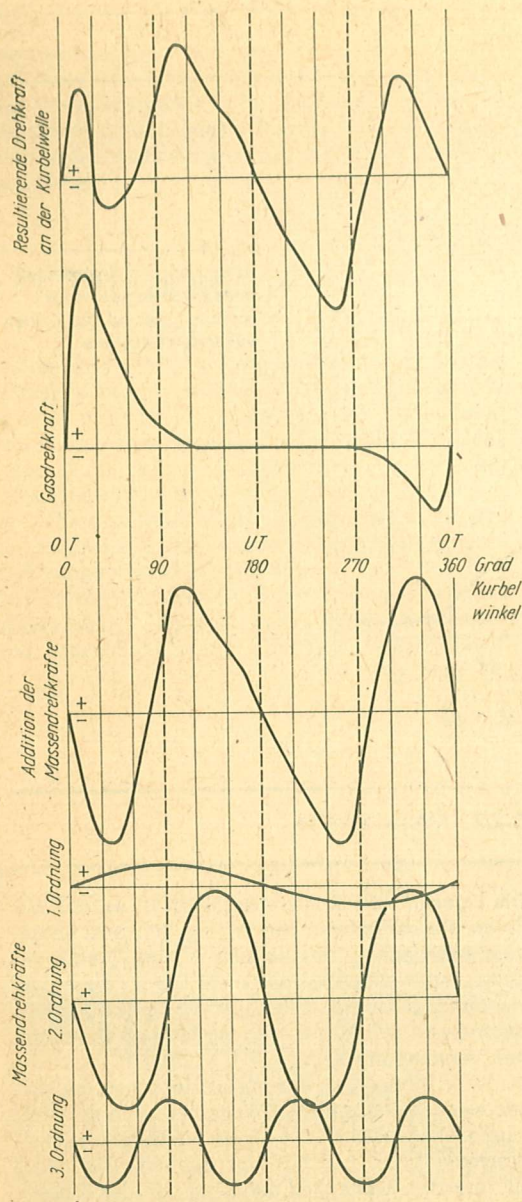


Bild 11

Die Addition der Massenkräfte 1., 2. und 3. Ordnung mit den Gasdrücken an einem schnelllaufenden Zweitaktmotor. Deutlich ist der große Einfluß der Massenkräfte sichtbar. Das Diagramm veranschaulicht außerdem die tatsächliche Belastung des Kurbeltriebs in Abhängigkeit vom Drehwinkel und damit die Ungleichförmigkeit der Drehmomentenabgabe des Motors.

sportler bei dem Verbessern seiner Motoren gehen kann. Mehr zu dieser Problematik im Abschnitt 6.1.5.

Außer den eben beschriebenen Massenkräften, die Massenkräfte erster Ordnung genannt werden, treten noch weitere Kräfte auf, die durch Oberschwingungen entstehen und dann 2., 3., 4. usw. Ordnung genannt werden.

Es ist sehr kompliziert, die Massenkräfte am Kurbeltrieb zu berechnen. Daher wird im Rahmen dieses Buches darauf verzichtet. Bild 11 zeigt die Massenkräfte an einem schnelllaufenden Zweitaktmotor. Ebenfalls im Bild 11 sind nochmals die Gaskräfte aus Bild 10 dargestellt sowie die Addition der Gas- und Massenkräfte, so daß diese Kurve uns die tatsächliche Belastung des Kurbeltriebes eines Zweitaktmotors zeigt.

1:2.3. Massenausgleich, Auswuchtung

Bei mehrzylindrigen Motoren ist es möglich, die Massenkräfte im Motor auszugleichen, so daß keine bzw. nur sehr geringe Massenkräfte vom Motor frei werden. Je höher die Zylinderzahl, desto weniger schwingt der Motor, vorausgesetzt die Zylinderanordnung ist richtig gewählt. Schwieriger ist es schon, die entstehenden Massenmomente eines Motors um die Kurbelwellenachse auszugleichen, die bei den gebräuchlichen Zweizylinder-Konstruktionen entstehen. Bild 12 veranschaulicht das an der Prinzipskizze eines Zweizylinder-Reihenmotors und eines Zweizylinder-Boxermotors, deren Massenkräfte durch die gegenläufige Bewegung der Kolben ausgeglichen sind.

Am Einzylindermotor kann nur durch aufwendige Massenausgleichsgetriebe z. B. sogenannte Lanchestergetriebe (Bild 13) ein Massenausgleich erreicht werden. Deshalb wird am Einzylindermotor nur ein Teil der oszillierenden Massen durch Gegengewichte an der Kurbelwelle ausgeglichen; man spricht hier von der Auswuchtung von Motoren. Die Auswuchtung wird in % angegeben und zeigt den Anteil an, der von den hin- und hergehenden Massen durch Gegengewichte ausgeglichen wurde, wobei 50 % der Pleuelmasse zu den oszillierenden und 50 % zu den rotierenden Massen gezählt werden.

Die Ermittlung der vorhandenen Auswuchtung an einem Modellmotor ist zwar kompliziert aber, da seine Verbesserung fast immer einen erheblichen Zuwachs an Laufkultur und Motorleistung bringt, sei sie hier an einem Beispiel dargestellt:

Motor: Hubraum 2,5 cm³, Hub 14 mm, Kolbengewicht mit Kolbenbolzen 8 p, Pleuelgewicht 2 p
 Maße der Pleuelwange und die Aufteilung der Gewichte zur Berechnung siehe Bild 14.

Bei der Berechnung muß davon ausgegangen werden, daß die Kräfte immer im Schwerpunkt der Gewichte angreifen und für die Auswuchtung des Drehmoment entscheidend ist, das das jeweilige Gewicht erzeugt.

Bild 15 zeigt das Belastungsschema, das sich ergibt.

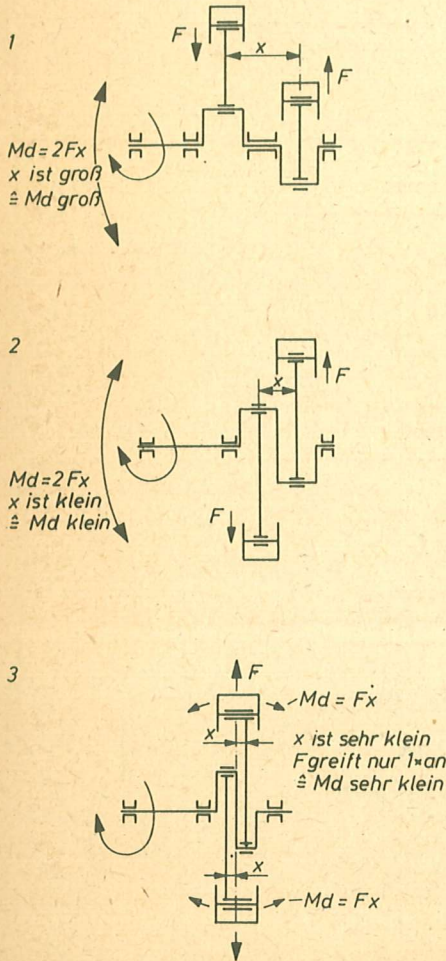


Bild 12 Massenmomente um die Pleuelwellenachse bei Zweizylinder-Reihenmotoren (1) und Zweizylinder-Boxermotoren (2). Bei der Zylinderanordnung nach 3 treten keine Massenmomente um die Pleuelwellenachse auf. Durch den unsymmetrischen Kraftangriff des Pleuels am Pleuel wird dieser jedoch seitlich kippen und sehr schnell verschleifen.

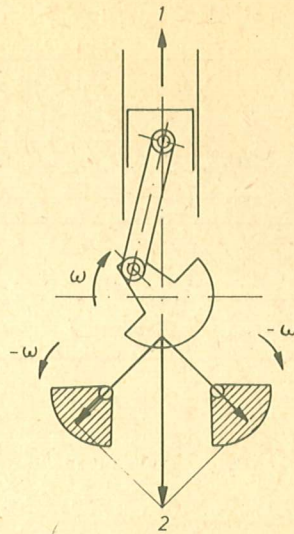


Bild 13 Lanchestergetriebe an einem Zweitaktmotor. Mit ihm ist ein vollständiger Massenausgleich der Massenkräfte 1. Ordnung möglich. Zum Ausgleich der Massenkräfte 2. Ordnung wären zwei weitere Ausgleichswellen nötig, die mit doppelter Pleuelwellendrehzahl laufen.
 1 = Massenkräfte, 2 = ausgleichende Massenkräfte.

Berechnung der Einzelmomente Tabelle S. 18

Größe des Ausgleich-Drehmoments:

$$Md_1 - (Md_2 + Md_3 + Md_4 + Md_5) = Md_{\text{Ausgleich}}$$

$$35,025 - (13,073 + 3,64 + 5,46 + 7)$$

$$= 35,025 - 29,173$$

$$= 5,852 \text{ gmm}$$

5,852 gmm stehen für den Massenausgleich zur Verfügung.

Auszugleichen ist ein Moment von 63 gmm; das ergibt eine Auswuchtung von

$$\frac{5,852}{63} = 0,093 = 9,3\%$$

Diese Auswuchtung ist für hohe Drehzahlen völlig ungenügend. Zur Verbesserung der Auswuchtung werden in die Pleuelwange an den mit x_1 und x_2 auf dem Bild 14 bezeichneten Stellen zwei 5 mm Bohrungen eingebracht und diese Bohrungen werden mit je einem gleichgroßen Wolframkern ausgefüllt. Außerdem wird durch Ausdrehen der Pleuel um 1,5 p erleichtert.

Errechnen wir die sich nun ergebende Auswuchtung:

Wolfram	= 19,3 g/cm ³
Stahl	= 7,9 g/cm ³
Differenz	= 11,4 g/cm ³

Gewichtsberechnung	Y_o	Momentenberechnung
$F_1 = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot b}{8} \cdot \gamma$	$Y_{01} = \frac{4r}{3\pi}$	$Md_1 = F_1 \cdot Y_{01}$
$F_1 = \frac{2,2^2 \cdot \pi \cdot 0,5}{8} \cdot 7,9$	$Y_{01} = \frac{4 \cdot 11}{3\pi}$	$Md_1 = 7,5 \cdot 4,67$
$F_1 = 7,50 \text{ g}$	$Y_{01} = 4,67 \text{ mm}$	$Md_1 = 35,025 \text{ gmm}$
$F_2 = L \cdot h \cdot b \cdot \gamma$	$Y_{02} = \frac{h}{2}$	$Md_2 = F_2 \cdot Y_{02}$
$F_2 = 0,6 \cdot 1,05 \cdot 0,5 \cdot 7,9$	$Y_{02} = 10,5 : 2$	$Md_2 = 2,49 \cdot 5,25$
$F_2 = 2,49 \text{ g}$	$Y_{02} = 5,25 \text{ mm}$	$Md_2 = 13,073 \text{ gmm}$
$F_3 = \frac{g \cdot h \cdot b}{2} \cdot \gamma$	$Y_{03} = \frac{h}{3}$	$Md_3 = F_3 \cdot Y_{03}$
$F_3 = \frac{0,5 \cdot 1,05 \cdot 0,5}{2} \cdot 7,9$	$Y_{03} = \frac{10,5}{3}$	$Md_3 = 1,04 \cdot 3,5$
$F_3 = 1,04 \text{ g}$	$Y_{03} = 3,5 \text{ mm}$	$Md_3 = 3,64 \text{ gmm}$
$F_4 = \frac{d_2 \cdot \pi \cdot b}{4} \cdot \gamma$	$Y_{04} = \frac{1}{2} \text{ Hub}$	$Md_4 = F_4 \cdot Y_{04}$
$F_4 = \frac{0,5^2 \cdot \pi \cdot 0,5}{4} \cdot 7,9$	$Y_{04} = 7 \text{ mm}$	$Md_4 = 0,78 \text{ g} \cdot 7$
$F_4 = 0,78 \text{ g}$		$Md_4 = 5,46 \text{ gmm}$
$F_5 = \frac{1}{2} \text{ Pleuelmasse}$	$Y_{05} = \frac{1}{2} \text{ Hub}$	$Md_5 = F_5 \cdot Y_{05}$
$F_5 = 1 \text{ g}$	$Y_{05} = 7 \text{ mm}$	$Md_5 = 7 \text{ gmm}$
oszillierende Massen		
Kolben 8 g	$Y_{0 \text{ osz.}} = \frac{1}{2} \text{ Hub}$	$Md_{\text{osz.}} = F_{\text{osz.}} \cdot Y_{0 \text{ osz.}}$
$\frac{1}{2}$ Pleuel 1 g		$Md_{\text{osz.}} = 9 \cdot 7$
gesamt 9 g	$Y_{0 \text{ osz.}} = 7 \text{ mm}$	$Md_{\text{osz.}} = 63 \text{ gmm}$

Masse $x_1 + x_2$ gem. Bild 14
 $Y_{0x} = 6 \text{ mm}$ $Md_x = F_x \cdot Y_{0x}$

$$F_x = \frac{d^2 \pi \cdot b}{2} \cdot \gamma \text{ diff}$$

$$F_x = \frac{0,5^2 \pi \cdot 0,5}{2} \cdot 11,4$$

$$F_x = 2,24 \text{ g}$$

$$Md_x = 2,246$$

$$Md_x = 13,44 \text{ gmm}$$

Größe des neuen Ausgleichs-Drehmomentes:

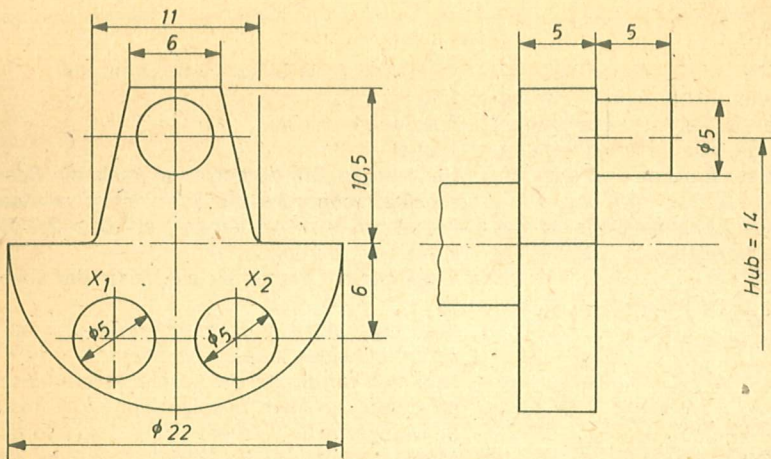
$$Md_1 + Md_x - (Md_2 + Md_3 + Md_4 + Md_5) = Md_{\text{Ausgleich}}$$

$$35,025 + 13,44 - 29,173$$

$$= \underline{19,292 \text{ gmm}}$$

Durch das Ausdrehen des Kolbens verringert sich das Md_{osz} um:

$$1,5 \text{ g} \cdot 7 \text{ mm} = 10,5 \text{ gmm} \text{ und beträgt jetzt } 52,5 \text{ gmm.}$$



Aufteilung der Massen zur Berechnung

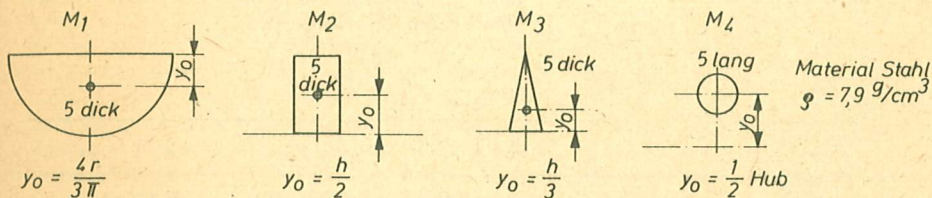


Bild 14 Zur Gewichtsbestimmung einer Kurbelwange sollte sie, wie im Bild zu sehen, in Teilgewichte zerlegt werden.

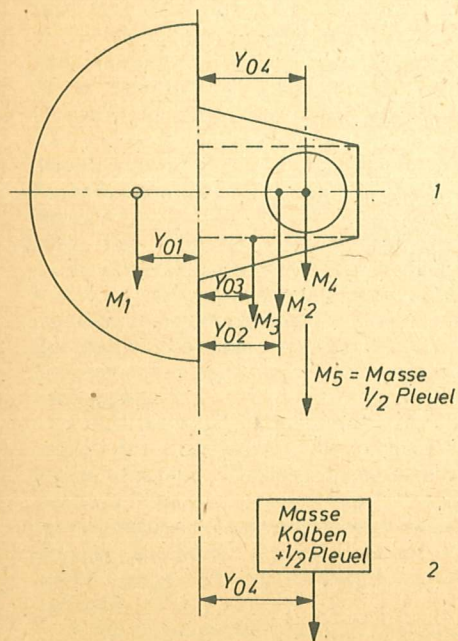


Bild 15 Belastungsschema einer Kurbelwelle mit oszillierenden Massen zur Berechnung der Auswuchtung (1 – rotierende Massen, 2 – oszillierende Massen)

Die neue Auswuchtung beträgt:

$$\frac{19,292}{52,5} = 0,367 = 36,7\%$$

Dieser Wert entspricht dem eines ABC-Motors (Motor mit Alukolben und hartverchromter Messingbuchse) und ist gut für sehr hohe Drehzahlen geeignet. Ideal wäre eine Auswuchtung um 50 %.

1.2.4. Ungleichförmigkeitsgrad-Schwungscheibe

Betrachten wir das Bild 10 des Abschnitts 1.2.1. noch einmal, so können wir feststellen, daß die Gaskräfte in sehr unterschiedlicher Größe auf eine Umdrehung des Motors verteilt sind. Es ergibt sich eine ungleichmäßige Drehbewegung. Um diese

Drehbewegung gleichmäßiger zu gestalten, wird eine Schwungmasse benötigt. Bei Motoren für Flugmodelle dient der Propeller als Schwungmasse. Bei Schiffs- und Automodellen wird eine Schwungscheibe benötigt. Die Größe der benötigten Schwungmasse ist abhängig von der Motorleistung, der Drehzahl, der Motorkonstruktion und dem Anwendungszweck.

Das Maß für die Schwungscheibengröße ist das Schwungmoment mit der Bezeichnung GD^2 und der Dimension kgm^2 .

Errechnet wird es mit folgender Formel:

$$GD^2 = \frac{K \cdot P}{\delta_s \cdot n^3}$$

P = Motorleistung in kW

K = Konstante der Motorkonstruktion

n = Drehzahl in 1/min

δ_s = Ungleichförmigkeitsgrad

Werte für δ_s :

Schiffsmodelle mit häufigem Drehzahlwechsel

1:15 bis 1:30

Rennbootsmodelle (konstante Drehzahl)

1:40 bis 1:70

Auto-Rennmodelle

1:20 bis 1:40

Hat man so GD^2 ermittelt, so kann die Schwungscheibe, sofern sie die Form eines rechteckigen Ringes hat, leicht mit der Formel $GD^2 = 2 G (R^2 - r^2)$ konstruiert werden.

G steht in der Formel für die Masse der Scheibe in kg

R für den halben Außendurchmesser in m und r für den halben Innendurchmesser in m.

Legt man konstruktiv die Durchmesser und das Material fest, so kann man so lange die Breite der Schwungscheibe variieren, bis die erforderliche Masse erreicht ist. Bei Berechnung von kegligen Schwungscheiben ist außerdem nach jeder Veränderung der Breite eine Kontrolle des Massenschwerpunktes erforderlich.

Werte für K

Zylinderzahl	1	2	3	4
Zweitakt-Glühzünder	$14,4 \cdot 10^6$	$3,0 \cdot 10^6$	$1,44 \cdot 10^6$	$0,72 \cdot 10^6$
Viertakt-Glühzünder	$17,6 \cdot 10^6$	$7,2 \cdot 10^6$	$4,0 \cdot 10^6$	$1,44 \cdot 10^6$
Zweitakt-Selbstzünder	$21,0 \cdot 10^6$	$9,6 \cdot 10^6$	$4,0 \cdot 10^6$	$1,8 \cdot 10^6$

2. Kolbenmaschinen für Modellantriebe

2.1. Die geschichtliche Entwicklung der Modellmotoren

Wie seit dem Beginn der Schifffahrt Schiffsmodelle gebaut wurden, gab es seit Beginn des Motorenbaus Motorenmodelle, die teilweise auch funktions-tüchtig waren. Vom Modellmotor kann man von dem Zeitpunkt an sprechen, da solch ein funktions-tüchtiges Motormodell zum Antrieb eines Modells genutzt wurde.

Es ist verständlich, daß mit der verstärkten Nutzung von Verbrennungsmotoren für Modellantriebe sich eine spezielle Bauweise für diese Antriebe entwickelte.

1908 flog das erste Motorflugmodell mit einem 15-cm³-Viertaktbenzinmotor in England.

1914 wurden in England der 15-cm³- und der 30-cm³-Stanger-Motor populär; sie ermöglichten bereits Flüge von 51 Sekunden Flugdauer.

Der englische 30-cm³-Benzinmotor für Flug- und Schiffsmodelle wurde damit bestimmend für die Technik der Modell-Antriebe in Europa, USA und Japan.

1932 flog erstmalig ein Modell mit einem 15-cm³-Zweitaktbenzinmotor des Engländers Edgar Westbury, der in der darauffolgenden Zeit zahlreiche Motortypen bis zu 1 cm³ Hubraum entwickelte. Zur gleichen Zeit kommen die ersten Brown-Junior-Benzinmotoren mit 10 cm³ Hubraum aus den USA nach Europa.

Von 1934 bis 1937 wurden die Kratzsch-Benzinmotoren des Gößnitzer Motorenbauers Walter Kratzsch bekannt. Zunächst baute er einen Motor mit 30 cm³. Bereits mit dem Typ F 10 B gelang es, die amerikanischen Motoren vom Markt zu verdrängen. Die Serien Kratmo 4, 10 und 30 (Bild 16) werden lange Zeit in Deutschland und im Ausland geflogen.

Ende der dreißiger Jahre setzt in den europäischen

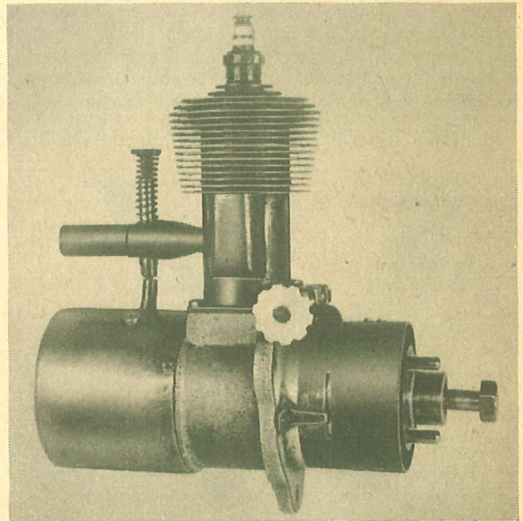


Bild 16 Einer der bekanntesten Benzinmodellmotoren der Vorkriegszeit war der Kratmo 30. Mit seiner Leistung von 1,1 kW war er in der Lage, selbst größte RC-Modelle mit den damals üblichen, schweren Röhrenempfängern anzutreiben

Industrieländern, in den USA und Japan eine Entwicklung ein, die dazu führt, daß jedes Land seine eigenen Modellmotoren baut. So entstehen in Japan damals die ersten, heute weltbekannten O.S.-Motoren.

In den Jahren 1939 bis 1941 erscheinen in Deutschland die Modellbenzinmotoren von Eisfeld (Bild 17),

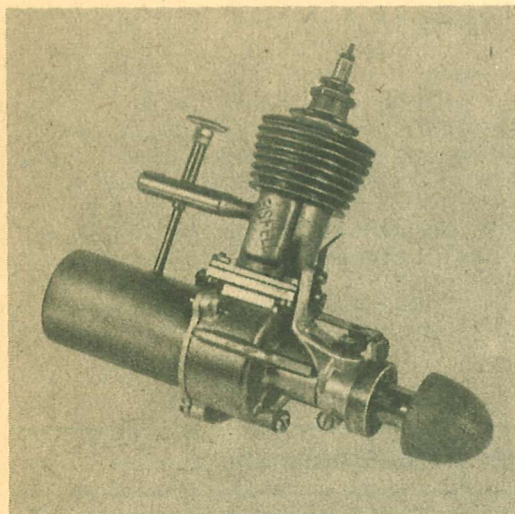


Bild 17 Der Eisfeld B II war mit seinen $7,5\text{ cm}^3$ Hubraum ein Vertreter der mittleren Hubraumgröße bei den Benzinmotoren. Gut zu erkennen sind der Zündunterbrecher und die als Unterbrechernoche ausgebildete Propellernabe.

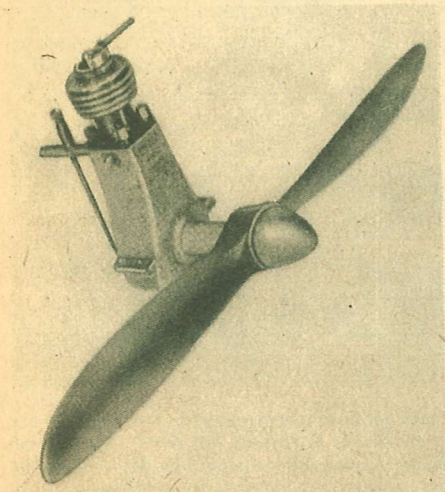


Bild 18 Der Dyno I aus der Schweiz wird meist als der erste Selbstzünder-Modellmotor der Welt angesehen

Argus, Thaler, Ortus, Flottweg, Häusler sowie Blankenmeister und machen den Kratzsch-Motoren Konkurrenz.

In dieser Zeit erscheint auch das Buch „Benzinmotoren für Flugmodelle und ihr Selbstbau“ von Oberin-

genieur A. Felgiebel als erste deutschsprachige Veröffentlichung auf diesem Gebiet, die noch heute dem technisch interessierten Leser wertvolle Hinweise geben kann.

1940 beginnt in den USA Ray Arden mit der Entwicklung des Glühzündermotors, der sich trotz seiner Vorzüge in Europa erst sehr spät durchsetzen kann. Das liegt wahrscheinlich mit daran, daß durch die Entwicklung des zündstromfreien Modellmotors in Europa die Entwicklung stärker auf den damit entstandenen „Vergaserdieselmotor“ ausgerichtet wird. Durch den Wegfall der Zündanlage sowie durch ihre hohe Leistung (ein $2,5\text{-cm}^3$ -Vergaserdieselmotor entspricht einem bisherigen 10-cm^3 -Benzinmotor) hat der Benzinmotor keine Chance mehr. Dem Dyno I von Klemenz-Schenk (Bild 18) folgen bis 1945 zwei Eisfeld-Diesel mit $2,5\text{ cm}^3$ und 6 cm^3 (Bild 19), ein $4,5\text{-cm}^3$ -Motor von Blankenmeister, ein $2,38\text{-cm}^3$ -Motor von Andersen aus Dänemark sowie eine Serie Motoren mit $0,3\text{ cm}^3$, $0,6\text{ cm}^3$, $1,25\text{ cm}^3$, $2,5\text{ cm}^3$ und 6 cm^3 der Firma Krätmo. Besonders interessant am Krätmo-Diesel ist die Kompressionsverstellung durch eine exzentrisch gelagerte Kurbelwelle (siehe Abschnitt 3.6.7.).

Nach dem zweiten Weltkrieg gibt es zunächst keine Modellmotorenindustrie in Mitteleuropa. Erst ab 1950 beginnen in der DDR wieder einige Betriebe mit der Produktion von Modellmotoren. So erscheinen in den fünfziger Jahren der 2-cm^3 -Zeiss-Pionier (Bild 20), der $2,5\text{-cm}^3$ -Zeiss (Bild 21), der $1,5\text{-cm}^3$ -Wilo, der $2,5\text{-cm}^3$ - und der 1-cm^3 -Schlosser sowie der $2,5\text{-cm}^3$ -Komet.

Es sind alle Selbstzündermotoren. Den einzigen Glühzündermotor, ein 10-cm^3 -Motor, produzierte der VEB Berliner Aufzug- und Fahrtreppenbau in Kleinserie. In diesem Betrieb wurde auch der Komet gefertigt.

1957 beginnt die Firma Drenkhahn mit dem Bau von Modellmotoren und 1971 folgt der VEB Modellbahnzubehör Glashütte mit der Moskito-Serie (Bilder 22 bis 25).

Im Ausland, vor allem in Italien, Japan und den USA, orientiert man sich nach Kriegsende mehr auf den Glühzündermotor, wobei mit zunehmendem Einsatz von Funkfernsteuerungen im Modellbau die Tendenz immer mehr in Richtung auf Motoren mit größerem Hubraum geht.

Etwa um 1958 tauchen die ersten Drosselvergaser und Schalldämpfer auf.

Rund 10 Jahre nach der Erfindung des Kreiskolbenmotors durch Dr. Felix Wankel erscheinen 1967 in Polen die ersten selbstgebauten Kreiskolbenmotoren mit ca. 10 cm^3 Hubraum und als erster Serienmotor ein $4,9\text{-cm}^3$ -Kreiskolbenmotor, der bei O.S. in Japan für die Firma Graupner (BRD) gefertigt wird (siehe Abschnitt 2.3.).

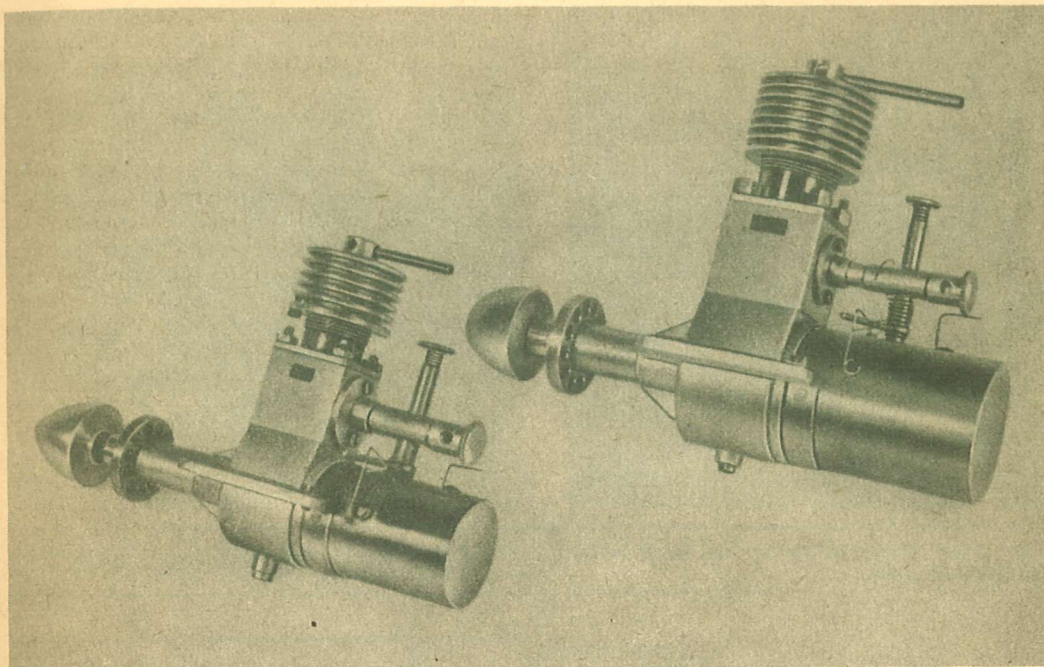


Bild 19 Die Firma Eisfeld in Gera brachte als eine der ersten Firmen in Deutschland diese beiden Selbstzündermotoren mit 2,5 cm³ und 6 cm³ Hubraum auf den Markt. Erstaunlich ist die Laufruhe, selbst des 6 cm³-Motors. Interessant ist die Verschlußschraube im Kurbelgehäuse, mit der man bei „versoffenem“ Motor den Kraftstoff aus dem Kurbelgehäuse ablassen kann.

Bild 21 Der leistungsstärkste Typ der Jena-Motorenbaureihe war dieser 2,5 cm³-Selbstzündermotor mit zentralem Membraneinlaß

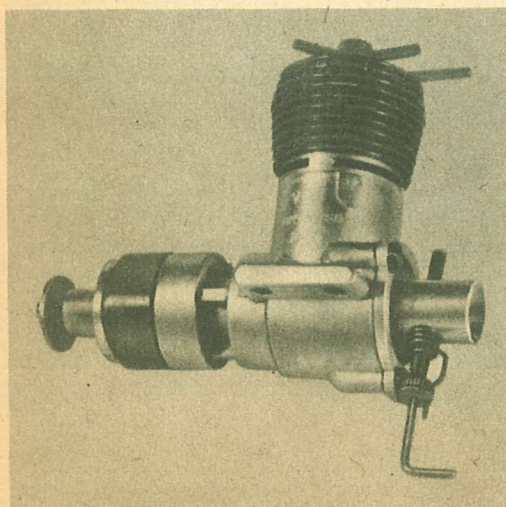
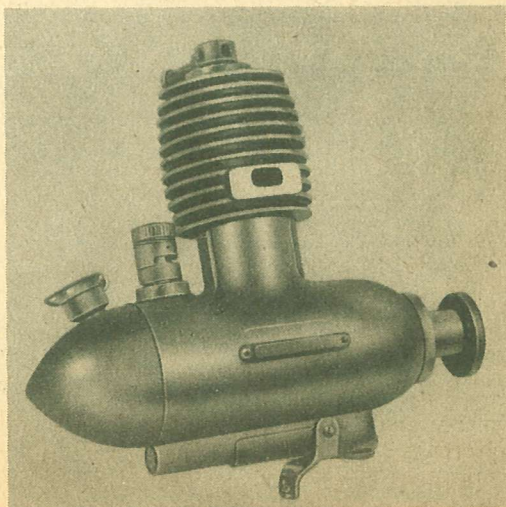


Bild 20 Der 2 cm³ Zeiss-Pionier war der erste Modellmotor der DDR-Produktion. Er war mit einem integrierten Tank versehen und wurde mit einem Leichtmetallpropeller geliefert.



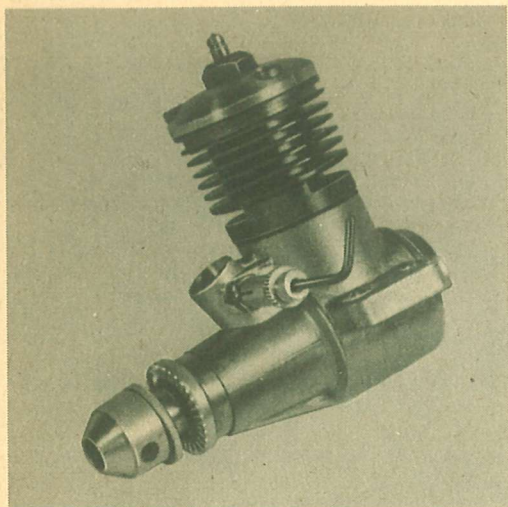


Bild 22 Dieser 1,5 cm³ Glühzündermotor wurde von der Firma Drenkhahn gebaut

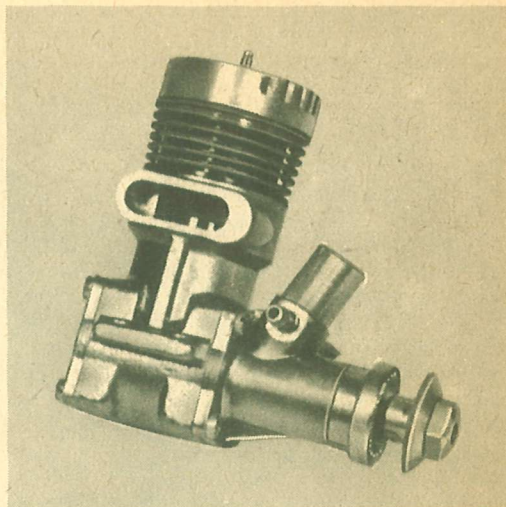
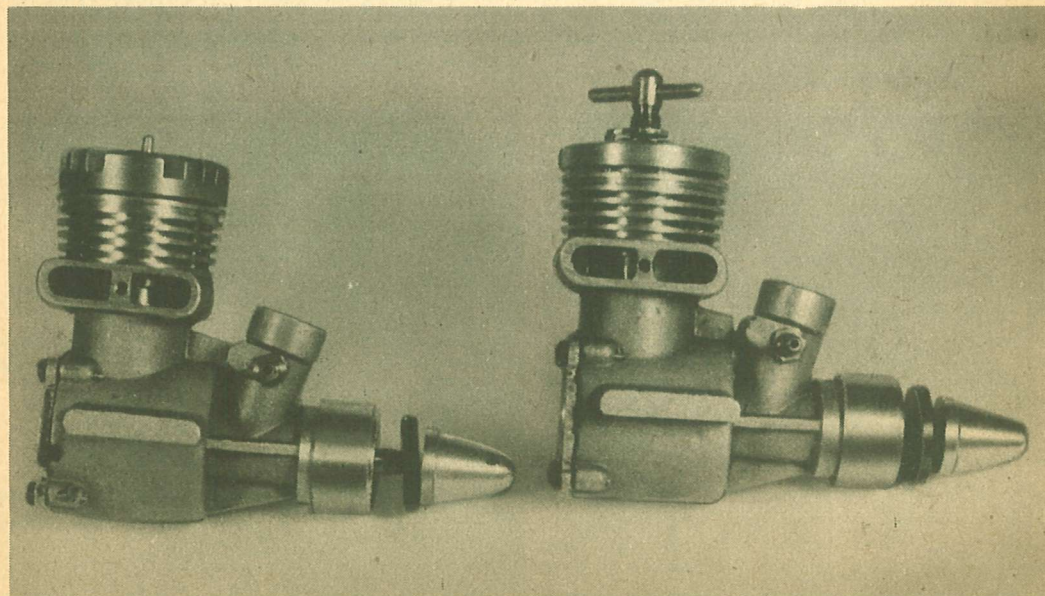
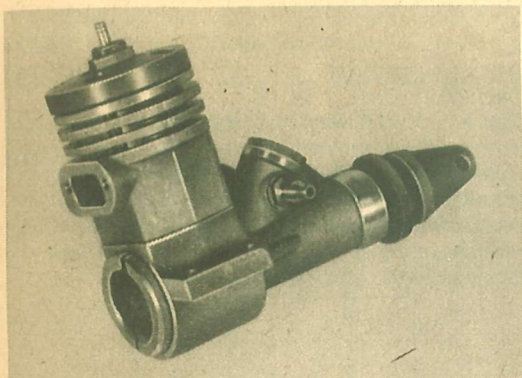


Bild 23 Ein Dremo-Glühzündermotor mit Querstromspülung und Kurbelwellendrehschieber; 5 cm³, 0,51 kW

Bild 24 Bis 1981 wurden diese 2,5 cm³-Motoren unter dem Namen Moskito vom VEB Modellbahnzubehör Glashütte gebaut. Rechts der 2,5 cm³-Moskito-Selbstzünder.



Bild 25 1,76 cm³-Moskito-Glühzünder

2.2. Der Zweitakt-Modellmotor

2.2.1. Funktionsprinzip des Zweitaktmotors

Zweitaktmotore mit Kurbelkammerspülung ermöglichen bei Modellmotoren eine Bauform, die durch die geringe Anzahl der Bauteile allen anderen überlegen ist. Bei jeder Kurbelwellenumdrehung erfolgt eine Zündung und damit ein Arbeitstakt, wobei der Kolben den Auslaßschlitz und den Überströmschlitz mit seiner Oberkante öffnet und schließt.

Der Einlaß in das Kurbelgehäuse kann durch gesonderte Steuerelemente erfolgen (siehe Abschnitt 3.4.) oder, wie aus Bild 26 ersichtlich, durch die Kolbenunterkante.

Bild 26 veranschaulicht die Wirkungsweise des Zweitaktmotors.

Erster Takt:

Der Kolben bewegt sich vom unteren Totpunkt (UT) zum oberen Totpunkt (OT). Er schließt dabei den Überströmschlitz U und den Auslaßschlitz A. Gleichzeitig öffnet die Unterseite des Kolbens den Einlaßschlitz E (Bild 26/1).

Durch die Aufwärtsbewegung des Kolbens entsteht im Kurbelgehäuse ein Unterdruck, durch den das im Vergaser gebildete Kraftstoff-Luft-Gemisch durch den Einlaßkanal in das Gehäuse gesaugt wird. Oberhalb des Kolbens wird gleichzeitig das Kraftstoff-Luft-Gemisch komprimiert und kurz vor Erreichen des oberen Totpunktes (OT) gezündet:

Zweiter Takt:

Durch die Ausdehnung des gezündeten Kraftstoff-Luft-Gemisches erfolgt der eigentliche Arbeitshub des Motors. Der Kolben schließt bei seiner Abwärtsbewegung den Einlaßschlitz E ab und verdichtet das

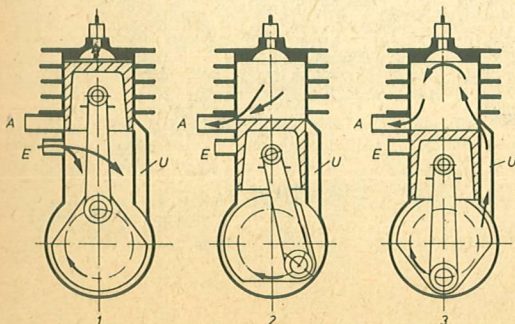


Bild 26 Wirkungsweise eines kurbelkammergespülten Zweitaktmotors (schematische Darstellung);

- 1 Der Kolben befindet sich im OT, der Einlaßkanal (E) ist voll geöffnet und der Verbrennungsvorgang bereits eingeleitet
- 2 Der Kolben befindet sich auf dem Weg um UT, der Auslaßkanal (A) ist teilweise geöffnet, so daß das verbrannte Gas sich entspannen kann. Überströmkanal (U) und Einlaß (E) sind geschlossen
- 3 Der Kolben befindet sich im UT, Auslaß (A) und Überströmkanal (U) sind voll geöffnet, das Frischgas schiebt das verbrannte Gas aus (Spülvorgang)

im Kurbelgehäuse befindliche Kraftstoff-Luft-Gemisch vor. Noch vor Erreichen des unteren Totpunktes gibt der Kolben durch seine Oberkante den Auslaßschlitz A frei, so daß die verbrannten Gase aus dem Zylinder entweichen können (Bild 26/2). Beim weiteren Herabgleiten des Kolbens wird der Überströmschlitz U freigegeben; jetzt kann das im Kurbelgehäuse vorverdichtete Kraftstoff-Luft-Gemisch in den Zylinder strömen und dabei die restlichen verbrannten Gase aus dem Zylinder herauspülen (Bild 26/3).

2.2.2. Der Benzinmotor

Der „klassische“ Modellbenzinmotor ist heute bis auf wenige Ausnahmen nicht mehr in Gebrauch, da durch die Zündanlage (Zündspule, Kondensator, Batterie) das Leistungsgewicht des Motors zu hoch ist. Seine großen Vorteile, durch exakte Zündpunkt festlegung eine hohe Leistungsausbeute zu erzielen, sowie der gegenüber dem Glühkerzenmotor geringere Kraftstoffverbrauch, haben in letzter Zeit dazu geführt, vereinzelt Glühzündermotoren mit modernen und leichten Transistorzündanlagen auszurüsten. So sind bereits 10-cm³- Rennautomodelle mit Zündanlage und Methanol-Kraftstoffen bei

Wettkämpfen anzutreffen. Für Langstreckenrekordversuche wurden Glühzündermotoren mit Zündanlagen ausgerüstet und mit Benzin betrieben (Bild 27).

Seit kurzer Zeit werden jedoch auch serienmäßig hergestellte moderne Thyristorzündanlagen für Modellmotoren angeboten, wobei besonders die geringen Betriebskosten (Tankstellenbenzin) und die Umweltfreundlichkeit hervorgehoben werden (Bild 28).

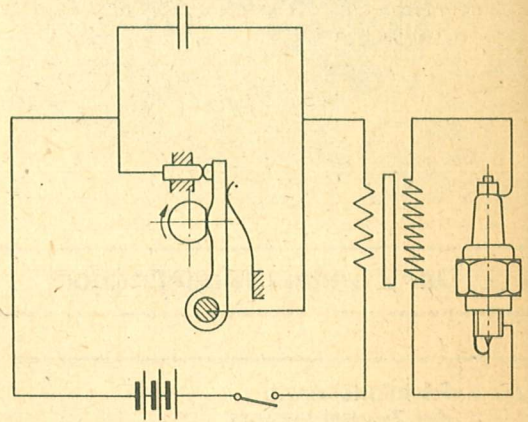
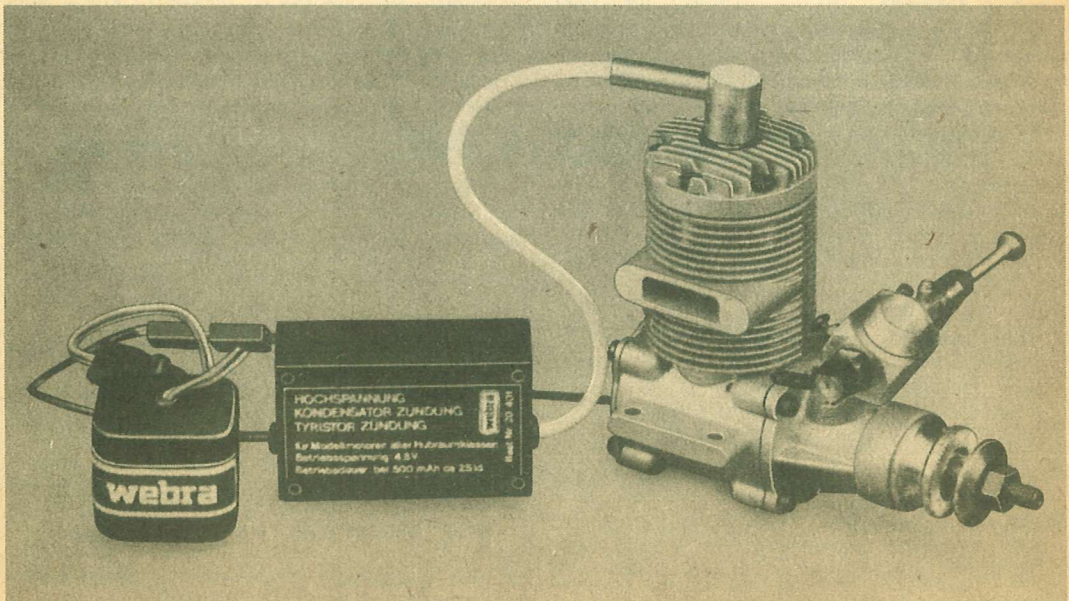


Bild 27 Schaltzeichnung der Zündanlage für einen Modellbenzinmotor mit Batteriezündung

Bild 28 Webra 61 RC mit moderner Thyristor-Zündanlage für den Betrieb mit Benzin



2.2.3. Der Glühzündermotor

Ray Arden (USA) entwickelte 1940 den Glühzündermotor. Er nutzt die katalytische Wirkung des Platins: eine Platinwendel, einmal zum Glühen gebracht, glüht in einem laufenden Motor weiter. Dadurch ist es möglich, die gesamte Zündanlage wegzulassen zu lassen. Höhere Drehzahlen, die kein mechanischer Zündunterbrecher zulassen würde, führen damit zu hoher Leistung (Bild 29).

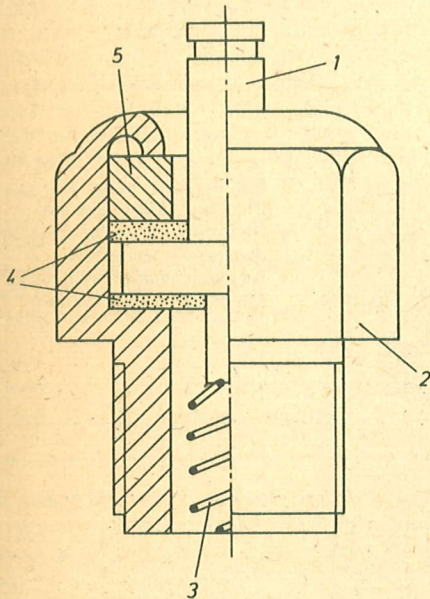


Bild 29 Aufbau einer Glühkerze (schematische Darstellung)

1 - Mittelelektrode, 2 - Kerzenkörper, 3 - Platin-Glühwendel, 4 - Abdicht- und Isolationsmaterial, 5 - Druckplatte

Als Kraftstoff verwendet man ausschließlich Alkohole, die eine bessere Kühlung und höhere Leistung als Benzin ergeben.

Durch dieses Zündverfahren wurde es möglich, kleine und kleinste Modellmotoren herzustellen. Heute werden Motoren von $0,1 \text{ cm}^3$ bis 140 cm^3 serienmäßig als Glühzündler hergestellt.

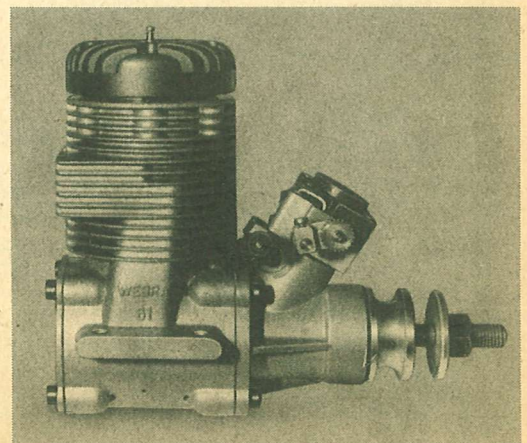
2.2.4. Der Hochleistungsglühzündermotor

Der moderne Hochleistungsglühzündermotor ist speziell für die Belange der Modellrennklassen konstruiert und gebaut. Gemeinsam haben alle die Vielkanalumkehrspülung mit großen Querschnitten; bei den neueren Typen beginnen die Überströmkanäle allerdings erst über der Kurbelwelle (siehe Bild 39). Je nach Verwendungszweck sind diese Motoren luft- oder wassergekühlt. Neuerdings sind bei den wassergekühlten Motoren die Auslaßöffnungen oft in Richtung Schwungrad gerichtet, um den Einbau des geforderten Schalldämpfers zu erleichtern.

Bei den Einlaßsteuerungen setzt sich immer mehr der Flachdrehschieber durch, da durch die Verringerung des Totraumes gegenüber dem kompakteren Kurbelwellendrehtrieber die Leistungsausbeute meist besser und der Kraftstoffverbrauch geringer ist.

Neben dem Rennvergaser mit großem Querschnitt werden von den Herstellern zunehmend Renndrosselvergaser mit großem Querschnitt und mit über Ruderservo verstellbarer Düsenadel angeboten (siehe Abschnitt 10.1.). In Verbindung mit speziell auf bestimmte Motorentypen abgestimmte Schalldämpfer ergeben sich beträchtliche Leistungssteigerungen gegenüber der üblichen RC-Ausführung (Bild 30).

Bild 30 Der Webra Speed 61 RC-R ist ein Rennmotor mit Dreikanalumkehrspülung für RC-Flugmodelle. Er ist für den Einsatz mit Resonanzschalldämpfer vorgesehen.



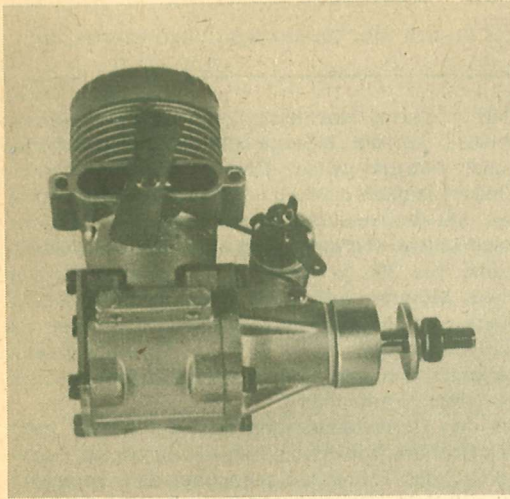


Bild 31 Der Super Tigre G 60 „Blue Head“ war trotz der Querstromspülung (ohne Kolbennase) auf Grund der Verwendung einer ABC-Paßgruppe sehr leistungsfähig; 10 cm³, 1,07 kW

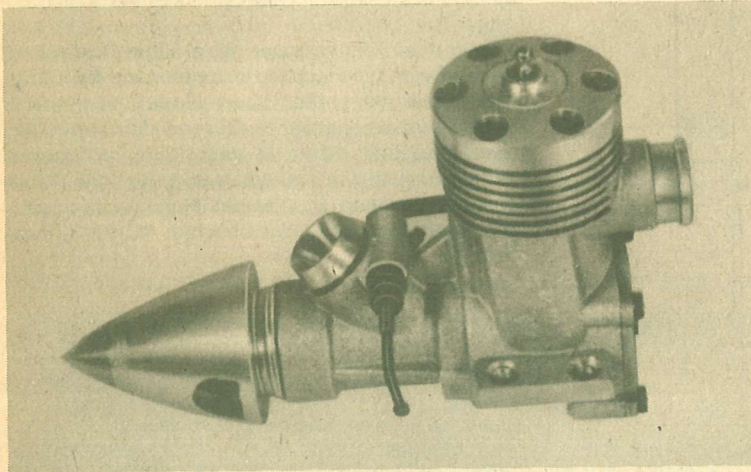
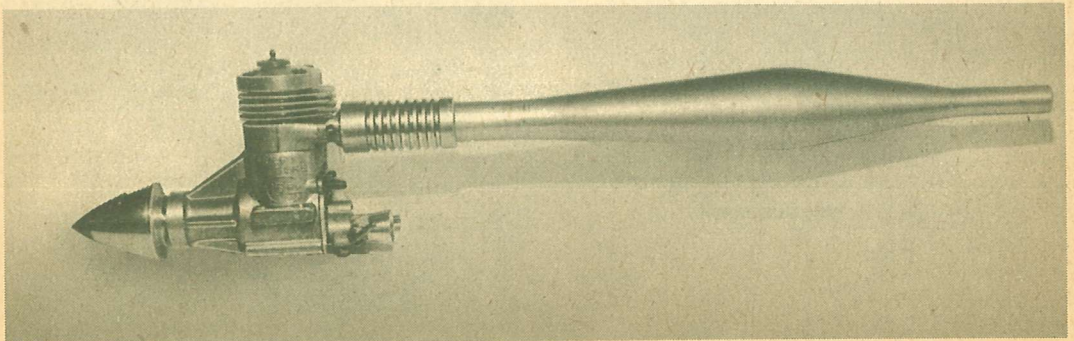


Bild 32 Der Rossi 15 ist mit einem Glühkopf ausgerüstet. Die sich daraus ergebende gute Brennraumqualität trägt mit zu seiner hohen Leistung bei.

Bild 33 Super Tigre X 15. Er wird mit abgestimmter Auspuffanlage geliefert. Eine Besonderheit sind seine Steckkerzen (siehe auch Bild 122).



Für thermisch besonders hoch beanspruchte Motoren (gedooper Kraftstoff, hohe Drehzahlen) werden von den Motorherstellern ABC-Paßgruppen angeboten. Die Bezeichnung bedeutet:

- A Aluminiumkolben ohne Kolbenring
- B Messing-Laufbuchse (engl. brass)
- C Chromlaufschrift auf der Messinglaufbuchse

Durch diese Materialpaarung wird ein Minimum an Reibung erzielt, da sich das Spiel zwischen Kolben und Buchse bei laufendem Motor nur wenig verändert, und ein Festgehen des Motors wird unmöglich (Bild 31).

Den gleichen Erfolg erzielt man mit der Materialpaarung Aluminiumkolben verchromte Aluminiumlaufbuchse (AAC). (siehe Abschnitt 5.4.1 und 5.4.2) Bei den 2,5-cm³-Motoren haben sich komplette Glühköpfe anstelle der Glühkerze durchgesetzt. Durch die Verwendung von Glühköpfen erhält man einen glatteren und saubereren Brennraum und die Wärmeabfuhr über den Zylinderkopf wird enorm verbessert. Das Ergebnis ist eine beträchtliche Leistungssteigerung (siehe Bild 32).

Bei den Motoren, die für den Anbau von Rennauspuffanlagen (Resonanzrohren) vorgesehen sind, werden die Auslaßkanäle bereits von den Herstellern entsprechend gestaltet; sie liefern auch die passenden Resonanzrohre mit (Bild 33).

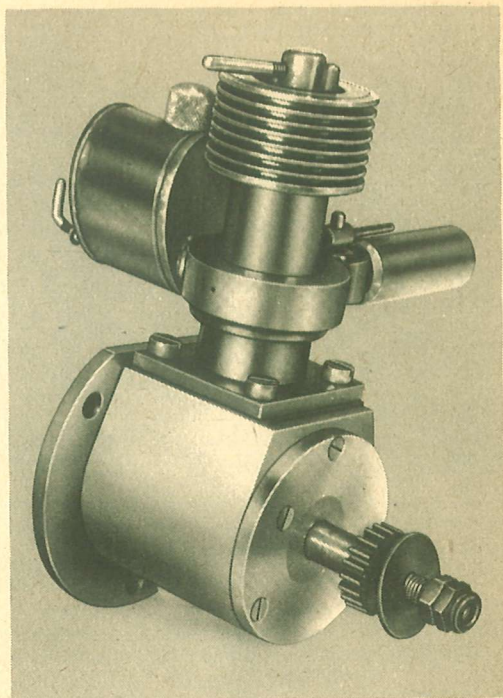


Bild 34 Dieser 8,25 cm³ Etha Diesel wurde bereits mehrere Jahre vor den Dyno I gebaut

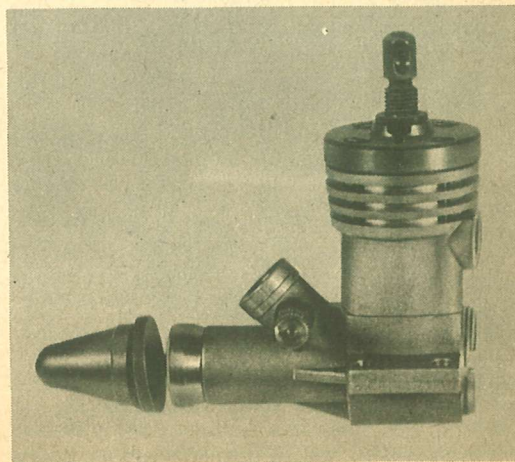
2.2.5. Der Selbstzündermotor

Mit dem Erscheinen des von dem Mechaniker Klemenz Schenk aus Aefligen bei Bern (Schweiz) entwickelten Dyno-I mit 2.04 cm³ Hubraum war 1941 ein neuer Motortyp im Angebot: der Selbstzünder, auch „Vergaserdiesel“ oder „Modelldiesel“ genannt.

Erfunden hat er den Selbstzündermotor jedoch nicht, obwohl er häufig als Erfinder benannt wird. Erfunden wurde der Selbstzündermotor bereits 13 Jahre früher von Ernst Thalheim aus Lausen (Baselland). Er erhielt am 31. 12. 1927 das Hauptpatent Nr. 129373 vom „Eidgenössischen Amt für geistiges Eigentum“ für eine „Selbstzündende Verbrennungskraftmaschine“ und baute bis etwa 1939 unter der Bezeichnung „Etha“ mehrere Modellmotoren als Selbstzünder in Kleinserie (Bild 34).

Durch einen mit einer Knebschraube verstellbaren Gegenkolben im Zylinderkopf war es möglich, die Verdichtung des Motors zu verstellen. Dadurch war die Voraussetzung gegeben, nur durch die Verdichtungswärme ein Kraftstoff-Luft-Gemisch zu entzünden. Der Kraftstoff enthielt neben Petroleum und Öl auch Äther, um ihn zündfreudiger zu ma-

Bild 35 Der 1,5 cm³-Moskito-Selbstzündermotor ist mit Schnürlespülung ausgerüstet. Er zählt zu den Anfängermotoren.



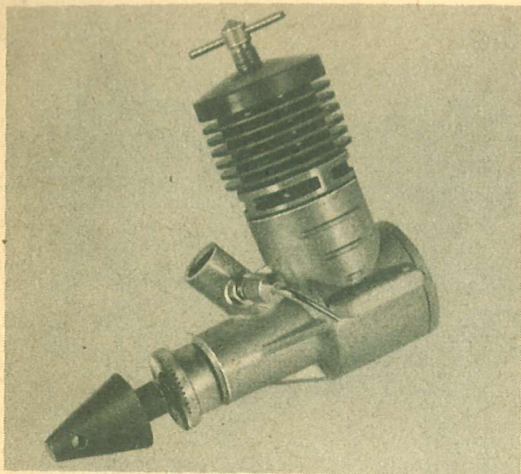


Bild 36 Ein Anfängermotor mit einer auf einfachste und billigste Fertigung ausgelegten Konstruktion ist der sowjetische Sokol 2,5 cm³-Selbstzündermotor

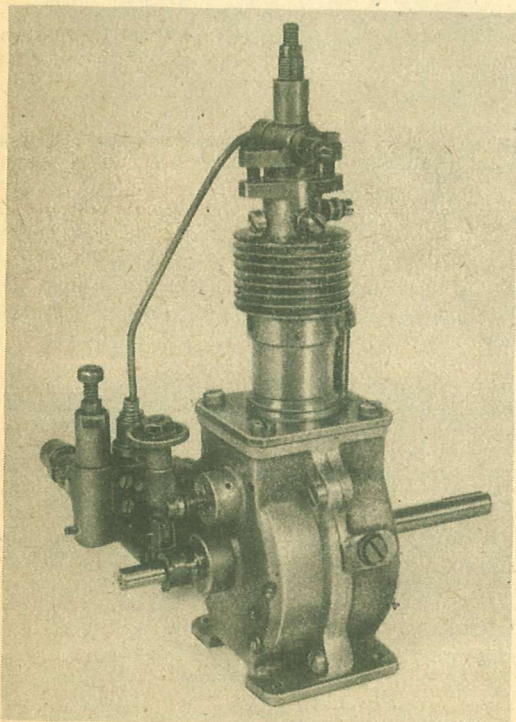


Bild 37 Eine hochinteressante Konstruktion der Firma Eisfeld, Gera ist dieser 10 cm³-Versuchsdieselmotor. Mit einer regelbaren Einspritzpumpe ausgerüstet, sollte er die Konstruktionsprinzipien des Großdieselmotorenbaus auf den Modellmotorenbau übertragen

chen. In der Folgezeit entstanden Selbstzündermotoren mit einem Hubraum von 0,3 cm³ bis 6 cm³. Heute werden Selbstzündermotoren mit Hubräumen von 0,3 cm³ bis 6,3 cm³ serienmäßig gefertigt; ihre Leistungen liegen im allgemeinen höher als die gleichvolumigen Glühzündermotoren. Durch seinen einfachen Aufbau, sein gutes Startverhalten, seine hohe Leistung und unkomplizierte Bedienung hat sich der Selbstzündermotor weite Gebiete des Modellsports erobert (Bilder 35 und 36). Es fehlt auch nicht an Versuchen, die Selbstzündermotoren mit Einspritzpumpen auszurüsten, wie sie bei Großdieselmotoren üblich sind (Bild 37).

2.2.6. Der Hochleistungs-selbstzündermotor

Der moderne Hochleistungs-selbstzündermotor ist heute meist eine Spezialentwicklung für die FAI-Klasse F2 C- Team Racing –, da sie die einzige Rennklasse ist, bei der die Forderung nach absoluter Sparsamkeit im Kraftstoffverbrauch bei gleichzeitiger Höchstleistung erhoben wird. Das vermag nur der Selbstzünder zu erfüllen.

Vereinzelt werden Hochleistungs-selbstzünder auch in der FAI-Klasse F1C und F2D geflogen.

Oft ist der Hochleistungs-selbstzündermotor eine Variante der im vorigen Abschnitt erwähnten Spezialrennmotoren. Er wird den veränderten Einsatzbedingungen durch Verwendung einer längeren Zylinderlaufbuchse mit Gegenkolben und einem Zylinderkopf mit Knebelschraube sowie einem stabilen Pleuel angepaßt; die übrigen Bauteile sind mit denen des Standardglühzündermotors identisch (Bild 38). Derartige Motoren sind wegen ihrer sehr guten Leistungen besonders geeignet für die Klassen F1C (Freiflugmodelle) und F2D (Combatmodelle). Für Mannschaftsrennen (F2C) sind sie infolge des für die Erfordernisse des Glühzündermotors ausgelegten Gehäuses nur bedingt einsetzbar (der Selbstzündermotor benötigt für den geforderten sparsamen Kraftstoffverbrauch engere Überström- und Einlaßkanäle und für die hohe thermische Belastbarkeit eine besondere Führung des einströmenden Gasstrahls).

Moderne Selbstzündermotoren für Mannschaftsrennen sind durch folgende Konstruktionsmerkmale gekennzeichnet:

- Dreikanalumkehrspülung mit engen Spülquer-schnitten;
- Glocken- oder K + B-Drehschieber (siehe Bild 109) mit einer Führung des Frischgasstrahles genau unter den Kolbenboden oder auf das Pleuel,

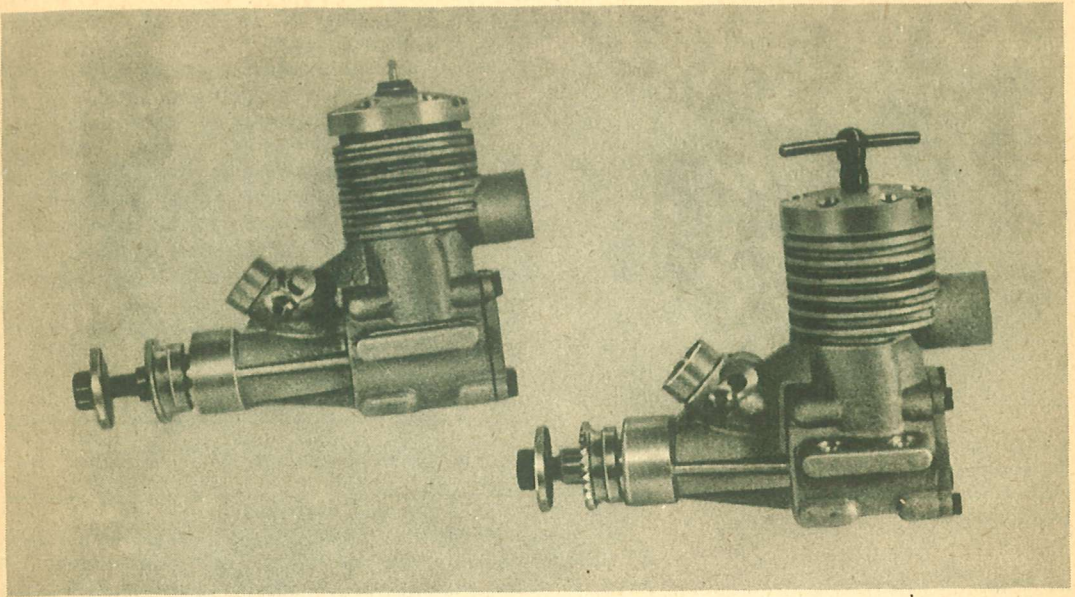


Bild 38 Ein guter Leistungselbstzündermotor war der aus dem MVVS 2,5 G 7 (links) entstandene MVVS 2,5 D 7 (rechts). Er unterschied sich vom Standardmotor nur durch den anderen Zylinderkopf mit Knebelschraube, einem stabileren Pleuel und den in den Zylinder eingesetzten Gegenkolben.

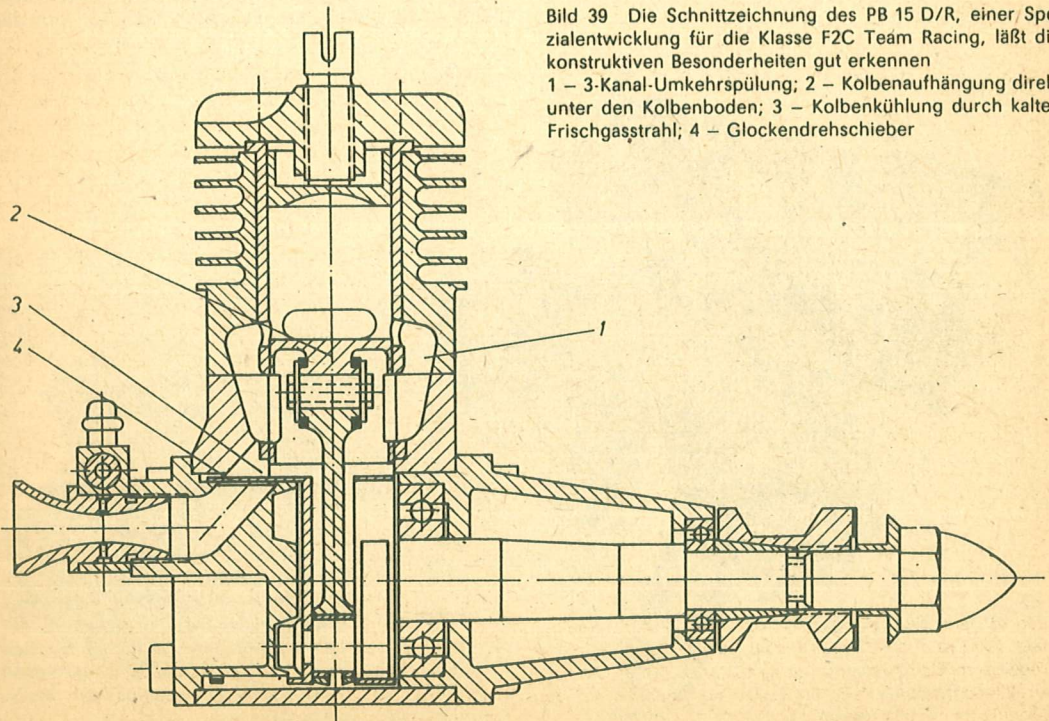


Bild 39 Die Schnittzeichnung des PB 15 D/R, einer Spezialentwicklung für die Klasse F2C Team Racing, läßt die konstruktiven Besonderheiten gut erkennen
1 – 3-Kanal-Umkehrspülung; 2 – Kolbenaufhängung direkt unter den Kolbenboden; 3 – Kolbenkühlung durch kalten Frischgasstrahl; 4 – Glockendrehchieber

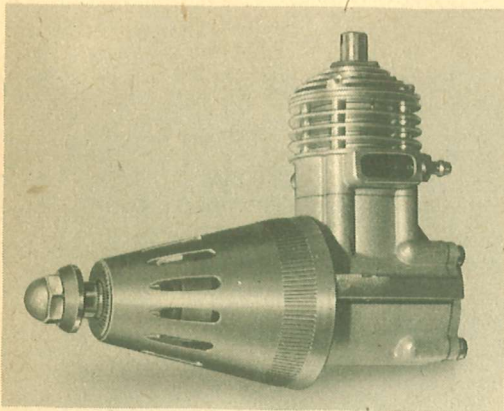


Bild 40 Die Weiterentwicklung des PB 15 D/R ist der im Bild gezeigte Bügl MK III. Durch verschiedene konstruktive Maßnahmen wurde dieser Motor etwa 40 kg leichter als sein Vorgänger.

um besser zu kühlen;

- abgesetzter Gegenkolben (Gegenkolbendurchmesser 3 mm bis 5 mm kleiner als Kolbendurchmesser) zur Erzielung einer feinfühligten Kompressions-einstellung;
- Durchmesser des Vergaserdurchlasses zwischen 2,8 mm bis 4,5 mm.

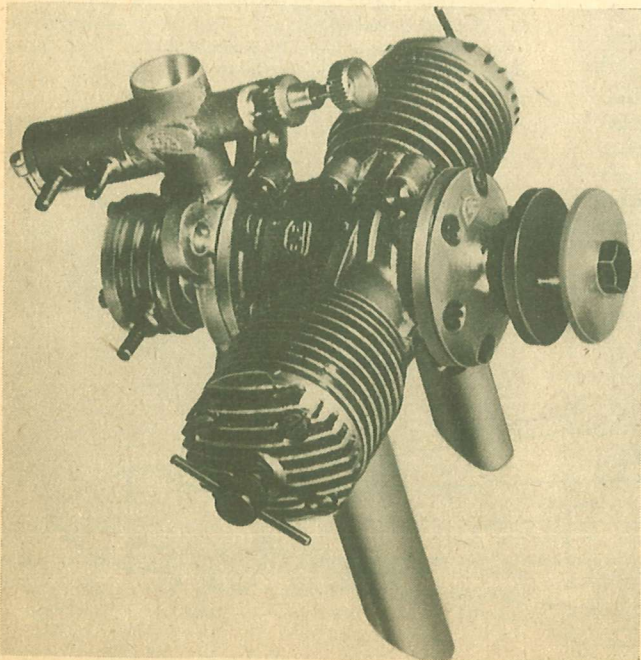


Bild 41

Webrä Boxer, ein 7,5 cm³-Selbstzündermotor mit Kurbelwellendrehchieber. Dieser Motor mit 0,59 kW ist zusätzlich mit einer angeflanschten Vakuumpumpe versehen, um bei großen RC-Modellen mit pneumatischen Servomotoren arbeiten zu können, da zu der Zeit, als dieser Motor entwickelt wurde, noch keine leistungsfähigen elektrischen Ruderservos zur Verfügung standen.

Vereinzel werden noch folgende konstruktive Besonderheiten verwendet:

- Auslaß nach vorn gerichtet, um die heißeste Motorseite der kältesten Kühlluft auszusetzen und somit das thermische Verhalten zu verbessern;
- spezielle Befestigungsarten zwischen Kolben und Pleuel, die es ermöglichen, das Kolbenhemd ringsherum für Überströmfenster frei zu halten;
- AAC oder ABC-Laufsätze

Die beschriebenen konstruktiven Besonderheiten sind an der Schnittzeichnung des PB 15 D/R gut zu erkennen (Bild 39).

Die Weiterentwicklung dieses erfolgreichen Rennselbstzünders zeigt Bild 40.

2.2.7. Mehrzylinder-Zweitaktmotoren

Im Abschnitt 3.6.10. werden Möglichkeiten zum Selbstbau von mehrzylindrigen Modellmotoren näher erläutert, hier sollen einige serienmäßig erzeugte Motoren hergestellt werden.

Die gebräuchlichsten Bauarten sind die Zweizylinder-Reihen- und Boxermotoren sowohl als Selbstzündler, als auch als Glühzündermotoren (Bilder 41, 42, 43, 44). Bei beiden Bauarten ist der Massenausgleich etwa gleich gut. Es treten lediglich um die

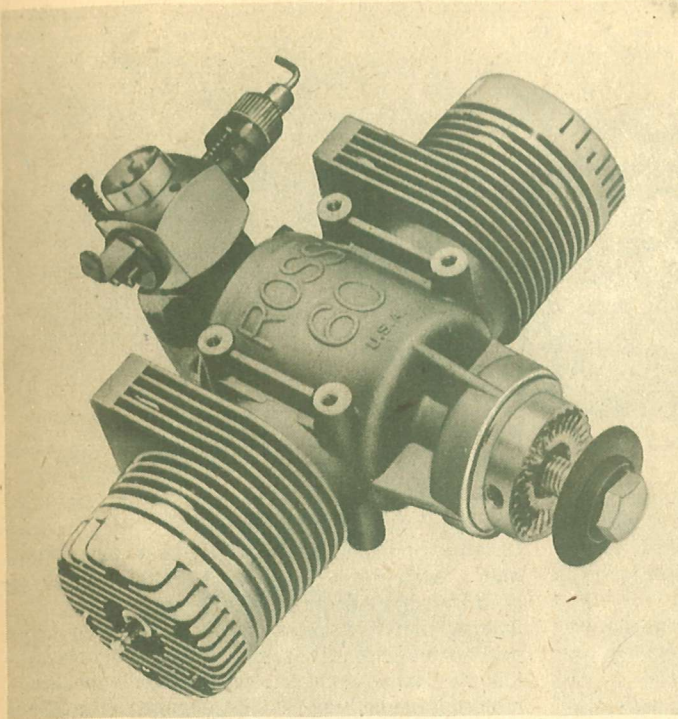


Bild 42
Ross-TWINPOWER 60 aus den USA.
Dieser 10 cm³ Boxermotor leistet
0,59 kW bei 15000 1/min und ist
mit einem Kurbeltrieb ausgerüstet, wie er
in Bild 12 (3) gezeigt wurde.

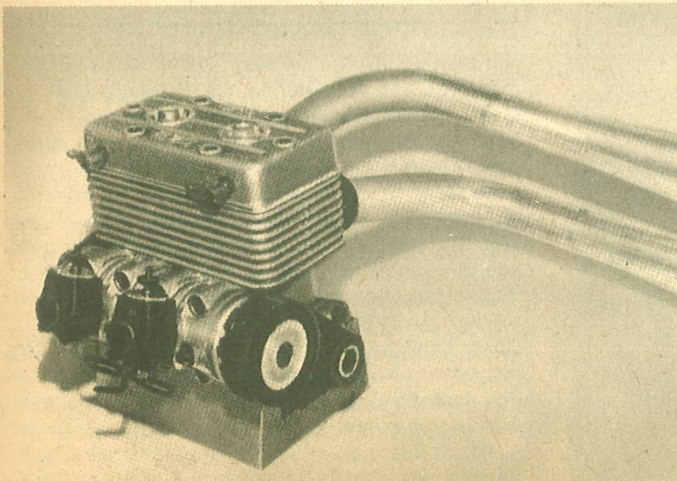


Bild 43
Dieser 20 cm³-Reihenmotor aus Italien
ist mit einem Walzendrehschieber
ausgerüstet, der über einen
Zahnriemen angetrieben wird. Beide
Zylinder besitzen separate
Resonanzschalldämpfer.

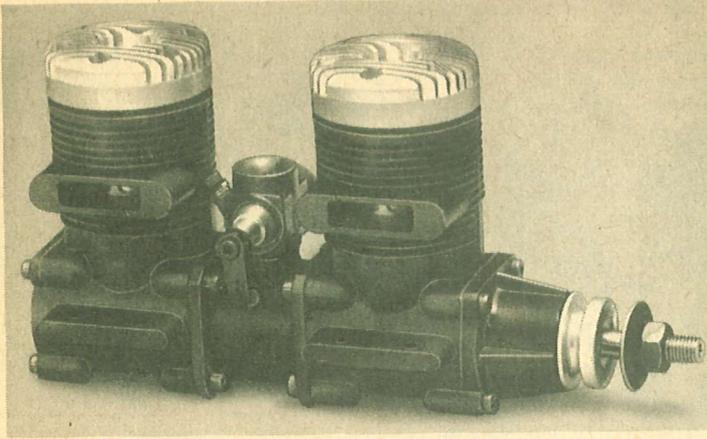


Bild 44
HP 120 ein Zylinder-Reihenmotor
mit 20 cm³ Hubraum und mittig
liegendem Drehschiebereinlaß für
übergroße Flugmodelle (14 000 1/min,
2 kW).

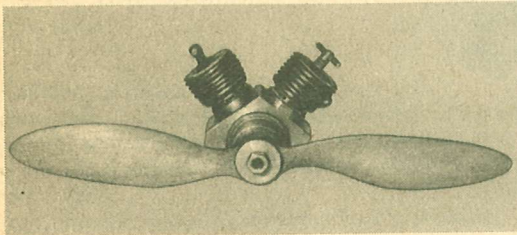
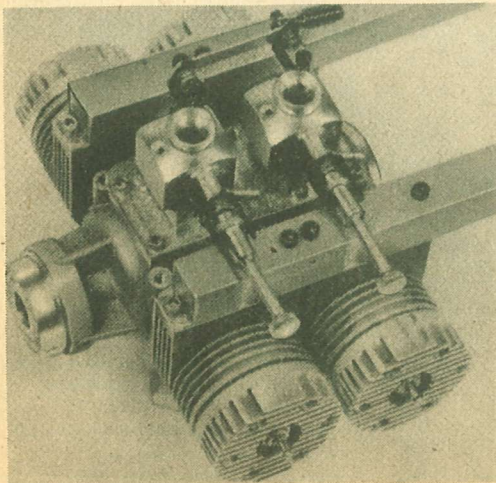


Bild 45 5 cm³ Zylinder V-Motor, für den zwei Zeiss-Laufsätze verwendet wurden

Bild 46 20 cm³ Vierzylinder-Boxermotor der US-Firma Ross



Kurbelwellenachse Kippmomente auf. Die Ungleichförmigkeit des Drehmoments ist jedoch beim Boxermotor genau so hoch wie beim Einzylindermotor, wogegen sie beim Reihenmotor nur halb so groß ist (siehe Abschnitt 1.2.4.).

Zweizylinder-V-Motoren und Drei- bzw. Vierzylinder-Reihenmotoren sind meist Eigenbauten (Bild 45), wogegen Vier- und Sechszylinder-Boxermotoren wieder von einigen wenigen Herstellern serienmäßig gefertigt werden (Bild 46). Der Vierzylinder-Boxermotor ist bei richtiger Auslegung frei von Kippmomenten um die Kurbelwellenachse und hat die gleiche Ungleichförmigkeit des Drehmomentes wie der Zweizylinder-Reihenmotor.

2.2.8. One-line-Motoren

Mit dem englischen Namen „One-line“ bezeichnet man Motoren, bei denen die Kolbenlaufbahn in eine Linie zur Kurbelwellenachse bzw. zur Propellerdrehachse verläuft. Durch diese Bauweise entstehen Motoren mit besonders günstigen Einbaueverhältnissen, da sie eine kleine Stirnfläche besitzen. Sie ermöglichen bei der Verwendung zum Antrieb von Maßstabmodellen den völlig verdeckten Einbau, besonders in Modellen von Propellerturbinenflugzeugen. Es sind zwei Konstruktionsprinzipien solcher Motoren bekannt geworden.

Der in den USA in Serie gebaute Aero 35 (Bild 47) ist mit einem komplizierten Kurbeltrieb ausgerüstet, der noch im Abschnitt 3.2.3. besonders behandelt wird. Bei ihm liegt der Zylinder parallel zur Kurbelwelle, wodurch sich gute Kühlverhältnisse ergeben. Speziell für den Antrieb von Maßstabmodellen

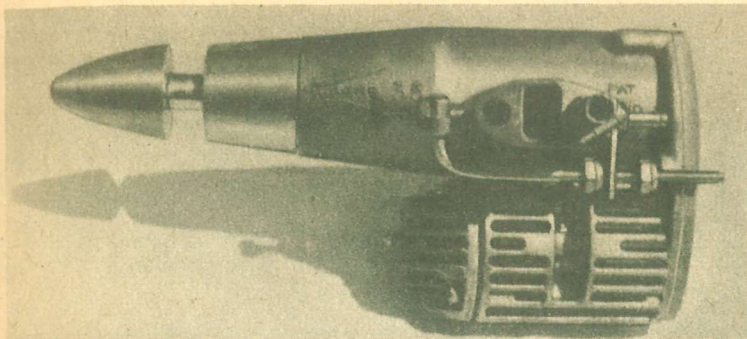


Bild 47
One line-Motor des Typs
Aero 35, der 1964 in den USA
gebaut wurde, mit einem
Kurbeltrieb gemäß Bild 74.

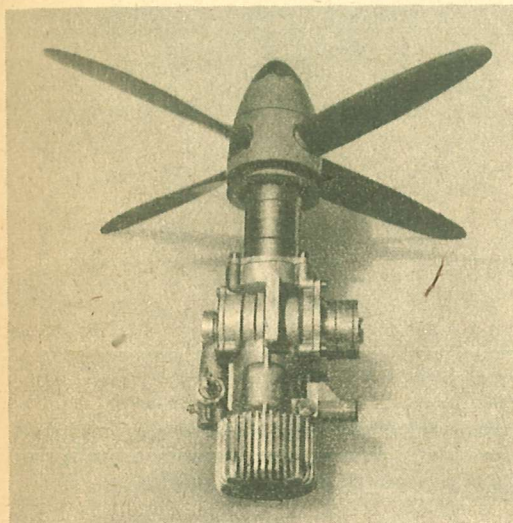


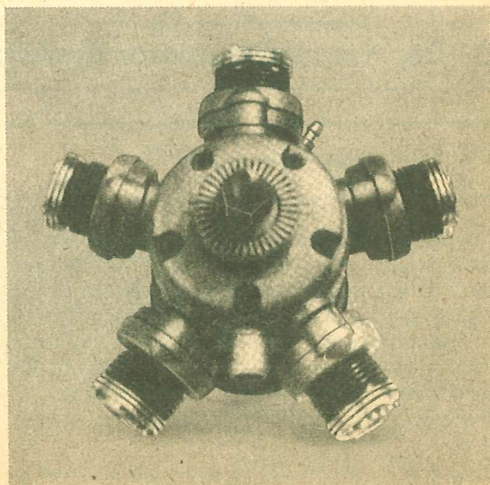
Bild 48 10 cm³ Oneline-Motor mit 4-Blatt-Verstellpropeller
aus der UdSSR. Mit diesen Motoren, die mit einem ABC-
Laufsatz ausgerüstet sind, wurden bereits mehrere F4B-
Flugmodelle ausgerüstet, mit denen Weltmeistertitel errun-
gen werden konnten.

wurde in der UdSSR der im Bild 48 gezeigte 10 cm³
One-line-Motor entwickelt. Bei ihm läuft der Motor
mit einer normalen aber extrem kurzen Kurbel-
welle; von der Kurbelwelle aus wird über einen Ke-
geltrieb die Propellerwelle angetrieben. Dieser Mo-
tor bietet eine noch geringere Stirnfläche als der
Motor im Bild 47. Um die Beherrschung der
schlechten Kühlverhältnisse zu ermöglichen, ist er
als ABC-Motor ausgebildet. Zur Erzeugung eines
naturähnlichen Turbinengeräusches wird der Motor
in Drehzahlen um 16 000 1/min betrieben.

2.2.9. Zweitakt-Sternmotoren

Da die Pleuelanordnung beim Sternmotor keine
Vorverdichtung im Kurbelgehäuse ohne Hilfsmittel
ermöglicht (siehe auch Abschnitt 3.2.3.), sind Pum-
pen oder Gebläse zur Erzeugung der Spülluft für
Zweitakt-Sternmotoren notwendig. Sehr gut geeig-
net ist dazu ein Zellenverdichter, der direkt auf der
Kurbelwelle angeordnet wird (Bild 50, S. 36). Derar-
tige Motoren erreichen gute Leistungen und hohe
Drehzahlen. Da sie bei jeder Kurbelwellenumdreh-
ung pro Zylinder einmal zünden, ist ihr Drehmo-
ment sehr gleichmäßig.

Bild 49 „Falscher“ Sternmotor, wie er durch das Koppeln
mehrerer Einzylinder-Zweitaktmotore gebaut werden kann



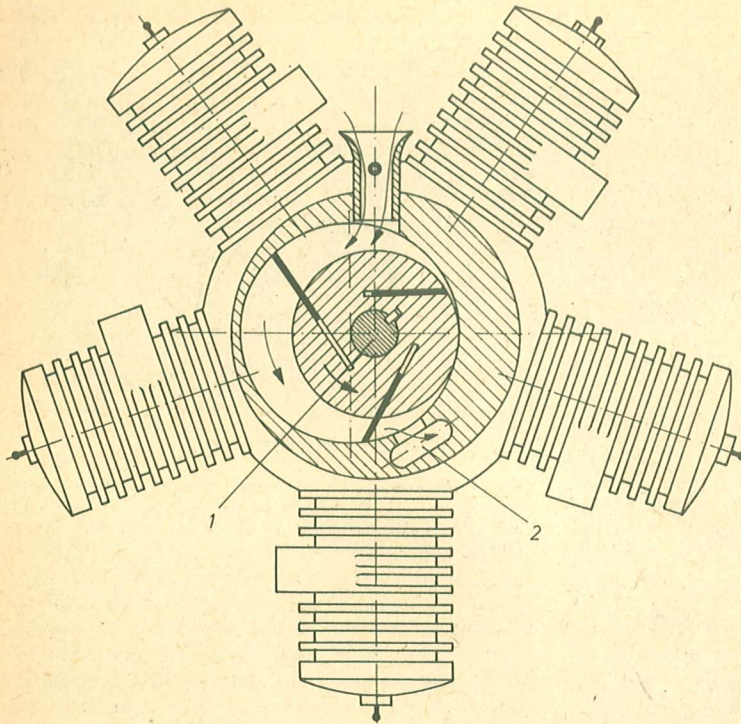


Bild 50
Um bei einem
Zweitakt-Sternmotor die
notwendige Spülluft unter
Druck in das Kurbelgehäuse
fördern zu können, ist der
Anbau eines Zellenverdichters
auf der Kurbelwelle eine sehr
gute konstruktive Lösung
1 – Kurbelwelle,
2 – Frischgaskanal zum
Kurbelgehäuse

Wesentlich häufiger als Sternmotoren, da leichter im Eigenbau herstellbar, sind „falsche“ Sternmotoren, die aus mehreren gekoppelten Einzylinder-Zweitaktmotoren bestehen, wie im Bild 49 (S. 35)

gezeigt. Ein vollständiger Massenausgleich wird bei dieser Art Koppelmotoren dadurch erreicht, daß alle Einzelmotoren gleichzeitig zünden.

2.3. Der Kreiskolbenmotor System Wankel

2.3.1. Funktionsprinzip des KKM

1956 trat der Motorrad- und Autohersteller NSU mit einem von Dr. Wankel entwickelten Kreiskolbenmotor an die Öffentlichkeit. Obwohl seit der ersten Vorstellung über 20 Jahre vergangen sind, konnte der Kreiskolbenmotor weder im Automobilbau noch im Motorradbau den vorausgesagten Siegeszug antreten. Relativ häufig zu finden ist er als Motor für kleine stationäre Antriebe, für Boote und Schneemobile.

Auch auf dem Gebiet der Modellmotoren blieb es bisher bei den $4,9 \text{ cm}^3$ -KKM der Fa. O.S. aus Japan

(Bild 51). Komplizierte Fertigung der Epitrochoidenform des Stators und damit ein hoher Preis scheinen hier entscheidend für die mäßige Verbreitung dieser Motorenart zu sein. Die große Laufruhe dieser Motorengattung läßt sie dabei geradezu ideal für den RC-Modellflug erscheinen.

Die Funktionsweise eines solchen Motors zeigt Bild 52 in einer schematischen Darstellung:

Bild 52/1:

Kammer 1, Zündung erfolgt,

Kammer 2, Ausschleiben des verbrannten Gases,

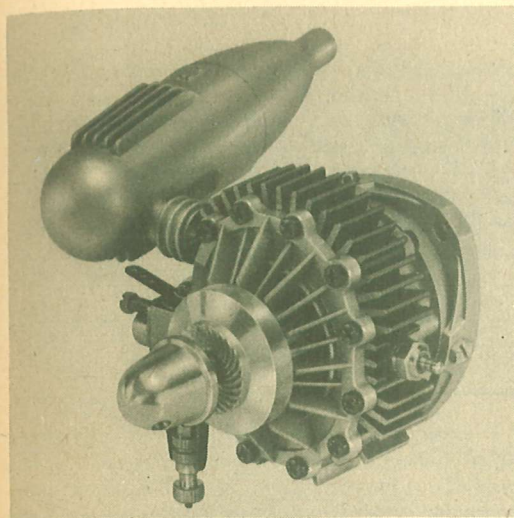
Kammer 3, Ansaugen.

Bild 52/2:

Kammer 1, Ausdehnen (Arbeitsakt)

Kammer 2, Ausschleiben des verbrannten Gases,

Bild 51 Kreiskolbenmotor (KKM) System Wankel mit 4,9 cm³ Kammervolumen, hergestellt von O.S. Japan



Kammer 3, Ansaugen

Bild 52/3:

Kammer 1, Ausdehnen (Arbeitstakt)

Kammer 2, Ende des Ausschlebens, Beginn des Ansaugens

Kammer 3, Verdichten des Frischgases

Um die Bewegung des Rotors im Stator zu gewährleisten, ist ein besonderes Getriebe notwendig. Dazu lagert der Rotor auf einem Exzenter, wie im Bild 53 zu sehen ist. Der Rotor ist außerdem mit einer Innenverzahnung ausgerüstet und die Exzenterwelle mit einem Zahnrad. Dieses Getriebe läßt

Bild 52 Funktionsweise eines KKM; 1 – Zünden/Ausdehnen, 2 – Ausstoßen, 3 – Ansaugen/Verdichten

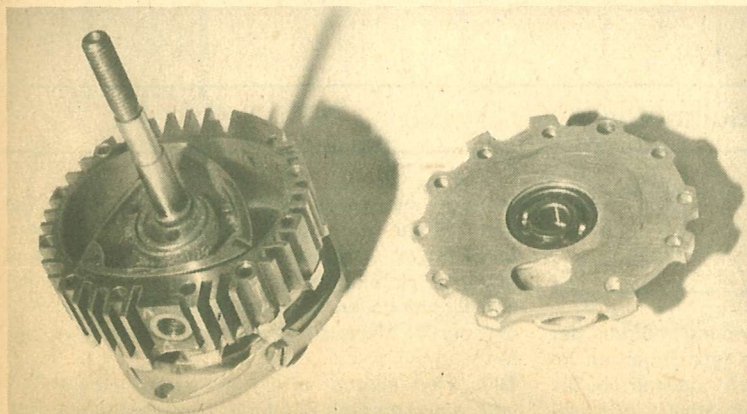
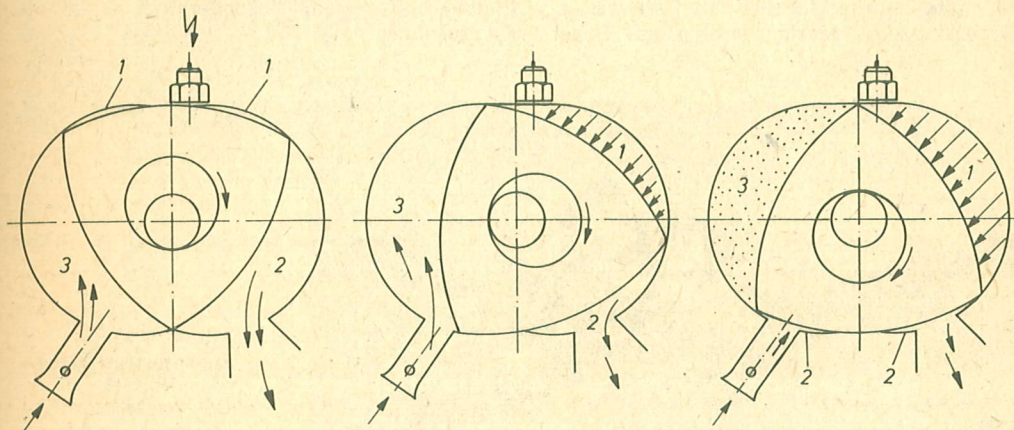


Bild 53

Am demontierten KKM von O.S. ist deutlich die Exzenterwelle zu erkennen, auf der der Rotor läuft. Gut erkennbar sind außerdem die Dichtleisten, die ähnlich in der Funktion von Kolbenringen, die einzelnen Kammern gegeneinander abdichten und die Wärme vom Rotor zum Stator ableiten.

nur eine Bewegung des Rotors auf dem Exzenter von 2 Rotorumdrehungen auf 3 Umdrehungen der Exzenterwelle zu. Die Exzenterwelle ist gleichzeitig die Abtriebswelle. Da der Motor pro Rotorumdrehung 3 mal zündet, die Exzenterwelle sich dabei 1,5 Umdrehungen dreht, erfolgen 2 Zündungen pro Umdrehung der Abtriebswelle. Damit erreicht der Motor den gleichen Gleichförmigkeitsgrad der Drehbewegung wie ein Zweizylinder Zweitaktmotor oder ein Vierzylinder Viertaktmotor. Da es außerdem möglich ist, mit Hilfe von Ausgleichsgewichten auf der Exzenterwelle einen vollständigen Massenausgleich für den Rotor zu erzielen, läuft er fast turbinenartig.

2.3.2. Besonderheiten beim Betrieb von KKM

Der KKM gibt wie alle Modellmotoren erst bei hoher Drehzahl seine Maximalleistung ab. Daher

sollte der O.S.-KKM mit Propellern von 200 bis 250 mm Durchmesser und 120 bis 150 mm Steigung geflogen werden. Auf Grund seiner Zündfolge ist ein Anlassen nur mit einem Hilfsmittel (Elektro- oder Seilstarter) möglich. Die hohe thermische Belastung erfordert eine Spezialglühkerze mit hoher Temperaturbeständigkeit. Der Kraftstoff für den O.S.-KKM sollte 30 % Öl enthalten, da er sonst dazu neigt, mitten im Motorlauf ohne vorheriges Anzeichen, abzustellen.

2.3.3. Mehrscheiben KKM

Als einziges bekannt gewordenes Mehrscheiben KKM-Triebwerk kann der in Bild 54 gezeigte, aus zwei O.S.-Wankelmotoren hergestellte Zweischeibenmotor angesehen werden. Dieser Motor hat eine turbinenartige Laufruhe bei sehr guter Motorleistung und ist damit besonders gut für den RC-Flug geeignet.

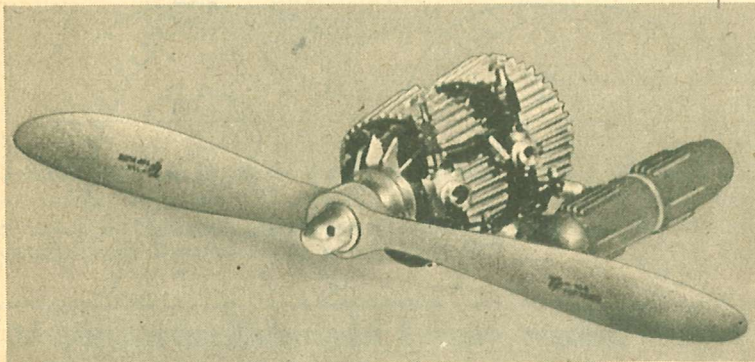


Bild 54
Turbinenartige Laufruhe
verspricht dieser aus zwei
O.S.-Wankelmotoren
gefertigter
2-Scheiben-Wankelmotor.

2.4. Der Viertakt-Modellmotor

2.4.1. Funktionsweise des Viertaktmotors

Die älteste Bauart des Verbrennungsmotors, der Viertaktmotor, fand erst in den letzten Jahren im größeren Maße Verwendung als Modellantrieb. Die Notwendigkeit, eine leisere Alternative zum hoch-

tourigen, heulenden Zweitakt-Modellmotor zu finden, führte zum großvolumigen Viertaktmotor. Möglich war diese Entwicklung durch die Freigabe größerer Hubräume für den Antrieb von Schiffs- und Flugmodellen und die Bereitschaft vieler Modellsportler, diese aufwendigen Triebwerke zu kaufen (Bild 55).

Beim Viertaktmotor erfolgt auf zwei Kurbelwellenumdrehungen eine Zündung. Um die damit auftre-

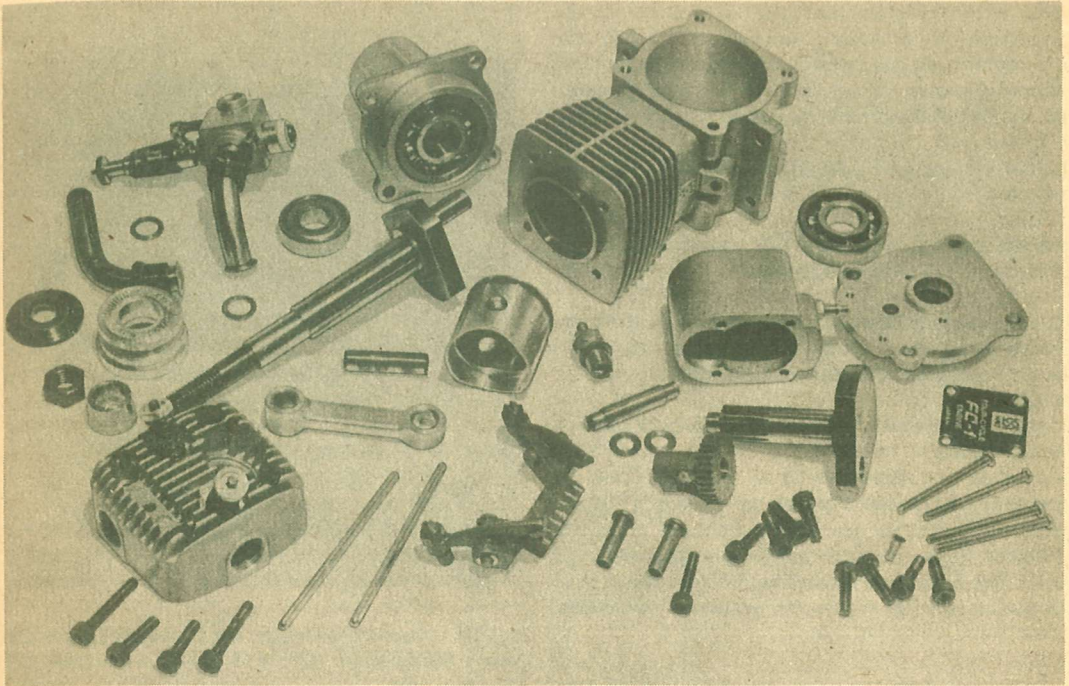
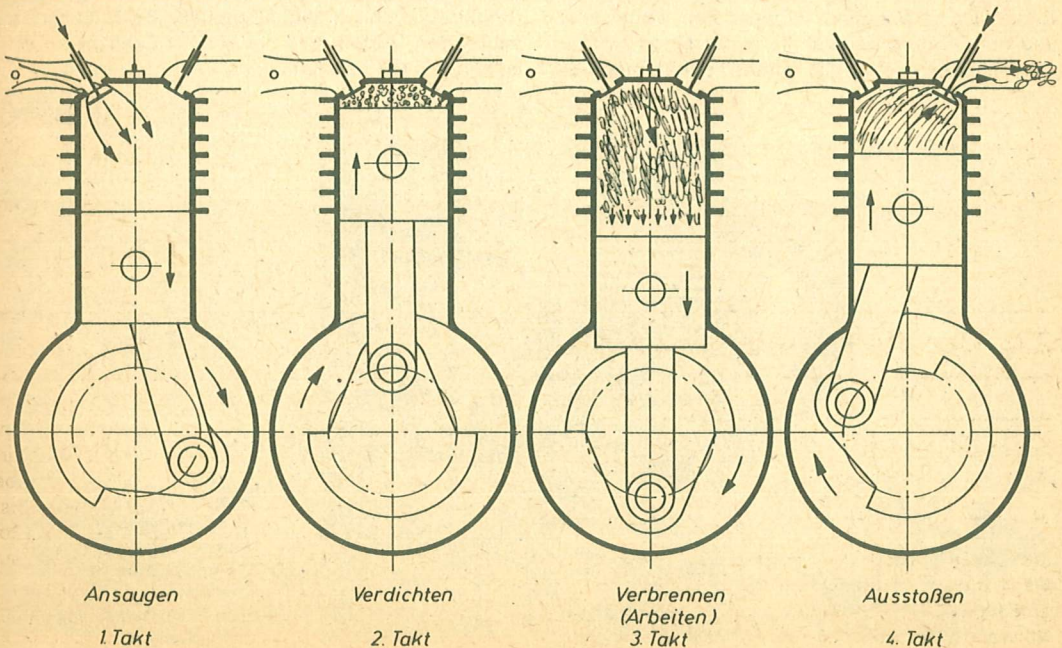


Bild 55 Diese Aufnahme eines demontierten 10 cm³-Viertaktmotors der japanischen Firma Kalt zeigt die große Anzahl von Einzelteilen eines Viertaktmotors. Der Kalt-Motor hat eine untenliegende Nockenwelle, die Ventile werden über Stoßstangen und Kipphebel betätigt.

Bild 56 Funktionsweise eines Viertaktmotors



tende hohe Ungleichförmigkeit der Drehmomentenabgabe zu verbessern, werden die Viertakt-Modellmotoren oft als Zweizylinder Boxermotoren mit 20 cm^3 Hubraum gebaut. Wie aus Bild 56 zu ersehen ist, hat der Viertaktmotor folgende Funktionsweise:

1. Takt

Kolben bewegt sich zum UT, Einlaßventil offen, Ansaugtakt.

2. Takt

Kolben bewegt sich zum OT, beide Ventile geschlossen, – Verdichtungstakt –

3. Takt

Zündung erfolgt, Kolben bewegt sich auf Grund der Ausdehnung des Verbrennungsgases zum UT, beide Ventile geschlossen – Arbeitstakt –

4. Takt

Kolben bewegt sich zum OT, Auslaßventil offen – Ausschubtakt –

Aus dieser Arbeitsweise ist zu ersehen, daß die Steuerorgane (meist Ventile) bei jeweils 4 Takten gleich 2 Umdrehungen der Kurbelwelle einmal in Tätigkeit treten. Daraus resultiert ein Übersetzungsverhältnis Kurbelwelle zum Steuerorgan (meist Nockenwelle) von 1:2. Weitere Hinweise zu Viertaktmotoren siehe Abschnitt 6.4.

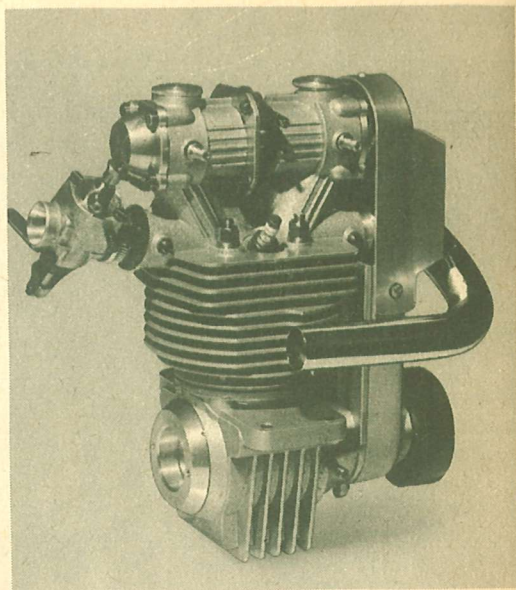


Bild 58 10 cm³-Viertaktmotor mit Zwangssteuerung der Ventile aus Italien, er erreicht 16 000 1/min und gibt 1 kW ab

2.4.2. Bauarten der Steuerung

Neben der vorwiegend verwendeten Ventilsteuerung mit Öffnung der Ventile durch einen Nocken und schließen der Ventile mittels Federn, sind ver-

schiedene Arten der Schiebersteuerung und die desmodromische Ventilsteuerung (Zwangssteuerung) gebräuchlich (Bild 57 und 58). Beide Bauarten haben den Vorteil, daß sie höhere Drehzahlen erlauben, als die herkömmliche Ventilsteuerung.

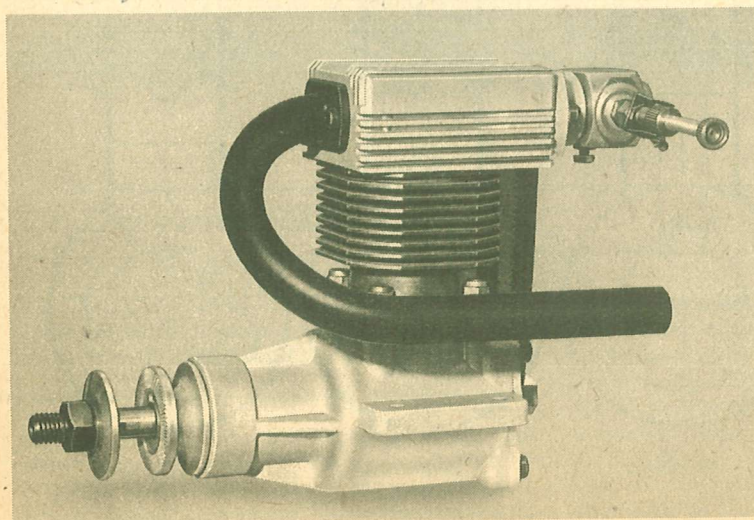


Bild 57
15 cm³-Versuchsmotor mit Konusdrehchieber im Zylinderkopf. Der Antrieb des Drehchiebers erfolgt durch einen Zahnriemen von der Kurbelwelle aus.

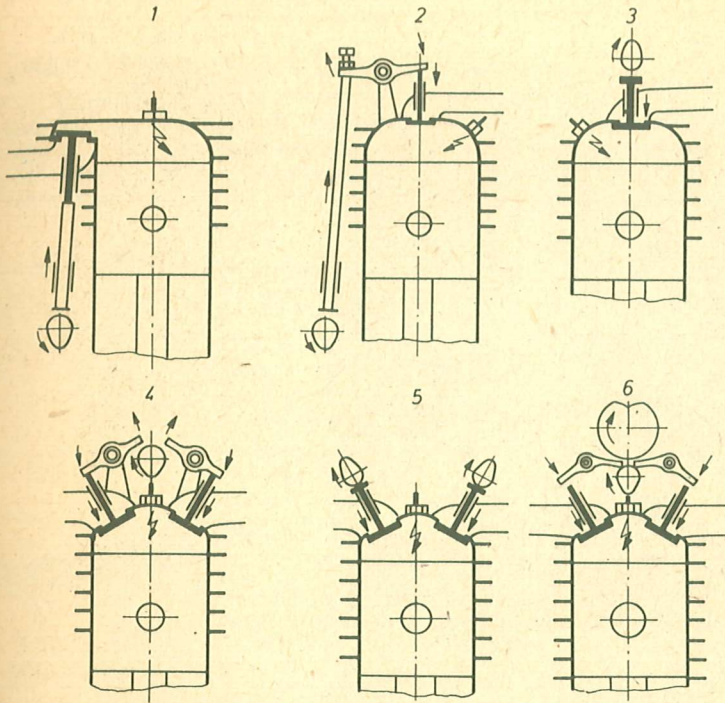


Bild 59 Bauarten der Steuerung von Viertaktmotoren

1 – Nockenwelle unterliegend, Ventile stehend; 2 – Nockenwelle unten liegend, Ventile parallel hängend; 3 – Nockenwelle oben, Ventile parallel hängend; 4 – Nockenwelle oben, Ventile schräg hängend; 5 – Zwei Nockenwellen, obenliegend, Ventile schräg hängend; 6 – Desmodromosche Ventilsteuerung (Zwangssteuerung) mit zwei Nockenwellen (1–5 ohne Ventildfedern gezeichnet)

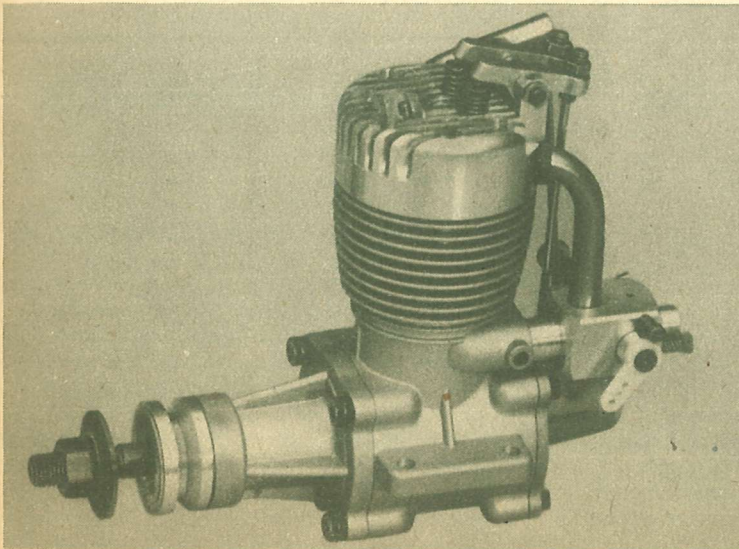


Bild 60
Viertakt-Modellmotor mit
parallel hängenden Ventilen
und untenliegender
Nockenwelle der Fa. O.S.

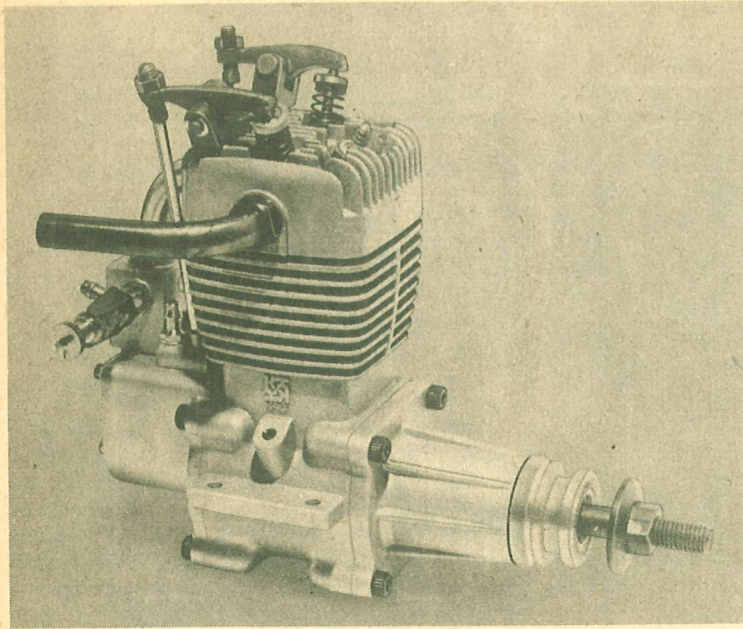


Bild 61
Viertakt-Modellmotor mit
schräg hängenden Ventilen
und untenliegender
Nockenwelle mit 10 cm³
Hubraum der japanischen Fa.
Kalt

Bei der herkömmlichen Ventilsteuerung unterscheidet man die

- stehenden Ventile mit untenliegender Nockenwellen. (Bild 59/1) Diese Bauart zwingt zu einer ungünstigen Brennraumform, die große Massen der Ventile und Stoßstangen erlauben keine hohe Drehzahl, für Modellmotoren nicht gebräuchlich.
- parallel hängende Ventile mit untenliegender Nockenwelle (Bild 59/2), günstigere Brennraumform trotz großer Massen der Ventile und Stoßstangen im Modellmotor verwendet (Bild 60).
- schräg hängende Ventile mit untenliegender Nockenwelle, bestmögliche Brennraumform für Viertaktmotoren, häufigste Konstruktionsform bei Modellmotoren (Bild 61).
- schräg hängende Ventile mit einer obenliegenden Nockenwelle (Bild 59/4).
- schräg hängende Ventile mit zwei obenliegenden Nockenwellen (Bild 59/5).

Beide sind auf Grund der guten Brennraumform und der geringen Massen des Ventiltriebs beste Konstruktionsart für schnellaufende Motoren.

Die in den Bildern 59/4 und 59/5 gezeigten Bauformen ermöglichen außerdem große Ansaugquerschnitte und damit einen guten Füllungsgrad. Sie stellt damit die einzige Konstruktionsart neben der Schiebersteuerung und der Zwangssteuerung (Bild 59/6) dar, die sich für hochdrehende, lei-

stungsfähige Modellmotoren in Viertakt-Bauweise eignet.

2.4.3. Besonderheiten beim Betrieb von Viertaktmotoren

Da die Viertakt-Modellmotoren meist nur 10 000 1/min erreichen und bei 20 cm³ Hubraum etwa 1,2 kW abgeben, kommen sie auch dem Bestreben nach größeren Modellen und den dadurch notwendigen großen Luftschauben entgegen. Alle Viertakt-Modellmotoren können ohne Schalldämpfer-betrieben werden. Als Kraftstoff dient ein Methanol-Öl-Gemisch mit ca. 5 % Öl. Bei einigen Motoren ist der Betrieb mit reinem Methanol möglich. Bei Verwendung von reinem Methanol wird vor jedem Start eine bestimmte Ölmenge in das Kurbelgehäuse des Motors gegeben. Häufig wird vom Hersteller die Verwendung nicht harzender synthetischer Motoröle empfohlen. Der ständige Betrieb von Viertakt-Modellmotoren mit Ventilsteuerung in der Nähe ihrer oberen Drehzahlgrenze ist nicht ratsam.

Da eine starke Abkühlung der Glühkerze im Ansaugtakt erfolgt, sind spezielle Glühkerzen mit ho-

hem Wärmehaltevermögen erforderlich. Obwohl das Anlassen meist mit Hilfsmitteln erfolgt, sind Viertakt-Modellmotoren nach folgenden Verfahren leicht von Hand zu starten: Motor so zum OT drehen, daß der Arbeitstakt (Takt 3) abgeschlossen ist, Kraftstoff in das Auspuffrohr einspritzen, Glühkerze unter Spannung setzen, Motor kurz entgegen der Drehrichtung anreißen.

2.4.4. Mehrzylinder-Viertaktmotoren

Zur Kompensierung des hohen Grades an ungleichmäßiger Drehmomentabgabe bei Viertaktmotoren (1 Zündung auf zwei Umdrehungen der Kurbelwelle) werden relativ viele 2-Zylinder Boxer und V-

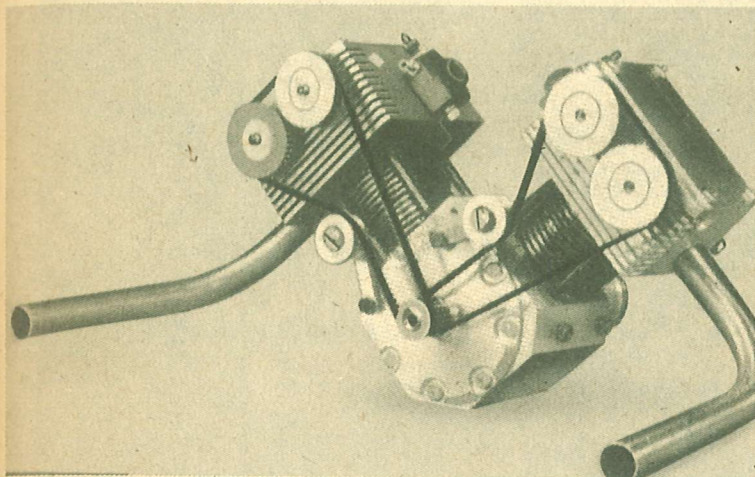
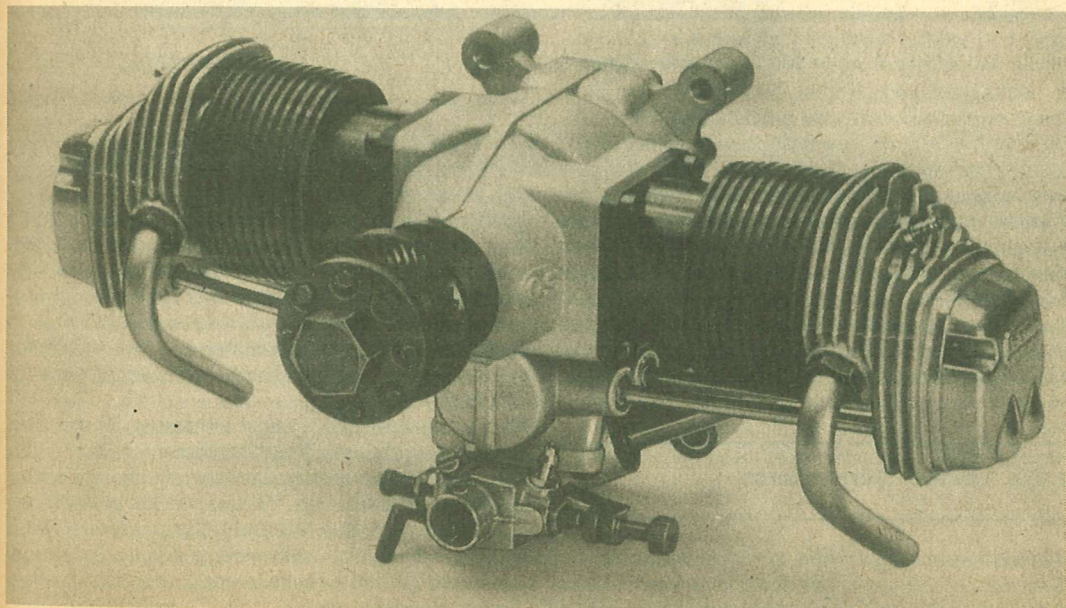


Bild 62
20 cm³-Zweizylinder-Viertaktmotor in V-Bauweise mit 2 obenliegenden Nockenwellen je Zylinder und Zahnriemen als Nockenwellenantrieb

Bild 63 20 cm³-O.S.-Motor aus Japan in Boxerbauweise



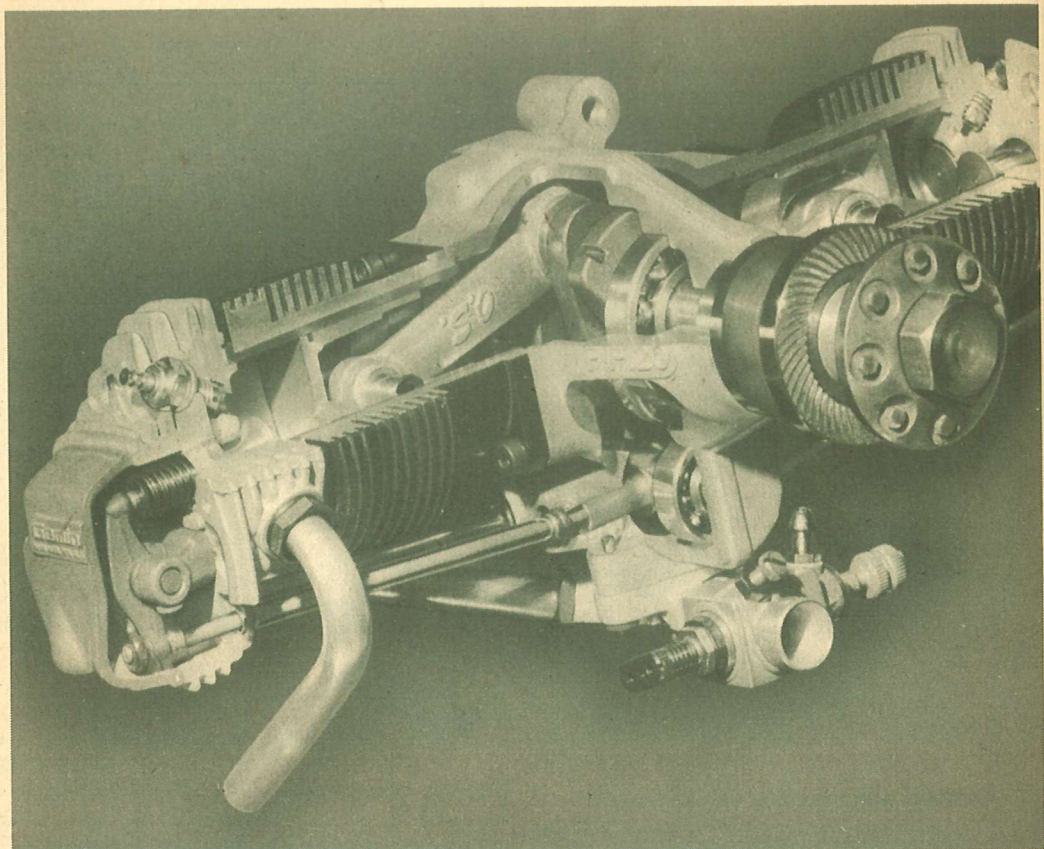


Bild 64 Schnittmodell des im Bild 63 gezeigten Motors

Motore gebaut und angeboten. Bild 62 zeigt einen V-Motor mit zwei obenliegenden Nockenwellen pro Zylinder und Antrieb der Nockenwellen mittels Zahnriemen. Dieser Motor ist auch als Boxermotor im Angebot. Mit untenliegender Nockenwelle ist der in den Bildern 63 u. 64 gezeigte OS-Boxer-Motor ausgerüstet. An Hand des Bildes 64 ist sehr gut der konstruktive Aufbau des Motors ersichtlich.

2.4.5. Viertakt-Sternmotoren

Viertakt-Sternmotoren sind als Modellmotoren mit fünf, sieben und neun Zylindern bei einem Gesamthubraum von etwa 13 bis 50 cm³ bekannt geworden.

Sie lassen eine sehr hohe Laufkultur, d. h. eine sehr gleichmäßige Drehmomentabgabe erwarten. So kommen beim Neunzylinder-Sternmotor 4,5 Zündungen auf eine Kurbelwellenumdrehung. Bei aller Hochachtung vor der technischen Leistung der Motorenbauer, haben diese als Einzelstücke oder in Kleinserien erzeugten Motoren als Antriebsmotor für Modelle bisher keine Bedeutung erlangt (Bild 65).

Es ist aus der Literatur sogar ein Neunzylinder-Viertakt-Sternmotor mit 90 cm³ Hubraum bekannt, der ein Ladegebläse besitzt, das über ein Übersetzungsgetriebe im Verhältnis 1:4 von der Kurbelwelle angetrieben wird. Die Drehzahl dieser Motoren liegt mit etwa 5000 1/min sehr niedrig und ihr Ansprungsverhalten ist meist recht schlecht, bei sehr komplizierter Handhabung.

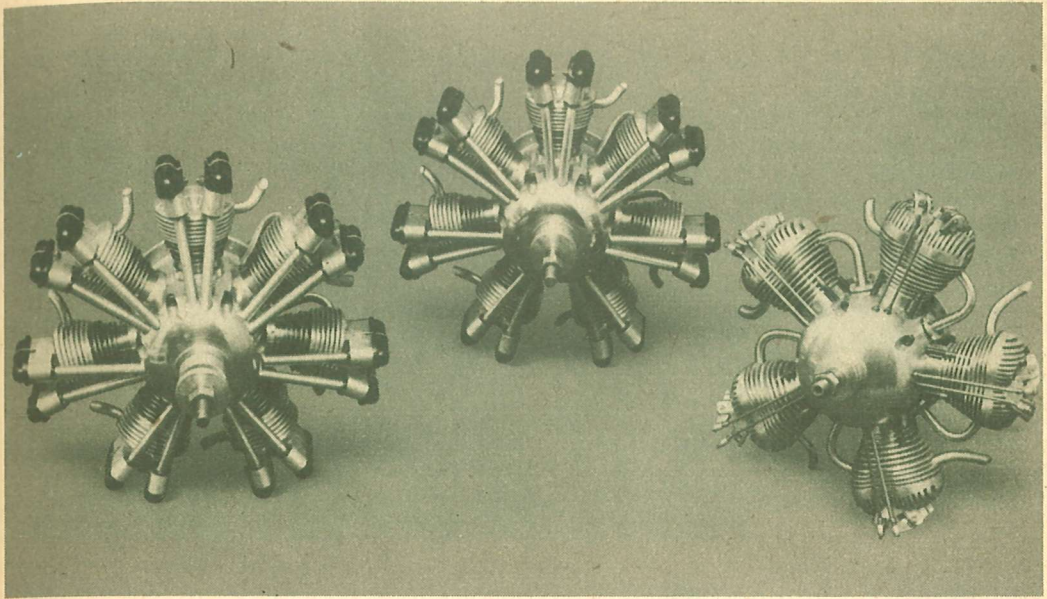


Bild 65 Fünf- und Siebenzylinder-Viertaktmotore in Sternbauweise aus England. Die Drehzahl dieser Motore beträgt maximal 5000 1/min

2.5. Der Druckgas-Modellmotor

2.5.1. Funktionsweisen

Modellmotoren, die nach dem Prinzip der Dampfmaschine mit Preßluft arbeiten, gab es schon vor 1914. Diese Motoren hatten eine sehr kurze Laufzeit, konnten aber kurzfristig bis zu 0,74 kW abgeben. Die Druckluftflasche mußte umständlich mit einer Luftpumpe gefüllt werden. Die Konstruktionen waren meist 3-Zylinder-Sternmotoren und stellten damit eine Verkleidung der damals in der Marine verwendeten Torpedomotoren dar, die mit einem Preßluft-Dampfgemisch betrieben wurden (Bild 66). Erst in den letzten Jahren erkannte man, daß mit den handelsüblichen Kohlesäurepatronen für Heimsprudler eine neue billige Energiequelle für Druckgas-Motoren nutzbar wurde. Es entstanden in aller Welt die CO₂-Motoren. Meist mit Hubraum um 0,3 cm³ erreichten diese sehr leichten Motoren beachtliche Leistungen und Laufzeiten. Besonders in England wurde die Entwicklung dieser Motoren vorangetrieben.

Die neuzeitlichen CO₂-Motoren arbeiten folgendermaßen:

Ein im Zylinderkopf befindliches Kugelventil verschließt die Zuleitung zum Druckbehälter. Der Kolben besitzt eine Zapfen auf dem Kolbenboden. Der Zapfen stößt im OT gegen das Kugelventil und öffnet es kurzzeitig. Das Gas strömt ein, entspannt sich und drückt dabei den Kolben herunter. Im UT-Bereich erfolgt durch mehrere Abblasöffnungen ein Entspannen des Gases im Zylinder. Durch die kinetische Energie des Propellers wird der Kolben wieder zum OT bewegt, so daß der Vorgang wiederholt wird (Bild 67). Die Regulierung der Motordrehzahl erfolgt meist durch Drehen des gesamten, in das Motorengehäuse eingeschraubten, Zylinders. Dabei wird die Hubhöhe des Kugelventils und damit die einströmende Gasmenge pro Kolbenhub verändert.

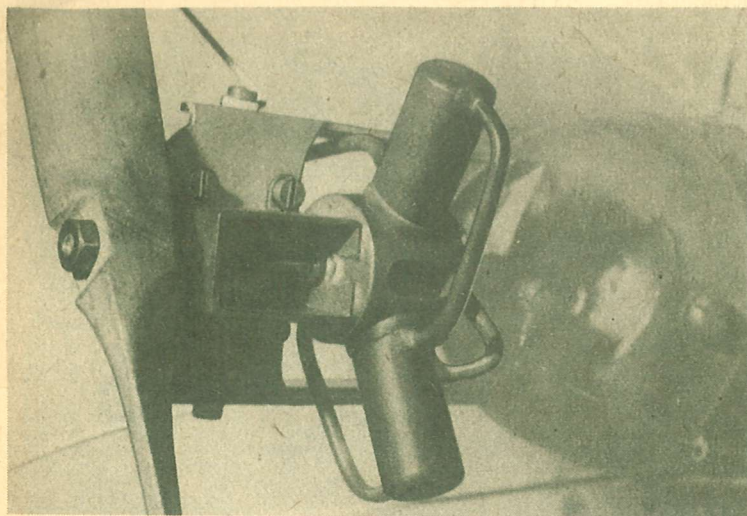


Bild 66
3-Zylinder Druckgasmotor in
Sternbauweise aus den Jahren
um 1910

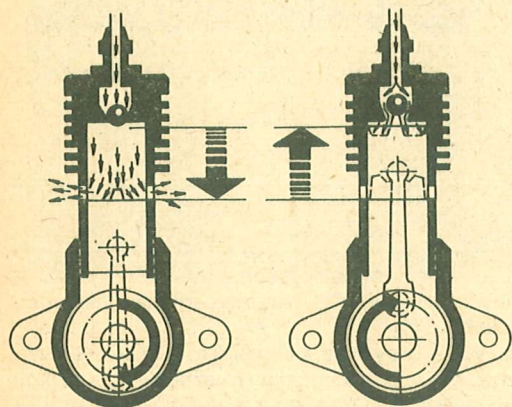


Bild 67 Funktionsweise eines CO₂-Motors

2.5.2. Antriebsmedien und ihre Speicherung

Prinzipiell können alle komprimierten Gase als Antriebsmedien für Druckgasmotoren verwendet werden. Anfangs wurden große Druckflaschen aus dünnem Stahlblech oder Messingblech verwendet, die durch umwickeln und verlöten mit dünnem Stahdraht druckbeständiger gestaltet werden. Diese Druckflaschen wurden bei Flugmodellen wegen ihrer Größe als Rumpf genutzt (Bild 68). Mittels Luftpumpe wurden diese Druckflaschen aufgefüllt und reichten für einige Sekunden bis 1 Minute Motorlauf.

Mit den Kohlensäurepatronen für Heimsprudler und den Stickstoffpatronen für Sahnesyphons stehen heute preiswerte Gasspeicher für Druckgasmotoren zur Verfügung, die auf Grund ihres hohen Gewichts jedoch für den direkten Einbau in ein Modell ungeeignet sind. Daher werden meist kleinere leichte Aluminium-Druckbehälter als Gastanks benutzt (siehe Bild 72), die mit Gaspatronen nachgefüllt werden. Für längere Laufzeiten werden entweder mehrere solcher Gastanks gekoppelt oder größere Tanks, die gleich als Motorträger ausgebildet sind, benutzt (Bild 69). Bei kleineren Gastanks, wie der des Modela-Motors reicht eine CO₂-Patrone für 10–12 Füllungen.

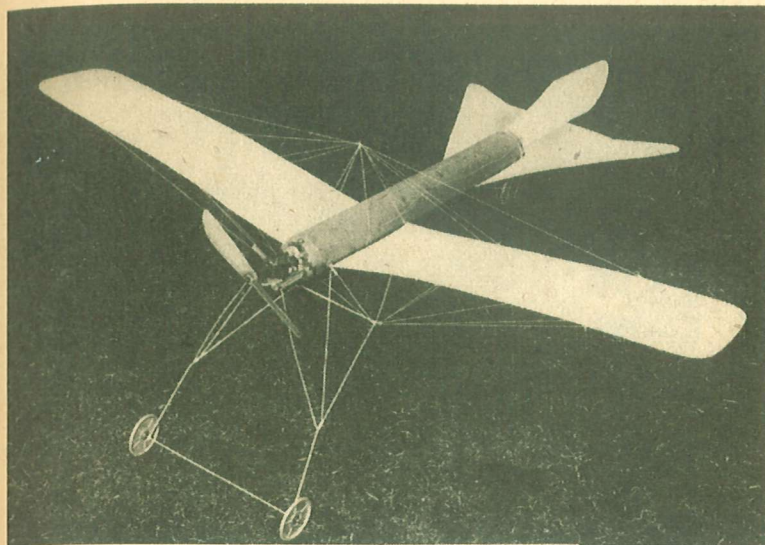


Bild 68
Flugmodelle aus den Jahren um 1910, bei dem die leichte Druckflasche als Rumpf ausgebildet worden ist. Der Motor ist in Bild 66 gezeigt.

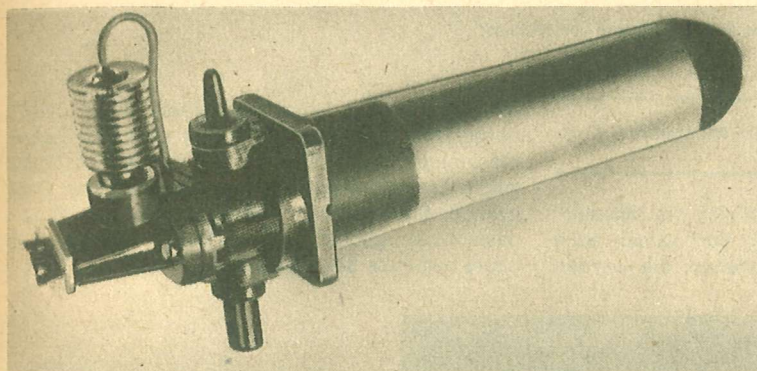


Bild 69
CO₂-Motor aus England mit extrem großem, angeflanschten Gastank für lange Laufzeit

2.5.3. Betriebsverhalten von Druckgasmotoren

Die von einem Druckgasmotor abgegebene Leistung ist von dem Druck des Antriebsgases abhängig. Je höher der Druck und damit die in dem Zylinder eingelassene Gasmenge ist, desto höher wird die Motorleistung. Daraus resultiert, daß mit dem Druckabfall im Vorratstank die Motorleistung abnimmt. Außerdem sinkt, konstante Tankgröße vorausgesetzt, mit steigender Leistungsabforderung

die Laufzeit. Im Bild 70 ist das Drehzahl-Laufzeitverhalten des 0,27 cm³ Modela-CO₂-Motors als Beispiel aufgezeigt.

Bei einem CO₂-Motor wird im Zylinder nur Gas entspannt. Das Gas entzieht dabei der Umgebung Wärme. Daraus resultiert, daß die Kühlrippen an einem CO₂-Motor eigentliche Heizrippen sind, denn sie vereisen beim Motorlauf. Da CO₂-Motoren keine natürliche Schmierung besitzen, sind Pleuellager und Pleuellager jeweils nach einigen Motorläufen durch ein paar eingespritzte Tropfen dünnflüssigen Öles zu schmieren. Rizinusöl ist auf Grund seiner hohen Viskosität ungeeignet.

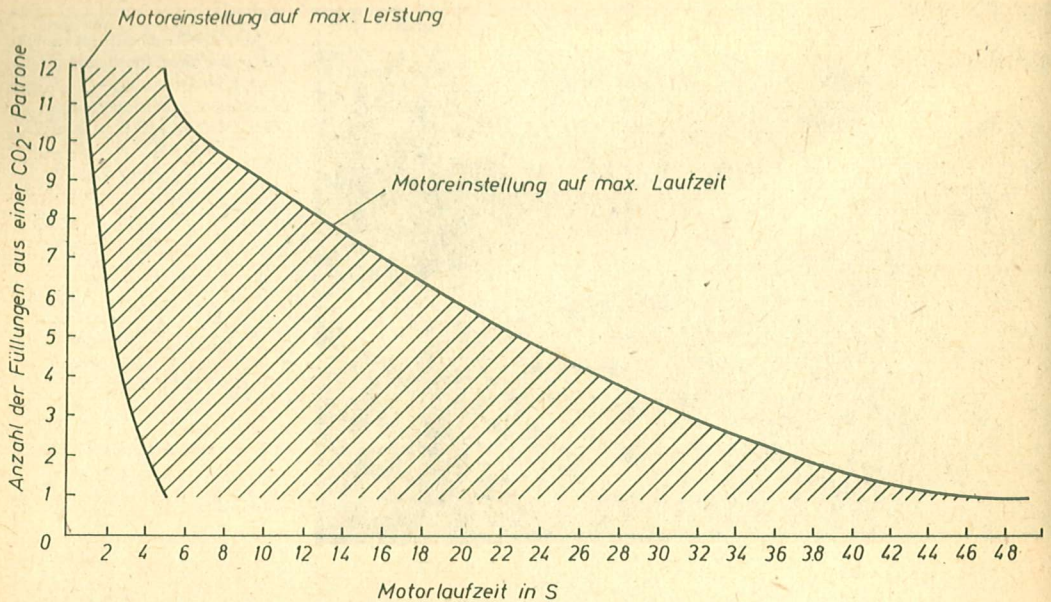


Bild 70 Drehzahl-Laufzeit-Diagramm des CO₂-Motors von Modela

2.5.4. Mehrzylinder-Druckgasmotoren

Besonders in England widmeten sich die Motorenhersteller dem CO₂-Motor. Von dort kamen auch die ersten mehrzylindrigen Einheiten. Sie werden

mit einem großen Druckbehälter wie der im Bild 71 dargestellte „falsche“ Sternmotor oder mit mehreren kleinen Druckbehältern wie der in Bild 72 gezeigte Zweizylinder Boxermotor ausgerüstet. Dreizylinder Sternmotoren, wie sie um 1914 als Druckgasmotoren gebaut wurden (siehe Bild 66) sind heute begehrte Sammelobjekte.

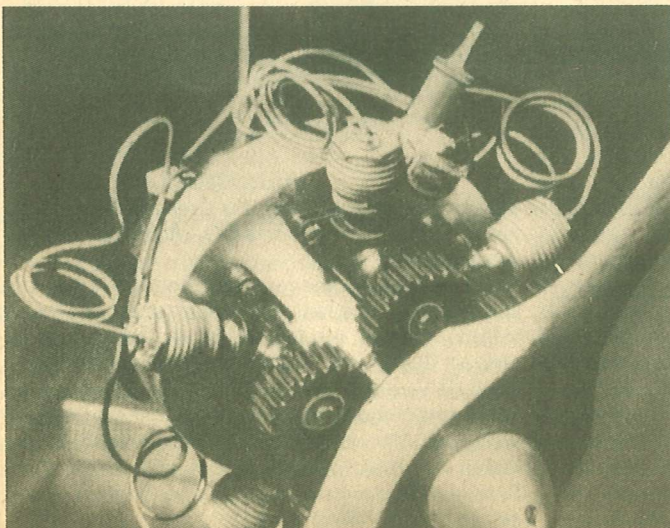


Bild 71

In England wird dieser „falsche“ CO₂-Sternmotor hergestellt. Für den erheblichen Gasbedarf ist er mit einem großen Druckbehälter ausgerüstet.

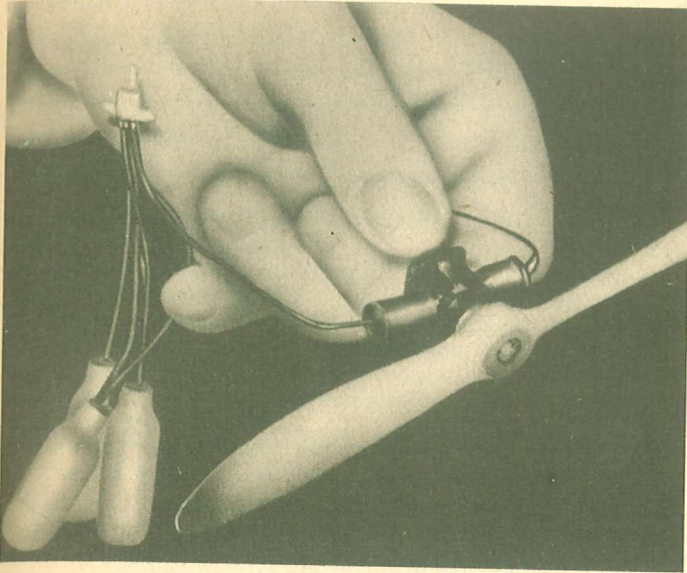


Bild 72
Ebenfalls aus England stammt
dieser Zweizylinder-Boxermotor
mit mehreren Druckbehältern.

Bild 71
mehrere
72 ge-
Drei-
Druck-
sind

den
einem
tet.

3. Konstruktive Auslegung des Zweitakt-Modellmotors

3.1. Die Motorgröße

3.1.1. Hubraum – internationale Hubraumteilung

Der Hubraum oder das Hubvolumen (V) eines Motors errechnet sich durch die Multiplikation von Kolbenfläche, Hub- und Zylinderzahl. Also

$$V = A_{\text{kolben}} \times H \times i = d^2_{\text{kolben}} \times \frac{\pi}{4} \times H \times i$$

(V in cm³; d und H in cm)

Bei Modellmotoren sind für den Hubraum die Angaben in cm³ und in cu/in (Kubikzoll) üblich. Bei der Angabe in Kubikzoll wird vor der Zahl im allgemeinen ein Punkt gesetzt, was 0, ... bedeutet. Ein Kubikzoll hat 16,387 cm³. Ein Motor mit der Hubraumangabe .15 hat demnach 0,15 cu/in. = 0,15 × 16,387 = 2,45 cm³.

Für Renn- und Wettkampfmodelle sind international folgende Hubräume üblich: 0,8 cm³; 1,5 cm³; 2,0 cm³; 2,5 cm³; 3,5 cm³; 5 cm³; 6,6 cm³; 10 cm³ und 15 cm³.

Außerdem werden noch Motoren mit Hubräumen unter 0,8 cm³, mit 1 cm³ und mit einer Vielzahl von Stufungen zwischen 3,5 und 15 cm³ gebaut sowie Viertaktmotoren mit 20 cm³ als ein- und zwei-Zylinder-Einheiten.

3.1.2. Hub-Bohrungsverhältnis

Mit dem Verhältnis zwischen Kolbendurchmesser und Kolbenhub, dem Hubbohrungsverhältnis kann

konstruktiv die Leistungscharakteristik des Motors beeinflusst werden. Ist der Hub größer als der Kolbendurchmesser spricht man von einem Langhuber, sind sie gleich von einem Quadrathuber und ist der Kolbendurchmesser größer als der Hub, so spricht man von einem Kurzhuber.

Langhuber sind im allgemeinen langsamlaufende Motoren und Quadrat- und Kurzhuber schnelllaufende Motoren. Seit einigen Jahren werden für Flugmodelle Langhuber verwendet, da sie aufgrund ihres hohen Drehmoments größere Propeller bewegen können.

Das Hub-Bohrungsverhältnis errechnet sich durch Teilen des Hubs durch den Bohrungsdurchmesser und ergibt eine dimensionslose Zahl. Als Beispiel einige ausgeführte Hub-Bohrungsverhältnisse am 2,5 cm³ Motor:

Hub	Bohrung	Hubraum	H-B-Verhältnis
16 mm	14 mm	2,46 cm ³	1,143
15 mm	14,5 mm	2,47 cm ³	1,034
14,5 mm	14,6 mm	2,43 cm ³	0,993
14 mm	15 mm	2,47 cm ³	0,933
13 mm	15,5 mm	2,45 cm ³	0,839

Das Verhältnis

$$\frac{14 \text{ mm Hub}}{15 \text{ mm Bohrung}} = 0,933$$

hat sich im Laufe der Zeit für diese Motorgröße als das günstigste herausgestellt und wird heute fast ausschließlich angewendet.

3.2. Der Kurbeltrieb

3.2.1. Kolbengeschwindigkeit

Eng mit dem Hub-Bohrungsverhältnis hängt die Kolbengeschwindigkeit zusammen.

Bei konstanter Drehzahl ergibt ein großer Hub eine höhere Kolbengeschwindigkeit als ein kleiner Hub. Um bei sehr hohen Drehzahlen die Kolbengeschwindigkeit und damit die Massenkräfte des Triebwerkes in beherrschbaren Grenzen zu halten, muß ebenfalls mit kleinem Hub und damit mit Kurzhubern gearbeitet werden.

Da der Kolben auf dem Weg vom unteren zum oberen Totpunkt seine Geschwindigkeit ständig ändert und in den Totpunkten jeweils die Geschwindigkeit 0 hat, rechnet man mit der mittleren Kolbengeschwindigkeit (c_m).

c_m errechnet sich aus der Drehzahl und dem Hub und wird in m/sec angegeben.

$$c_m = 2H \cdot \frac{n}{60}$$

(H in m; n in 1/min)

Als größte beherrschbare mittlere Kolbengeschwindigkeit im Fahrzeugmotorenbau werden 21 bis 25 m/s angesehen.

Überprüfen wir anhand von zwei Beispielen von Modellrennmotoren die erreichten Höchstwerte in der Modellmotorentchnik:

Beispiel 1:

2,5 cm³ Glühzünder-Rennmotor mit Resonanzauspuff

Hub = 14 mm, Drehzahl 36 000 1/min

$$c_m = 2H \cdot \frac{n}{60} = 0,028 \cdot \frac{36\,000}{60} = 16,8 \text{ m/s}$$

Beispiel 2:

15 cm³ FSR-Rennbootsmotor mit Resonanzauspuff

Hub = 25 mm, Drehzahl 22 000 1/min

$$c_m = 2H \cdot \frac{n}{60} = 0,05 \cdot \frac{22\,000}{60} = 18,4 \text{ m/s}$$

Wir sehen aus diesen Rechenbeispielen, daß die mittlere Kolbengeschwindigkeit auf Grund des geringen Kolbenhubs trotz der hohen Drehzahl noch unter den im Großmotorenbau üblichen Höchstwerten liegen. Sie erreicht selbst bei Hochleistungs-Modellmotoren nur Werte, wie sie in Sportwagen-Motoren üblich sind.

3.2.2. Pleuellänge, Kolbenseitendruck, deaxierter Kurbeltrieb

Bild 73/1 zeigt die Aufteilung der Kräfte an einem Kurbeltrieb. Es ist daraus ersichtlich, daß über das Pleuel eine recht hohe Kraft seitlich auf die Kolben bzw. Zylinderwand drückt. Dieser Seitendruck des Kolbens auf den Zylinder ist mitverantwortlich für den Verschleiß von Kolben und Zylinder. Um den Verschleiß gering zu halten, wäre es gut, das Pleuel sehr lang auszuführen und so seinen Winkel zur Zylinderwand zu verringern, wodurch sich auch die auf die Zylinderwand wirkende Kraft verringern würde. Dagegen sprechen aber andere zu beachtende Komponenten wie Verdichtung im Kurbelgehäuse, Bauhöhe und Gewicht des Motors, so daß grundsätzlich das Pleuel so kurz, wie es Kolbenlänge und Kurbelwellenhub zulassen, ausgelegt wird. Dennoch gibt es die Möglichkeit, sie ist im Bild 73/2 dargestellt, durch Versetzen der Pleuwellen den Seitendruck des Kolbens zu verringern. Zwar erhöht sich der Seitendruck dann beim Verdichtungstakt wenn der Kolben auf der anderen Zylinderseite aufliegt, da dann die Kräfte sowieso geringer sind, tritt kein Nachteil ein.

Wichtig bei der Konstruktion eines Kurbeltriebs ist noch, daß der Pleuelbolzen genau in die halbe Höhe des Kolbens gelegt wird, da sonst der Pleuel ungleichmäßig gegen die Zylinderwand gedrückt wird und sich ungleichmäßig abnutzt. Im Bild 73/3 wird diese ungünstige Konstruktionsweise dargestellt.

Bild 73 siehe Seite 52

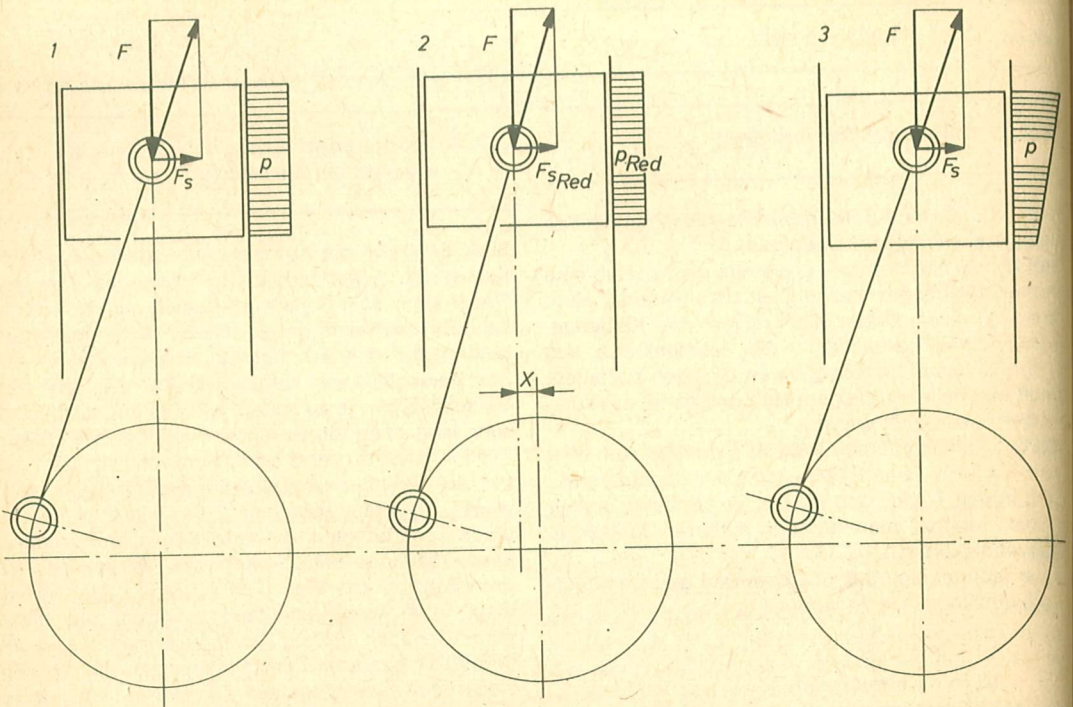


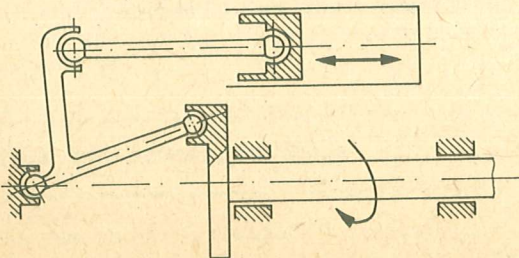
Bild 73 1 Die Kraftaufteilung am Kurbeltrieb zeigt die Seitendruckkraft am Kolben; 2 Verringerung der Seitendruckkraft durch Deaxierung des Kurbeltriebs; 3 Ungleichmäßige Seitendruck-Kraft durch falsche Kolbenkonstruktion

3.2.3. Sonderkonstruktionen

Sonderkonstruktionen auf dem Gebiet des Kurbeltriebs werden im Modellmotorensektor relativ selten angewendet, obwohl sie zum Teil sehr interessante Lösungswege zeigen.

Mit Hilfe des im Bild 74 gezeigten räumlichen Kur-

Bild 74 Kurbeltrieb für einen Oneline-Motor, eine Konstruktion für Motoren mit geringer Stirnfläche



belriebs ist es möglich, die Kolbenlaufbahn parallel zur Kurbelwellenachse zu legen und somit einen Motor mit sehr geringem Stirnwiderstand zu bauen. Im Bild 75 ist ein Zweizylindermotor mit Kurbelschleife dargestellt. Diese Konstruktion ermöglicht zwei Zündungen pro Kurbelwellenumdrehung und hat außerdem den Vorteil, daß die Kolben keinen Seitendruck aufzunehmen brauchen, wodurch sich der Kolbenverschleiß verringert. Die Kurbelschleife hat jedoch einen hohen Verschleiß und der Motor ist schlecht auszuwuchten.

Eine sehr interessante Konstruktion stellt der U-Motor dar. Mit ihm ist es möglich, einen Zweitaktmotor mit Aufladung zu bauen, da er auf Grund seiner kinematischen Besonderheiten ein unsymmetrisches Steuerdiagramm hat. Die hier verwirklichte Gleichstromspülung hat außerdem einen sehr guten Wirkungsgrad. In Bild 76 ist ein solcher Motor mit Ladepumpe zur Aufladung schematisch dargestellt. Anstatt der gezeigten Ausführung mit angelenkten Nebenpleuel ist auch eine Ausführung mit einer Gleitsteinlagerung an einem Kolbenbolzen und U-Pleuel gebräuchlich gewesen.

Ebenfalls mit Gleichstromspülung ist der Doppelkol-

Bil
ch
he

be
ge
Er
Mc
Ku
als
we
sie

Bild 75
Dieser Boxermotor mit
Kurbelschleife macht 2 Zündungen
je Kurbelwellenumdrehungen
möglich

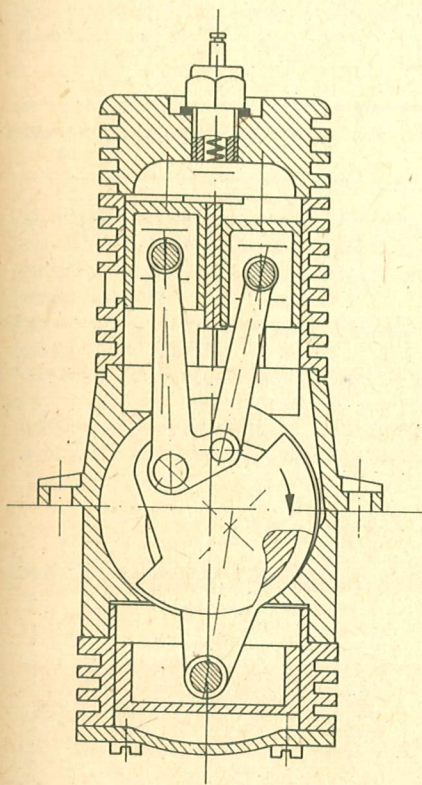
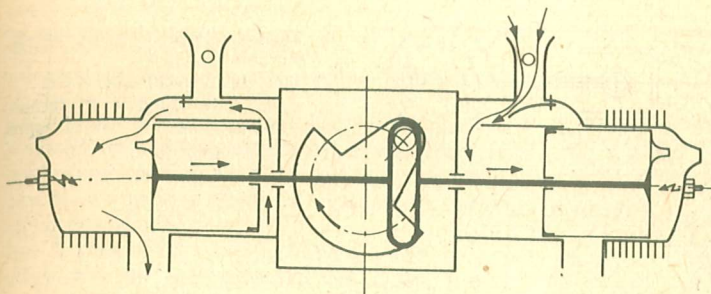


Bild 76 U-Motor mit Ladepumpe. Er saugt etwa die 2–3fache Luftmenge an als sein Hubraum beträgt und erzielt daher eine entsprechend höhere Leistung.

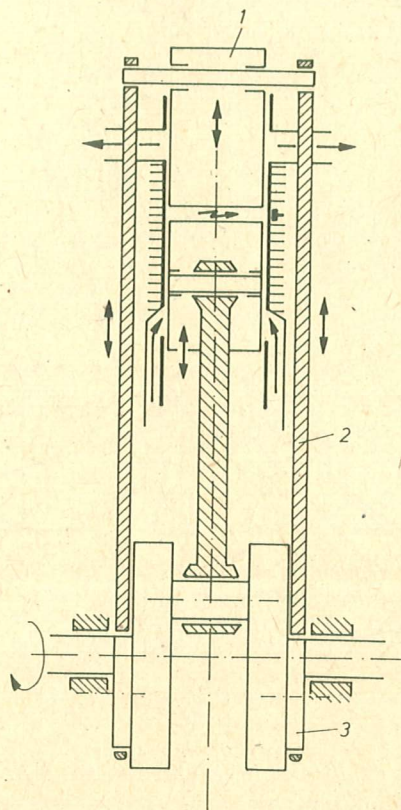


Bild 77 Doppelkolbenmotor mit Schleppstangen (schematisch)

1 – Gegenkolben, 2 – Schleppstange, 3 – Exzenter

ckkraft

parallel
einen
rauen.
Kurbel-
möglich
g und
keinen
h sich
schleife
Motor

U-Mo-
motor
ner ki-
isches
Gleich-
n Wir-
t Lade-
ilt.
nen Ne-
r Gleit-
-Pleuel

pelkol-

benmotor mit Schleppstangen (System Junkers) ausgerüstet, der in Bild 77 schematisch dargestellt ist. Er ermöglicht einen guten Massenausgleich. Als Modellmotor wäre ein Doppelkolbenmotor mit zwei Kurbelwellen in Verbindung mit einem Zahnriemen als Verbindungselement zwischen den zwei Kurbelwellen und einer unteretzten Abtriebswelle interessiert (Bild 78), siehe auch Abschnitt 3.3.5.

Zu den Sonderkonstruktionen auf dem Gebiet des Kurbeltriebes zählt auch der Kurbeltrieb des Sternmotors. Bei ihm läuft ein Hauptpleuel auf den Kurbelzapfen und am Hauptpleuel sind eine entsprechende Anzahl von Nebenpleuel angelekt. Diese Anordnung ermöglicht, daß die Kolben nacheinan-

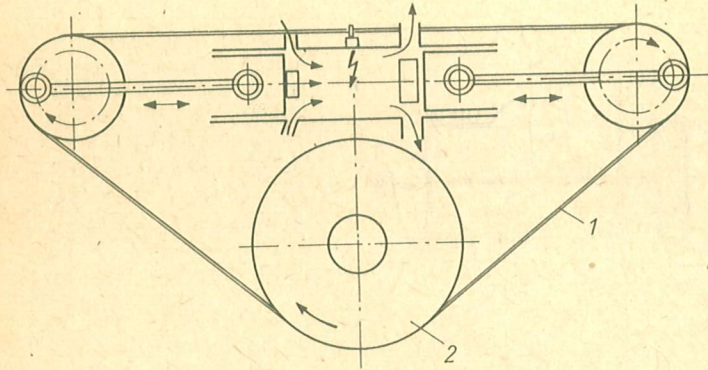


Bild 78
Doppelkolbenmotor mit zwei
Kurbelwellen und
Untersetzungsgetriebe, wie er
durch Anwendung der modernen
Zahnriemetechnik möglich wäre.
1 – Zahnriemen,
2 – Propellerantrieb

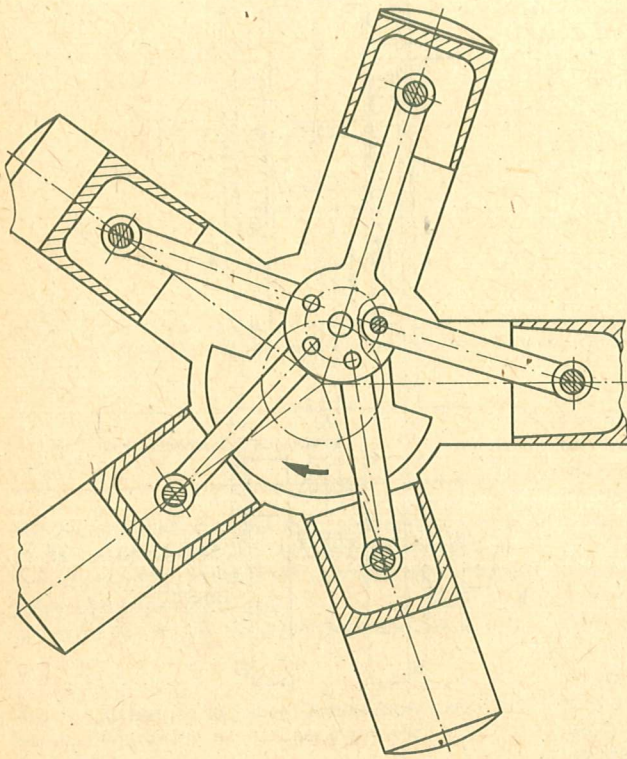


Bild 79
Kurbeltrieb eines Fünfzylinder-Sternmotors

der in Drehrichtung der Kurbelwelle den oberen Totpunkt erreichen. Da sich dabei das Volumen des Kurbelgehäuses nicht ändert, ist beim Sternmotor

eine Ausführung als Kurbelkasten gespülter Zweitaktmotor ohne zusätzliches Gebläse für die Spülluft nicht möglich (Bild 79).

3.3. Spülverfahren

Als Spülung bezeichnet man das Ausschleiben der Verbrennungsgase aus dem Motorzylinder durch das frische Kraftstoff-Luft-Gemisch. Die Qualität dieses Spülvorganges bestimmt maßgeblich die Leistung des Motors.

Die Qualität der Spülung ist abhängig von der Konstruktion. Wir unterscheiden die Querstromspülung, die Umkehrspülung, die Ringspülung und die Gleichstromspülung sowie Modifikationen dieser Spülverfahren.

3.3.1. Querstromspülung

Die älteste und einfachste Form der Querstromspülung arbeitet mit Nasenkolben (Bild 80). Bei billigen Motoren werden gerade Nasen mit Formfräsern herausgearbeitet.

Bessere Ergebnisse erzielt man mit gekrümmten Nasen (Bilder 81 bis 84).

Nachteile des Nasenkolbens sind die ungünstige Brennraumform und dadurch hervorgerufen eine unvollständige Verbrennung. Um diese Nachteile zu umgehen, wurde eine Spülung entwickelt, bei

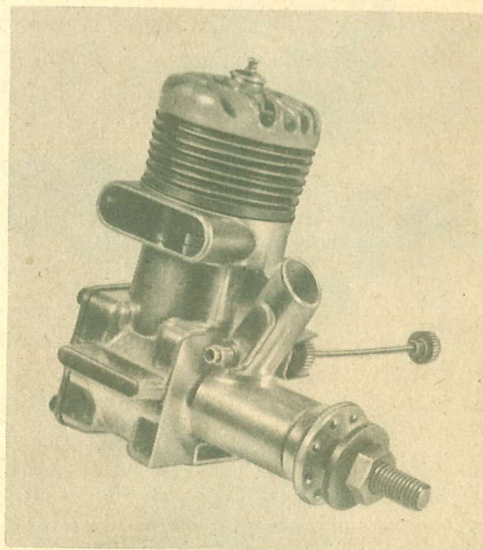
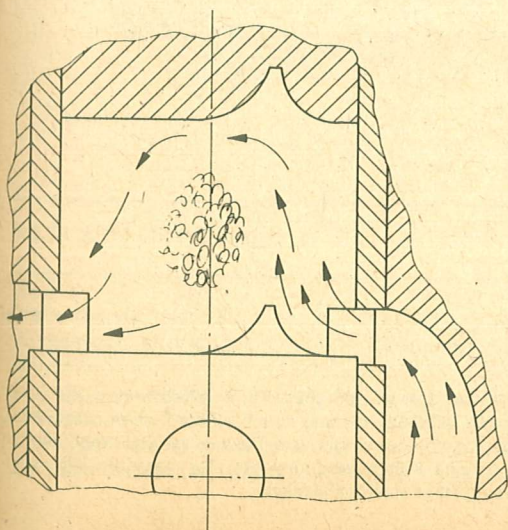


Bild 81 Ein Vertreter der einfachen Form der Querstromspülung mit gerader Kolbennase ist der Mc Coy 29 „Red Head“, 5 cm³, 0,43 kW

Bild 80 Spülschema der Querstromspülung mit Nasenkolben



der das Gas steil über eine schräge Kante in den Zylinder einströmt. Die Qualität dieser Spülung ist ähnlich der des Nasenkolbens, durch den jetzt möglich gewordenen halbkugelförmigen Brennraum werden höhere Leistungen erzielt (Bild 85).

Die italienische Firma Super Tigre sowie die Firma Tono aus der ČSSR verwendeten viele Jahre in ihren Serienmotoren ausschließlich diese Spülung (Bild 86). Allerdings sind bei Super-Tigre die Neuentwicklungen mit der weit wirkungsvolleren Umkehrspülung bzw. mit der PDP-Spülung ausgerüstet.

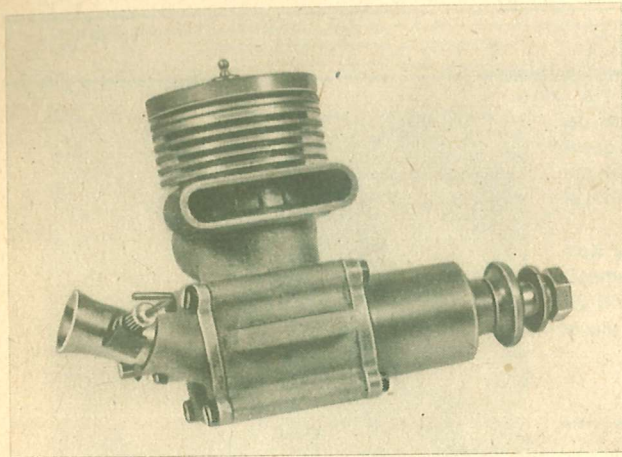


Bild 82
Als Rennmotor konzipiert war der VLTAVAN 5 aus der ČSSR. Alle Gaskanäle waren extrem groß bemessen, die Kolbennase war der Zylinderwandung entsprechend gebogen. Die Leistung dieses 5 cm³-Motors lag bei 0,51 kW.

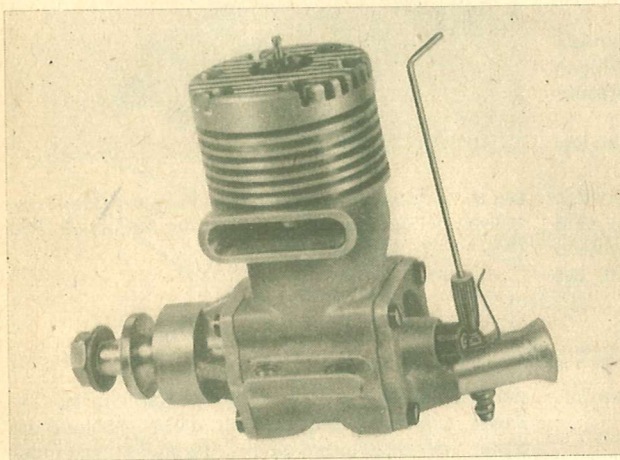


Bild 83
Der Nachfolger des VLTAVAN 5 ist dieser MVVS 5 R. Durch seine kurze Kurbelwelle ist er besonders gut für Schiffs- und Automodelle geeignet

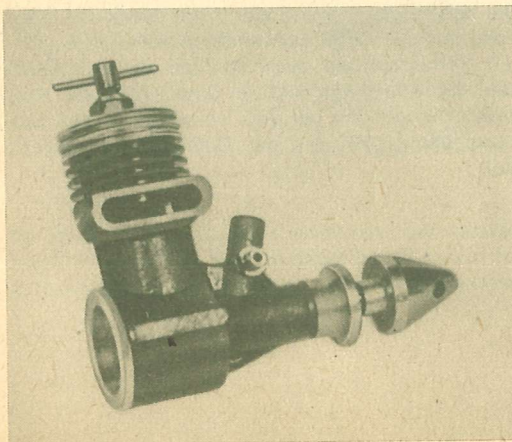


Bild 84 Der sowjetische 1,5 cm³-Selbstzündermotor „Weterek“ hat 0,125 kW und ist mit einem Kolben ausgerüstet, der durch eine eingefräste Tasche den Gasstrahl, ähnlich wie eine Kolbennase, umlenkt. Zur besseren Wärmeleitung ist er schwarz eloxiert.

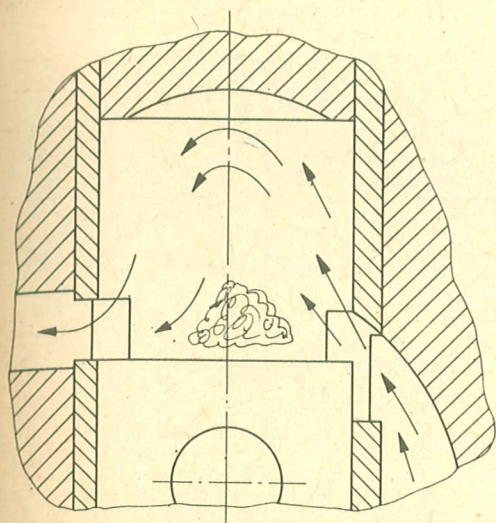


Bild 85 Spülschema der Querstromspülung ohne Nasenkolben mit steil aufsteigendem Spülstrom

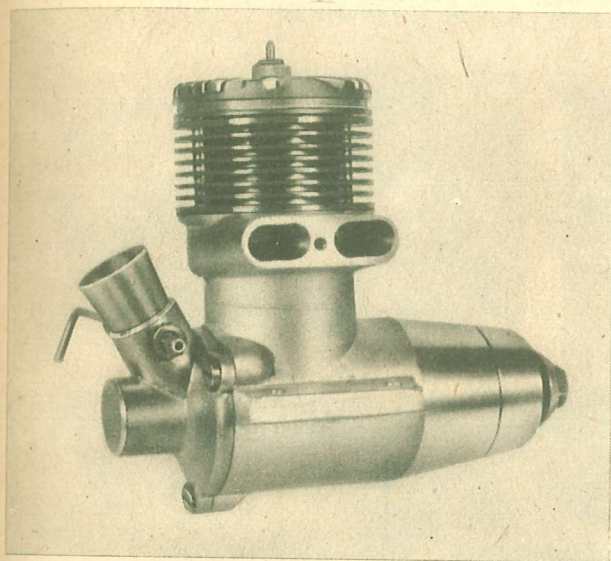


Bild 86

Mit der in Bild 85 dargestellten Spülung ist der Tono 10 cm³ aus der CSSR ausgerüstet, 0,81 kW

3.3.2. Umkehrspülung

Die wirkungsvollste Spülung, die die höchste Leistungsausbeute ermöglicht, ist die Umkehrspülung. Jahrelang war das durch A. Schnürle bei DKW entwickelte Spülverfahren patentrechtlich so blockiert, daß es nur von DKW benutzt werden konnte. Nach Ablauf der Patentschutzfrist wurde es von fast allen Zweitaktmotorenherstellern angewandt. Nur im

Modellmotorenbau fand es wegen der komplizierten Gestaltung der Überstromkanäle bis vor wenigen Jahren keine Anwendung.

Jedoch mußten mit den steigenden Anforderungen an das Leistungsvermögen der Motoren Wege gefunden werden, die Umkehrspülung auch im Modellmotorenbau anzuwenden.

Die ersten Serienmotoren mit Schnürle-Spülung in leicht abgewandelter Form waren der MVVS 2,5 RL/TRS (Bild 87) und der MVVS 5,6 AL (Bild 88). Das Spülschema zeigt Bild 89.

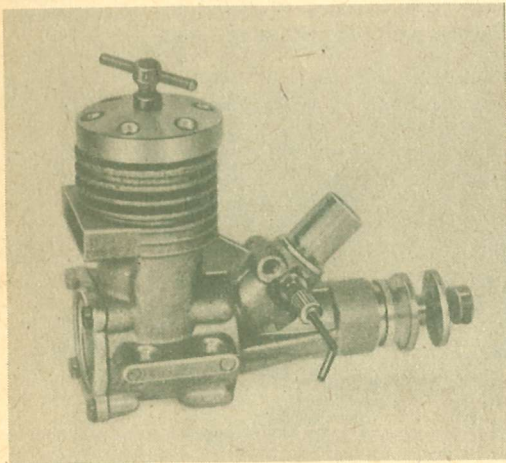


Bild 87 Die Motoren aus der bekannten ČSSR-Motorserie MVVS 2,5 RL/TRS waren als erste Serienmotoren, in leicht abgewandelter Form, mit Schnürlespülung ausgerüstet. Das Bild zeigt die Selbstzünderversion (TRS).

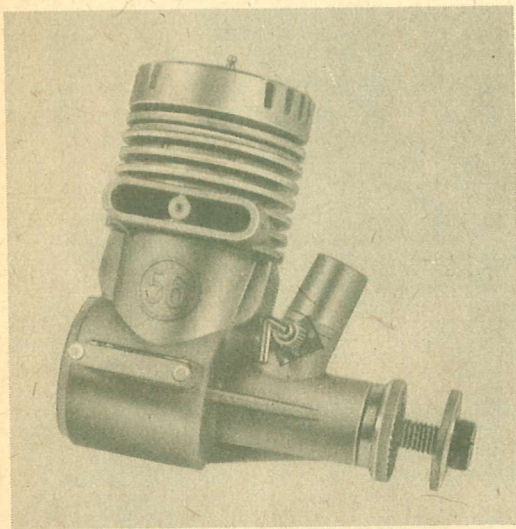


Bild 88 Mit Schnürlespülung reiner Form war der MVVS 5,6 AL ausgerüstet; 0,48 kW

Die folgerichtige Weiterentwicklung dieser Spülung war die Verwendung eines dritten, steil gegen den Zylinderdeckel gerichteten Spülkanals, der den Aufrichtvorgang des Spülstromes noch unterstützte, wie er in Fahrzeug-Zweitaktmotoren schon lange

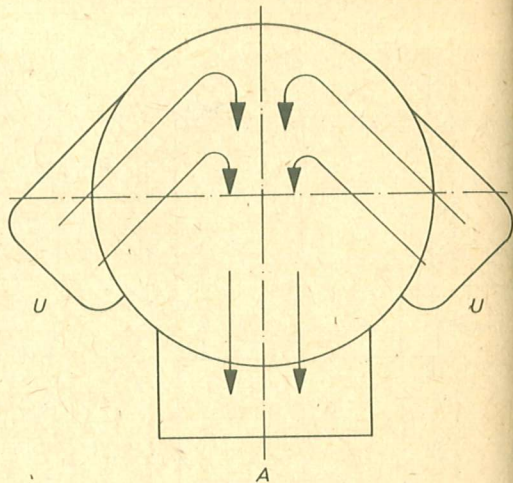


Bild 89 Spülschema der Schnürlespülung. Die Spülströme richten sich aneinander und an der dem Auslaß gegenüberliegenden Zylinderwand auf.

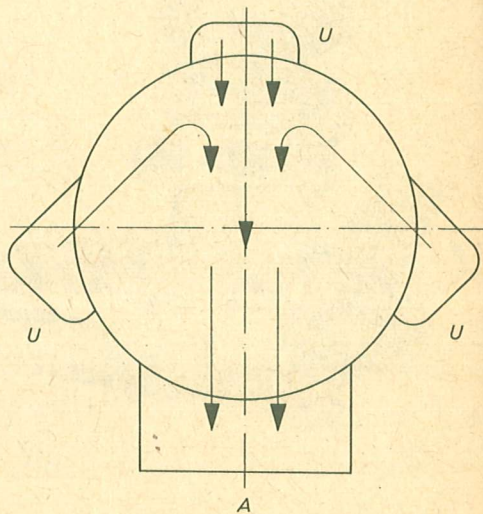


Bild 90 Spülschema der Dreikanal-spülung. Der dritte, steil nach oben gerichtete Kanal unterstützt den Aufrichtvorgang der Spülströme.

angewendet wird (Bild 90). Diese Dreikanalumkehrspülung ist zur Zeit der Standard für leistungsfähige Modellmotoren. Einer der ersten Vertreter war der italienische Rossi 15.

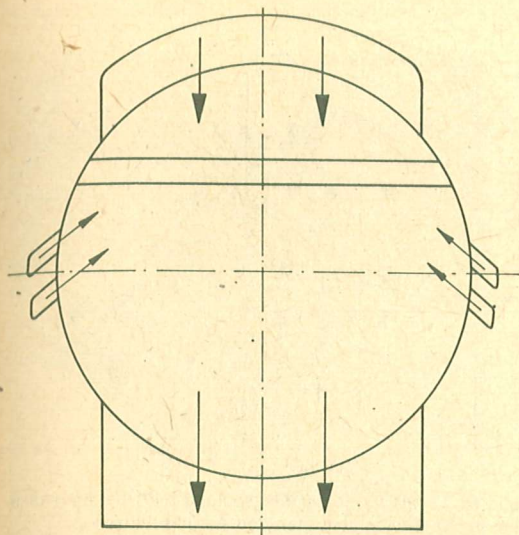


Bild 91 Prinzipskizze der PDP-Spülung. Die kleinen Zusatzkanäle richten den Spülstrom auf und blasen die Restgaswolken über den Kolbenboden weg.

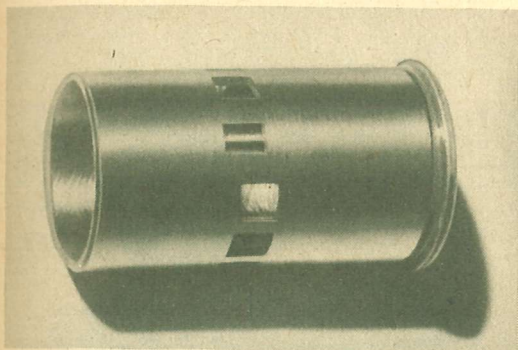


Bild 92 Laufbuchse eines 10 cm³ Motors mit PDP-Spülung. Die paarweise angeordneten PDP-Spülschlitze sind so schmal, daß sie meist nur im Erodier-Verfahren eingebracht werden können.

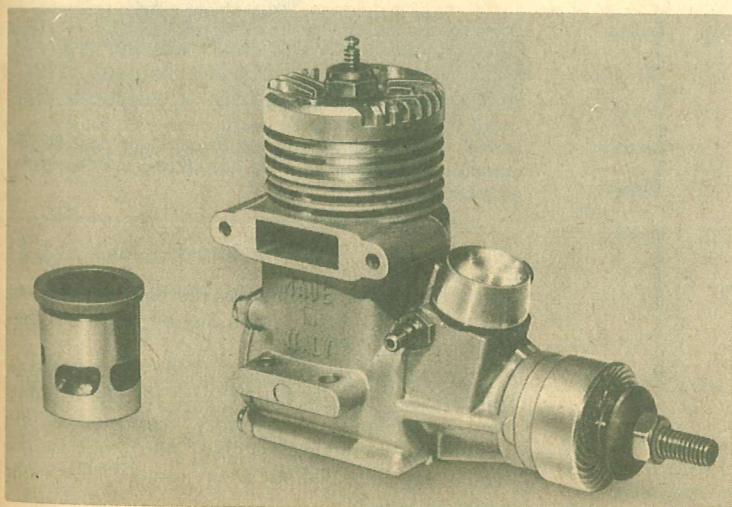


Bild 93
2,5 cm³-Rennmotor mit 4
Überströmkanälen der Firma
Super Tigre (Italien) (links
Laufbuchse)

Eine Weiterentwicklung gibt es allerdings auch hier. Bei der Suche nach Möglichkeiten der Leistungssteigerung an den veralteten Motoren mit Querstromspülung entwickelte die Firma Perry die PDP-Spülung. (Bild 91 und 92) Bei diesem Verfahren wird mit Hilfe von zwei sehr kleinen Überströmkanälen auf jeder Seite der Hauptspülstrom aufgerichtet, sowie die Restgaswolken in Kolbennähe ausgeblasen. Besonders effektiv ist die Perry-Spülung in Verbindung mit der Querstromspülung ohne Kolbennase. Sie stellt dann eine Art 3-Kanal-Umkehrspülung mit extrem vergrößertem 3. Kanal dar. Motoren mit einer derartigen Spülung sind leistungsmäßig den Motoren mit 3-Kanal-Umkehrspülung bis etwa 17 000 1/min überlegen. Auf diese Erkenntnis aufbauend wurden für Rennmotoren von verschiedenen Herstellern Spülungen mit vier bzw. fünf Kanälen entwickelt, die den 3-Kanal-Motoren leistungsmäßig überlegen sind (Bild 93).

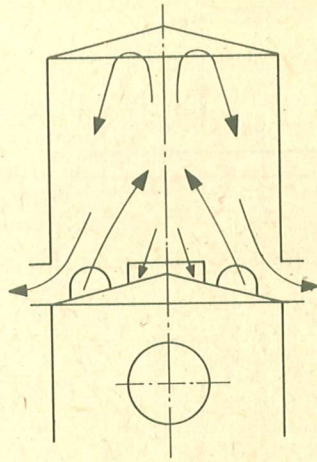


Bild 95 Spülschema der Ringspülung mit Überströmkanälen in den Stegen zwischen den Auslaßschlitzen

3.3.3. Ringspülung

Für billige Großserienmotoren bis etwa 2,5 cm³ verwendet man oft die Ringspülung und, als eine ihrer Varianten, die Kreuzstromspülung. Bei der Ringspülung werden die Auslaßkanäle ringförmig um den Zylinder angeordnet und ebenfalls ringförmig ver-

Bild 94 Spülschema der Ringspülung mit Überströmschlitzen unter den Auslaßschlitzen

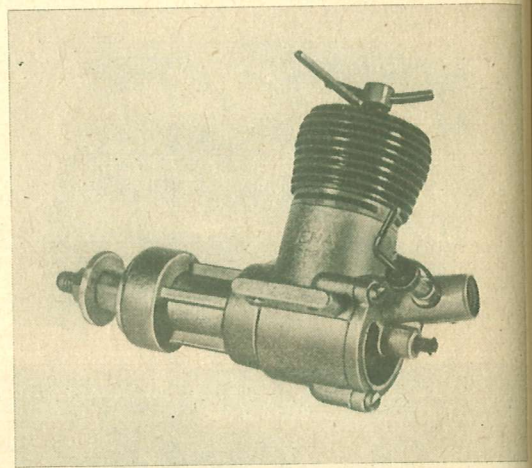
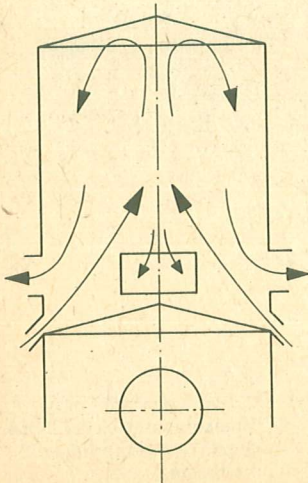


Bild 96 Der Jena 2,5 war mit der Ringspülung nach Bild 94 ausgerüstet. Das Bild zeigt die Ausführung mit Flachdreh-schieber.

laufen die Überströmschlitze unterhalb der Auslaßschlitze (Bild 94) bzw. in den Stegen zwischen den Auslaßschlitzen (Bild 95).

Auf Grund des zur Brennraummitte aufsteigenden Spülstromes ist diese Bauart nicht für Glühzündermotoren geeignet. „Klassischer“ Vertreter für die Ausführung nach Bild 70 ist der Jena 2,5 und für die Ausführung nach Bild 95 der englische Oliver Tiger (Bilder 96 und 97).

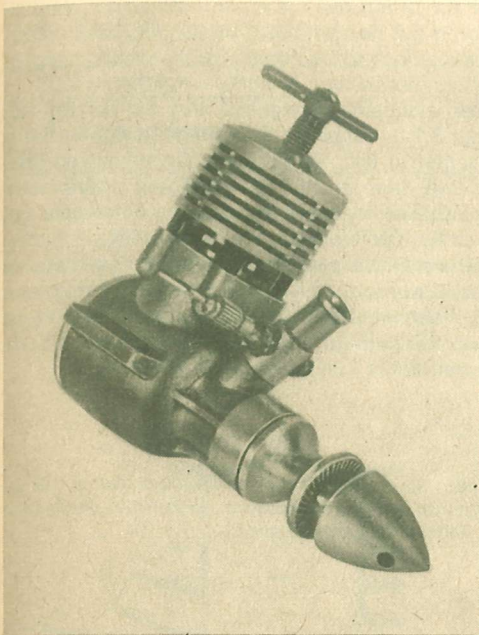


Bild 97 Ein Hochleistungs-Selbstzündermotor für die FAI-Klasse F2C war in den frühen 60er Jahren der Oliver Tiger MK III aus England mit 0,24 kW. Seine Ringspülung arbeitete mit Überströmkanälen in den Stegen zwischen den Auslaßschlitzen.

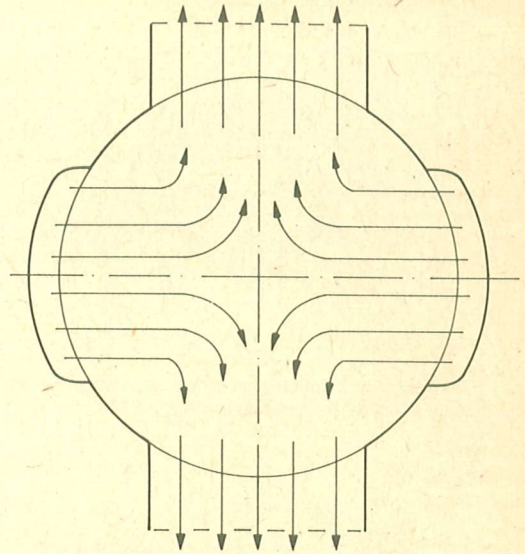


Bild 98 Spülschema der Kreuzstromspülung

3.3.4. Kreuzstromspülung

Bei der Kreuzstromspülung werden nur zwei Auslaßschlitze und zwei oder nur ein Überstromkanal verwendet, die jeweils um 90° gegeneinander versetzt sind. Die bekanntesten Motoren dieser Bauart sind die amerikanischen Cox-Motoren (Bild 98).

3.3.5. Gleichstromspülung

Die Gleichstromspülung erlangte im Modellmotorenbau trotz einiger Versuche nie große Bedeutung. Ihr Hauptanwendungsgebiet ist der Schiffsmotorenbau und war zeitweise der Flugmotorenbau (Junkers-Doppelkolbenmotoren).

Bild 99 zeigt eine Möglichkeit der Konstruktion einer Gleichstromspülung. Diese Konstruktion ist

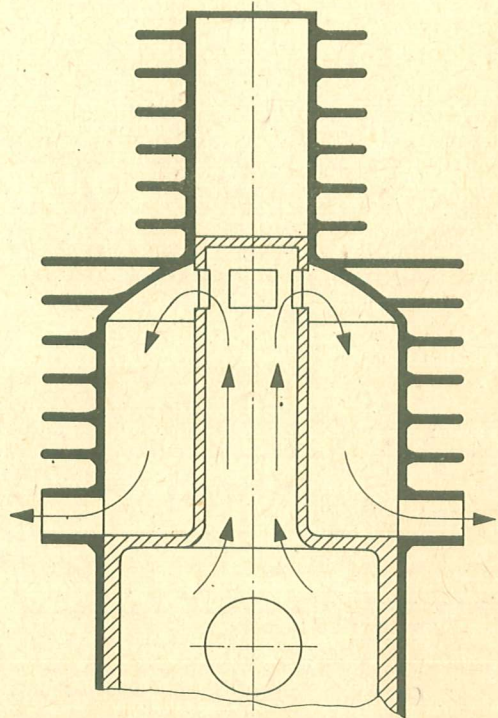


Bild 99 Funktions- und Spülschema eines Motors mit Gleichstromspülung. Ein großer Nachteil dieser Konstruktion ist der verbrennungstechnisch ungünstige Brennraum.

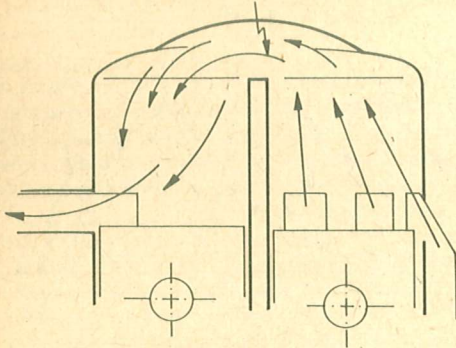
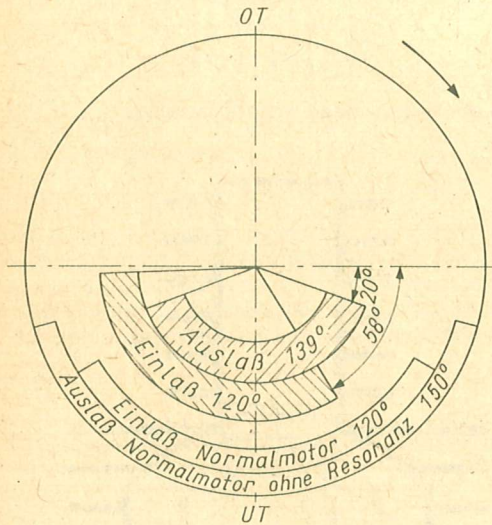


Bild 100 Gleichstromspülung an einem U-Motor. Hier ist eine relativ günstige Brennraumform realisierbar.



zwar auf Grund des einfachen Aufbaus für Modellmotoren gut geeignet; der ringförmige Brennraum bewirkt jedoch einen starken Leistungsabfall gegenüber herkömmlichen Motorkonstruktionen.

Besser erscheint dagegen der bereits im Abschnitt 3.2.3. vorgestellte U-Motor geeignet, da er mit seiner in Bild 100 dargestellten effektiven Spülung und dem im Bild 101 gezeigten unsymmetrischen Steuerdiagramm der Spülung einen sehr geringen Kraftstoffverbrauch erwarten läßt.

Die Gleichstromspülung der Doppelkolbenmotoren mit zwei Kurbelwellen oder Schlepptangen, deren Kurbeltrieb in Bild 77 und 78 dargestellt wurde, ist in Bild 102 gezeigt. Auch diese Bauart kann ein unsymmetrisches Steuerdiagramm erhalten.

Bild 101 Steuerdiagramm eines U-Motors. Durch das unsymmetrische Steuerdiagramm ist ein Aufladen des Motors z. B. mittel Ladepumpe möglich.

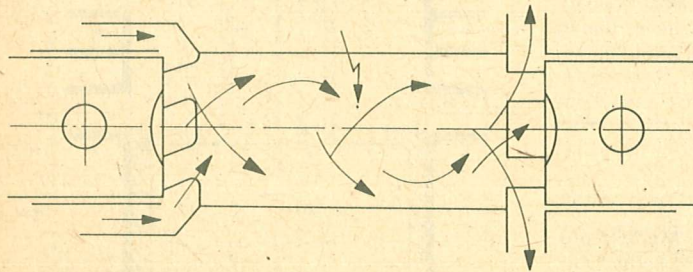


Bild 102 Gleichstromspülung eines Doppelkolbenmotors nach der in Bild 77 und 78 gezeigten Bauweise

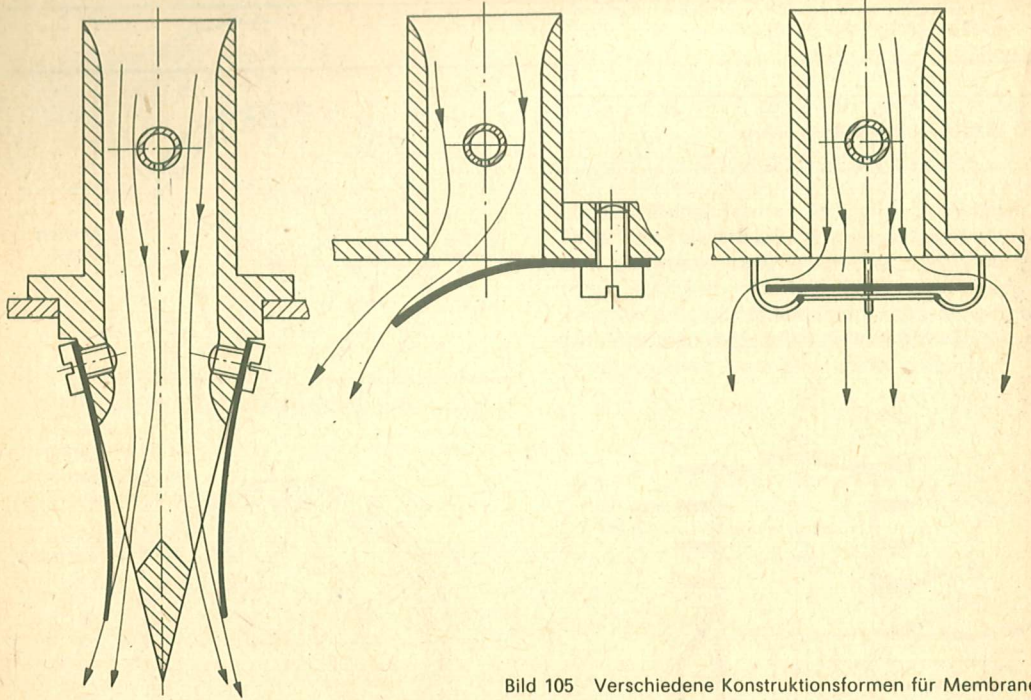


Bild 105 Verschiedene Konstruktionsformen für Membraneinlaß

3.4.3. Drehschiebersteuerung

Eine weitere Gruppe der Einlaßsteuerungen sind die rotierenden Steuerelemente. Diese Drehschieber werden meist direkt durch die Kurbelwelle angetrie-

Bild 106 Die häufigste Konstruktionsart bei Modellmotoren ist der Kurbelwellendrehschieber

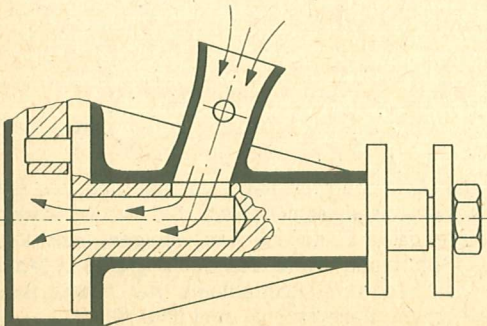
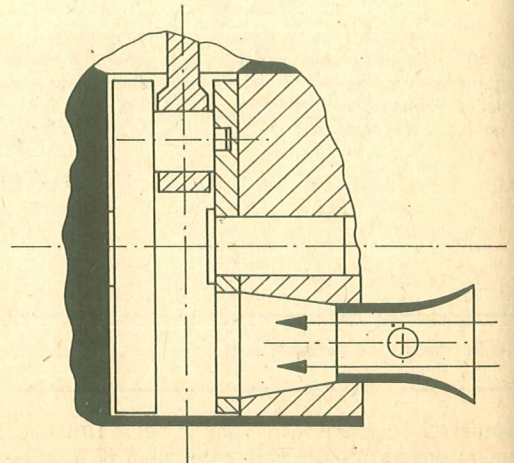


Bild 107 Der in diesem Bild gezeigte Flachdrehschieber hat auf Grund seiner großen Auflagefläche eine relativ hohe Eingenreibung, es wird jedoch durch ihn der Totraum im Kurbelgehäuse gegenüber dem Kurbelwellendrehschieber wesentlich verringert



ben oder sind in ihr untergebracht. Je größer der Durchmesser dieser Steuerelemente ist, desto kleiner ist der Winkel, der benötigt wird, um eine volle

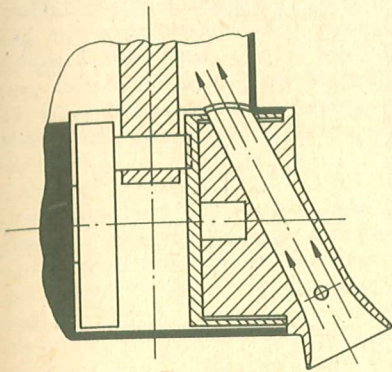


Bild 108 Glockendrehchieber System Bugl. Er stellt eine optimale Lösung der Einlaßsteuerung für Modellmotoren dar (schematische Darstellung).

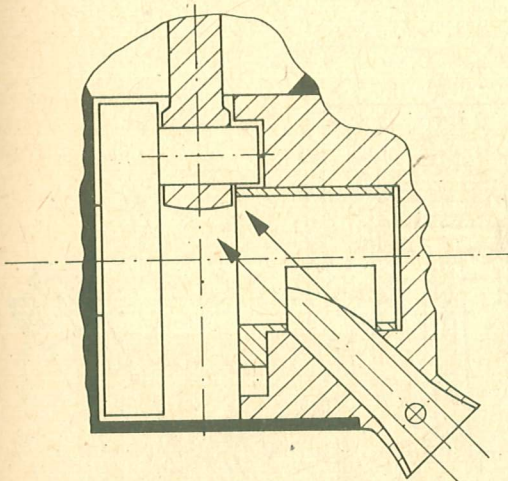


Bild 109 Der Hülsendrehchieber hat bei vertretbarem Totraum den Vorteil, daß das untere Pleuelauge durch das kalte Frischgas sehr gut gekühlt wird.

Öffnung des Steuerschlitzes zu erzielen, und desto besser ist die Füllung des Gehäuses mit Frischgas. Ein weiteres Kriterium für die Beurteilung der Einlaßsteuerung ist das Volumen des Totraumes im Kurbelgehäuse. Totraum ist das verbleibende Volumen des Kurbelgehäuses in der untersten Kolbenstellung. Mit zunehmenden Totraum nimmt der Wirkungsgrad des Motors ab. Somit wäre der Kurbelwellendrehchieber (Bild 106) durch seinen großen Totraum denkbar ungünstig, wenn nicht als Folge der komplizierten Schwingungsvorgänge im Motor ein Aufladungseffekt bei bestimmten Drehzahlen entstehen würde. Dieser Aufladungseffekt wird bei richtiger Auslegung durch das große Volumen des Kurbelraumes bei Kurbelwellendrehchiebern noch verstärkt (siehe Abschnitt 6.1.8.). Allerdings tritt bei größeren Kurbelräumen (Totraum) ein höherer Kraftstoffverbrauch ein, und das maximale Drehmoment wird in einen niedrigeren Drehzahlbereich verschoben. Bessere Ergebnisse werden mit Flachdrehchiebern erzielt (Bild 107). Alle rotierenden Steuerelemente gestatten ein unsymmetrisches Steuerdiagramm am Einlaß, das einen Öffnungswinkel von 190° und mehr erlaubt (Bild 104).

Eine optimale Lösung für den Drehchieber stellt der von Paul Bugl entwickelte und patentierte Glockendrehchieber dar. Durch ihn wird der größtmögliche Durchmesser des Schiebers und der geringste Totraum bei geringster Reibung erzielt (Bild 108).

Der einzige Nachteil der Bugl-Konstruktion ist die fehlende Kühlung und eine ungenügende Schmierung des unteren Pleuelauges, die durch einen überdimensionierten Kurbelzapfen kompensiert werden muß. Der von der US-Firma K + B entwickelte und gebaute Hülsendrehchieber (Bild 109) hat zwar nicht die beschriebenen Vorteile des Glockendrehchiebers, er gestattet jedoch auf Grund seiner Konstruktion sehr hohe Drehzahlen und Lagerbelastungen, da das gesamte Frischgas am unteren Pleuelauge vorbeiströmen muß und damit diese sehr heiße Stelle am Motor gut kühlt und schmiert. Der Motor Nelson 2,5 aus den USA (Bild 110) ist mit diesem Drehchieber ausgerüstet.

Sehr gute Werte werden auch mit Scheibendrehchiebern System-Zimmermann erzielt. Ihr relativ großer Platzbedarf schränkt den Einsatz stark ein. Bewährt haben sie sich bei Rennbootsmotoren (Bild 111).

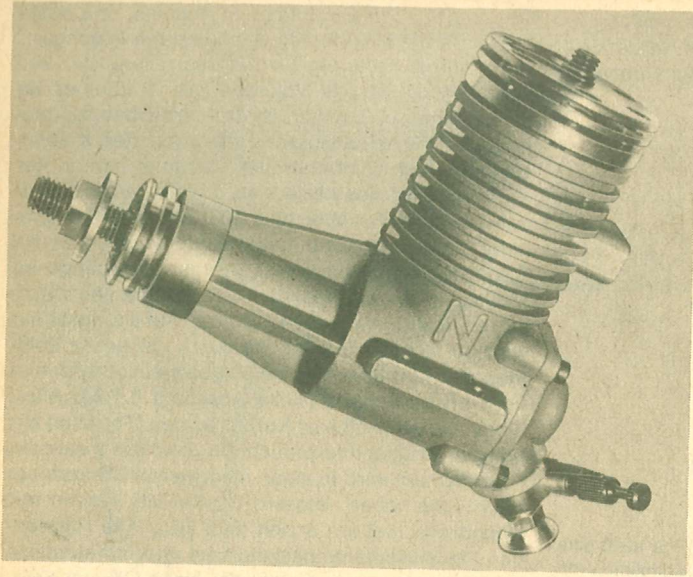
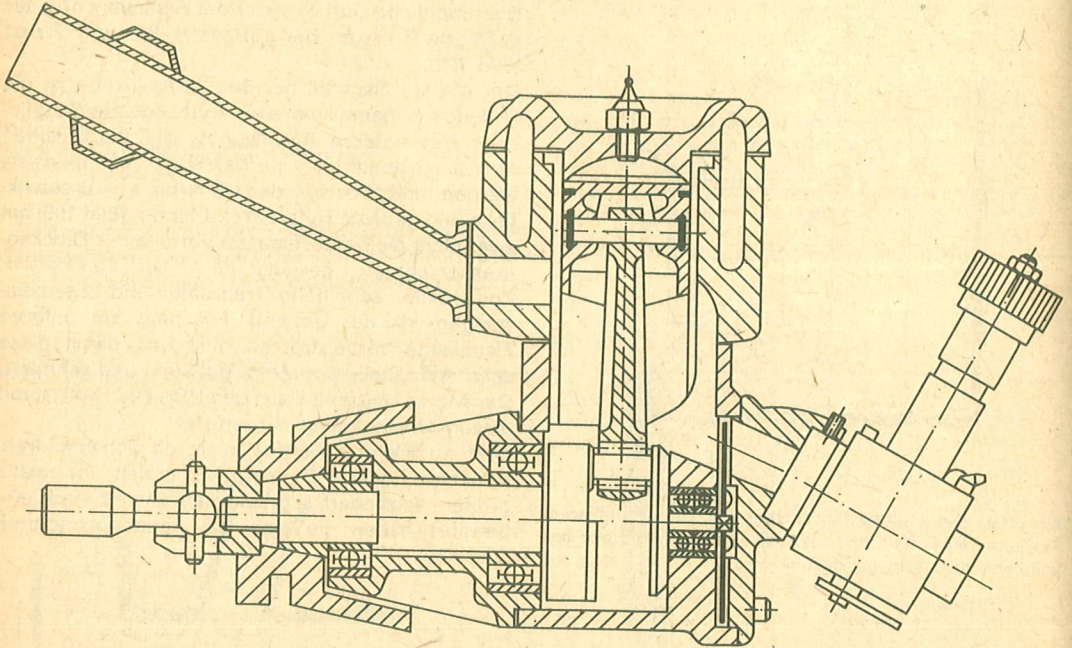


Bild 110
Der Nelson 15 D ist einer der erfolgreichsten Selbstzündler-Rennmotoren der letzten Jahre. Er ist mit einem Hülsendrehschieber nach Bild 109 ausgerüstet.

Bild 111 Zimmermann-Drehschieber am CMB-Rennmotor für FSR-Rennen mit 15 cm³ Hubraum



3.5. Steuerzeiten

Da die exakte Berechnung der Steuerzeiten eines Zweitaktmotors die genaue Kenntnis des auftretenden Kreisprozesses und recht komplizierte Rechnungen voraussetzen, wird im Rahmen dieses Buches darauf verzichtet. In der Praxis liegen dermaßen viele Erfahrungen in der Auslegung der Steuerzeiten vor, daß darauf zurückgegriffen werden kann.

– Einlaßsteuerung

Unabhängig von der Ausführungsart der Einlaßsteuerung ist es der Punkt, an dem der Einlaß nach dem passieren des oberen Totpunktes geschlossen wird, der uns die Einlaßsteuerung begrenzt. Im Bild 104 sind die Steuerdiagramme einer Kolbensteuerung und einer Drehschiebersteuerung an einem Beispiel aufgetragen. Beide werden durch den maximal möglichen Wert von 70° nach OT (oberen Totpunkt) für das Schließen des Einlasses begrenzt (größere Winkel wie 70° sind möglich, setzen aber die genaue Kenntnis der Gasschwingungen im Ansaugtrakt voraus). Anhand der ebenfalls

im Diagramm aufgetragenen Öffnungsfläche des Ansaugs ist eindeutig die Überlegenheit der Drehschiebersteuerung zu ersehen.

Der mögliche Winkel für das Öffnen eines Drehschiebers liegt zwischen UT (unterer Totpunkt) und etwa 60° nach UT. Die günstigsten Werte ergeben 35 bis 45° nach UT. Für Motoren, die gute Drossel Eigenschaften besitzen sollen, haben sich Steuerzeiten bewährt, bei denen der Einlaß bei 45° nach UT geöffnet und bei 45 bis 60° nach OT geschlossen wird.

– Spül- und Auslaßschlitze

Um das Einströmen von Frischgas in den Zylinder zu ermöglichen, muß vorher durch Öffnen des Auslaßschlitzes ein Druckabbau im Zylinder stattfinden. Daher muß immer der Auslaßschlitz höher sein als der Einlaßschlitz. Diese Differenz zwischen Ein- und Auslaßschlitz sollte bei Motoren, die ohne Resonanzschalldämpfer betrieben werden sollen, zwischen 5° und 25° Kurbelwinkel (vom Gesamtöffnungswinkel) und bei Motoren mit Resonanzschalldämpfern

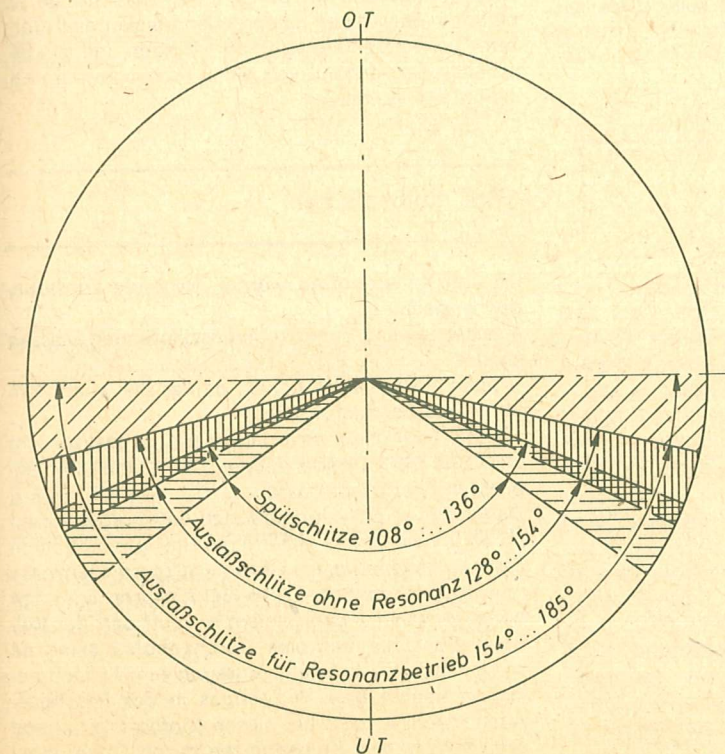


Bild 112
Steuerdiagramm der Spül- und Auslaßschlitze für einen Zweitaktmotor in Normalbauweise.

dämpfer je nach geforderter Leistungscharakteristik zwischen 34° und 60° liegen. Der Gesamtöffnungswinkel des Auspuffs sollte dabei nicht über 185° betragen (Bild 112). Der Gesamtöffnungswinkel der Spülschlitze sollte je nach Motorencharakteristik 120° bis 136° Kurbelwinkel betragen. Bei Motoren,

die besonders sparsam laufen sollen, wie z. B. Spezialmotoren für die Klasse F2C-Team Racing, sollte der Gesamtöffnungswinkel der Spülschlitze bei 108° bis 115° Kurbelwinkel liegen (siehe auch Abschnitt 3.6.11.).

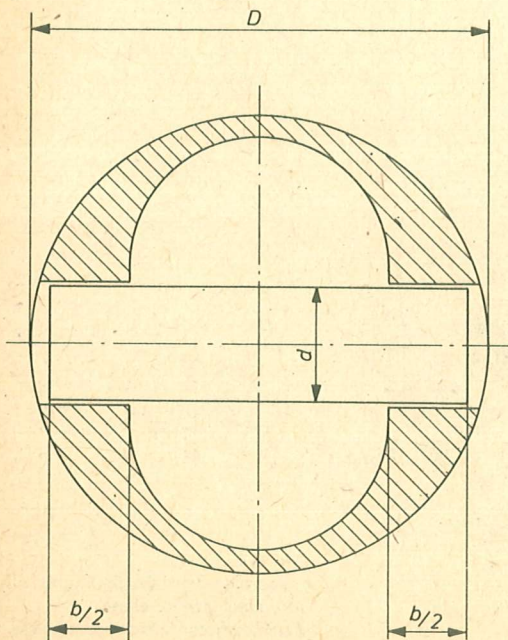
3.6. Bemessung einiger Bauteile für den Selbstbau

3.6.1. Kolben

Einiges zur Bemessung eines Kolbens wurde in den vorherigen Kapiteln schon gesagt. Z. B. über den Durchmesser (Abschnitt 3.1.1. und 3.1.2.) und über das Gewicht, das möglichst gering sein sollte, wurde gesprochen (Abschnitt 1.2.3.), und daß die Pleuelbohrung in der Mitte des Kolbens liegen soll (Abschnitt 3.2.2.). Um zu verhindern, daß im OT die Kolbenunterkante den Auslaßschlitz öffnet, muß der

Bild 113 Gestaltungsrichtlinie für die Kolbenbolzenlagerung im Kolben

$d = 0,25 \dots 0,33 D$ $b = 1 \dots 1,25 d$ für GG-Kolben
 $b = 1,25 \dots 1,75 d$ für AL-Kolben



Kolben wenigstens die Länge des Pleuellagers besitzen. Wichtig ist, daß die Auflagefläche des Pleuellagers im Pleuellager möglichst groß ausgelegt wird, um ein Ausbrechen oder Auftreiben zu verhindern. Die erforderliche Pleuellagerbreite und der Pleuellagerdurchmesser legen hier bei Aluminiumkolben die Grenzen fest. Bei aus dem Vollen gearbeiteten Gußkolben ist mindestens eine Gesamtauflegebreite zu wählen, die dem Pleuellagerdurchmesser entspricht (Bild 113). Erfahrungswerte für die Dicke des Pleuellagerbodens und der Pleuellagerwandung in Abhängigkeit vom Pleuellagerdurchmesser sind im Bild 114 zusammengefaßt. Im Bereich der Pleuellagerringe ist natürlich der Pleuellager entsprechend dicker auszuführen. Die Herstellung von Pleuellagerringen und das Bearbeiten der Pleuellageringnuten im Pleuellager wird im Abschnitt 5.4. behandelt.

3.6.2. Pleuellagerbolzen

An den Pleuellagerbolzen werden folgende Forderungen gestellt:

- leicht zu sein, da er zu den oszillierenden Massen zählt
- hohe Verschleißfestigkeit, da das Pleuellager auf ihm mit wenig Schmieröl läuft
- hohe Steifigkeit, da er auf Biegung beansprucht wird und bei zu hoher Biegung im Pleuellager Kantenpressung verursacht wird.

Daher hat es sich durchgesetzt, daß Pleuellagerbolzen im allgemeinen aus gehärtetem und geschliffenem Stahl bestehen und zur Gewichtsersparnis teilweise oder ganz durchbohrt sind. Bei Motoren mit nach hinten oder vorn gerichtetem Auspuff darf der Pleuellagerbolzen nur teilweise durchbohrt sein, da sonst Frischgas durch ihn hindurch zum Auspuff gelangen könnte bzw. Auspuffgas in das Frischgas. Auch macht es sich bei diesen Motoren zwingend erforderlich, den Pleuellagerbolzen durch Sicherungs-

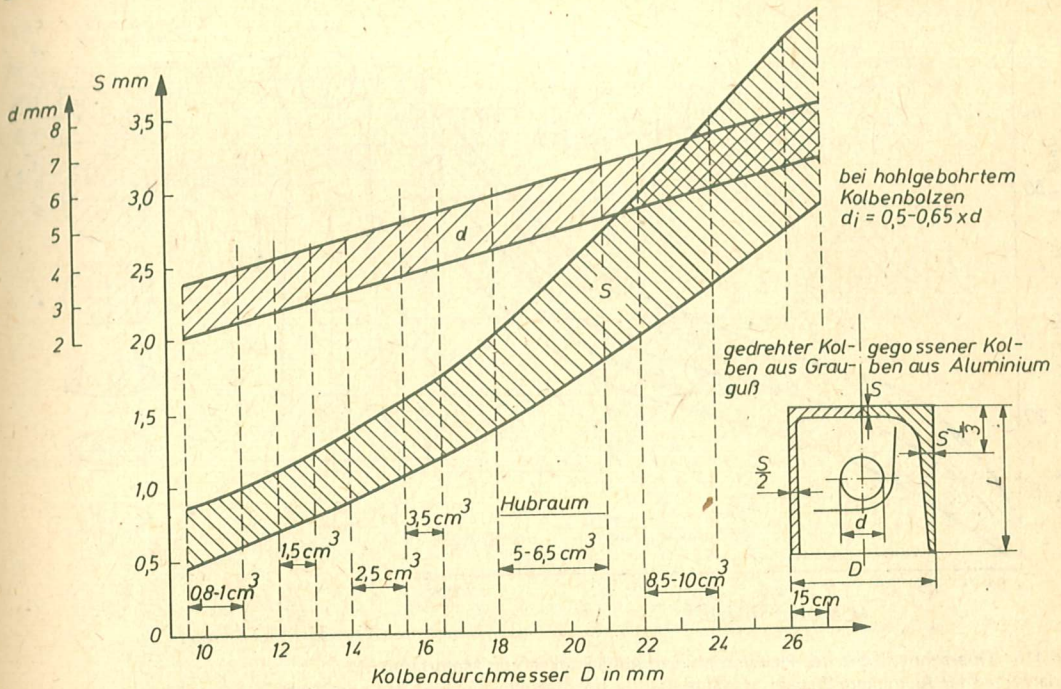


Bild 114 Abhängigkeit von Kolbenbodendicke und Kolbenwandung zum Kolbendurchmesser und des Kolbenbolzendurchmessers zu Kolbendurchmesser

ringe im Kolben gegen Verschieben zu sichern (siehe Bild 169, 170). Erfahrungswerte für den Durchmesser von Kolbenbolzen und ihrer Innenbohrung vermittelte ebenfalls Bild 114.

3.6.3. Pleuel

Der Bohrungsabstand des Pleuels ergibt sich, wie schon im Abschnitt 3.2.2. beschrieben, aus der Motorenkonstruktion und hat mindestens das Maß

$$\text{Hub} + \frac{\text{Kurbelwangendurchmesser}}{2} + \frac{\text{Kolbenbolzendurchmesser}}{2}$$

Der Durchmesser des oberen Pleuelauges ergibt sich aus dem Kolbenbolzendurchmesser und des unteren Pleuelauges aus dem Kurbelzapfendurchmesser. Ebenso ergibt sich die Pleuelbreite. Um das Pleuel möglichst steif zu gestalten, ist es mit viereckigem oder leicht linsenförmigem Querschnitt im Schaft auszuführen. Dabei gilt der Grundsatz: Steifheit und Festigkeit geht vor Gewicht. Als Pleuelmaterial werden im Modellmotorenbau fast ausschließlich hochfeste Aluminiumlegierungen verwendet. Die Pleuel werden entweder gepreßt oder aus Vollmaterial gearbeitet, wobei meist das Aluminium als Lagerwerkstoff dient. Bei einigen Typen werden auch zusätzliche Bronzebuchsen im Pleuel eingepreßt oder besonders bei Hochleistungsmotoren Nadellager verwendet. Bild 115 gibt eine Übersicht über die erforderliche Querschnittsfläche von Pleuelschäften in Abhängigkeit vom Motorenhubraum.

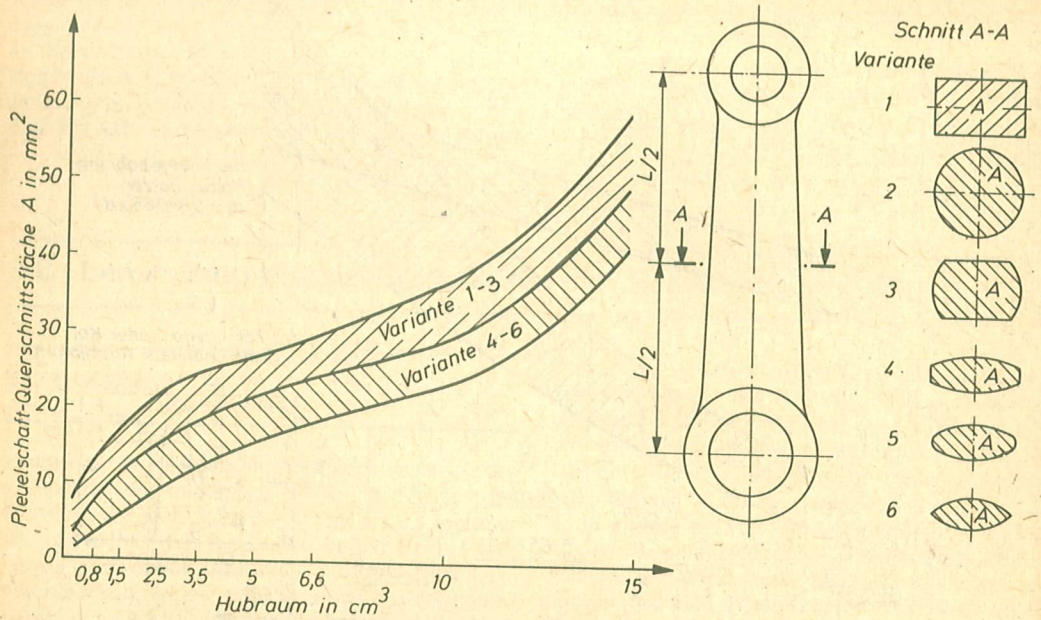


Bild 115 Querschnittsfläche des Pleuelschaftes in Abhängigkeit von Motorhubraum
 Variante 1-3 für Aluminium-Pleuele; Variante 4-6 für hochfest Pleuele aus Titan oder Stahl

3.6.4. Kurbelwelle

Kurbelwellen werden meist aus oberflächengehärtetem oder vollständig gehärtetem Stahl gefertigt. Konstruktionen aus weichem Stahl oder Titan mit eingepreßten Kurbelzapfen sind auch üblich, jedoch nicht für Motoren mit Kurbelwellendrehchieber. Heute werden fast ausschließlich die Kurbelwellen mit Motorengehäuse mit Kugellagern gelagert; nur für billige Anfängermotoren ist die Gleitlagerung noch üblich. Die einseitige Lagerung ist im Gegensatz zu den Großmotoren üblicher Standard. Die Übertragung sehr großer Leistungen, wie sie im Rennmotorenbau auftreten, bereiten beim Kurbelwellendrehchieber große Schwierigkeiten, da durch den Steuerschlitz in der Kurbelwelle diese stark geschwächt wird. Daher wurden bei diesen Motoren im Laufe der Entwicklung die Durchmesser der Kurbelwellenschäfte ständig größer gewählt. Bei eingepreßten Kurbelzapfen benutzt man ausschließlich Wälzkörper aus dem Wälzlagerbau, die auf Grund ihrer hohen Oberflächengüte und ihrer großen Härte dem angedrehten, gehärteten und geschliffenen Zapfen überlegen sind. In den Bil-

dern 116 und 117 sind die üblichen Hauptmaße von Kurbelwellen angegeben. Die Berechnung und Konstruktion des Massenausgleichs an Kurbelwellen wurde schon im Abschnitt 1.2.3. behandelt.

3.6.5. Gehäuse

Das Motorengehäuse muß durch seine Konstruktion in der Lage sein, ohne große Verformung die im Triebwerk auftretenden Kräfte sowie die durch den Betrieb von außen auftretenden Reaktionskräfte aufzunehmen. Durch entsprechende Gestaltung von Stegen zwischen Zylinder und Kurbelwellenlagerung ist es möglich, die Verformung in Grenzen zu halten (Bild 118). Kräftige Flansche und eine entsprechend stabile Ausführung des Gehäusegusses im Bereich des Kurbelgehäuses nehmen die Reaktionskräfte auf. Selbst bei Motoren mit einteiligem Gehäuse und gedrehten Kühlrippen, wie sie z. B. beim Rossi 15 RV (Bild 118) verwendet werden, sind die Festigkeitsreserven im Bereich des Kühlrippengrundes so groß, daß sich eine Kontrollrechnung erübrigt.

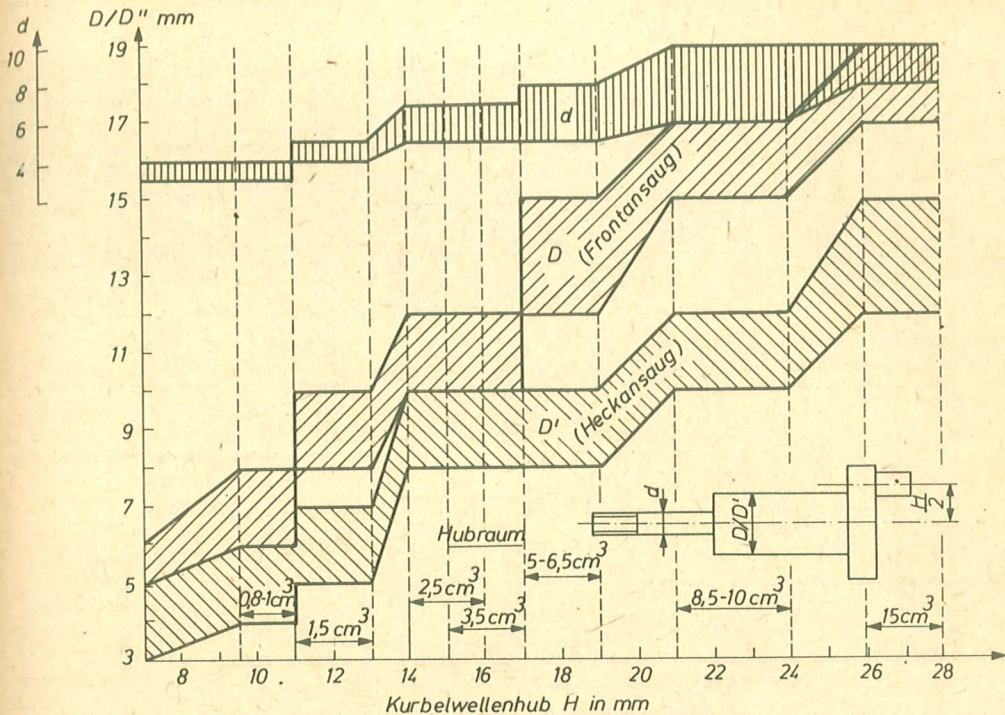


Bild 116 Dieses Bild gibt die, auf Grund der Kugellagerabmessungen möglichen, Durchmesserbereiche für Kurbelwellen in Abhängigkeit von Hub und Hubraum an

3.6.6. Zylinderkopf, Brennraum

Die Gestaltung des Zylinderkopfes sollte von Anfang an bedacht werden, denn es hat sich gezeigt, daß es günstig ist, wenn der Zylinderkopf nur wenig bzw. gar nicht in den Zylinder hineinragt. Entsprechend kurz ist dann die Laufbuchse zu konstruieren.

Es ergeben sich dadurch Vorteile in Bezug auf das Motorengewicht, seine Bauhöhe und durch Beseitigung des Nachbrenneffektes, eine Leistungssteigerung (Bild 119). Zur guten Wärmeableitung sollte der Zylinderkopf stark verrippt sein. Das trifft besonders auf Selbstzündermotoren zu, die meist an der Grenze ihrer termischen Belastbarkeit laufen, da ihnen die nötige Innenkühlung wie beim Glühzündermotor fehlt (siehe dazu Abschnitt 6.1.4.).

Wichtig bei der Gestaltung des Zylinderkopfes ist, daß nicht, wie im Bild 120 gezeigt wird, ein Zylinder-

derverzug gleich in den Motor hineinkonstruiert wird. Dazu gehört auch, daß die Anzahl der Zylinderkopfschrauben eine sichere und verzugsfreie Abdichtung gewährleisten, was bei 6 bis 8 Schrauben pro Zylinderkopf gegeben ist. Bei Hochleistungs-Rennmotoren haben sich Glühköpfe wegen ihrer guten Brennraumqualität und ihrer guten Wärmeabfuhr durchgesetzt. Bei ihnen bildet Zylinderkopf und Glühkerze eine Einheit, die mit einem Druckring auf den Motor befestigt wird (Bild 121). Eine weitere Möglichkeit für einen günstigen Brennraum sind Steckkerzen, die mit einer Überwurfmutter im Zylinderkopf gehalten werden. Erstmals wurde diese Methode beim Super Tigre X 15 verwendet (Bild 122).

Neue Brennraumformen werden immer wieder erprobt. Es haben sich jedoch 5 Formen herausgebildet, die sich bewähren. Bild 123 zeigt diese fünf Formen. Form a ist ein zylinderförmiger Brennraum mit Quetschkante, der sich bei Hochleistungs-Rennmotoren bewährt. Form b ist ein Halbkugelbrennraum. Er ergibt eine weiche Verbrennung und ein gutes

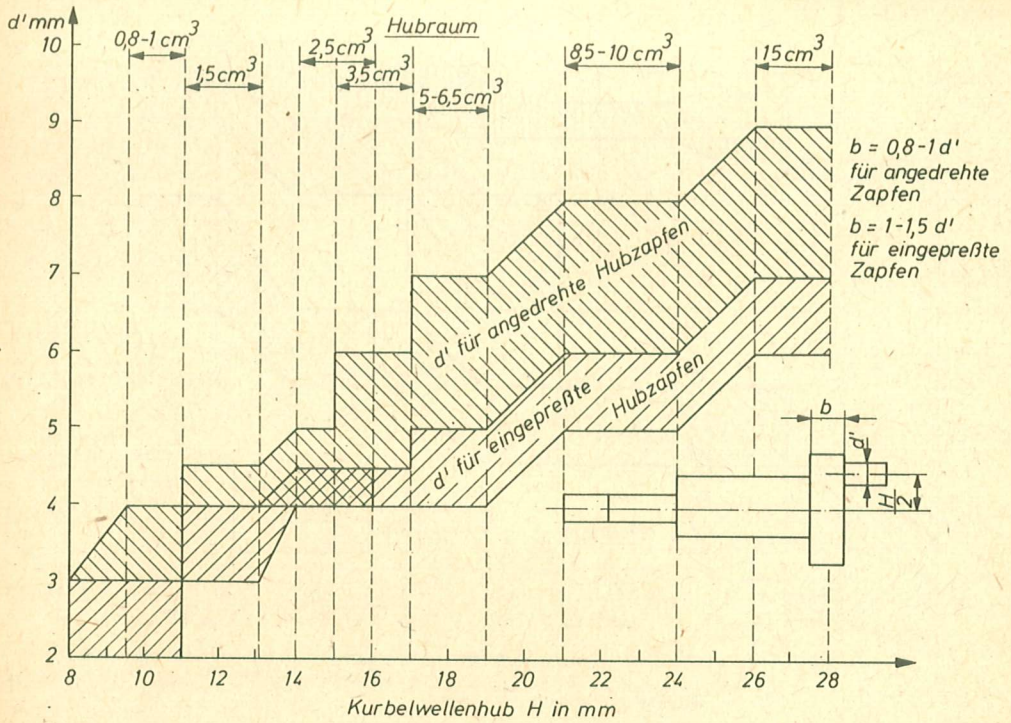


Bild 117 Kurbelzapfendurchmesser in Abhängigkeit von Hub und Hubraum

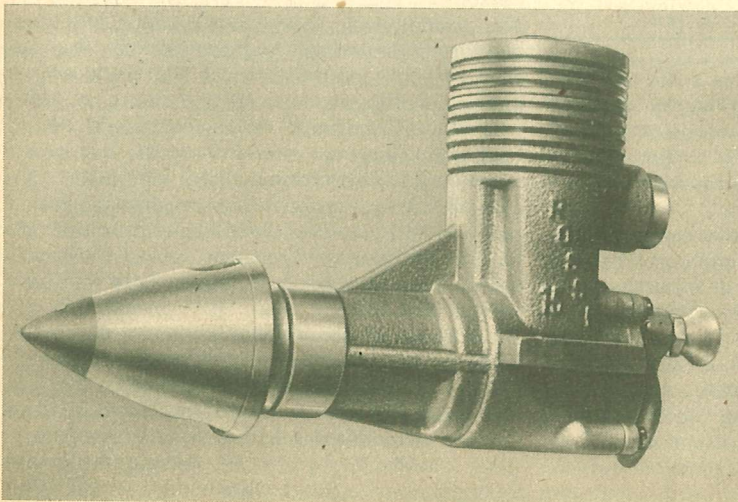


Bild 118
 Am Rossi 15 RV-Diesel wird durch einen kräftigen Steg zwischen Kurbelwellenlagerung und Zylinder die Verformung stark eingeschränkt

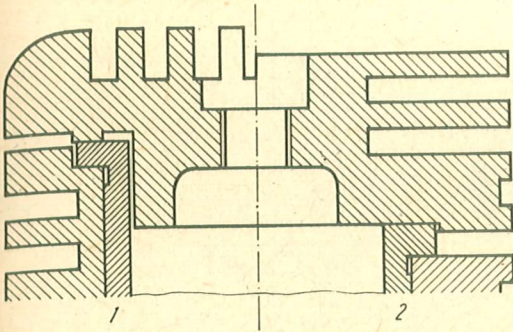


Bild 119 Vorteile des flach aufgesetzten Zylinderkopfes gegenüber der herkömmlichen Bauart
1 – Spalt, dadurch Nachbrennen möglich; 2 – kein Spalt, kein Nachbrennen möglich

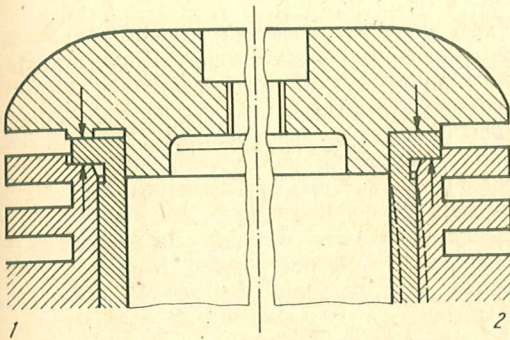


Bild 120 Zylinderkopfgestaltung zur Verhinderung von Laufbuchsenverzug
1 – richtig – kein Verzug der Laufbuchse; 2 – falsch – hoher Verzug der Laufbuchse

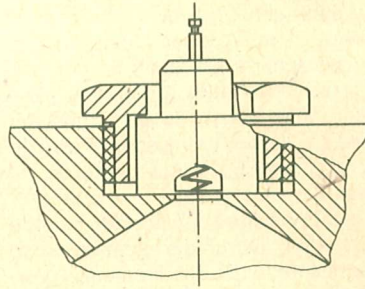
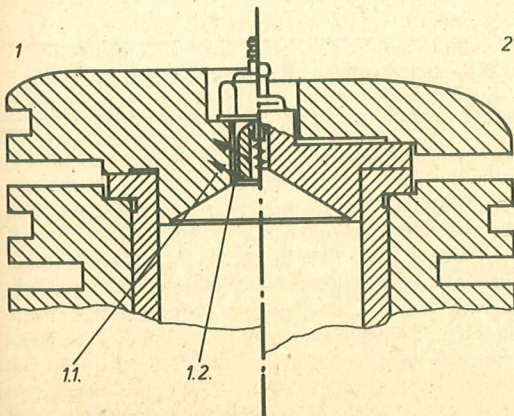


Bild 122 Mit Steckkerzen dieser Konstruktion soll annähernd der gleiche Effekt erreicht werden, wie mit Glühköpfen

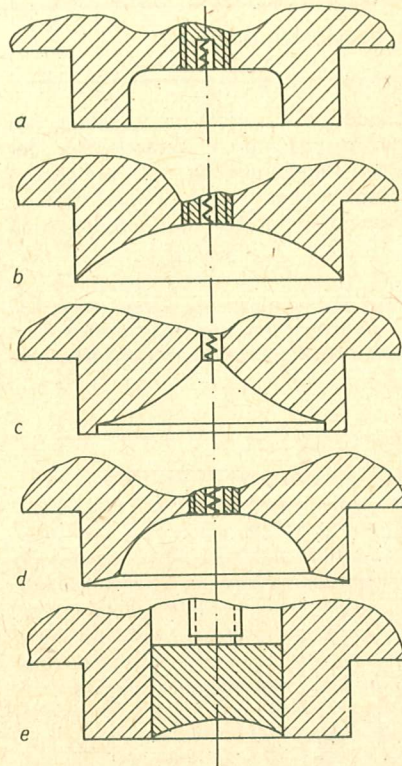


Bild 123 Verschiedene zur Zeit gebräuchliche Brennraumformen an Leistungs- und Rennmotoren

Bild 121 Nachteile der Glühkerze (1) gegenüber dem Glühkopf (2).

1.1. Wärmestau; 1.2. freie Gewindegänge verschlechtern Brennraumform

Drehmoment bei niedrigen Drehzahlen. Form c ist ein Glockenbrennraum mit großer Quetschkante. Wichtig ist dabei die scharfe Kante am Brennraumdurchmesser. Dieser Brennraum ergibt eine gute Leistung bei hohen Drehzahlen, da auf Grund der kurzen Brennwege die Verbrennung schnell erfolgt. Er wird hauptsächlich bei 2,5 cm³ Rennmotoren mit Glühkopf verwendet.

Als guter Kompromiß zwischen den Formen a und b ist die Form d anzusehen. Durch die leicht konische Form der Quetschkante wird die klopfende Verbrennung vermieden aber die Brennwege bleiben weiterhin kurz. Beim Selbstzündermotor hat sich eine flache Halbkugel als Brennraumform bewährt, wie sie im Bild 123e gezeigt wird.

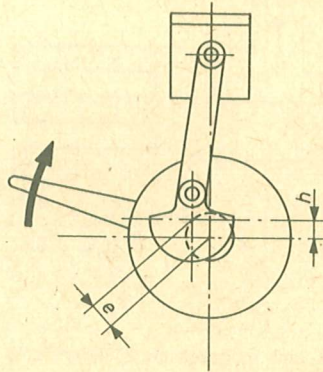
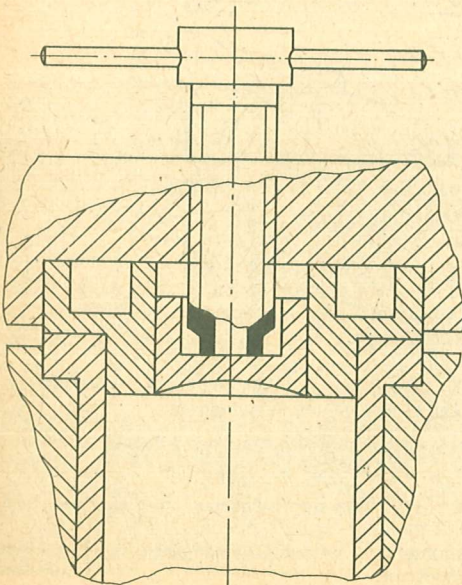


Bild 125 Eine nicht mehr gebräuchliche Art der Kompressionsverstellung mittels exzentrisch gelagerter Pleuellagerbolzen

3.6.7. Kompressionsverstellung

Beim Selbstzündermotor erfolgt die Regelung des Verbrennungsvorgangs durch Veränderung der Verdichtung. Als Regelorgan für die Verdichtung dient der Pleuellagerbolzen. Eine Pleuellagerbolzen schraubt auf einen im oberen Teil der Pleuellagerbolzen mit

Bild 124 Mit dem hier gezeigten abgesetzten Pleuellagerbolzen lassen sich Selbstzündermotoren sehr feinfühlig einstellen. Besonders in der FAI-Klasse F2C sind sie daher weit verbreitet.



einem strammen Pleuellagerbolzen eingepaßten Pleuellagerbolzen. Wird diese Pleuellagerbolzen schraubt hineingedreht, so wird der Pleuellagerbolzen in Richtung Pleuellagerbolzen geschoben; die Verdichtung wird erhöht. Löst man die Pleuellagerbolzen schraubt, so wirft der Pleuellagerbolzen den Pleuellagerbolzen nach oben; die Verdichtung wird verringert.

Da diese Art der Regelung für die Hochleistungs-selbstzündermotoren, wie sie in der Klasse F2C – Team-Racing verwendet werden, zu grob ist, verwendet man dort oft abgesetzte Pleuellagerbolzen (Bild 124).

Eine andere Art der Kompressionsverstellung, die in Vergessenheit geraten scheint, ist die Verstellung mittels exzentrisch gelagerter Pleuellagerbolzen. Ihr großer Nachteil ist die Veränderung der Steuerzeiten durch den Stellvorgang. Die im Kapitel 2.1. angeführte Kratmo-Serie war mit solchen exzentrisch gelagerten Pleuellagerbolzen ausgerüstet (Bild 125).

3.6.8. Pleuellagerbolzen, Spülverfahren

Die Pleuellagerbolzen sollte so lang sein, daß der Pleuellagerbolzen lediglich maximal $\frac{1}{3}$ seiner Länge im Pleuellagerbolzen hinausragt. Die Pleuellagerbolzen muß so dickwandig sein, daß sie sich nicht verformt, d. h., daß die Pleuellagerbolzenstärke etwa 8 bis 10 % der Pleuellagerbolzenbohrung betragen sollte. Da für Neukonstruktionen nur die Pleuellagerbolzenpülung in Frage kommt, sind im Bild 126 die Pleuellagerbolzenquerschnitte verschiedener Pleuellagerbolzenpülungen aufgezeichnet, die als Grundlage für die Konstruktion dienen können. Besonders interessant dabei ist die Pleuellagerbolzenpülung des amerikanischen „Nelson“

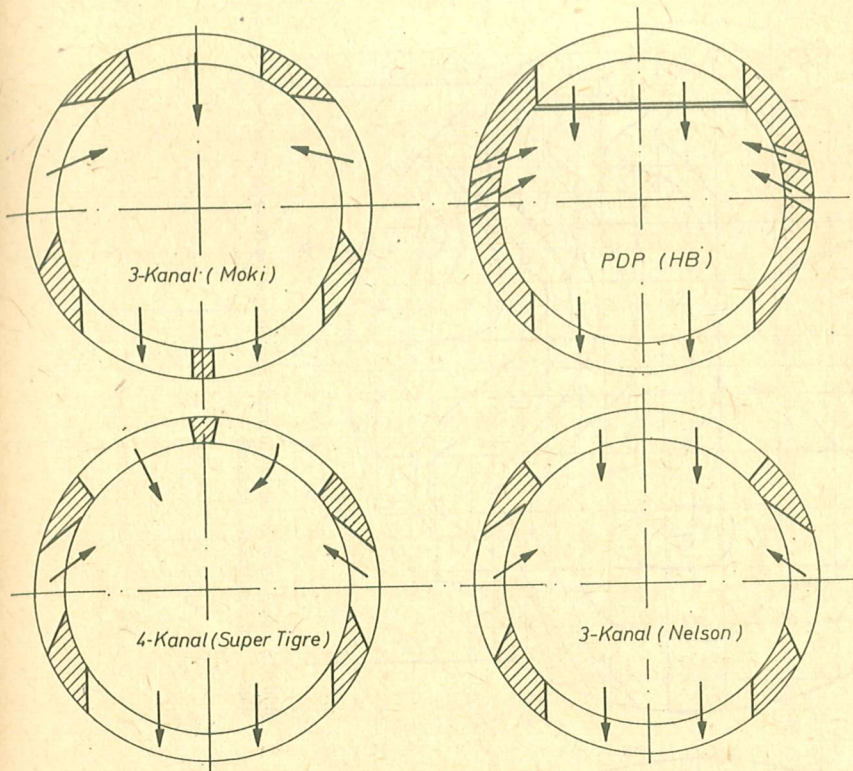


Bild 126 Beispiele von Laufbuchsenquerschnitten für verschiedene Arten der Umkehrspülung (Schnitt quer zur Laufbuchse durch die Spülkanäle)

Motors, der mit seinem extrem breiten 3-Überströmer schon fast eine Zwischenstellung zwischen der PDP-Spülung und der 3-Kanal-Umkehrspülung einnimmt. Diese Tendenz ist in letzter Zeit immer häufiger bei Hochleistungs-Motoren anzutreffen. Bei ihnen wird dann der 3. Überströmer in zwei oder drei Kanälen aufgeteilt, um zu verhindern, daß der Kolbenring eingehakt bzw. der Kolben in den großen Überströmer kippt. Diese Spülungen werden dann als 4-Kanal- oder 5-Kanal-Umkehrspülung bezeichnet und sind vor allem bei Motoren von 10 cm³ und mehr Hubraum anzutreffen.

Um Spülungen von Zweitaktmotoren schon in der Entwicklungsphase beurteilen und verbessern zu können, setzt man in der Großmotorentechnik die Methode der Messung von Spülbildern (Isobaren) ein. Bei dieser Methode wird durch ein Gebläse der Spülstrom imitiert und bei voll geöffneten Spülkanälen der Druckverlauf am oben offenen Zylinder gemessen. Die Messungen werden dann in Form von Drucklinien – ähnlich der Höhenlinien auf

einer Landkarte – ausgewertet. Die Drucklandschaft gibt dann Auskunft über die Qualität der Spülung und in welcher Richtung eine Änderung zur Verbesserung der Spülverhältnisse führen. Der Verfasser hat mit einer eigens für diese Zwecke entwickelten Versuchseinrichtung die Spüllandschaften verschiedener Spülverfahren aufgenommen, um so den Nachweis der Überlegenheit der 3-Kanalumkehrspülung zu erbringen und die Qualitätsunterschiede verschiedener Spülauslegungen festzustellen. Bild 127 zeigt das Spülbild einer Querstromspülung mit Nasenkolben. Das Zentrum des Spülstromes liegt etwa in der Mitte des Zylinders. Durch eine etwas längere Kolbennase wäre der Umlekeffekt im unteren Totpunkt besser und das Zentrum des Spülbildes würde während des gesamten Spülvorganges ideal, d. h. im ersten Drittel des Zylinders, vom Einlaß aus gesehen, liegen. Im Bild 128 ist das Spülbild der Querstromsülung ohne Nasenkolben des Super Tigre 60 Blue Head aufgezeichnet. Das Zentrum des Spülstromes liegt

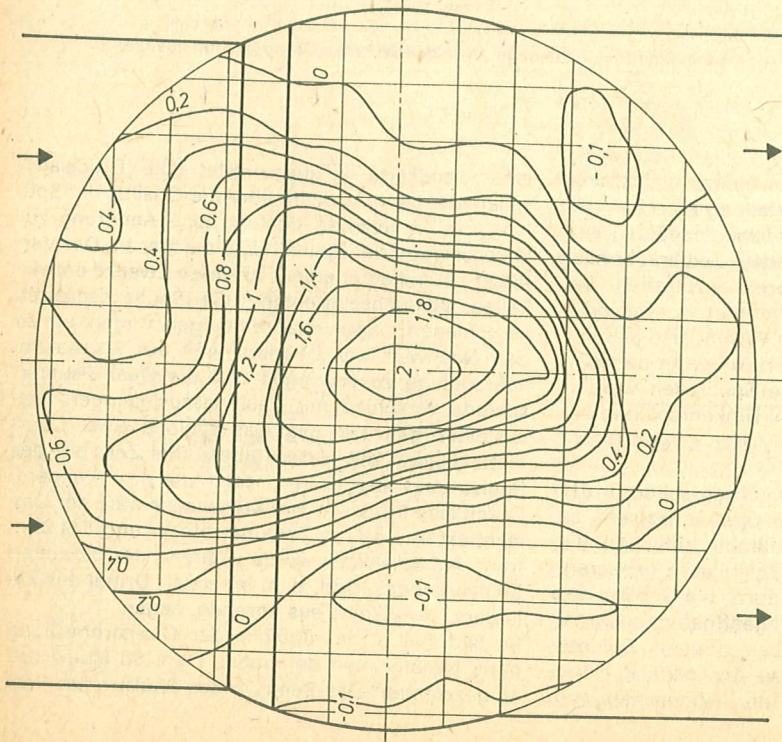


Bild 127 Spülsbaren einer Querstromspülung mit Nasenkolben (24 cm³ -
Zweizylinder mit Nasenkolben Spüldruck 1 kp/cm²)

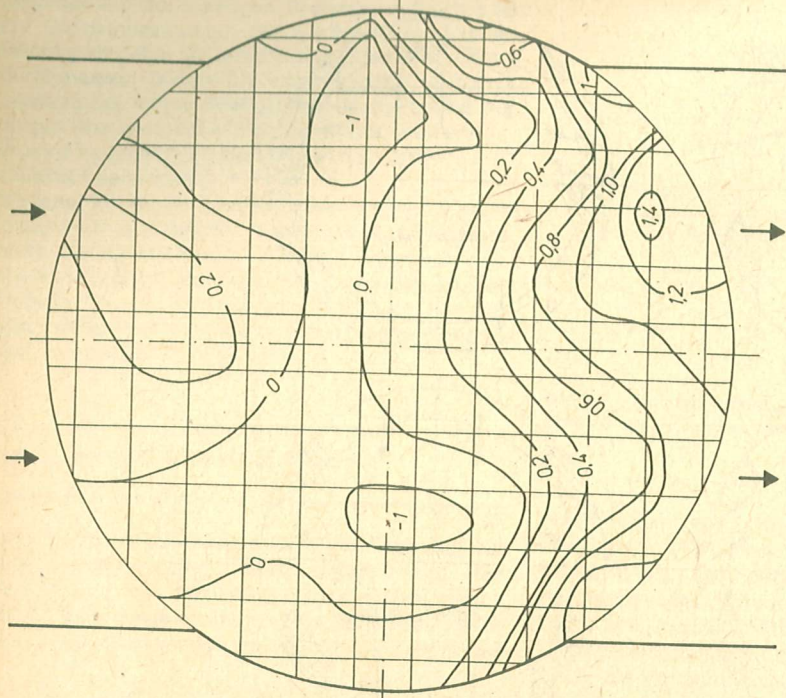


Bild 128 Spülsbaren einer Querstromspülung ohne Nasenkolben (Super Tigre,
Blue Head) (Spüldruck 1 kp/cm²)

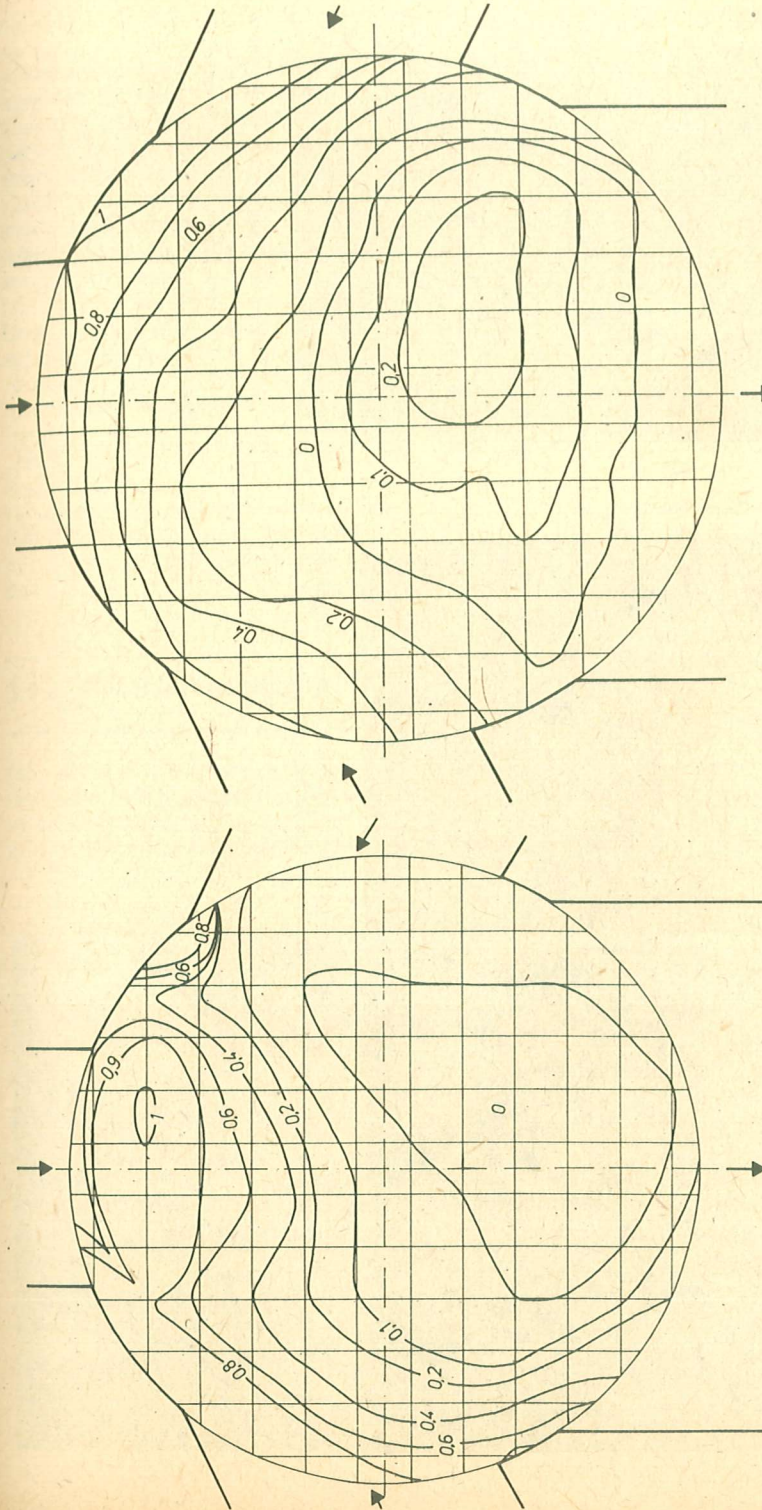


Bild 129 Die Spülsobaren des Webra Speed 61 RC zeigen die ideale Druckverteilung (Spüldruck 1 kp/cm²)

Bild 130 Ebenfalls noch sehr günstig sind die hier gezeigten Spülsobaren des Moki 10 RC-M 7 (Spüldruck 1 kg/cm²)

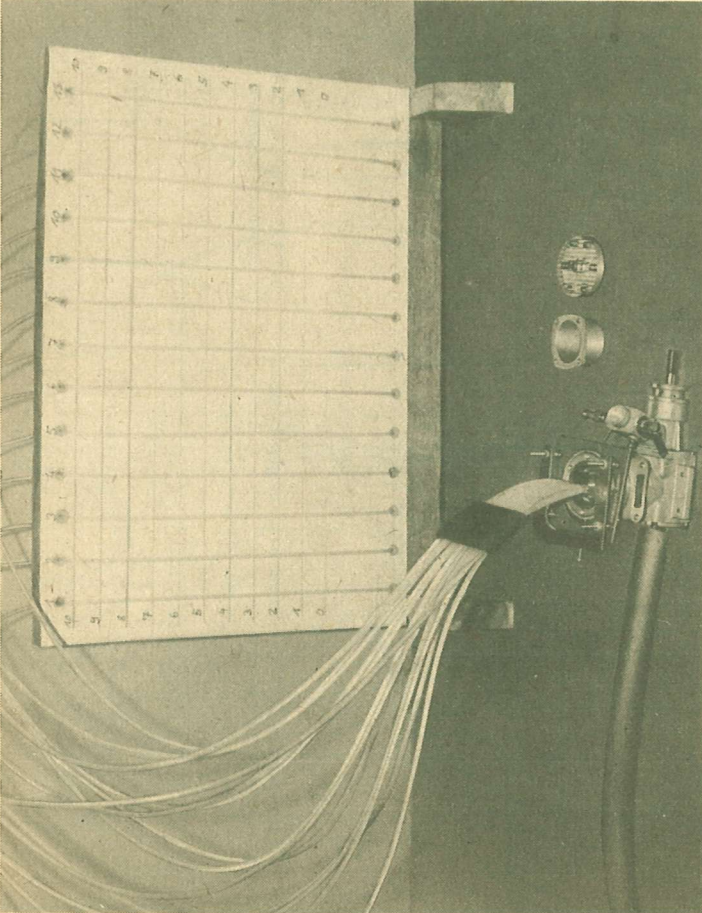


Bild 131 Versuchsanordnung zur Bestimmung der Spülisobaren. U-Rohre auf dem Meßbrett ermöglichen die Feststellung der Druckunterschiede, über den Luftschlauch am hinteren Motorflansch wird die Spülluft dem Motor zugeführt.

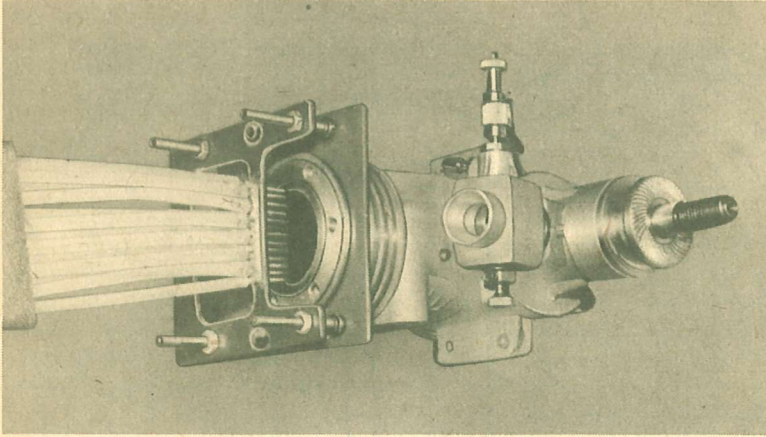


Bild 132 Mit diesem Kanülgitter lassen sich die Druckunterschiede im Spülstrom in einem Raster von 2×2 mm feststellen. Hier wurde die Versuchseinrichtung an einem Moki-M 7 montiert.

denkbar ungünstig an der Auspuffseite des Zylinders an. Das der Motor trotzdem noch eine annehmbare Leistung abgibt, liegt daran, daß das Zentrum des Spülstromes während des Spülvorganges über den gesamten Zylinder schwenkt. D. h., daß bei nur gering geöffnetem Einlaßkanal der Spülstrom steil aufsteigt und mit sich weiter öffnendem Kanal der Spülstrom zum Auslaßfenster hin und mit sich wieder schließendem Kanal zurückschwenkt, wodurch im Mittel der überwiegende Teil des Spülstromes im idealen Bereich liegt.

Das Spülbild auf Bild 129 zeigt eine ideale 3-Kanal-Umkehrspülung; sie stammt von Webra 61 RC. Die auf Bild 130 abgebildete Spülung stammt von Moki 10 RC-M7. Durch ungünstige Gestaltung der Überstromkanäle (Seitenkanäle zu groß, 3. Kanal zu klein) steigt der Spülstrom flach an der dem Auspuff gegenüberliegenden Zylinderwand auf. Hier wäre ein Angriffspunkt, durch Veränderung der Überstromkanäle die Leistung des Motors zu verbessern. Bild 131 und 132 zeigen die Versuchseinrichtung, mit deren Hilfe die Spülbilder aufgenommen wurden.

3.6.9. Einlaßdrehschieber

Jede Art von Einlaßdrehschiebern hat ihre Vor- und Nachteile. Am häufigsten ist der Kurbelwellendreh-schieber anzutreffen, da er ideale Einbaubedingun-gen für die meisten Modellklassen bietet (Bild 133).



Bild 133
Günstige Einbaubedingungen am
Flugmodell durch einen Motor mit
Kurbelwellendreh-schieber

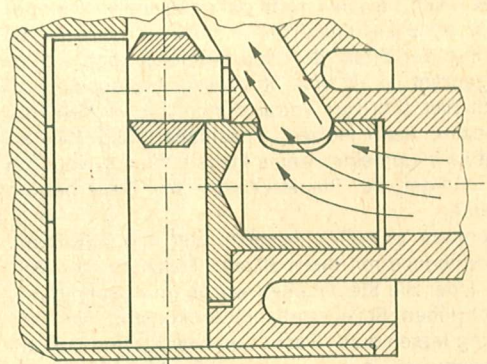


Bild 134 Prinzip des Hülsendreh-schiebers

Sein Nachteil wurde schon im Abschnitt 3.4.3. be-schrieben. Beim Kurbelwellendreh-schieber sollte der Einlaßschlitz in der Kurbelwelle mindestens 1,5 mal so lang sein wie der Durchmesser der Kurbel-wellen-Innenbohrung, um einen möglichst großen Gasdurchlaß zu ermöglichen. Da das untere Pleue-lende ständig beim Kurbelwellendreh-schieber dem Frischgastrahl ausgesetzt ist, ergibt sich eine sehr gute Kühlung dieser heißesten Lagerstelle im Mo-dellmotor, was sich besonders bei Rennmotoren günstig bemerkbar macht. Höhere Motorleistungen sind nur von unge-schwächten Kurbelwellen zu übertragen, wodurch der Einlaß auf die hintere Motorseite gelegt werden

muß. Hier bewährt sich der Hülsendrehchieber Bauart K+B (siehe Bild 109 + 110) besonders gut, da bei ihm der Effekt der Pleuelkühlung noch stärker ausgeprägt ist als beim Kurbelwellendrehchieber. Auch hält sich der Totraum noch in vertretbaren Grenzen. Beim Hülsendrehchieber (Bild 134) erfolgt im allgemeinen keine Pleuelkühlung, wodurch es häufiger zu Pleuelschäden im Dauerbetrieb kommt.

Besonders betroffen werden hier die FSR-Rennbootsmodelle mit ihren 30 min. Laufzeit unter Vollgas. Über die Steuerzeiten wurde im Abschnitt 3.5. geschrieben. Bei entsprechender konstruktiver Auslegung lassen auch Flachdrehchieber und Hülsendrehchieber in gewissem Maße eine Pleuelkühlung zu und ergeben dann aufgrund ihres geringen Totraumes gute Ergebnisse.

3.6.10. Umbau auf Mehrzylindermotoren

Der Reiz des Besonderen, der von einem mehrzylindrigem Modellmotor ausgeht, hat schon manchen Modellbauer dazu veranlaßt, sich solch ein Triebwerk selbst zu fertigen. Fast immer bieten vorhandene Modellmotoren gleicher Bauart die Möglichkeit, sie zu einem Mehrzylindertriebwerk zusammenzubauen. Der Aufwand an Bauteilen, die speziell gefertigt werden müssen, ist meist gering. Die größte Schwierigkeit bereitet die Ansaugsteuerung und die Kurbelwelle.

In wie weit ein völlig neues Gehäuse gefertigt werden muß oder nur ein Gehäuseunterteil oder ein Zwischenstück, hängt stark vom Basismotor ab. Für den Bau von Reihenmotoren eignen sich besonders gut Motoren mit Seitenauspuff, die auf beiden Gehäuseseiten verschraubt sind wie z. B. Moki M 6 oder VLTAVAN 5 cm³ (Bild 135).

Boxermotoren bzw. V-Motoren lassen sich sehr gut aus Motoren mit geteiltem Kanalbereich wie MVVS-Modela 2,5 und 6.5 aufbauen.

Als nächstes ist vor dem Umbau zu überlegen, welche Einlaßsteuerung am günstigsten angewandt werden kann. Für Reihenmotoren aus gleichen Gehäuseteilen mit Zwischenstück eignet sich ein im Zwischenstück untergebrachter Drehchieber (Bild 136, 137). Eine Membransteuerung mit getrennten Membranen für jeden Zylinder sowie die Kolbensteuerung ist für Motoren mit mehr als zwei Zylinder gut geeignet (Bild 138, 139). Bei derartigen Konstruktionen ist darauf zu achten, daß alle Zylinder gleich lange Ansaugwege bis zum Vergaser besitzen, da sich sonst ungleiche Füllungsgrade in den Zylindern einstellen. Um den Motor leicht be-

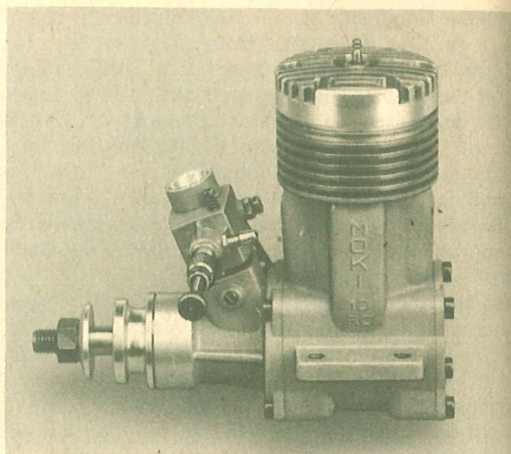


Bild 135 Der Moki M 6 mit 10 cm³ Hubraum eignet sich auf Grund seiner Konstruktion gut zum Umbau auf einen Zweizylinder-Reihenmotor

herrschbar zu gestalten, sollte immer mit einem Vergaser gearbeitet werden.

Der Anbau von je einem Vergaser pro Zylinder verspricht zwar eine höhere Leistungsausbeute, der Motor wird aber dadurch außerordentlich kritisch in der Bedienung, besonders wenn er mit Drosselvergäsern ausgerüstet ist.

Für Boxermotoren ist im allgemeinen ein Gehäuseunterteil zu fertigen, auf das die Kanalblöcke von Serienmotoren gesetzt werden können. Da je Zylinderpaar bei Boxermotoren nur ein Einlaß erforderlich ist, eignet sich hier besonders der Anbau eines Drehchiebers.

Besondere Schwierigkeiten bereitet im allgemeinen die Gestaltung der Kurbelwelle bei Mehrzylindermotoren.

Die einfachste Methode ist, die Kurbelwelle aus einem Stück zu fertigen und geteilte Pleuele zu verwenden. Am Beispiel einer Kurbelwelle für einen 2-Zylinder-Boxermotor mit 5 cm³ Hubraum zeigt Bild 140 die Gestaltung und Fertigungstechnologie einer einteiligen Kurbelwelle.

Das Herstellen „gebauter“ Kurbelwellen durch Zusammenpressen, wie es im Zweitaktmotorenbau allgemein üblich ist, erfordert bei den Größenordnungen der Modellmotoren höchste Präzision, ist aber prinzipiell durchführbar (Bild 141).

Bei der Konstruktion des Motorgehäuses ist die Montagemöglichkeit für die Pleuele bzw. Pleuele und Kolben zu berücksichtigen, in dem entweder entsprechende Montageöffnungen zum Verschrau-

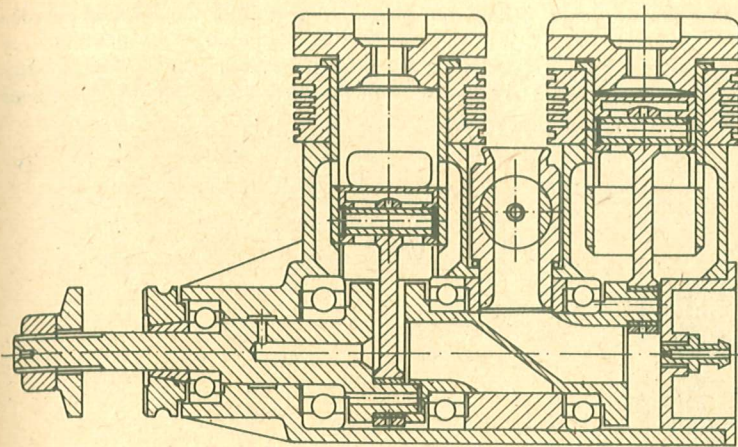


Bild 136
Prinzip des im Zwischenstück
untergebrachten
Drehschiebers

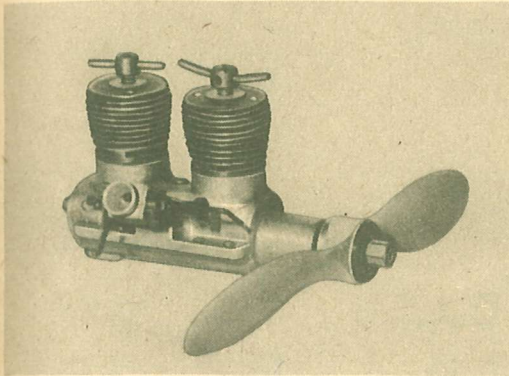


Bild 137 Ein vom Verfasser aus zwei 2,5 cm³ Zeiss-Mo-
toren nach diesem Prinzip gebauter Zweizylinder-Reihenmo-
tor

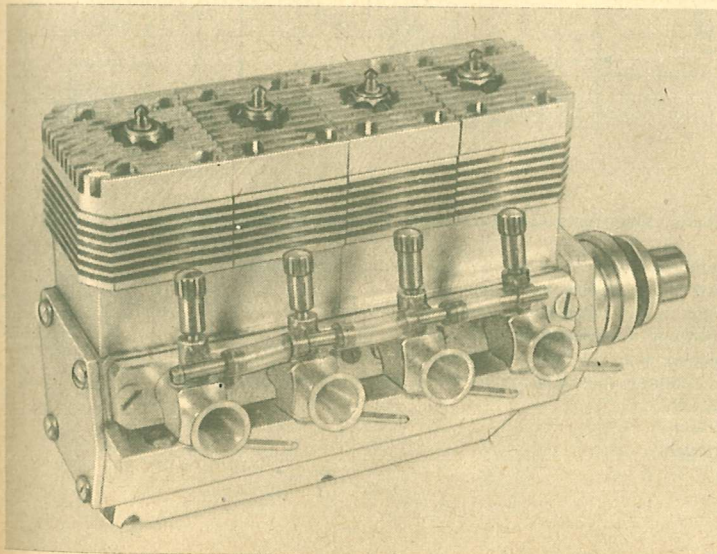


Bild 138
Diesen
10 cm³-Vierzylinder-Reihenmo-
tor mit Membransteuerung
baute der Berliner
Modellsportler Peter
Schumann

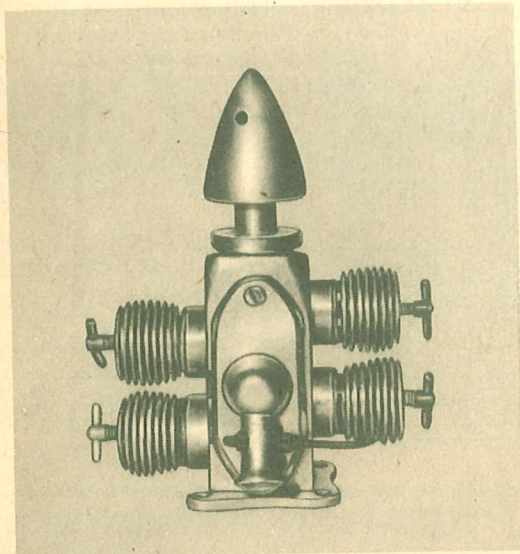


Bild 139 Mit Membransteuerung ist auch dieser Vierzylinder-Boxermotor ausgestattet, der unter Verwendung von vier Webra Mach 1 Laufgruppen entstand

ben der geteilten Pleuefüße vorgesehen werden oder bei der Montagetechnologie der geteilten Kurbelwelle die Möglichkeit der Pleuermontage gegeben wird (Montage der Kurbelwelle im Motorengewölbe).

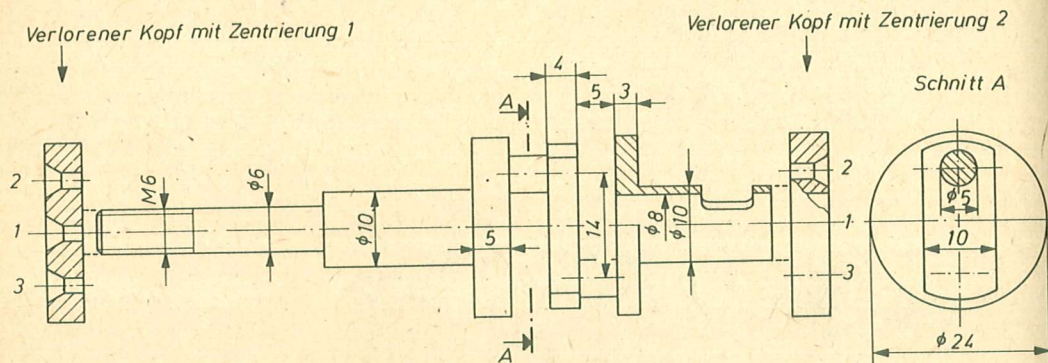


Bild 140 Gestaltung und Fertigungsstationen einer einteiligen Kurbelwelle für einen 5 cm³-Zweizylinder-Boxermotor mit Drehschiebereinlaß System K+B

1. Arbeitsgang: Vollmaterial 24 mm Durchmesser auf Länge drehen, Anreißern und Zentrieren
2. Arbeitsgang: Auf Zentrierung 2 spannen und Kurbelzapfen fertigdrehen
3. Arbeitsgang: Auf Zentrierung 3 spannen und Kurbelzapfen fertigdrehen
4. Arbeitsgang: Auf Zentrierung 1 spannen und Kurbelwelle fertigdrehen
5. Arbeitsgang: Verlorenen Kopf 1 abstechen, M 6-Gewinde schneiden
6. Arbeitsgang: Auf 10 mm Durchmesser spannen und Steuerbohrung von 8 mm Durchmesser bohren
7. Arbeitsgang: Verlorenen Kopf 2 abstechen
8. Arbeitsgang: Flächen am Mittelsteg fräsen
9. Arbeitsgang: Steuerdurchbruch einbringen

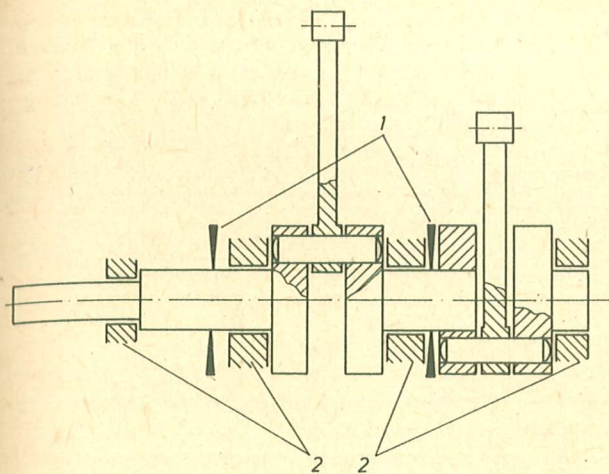


Bild 141
Gestaltung einer „gebauten“ Kurbelwelle für
einen Zweizylinder-Reihenmotor mit
Membraneinlaß.
1 – Abdichtung, 2 – Kugellager

erden
Kur-
jege-
enge-



tor mit

3.6.11. Daten ausgeführter Motorkonstruktionen

Motortyp	Hub mm	Bohrung mm	Hub- raum cm ³	Kurbel- wellen- schaft Ø mm	Kurbel- zapfen Ø mm	Kolben- bolzen Ø mm	Einlaß ö.n.uT S.n.oT °kW	Steuerzeiten		Spülung
								Über- strom °kW	Aus- laß °kW	
MK 16	11,4	12,85	1,48	5	3,5	3	45°/45°	110	155	Ring
MK 12B	13	15,5	2,46	6	5	4	37°/50°	90	150	Ring
MVVS GD	14	15	2,47	12	4,5	4	53°/62°	126	154	3-Kanal
Rossi RV/D	14	15	2,47	8	4,5	4	42°/50°	134	152	3-Kanal
Rossi FI	14	15	2,47	12	4,5	4	40°/65°	120	185	3-Kanal
Nelson D	14,5	14,6	2,43	10	4	4	39°/59°	108	128	3-Kanal
Dremo 3,5	16	16,5	3,42	12	5	5	45°/60°	130	155	3-Kanal
HB 21 PDP	16,2	16,5	3,46	12	5	4	45°/45°	126	141	Querstrom PDP
Kometa	17	19	4,82	12	6	6	45°/64°	120	150	Querstrom
MVVS 6,6	19	21	6,58	15	6	6	45°/50°	120	155	3-Kanal
Raduga	20	21	6,92	12	6	5	50°/45°	120	150	3-Kanal
Moki M 7	22	24	9,95	17	7	6,5	45°/45°	120	144	3-Kanal
Webra Speed 61	22	24	9,95	17	7	6	40°/55°	130	165	3-Kanal
Webra 90	25	27	14,3	19	8	7	40°/55°	124	148	3-Kanal
TAI-25	30	32	23,3	15	10	8	35°/35°	138	145	Querstrom

4. Leistungsmessung

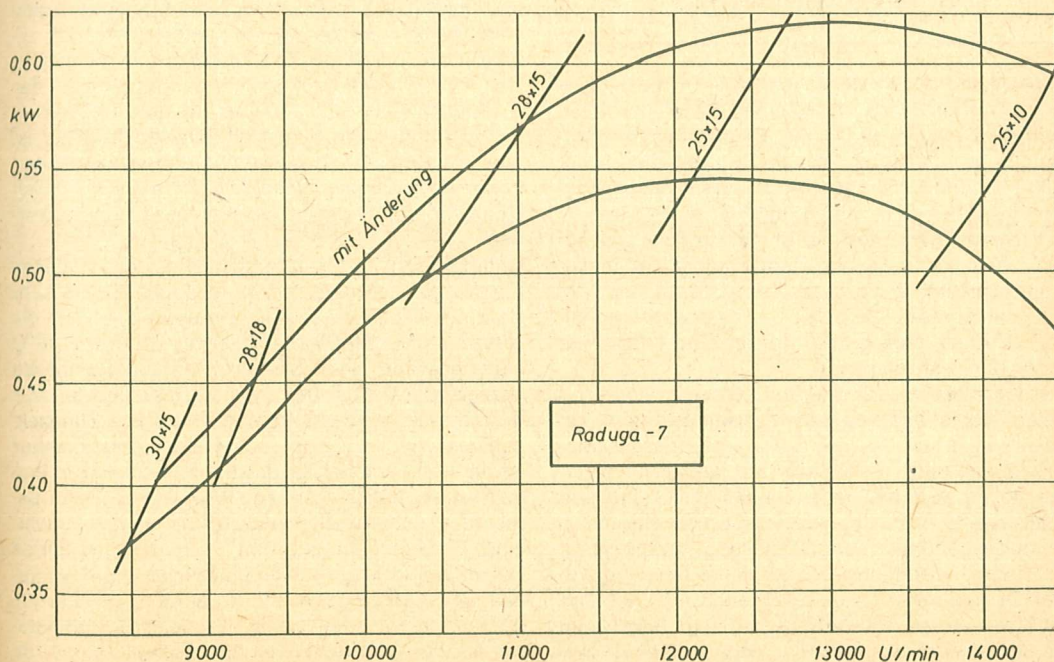
4.1. Ziele der Leistungsmessung

Die Frage nach der wirklichen Leistung seines Modellmotors hat sich wohl schon jeder Modellsportler gestellt. Meist traut er den sehr optimistisch anmutenden Angaben der Hersteller nicht und möchte selbst die Leistung feststellen. Dazu kommt, daß der Nutzer fast immer den Motor in einem anderen Drehzahlenbereich betreibt, als es der Hersteller bei seiner Leistungsmessung tat. Die Leistung im Hauptbetriebsbereich ist demnach für den

Nutzer interessanter als die Höchstleistung des Motors. Für den Modellsportler, der Rennmodelle betreibt, ist die Leistungsmessung bei der Auswahl von Motoren und bei der Überprüfung verschiedener Tuningmaßnahmen interessant.

Meist ist für diese Kontrolle der Leistung eine echte Leistungsmessung völlig überflüssig; es genügt eine vergleichende Drehzahlmessung. Dazu wird ein Motor, dessen Leistung erfahrungsgemäß als gut

Bild 142 Leistungskurven eines Raduga-7 vor und nach der Verringerung des Kolbengewichts



angesehen wird, mit ein paar im praktischen Betrieb oft benutzten Propellertypen betrieben, die Drehzahl gemessen und notiert. Es ist dabei völlig unbedeutend, ob die Drehzahl mechanisch oder elektronisch gemessen wird, nur soll immer der gleiche Drehzahlmesser benutzt werden, um einen echten, durch keine Meßfehler verfälschten Vergleich zu haben. Der Motor, der im Stand mit dem jeweiligen Propeller die höchste Drehzahl erreicht, hat auch garantiert im Betrieb die höchste Motorleistung. Wenn nicht, und das kommt sehr häufig vor; durch falsche Motorkühlung oder ungünstige Tankanordnung der Motor an seiner Leistungsentfaltung gehemmt wird.

Manche Motoren drehen im Stand mit relativ großen Propellern so gut wie gute Vergleichsmotoren, aber im Betrieb erreichen sie nicht deren Drehzahl. Dieses Verhalten liegt meist daran, daß die betreffenden Motoren durch mechanische Mängel, durch zu hohe oszillierende Massen im Triebwerk oder

starke Drosselung ihre Drehzahlgrenze erreicht haben und dadurch nicht in der Lage sind, höher zu drehen. Dieses Verhalten kann durch Benutzung kleiner Propeller im Stand simuliert werden, wobei sich dann garantiert dieses Verhalten wiederholt.

Am besten läßt sich dieses eben beschriebene Verhalten natürlich an der Leistungskurve eines Motors ablesen. Bild 142 zeigt dazu zwei Leistungskurven des sowjetischen 7 cm³-Modellmotors Raduga. In der untersten Kurve ist ein steiler Leistungsabfall ab 13000 1/min zu sehen. Nach Beseitigung einiger mechanischer Mängel und Verringerung des Kolbengewichts ergab sich die obere Leistungskurve, die eine deutliche Leistungssteigerung hat und einen flacheren Verlauf des Leistungsabfalles im hohen Drehzahlbereich zeigt. Besonders interessant sind solche Leistungskurven beim Vergleichen verschiedener Resonanzschalldämpfer, doch dazu mehr im Abschnitt 6.1.

4.2. Methoden der Leistungsmessung an Modellmotoren

4.2.1. Indirekte Leistungsmessung durch Vergleichsmessungen

Diese Methode geht davon aus, daß eine bestimmte Leistung erforderlich ist, um einen Propeller mit bestimmter Drehzahl zu drehen. Es ist dabei völlig unwichtig, womit dieser Propeller angetrieben wird. Mißt man den Leistungsbedarf dieses Propellers bei verschiedenen Drehzahlen und hält diese Messungen in einer Kurve fest, so ist man in der Lage, sofort die Leistung seines Modellmotors auf dieser Propellerkennlinie zu bestimmen. Wenn der Modellmotor diesen Propeller in einer bestimmten Drehzahl hält, muß er also die Leistung haben, die in der Kurve abzulesen ist.

Werden diese Messungen mit verschiedenen Propellern ausgeführt, von denen Leistungskurven vorliegen, so erhält man die Leistungskurve des Motors. In den Bildern 143–146 sind die Leistungskurven einiger auch bei uns gebräuchlicher Typen von Plastikpropellern aus dem kapitalistischen Ausland in doppelt-logarithmischer Darstellung aufgetragen, die der westdeutsche Modellmotorenexperte Prof. Dr. Ing. Peter Demuth aufgenommen hat. Das Ende der Linien auf den Diagrammen bezeichnet die Berstgrenze der Propeller. Um Unfälle zu ver-

meiden, dürfen die Propeller nur bis zu dieser Drehzahl belastet werden.

Da die Plastikschrauben über Jahre hinaus mit gleicher Qualität und Genauigkeit gefertigt werden, ergibt diese Methode relativ genaue Messungen. Dennoch kann es vorkommen, daß regelmäßig der Meßpunkt einer Luftschaube aus den Meßwerten der Leistungskurve herausfällt. Dieser Propeller ist dann tatsächlich etwas von dem ursprünglichen Meßpropeller abweichend geformt und sollte durch einen anderen gleichen Fabrikats ausgetauscht werden.

Unterschiedliche Witterungsbedingungen beeinflussen die Leistungsentfaltung eines Motors sehr stark. Deshalb ist es im Großmotorenbau üblich, die Leistung eines Motors bei 1000 hPa Luftdruck, 15°C Lufttemperatur und 65% relativer Luftfeuchtigkeit anzugeben. Da bei der Leistungsmessung an Modellmotoren noch die Verschiebung des Zündzeitpunktes durch die Luftfeuchte und Lufttemperatur sowie die Luftdichte für das Bremsmoment am Propeller eine Rolle spielt, hat Prof. Demuth eine Berechnungsmethode entwickelt, die es ermöglicht, eine Umrechnung auf den oben beschriebenen Normzustand bei Modellmotorenmessungen vorzunehmen. Allerdings trifft diese Berechnung nur für Glühzündermotoren voll zu. Bei Selbstzündermotoren hat die Luftfeuchtigkeit kaum einen Einfluß, da

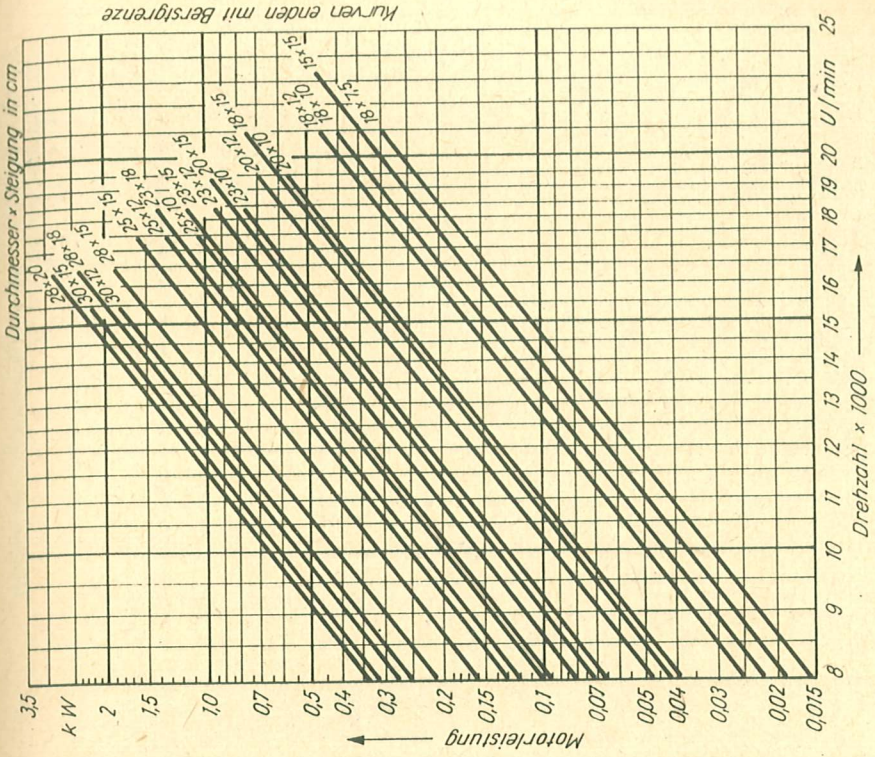


Bild 144 Leistungskurven Graupner Super Nylon-Propeller (nach Prof. Demuth)

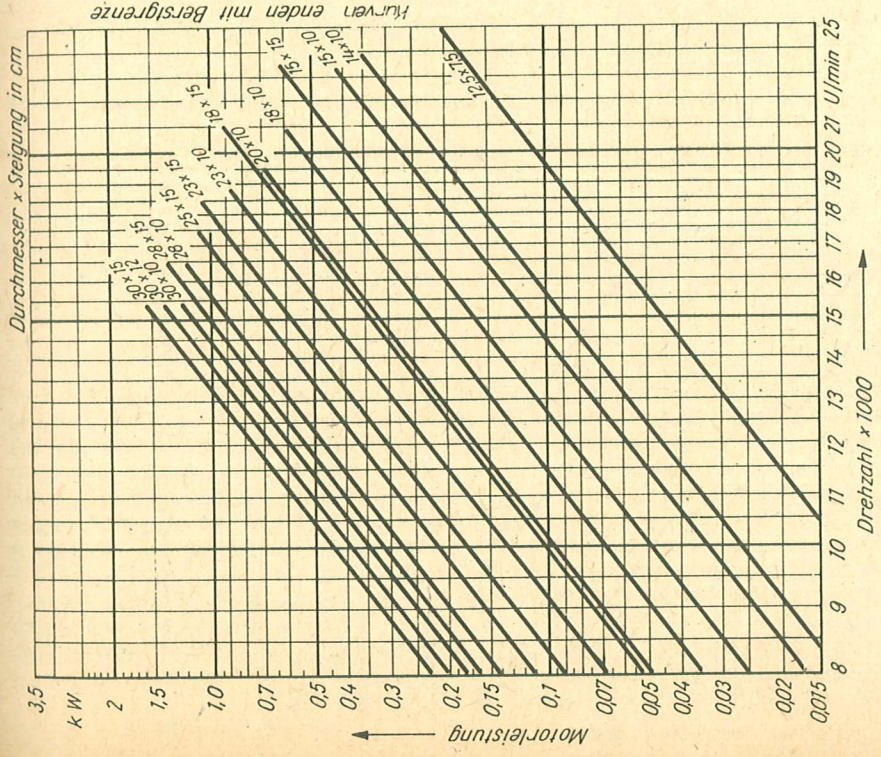


Bild 143 Leistungskurven Tornado Nylon-Propeller (nach Prof. Demuth)

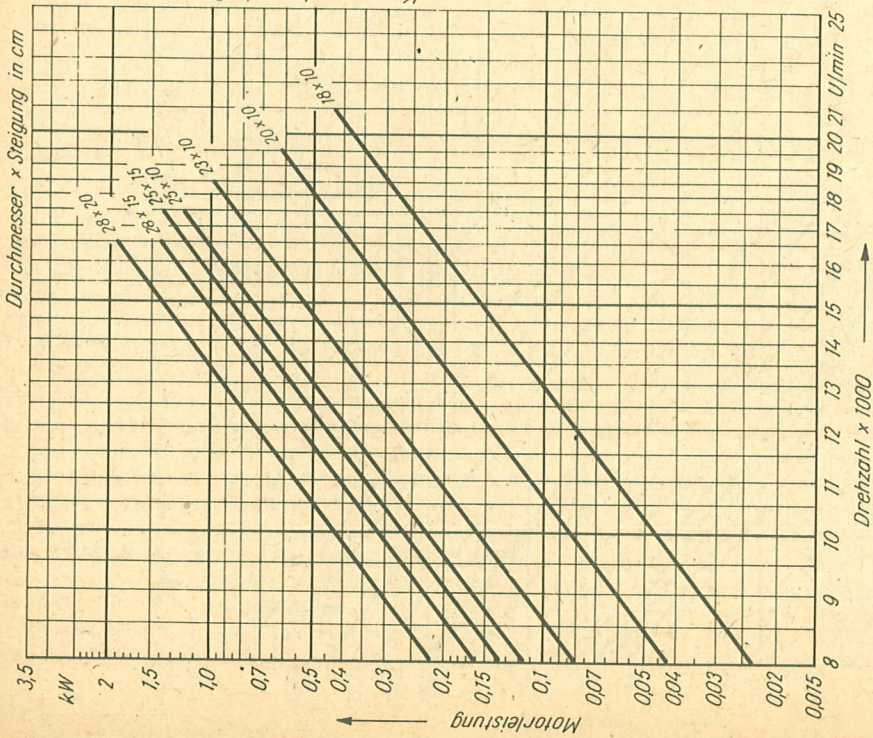


Bild 145 Leistungskurven Robbe Dynamik-Rot-Propeller (nach Prof. Demuth)

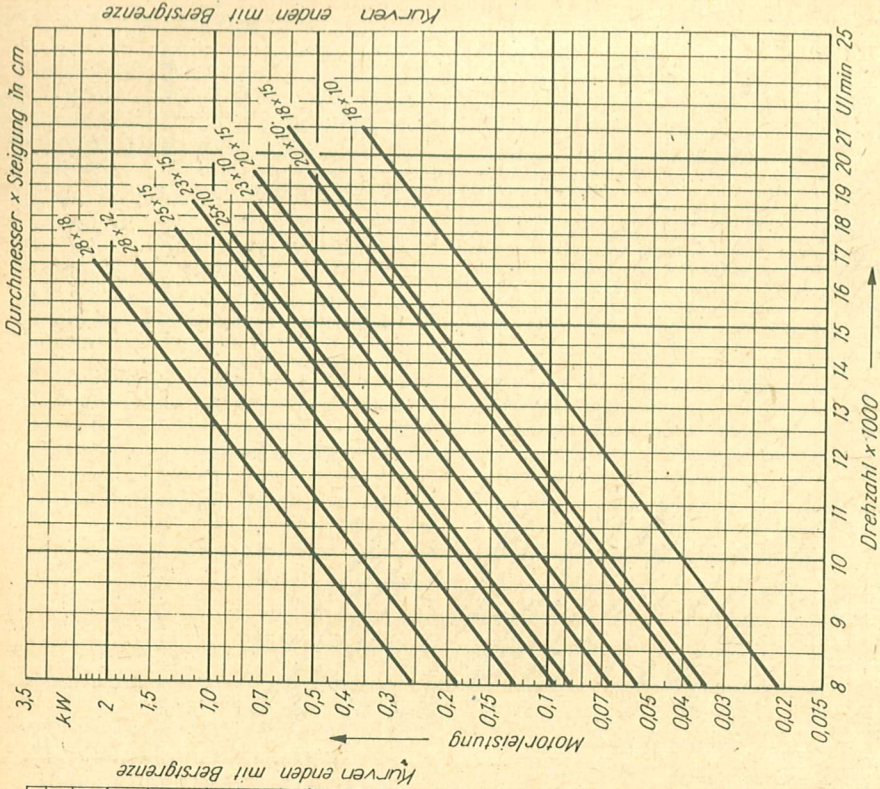


Bild 146 Leistungskurven Taipan-speed-Propeller (nach Prof. Demuth)

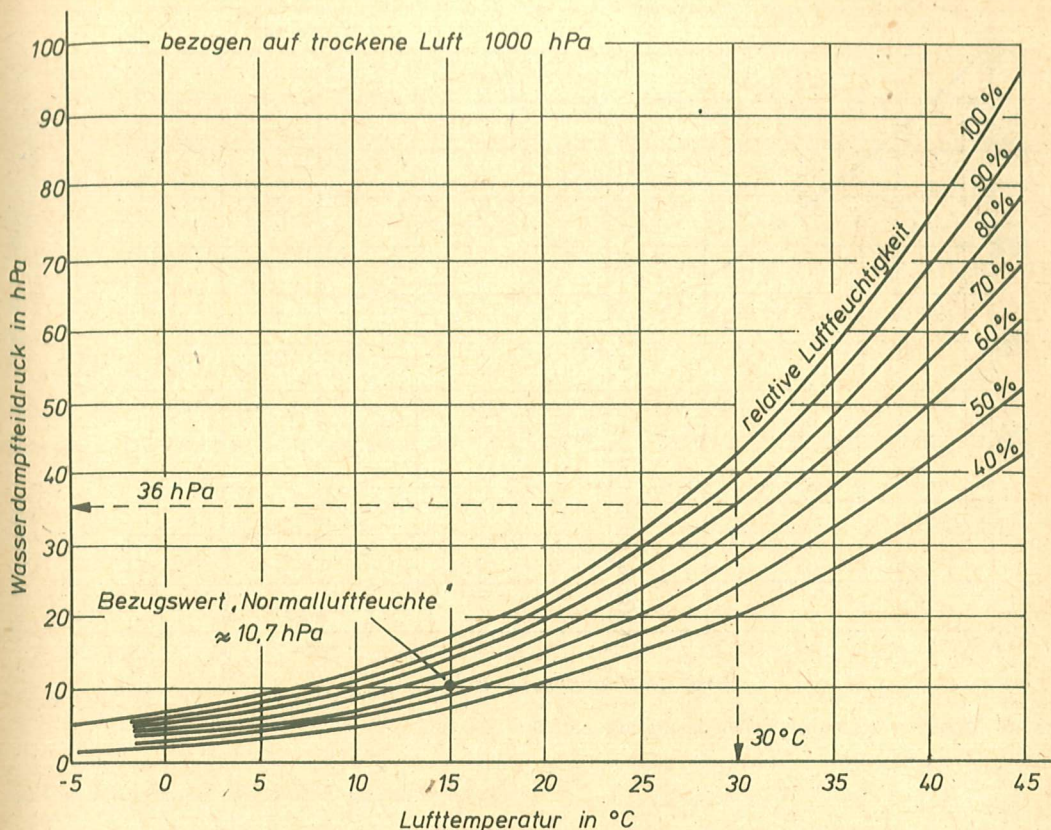


Bild 147 Diagramm Wasserdampfdruck zu Lufttemperatur (nach Prof. Demuth)

Ihr Kraftstoff kaum Wasser aus der Luft aufnimmt, im Gegensatz zum stark hygroskopischen Methanol, das zudem durch die Wasseraufnahme seine Verbrennungseigenschaften stark verändert.

Anhand eines Beispiels soll die Berechnungsmethode der Reduzierung einer Motorleistung auf den Normzustand bei Modellmotoren mit Hilfe der Diagramme auf den Bildern 147–149 demonstriert werden: Bei einer Leistungsmessung dreht ein 10 cm³ Glühzündermotor einen 25 × 15 Super Nylon-Propeller mit 15000 1/min, das wären aus dem Diagramm im Bild 144 1,05 kW.

Gemessen wurde bei einer
Lufttemperatur von 30 °C
einem Luftdruck von 1015 hPa
und einer Luftfeuchte von 80 %

Gesucht ist die Leistung dieses Motors bezogen auf den Normzustand von 1000 hPa, 15 °C und 65 % Feuchte.

1. Aus dem Diagramm (Bild 147) ergibt 30 °C und 80 % Luftfeuchte einen Wasserdampfdruck von 36 m bar. Bei Normalluftfeuchtigkeit von 65 % und einer Normaltemperatur von 15 °C ergibt sich 10,7 hPa Wasserdampfdruck. Die Differenz

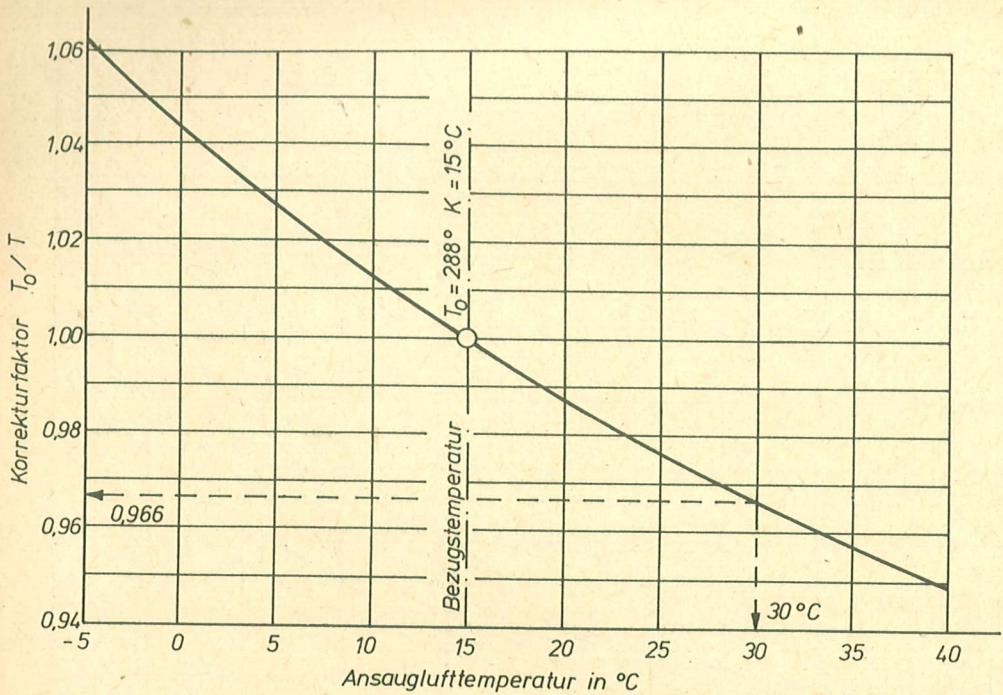


Bild 148 Diagramm des Temperaturkorrekturfaktors (nach Prof. Demuth)

zwischen diesen beiden Drücken also $36 - 10,7 = 25,3 \text{ hPa}$ – ist als P_{Feuchte} in der Formel abzuziehen.

2. Aus dem Diagramm (Bild 148) ergibt sich ein Temperaturkorrekturfaktor T_0/T von 30°C von 0,966.

3. Aus diesen Werten errechnen wir die reduzierte Leistung $\frac{P}{P_{\text{red}}}$

also die Leistung des Motors bei Normzustand aus der Formel

$$\begin{aligned} \frac{P}{P_{\text{red}}} &= \frac{P_{\text{Bar}} - P_{\text{Feuchte}}}{P_0} \cdot (T_0/T) \\ \frac{P}{P_{\text{red}}} &= \frac{1015 - 25,3}{1000} \cdot 0,966 \\ &= \underline{0,956} = 95,6\% \end{aligned}$$

Das Ergebnis sagt, daß der Motor bei 30°C , 1015 hPa und 80% Feuchte nur $95,6\%$ seiner Leistung bezogen auf den Normzustand 15°C , 1000 hPa und 65% Feuchte erreicht.

4. Aus dem Diagramm (Bild 149) ergibt sich ein Reduzierungsfaktor für die Propellerdrehzahl bei

$$\frac{P}{P_{\text{red}}} = 95,6\% \text{ von } 1,014.$$

Die Propellerdrehzahl bei Normzustand wäre demnach

$$15000 \cdot 1,014 = 15210 \text{ 1/min.}$$

5. Aus dem Diagramm im Bild 144 ergibt diese Drehzahl eine Leistung von $1,1 \text{ kW}$.

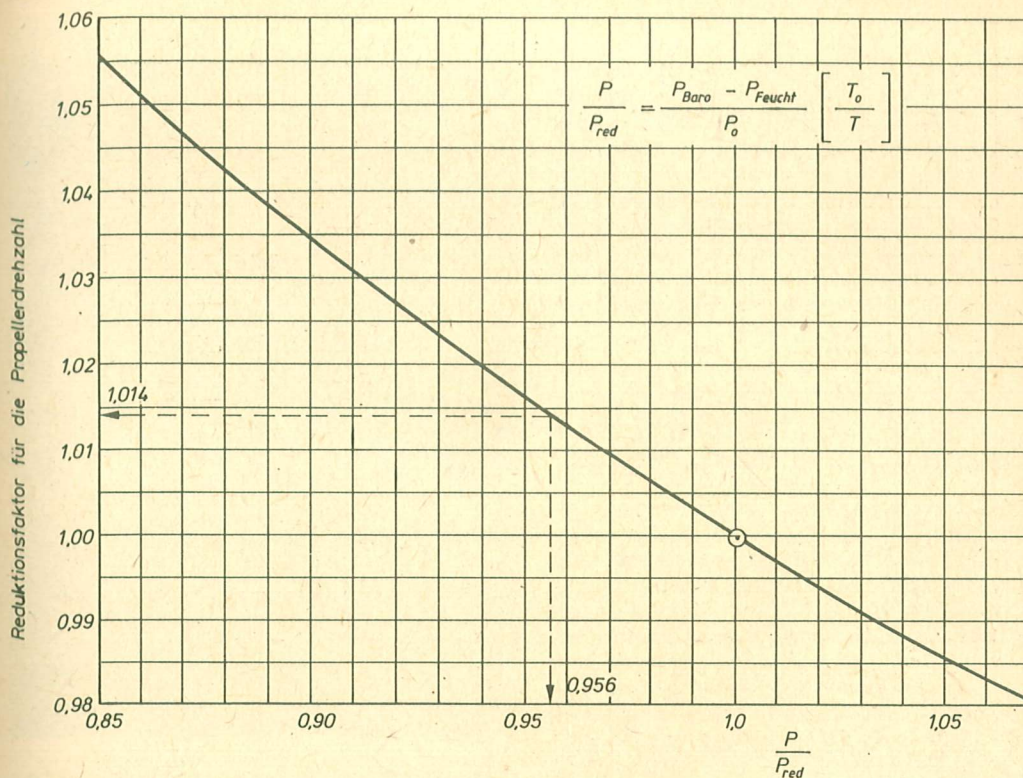


Bild 149 Diagramm der Minderleistung (nach Prof. Demuth)

4.2.2. Bremspropeller – Prüfstand mit Drehmomentwaage

Den Modell-Rennbootsfahrer interessiert natürlich die Leistung, die sein Motor mit der im Rennbetrieb benutzten Schiffsschraube abgibt, um so die Schiffsschraube optimal dem Motor anzupassen. Deshalb ist ein Bremspropeller-Prüfstand für seinen Messungen erforderlich.

Die Funktionsweise ist folgende:

Der Motor wird drehbar auf einen Pendelblock gelagert (Bild 150). Ein quer zum Motor am Pendelblock befestigtes Übertragungsgestänge drückt zur Kraftmessung mit einer Seite auf eine Waage, die andere Seite besitzt eine verschiebbare Ausgleichsmasse, um die Waage auf 0 stellen zu können. Die Waage erhält einen zusätzlichen Schwingungsdämpfer in Form einer Platte, die waagrecht in eine Flüssigkeit eintaucht. An dem Motor wird die Schraubenwelle befestigt, die genau zum Pendel-

block ausgefluchtet in ein möglichst großes Wasserbecken ragt. Natürlich muß die Schraubenwelle wie im Boot abgedichtet sein. Das Wasserbecken ist so zu gestalten, daß die Wassermassen sich, von der Schraube getrieben, im Kreis bewegen können. Aus dem Wasserbecken kann durch Staudruck, analog der Ausführung im Boot, das Kühlwasser für den Motor entnommen werden. Eine Einrichtung zur Drehzahlmessung und Absaugeinrichtung für das Auspuffgas komplettiert den gesamten Prüfstand. Bild 151 zeigt einen solchen Prüfstand, gebaut von den FSR-Rennbootsfahrern aus Halle. Die Drehzahlmessung erfolgt an diesem Prüfstand durch ein elektronisches Zählwerk mit digitaler Anzeige.

Die Ermittlung der Leistung erfolgt dann nach der bekannten Formel:

$$P = \frac{M \cdot n}{974030}$$

(P in kW, n in 1/min, M in Ncm)

wobei M aus der Länge des Hebelarmes von der

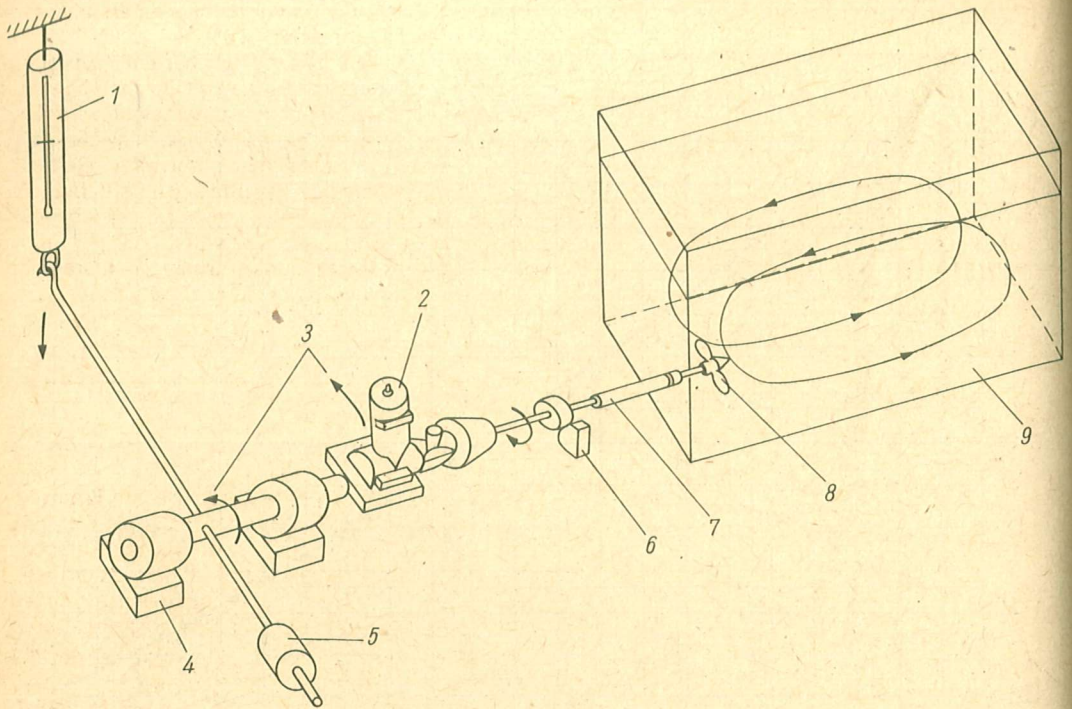


Bild 150 Prinzip des Bremspropeller-Prüfstandes für Bootsmotoren

- 1 – Federwaage
- 2 – Motor
- 3 – Richtung des Rückdrehmoments
- 4 – Lagerbock
- 5 – Ausgleichsgewicht
- 6 – Elektronischer Drehzahlgeber
- 7 – Stevenrohr
- 8 – Schiffsschraube
- 9 – Wasserbecken

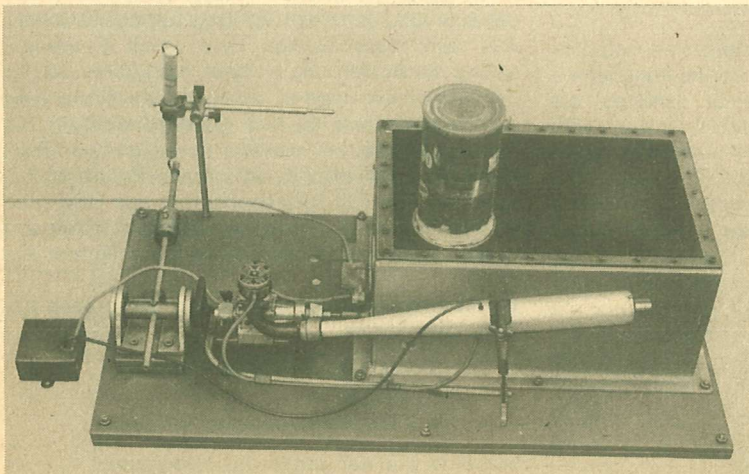


Bild 151
Motorenprüfstand nach dem
Prinzip der Bremspropeller für
Modellbootmotoren der
FSR-Rennbootfahrer aus Halle

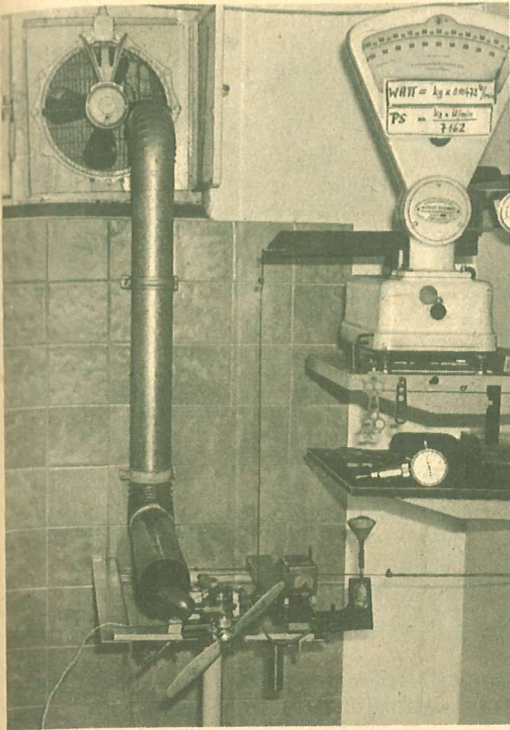


Bild 152 Leistungsprüfstand mit Drehmoment-Waage von Prof. Demuth

Mitte des Pendelblocks bis zum Feder-Kraftmesser mal Kraftanzeige gebildet wird.

Prinzipiell den gleichen Aufbau hat ein Prüfstand, bei dem der Motor mit Hilfe von Luftschrauben abgebremst und das Drehmoment gemessen wird. Lediglich der Wassertank mit Schraubenwelle fällt weg. Auch kann hier leichter mit mobilen Geräten die Drehzahl gemessen werden. Es ist darauf zu achten, daß die Waage so gelegt wird, daß sie nicht vom Propellerwind beeinflusst wird.

Bild 152 zeigt den Leistungsprüfstand mit Drehmoment-Waage von Prof. Demuth.

4.2.3. Dynamometer

Auf einem Prüfstand mittels elektrischem Bremsdynamo wird der Motor direkt oder über ein Getriebe an einem Dynamo angeschlossen. Durch Vorschalten elektrischer Widerstände wird der Motor belastet. Ein Strom- und ein Spannungsmesser sowie ein Drehzahlmesser dienen als Meßgeräte. Durch Multiplikation von Volt und Ampere ist die Leistung sehr leicht errechnet und in Watt ausgedrückt. Man benötigt für diese Messungen aber exakte Angaben über die inneren Verluste des Dynamos, um so die Prüfstandkonstante zu ermitteln. Da diese exakten Angaben im allgemeinen nicht zu erhalten sind,

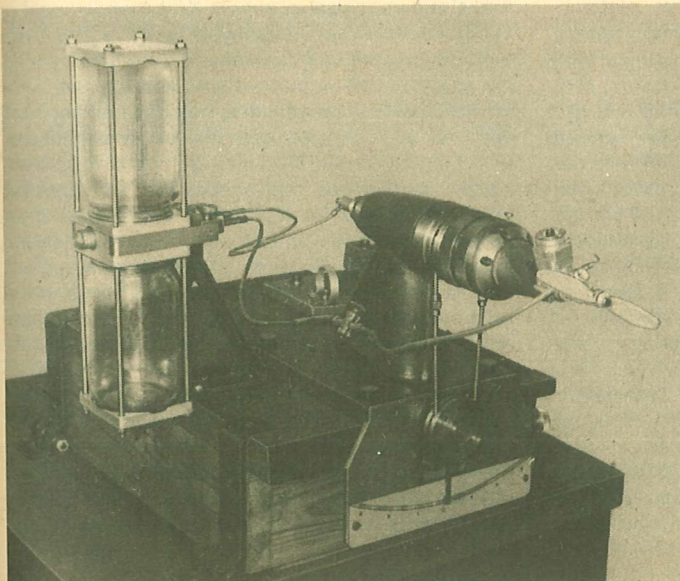


Bild 153
Leistungsprüfstand nach dem Prinzip
des Drehmoment-Pendels vom VEB
BWF Berlin

müssen sie geschätzt werden, wodurch sich sehr ungenaue Messungen ergeben.

4.2.4. Drehmomentpendel

Beim Leistungsmessen mit Hilfe des Drehmomentpendels wird direkt an den Pendelblock, auf dem der Motor befestigt ist, ein Gewicht starr angebracht, das je nach Größe des in den Prüfstand eingeleiteten Drehmoments ausschlägt. Nach entsprechender Eichung des Pendels kann das vom Motor erzeugte Drehmoment direkt abgelesen werden. Diese sehr einfache Form eines Prüfstandes eignet sich ebenfalls sehr gut für die Leistungsmessung von Modellmotoren. Genau wie die anderen Prüfstände sollte auch er nicht ohne Schwingungsdämpfer betrieben werden, um die Ablesegenauigkeit zu erhöhen.

Alle Prüfstände mit Pendelblöcken sollten auch eine Vorrichtung besitzen, die es ermöglicht, beim Anwerfen des Motors den Pendelblock zu blockieren. Der im Bild 153 gezeigte Prüfstand mit Drehmomentpendel wurde vom VEB Prefo Dresden, Betriebsteil Glashütte, Hersteller der Moskito-Motoren, gebaut und steht jetzt im VEB BWF Berlin.

4.2.5. Methoden der Drehzahlmessung

Zur Messung der Drehzahl von Modellmotoren eignen sich am besten berührungsfrei arbeitende Meßinstrumente wie Stroboskope, Lichtschranken, Fotowiderstände oder elektrische Impulszähler. Für größere Motoren lassen sich auch sehr gut normale mechanische Handtachometer verwenden (Bild 154), die sehr genau arbeiten (1% vom Skalenwert) können, aber vom Motor angetrieben werden und so eine gewisse, wenn auch geringe Leistung (etwa 0,5 Watt bei 12000 1/min) verbrauchen, und einen gewissen Schlupf am Mitnehmer haben.

Die Anfangs erwähnten Stroboskope arbeiten mit etwa 1% vom Skalenwert genau und lassen zusätzlich Schwingungsuntersuchungen an Motor und Luftschraube zu, da durch das in der Drehzahlfrequenz „zerhackte“ Blitzlicht der Stroboskoplampe der Motor stillzustehen scheint und so seine Querbewegungen sichtbar werden. Allerdings sind diese Geräte sehr teuer. Sehr gut zu handhaben sind Geräte mit Fotozellen bzw. Lichtschranken, von denen drei serienmäßig hergestellte Exemplare im Bild 155 zu sehen sind.

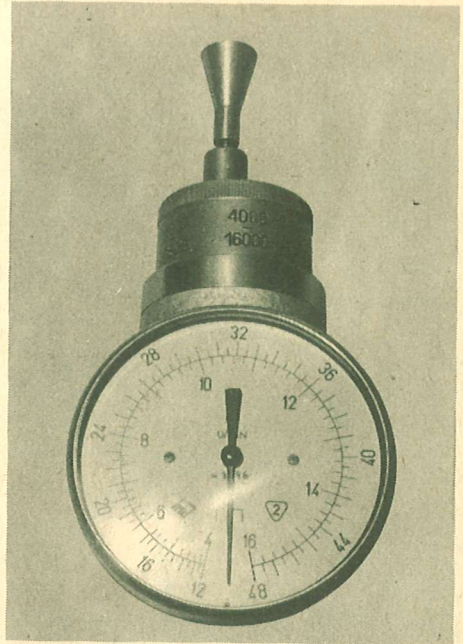


Bild 154 Mechanisches Handtachometer für Drehzahlen bis 48 000 1/min

Die absolut genauesten Geräte zur Drehzahlmessung mit ± 1 Umdrehung pro Zählzeit sind elektronische Impulszähler. Bei ihnen werden über berührungsfreie Impulsgeber auf der Kurbelwelle Impulse auf ein elektronisches Zählwerk gegeben, daß die Impulse auszählt und dann eine bestimmte Zeit lang die ausgezählten Impulse digital anzeigt, um dann erneut zu zählen. Ein solcher Impulszähler wird auf dem auf Bild 151 gezeigten Prüfstand verwendet. Man ging bei dieser Einrichtung noch einen Schritt weiter, in dem der Impulsgeber im FSR-Rennboot eingebaut werden kann und über einen Telemetrie-Sender die Impulse an den am Ufer stehenden Impulszähler sendet. So ist eine Drehzahlmessung aus dem fahrenden Boot möglich, wodurch man in die Lage versetzt wird, die auf dem Motorprüfstand gewonnenen Erfahrungen voll in den Rennbetrieb umzusetzen.

Eine sehr interessante Möglichkeit der Drehzahlmessung im Modellbetrieb bietet der Fesselflug und die gefesselten Rennauto- und Rennbootsmodelle. Dreht man sich im Kreismittelpunkt ständig mit dem Modell mit, so bleibt das Geräusch des Motors konstant. Dieses wird auf Tonband aufgenommen und nach entsprechender Filterung der Nebengeräusche auf einen Oszillographen übertragen. Dort läßt

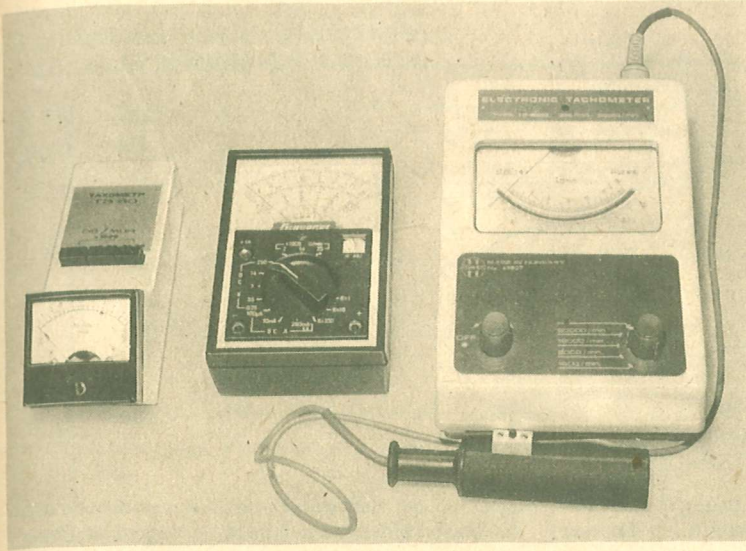


Bild 155
Drei serienmäßig hergestellte Drehzahlmesser, die mit Fotozellen arbeiten und die Drehzahl analog anzeigen. Das mittlere Gerät ist außerdem als Universalmeßgerät für elektrische Kennwerte ausgelegt.

sich mit Hilfe eines Meßsignals aus dem Grundgeräusch die genaue Drehzahl des Motors feststellen. Es wurden von Leistungssportlern dieser Modellklassen auch schon Meßgeräte gebaut, die in der Lage sind, das Geräusch aus dem Rekorder direkt zur Drehzahlanzeige auf einem Meßgerät zu verarbeiten.

Bauanleitungen für Drehzahlmesser mit Fotozellen oder Lichtschranken bzw. für Impulzzähler sind aus Veröffentlichungen in Fachzeitschriften, wie z. B. „Der Funkamateurl“, zu entnehmen.

4.3. Auswertung der Messungen

Eine Leistungsmessung an einem Modellmotor kann als abgeschlossen gelten, wenn die Fülle der Meßpunkte es gestatten, eine Leistungskurve und eine Drehmomentkurve zu zeichnen. Bei entsprechend vorgenommenen Messungen kann auch die Kurve des Kraftstoffverbrauchs, pro Zeiteinheit (l/h oder cm^3/min) von Interesse sein.

Betrachten wir einmal die Leistungskurven auf Bild 156:

Die Messungen hatten das Ziel, das Leistungsverhalten eines 10 cm^3 -Motors mit zwei verschiedenen Resonanzschalldämpfern zu untersuchen, um so eine Optimierung vornehmen zu können. Deutlich ist an Kurve A eine hohe Leistung abzulesen, die allerdings nur in einem sehr kleinen Drehzahlbereich erreicht wird. Kurve B zeigt einen flachen Leistungsverlauf über einen großen Drehzahlbereich, wodurch angezeigt wird, daß der Schalldämpfer B weniger empfindlich auf die Einstellung reagieren und

für den Betrieb z. B. in einem Kunstflugmodell nahezu ideal sein wird. Der Schalldämpfer A wird dafür in einem Rennboot sehr gute Ergebnisse bringen, wenn er sehr genau auf seine Resonanzdrehzahl eingestellt wird. Bei beiden Schalldämpfern ist deutlich der Leistungszuwachs gegenüber Kurve C zu erkennen, die ohne Schalldämpfer aufgenommen wurde.

Nehmen wir als zweites Beispiel eine Auswertung von Leistungsmessungen, die auf Bild 157 abgebildeten Leistungskurve eines $2,5 \text{ cm}^3$ Selbstzündermotors für die Modellflugklasse F2C Team-Racing. Bei Punkt A wurde ein Vergaserdurchmesser von $2,9 \text{ mm}$ lichter Weite und bei Punkt B ein Vergaserdurchmesser von $3,3 \text{ mm}$ lichter Weite eingesetzt. Deutlich ist der Leistungsanstieg mit dem größeren Vergaser zu erkennen, der etwa bis zu einem Vergaserdurchmesser von 9 mm bei dieser Motorengröße anhält. In der Klasse F2C ist aber der Kraft-

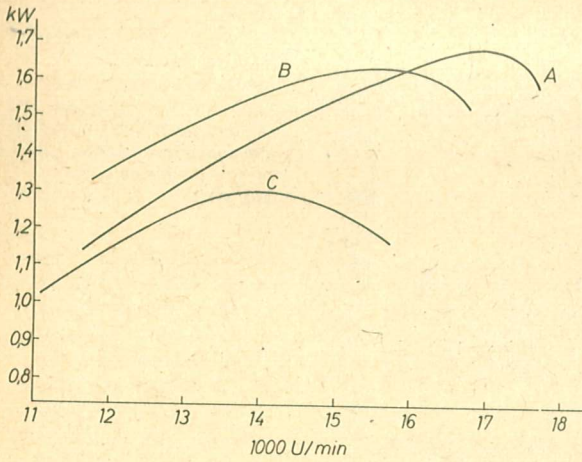
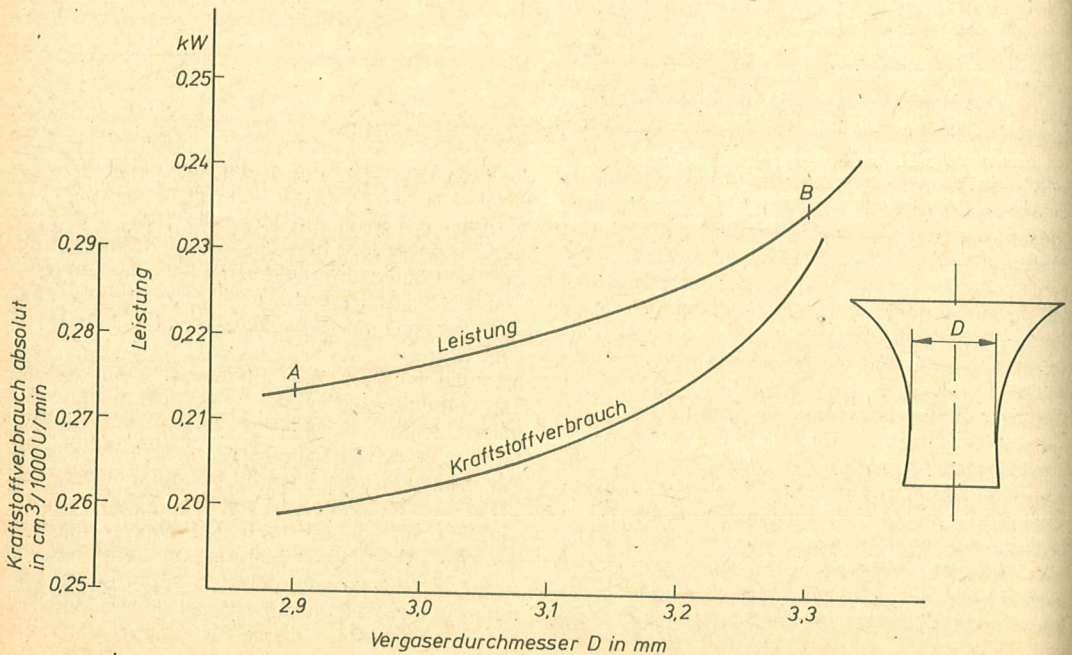


Bild 156 Leistungskurven eines 10 cm³-Motors mit zwei verschiedenen Resonanzschalldämpfern (A+B) und ohne Schalldämpfer (C)

stoffverbrauch des Motors von größtem Interesse, da das Tankvolumen vom Reglement her begrenzt wird. Aus diesem Grunde wurde der Kraftstoffverbrauch des Motors auf cm³ Kraftstoff pro 1000 Umdrehungen des Motors umgerechnet und in dem Diagramm aufgezeichnet. Nun ist deutlich der entschieden größere „Durst“ des Motors mit dem großen Vergaserdurchmesser zu erkennen. Woraus er-

sichtlich ist, daß der kleine Vergaserdurchmesser für diesen Einsatzzweck besser geeignet ist. Zusammen mit der Drehzahlmessung mit der im vorigen Kapitel beschriebenen Tonband-Methode ist der Modellsportler jetzt in der Lage, durch entsprechende Propellerauswahl entweder die Leistungsspitze des Motors oder den Punkt des geringsten Kraftstoffverbrauchs im Wettkampf zu treffen.

Bild 157 Leistung- und Kraftstoffverbrauch eines 2,5 cm³ Selbstzündermotors mit verschiedenen Vergaserquerschnitten



4.4. Leistungscharakteristiken

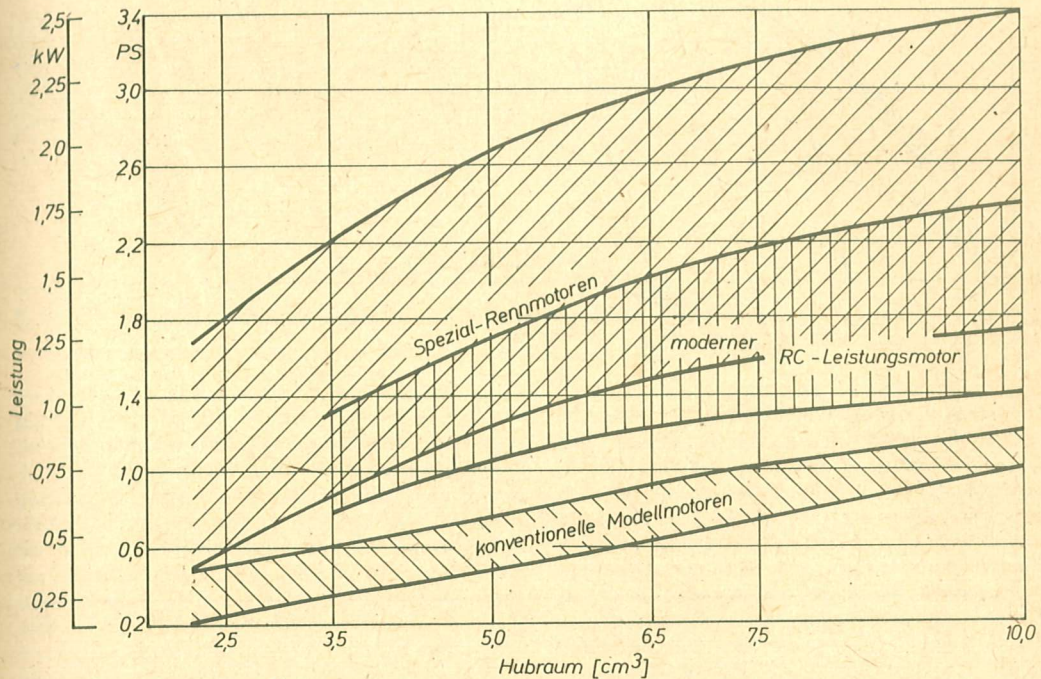


Bild 158 Dieses Diagramm zeigt die Leistungsbereiche, die zur Zeit von Modellmotoren verschiedener Zweckbestimmung erreicht werden.

Die Leistung moderner Modellmotoren streut je nach Verwendungszweck sehr stark. In Bild 158 sind die z. Z. erzielten Leistungen als Diagramm gezeichnet. Es ist zu sehen, daß ein 2,5-cm³-Rennmotor z. B. die gleiche Leistung erreicht, wie ein mittelmäßiger 10-cm³-Motor. Wer daraus schließt, daß er diesen Rennmotor auf Grund seiner gleich großen Leistung an Stelle des 10-cm³-Motors einsetzen kann, irrt. Auf Grund seiner völlig anderen Leistungscharakteristik ist der Rennmotor nur in der Lage, die hohe Leistung in einem sehr engen Drehzahlbereich abzugeben. Dieser Bereich liegt mit ca. 34 000 1/min so hoch, daß er nur mit sehr kleinen Propellern erzielt werden kann, da das abgegebene Drehmoment sehr klein ist. Diese kleinen Propeller sind wiederum nicht in der Lage, ein großes Modell zu bewegen. Das Drehzahl-Leistung-Diagramm (Bild 159) veranschaulicht am Beispiel verschiedener Motorleistungskurven und einiger Propellerleistungskurven diese Zusammenhänge recht einleuchtend.

Die Bilder 158 und 159 zeigen, daß für die unterschiedlichen Einsatzgebiete von vornherein auch unterschiedliche Motoren zu entwickeln sind.

Es gibt drei Hauptentwicklungsrichtungen:

- der einfache und billige Gebrauchsmotor bzw. der billige Leistungsmotor mit einer Literleistung von etwa 73 kW/l bis 110 kW/l;
- der RC-Rennmotor für Wettkämpfe mit 6,5 cm³ und mit 10 cm³ Hubraum mit einer Literleistung von 110 kW/l bis 182 kW/l;
- der Spezialrennmotor für Höchstleistungen für den Fesselflug sowie für Schiffs- und Automodelle mit max. Literleistungen von 368 kW/l bis 529 kW/l. Selbstverständlich sind die Spezialrennmotoren bedeutend teurer und kurzlebiger. Oft werden Motoren dieser Kategorie durch leichte Modifikation mit Spezialdrosselvergasern und Resonanzschalldämpfern zu Höchstleistungsmotoren für die RC-Klassen umfunktioniert.

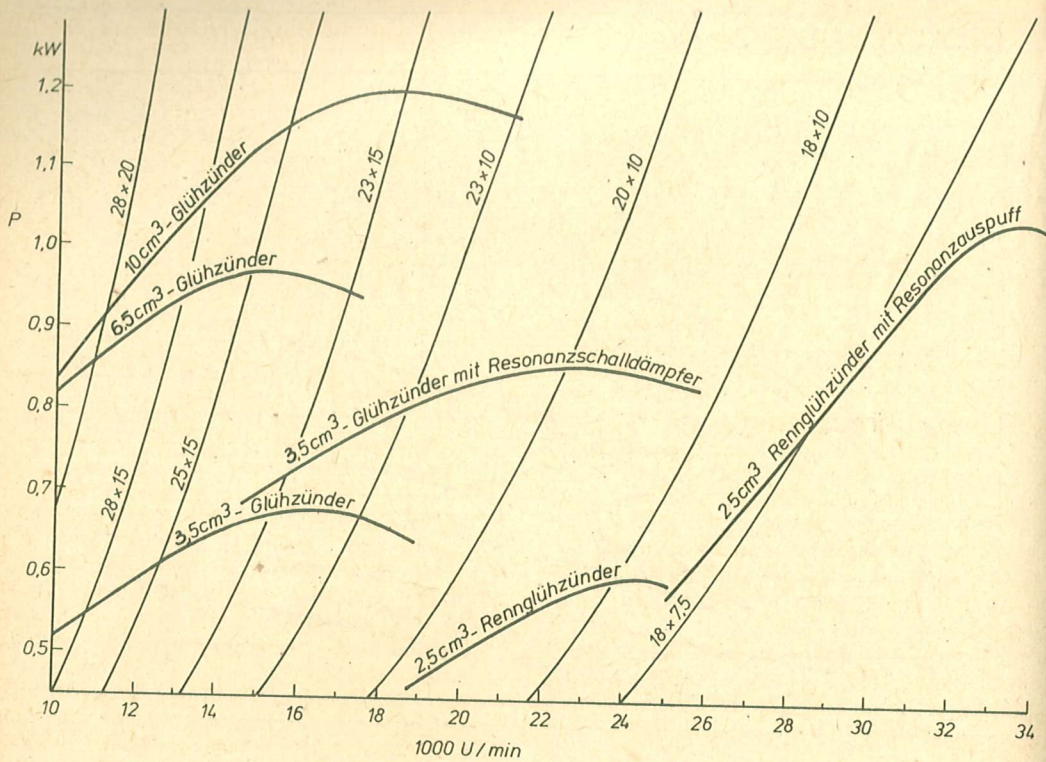


Bild 159 Diagramm mit verschiedenen Motorleistungskurven und Propellerleistungskurven. Es veranschaulicht den möglichen Einsatzzweck der Motoren.

5. Motorreparaturen

5.1. Herstellerservice oder Eigenreparatur

Diese Frage stellt sich jeder Modellsportler angesichts eines defekten Motors. Handelt es sich um einen Motor, für den Vertragswerkstätten vorhanden sind, sollte er auf jeden Fall dort in Reparatur gegeben werden. Nur, wenn es sich um ein Erzeugnis handelt, für den keine Vertragswerkstatt erreichbar ist, der Motor sich aber sonst noch in einem guten Allgemeinzustand befindet, lohnt sich der meist sehr hohe Aufwand einer Eigenreparatur. Sind Ersatzteile beschaffbar, so ist deren Beschaffung und Einbau der Eigenanfertigung auf jeden Fall vorzuziehen.

Etwas vorsichtig muß man mit dem Einsenden von frisierten und umgebauten Modellmotoren zur Reparatur sein, da meist von der Vertragswerkstatt alle

Teile, die nicht mehr dem Originalzustand des Motors entsprechen, gegen Neuteile ausgetauscht werden. Und so ist dann auf einmal der mit viel Mühe angefertigte Spezialzylinderkopf für den Rennautobetrieb, die präzise ausgewuchtete Kurbelwelle mit zusätzlichen Wolframgewichten oder der Spezialdeckel für die Kopfspanbefestigung nach der Reparatur verschwunden und auf der Rechnung erscheinen dafür ein Haufen zusätzlicher Ersatzteile. Die Eigenreparatur lohnt sich auch nur dann, wenn die erforderlichen Maschinen und Werkzeuge vorhanden sind. Läßt man von einem Mechaniker die benötigten Ersatzteile nach Muster fertigen, so sind sie fast immer sündhaft teuer und oft dann noch unbrauchbar.

5.2. Auswahl des Reparaturmaterials

Um bei Eigenreparaturen die benötigten Ersatzteile in gleich guter Qualität anfertigen zu können – wie das Originalteil – ist es erforderlich, eine Materialanalyse von dem zerstörten Bauteil anfertigen zu lassen. Da solche Analysen recht langwierig und teuer sind und nicht selten das Material dann nicht beschaffbar ist, hier einige Hinweise für die Materialauswahl bei den Hauptverschleißteilen an Modellmotoren. Soll eine geläppte Laubuchse aufgearbeitet werden, wird die Buchse nachgeläppt und ein neuer Kolben angefertigt. Dieser Kolben sollte aus einem gut abgelagerten Grauguß mit dichtem Gefüge oder besser aus Perlitguß gefertigt werden. Gut eignen sich auch Schieber alter Hydraulik-Steuerblöcke und im Stranguß-Verfahren hergestellte Gußknüppel. Für ABC-Buchsen wird als Kolbenmaterial Aluminium mit einem sehr hohen Sili-

ziumgehalt (17 bis 26 % z. B. Al Si 20 Cu Ni) benötigt. Aus solchem Material sind die Kolben einiger LKW-Dieselmotoren gefertigt. Solche Kolben kann man auftrennen und so das benötigte Material für ein paar Dutzend Modellmotor-Kolben gewinnen. Für Motoren über 5 cm³ Hubraum sollten gegossene Kolben verwendet werden. Für diese Kolben können gebrauchte Moped- oder Motorradkolben (Zweitaktmotoren) eingeschmolzen werden.

Zur Anfertigung von Pleuels eignet sich am besten sehr hartes Duraluminium (Al Cu 4 Mg1 F44) oder einige Aluminium-Legierungen, wie sie im Flugzeugbau verwendet werden, z. B. Al Zn Mg Cu 1,5. Beim Nachbau von Kurbelwellen treten meist größere Schwierigkeiten auf. Im Original sind sie gehärtet und geschliffen. Für viele Edelbastler scheidet dieses Verfahren aus, da sie nicht über die Ein-

richtung zum Schleifen verfügen. Dann gibt es nur die Möglichkeit, die Kurbelwelle aus einem Vergütungsstahl z. B. 30 Cr Mo V9 oder 20 Mn Cr 5 zu fertigen und weich zu belassen. Die Lebensdauer der Kurbelwelle, besonders des Kurbelzapfens, ist dann zwar geringer, aber der Motor läuft erst einmal wieder. Für Motoren, die ihr Kraftstoff-Luftgemisch nicht durch die hohle Kurbelwelle ansaugen, sind solche Kurbelwellen sogar ein vollwertiger Ersatz, wenn der Kurbelzapfen nicht angedreht wird, son-

dern als Kurbelzapfen ein Wälzkörper aus einem Rollenlager in die Kurbelwange eingepreßt wird. Besondere Anforderungen an das Material werden von den Kolbenringen gestellt. Im allgemeinen werden Kolbenringe aus Perlitguß gefertigt. Da Perlitguß in den benötigten Abmessungen meist nicht beschaffbar ist, muß auf Hart- oder Strangguß zurückgegriffen werden, womit noch brauchbare Kolbenringe zu fertigen sind.

5.3. Beseitigung von Verschleißerscheinungen

5.3.1. Abtragen von Material durch Schleifen

Die starkem Verschleiß ausgesetzten Bauteile eines Modellmotors sind meist aus gehärtetem Stahl gefertigt. So die Kurbelwelle, der Kolbenbolzen und teilweise die Laufbuchse. Eine typische Verschleißerscheinung ist der „eckig“ gewordene Kurbelzapfen, der jeden Versuch, durch ein neues Pleuel das übergroße Lagerspiel auszugleichen, in wenigen Laufminuten zunichte macht. Die einzige Abhilfe besteht hier im Abschleifen des Kurbelzapfens auf den nächst niedrigen halben oder vollen Millimeter. Wenn der Durchmesser des Kurbelzapfens dann noch im Bereich der im Bild 117 gezeigten Durchmesserbereiche liegt, ist keine Bruchgefahr zu befürchten. Es muß jedoch geprüft werden, ob der Kurbelzapfen noch hart ist; da oft die Kurbelwellen nur oberflächengehärtet sind und diese harte Schicht dann durch das Schleifen abgetragen wird. Das Schleifen kann in guter Qualität nur auf einer Rundschleifmaschine erfolgen.

Soll nur etwas Grad oder eine Wulst abgetragen werden, reicht meist das Bearbeiten mit einem Ölstein von Hand. Hat ein Zylinder durch Eindringen von Fremdkörpern oder andere Fehler eine zu tiefe Riefe erhalten, muß er ebenfalls ausgeschliffen werden. Dabei ist natürlich die recht beachtliche Hubraumvergrößerung zu beachten.

5.3.2. Abtragen von Material durch Läppen

Die normalen Verschleißerscheinungen am Zylinder

lassen sich fast immer durch Läppen beseitigen. Unter Läppen versteht man die Feinstbearbeitung und Formgebung des Zylinders und bei Motoren ohne Kolbenringe am Kolben. Von der Qualität des Läppens und der Paßgenauigkeit zwischen Kolben und Zylinder hängt die Leistungsentfaltung und Lebensdauer des zu reparierenden Motors ab.

Das qualitativ richtige Läppen erfordert viel Erfahrung und handwerkliches Können. Werkzeuge zum Läppen sind Läppdorn und Läppbuchse. Der Läppdorn dient zum Bearbeiten der Laufbuchse. Er besteht aus dem aufspreizbaren Dornenteil und der Spreizbuchse (Bild 160). Die Spreizbuchse muß aus einem Material bestehen, das weicher ist als das zu bearbeitende Material, damit sich in ihr das Schleifmittel einbettet, wodurch der Läppvorgang erst ermöglicht wird. Zum Läppen des Kolbens ist eine Läppbuchse erforderlich, die von außen zusammengedrückt werden kann. Für Graugußkolben eignet sich eine einfache geschlitzte Alubuchse, die mittels eines einfachen Spanneisens zusammengedrückt wird. Zum Läppen von Aluminiumkolben ist Blei oder Weichkupfer als Läppbuchse erforderlich. Sehr gut eignet sich eine Einrichtung gemäß Bild 161 mit angeschraubten Segmenten aus Blei. Je nach gewünschter Oberflächengüte ist das Läppmittel zu wählen. Es reicht von grober Schleifpaste über Diamantschleifpaste bis zu Zigarettenasche. Grobe Schleifpaste ergibt eine bessere Ölhaftung auf der Lauffläche; allerdings erfordert sie eine längere Einlaufzeit.

Zum Läppen sollte der Läppdorn bei der Zylinderbearbeitung und der Kolben bei der Kolbenbearbeitung mittels Bohrmaschine, Drehmaschine oder ähnliches in langsame Umdrehung versetzt werden (max. 800 1/min.). Dann wird Läppmittel auf das Werkzeug gegeben und mit gleichmäßiger Bewegung das Werkstück auf bzw. im Läppwerkzeug hin und her bewegt. Ist kein Widerstand zu spüren,

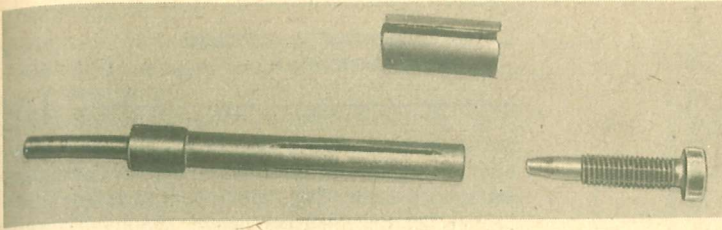


Bild 160
Lappdorn zum Läppen von
Zylindern

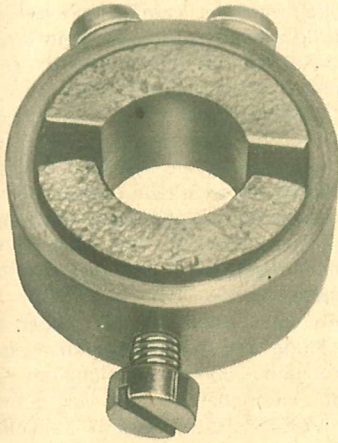


Bild 161 Lappbuchse mit Bleisegmenten zum Läppen von
Aluminiumkolben

wird das Werkzeug nachgestellt. Regelmäßig ist beim Lappvorgang mit Petroleum oder dünnflüssigem Öl Werkzeug und Werkstück zu schmieren und zu kühlen. Durch zielgerichtete Häufung der Lappbewegung auf bestimmte Bereiche des Werkstückes kann eine gewollte Geometrie im bzw. auf dem Werkstück erzielt werden. Das gezielte Erreichen dieser Formen erfordert viel Übung und macht im Endeffekt die Kunst des Lappens aus.

Besonders für kolbenringlose Kolben ist die Einhaltung der Laufbuchsengeometrie von entscheidender Bedeutung. Im Bild 162 ist nach den heutigen Erkenntnissen die günstigste Form für eingelappte Zylindergarnituren anhand eines 2,5 cm³ Motors aufgezeichnet. Die angegebenen Maße sind Meßergebnisse an einer Reihe von Rennmotoren. Bei Motoren mit anderem Kolbendurchmesser trifft prinzipiell die gleiche Tendenz zu, lediglich das Übermaß des Kolbens im OT ist individuell nach Verbrennungsverfahren, Materialauswahl und gewünschter Einlaufzeit zu variieren. Beim Nacharbeiten von

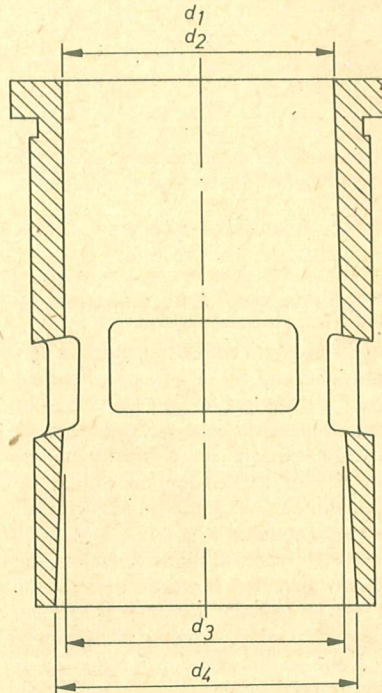


Bild 162 Zylindergeometrie für gelappte Laufbuchsen am
Beispiel eines 2,5 cm³-Motors

$d_1 = d_3 - 5 \mu\text{m}$ für Glühzünder; $d_2 = d_3 - 15 \mu\text{m}$ für Selbstzünd-
er; $d_3 = \text{Nennmaß}$; $d_4 = d_3 + 50$ bis $100 \mu\text{m}$

Laufbuchsen von Motoren, die mit Kolbenringen ausgerüstet sind, ist die gesamte Buchse zylindrisch auszuführen; allerdings schadet auch hier ein Durchmesseranstieg (Vorweite) unterhalb der Spülschlitze keinesfalls. Der Kolben sollte in jede Laufbuchse individuell eingepaßt werden, wobei nicht ein Einlappen des Kolbens in der Buchse erfolgen darf, sondern der Kolben wird unter sehr häufigen Probieren mit der Lappbuchse so lange bearbeitet, bis er den entsprechenden Paßsitz hat. Da im allgemeinen die Modellsportler über keine Feinmaßin-

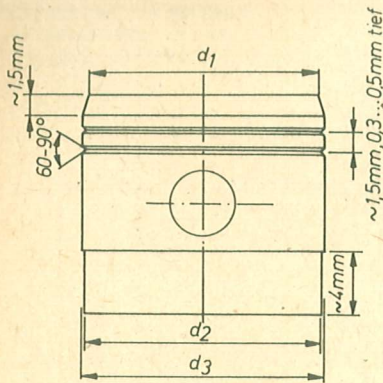


Bild 163 Kolbengeometrie für geläppte Aluminiumkolben zum Einsatz in ABC oder AAC-Laufgarnituren am Beispiel eines 2,5 cm³-Motors

d_3 – Nennmaß; $d_1 = d_3 - 40 \mu\text{m}$; $d_2 = d_3 - 50 \mu\text{m}$

strumente verfügen, hier ein Erfahrungswert für diesen Paßsitz:

Kann der Kolben von Hand durch die Buchse hindurchgeschoben werden, ist er meist schon unbrauchbar. Läßt er sich hingegen von Hand nur so weit in die Buchse hineindrücken, daß gerade noch ein Stück des Kolbenbolzens im Auslaßfenster zu sehen ist, dann ist der Kolben genau richtig für einen Glühzündermotor. Bei einem Selbstzündermotor sollte je nach erwünschter Einlaufzeit noch der gesamte bzw. der halbe Kolbenbolzen im Auslaßfenster zu sehen sein. Bei Motoren über 5 cm³, sie sind ja fast immer Glühzündermotoren, ist der Kolben so einzuläppen, wenn er keine Kolbenringe besitzt, daß er gerade so von Hand durch den Zylinder hindurchgeschoben werden kann. Diese Aussage ist aber wiederum stark von der Materialzusammenstellung abhängig. Zur Herabsetzung der Reibung des Kolbens ist es üblich, den Kolben unterhalb des Kolbenbolzens freizudrehen oder zu läppen. Bei geläpften Aluminiumkolben ist unbedingt an der Kolbenoberkante eine Fase anzubringen, deren Abmessung der Dicke des Kolbenbodens entspricht. Ein bis zwei feine Einstiche zur besseren Ölhaltung können hier ebenfalls helfen, das Laufverhalten zu verbessern. Bild 163 zeigt die gebräuchliche Kolbengeometrie. Freidrehung, Einstich und Fase ist vor dem Läppen in den Kolben einzuarbeiten.

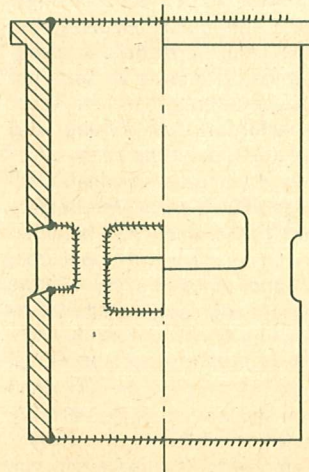
5.3.4. Galvanisches Auftragen von Hartchrom

Der Auftrag von Hartchrom ergibt eine sehr harte und verschleißfeste Oberfläche, die ein Bearbeiten kaum noch zuläßt. Das Läppen von Hartchromoberflächen ist mit herkömmlichen Läppmitteln sehr langwierig und nur Diamantläpppaste ermöglicht ein gutes Arbeitsergebnis. Daher gilt der Grundsatz, daß die aufzutragende Oberfläche, es handelt sich fast ausschließlich um die Lauffläche der Laufbuchse, erst fertig geläppt wird und dann erfolgt der Hartchrom-Auftrag. Die Schichtdicke sollte nicht über 70 μm (0.07 mm) liegen, da sich sonst zu starke Wülste an den Kanälen bilden, die nur sehr schwer abzuarbeiten (Läppen) sind (Bild 164). Nach dem Chromen wird nur so weit geläppt, bis eine einwandfreie Oberfläche erzielt worden ist. Für die Neuanfertigung von ABC-Laufbuchsen (Messing-Laufbuchse mit Hartchrom) gilt das gleiche, nur sollte mit einer maximalen Schichtdicke von 20–30 μm gearbeitet werden.

Das Aufchromen von Kolben hat sich wegen der schlechten Ölhaltung und der schlechten Haftung des Chroms auf dem Gußmaterial nicht bewährt. Dagegen ergibt eine gehärtete und verschromte Stahlbuchse in Verbindung mit einem Gußkolben sehr gute Ergebnisse.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß sich Kurbelwellenzapfen nicht zum Aufchromen eignen. Die Chrom-

Bild 164 Wulstbildung beim Hartchromen von Laufbuchsen. Je dicker der Chrom aufgetragen wird, je stärker ist die Wulstbildung.



schicht blättert nach kurzer Laufzeit wieder ab. Im Bereich des Steuerschlitzes verschlissene Kurbelwellen sind dagegen durch Hartchromauftrag sehr gut zu regenerieren.

Eingepreßte Kubelzapfen (Wälzkörper von Rollenlagern) sind dagegen sehr gut zum Hartchromauftrag geeignet. Sollte sich solche ein Zapfen gelockert haben, so ist er nach einem Hartchromauftrag wieder sicher einzupressen. Außerdem ist hier, wahrscheinlich auf Grund der sehr großen Härte dieser Rollen, kein Abblättern zu befürchten, so daß die besseren Gleiteigenschaften des Hartchroms gegenüber Stahl an dieser sehr heißen Motorstelle zu einer merklichen Reibungsverminderung und damit zu einer Leistungssteigerung des Motors führt.

Voraussetzung für das Arbeiten mit Hartchromauftrag ist natürlich das Übereinkommen mit einem Betrieb oder einem Handwerker, der diese Arbeiten fachgerecht ausführt, da ein einwandfreier Hartchromauftrag mit häuslichen Mitteln nicht erzielt werden kann. Leider gab es bis zum Redaktionsschluß in der DDR noch keinen Betrieb, der Aluminium mit Hartchrom versehen kann, so daß weiterhin die Anfertigung von AAC-Laufsätzen nicht möglich ist.

5.3.5. Galvanisches Auftragen von Nickel

Die Problematik der AAC-Laufsätze wurde jedoch durch ein Verfahren teilweise gelöst, das den chemischen Auftrag von Nickel auf Aluminium gemäß Wirtschaftspatent 149085 ermöglicht. Das Nickel erreicht allerdings trotz Härtung durch Tempern nicht die Härte des Chroms, was wiederum den Vorteil der leichteren Bearbeitbarkeit hat. Versuche des Verfassers mit solchen „AAN“-Laufsätzen verliefen recht erfolgversprechend.

Der galvanische Auftrag von Nickel ist relativ einfach mit häuslichen Mitteln zu bewerkstelligen. We-

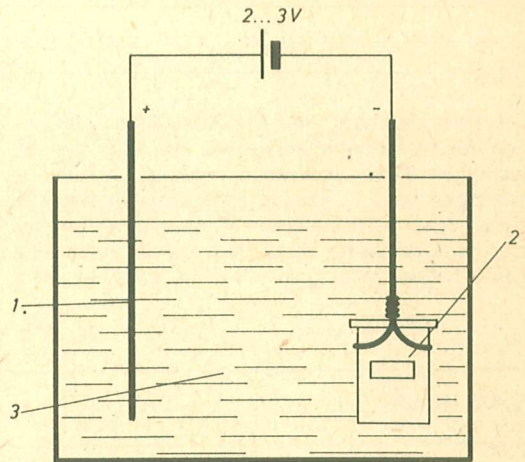


Bild 165 Prinzipskizze des Aufbaues einer Anlage zum galvanischen Nickeln von kleinen Bauteilen

1 – Ni-Draht oder Ni-Blech (Anode); 2 – Werkstück (Kathode); 3 – Elektrolyt; Badtemperatur: ca. 30 °C (konstant halten); Stromdichte: 1...2 A/dm²; Elektrolyt: 250 g Nickelsalz Rapid auf 1 l Wasser; 250 g Nickelsalz TS auf 1 l Wasser

gen der Giftigkeit der Elektrolyte erfordert die Beschaffung dieser Chemikalien allerdings einen Giftschein. Den Aufbau einer Anlage zum Vernickeln zeigt Bild 165.

Was kann mit diesem Verfahren repariert werden:

- Neigt ein Motor ständig zum Überhitzen, weil seine Laufbuchse mit zu viel Spiel im Gehäuse sitzt, kann sie außen aufgenickelt werden und der Motor ist nun brauchbar.

- Sitzt ein Kugellager zu lose auf der Kurbelwelle, so kann durch einen Auftrag auf die Lagerstelle dieser Schaden behoben werden.

Also alle Stellen des Motors, die nicht aus Aluminium sind und wo keine direkte Gleitbewegung erfolgt, die aber einen Materialauftrag erhalten sollen.

5.4. Neuanfertigung von Bauteilen

Die Neuanfertigung von Motorbauteilen kann nur von dem vorgenommen werden, der über die notwendigen Werkzeugmaschinen verfügt und die notwendigen handwerklichen Fähigkeiten besitzt. Da dieser dann meist Metallfacharbeiter ist, erübrigt es sich, hier an dieser Stelle über die Grundbegriffe der Metallbearbeitung zu schreiben. Deshalb soll in

den folgenden Kapiteln dem Fachmann die notwendigen technologischen Hinweise gegeben werden, die es ihm ermöglichen, mit einfachen Mitteln und geringstmöglichem Aufwand Bauteile zu fertigen, die die Betriebsfähigkeit eines Modellmotors zumindestens für eine gewisse Zeit wieder herstellt.

5.4.1. Kolben

Das Drehen eines Gußkolbens macht prinzipiell keine Schwierigkeiten, wenn er von einer Seite fertiggedreht und dann abgestochen wird. Schwieriger ist schon das seitliche Freifräsen der Kolbenbolzenaugen, wenn keine Fräsmaschine zur Verfügung steht. Drei Möglichkeiten für diese Bearbeitungsstufe sind praktikabel:

1. Der Kolben wird mittels Prisma oder ähnlichem sehr sorgfältig auf dem Werkzeugschlitten der Drehbank auf Spindelmitte ausgerichtet und mittels in das Spannfutter eingespannten Nutfräsers wird durch zweimaliges Eintauchen des Fräsens die Bearbeitung vorgenommen (Bild 166).
2. Der Kolben wird auf dem Tisch einer Ständerbohrmaschine aufgespannt und in zwei Arbeitsgängen erfolgt die Bearbeitung analog 1.
3. Das Spannen erfolgt in einer geschlitzten Exzenterbuchse im Drehmaschinenfutter und in zwei Ar-

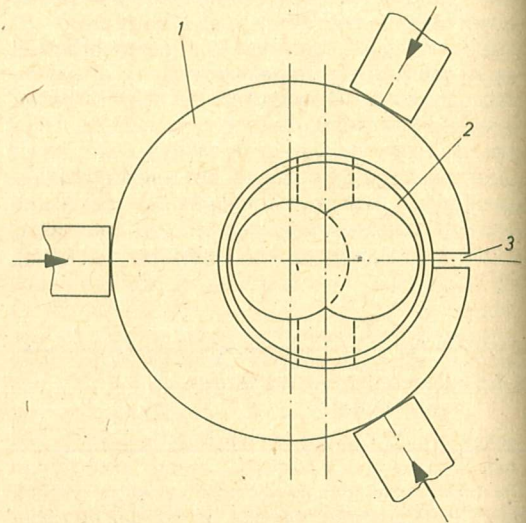


Bild 167 Seitliches Freidrehen der Kolbenbolzenaugen mittels geschlitzter Exzenterbuchse 1 – Exzenterbuchse, 2 – Kolben, 3 – Schlitz ca. 2 mm breit

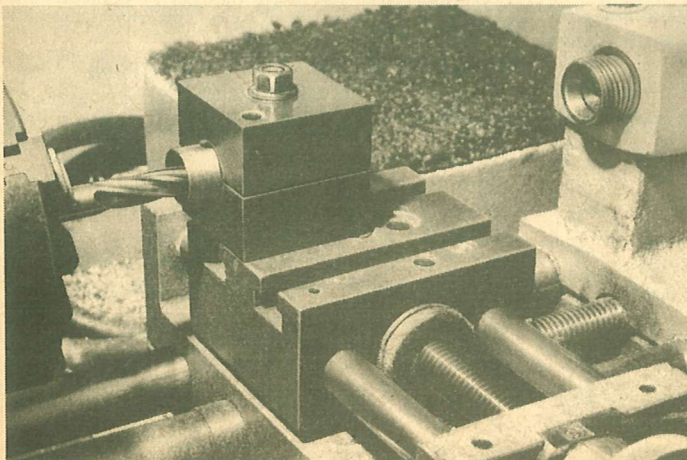


Bild 166
Seitliches Freifräsen der
Kolbenbolzenaugen auf einer
Drehmaschine

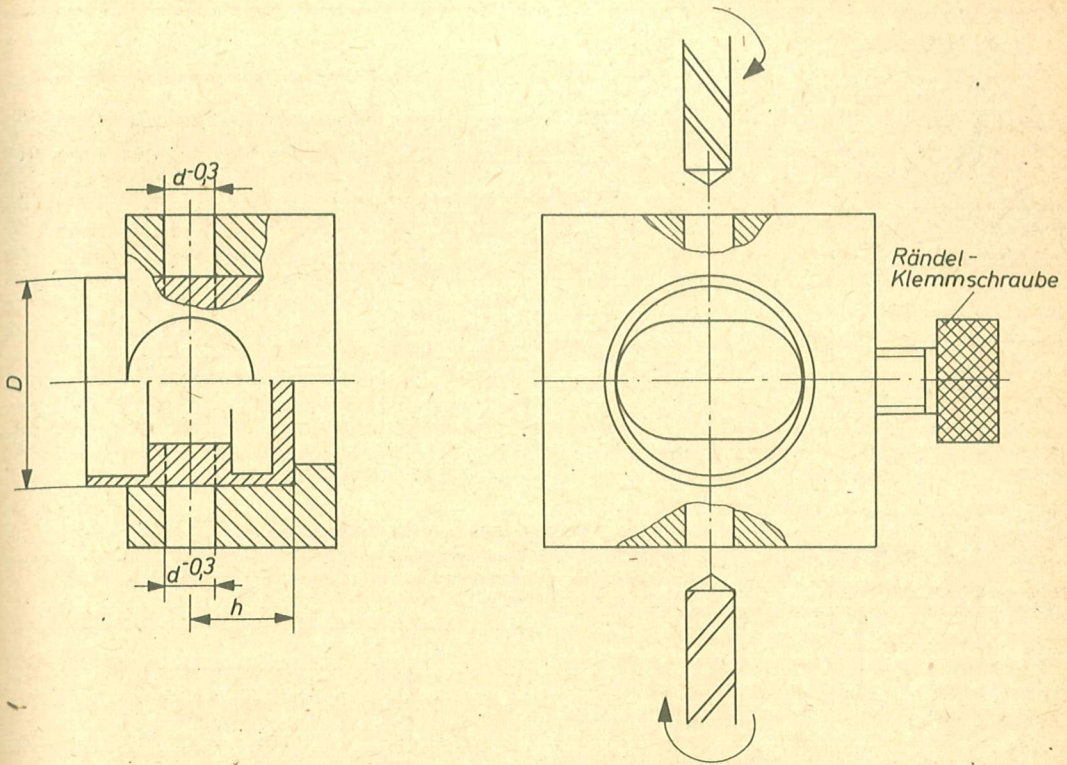


Bild 168 Bohrvorrichtung zum Bohren der Kolbenbolzenaugen. Wichtig ist, von beiden Seiten zu bohren, um ein Verlaufen des Bohrers auszuschließen. Nach dem Bohren wird mit einer Handreibahle die Kolbenbolzenbohrung gerieben. D und h je nach Kolben festlegen. $d-0,3$ mm unter Fertigmaß von beiden Seiten bohren ohne Kolben umzuspannen, dann Kolben ausspannen und von Hand auf Fertigmaß reiben.

beitsgängen wird das Material abgearbeitet. Günstig sind dabei Markierungen, die einen exakten Umschlag des Werkstückes um 180° ermöglichen (Bild 167).

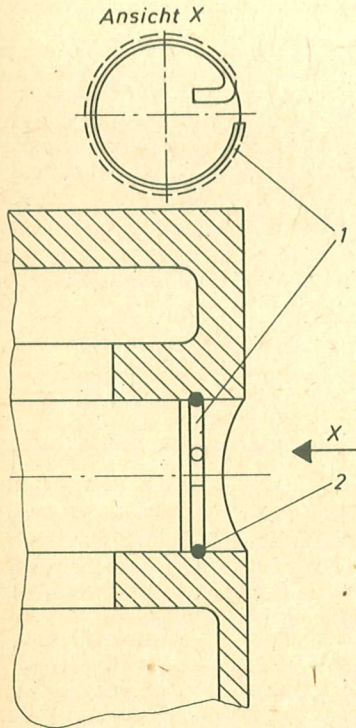
Das Einbringen der Kolbenbolzenbohrung muß sehr exakt erfolgen. Es sollte daher nicht auf die Anfertigung einer speziellen Bohrvorrichtung verzichtet werden (Bild 168).

Bei vielen Kolben werden Einstiche in der Kolbenbolzenbohrung zur Sicherung des Kolbenbolzens benötigt (Bild 169). Es genügt hier vollauf einen leicht kegligen fliegenden Dorn anzufertigen, auf den der Kolben während des Einstechens der winzigen Rille gesteckt wird. Die Schnittkräfte sind dabei so gering, daß die Reibung des straff aufgespannten Kolbens zur Schnittkraftübertragung ausreicht. Wer dieser Methode nicht traut, kann sich eine Spannvorrichtung gemäß Bild 170 fertigen.

Die Herstellung einzelner Aluminiumkolben erfolgt prinzipiell wie die der Gußkolben. Die erforderli-

chen Wandstärken können vom ursprünglichen Kolben übernommen werden. Für die Auswahl des Kolbenmaterials ist das im Abschnitt 5.2. gesagte unbedingt zu beachten, da die Ausdehnungsfaktoren verschiedener Aluminiumlegierungen sehr stark variieren und nur Speziallegierungen für Kolben mit hohem Siliziumgehalt eine geringe Ausdehnung haben und so ein Klemmen des Kolbens verhindern. Bild 171 zeigt die Abhängigkeit von Längenausdehnungszahl und Siliziumgehalt bei Aluminium.

Ein technologisch ebenfalls sehr heikles Problem sind die Einstiche für die Kolbenringe. Die Oberflächenqualität der Flanken dieser Einstiche entscheiden über Ansprungsverhalten und Leistung des Motors. Da es kaum gelingen wird, den Stachstahl so zu schleifen, daß beide Flanken eine spiegelglatte Oberfläche erzeugen, sollte man an einem Probestück so lange Einstechversuche mit einem nur einseitig freigeschliffenen Stachstahl machen, bis die



169 Sicherungsring in der Kolbenbolzenbohrung, um ein Einhaken des Kolbenbolzens in Überströmer oder Auspuff zu verhindern.
 1 – Sicherungsring 0,3...0,5 mm Ø Stahldraht; 2 – Rille ca. $\frac{2}{3}$ des Drahtdurchmessers tief einstechen

Bild 170 Spannvorrichtung zum Einstechen der Rille für die Kolbenbolzensicherung

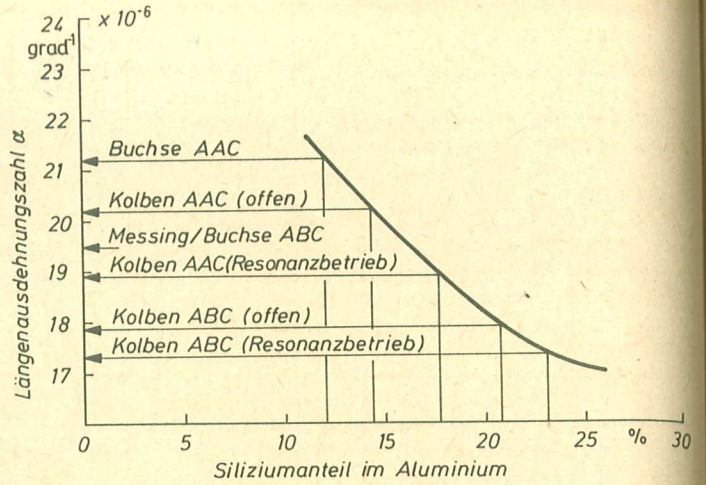
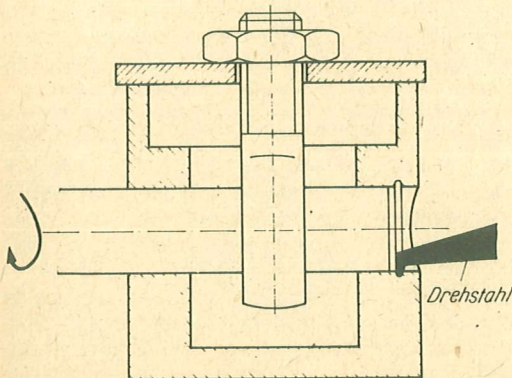


Bild 171 Das Diagramm zeigt die Abhängigkeit der Längenausdehnungszahl des Aluminiums von Siliziumgehalt. Die Markierungen geben Erfahrungswerte für die Anfertigung von ABC und AAC-Laufbuchsen an.

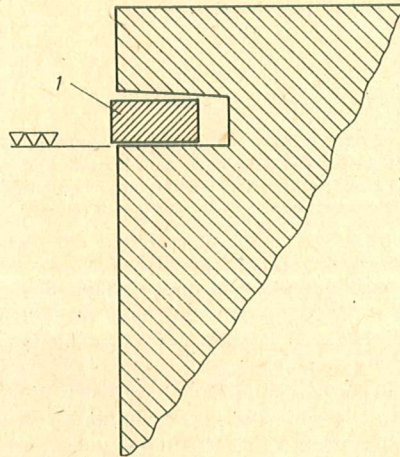


Bild 172 Die hier gezeigte Form eines Kolbenringnutes ergibt gutes Ansprungsverhalten und hohe Leistung
 1 – Kolbenring

Stellung erreicht ist, in der die untere Flanke des Einsteches absolut glatt wird (Bild 172). Das Höhen-spiel des Kolbenringes muß dabei so gering wie möglich gehalten werden; er darf jedoch im Nut nicht klemmen.

5.4.2. Laufbuchsen

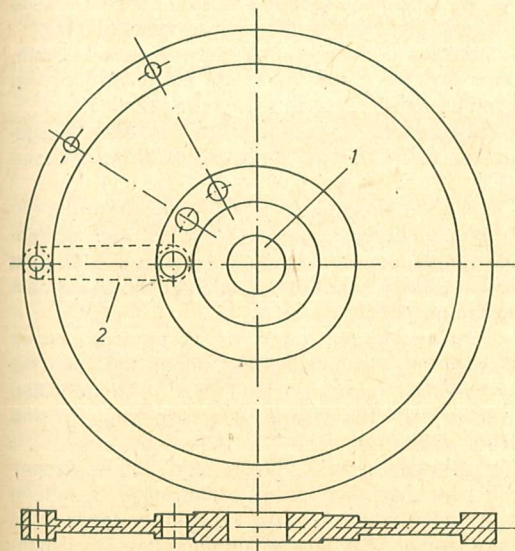
Die Herstellung einer Laufbuchse stellt keine besonderen Anforderungen, lediglich das Einarbeiten der Spül- und Auslaßschlitze erfordert einige handwerkliche Fähigkeiten.

Da ein Fräsen dieser Schlitze immer sehr komplizierte Vorrichtungen erfordert, sollten sie bei der hier beschriebenen Einzelanfertigung nach sorgfältigem Anreißen manuell durch Bohren und Feilen eingearbeitet werden. Sehr gute Dienste leistet bei dieser Arbeit eine Dental-Schleifmaschine. Selbst bei der Herstellung einer kleinen Serie von 5-10 solcher Buchsen ist der Arbeitsaufwand bei manueller Herstellung der Schlitze um ein mehrfaches geringer als bei einem Vorrichtungsbau und einem mehrfachen Umrüsten der Fräsmaschine bei der Bearbeitung.

Für die Bearbeitung der Innenbohrung der Laufbuchse trifft das im Abschnitt 5.3.2. gesagte zu.

5.4.3. Pleuel

Die Herstellung eines Pleuels in Einzelanfertigung stellt prinzipiell keine großen Anforderungen, sofern eine Fräsmaschine vorhanden ist. Auch nur mit Bohrmaschine und Feile ist ein Pleuel in kürzester Zeit in sehr guter Qualität zu fertigen.



Wer öfters Pleuels gleicher oder ähnlicher Größe fertigen muß, für den ist die Technologie eines Pleuelsterns (Bild 173) sehr zu empfehlen, da mit einem minimalen Aufwand an manueller Arbeit verschiedene Pleuels mit geringen Maßabweichungen gefertigt werden können, wie sie bei Motoren gleichen Hubraums verschiedener Hersteller ständig auftreten. Es muß hingenommen werden, daß es auf Grund der Walzrichtung gute und weniger gut Pleuels gibt.

5.4.4. Kolbenringe

Das wohl komplizierteste und technologisch am schwierigsten zu beherrschende Bauteil an einem Modellmotor ist der Kolbenring. Es sind fast immer Zulieferteile hochspezialisierter Betriebe, die nur solche Ringe in verschiedener Größe und je nach Verwendungszweck in verschiedener Technologie herstellen. Auf diese Technologien kann im Rahmen dieses Buches nicht eingegangen werden. Es sei hier nur einmal eine vom Edelbastler technologisch beherrschbare Fertigungsart beschrieben. Voraussetzung ist natürlich das richtige Material, d. h. ein elastischer hochfester Perlit- oder Hartguß, nach Möglichkeit im Schleudergußverfahren hergestellt. Da es sehr schwer ist, dieses Material zu beschaffen, kann auch auf hart-elastische Bronzelegierungen zurückgegriffen werden, die man solange in

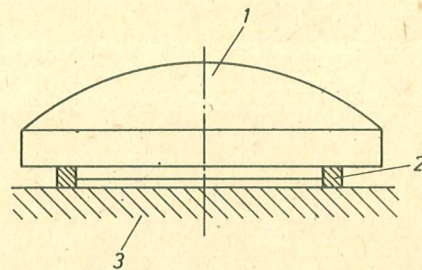


Bild 174 Druckring zum Lappen der Kolbenringflanken
1 – Druckring, 2 – Kolbenring, 3 – Lapp-Platte

Bild 173 Der Pleuelstern ermöglicht mit minimalem Aufwand die Anfertigung vieler ähnlicher Pleuel.

1 – Bohrung zum Spannen, 2 – Pleuel nach dem Bohren aussägen

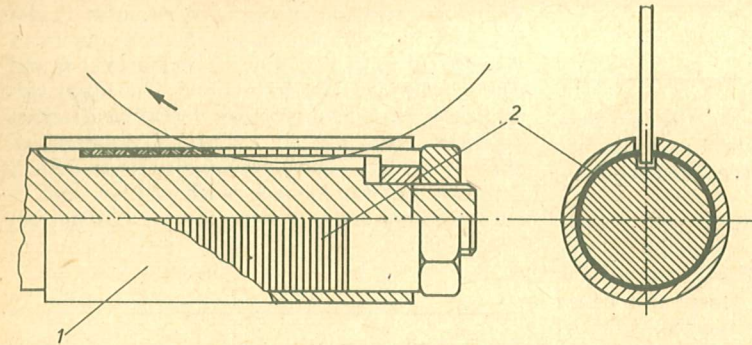


Bild 175
Dorn zum Schlitzten der
Kolbenringe
1 – Hülse, 2 – Kolbenringe

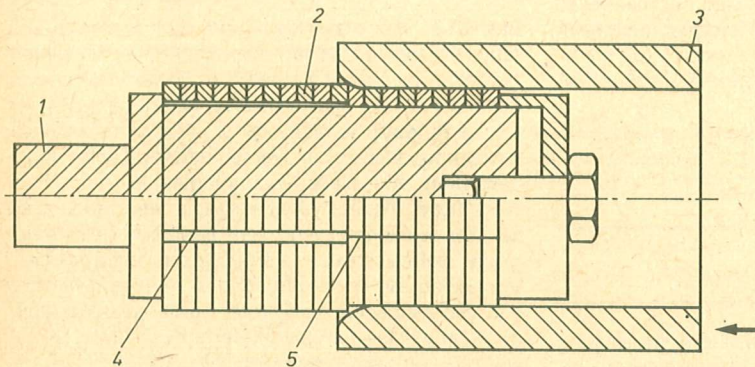


Bild 176
Umspannen der Ringe zum
Überdrehen. Die Buchse (3)
wird erst entfernt, wenn die
Ringe (2) mit geschlossenem
Ringstoß (5) auf dem Dorn (1)
festgespannt sind. 4 – Ringstoß
noch offen.

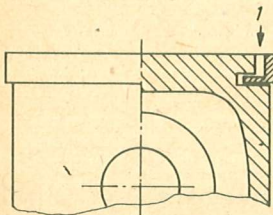


Bild 177 L-Kolbenring; er erhält seine Anpreßkraft durch den Gasdruck (1) im Zylinder

der Anfangszeit der Modellmotoren benutzte, bis die Fertigung aus Perlitguß beherrscht wurde.

Wenn wir vom Vorhandensein eines vollen Stücks Rundmaterial ausgehen, ergeben sich folgende Bearbeitungsschritte:

1. Werkstück außen auf 1,5 mm Übermaß und innen auf 0,4-0,7 mm über Fertigmaß drehen.
2. Abstechen von Ringen mit etwa 0,05 mm-0,1 mm Übermaß in der Breite.

3. Polieren der Seitenflächen der Ringe; dabei abarbeiten auf Fertigmaß. Das Polieren erfolgt auf einer ebenen Läppplatte (ebene Aluplatte oder GG-Platte) mit Hilfe eines gedrehten Druckringes (Bild 174).

4. Schlitzten der Ringe; Schlitzbreite etwa 2-3 mm. Dazu sind die Ringe unbedingt auf einen Dorn zu spannen, um Verzug zu vermeiden (Bild 175).

5. Einsetzen der Ringe in eine Buchse, die so ausgelegt ist, daß in ihr der Ringstoß völlig geschlossen ist.

6. Einsetzen eines Bolzens in die Innenbohrung der Ringe und Aufspannen der Ringe auf dem Bolzen. Dann wird erst die Buchse entfernt (Bild 176). Jetzt sind alle Ringe mit geschlossenen Schlitzten auf dem Bolzen gespannt.

7. Überdrehen der Ringe auf Fertigmaß, danach ausspannen. Nach dem Ausspannen springen die Ringe wieder auf; sie haben jetzt im eingebauten Zustand die erforderliche Federspannung und sind dabei völlig rund.

Die Anfertigung von L-Ringen (Bild 177) ist wesentlich einfacher. Der L-Ring erhält seine Spannung durch den Gasdruck im Arbeitszylinder des Motors; daher soll er möglichst weich und ohne Eigenspan-

nung sein. Als Material eignet sich daher am besten einfacher Grauguß (GG) oder Kugelgraphitguß (GGG).

L-Ringe werden mit geringem Übermaß im Durchmesser (0,1 mm) fertigbearbeitet und dann mit einem sehr dünnen Sägeblatt (0,25 mm Breite) noch erhältlich) getrennt.

Wichtig ist, daß der Ring vor dem Aufziehen auf den Kolben in die Buchse geschoben wird, um den Stoßspalt zu kontrollieren. Je nach Bearbeitung der Kolbenringlauffläche sollte der Stoßspalt 0,02-0,07 mm betragen (je rauher die Oberfläche, also je stärker der Abrieb beim Einlaufen, je geringer der Stoßspalt). Das Aufziehen des Kolbenringes ist immer sein größter Belastungszustand. Entsprechend vorsichtig ist dieser Arbeitsgang vorzunehmen. Der aufgezoogene Kolbenring soll im Kolbenringnut kein Höhenspiel haben, nicht klemmen aber genügend radiales Spiel besitzen. Ist im Interesse eines leichten und schnellen Einlaufens eine grobe Bearbeitung (grobe Drehriefen) der Kolbenring-Lauffläche und damit ein sehr geringes Stoßspiel vorgesehen, so sind die ersten Einlaufminuten bei sehr geringer Drehzahl und fetter Motoreinstellung zu absolvieren. Erst, wenn ein normales Stoßspiel (0,06-0,1 mm) vorliegt, kann der Motor voll gefordert werden. Um ein gefordertes Stoßspiel zu erhalten, darf die Rautiefe max. 0,02-0,03 mm sein.

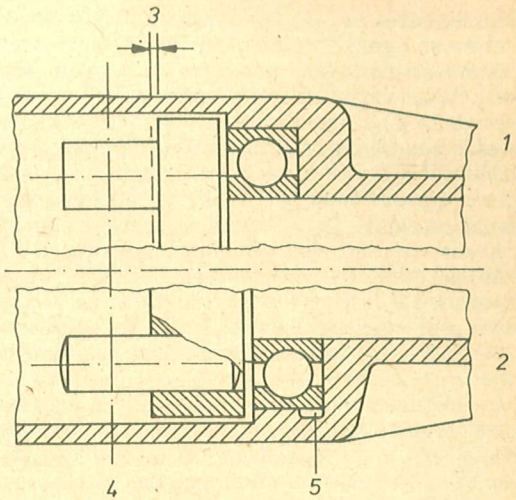


Bild 179 Um eingepreßte Zapfen verwenden zu können, sind meist breitere Kurbelwangen erforderlich, für die Platz durch Zurückversetzen des Kugellagers geschaffen werden muß.

1 – Serienzustand; 2 – NEU neue Kurbelwelle mit eingepreßtem Kurbelzapfen; 3 – Pleuelbreite verringert; 4 – Achse Pleuel; 5 – Einstich zum Vorsetzen des Kugellagers

5.4.5. Kurbelwellen

Kurbelwellen, vor allem die von Motoren mit Kurbelwellendrehchieber, sind fast immer zur Erzielung höherer Festigkeiten und besseren Verschleißverhaltens oberflächengehärtet. Erfolgt ein Durchhärten, so besteht Bruchgefahr. Wird entsprechend zähhart angelassen, so ist die Oberflächenhärte des

Bild 178 Fließende Übergänge am Steuerdurchbruch der Kurbelwelle vermindern die Bruchgefahr

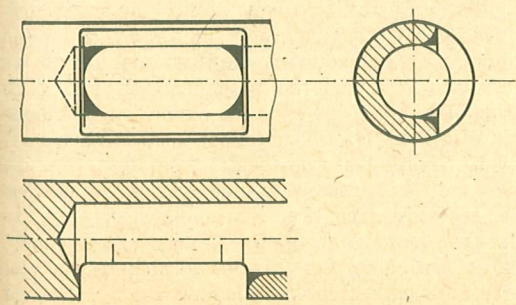
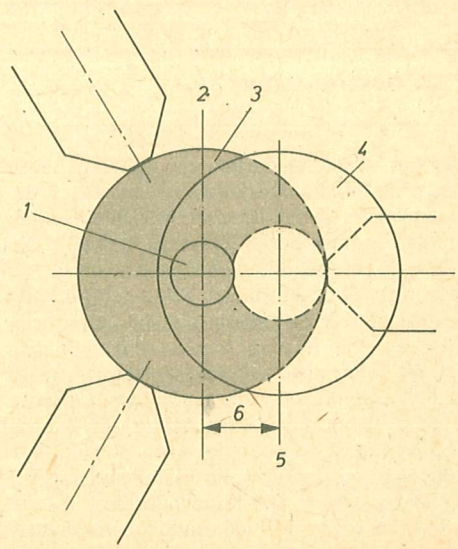


Bild 180 Exzenterbuchse zum Bearbeiten des Kurbelzapfens

1 – Kurbelzapfen; 2 – Mitte Maschinenfutter und Kurbelzapfen; 3 – Exzenterbuchse; 4 – Kurbelwelle; 5 – Mitte Kurbelwellenschaft; 6 – Hub/2



Kurbelzapfens zu gering und verschleißt zu schnell. Als Alternative für den Selbstbau von Kurbelwellen bietet sich das Einpressen von Walzkörpern aus dem Wälzlagerbau als Kurbelzapfen (siehe auch Abschnitt 3.6.4.) in ungehärtete oder vergütete Kurbelwellen aus Chrom-Molybdän-Stahl. Chrom-Molybdän-Stahl ist ein zäharter Stahl, der sich auf Grund dieser Eigenschaften sehr gut für die Kurbelwellenfertigung eignet. Durch das Einpressen des Kurbelzapfens reduziert sich der Fertigungsaufwand erheblich. Die Kurbelwelle wird zu einem einfachen Drehteil, die Bohrung für den Hubzapfen kann nach dem sehr sorgfältig zu erfolgenden Anreißen mit einer normalen Ständerbohrmaschine eingebracht werden. Es sind vorher in dem gleichen Material einige Probebohrungen einzubringen, mit deren Hilfe eine passende Reibahle auszusuchen bzw. eine vorhandene solange zielgerichtet abzuwetzen ist, bis der Kurbelzapfen nach Anwärmen der Kurbelwelle auf ca. 150°C mit leichtem Preßdruck bzw. leichten Hammerschlägen in die Bohrung getrieben werden kann. Ideal für diese Arbeit ist eine Reibahle mit der Passungsangabe N 6 oder N 7. Als Festigkeitsreserve kann gegenüber der gehärteten Originalwelle die Mittelbohrung für den Kurbelwelleneinlaß 0,5 mm kleiner gebohrt werden. Die Steueröffnung kann nach sorgfältigem Anreißen gefräst oder mittels Dental-Schleifmaschine eingearbeitet werden.

Um die Bruchgefahr abzubauen, ist auf fließende Übergänge am Steuerdurchbruch besonders zu achten (Bild 178).

Um ein Einpressen des Kurbelzapfens zu ermöglichen, muß die Kurbelwangenbreite mindestens $1 \times$ Kurbelzapfendurchmesser betragen, besser ist $1,5 \times$ Kurbelzapfendurchmesser. Um diesen Wert zu erzielen, muß oft entweder das Pleuel um 0,5 mm schmaler gefräst werden oder durch einen flachen Einstich das hintere Kugellager etwas vorge-setzt werden; auch sind beide Maßnahmen möglich (Bild 179). Wer die Möglichkeiten hat, eine Kurbelwelle vergüten, Oberflächenhärten und schleifen zu lassen, kann sie natürlich auch in der Originaltechnologie herstellen. Eine ebenso einfache wie wirkungsvolle Vorrichtung zum Spannen der Kurbelwelle beim Drehen und Schleifen des Kurbelzapfens zeigt Bild 180.

Diese Spannvorrichtung ist notwendig, da sich ein Spannen zwischen den Spitzen bei der Kurbelzapfenbearbeitung auf Grund der Form der Kurbelwelle fast immer von selbst verbietet. Der angedrehte Kurbelzapfen hat bei allen technologischen Nachteilen den Vorteil, daß er durch Hohlbohren (max. $0,4 \times D$) sehr leicht gehalten werden kann, wodurch sich die Auswuchtung des Motors verbessert (Auswuchtung siehe Absatz 1.2.3.).

5.5. Reparatur von Bauteilen

5.5.1. Gehäusereparatur

Zwei häufige Verschleißarten am Motorgehäuse sind die durch Sand aufgeriebenen oder durch defekte Kugellager verschlissenen Mittelbohrungen der Kurbelwelle oder durch Unwucht bzw. Gewaltanwendung abgebrochene Gehäuseflansche.

Die einfachste und günstigste Reparaturmethode bei ausgeriebener Mittelbohrung ist das Ausbohren und Einkleben einer Buchse. Dazu wird eine Buchse gefertigt, die sehr genau auf die (erforderlichenfalls übergeschliffene) Kurbelwelle paßt; das Gehäuse wird in der Mittelbohrung ausgebohrt. Die Buchse sollte 0,5 bis 1 mm Wandstärke besitzen und zwischen Buchse und Gehäuse ein Klebspalt von 0,1 bis 0,2 mm entstehen. Die Kugellager sind zu demontieren, alle Teile mit Trichloräthylen von Fettesten zu reinigen. Dann ist nur zwischen Kurbelwelle

und Buchse ein feiner Öl- oder Fettfilm zu erzeugen. Die Kurbelwelle ist zusammen mit dem Kugellager und der Buchse in das Gehäuse einzubauen. Über die Vergaseröffnung ist Epoxidharz auf die Buchse zu geben. Das gesamte Gehäuse ist leicht zu erwärmen (ca. 50°C) und durch Drehen der Buchse ist das jetzt dünnflüssiger werdende Harz auf die gesamte Fläche der Buchse zu verteilen. Achtung! Es darf kein Harz in die Kugellager kommen!!! Sehr gut eignet sich für diese Klebung ein modifiziertes Epoxidharz, wie EP 11 oder EGK 34 mit Härter 8, versetzt mit Aluminiumpulver und als Heißhärter eingestellt, sowie andere heißhärtende Epoxidharze. Nach dem Kleben wird die Kurbelwelle sowie die Kugellager demontiert und die Steueröffnung mittels Dentalfräser in die Buchse eingearbeitet (Bild 181).

Ist ein Flansch vom Motorengehäuse abgebrochen, so ist fast immer ein Loch im Kurbelgehäuse. Wer den Schaden nicht durch Aluminiumschweißen und

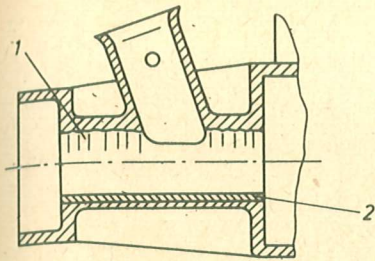


Bild 181 Reparatur einer verschlissenen Kurbelwellenpassung durch Einsetzen einer Buchse in das Gehäuse
1 – Bohrung verschlissen; 2 – Duralbuchse mit Kurbelwelle zentriert eingeklebt (oben alter Zustand, unten neuer Zustand)

anschließender fachgerechter Nacharbeit des Gehäuses beheben kann, sollte nach folgender Technologie seinen Motor reparieren:

Das ausgebrochene Teil wird mittels heißhärtendem Epoxidharz in das Gehäuse eingeklebt. Das Gehäuse wird mittels Spreizdorn genau zur Kurbelwellenbohrung aufgespannt, so daß aus dem Kurbelgehäuse etwa 0,7 mm ausgedreht werden kann. Es ist soweit auszudrehen, bis das ausgebrochene Teil voll freigedreht ist (Bild 182). Dann wird eine Buchse mit ca. 1 mm Wandstärke gefertigt und mit einem Klebespalt von 0,1 mm mittels heißhärtendem Epoxidharz in das Gehäuse eingeklebt.

Die Aushärtetemperatur ist deutlich unter der des eingeklebten Gehäusestückes zu wählen, um ein Lösen des Gehäusestückes zu verhindern. Anschließend wird das Gehäuse wie beim zweiten Arbeitsvorgang aufgespannt und die Kurbelgehäusebohrung auf das ursprüngliche Maß ausgearbeitet. In die Zylinderbohrung bzw. die Pleuelbahn oder Überströmkanäle ragende Teile der Buchse werden

abgearbeitet. Meist ist das Gehäuse wieder voll belastbar. Wer dazu kein Vertrauen besitzt, fertigt sich einen hinteren Gehäusedeckel für Kopfflanschbefestigung.

5.5.2. Kolben- und Pleuelreparatur

Nicht selten kommt es vor, daß der Kolben des Motors in der Laufbuchse noch einwandfrei paßt aber im Kolben und im Pleuel der Kolbenbolzen stark klappert. Ein genaues Vermessen des Kolbenbolzens ergibt meist, daß dieser ausgeschlagen ist und erneuert werden muß. Sind auch die Kolbenbolzenauflagen im Kolben ausgeschlagen, so kann mittels Übermaß-Kolbenbolzen der Schaden schnell behoben werden. Um das Aufreiben im Pleuel und im Kolben fachgerecht ausführen zu können, ist eine verstellbare Reibahle erforderlich. Die entsprechenden Kolbenbolzen sollten wenigstens oberflächengehärtet und poliert sein. Sie müssen im Kolben möglichst straff passen (evtl. Kolben bei der Montage leicht erwärmen).

Ausgeschlagene Ringnuten sind nur durch Nachstechen gemäß Bild 172 und Verwendung breiterer Kolbenringe zu regenerieren. Ausgeschlagene untere Pleuelbohrungen sollten nach Möglichkeit ausgebuchst werden. Dazu sind die Buchsen unbedingt bei ca. 150 °C warm einzuziehen und dann erst in der Innenbohrung fertig zu bearbeiten. Sollte sich anhand der in der Buchse eingebrachten Schmierbohrungen zeigen, daß sie beim Betrieb des Motors wandert, so ist sie durch eine Stauchung gemäß Bild 183 gegen Verdrehung zu sichern.

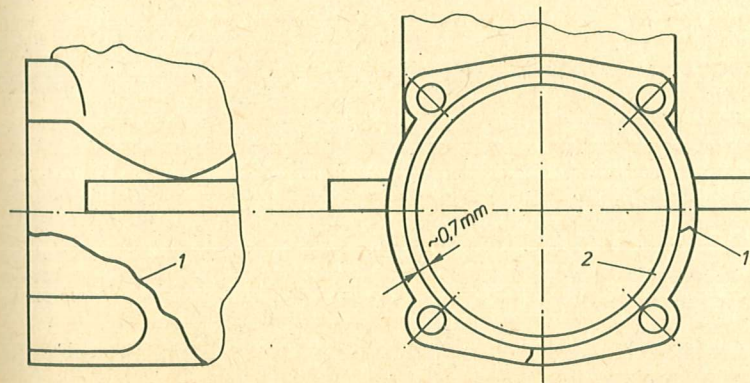


Bild 182
Reparatur der Bruchstelle an einem Motorgehäuse
1 – Bruch; 2 – eingeklebte Buchse

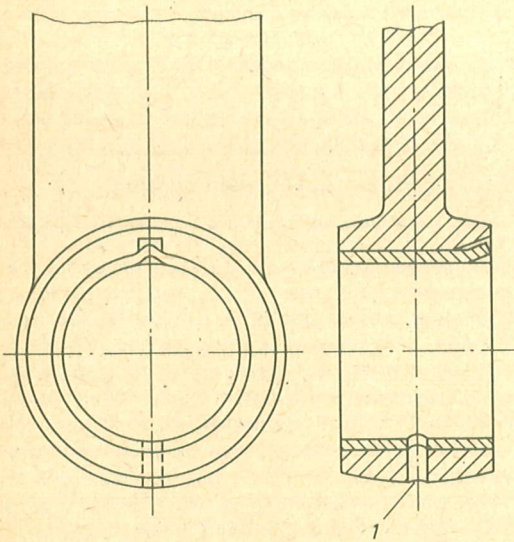


Bild 183 Sicherung einer Pleuelbuchse gegen Verdrehen
1 – Ölbohrung

5.5.3. Reparatur von sonstigen Bauteilen

– abgearbeiteter Flachdreh­schieber
Auf Grund der unterschiedlichen Umfangsgeschwindigkeit am Flachdreh­schieber verschleißt er auch unterschiedlich, d. h. am Außendurchmesser tritt der größte Verschleiß auf (Bild 184). Behoben werden kann solch ein Schaden durch Abziehen beider Bauteile auf einer Lappplatte, wie sie zum Läppen der Kolbenringseitenflächen beschrieben wurde. Sehr stark riefige Gehäuse­teile sind durch Plandre­hen aufzuarbeiten.

– ausgerissenes Kerzengewinde
Voraussetzung zum Aufarbeiten eines Kerzengewindes ist der Besitz eines Gewindebohrers $\frac{1}{4}$ " mal 32 Gang. Bild 185 zeigt, auf welchem Weg Buchsen mit Kerzengewinde im Zylinderkopf befestigt werden können. Bei beiden Varianten ist auf Preßsitz zu achten (Gewinde im Zylinder nicht ausschneiden).

– lose Propellernabe
Löst sich ständig eine Propellernabe, so können die vier im Bild 186 gezeichneten Fehler vorliegen. Aus diesem Bild ergibt sich auch der Weg der Schadensbeseitigung. Bei nur geringer Abweichung im Kegelwinkel der beiden Teile kann ein Angleich durch Einschleifen mittels Schleifpaste erfolgen. Ansonsten sind beide Bauteile mit einer Kegelein-

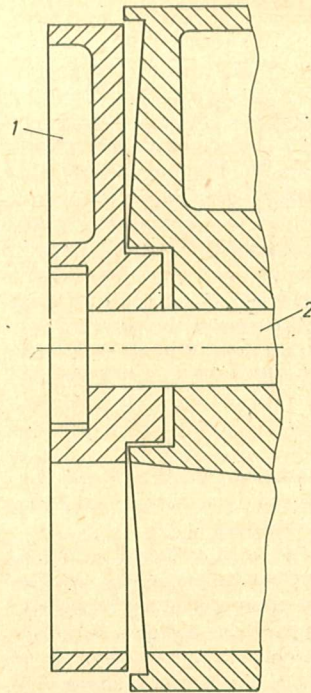
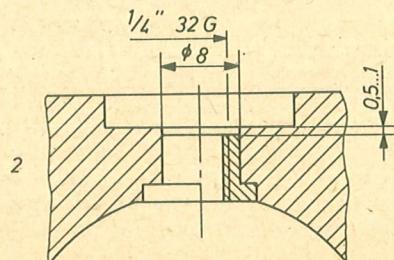
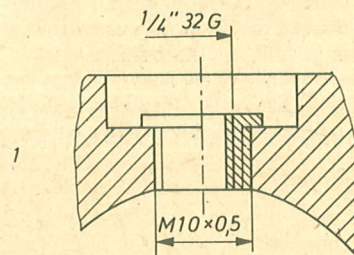


Bild 184 Verschleiß am Flachdreh­schieber (1) durch unterschiedliche Umfangsgeschwindigkeiten 2 – Lagerbolzen

Bild 185 Zwei bewährte Varianten zur Reparatur ausgerissener Kerzengewinde im Zylinderkopf

1 – mit Übermaß eingeschraubt; 2 – warm eingepreßt.



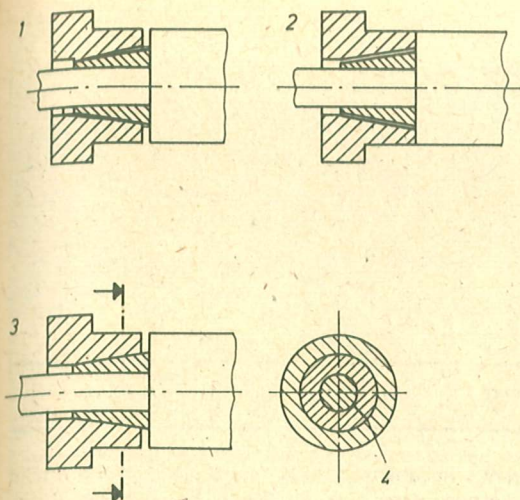


Bild 186 Produktionsfehler, die zum Lösen der Propeller-
naben führen

1 – Nabenkonus ist zu groß (oben) –
Nebenkonus ist zu klein (unten)

Nabe löst sich; 2 – Nabe liegt an; 3 – Konus kann nicht
klemmen; 4 – Schlitz im Klemmkonus geschlossen

stellung auf der Drehmaschine leicht nachzudrehen. Besonders sorgfältig ist dabei die Propeller-
nabe auszurichten, da sie sonst schlägt (taumelt).

– verbogene Kurbelwellen

Bei Abstürzen oder schlagartigem Blockieren des
Motors mit Schwungscheibe wird oft der vordere

Teil der Kurbelwelle verbogen. Oft ist ein Richten der Kurbelwelle möglich, wenn der Knickpunkt genau ermittelt werden kann. Dazu ist die Kurbelwelle umgekehrt ihrer Einspannung im Motor in die Drehmaschine zu spannen und durch abwechselndes Prüfen mittels Meßuhr und gerichteten Verformen der Kurbelwelle diese zu richten (Bild 187).

– verbogene Düsennadeln

Sind Düsennadeln innerhalb des Düsenstockes verbogen, sind sie auszuwechseln. Oberhalb des Düsenstockes verbogene Nadeln können meist gerichtet werden ohne Schaden zu nehmen.

– undichte Gehäuse

Zeigt ein Gehäuse durch Gußsporen oder äußere Einflüsse kleinere Undichtigkeiten bzw. Löcher bis ca. 2 mm², so können diese mit heißhärtendem, stark mit Aluminiumpulver angedicktem Epoxidharz sicher abgedichtet werden. Die Verwendung von EP 11 führt nur bei sehr kleinen Poren zu dauerhaftem Erfolg. Evtl. sollte das Harz mit Vakuum oder Druck in die Poren eingebracht werden. Ein Anwärmen des Gehäuses ist immer günstig.

– lose Kugellager

Lose Kugellager können durch Metallkleben befestigt werden. Allerdings sollte, um ein späteres Lösen durch Anwärmen zu ermöglichen, kein heißhärtendes Epoxidharz verwendet werden.

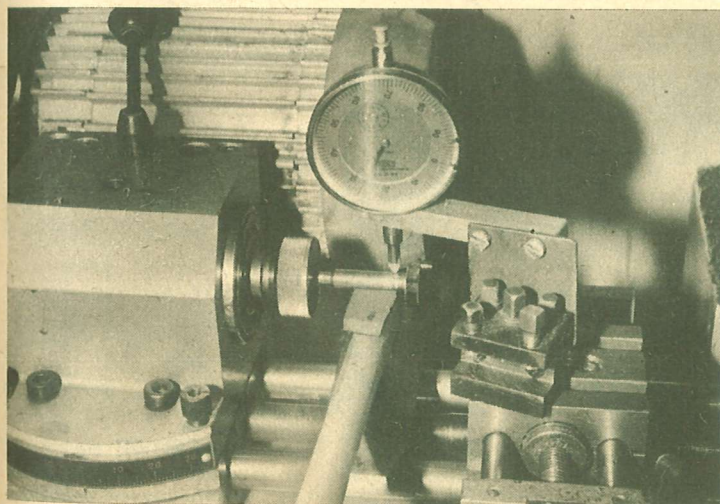


Bild 187

Richten einer Kurbelwelle auf
der Drehmaschine

1 – Hebel, 2 – weiche
Zwischenlage, 3 – Kurbelwelle,
4 – Meßuhr

6. Tuning

6.1. Die Wege zur Leistungssteigerung

Noch mehr als für den Selbstbau von Motorteilen und der Motorreparatur ist für das Tunen (auch Frisieren genannt) ein solides handwerkliches Können und das Vorhandensein geeigneter Werkzeuge notwendig. Bild 188 zeigt die wichtigsten Werkzeuge für diese Arbeit. Die Möglichkeiten, die ein Modellmotor zum Tuning bietet, soll dieser Abschnitt aufzeigen.

Das Hauptziel jeder Veränderung an einem Motor ist fast immer die Steigerung der Motorleistung, aber es kann auch die Verringerung des Kraftstoffverbrauches, die Verbesserung der Laufruhe oder die Verbesserung des Drosselverhaltens sein, die angestrebt wird. Meist jedoch werden, da in jedem Fall der Erfolg eine Erhöhung der Qualität des Motors ist, diese Eigenschaften nebeneinander verbessert. So wird z. B. eine Verbesserung der Laufruhe durch Erhöhung des Auswuchtungsgrades auch eine Leistungssteigerung bringen. Soll durch Anbau

eines Resonanzschalldämpfers die Leistung erhöht werden, wird sich der Motor bei richtiger Auslegung des Schalldämpfers auch besser und sicherer drosseln lassen.

6.1.1. Veränderung des Steuerdiagramms

Durch die Auslegung der Steuerdiagramme für Einlaß, Überströmkanäle und Auslaß wird konstruktiv die Leistungscharakteristik des Motors festgelegt. Neben den Steuerzeiten (besser Steuerwinkel) entscheiden die Querschnitte der Kanäle die Charakteristik des Motors. Da jedoch auf wenige Ausnahmen bei der Neuentwicklung eines Motors eine möglichst hohe Motorleistung angestrebt wird, ha-

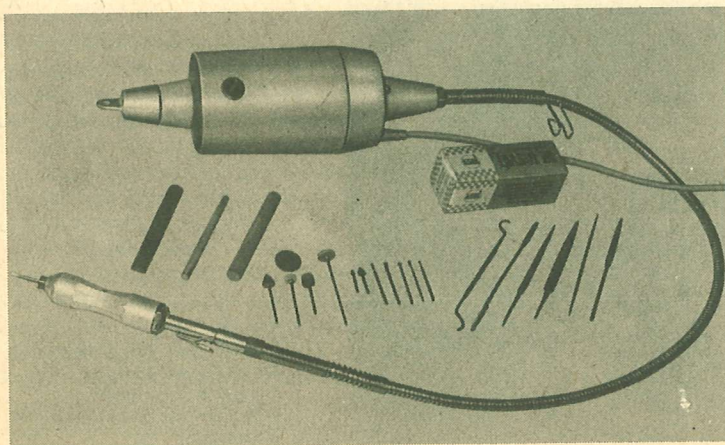


Bild 188
Dieses Bild zeigt die wichtigsten Werkzeuge, die zum Tuning benötigt werden

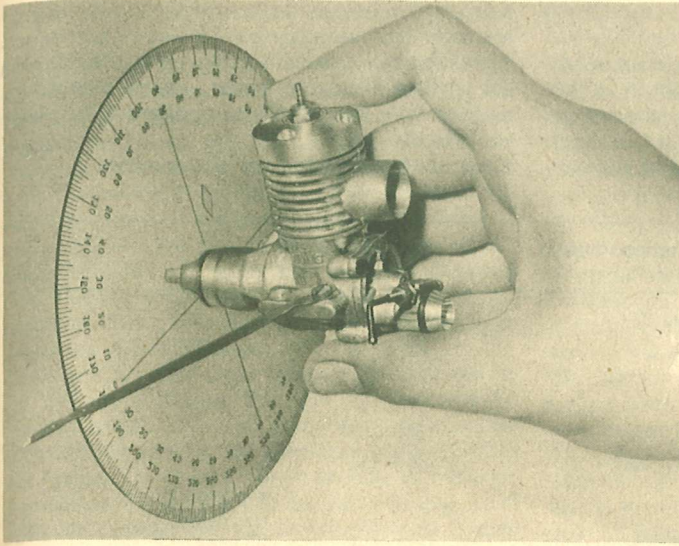


Bild 189
Ermittlung der Steuerwinkel eines
Modellmotors mit Hilfe einer
Winkelmeßscheibe und eines am
Motorflansch angeschraubten Zeigers

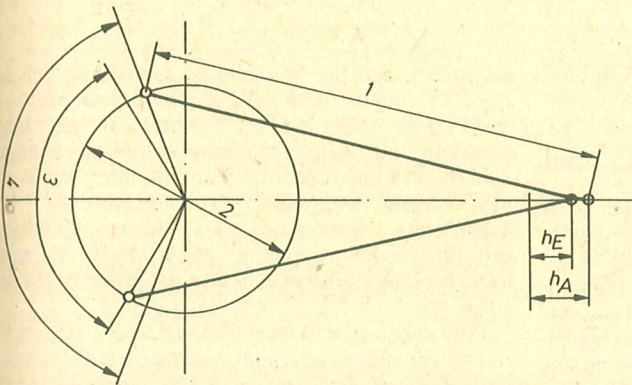
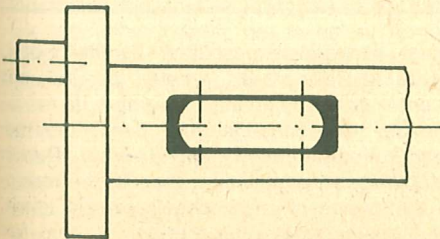


Bild 190
Maßstäbliche Zeichnung eines
Kurbelgetriebes zum Ermitteln der
Steuerwinkel
1 – Stichmaß Pleuel; 2 – Hub; 3 – Einlaß
120° KW; 4 – Auslaß 140° KW; h_E – Höhe
Einlaß; h_A – Höhe Auslaß

Bild 191 Vergrößerung des Steurdurchbruchs an der
Kurbelwelle



ben sich bestimmte Steuerwinkel als Standard herausgearbeitet, die bei fast jedem Motor wiederzufinden sind. Aus diesem Grunde ist mit Veränderung der Steuerwinkel meist bei modernen Motoren nur wenig Gewinn an Leistung zu erzielen, wenn man vom Umbau eines „offenen“ Motors auf gasdynamische Abstimmung absieht.

Die Veränderung der Steuerwinkel bezieht sich fast ausschließlich auf deren Vergrößerung, da dann ja nur Material abgearbeitet zu werden braucht. Will man die vorhandenen Steuerwinkel verringern, so ist die Anfertigung neuer Bauteile meist unumgäng-

lich. Vor jeder Veränderung steht die gründliche Analyse der vorhandenen Steuerwinkel mittels Winkelmesser (Bild 189) oder nach der bekannten Methode des Aufzeichnens des Kurbeltriebs in vergrößertem Maßstab (Bild 190). Nach Aufzeichnung des Steuerdiagramms können dann die Veränderungsmaßnahmen festgelegt werden. Dabei ist auch im-

mer die Möglichkeit der Vergrößerung der Steuerquerschnitte, besonders beim Einlaß zu berücksichtigen. So kann z. B. die Beseitigung von Rundungen am Kurbelwellendrehchieber, wie im Bild 191 gezeigt ist, eine beachtliche Vergrößerung der Querschnitte bringen.

Folgende Steuerwinkel sind anzustreben:

	Leistungsmotoren (drosselfähig)	Renntmotoren	
Einlaß öffnen	45° n.UT	ab 30° n.UT	
Einlaß schließen	45° n.OT	65°– 70°	(max. 73°) n.OT
mit Resonanz- auspuff			
Überstrom ges.	120°–135°	126°–138°	
Auslaß ges.	150°–165°	160°–180°	
ohne Resonanz- auspuff (offen)			niedrige Werte für Selbst- zündler
Überstrom ges.	120°–135°	118°–138°	
Auslaß ges.	140°–150°	128°–154°	

6.1.2. Veränderung des Verdichtungsverhältnisses im Brennraum

Das optimale Verdichtungsverhältnis eines Glühzünder-Modellmotors ist vom Kraftstoff und vom Zündzeitpunkt – sprich Glühkerze – abhängig. Selbstzündermotoren können, da ja dort das optimale Verdichtungsverhältnis einstellbar ist, aus dieser Betrachtung ausgeschlossen werden. Desweiteren ist das optimale Verdichtungsverhältnis von der Betriebsdrehzahl, von der Betriebsart mit oder ohne Schalldämpfer, Verwendung von Resonanzschalldämpfern sowie von der Brennraumform abhängig. Um einen Motor für den jeweiligen Verwendungszweck zu optimieren, sollten folgende Arbeitsgänge abgearbeitet werden:

1. Falls nicht vorhanden, Anfertigung einiger in der Materialdicke gestaffelter Unterlegscheiben aus Alu oder Kupfer für den Zylinderkopf.
2. Aufbau des Motors auf einen Prüfstand und weitestmögliche Rekonstruktion des im Modell anfallenden Betriebszustandes, wie zu erwartende Drehzahl, Kühlverhältnisse, Schalldämpfer, Tank.
3. Probeläufe mit unterschiedlicher Anzahl von Unterlegscheiben bis das Optimum erreicht ist. Es ist dabei oft ein Drehzahlzuwachs von 1000–2000 1/min zu erreichen.

Zeigt sich, daß die Verdichtung auch ohne Scheiben zu gering ist, so ist der Zylinderkopf nachzudrehen. Dieser Effekt tritt oft bei Motoren aus USA oder Japan auf, da dort mit einem Nitromethananteil von 20–40% gearbeitet wird und die Motoren deshalb entsprechend niedrig verdichtet werden.

4. Erprobung einer Reihe verschiedener Glühkerzen (dicker Draht, dünner Draht, heiße Kerzen usw.) bis die optimale Glühkerze gefunden ist (Dazu sollte Abschnitt 6.1.12. beachtet werden).

5. Wer noch mehr herausholen will, kann jetzt noch mit dieser optimalen Glühkerze das Verdichtungsverhältnis variieren und wird jetzt noch ein paar Umdrehungen gewinnen.

6.1.3. Veränderung des Verdichtungsverhältnisses der Kurbelkastenpumpe

Bei einem kurbelkastengespülten Zweitaktmotor, wie unsere Modellmotoren, arbeitet der Teil des Motors unter dem Kolben als Luftpumpe, da mit ihrer Hilfe die Verbrennungsluft in den Motor gesaugt und zum Brennraum gepumpt wird. Diesen unteren Teil des Motors nennt man Kurbelkastenpumpe. Es ist eine physikalische Gesetzmäßigkeit, daß der Wirkungsgrad einer Pumpe mit dem Ab-

nehmen des Schadraumes, d. h. des verbliebenen Luftvolumens beim Punkt der höchsten Verdichtung, zunimmt. Da wir den Modellmotor als Einheit betrachten müssen, leuchtet es ein, daß bei Zunahme des Wirkungsgrades unserer Kurbelkastenpumpe der Wirkungsgrad des gesamten Motors steigt. Die Steigerung des Wirkungsgrades kann sich in einer Leistungssteigerung aber auch in der Senkung des Kraftstoffverbrauchs bemerkbar machen. Oft wird bei der Konstruktion dieser Vorteil durch erhöhte Reibungsverluste und damit Senkung des mechanischen Wirkungsgrades wieder zu nichte gemacht. Es ist also unser Ziel, hier eine Optimierung zu erreichen.

Die Wege zu dieser Optimierung sind derart vielseitig, daß sie in diesem Rahmen nicht beschrieben werden sollten, denn mit dem Verstehen des Problems ergibt sich für den jeweiligen Modellsportler am praktischen Objekt, seinen jeweilig zu frisierenden Motor, die Möglichkeit der Veränderung. Es ist lediglich zu beachten, daß andere wichtige Zusammenhänge wie der Weg der Spülströme, der bereits zitierte mechanische Wirkungsgrad oder die sehr notwendige Wärmeableitung von den einzelnen Bauteilen nicht gestört werden. Aus den im Abschnitt 6.2. gezeigten Tuningbeispielen können entsprechende Anregungen entnommen werden.

6.1.4. Verbesserung der Kühlung

Wird durch Tuningmaßnahmen die Leistung eines Motors rapide gesteigert, ist meist sehr schnell die Grenze der thermischen Belastbarkeit des Motors erreicht, weil die Kühlfläche mit der gestiegenen Motorleistung nicht mehr übereinstimmt. Die Motortemperatur steigt und in Folge der zu hohen Motortemperatur geht der Motor fest oder ein Bauteil, meist wird es das Pleuel sein, quitiert den Dienst. Die Benutzer von Glühzündermotoren sind in der mißlichen Situation, diesen Effekt nicht zu bemerken, da sie in der glücklichen Lage sind, bei einem Anzeichen von Überhitzung nur durch eine geringe Öffnung der Düsenadel auf Grund der sehr hohen Innenkühlwirkung des Methanols das thermische Gleichgewicht wieder herstellen zu können. Mit dieser Handlungsweise sind zwar die Folgen der Überhitzung beseitigt, aber nicht ihre Ursachen, so daß unsere heutigen Rennmotoren, wie im Abschnitt 1.1.5. nachgewiesen wurde, mit Wirkungsgraden unter 20 % betrieben werden und 30 % ihres Kraftstoffkonsums zur Innenkühlung benötigen. Die wirklichen Spitzenkräfte unserer Sportart haben diese Zusammenhänge begriffen und versuchen,

durch Optimierung der Motorkühlung die Motorleistung weiter zu steigern, denn der zusätzliche Transport von unverbrennbarem Kraftstoff durch den Motor ist für diesen ja, populärwissenschaftlich ausgedrückt, nur unnötiger Ballast, der die Leistungsentfaltung hemmt.

Die Benutzer von Hochleistungs-Selbstzündermotoren sind nicht in der Lage, in diesem Umfang die Innenkühlung ihrer Motoren zu erhöhen, so daß sie meist sehr schnell auf die Grenze der thermischen Belastbarkeit ihrer Motoren stoßen und so ist es verständlich, daß viele Anregungen in Richtung Kühlungsoptimierung gerade von diesen Modellsportlern ausgehen.

Der Zylinderkopf hat meist eine konstante Temperatur, die etwa der des Auslaßbereiches entspricht. Es wurden von den westdeutschen F 2 A-Flieger Emil Rumpel an Zylinderköpfen von Glühzünder- und Selbstzünder-Rennmotoren Temperaturen von 250 °C ermittelt. Für 10 cm³-RC-Flugmotoren wurde vom US-Amerikaner Clarence Lee im Rahmen einer Versuchsreihe mit Benzinzusatz im Glühzünderkraftstoff eine Zylinderkopftemperatur von 190 °C gemessen. Diese Temperatur muß, da bei 200 °C das Duraluminium einem erheblichen Festigkeitschwund unterliegt, als obere vertretbare Grenze am Motor angesehen werden. Betrachtet man den Temperaturverlauf am Zylinder eines Modellmotors (Bild 192/1), so ist festzustellen, daß die Temperatur am Überströmkanal am niedrigsten und am Auslaßkanal am höchsten ist.

Beim im Kühlluftstrom liegenden unverkleideten Zylinder überlagert sich die Temperatur des Luftstromes mit der Zylindertemperatur und verschlechtert damit die Kühlverhältnisse (Bild 192/2). Durch eine aerodynamische Motorverkleidung, wie sie im Bild 192/3 dargestellt ist, kann der Kühlluftstrom zielgerichtet geführt werden, wodurch sich sehr gleichmäßige Kühlverhältnisse ergeben. Anders dagegen beim nach hinten gerichteten Auspuff. Durch die Kühlluftführung wird, wie im Bild 193/1 gezeigt, die Temperaturverteilung noch ungleichmäßiger. Durch zusätzliche Luftkanäle, die Kühlluft in den Auspuffbereich blasen, kann Temperaturverteilung zwar etwas positiver beeinflusst werden, aber eine generelle Verbesserung bringt nur eine Verlegung des Auspuffs in Flugrichtung, wie es Bild 193/2 zeigt. Im Motorrad- und PKW-Bau (Simson, MZ, Trabant) werden deshalb u. a. die Auspufföffnungen am Zylinder seit je her nach vorn in den Luftstrom gelegt. Bild 194 zeigt einen MVVS 2,5 DR, der für die Modellflugklasse F 2 C mit nach vorn gerichtetem Auspuffkanal umgebaut wurde. Die Konstruktionsmaße für eine Kühlluftführung zeigt Bild 195 am Beispiel eines Motors mit nach hinten gerichtetem Auspuff. Bei seitlichem Auspuff sollte

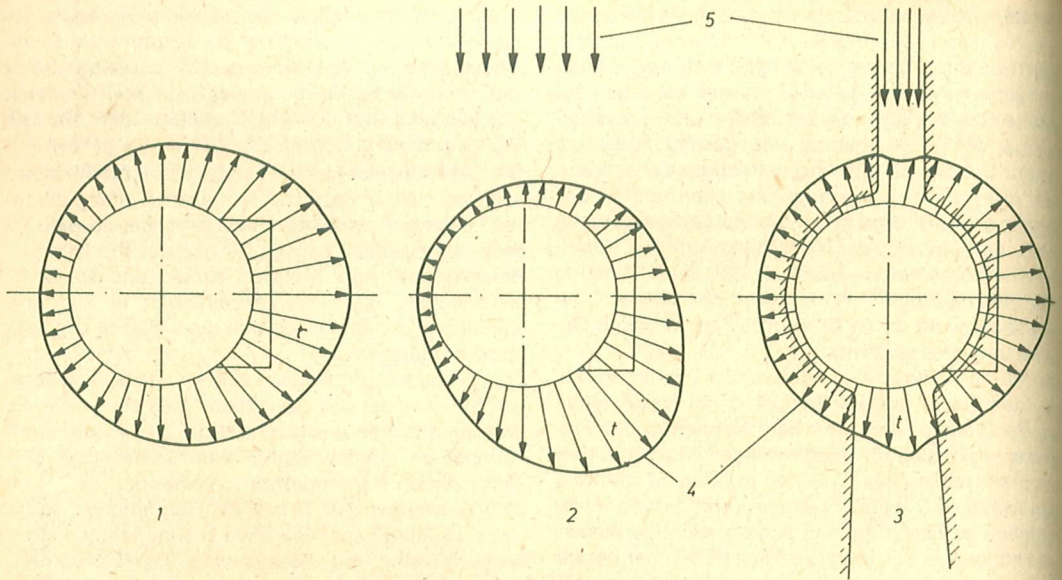


Bild 192 1 – Temperatur am Zylinder eines Modellmotors; 2 – Temperaturverlauf am Zylinder in freiem Kühlluftstrom; 3 – Temperaturverlauf am Zylinder in einem, durch eine Kühlluftführung gerichteten und bemessenen Kühlluftstrom; 4 – Temperaturniveau; 5 – Kühlluft

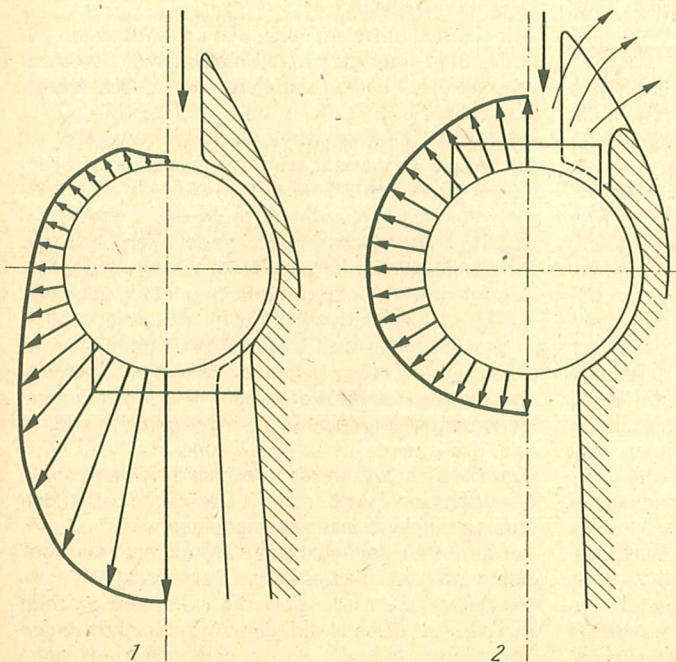


Bild 193

1 – Temperaturverlauf am Motorzylinder mit nach hinten gerichtetem Auspuff und Kühlluftführung; 2 – Temperaturverlauf bei nach vorn gerichtetem Auspuff und Kühlluftführung

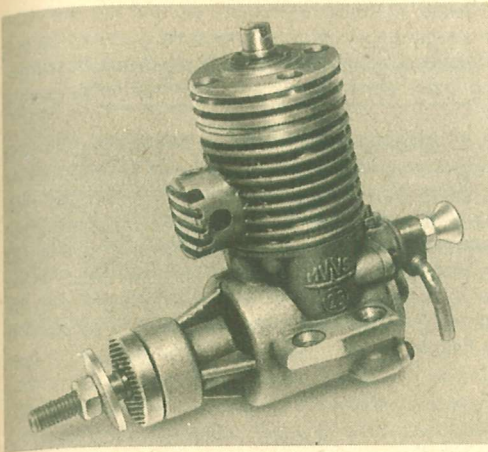


Bild 194 MVVS 2,5 DR mit nach vorn gerichtetem Auspuff für den Einsatz in der Klasse F 2 C

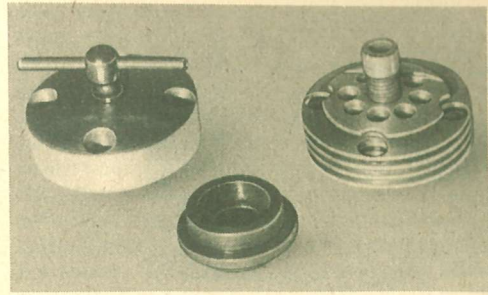


Bild 196 Vergrößerung der Kühlfläche durch Verrippung des Zylinderkopfes, links serienmäßiger Zustand

Bild 195 Konstruktionsmaße einer Kühlluftführung

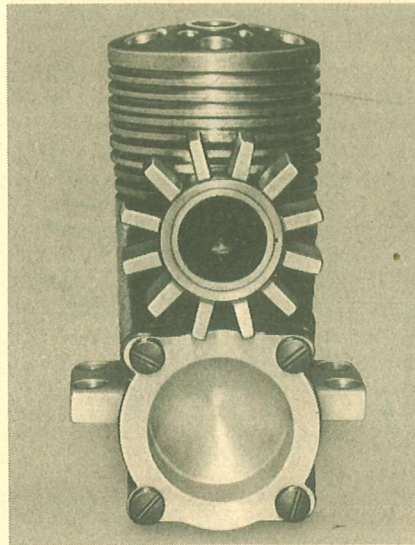
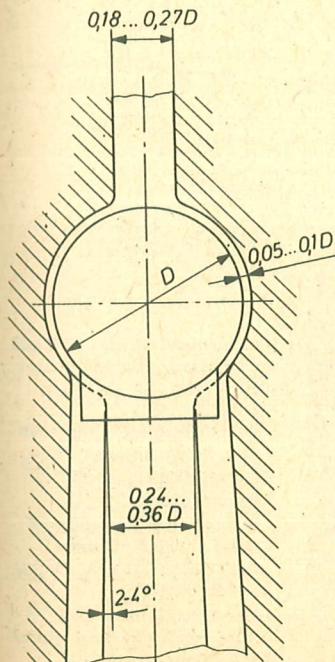


Bild 197 Durch solch einen Kühlstern, der auf den Auspuffstutzen eines Rossi gesetzt wurde, kann der im Bild 193/1 gezeigte Wärmestau abgebaut werden

etwas mehr Luft in Richtung Auspuff geleitet werden, wie es Bild 192/3 zeigt.

Zwei Wege führen zur qualitativen Verbesserung der Kühlung:

1. die Vergrößerung der Kühlfläche
2. die Verringerung der Wärmeübergangsverluste zwischen den heißen Bauteilen (Laufbuchse, Kolben) und den kühlenden Bauteilen (Zylinderkopf, Kühlrippenmantel, Gehäuse).

Die Bilder 196 bis 198 zeigen, wie eine Vergrößerung der Kühlfläche mit einfachen Mitteln zu erzielen ist.

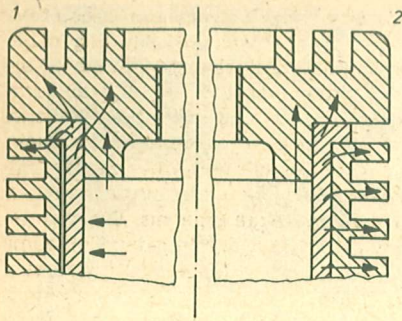
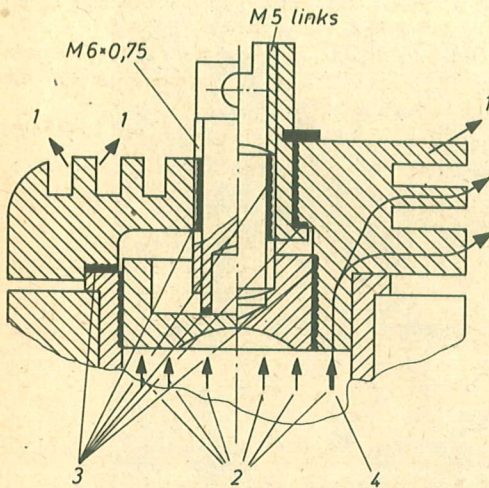


Bild 198 Bei einem zu lose sitzenden Kühlmantel (1), wie er häufig zu finden ist, kann fast keine Wärme von der Laufbuchse abgeführt werden. Abhilfe kann hier nur ein neuer, gut passender Kühlmantel (2) bringen.



Die Bilder 121 und 199 zeigen, wo und wie die Wärmeübergänge am Motor verbessert werden können und weisen Wege zur Optimierung durch Verringerung bzw. Vermeidung von Wärmeübergangsstellen.

Die günstigsten Verhältnisse in Bezug auf Kühlung des Motors gestattet die Technik des hartverchromten Aluminiums als Zylinderlauffläche (AAC-Laufbuchsen), wenn nicht nur die Laufbuchse in das Gehäuse eingeschoben wird, sondern das Gehäuse mit Überströmkanälen, Kühlrippen und die Lauffläche für den Kolben ein Bauteil bildet, wie es bei dem auf Bild 200 gezeigten japanischen HGK-Motor der Fall ist.

Bild 199 Durch den im Durchmesser gestuften Gegenkolben (rechts) ist nicht nur eine feinfühlige Kompressionsvorstellung möglich, sondern ein Großteil der Wärmemenge aus dem Brennraum wird direkt ohne Wärmeübergangsstellen an die Kühlrippen weitergegeben.
1 – Wärmeabfuhr; 2 – Wärmezufuhr (links herkömmliche Konstruktion); 3 – Wärmeübergangsflächen; 4 – direkte Wärmeabfuhr

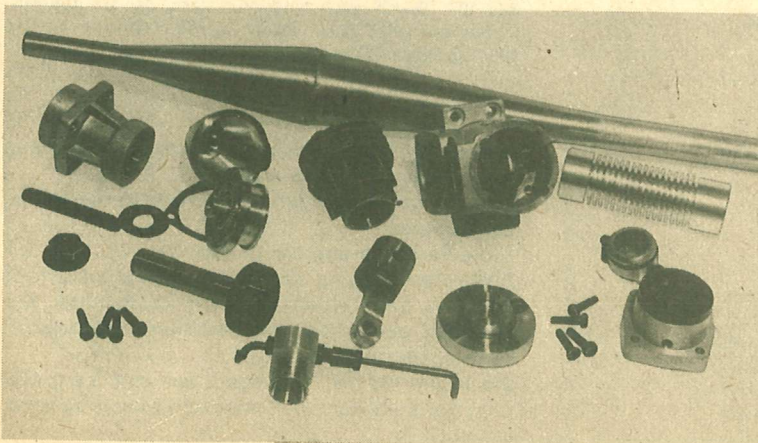


Bild 200
Beim 2,5 cm³ HGK aus Japan – hier die Variante mit Flachdrehschieber und Resonanzauspuff im demontierten Zustand – ist unter Anwendung der AAC-Technik die Laufbuchse mit Kühlrippen, Überstromkanälen und Auspuffschaft als ein Bauteil ausgeführt worden.

6.1.5. Verbesserung des mechanischen Wirkungsgrades

Das in bezug auf Nichterkennen der Mängel in der Motorkühlung gesagte trifft auch voll auf Mängel in der mechanischen Qualität, d. h. in den Reibungsverlusten bei Betriebstemperatur, zu. Die Reibverluste werden nicht erkannt, da sie nur durch eine mehr oder minder hohe Leistungsminderung des Motors wirksam werden und bei örtlichen Überhitzungen durch eine kleinere Korrektur an der Düsenadel ausgeglichen werden. Schon im Abschnitt 1.1.5. wurde auf die Kontrolle der mechanischen Reibung eines Motors mit einfachen Mitteln eingegangen. Zu dieser Reibung ohne Last kommt noch die Reibung, die sich unter Last durch die Verformung der Bauteile und die Wärmeausdehnung der Bauteile bei Betriebstemperatur ergibt. Die Gebrüder Metkemayer aus Holland, Weltmeister der Modellflugklasse F2C des Jahres 1978 und Weltrekordinhaber der Weltmeisterschaft 1980, haben zusammen mit ihrem Freund Enrico Flores

diese Problematik bei der Entwicklung ihres FMV-Rennmotors gründlich untersucht. Sie gingen davon aus, daß die Pleuellagerung sich auf Grund ihrer Form unkontrollierbar verformt und somit für die weiteren Betrachtungen nicht in Frage kommen kann. Danach berechneten sie die Verformung einer üblichen Pleuellagerung ohne Pleuellagerung und kommen auf das im Bild 201 gezeigte Ergebnis. Die dort gezeigte Verformung ist für Motoren jeden Hubraums zutreffend, da sich mit zunehmendem Hubraum auch die Dimensionen der Pleuellagerung vergrößern. Um zusätzliche Reibungen durch diese Verformung zu vermeiden, ist

1. durch entsprechendes Lagerspiel im unteren Pleuellager eine freie Verformung der Pleuellagerung zu gewährleisten,
2. durch entsprechend gestaltete Pleuellager am Pleuellager eine Übertragung der Schwingungen auf den Pleuellager auszuschließen,
3. die Abdichtungsstelle zwischen den Pleuellagern in den Bereich der neutralen Zone zu legen, um ein Aufsetzen zu verhindern.

Wir sehen schon an diesem Beispiel, daß zumindest

Bild 201
Verformung einer Modellmotoren-Kurbelwelle während des Verbrennungsvorgangs

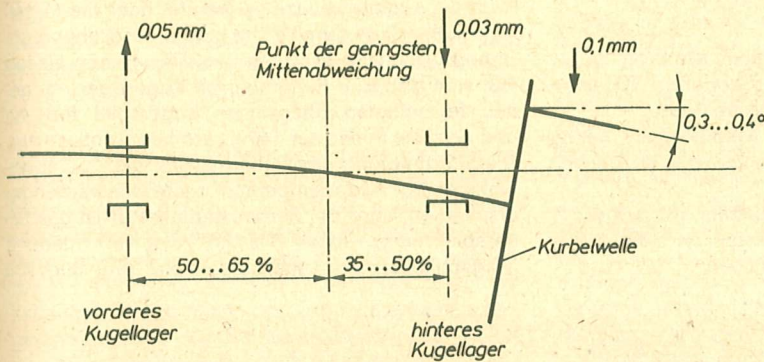
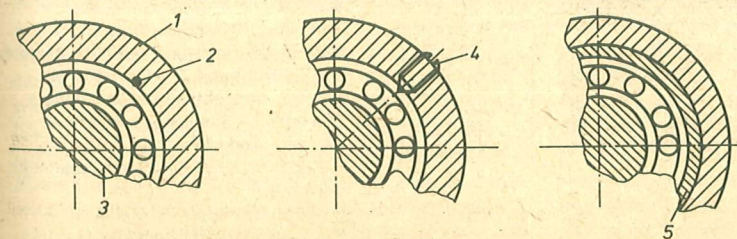


Bild 202 Verschiedene Arten der Lagerbefestigung, um ein Mitdrehen des Außenringes zu verhindern und trotzdem einen leichten Lagerlauf zu gewährleisten.

1 – Gehäuse; 2 – Stift; 3 – Pleuellager; 4 – Madenschraube; 5 – eingepreßter Stahling



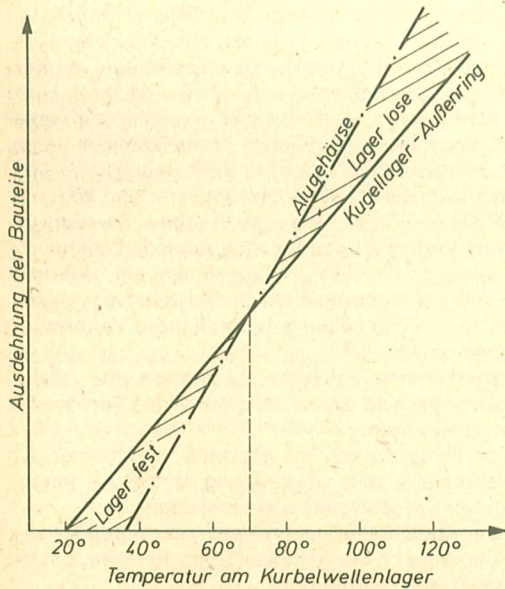


Bild 203 Diagramm der Wärmeausdehnung an der Lagerstelle und den Kugellagern der Kurbelwellenlagerung

die Punkte 1 und 3 bei fast allen Motoren dieser Bauart vernachlässigt wurden, wodurch wir einen Angriffspunkt zur Verbesserung besitzen.

Die weitere Entwicklung der Metkemayers bezog sich auf das thermische Verhalten der Kurbelwellenlagerung.

Soll ein Kugellager optimal arbeiten, so muß es im Außenring fest im Gehäuse sitzen und die Welle darf ebenfalls keinen Schlupf haben.

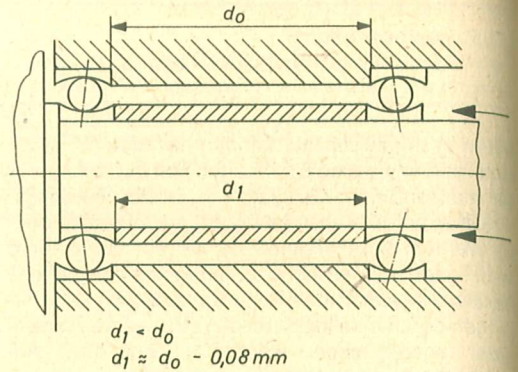


Bild 205 Verspannen der Kugellager der in Bild 204 gezeigten Lagerung, um das ideale Lagerspiel einzustellen

Das Lagerspiel der herkömmlichen Kugellager gestattet aber nicht, die Lager im Motorengewehäuse so fest einzupressen, daß sie bei Betriebstemperatur (ca. 60°C) der Lagerung noch sicher festsitzern aber trotzdem leicht laufen. Aus diesem Grunde haben z. B. unsere sowjetischen Sportfreunde, die das Problem ebenfalls erfaßt haben, eingepreßte Stahlringe als Kugellagersitze verwendet oder die Kugellageraußenringe durch Stifte gegen Verdrehung gesichert. Der USA-Motorenhersteller Henry Neson läßt sich für seine Rennmotoren Kugellager mit genau festgelegten überhöhten Lagerspiel fertigen und setzt sie in das auf 140°C erhitzte Gehäuse ein. Die Schrumpfung des Gehäuses läßt die Kurbelwellenlager bei Raumtemperatur recht schwergängig erscheinen, aber bei Betriebstemperatur ist das Lagerspiel nahezu ideal. Bild 202 zeigt verschiedene Möglichkeiten der Lagerbefestigung und Bild 203

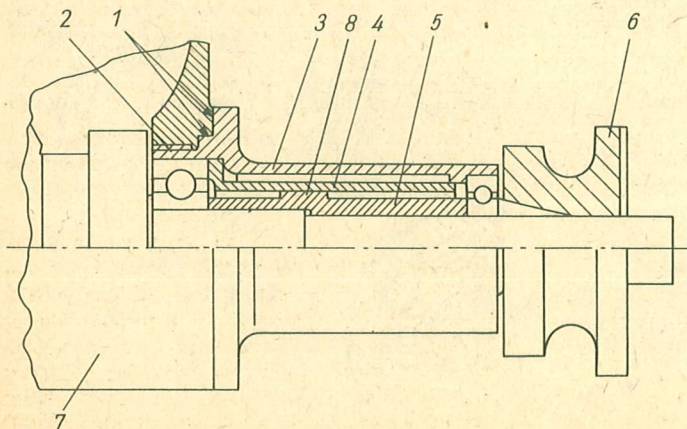


Bild 204

Temperaturunempfindliche Kurbelwellenlagerung des FMV-Motors
1 - Zentrierbund; 2 - Gewinde M 22 x 0,5, verklebt mit heißhärtendem EP-Harz; 3 - Stahlagerung 0,7 mm dick; 4 - Abdichtbuchse; 5 - Spannbuchse für Axialverspannung der Lager; 6 - Propellernabe; 7 - Gehäuse; 8 - Abdichtung Kurbelwelle

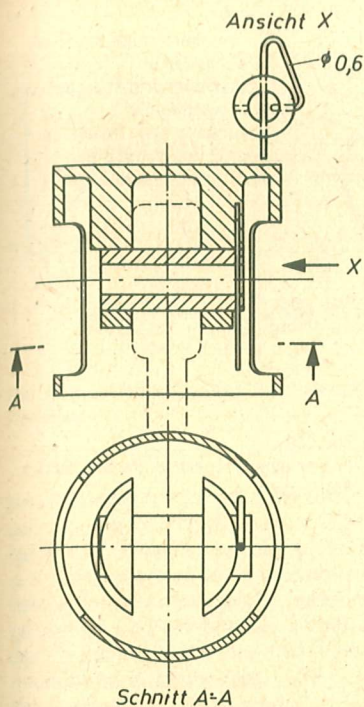


Bild 206 Mit dieser speziellen Kolbenaufhängung kann der gesamte Kolbenmantel für Gasfenster genutzt werden

das Diagramm der Wärmeausdehnung an der Lagerstelle. Erwähnt werden muß noch, daß der Lageraußenring natürlich auch mit heißhärtendem Epoxidharz am Gehäuse angeklebt werden kann. Diese Technologie führt auch zum Erfolg, lediglich das Wechseln des Lagers führt garantiert zu Komplikationen. Das Problem der unterschiedlichen Längenausdehnung von Stahl-Kurbelwelle und Aluminium-Gehäuse ist damit noch nicht gelöst.

Durch die im Bild 204 gezeigte Konstruktion der Kurbelwellenlagerung konnten alle bisher angesprochenen Probleme gelöst werden. Die Ausführung der gesamten Lagerung aus Stahl verhindert sowohl ein Lösen des Kugellageraußenringes sowie eine unterschiedliche Längenausdehnung, da der Ausdehnungskoeffizient gleich ist. Durch die auf die Kurbelwelle aufgeschobene Buchse wird der feste Sitz der Kugellagerinnenringe auf der Kurbelwelle garantiert und es ist ein Verspannen der Lager bis zur Spieloptimierung möglich (Bild 205). Die im Gehäuse feststehende äußere Buchse gestattet eine Abdichtung am schwingungsfreien Punkt. Zur Gewichtsreduzierung wurde diese Lagerung dadurch weiterentwickelt, daß sowohl Kurbelwelle als auch

die Lagerung aus einer Titanlegierung gefertigt wurde. Kurbelwellenlagerungen dieser Konstruktion dürfen auf keinen Fall gekühlt werden, da sonst durch das kältere Außenteil wieder Lagerverspannungen entstehen. Eine weitere erhebliche Reduzierung der Lagerbelastung und damit die Reibung wird durch eine Erhöhung des Auswuchtungsgrades auf 35–50 % erreicht, wie es im Kap. 1.2.3. beschrieben wurde. Bekanntlich ist das untere Pleuelauge die heißeste Lagerstelle im Modellmotor und somit auch die Lagerstelle mit der höchsten Reibung. Das Bestreben der Gebrüder Metkemayer war es, die Reibung an dieser Stelle herabzusetzen. Ein sehr guter Erfolg konnte durch die Verwendung eines Hülsendrehchiebers System K+B erzielt werden. Bei diesem Drehschieber (siehe Bild 109) wird das kalte Frischgas auf die Lagerstelle des unteren Pleuelauges geblasen, wodurch sich eine intensive Kühlung und Schmierung ergibt. Außerdem tritt ein Verdampfen der bis dahin noch tropfenförmig vorhandenen Kraftstoffbestandteile ein, wodurch sich die Gemischqualität und damit der Kraftstoffverbrauch verbessert.

Wegen der kaum zu überbietenden Härte und Oberflächengüte ist es zweckmäßig, als Kurbelzapfen Wälzkörper der Wälzlagerindustrie zu verwenden. Versuche der Metkemayers haben gezeigt, daß durch eine dünne Hartchromschicht ($5\ \mu\text{m}$) auf diesen Zapfen die Lagerreibung so weit reduziert wird, daß der Geschwindigkeitszuwachs des Modells durch diese Maßnahmen meßbar ist (Hartchromauflagen auf angedrehte und geschliffene Kurbelzapfen blättern ab).

Weitere Verbesserungen des mechanischen Wirkungsgrades eines Modellmotors sind durch intensive Kühlung und Schmierung des Kolbenbolzens mit Hilfe von Kolbenfenstern und einer speziellen Kolbenaufhängung (Bild 206) sowie durch Verringerung der Kolbenringzahl bei größeren Motoren möglich. Die Verwendung von ABC- und AAC-Laufgruppen (siehe Abschnitt 5.4.2. und 6.1.4.) erlauben eine exakte Optimierung der Ausdehnungskoeffizienten der Lauffbuchse und des Kolbens durch entsprechende Materialauswahl (Bild 171) und gestatten dadurch selbst bei größeren Motoren den Verzicht auf Kolbenringe und damit eine erhebliche Reibungsreduzierung.

Soweit die Hinweise für Umbauten und Neukonstruktionen. Was ist nun zu tun, um an einem vorliegenden Modellmotor die Reibung zu verringern?

Als erste Arbeit läßt man den zu verändernden Motor (wenn er neu ist) etwa 10 Minuten bei mittlerer Drehzahl laufen, um festzustellen, ob er mechanisch einwandfrei ist. Ist der Motor bereits fertig eingelaufen, dann sollte man die Drehzahl notieren, die er mit einem Testpropeller erzielt (mit demsel-

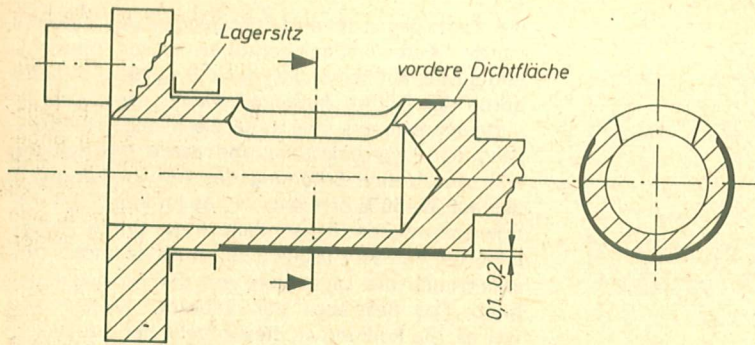


Bild 207
Durch derart freigeschliffene Kurbelwellendrehzieher-Motoren werden die Reibungsverluste erheblich gesenkt und damit die Motorleistung erhöht

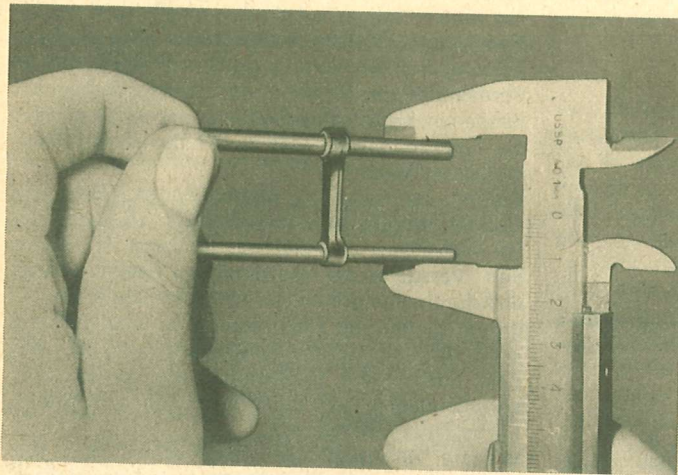


Bild 208
Prüfen eines Pleuels auf Parallelität der Bohrungen

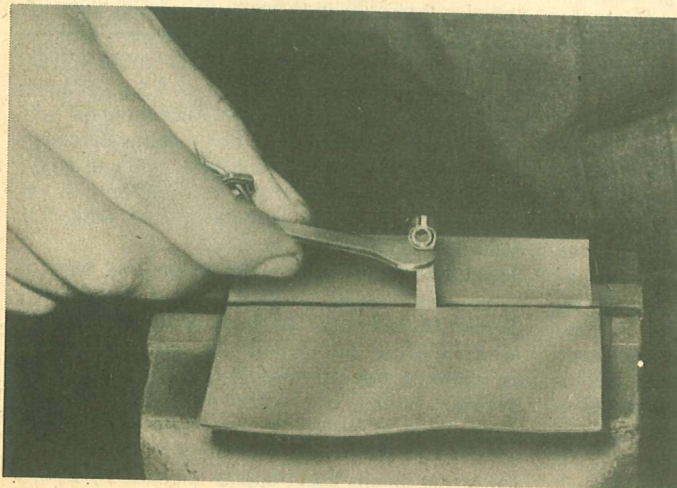


Bild 209
Beseitigen von Drall an Pleuel

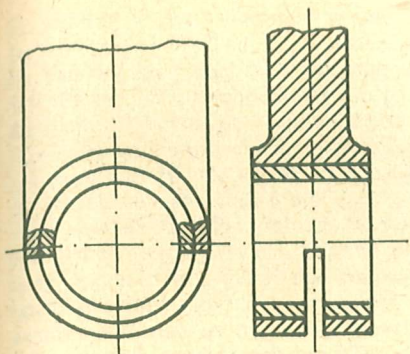


Bild 210 Anordnung des Schmierschlitzes im unteren Pleuelauge

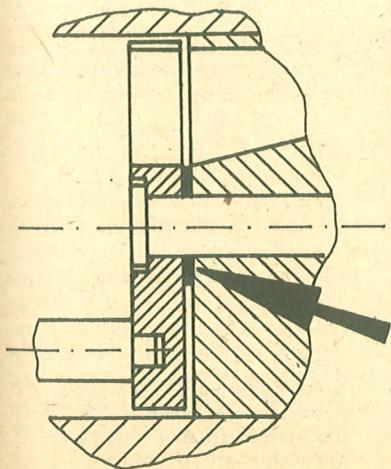
ben Propeller wird nach dem Tuning erneut gemessen, um die Leistungsänderung zu beurteilen).

Nach dem Einlauf wird der Motor demontiert und auf mechanische Verschleißstellen, Druckstellen, hart laufende Kugellager, zu stramm eingepaßte Lagerstellen und Freßstellen untersucht. Danach ist der Grund für die Verschleißerscheinungen zu ermitteln und zu beseitigen.

Die häufigsten Mängel sind:

– zu fest auf die Kurbelwelle aufgedrückte oder in das Gehäuse eingesetzte Kugellager. Dem ist durch Abziehen der Kurbelwelle mit einem Ölstein zu begegnen (die Kurbelwelle muß sich dabei langsam

Bild 211 Zur Verringerung der Reibung an Flachdrehschiebern ist es günstig, eine dünne Stahlscheibe unter den Drehschieber zu legen



drehen), bis das Lager mit Schiebeseit auf die Kurbelwelle paßt;

– zu rauh gehende Kugellager. Sie sind auszuwechseln;

– Druckstellen im Gehäuse zwischen den Kugellagersitzen. Diese Druckstellen (meist durch ungenaues Bohren der Lagersitze hervorgerufen) sind vorsichtig mit einem schmalen Dreikantschaber zu entfernen. Anschließend muß die Kurbelwelle sich leicht drehen, es darf an keiner Stelle ein Widerstand zu spüren sein.

Ein noch besserer Erfolg wird bei Motoren mit Kurbellendreheschieber erzielt, wenn gemäß Bild 207 die Oberfläche der gesamten Kurbelwelle bis auf die Flächen für die Kugellagersätze und die notwendige Abdichtung um 0,1–0,2 mm heruntergeschliffen wird. Durch diese Methode wird auch ein Großteil der Reibung abgebaut, die sich im Motorbetrieb durch die Verformung der Kurbelwelle ergibt.

– schräg laufende Kolben durch nicht ausgewinkelte Pleuel.

Zum Auswinkeln ist in das obere und untere Pleuelauge eine genau passende 50 mm bis 100 mm lange Welle zu stecken und dann mit dem Meßschieber der Verzug des Pleuels festzustellen (Bild 208). Anschließend wird dieser Verzug durch Richten des Pleuels beseitigt. Dabei ist durch Augenschein zu prüfen, ob das Pleuel verdreht ist. Dieser Drall ist zu beseitigen. Das Richten eines Pleuels geschieht am zweckmäßigsten, indem es an einem Ende quer zur Pleuelbohrung in einen Schraubstock mit Alubacken eingespannt wird. Dann steckt man in die freie Pleuelbohrung eine genau passende Welle und drückt vorsichtig mit ihr das Pleuel in die gewünschte Richtung. Das Entdrallen erfolgt, indem der Pleuelschaft unterhalb des freien Pleuelauges mit einem kleinen Gabelschlüssel gefaßt und in die gewünschte Richtung gedreht wird (Bild 209);

– zu stramm auf dem Kurbelzapfen oder auf dem Kolbenbolzen laufende Pleuelbuchsen. Die Pleuelbuchsen sind vorsichtig mit einer Reibahle aufzureiben. Da sich meist die Pleuelbuchse verdreht, ist dies zu prüfen und ggf. ein neues Schmierloch zu bohren oder die Buchse auszuwechseln. Besser ist das Einsägen eines Schmierschlitzes mit einer Laubsäge (natürlich quer zur Achse der Pleuelbohrung; Bild 210);

– der Drehschieber geht zu stramm. Bei Motoren mit Flachdrehschieber ist dessen Lagerung zu kontrollieren und das axiale Spiel so einzustellen, daß der Drehschieber auch bei warmem Motor noch leicht läuft. Bei größeren Motoren ist es vorteilhaft, zur Verringerung der Reibung des Drehschiebers auf der Achse zwischen Gehäuse und Drehschieber eine dünne Stahlscheibe (0,05 mm bis 0,1 mm dick)

beizulegen, so daß sich Gehäuse und Schieber nicht berühren, sondern nur der Ölfilm abdichtet (Bild 211).

Beim Zusammenbau sind alle Gleitlager im Motor mit Molybdändisulfid-Ölsuspension (Moti-Mol) zu schmieren. Noch besser ist es, die trockenen Lagerstellen mit Molybdändisulfid-Pulver (MoS_2) einzureiben. Dazu benutzt man ein Stück Wildleder. Durch diese Maßnahme wird die Reibung noch weiter herabgesetzt und eine gute Notlaufwirkung erreicht.

Diese erste Stufe des Frasierens reicht meistens schon aus, um einen Motor gut brauchbar zu machen. Wer noch schneller sein will, muß dann allerdings auch bedeutend mehr Arbeit investieren.

6.1.6. Verbesserung des Füllungsgrades

Unter Füllungsgrad versteht der Motorentechniker das Verhältnis von angesaugter Luft pro Arbeitstakt zur theoretisch möglichen Ansaugmenge. Da für den Ansaug- und Spülvorgang nur eine bestimmte Zeit, abhängig von der Drehzahl, und ein bestimmter Querschnitt, abhängig von der engsten Stelle im Ansaugtrakt, zur Verfügung steht, kann durch Veränderung dieser beiden Daten der Füllungsgrad beeinflusst werden. Eine nicht zu unterschätzende Rolle spielt dabei noch der Strömungswiderstand und, wie wir im folgenden Abschnitt sehen werden, die Gasschwingungen im Ansaugtrakt.

Da eine Verringerung der Motordrehzahl zur Verbesserung des Füllungsgrades auf Grund des Stre-

bens nach höherer Drehzahl und damit höherer Leistung nicht akzeptabel ist, bleibt nur noch die maximale Auslegung der Ansaugquerschnitte und die Verringerung des Strömungswiderstandes zur Verbesserung des Füllungsgrades übrig. Da die angesaugten Kraftstoff-Luftgemisch-Mengen auch vom Kurbelgehäuse zum Brennraum transportiert werden müssen, sind die Strömungsquerschnitte der Überströmkanäle ebenfalls mit zu betrachten.

Eine genaue Analyse des jeweiligen Motors wird fast immer zeigen, daß der Vergaser den geringsten Querschnitt im Ansaugtrakt hat und das starke Querschnittsverringern zu den Überströmkanälen in der UT-Lage des Kolbens auftreten. Des weiteren muß die Analyse des Motors auch die Messung der Steuerwinkel am Einlaß beinhalten. Einen relativ großen Leistungszuwachs bringt die Optimierung der Einlaß-Steuerzeiten gemäß Abschnitt 3.5., wobei je nach Verwendungszweck eine Auslegung zu erfolgen hat. Der Leistungszuwachs durch rigorose Vergrößerung des Vergaserquerschnitts ist ebenfalls deutlich spürbar. Um diese Maßnahme zu ermöglichen, muß der Kraftstoff, da auf Grund der geringen Luftgeschwindigkeiten im Vergaser kaum Unterdruck zum Ansaugen des Kraftstoffs zur Verfügung steht, mit Druck dem Motor zugeführt werden. Dazu kann der Überdruck im Schalldämpfer, der Überdruck im Resonanzauspuff, der Überdruck im Kurbelgehäuse oder verschiedene Sorten von Kraftstoffpumpen bzw. Druckregler benutzt werden. Näheres dazu wird im Abschnitt 10. behandelt.

Die Motoren ohne Drosselvergaser können durch Auswechseln des Vergasereinsatzes gegen einen

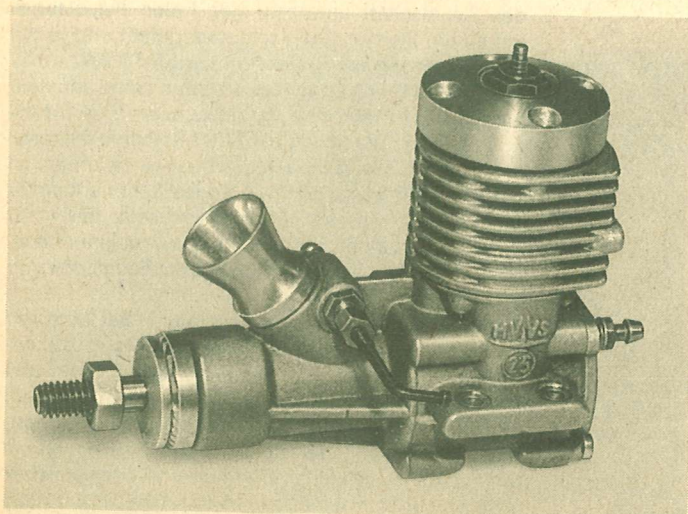


Bild 212
MVVS 2,5 GF mit extrem großem
Ansaugquerschnitt und
Drucktankanschluß für höchste
Motorleistung

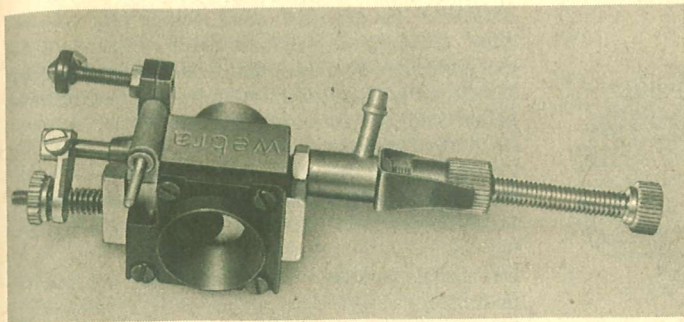


Bild 213

Der Webra-Flachschiebervergaser mit seinem sehr großen Ansaugquerschnitt wurde speziell für den Rennbetrieb großer Modellmotoren entwickelt. Zum besseren Gasannehmen besitzt er eine Beschleunigerpumpe.

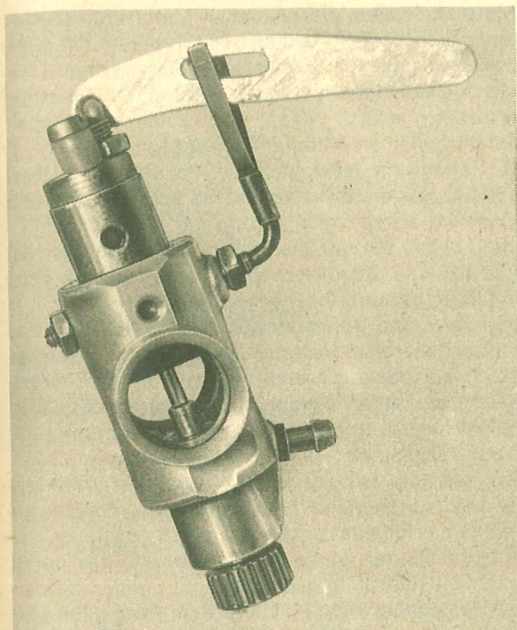


Bild 214 Funktionsmuster eines vom Verfasser entwickelten Rundschieber-Drosselvergasers mit 12 mm Luftdurchlaß und separatem Leerlaufsystem für höchste Motorleistung

mit großem Durchlaßquerschnitt oder durch Ausbohren des vorhandenen bzw. im Extremfall durch Weglassen des Vergasereinsatzes sehr schnell entsprechend umgerüstet werden. Bild 212 zeigt einen MVVS 2,5 GF mit maximalem Ansaugquerschnitt und deutlich sichtbar einen Anschlußstutzen zur Druckabnahme aus dem Kurbelgehäuse. Der im Bild 213 gezeigte Flachschieber-Drosselvergaser wurde speziell für den Rennbetrieb von 6,5 bis 10 cm³-Glühzünder-Motoren entwickelt. Er besitzt zur Verbesserung des Beschleunigungsverhaltens

eine Beschleunigerpumpe, d. h. beim Öffnen des Vergasers wird zusätzlich eine bestimmte Kraftstoffmenge in den Vergaser eingespritzt. Ohne Druckzuführung von Kraftstoff kann dieser Vergaser nicht betrieben werden.

Das im Bild 214 gezeigte Funktionsmuster eines Rundschieber-Drosselvergasers wurde vom Verfasser speziell für die FSR-Rennboote entwickelt. Es hat bei Vollgasstellung einen Vergaserdurchlaß von 12 mm \varnothing , die Kraftstoffregulierung erfolgt wie beim Motorradvergaser mittels Düsenadel; für die Leerlaufstellung besitzt er ein gesondertes Leerlaufsystem.

Diese Drosselvergaser mit großem Querschnitt ermöglichen bei Rennmotoren, die auch drosselbar sein müssen, einen erheblichen Leistungsanstieg.

6.1.7. Verringerung der Strömungsverluste

Die Verbesserung des Füllungsgrades durch Herabsetzung des Strömungswiderstandes im Ansaugtrakt und in den Überströmkanälen durch Polieren und Vergrößern der Querschnitte ist die Methode, die sich seit Jahrzehnten als das „Frisieren“ von Modellmotoren hartnäckig in den Köpfen vieler Modellsportler festgesetzt hat. Verglichen am Erfolg der bisher beschriebenen Tuningmethoden ist jedoch das Ergebnis dieser Arbeiten recht bescheiden.

Sie sollten jedoch bei allen für Rennzwecke vorbereiteten Motoren ausgeführt werden, da durch das Angleichen, Abarbeiten und Polieren der Motorenteile, bei fachgerechter Ausführung, die Kerbwirkung an den Bauteilen herabgesetzt und so die Lebensdauer heraufgesetzt wird. Das Einarbeiten von Fenstern in die Kolbenhemden verringern außerdem die Kolbenmasse, wodurch der Auswuchtungsgrad des Motors positiv beeinflußt wird.

Um die Stellen zu finden, an denen der Motor strömungstechnisch verbessert werden kann, sind die

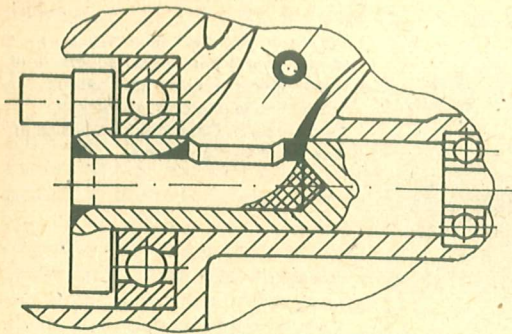


Bild 215 Veränderungen an den Übergängen zwischen Vergaser, Gehäuse, Kurbelwelle. Die abzuarbeitenden Zonen sind schwarz gekennzeichnet, aufzufüllende Zonen sind kreuzschraffiert.

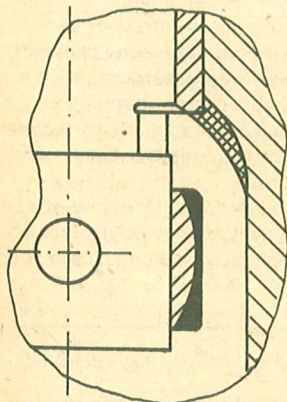
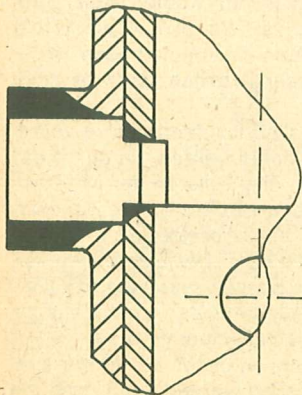


Bild 216 Angleichen der Übergänge zwischen Gehäuse und Laubbuchse

Bild 217 Veränderung im Auslaßbereich (nur für Motoren ohne Auslaßanlage)



einzelnen Baugruppen genauestens zu untersuchen. Meist handelt es sich dabei um Stellen, die mit dem normalen Aufwand und den technischen Mitteln einer Großserienfertigung nicht so zu bearbeiten sind, wie es wünschenswert wäre.

Da sind zu nennen:

- Übergang vom Vergaser zum Gehäuse,
- Übergang vom Gehäuse zur Kurbelwelle (Bild 215),
- Steuerdurchbruch in der Kurbelwelle (siehe Bild 191),
- Übergang zwischen Gehäuse und Laubbuchse (Bild 216),
- Übergang zwischen Laubbuchse und Auslaßkanal (Bild 217).

Meist ist an allen diesen Stellen Material abzuarbeiten. Das erfolgt am besten bei Aluminium mit einer Formfeile oder mit Kugelfräsern, die von einer Dentschleifspindel angetrieben werden. Die Feinstbearbeitung erfolgt dann mit einem Stückchen Schmirgelleinen mittlerer Körnung.

Die Erfahrung lehrt, daß ein Polieren der Überströmkanäle nicht sinnvoll ist, da sich die dabei entstehende starke Verringerung der inneren Kühlfläche negativ auf das thermische Verhalten des Motors auswirkt. Ein Glätten mit einer feinen Feile oder mit Schmirgelleinen ist sinnvoller.

Bei Stahl sind Schleifkörper erforderlich, um das meist gehärtete Material abzuarbeiten. Weicher Stahl kann natürlich auch mit Feile und Schmirgelleinen bearbeitet werden. Das Polieren der Stahlteile erfolgt dann mit Dentalgummipolierer mit Hilfe der Schleifspindel.

Zeigt es sich, daß es sinnvoll ist, an einer Stelle Material aufzutragen, um eine bessere Strömung zu erreichen, erfolgt das am besten durch Ausgießen der entsprechenden Stelle mit Epoxidharz, das durch reichlich Füllstoff angedickt ist, oder mit modifizierten Epoxidharz wie EP 11. Vor dem Ausgießen sind diese Stellen gut aufzurauen, um ein bessereshaften des Harzes zu erzielen.

6.1.8. Gasdynamische Abstimmung der Ansaugseite

Die hohe Schule der Verbesserung von Verbrennungsmotoren ist die gasdynamische Abstimmung. Sie ergibt den höchsten Leistungszuwachs aller Tuningmaßnahmen. Bei der gasdynamischen Abstimmung wird die Energie der Druckstöße, die beim Öffnen oder Schließen der Steuerschlitze entstehen, zur Erhöhung des Füllungsgrades und damit der Motorleistung genutzt.

Bei der Abstimmung der Ansaugseite wird die Gas säule vor dem Steuerorgan (Drehschieber, Membran oder Kolben) durch konstruktive Gestaltung des Ansaugtrakts so beeinflusst, daß sie im gleichen Rhythmus schwingt, wie sich das Steuerorgan öffnet und schließt. Daraus geht hervor, daß die jeweilige Maßnahme nur für eine bestimmte Drehzahl optimal funktioniert. Der Leistungszuwachs kann ca. 15 % betragen. Um die Abstimmung der Ansaugseite mathematisch erfassen zu können, wird das System Ansaugkanal-Kurbelgehäuse wie das akustische System einer Orgelpfeife betrachtet und nach folgenden Formeln in 1. Näherung berechnet:

Formel 1:

Eigenfrequenz bei optimaler Saugrohrlänge

$$f = \frac{9n}{2\alpha_i}$$

$$f = \text{Eigenfrequenz} \left(\frac{1}{s} \right)$$

α_i = Ansaugkanal - Öffnungsdauer in Grad Kurbelwinkel

n = Motordrehzahl (1/min)

Formel 2:

Akustische Frequenz des Systems

$$f = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{A_i}{L_i \cdot V_m}}$$

v = Schallgeschwindigkeit (cm/s)

A_i = Ansaugquerschnitt (cm²)

L_i = wirksame Länge (cm)

V_m = Kurbelgehäusevolumen im Ansaugtakt (Mittelwert) (cm³)

Formel 1 in Formel 2 eingesetzt und nach L_i aufgelöst:

$$\frac{9n}{2\alpha_i} = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{A_i}{L_i \cdot V_m}}$$

$$\sqrt{\frac{A_i}{L_i \cdot V_m}} = \frac{9n \cdot 2\pi}{2\alpha_i v} = \frac{9\pi \cdot n}{\alpha_i \cdot v}$$

$$\frac{A_i}{L_i \cdot V_m} = \left(\frac{9\pi n}{\alpha_i \cdot v} \right)^2$$

$$\frac{1}{L_i} = (9\pi)^2 \cdot \left(\frac{n}{\alpha_i \cdot v} \right)^2 \cdot \frac{V_m}{A_i}$$

$$L_i = \left(\frac{\alpha_i \cdot v}{n} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{9\pi} \right)^2 \cdot \frac{A_i}{V_m}$$

$$L_i = \frac{1}{800} \left(\frac{v \alpha_i}{n} \right)^2 \cdot \frac{A_i}{V_m}$$

$$(9 \cdot \pi)^2 \approx 800$$

Bild 218 zeigt schematisch das Schwingungssystem am Ansaugtrakt, mit deren Hilfe die Konstruktion vorgenommen werden kann.

Folgende Erfahrungswerte und Annahmen sollten bei der Konstruktion berücksichtigt werden:

v - ist nach der Näherungsformel zu errechnen

$$v = (331,3 + 0,6 \cdot t) 100 \text{ (cm/s)}$$

(t in Grad Celsius)

- Der engste Ansaugquerschnitt im Vergaser soll größer als 40 % des Rohrquerschnitts (A_i) sein.

- Exakt trifft die Formel nur für Flachdrehschieber-Einlaßsteuerung zu, wobei L_i bis zum Flachdrehschieber zählt.

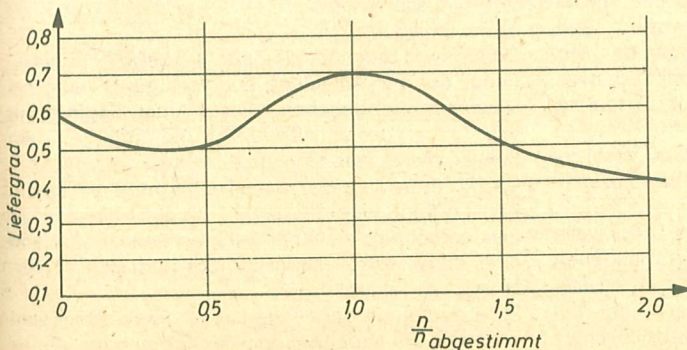
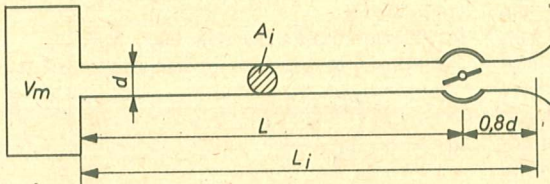


Bild 218 Schwingungssystem im Ansaugtrakt zur Berechnung der optimalen Ansaugrohrlänge (nach Prof. Demuth)

- Bei Kurbelwellendrehtrieber zählt ein Drittel der Bohrung des Drehschiebers zur Länge des Ansaugkanals und der Rest zum Kurbelvolumen.
- d ist aus dem Ansaugquerschnitt A_1 zu errechnen.

$$d = \sqrt{\frac{4 A_1}{\pi}}$$

- Ermittlung des mittleren Kurbelgehäusevolumens V_m .

Das Kurbelgehäusevolumen wird bei Kolben im OT durch auslitern ermittelt. Von dem ermittelten Wert wird das halbe Motorhubvolumen abgezogen.

Rechenbeispiel 2,5 cm³ Rennmotor:

$$n = 28\,000 \text{ 1/min}$$

$$\alpha_i = 190^\circ \text{ KW}$$

$$A_1 = 0,63 \text{ cm}^2 \text{ (9 mm } \varnothing)$$

$$v = 34\,600 \text{ cm/sec (bei } 24^\circ \text{C)}$$

$$V_m = 7 \text{ cm}^3$$

$$L_i = \frac{1}{800} \left(\frac{34\,600 \cdot 190}{28\,000} \right)^2 \cdot \frac{0,63}{7} = 6,2 \text{ cm}$$

Um einen maximalen Leistungsanstieg bei unterschiedlichen Lufttemperaturen und Drehzahlen erzielen zu können, wäre es zweckmäßig, das Ansaugrohr mit einem Schiebestück zu versehen, mit dessen Hilfe der optimale Punkt am laufenden Motor durch Verschieben ermittelt werden kann.

6.1.9. Gasdynamische Abstimmung der Abgasseite

Auf der Abgasseite wird im abgestimmten Auspuffsystem, Auspufftüte genannt, die Druckwelle, die beim Öffnen des Auslaßschlitzes entsteht, zum Aufladen des Motors genutzt. Dieser Vorgang erfolgt folgendermaßen: Beim Öffnen des Auslaßschlitzes verläßt eine Druckwelle den Motor und läuft durch das Auspuffsystem, gleichzeitig strömt das Auspuffgas in den Auspuff. Am hinteren Teil des Auspuffs, dem Reflexionskegel, wird die Druckwelle wieder in Richtung Auslaßschlitz zurückgeworfen. Zwischenzeitlich hat das gesamte Auspuffgas den Motor verlassen und ein recht großer Anteil der unverbrannten Frischgase sind ebenfalls ins Auspuffsystem gelangt. Diese Frischgase sind bei Motoren ohne abgestimmtes Auspuffsystem für die Verbrennung verloren und werden als Spülverluste bezeichnet.

Die in der Auspufftüte zurücklaufende Druckwelle schiebt die im vorderen Auspuffteil vorhandenen Gase bei ihrem Rücklauf wieder in Richtung Auslaßschlitz und somit die Frischgase wieder in den Zylinder zurück, bevor der Kolben den Auslaßschlitz

schließt. Auf diese Weise werden die Spülverluste verhindert und sogar im gewissen Maße eine Überfüllung (Aufladung) des Zylinders erreicht, wodurch eine Leistungssteigerung bis zu 45 % erzielt wird. Da der eben geschilderte Vorgang in allen Phasen synchron ablaufen muß, um den gewünschten Erfolg zu erzielen, müssen folgende physikalische und konstruktive Werte im richtigen Verhältnis zueinander stehen:

- Drehzahl des Motors n (in 1/min) oder als f (in 1/s)
- Abgastemperatur und damit Geschwindigkeit der Schallwelle v (in m/s)
- Konstante für den Anteil des Auslaßwinkels, der für den Vorgang zur Verfügung steht. K (dimensionslos)
- Länge des Auspuffsystems L (in m)
- Konstruktive Werte, die mit der Motorgröße zusammenhängen und meist auf Grund von Erfahrungswerten ermittelt werden.

Nachrechnungen ausgeführter Auspuffsysteme und Temperaturmessungen im Abgas haben folgende Werte für die Schallgeschwindigkeit im Auspuff ergeben:

$$v = 400 \text{ m/s}$$

für Motoren mit geringer Literleistung und Drehzahlen von 12 ... 15 000 1/min

$$v = 500\text{--}560 \text{ m/s}$$

für Rennmotoren mit sehr hoher Literleistung, hoher Verdichtung und Drehzahlen von über 20 000 1/min

$$v = 550\text{--}600 \text{ m/s}$$

für Rennmotoren, die mit einem hohen Nitromethananteil bei Drehzahlen über 20 000 1/min betrieben werden.

$$v = 550 \text{ m/s}$$

für Benzinmotoren bis etwa 8000 1/min.

Die Konstante K errechnet sich nach der Formel:

$$K = \frac{\alpha_A - \left(\frac{\alpha_A - \alpha_E}{2} \right)}{360}$$

α_A = Auslaß in ° KW

α_E = Einlaß in ° KW

Dabei wird der Anteil einer Kurbelwellenumdrehung, der zur Aufladung zur Verfügung steht, als Dezimalzahl angegeben. Dieser Anteil beginnt mit dem Öffnen des Einlaßschlitzes und endet mit dem Schließen des Auslaßschlitzes.

Da die Reflektion der Schallwelle meist an einem Kegel erfolgt, wird die Länge L bis zur Mitte des Kegels gerechnet; bei einer geraden Reflektionswand oder anderen Reflektionskörpern wird analog vorgefahren.

Zur Errechnung der Länge L wird davon ausgegangen, daß die Druckwelle im ausströmenden Abgas

während einer Kurbelwellenumdrehung vom Auslaßöffnen bis Überstromschließen das Auspuffsystem in beiden Richtungen passiert, d. h. die Länge des Auspuffsystems bis zum Reflektor muß genau die Hälfte der Wellenlänge der Auslaßschallwelle betragen.

$$L = \frac{\lambda_A}{2}$$

L in m;

λ_A = Wellenlänge der Auslaßschallwelle in m

$$\lambda_A = \frac{v}{f}$$

v = Schallgeschwindigkeit im Abgas in m/s

f = Schallfrequenz in 1/s = Motordrehzahl in 1/s)

Eingesetzt ergibt sich unter Berücksichtigung der Konstante K die Gleichung:

$$L = \frac{v \cdot K}{2 f} \text{ setzen wir K ein, ergibt sich}$$

$$L = \frac{v}{2 f} \cdot \frac{\alpha_A - \left(\frac{\alpha_A - \alpha_E}{2}\right)}{360}$$

setzen wir für die Frequenz die Drehzahl ein, ergibt sich

$$L = \frac{60 \cdot v}{2 n} \cdot \frac{\alpha_A - \left(\frac{\alpha_A - \alpha_E}{2}\right)}{360}$$

geordnet und teilweise ausgerechnet lautet die Gleichung zur Längenberechnung eines Auspuffsystems

$$L = 0,0833 \cdot v \cdot \frac{\alpha_A - \left(\frac{\alpha_A - \alpha_E}{2}\right)}{n}$$

Da die Länge L in mm ausgedrückt besser übersehen werden kann, lautet unsere endgültige Gleichung:

$$L = \frac{83,3 \cdot v}{n} \cdot \left[\alpha_A - \frac{(\alpha_A - \alpha_E)}{2} \right] \text{ [mm]}$$

Neben der Länge des Auspuffsystems, die wie aus der Gleichung hervorgeht, im wesentlichen nur drehzahlabhängig ist, spielt für die Bemessung eines Auspuffsystems die Motorgröße und damit die benötigten Durchmesser eine Rolle (Bild 219). Zur Berechnung dieser Durchmesser ermittelten wir die projizierte Fläche der oder des Auslaßschlitzes durch Ausmessen mit dem Meßschieber und nach der bekannten Formel

$$A = a \cdot b \text{ (mm}^2\text{)}$$

Mit Hilfe dieser Fläche können jetzt nach folgenden Formeln die erforderlichen Durchmesser ermittelt werden:

$$d = \sqrt{2,04 \cdot A} \text{ [mm]}$$

$$d' = \sqrt{0,7 \cdot A} \text{ [mm]}$$

$$D = \sqrt{7,64 \cdot A} \text{ [mm]}$$

Ein einwandfreies Arbeiten des Auspuffsystems ist nur gewährleistet, wenn Motorhubraum und Volumen des gesamten Auspuffsystems das richtige Verhältnis zueinander haben.

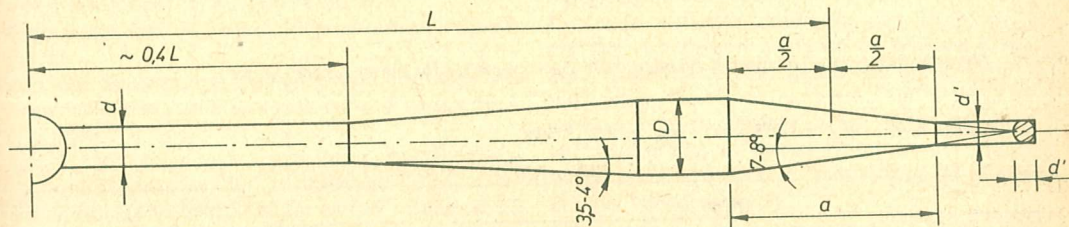
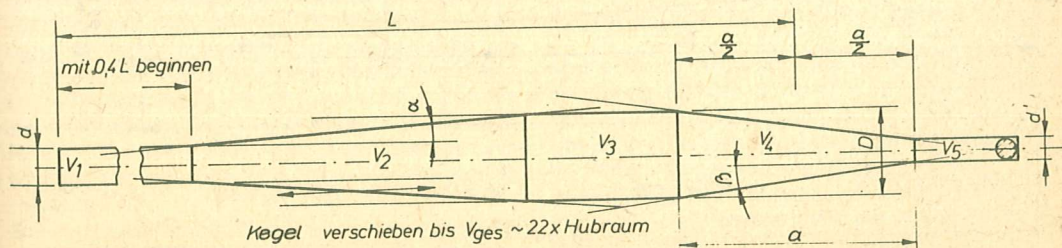


Bild 219 Allgemeine Maße einer abgestimmten Auspuffanlage

Bild 220 Entwurfsskizze für eine abgestimmte Auspuffanlage



Als günstigster Wert hat sich $V_{\text{Auspuffsystem}} = 22 \times \text{Motorhubraum}$ bewährt.

Er sollte mit einer Differenz von $\pm 10\%$ eingehalten werden.

Mit Hilfe der errechneten Werte kann jetzt unser Auspuffsystem entworfen werden. Man beginnt mit dem hinteren Kegel und dem Auslaßendrohr, wobei der angegebene Winkel eingehalten werden muß. Dann werden die errechneten Durchmesser D und d' und die Länge L eingezeichnet und der vordere Kegel eingetragen. Der vordere Kegel sollte beim ersten Entwurf etwa bei 40% der Gesamtlänge beginnen (siehe Bild 220). Danach erfolgt die Kontrollrechnung zur Ermittlung des Auspuffsystemvolumens nach den bekannten Formeln

$$V = \frac{d^2 \pi}{4} \cdot L$$

für Zylinder

$$V = \frac{\pi}{3} h (R^2 + Rr + r^2)$$

für Kegelstumpf.

Durch Addition der Einzelvolumen wird das Gesamtvolumen ermittelt. Liegt das errechnete Gesamtvolumen innerhalb der vorgegebenen Werte; so ist der Entwurf fertig; anderenfalls ist der vordere Kegel entsprechend zu verschieben, bis das Gesamtvolumen innerhalb des Vorgabewertes liegt (Richtung Motor = größeres Volumen, Richtung Auslaß = kleineres Volumen).

Da dabei die Volumina der Kegel und des Auslaßrohres V_2, V_4, V_5 nicht verändert werden, ist nur das

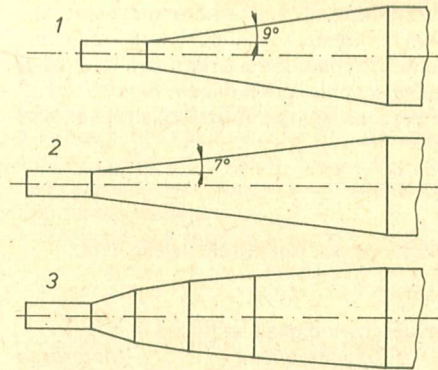
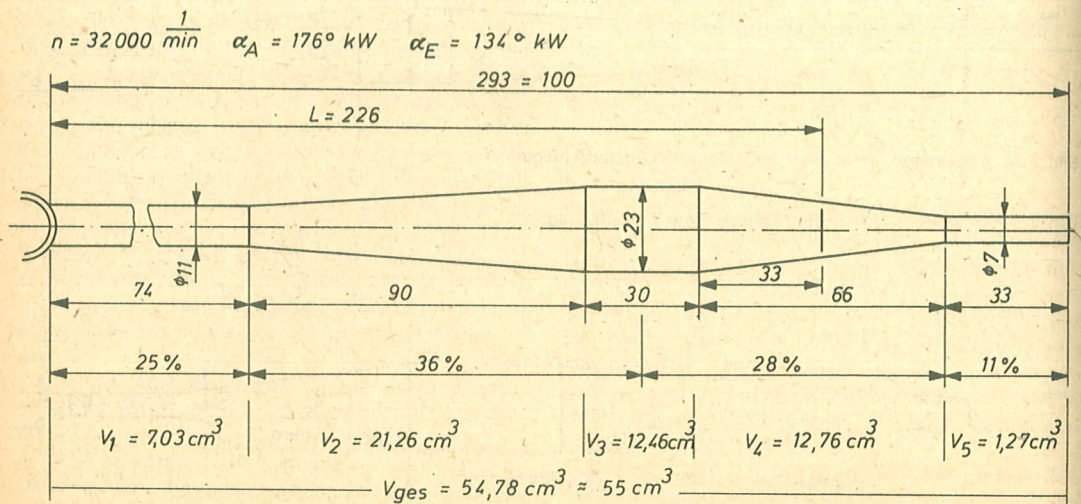


Bild 221 Unterschiedliche Reflektionskegel für eine abgestimmte Auspuffanlage und die durch sie erreichten Drehzahlunterschiede an einem 10 cm^3 -Motor
 1 – Ausgangswert $11\,600 \text{ 1/min}$; 2 – $+110 \text{ 1/min} = +2,6\%$ Motorleistung; 3 – $+200 \text{ 1/min} = +6,6\%$ Motorleistung

Volumen V_1 und V_3 neu zu errechnen. Eine große Rolle bei der Leistungsentfaltung spielt außerdem die Form des Reflektionskegels. So ergaben Messungen des Verfassers mit verschiedenem Reflektionskegel die im Bild 221 gezeigten Ergebnisse. Eindeutig ergibt der hyperbolisch gekrümmte Reflektionskegel die höchste Leistung. Dieses Ergebnis deckt sich auch mit der Erfahrung der Leistungssportler der Rennklassen. Eine weitere Verbesserung ergibt sich durch Einfügen des in den Bil-

Bild 222 Abgestimmte Auspuffanlage mit zylindrischem Zwischenstück für einen $2,5 \text{ cm}^3$ -Motor



dern 219 und 220 dargestellten zylindrischen Zwischenstückes in den Bereich des großen Durchmessers. Diese Auspuffsysteme ergeben bei minimalem Platzbedarf eine hohe Leistungsausbeute bei größter Bandbreite, d. h. die hohe Leistungsausbeute tritt in einem relativ großen Drehzahlbereich auf. Die vorstehende Berechnungsmethode bezieht sich auf diese Entwicklung. Im Bild 222 sind die Konstruktionsmaßnahmen eines solchen Auspuffsystems für einen 2,5 cm³ Motor aufgezeigt.

Um überhaupt eine gasdynamische Aufladung an einem Modellmotor ermöglichen zu können, ist es erforderlich, daß die Steuerwinkel des Auslaßschlitzes an die Erfordernisse der gasdynamischen Aufladung angepaßt werden, d. h. der Wert der Konstante K muß durch Vergrößerung des Öffnungswinkels α_A auf ca. 160–175° KW auf einen Wert von etwa 0,30 bis 0,43 gebracht werden. Ein Schiebeteil im vorderen zylindrischen Bereich des Auspuffsystems ermöglicht es, Ungenauigkeiten, die bei der Annahme der Schallgeschwindigkeit oder der Berechnung aufgetreten sind, am laufenden Motor auszugleichen.

6.1.10. Anfertigung von Auspufftüten

Welche Motoren kommen für den Anbau einer Auspufftüte in Betracht? Ausgeschlossen sind alle Selbstzündermotoren, da die vorhandenen Erfahrungswerte nicht für sie zutreffen.

Bedingung sind Motoren mit nur einem Auslaßschlitz.

Von der Spülung her geeignet sind Motoren mit Dreikanalumkehrspülung sowie deren Abarten mit 4 und mehr Kanälen.

Solche Motoren sind z. B. der Rossi, der Moki, die Webra-Speed-Serie, der australische Taipan, der Super Tigre X 15 (Bild 223), der MVVS – Modela 2,5 und der Rossi 15 (Bild 224). Motoren mit seitlichem Auspuff, wie die meisten RC-Motoren, benötigen einen seitlich angebauten Krümmer.

Was ist an Motoren zu verändern, um sie für den Einsatz mit der Auspufftüte herzurichten, wenn sie von Haus aus nicht dafür vorgesehen sind?

Der erste Schritt ist das Ermitteln, Neufestlegen und Verändern der Steuerzeiten von Überströmkanälen und Auslaßschlitz, wie es in voranstehenden Abschnitten 6.1.1. und 6.1.9. bereits beschrieben wurde. Danach wird die Tüte gemäß Abschnitt 6.1.9. berechnet und wie in Bild 220 gezeigt, entworfen.

Soll die entworfene Auspufftüte angefertigt werden, muß nach den Berechnungen, durch die die erforderlichen Innenmaße gegeben sind, die Herstellungstechnologie festgelegt werden, da sich danach die Konstruktion richtet.

Die Technologie hängt naturgemäß von den Fähigkeiten und Möglichkeiten des einzelnen Modellsportlers und auch vom Einsatzzweck ab.

Für längere Motorenlaufzeiten ist es sinnvoll einen Auspuff anzufertigen, der den auftretenden Temperaturen für längere Zeit standhält. Wer das Aluminiumschweißen beherrscht, kann sich den Auspuff aus 0,3 mm bis 1,0 mm dickem Aluminiumblech herstellen. Man fertigt eine Abwicklung an und verschweißt sie. Es gehört aber große Erfahrung dazu, Bleche mit solchen geringen Dicken sauber zu verschweißen.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die einzelnen Segmente aus 0,2 mm dickem Stahlblech zu rollen und mit einer Falz zu verschließen. Beide Kegel und die Rohrstücke werden durch Schweißen oder Hartlöten (Silberlot) verbunden.

Die sauberste und eleganteste Technologie bei der Verwendung von Stahlblech ist das Punktschweißen. Dabei ist es aber unumgänglich, spezielle Schweißelektroden zu verwenden. Wichtig ist hierbei ferner, daß sich die Schweißpunkte überdecken, um die Dichtheit zu erzielen (Bild 225).

Bei der Verwendung von Stahlblech für die Auspufftüte ist es am zweckmäßigsten, diese von einer Spezialfirma schwarz emaillieren zu lassen, um ein einigermaßen ausgeglichenes Temperaturniveau in der Auspufftüte zu erreichen. Lackieren mit schwarzem Einbrennlack oder Silikonlack ist ebenfalls ein brauchbares Verfahren.

Die zweckmäßigste Lösung für den Bau einer Auspufftüte für 2,5 cm³ Motoren ist ein aus Elektron oder Duralvollmaterial gedrehtes dreiteiliges Auspuffsystem. Bei der Verwendung von Elektron wird sie zudem noch konkurrenzlos leicht. Es sind Gewichte um 23 g zu erreichen (eine vom Verfasser hergestellte „Tüte“ aus Dural wiegt 32 g bei ca. 0,3 mm Wandstärke).

Notwendig für die Herstellung solch eines gedrehten Auspuffsystems sind eine Portion Mut (selbst bei guten Fertigkeiten im Drehen), eine gut laufende Mechanikerdrehtmaschine, ein extrem langer Bohrstahl sowie entsprechende Feingewindewerkzeuge. Den Aufbau eines solchen Auspuffsystems für einen 2,5-cm³-Motor zeigt Bild 226. Für die Anfertigung sind etwa 10 Arbeitsstunden erforderlich, da die Flatterneigung des Bohrstahls nur die Abnahme sehr kleiner Späne erlaubt.

Um später bei den Flugversuchen die Auspufftüte der Motortemperatur anpassen zu können, ist es zweckmäßig, Teil 1 auswechselbar zu gestalten und mehrere Teile 1 anzufertigen, die sich in der Länge jeweils um einige Millimeter unterscheiden (heißer

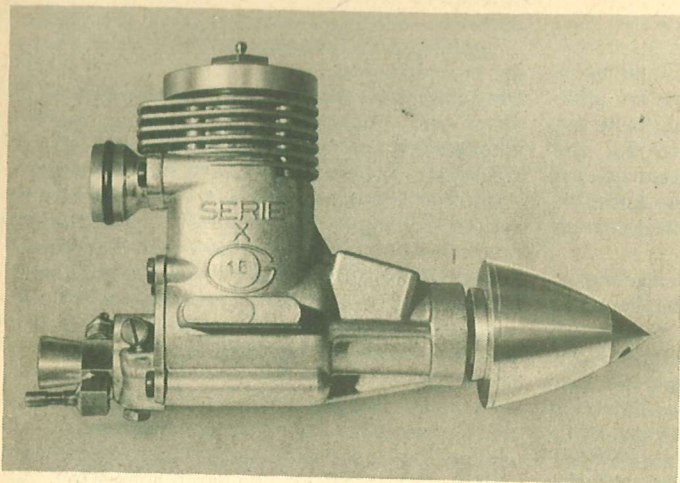


Bild 223
Super Tigre X 15; eine Besonderheit
sind seine Steckkerzen

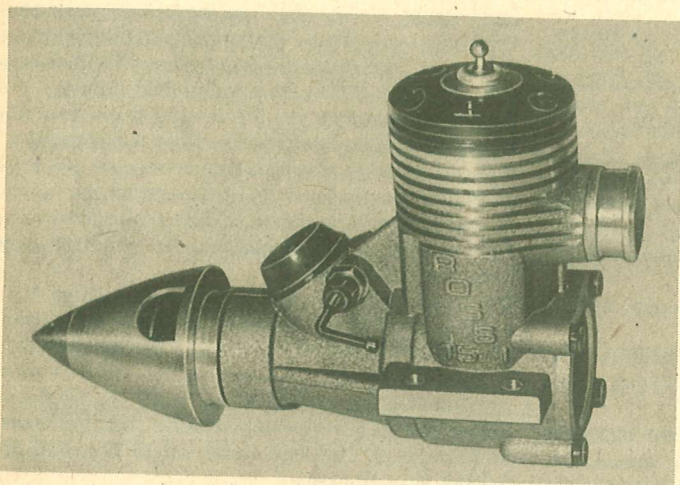
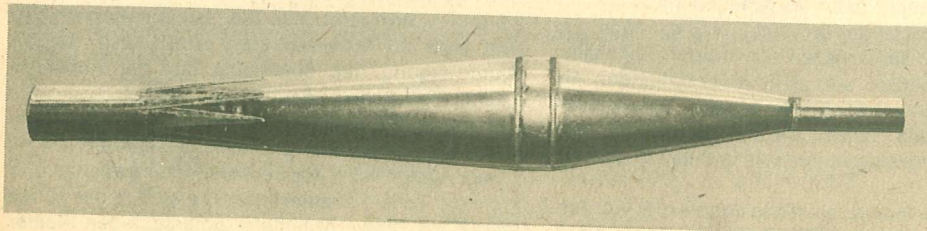


Bild 224
Rossi 15 NO Baujahr 1982. Die
Bezeichnung NO sagt aus, daß dieser
Motor nicht für den Betrieb mit
Resonanzauspuff ausgelegt ist. Soll er
mit Tüte betrieben werden, ist sein
Anlaßkanal entsprechend zu erweitern.

Bild 225 Auspufftüte für einen 10 cm³ Rennmotor aus 0,15 mm Stahlblech, punktgeschweißt



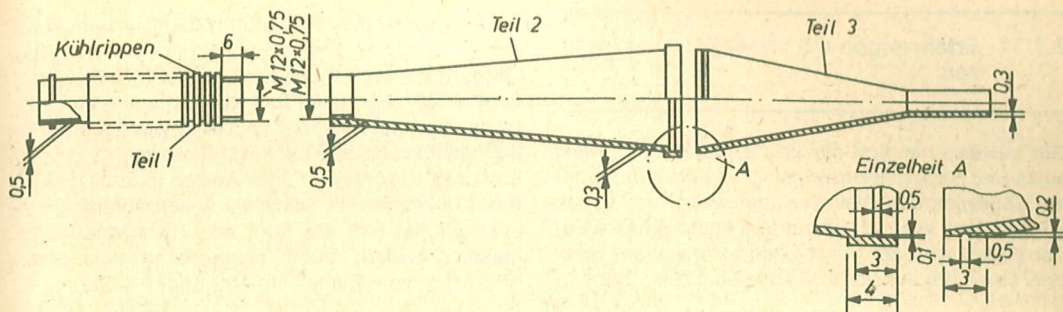


Bild 226 Konstruktionszeichnung einer ausgeführten Tüte. Teil 1 wird in mehreren Längen angefertigt, um eine Abstimmung der Anlage zu ermöglichen. Eine Schiebeseite erreicht den gleichen Zweck.

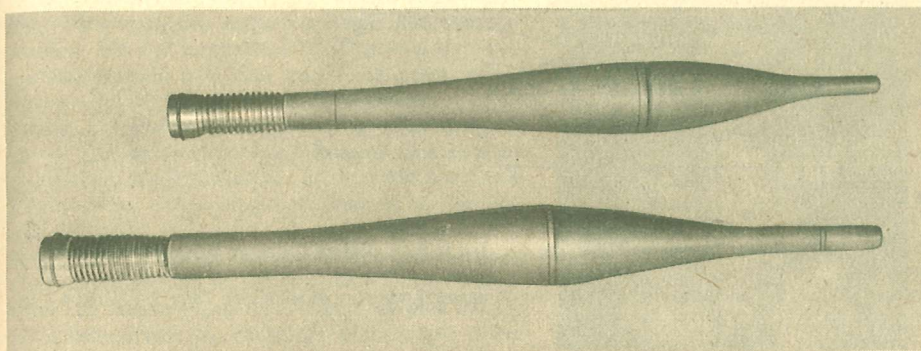


Bild 228 Birnenförmige Auspuffanlagen für 2,5 cm³ Rennmotoren, wie sie z. Z. verwendet werden

Motor – kurzes Rohr, kalter Motor – längeres Rohr):

Die Kühlrippen auf Teil 1 dienen wie die empfehlenswerte schwarze Lackierung mit Silikonlack zum besseren Ausgleich des Temperaturniveaus im Rohr.

Es ist ein Erfahrungswert, daß sich die Temperatur und damit die Geschwindigkeit der Verbrennungsgase stark auf die Motorleistung auswirken.

Auspufftüten für Rennmotoren mit 2,5 cm³ Hubraum sind meist ohne zylindrisches Zwischenstück ausgeführt.

Die höchste Motorleistung wird im Rennbetrieb z. Z. mit birnenförmigen Auspufftüten erzielt, die durch Metalldrücken hergestellt werden (Bild 228).

6.1.11. Erfahrungen mit abgestimmten Motoren

Gut bewährt hat sich die Verwendung von Drucktanks und Saugrohreinjektion in Verbindung mit der abgestimmten Auslaßanlage, wobei der Druck für den Tank aus der Auspufftüte entnommen wird. Der Druck wird am günstigsten kurz vor der dicksten Stelle der Auspufftüte abgeleitet (Bild 229 und

230). Es ergibt sich dadurch ein Regelsystem, durch das bei höherer Drehzahl (höherer Druck in der Auspufftüte) auch mehr Kraftstoff zugeführt wird. Eine weitere geregelte Drucktankanlage ergibt sich, wenn der Staudruck, der bei Geschwindigkeiten um 240 km/h schon erheblich ist, benutzt wird, um den Kraftstoff zu fördern. Diese Anlage (Bild 231) regelt den Kraftstoffdruck geschwindigkeitsabhängig. Als Staurohr hat sich ein Rohr mit 3 mm Innendurchmesser bewährt, das in Flugrichtung etwa 10 mm bis 20 mm vom Rumpf entfernt enden sollte.

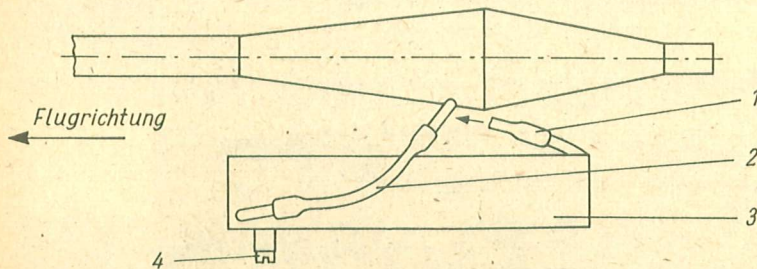
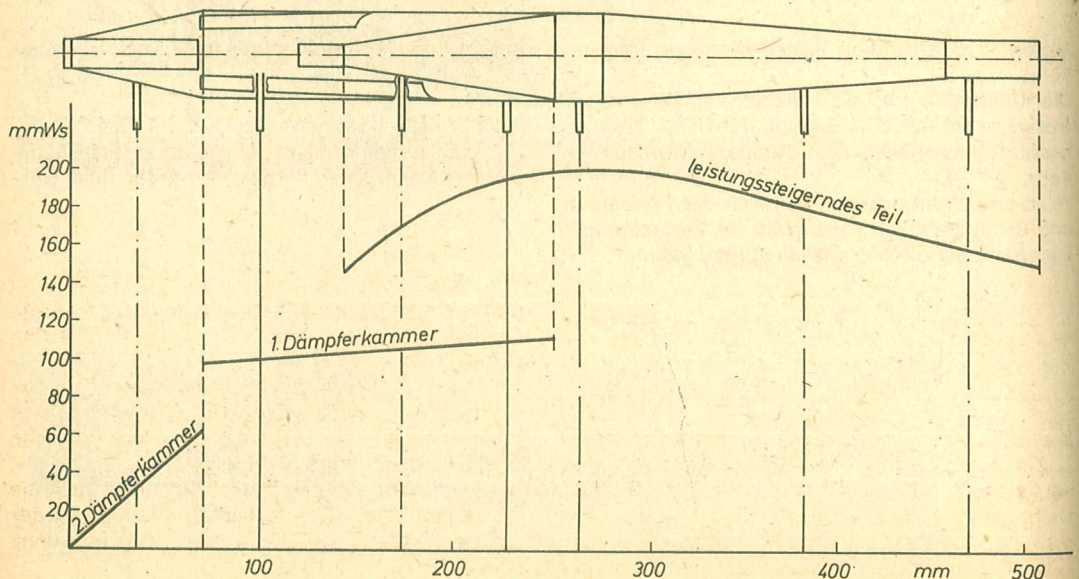


Bild 229 Anordnung einer regelnden Drucktankanlage, bei der der Tankdruck dem Druck im Auspuff angeglichen ist (schematische Darstellung)

1 – Kraftstoffleitung zum Motor; 2 – Silikongummischlauch Durchmesser 3 mm vom Auspuff zum Tank; 3 – Tank; 4 – Betankungsschraube

Bild 230 Druckverlauf in einem leistungssteigernden Abgas-Schalldämpfer, gemessen an einem 10 cm³-Motor bei 11 500 1/min



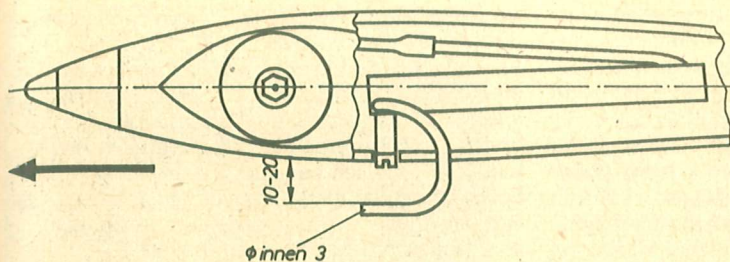


Bild 231 Anordnung einer regelnden Drucktankanlage, bei der der Staudruck als Tankdruck genutzt wird. Diese Anlage arbeitet somit geschwindigkeitsabhängig (schematische Darstellung).

Bei Verwendung von Saugtanks in der Klasse F2A ist der Motor beim Start „fett“ einzustellen. Nach dem Start muß das Modell solange geschleudert werden, bis der errechnete Arbeitspunkt der Auspufftüte erreicht wird. Der freie Ansaugquerschnitt muß in diesem Fall stark reduziert werden.

Analog zur Verkleinerung des Ansaugquerschnitts ist der Querschnitt des Auspuffendstückes stark zu reduzieren. Als Richtwert für 2,5-cm³-Motoren etwa 6,5 mm Ø für den Ansaug und 5 mm Ø für das Auspuff-Endstück.

Daß bei allen Versuchen immer der gleiche Kraftstoff zu verwenden ist, versteht sich von selbst.

Über die Abstimmung des Auspuffsystems auf die Motortemperatur wurde schon gesprochen. Diese Motortemperatur läßt sich noch durch „heiße“ bzw. „kalte“ Kerzen in gewissen Grenzen beeinflussen. Die Praxis hat gezeigt, daß Motoren mit Auspufftüten möglichst heiß laufen müssen. Oft genügt eine Kühlung des Zylinderkopfes, so daß auf Kühlschlitze für die Kühlrippen verzichtet wird. Bei Luftschrauben-Rennbooten hingegen muß der Motor oft wärmeisoliert werden, da die dort auftretenden Wassernebel den Motor zu stark kühlen.

Durch die Anwendung der gasdynamischen Abstimmung der Auslaßseite werden gegenwärtig Literleistungen von über 530 kW/l bei Drehzahlen bis zu 38 000 1/min erreicht. Ein Ende dieser Entwicklung ist vorläufig noch nicht abzusehen.

6.1.12. Optimierung des Zündzeitpunktes

Die Glühkerze (siehe Bild 28) besteht aus dem mit ¼ Zoll-32 Gang NEF Gewinde (60° Flankenwinkel) versehenem Kerzenkörper, in dem sich ein mit Dicht- und Isolierringen eingerollter oder verschraubter Kontaktstift befindet. Häufig findet auch Glas oder Porzellan als Isolator Anwendung, woraus

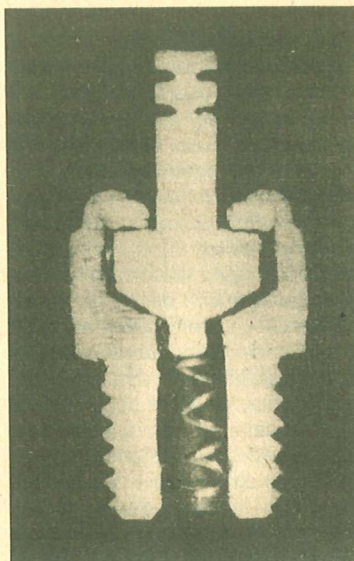


Bild 232 Glühkerze im Schnitt. Auf Grund der kegelförmigen Form der Mittelelektrode tritt eine selbständige Zentrierung ein, wodurch Kurzschlüsse vermieden werden.

sehr gute Dichtigkeit resultiert. An Kontaktstift und Kerzenkörper ist je ein Wicklungsende der Glühwendel eingepreßt oder kontaktiert (Bild 232). Für den Einbau in den Zylinderkopf des Motors sollte stets ein Dichtring aus Kupfer Verwendung finden. Gebrauchte Dichtringe aus Aluminium gewährleisten keine ausreichende Dichtigkeit und die thermische Belastung des Motors erhöht sich.

Das wichtigste und empfindlichste Bauteil stellt die Glühwendel dar. Sie wird aus einer Legierung des edelsten Metalls Platin mit der relativen Atommasse 195,09 hergestellt.

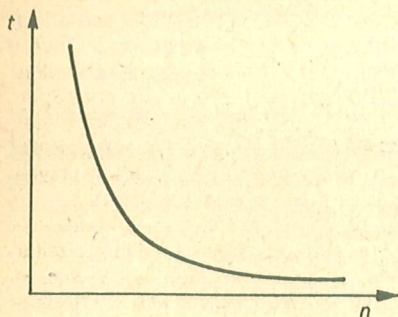


Bild 233 Drehzahl-Temperatur-Diagramm einer Glühkerze

Als Legierungsbestandteile sind die Elemente Rhodium, Iridium oder Ruthenium gebräuchlich.

Der Einsatz reinen Platins ist wegen seiner Empfindlichkeit gegenüber mechanischer Beanspruchung und aus preislichen Gründen nicht vertretbar.

Seit geraumer Zeit wird offensichtlich von einigen Herstellern Draht verwendet, der nur an der Oberfläche einen Platinmantel besitzt. Er ist dadurch billig, nicht so empfindlich gegen mechanische Zerstörung durch Schwingungen und besitzt die guten chemischen Eigenschaften des reinen Platins.

Wie die Glühkerze genau den Zündvorgang im Motor hervorruft, ist wissenschaftlich nicht exakt bekannt. Notwendig erscheint eine auf über 1000°C erhitzte Drahtwendel zu sein, an der sich dann sowohl gemischbildende als auch chemische Vorgänge abspielen. Dabei spielt sicherlich die katalytische Wirkung des Platins in Verbindung mit den Kohlenwasserstoffen des Methanols eine nicht unbedeutende Rolle. Die katalytische Wirkung des Platins kann so erklärt werden, daß Platin seine Oberfläche mit Sauerstoff anreichert und dieser dann zur Selbstentzündung des abgespalteten Wasserstoffs der Kraftstoffgase führt, wobei sich das Platin aufheizt.

Das bedeutet, solange ein brennbares Gas-Luftgemisch die Glühwendel umströmt und die Entzündung einmal einsetzt, kann die äußere Energiezufuhr eingestellt werden, bis sich extreme Änderungen der Gaszufuhr ergeben. Die Anheiz- oder Betriebsspannung der Glühkerzen beträgt meist 1,5 bis 2,2 Volt und richtet sich nach Legierung, Drahtdurchmesser sowie Länge der Glühwendel. Hochwertige Kerzenwendeln aus Platin-Ruthenium-Legierung halten bis zu 4 Volt aus, ohne zu schmelzen.

Recht verwirrend – selbst für den Motorenfachmann – ist die Bezeichnung – kalt – oder heiß – für eine Kerze; deshalb dazu einige Erläuterungen:

An heißen Kerzen findet ein dünner, an kalten ein dickerer Drahtdurchmesser im Verhältnis zur Länge Verwendung. So ergeben sich auf gleichem Raum unterschiedlich große Oberflächen, die vom Gasgemisch umströmt werden. Daraus ergibt sich ein breiter Einflußbereich auf den Zündpunkt des Motors. Helles Glühen bedeutet Frühzündung, dunkles Spätzündung. Da hierbei eine Abhängigkeit von der Drehzahl besteht, ist eine relative Selbstregelung des Zündzeitpunktes gegeben (Bild 233).

Dieser Vorgang erklärt sich folgendermaßen:

Der Kolben benötigt zur Bewegung Richtung OT eine drehzahlabhängige, durch die mittlere Kolbengeschwindigkeit bestimmte Zeit. Die Ausbreitung der Zündflamme von der Glühkerze in Richtung Kolben ist ebenfalls zeitabhängig. Entscheidend wirkt sich der Zeitpunkt aus, an dem Kolbenboden und Zündflamme aufeinander treffen. Es resultiert ein stark leistungsbestimmender Faktor.

Hohe Drehzahl bedingt hohe Kolbengeschwindigkeit, folglich wird Frühzündung erstrebt. Da der Gaswechsel (Spülung) hierbei sehr intensiv und die Zeit zur Wärmeableitung der Glühwendel sehr kurz ist, ergibt sich helles Glühen. Die Zündung erfolgt früh. Geringe Drehzahl kehrt die Einflußfaktoren um, die Zündung erfolgt später. Die optimale Anheizspannung besteht, wenn ein mit Vollgas betriebener Motor beim Abnehmen der Glühkerzenklemme kein Absinken der Drehzahl zeigt. Zur Schonung der Glühwendel wird der niedrigst mögliche Wert ermittelt. Der Einsatz verschiedener Glühkerzentypen ergibt sich aus den gestellten Anforderungen. Zu den bei uns gefertigten Typen stehen dem Modellsportler der DDR Angebote in der ČSSR und der VR Polen zur Verfügung.

Die Anforderungen an eine Glühkerze sind in den einzelnen Wettkampfklassen sehr unterschiedlich. Beschränken wir uns auf eine grobe Klassifizierung, woraus weitere Anwendungsbereiche abgeleitet sind. Motoren in den Klassen F1C und F3MS sollten mit heißen Kerzen betrieben werden, was der maximalen Leistungsabgabe entgegenkommt, denn die heiße Kerze ruft die für die hohe Drehzahl erforderliche Frühzündung hervor, wodurch die Motoren relativ kalt bleiben.

Eine Motorabstellung sollte nur durch reichliches Überfetten erfolgen, denn nur so läßt sich eine genaue Motorlaufzeit erreichen und Überhitzung der Glühwendel bzw. ein Durchbrennen tritt nicht auf. In der Klasse F2B (Fesselkunstflug) erfolgt der Horizontalflug mit überfettet laufendem Motor. Das Fliegen der Figuren verlangt einen schnellen Anstieg von Drehzahl und Leistung, was durch Abmagern im Steigflug erreicht wird. Somit bietet sich auch hier die heiße Kerze an, da diese den Wechsel zum hellen Glühen schnell zu vollziehen im Stande ist.

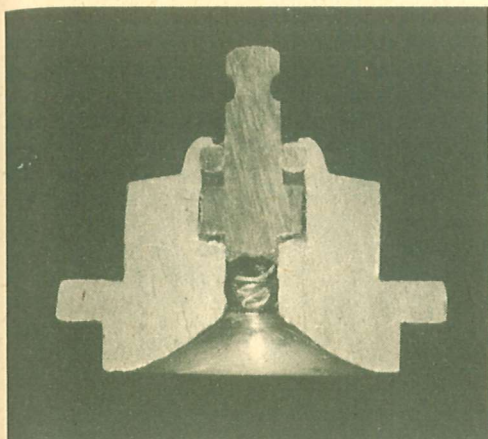


Bild 234 Glühkopf im Schnitt

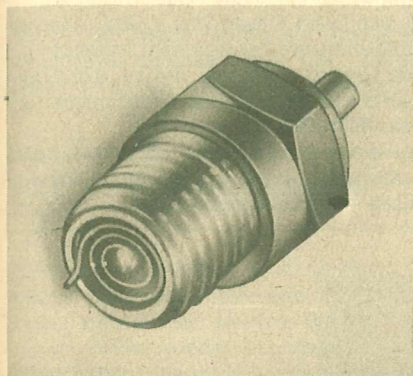


Bild 235 Eine Glühkerze mit extrem kleinem Innenraum wird durch den hier gezeigten spiralförmigen Glühdraht erreicht

Die Drosselmotoren der Klasse F3A benötigen andere Kerzentypen. Für Motoren mit Querstromspülung und Nasenkolben bietet sich die Stegkerze an, deren Einbau so erfolgt, daß der Steg in Richtung der Kurbelwelle zeigt. Eine entsprechend am Kerzenkörper anzubringende Markierung ist von Nutzen, um eine optimale Umspülung der Wendel zu erreichen. Motoren mit 3-Kanal-Umkehrspülung und Resonanzschalldämpfer beanspruchen die Glühwendel thermisch in hohem Maße. Die Betriebstemperatur kann nahe dem Schmelzpunkt des Wendelmaterials liegen und an diesem zu Perlenbil-

dung führen. Wird in diesem Zustand der Motorlauf plötzlich gedrosselt, das ist in der Klasse unvermeidlich, zerspringt die Wendel durch schnelles Abkühlen. Frei bewegliche Reste folgen dem Spülstrom Richtung Schalldämpfer. Die Reflektion der Druckwellen, der eigentliche Resonanzeffekt, drückt diese Reste annähernd mit Schallgeschwindigkeit in den Brennraum des Motors zurück.

Schäden an Kolben und Laufbuchse sind die Folgen. Diese Gefahr läßt sich durch den Einsatz kalter Kerzen weitgehend reduzieren. Für den Einsatz in RC-Rennwagen sollten ebenfalls diese Kerzen bevorzugt werden, da auch hier hohe thermische Belastungen die Regel sind.

Der Einsatz kalter Kerzen in diesen Motoren ist allerdings als Kompromiß anzusehen. Besser wäre es, durch Verwendung von kompletten Glühköpfen, wie sie die F2A-Flieger seit Jahren verwenden (Bild 234), das Temperaturniveau am Zylinderkopf so weit herabzusetzen, daß ein Schmelzen der Wendel verhindert wird (siehe auch Abschnitt 6.1.4.). Daraus ergibt sich der Vorteil, daß 1. durch die bessere Brennraumgestaltung die Maximalleistung des Motors beträchtlich angehoben wird und 2. diese zusätzliche Aufheizung des Motors bei Vollgas durch die kalte Kerze mit ihrem hohen Zündverzug – Spätzündung – beseitigt wird. Außerdem tritt 3. ein schnellerer Übergang von Drossellauf auf Vollast auf. Unkritisch dagegen ist der Einsatz heißer Hochleistungskerzen in den Bootsklassen, da kühlungsbedingt der Betriebszustand stabil bleibt.

Fast alle Kerzen kann man durch manuelle Nacharbeit auf den geforderten Betriebszustand des Motors einstellen, denn die Höhe des Zündverzugs einer Kerze ist kaum von der Werkstofflegierung der Wendel aber im starken Maße von der Art der Wicklung der Wendel abhängig. Ist die Wendel eng gewickelt und weit vom Kerzenkörper entfernt, so ist ein kurzer Zündverzug vorhanden, die Kerze ist „heiß“.

Ist der Wendel tief im Kerzenkörper und nahe an der Kerzenwand, so ist ein großer Zündverzug vorhanden, die Kerze ist dann „kalt“.

Auf diese Weise lassen sich „heiße“ Kerzen mit dünnem Draht noch „heißer“ machen oder „kalte“ Kerzen mit dickem Draht noch „kälter“ einstellen oder umgedreht.

Dazu kommt noch die alte Methode der F2A-Flieger, durch Herausziehen oder Hineinschieben der Wendel in den Kerzenkörper den Abstand der Drahtwindungen zu verändern und somit zusätzlich das thermische Verhalten der Kerzen zu verändern. Besonders gut für derartige Manipulationen eignen sich geschraubte Kerzen, wie sie von MVVS in der ČSSR hergestellt werden. Zu beachten ist bei die-

sen Kerzen allerdings, daß sie teilweise mit Gewinde M6×0,75 ausgerüstet sind und daher sehr locker in der ¼ Zoll-32-Gang-Gewinde der meisten Motoren passen und daß bei diesen geschraubten Kerzen öfters die Kerzenverschraubung nachgezogen werden muß.

Abschließend kann festgestellt werden, daß die Bezeichnung Glühkerze deren Funktion nicht vollständig beschreibt. Sie ist variabel in der Bestimmung des Zündzeitpunktes und arbeitet drehzahlabhängig; steht somit der Arbeitsweise einer Zündanlage im Kfz-Ottomotor kaum nach. Dementsprechend

sollte sie auch genutzt, behandelt und weiterentwickelt werden (Bild 235).

Exakt kann der Zündzeitpunkt jedoch nur mit einer Zündkerze festgelegt werden. Deshalb werden immer wieder mit Erfolg Versuche unternommen, leichte und exakt arbeitende Zündanlagen in größere Modellmotoren zu installieren. Durch die moderne, kontaktlos arbeitende elektronische Zündanlage ergeben sich Möglichkeiten der Leistungssteigerung, die noch in viel zu geringem Maße genutzt werden (siehe Abschnitt 2.2.2. und 6.2.2.).

6.2. Praktische Tuningbeispiele und Umbauten

6.2.1. Veränderte Einlaßsteuerung

Häufig verspricht der Umbau eines Motors auf eine andere Art der Einlaßsteuerung Leistungssteigerung und Verringerung des Kraftstoffverbrauchs. Diesbezügliche Versuche des Verfassers mit Flachdrehschieber, Hülsendrehschieber und Hülsendrehschieber System K+B an einem 2,5 cm³ MVVS-

Selbstzündermotor bestätigen die Überlegenheit des K+B-Drehschiebers (siehe Abschnitt 6.1.5.).

So erhöhte sich beim Einsatz des K+B-Drehschiebers die Motordrehzahl bei gleichem Propeller gegenüber den Flachdrehschieber um ca. 470 1/min und verringerte sich beim Hülsen-Drehschieber um ca. 170 1/min (Bild 236).

Der Umbau eines Kurbelwellendrehschieber-Motors auf Membransteuerung wie ihn Bild 237 zeigt, kann ebenfalls eine Leistungssteigerung bringen.

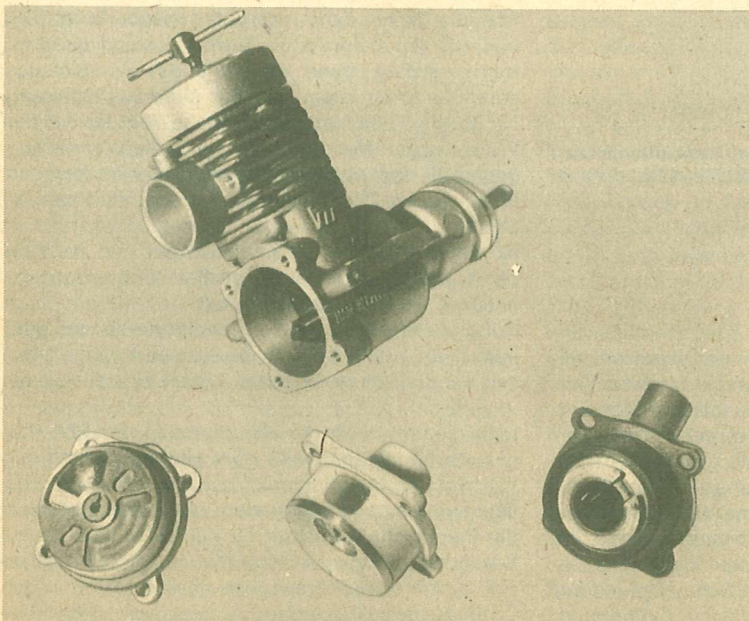


Bild 236
MVVS DR mit verschiedenen
Drehschiebern

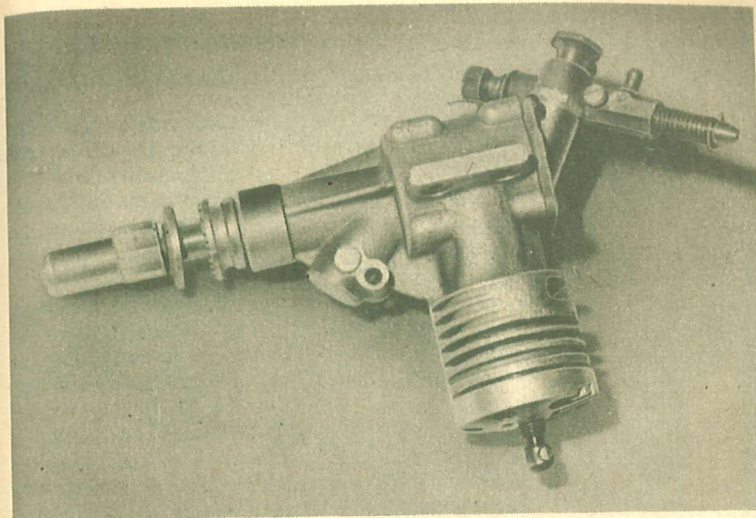


Bild 237
MVVS TR5 umgebaut auf Mem-
bransteuerung

Bei diesem Motor wurde die Ansaugbohrung der Original-Kurbelwelle und der Vergaserschacht durch einen AL-Pfropfen verschlossen.

6.2.2. Veränderte Zündungsart

Bei Motoren bis $3,5 \text{ cm}^3$ steht die Frage Glühzylinder- oder Selbstzündermotor und muß je nach Einsatzzweck entschieden werden. Die dem Selbstzündermotor immer wieder nachgesagten negativen Eigenschaften, wie starke Vibration, rauher Motorlauf und schlechtes Anspringen, treffen bei modernen Motoren nicht mehr zu. Dagegen ist der Selbstzün-

dermotor dem Glühzylinder heute im Kraftstoffverbrauch und Höhe des Drehmoments weit überlegen. Als einziger Nachteil gegenüber dem Glühzylinder verbleibt eine höhere Ungleichförmigkeit der Drehbewegung die kräftigere Propeller erforderlich macht, um ein Reißen der Propeller im Nabenbereich zu verhindern. Die Verwendung von Glasfaserlamint-Propeller schließt diese Erscheinung aus. Aus diesem Grund liefern viele Hersteller von Modellmotoren, wie z. B. MVVS und Rossi, bei gleichem Grundmotor in beiden Varianten aus. Der einzige Unterschied dieser Motoren liegt in den Zylinderköpfen (Bild 238). Speziell für Langstreckenrekorde von Flugmodellen wurden größere Modellmotoren auf Kerzenzündung (Bild 239) umgebaut. Diese Zündungsart ermöglicht den Einsatz von Ben-

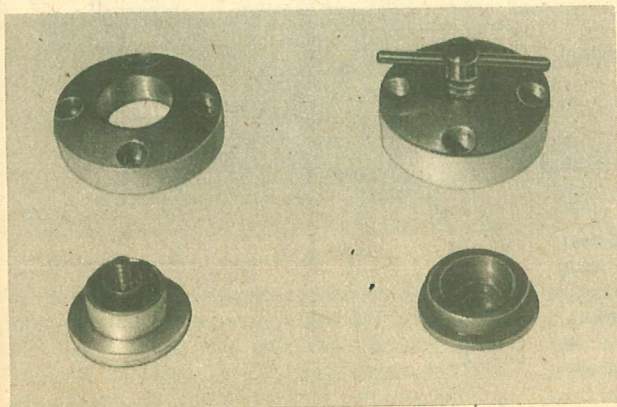


Bild 238
Nur in den hier gezeigten Bau-
teilen unterscheiden sich die
 $2,5 \text{ cm}^3$ Selbstzylinder- und
Glühzylindermotoren von
MVVS-Modellen

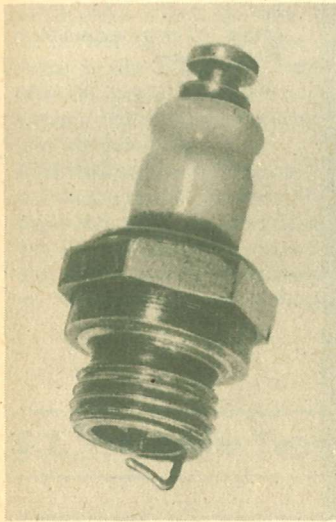


Bild 239 Zündkerze für Modellmotoren mit M 10 x 1 – Gewinde aus der Zeit vor 1945

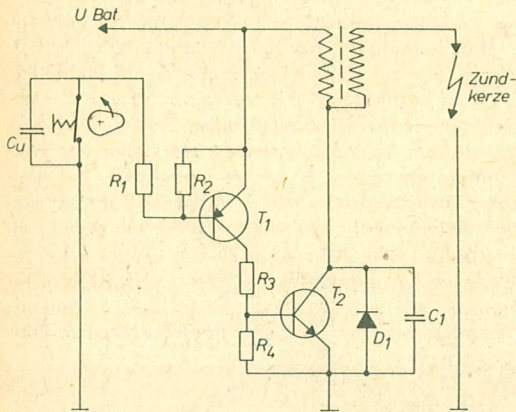


Bild 240 Schaltbild einer einfachen Transistorzündanlage

zin als Kraftstoff und schafft so durch den sich ergebenden geringen Kraftstoffverbrauch die Voraussetzungen für derartige Unternehmungen. Wegen ihres geringeren Gewichts wird für diesen Zweck meist der Transistorzündanlage der Vorzug gegeben (Bild 240). Häufiger wird jedoch der umgekehrte Fall praktiziert, indem ein alter Benzinmotor aus der Zeit um 1930 eine Reduzierbuchse bekommt, um ihn mit einer Glühkerze versehen wieder einsetzen zu können.

6.2.3. Veränderte Kühlverhältnisse

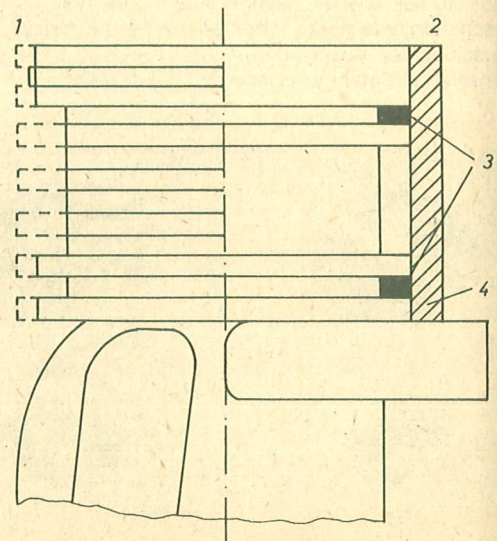
Zur Problematik der Temperaturverteilung am Zylinder eines Modellmotors wurde bereits im Abschnitt 6.1.4. ausführlich geschrieben und mit Bild 194 ein Beispiel aufgezeigt. Weitere Beispiele, wie die Motorenkühlung den Einsatzbedingungen angepaßt werden können, sind im Abschnitt 10.14. enthalten.

Recht häufig soll ein luftgekühlter Motor auf Wasserkühlung umgebaut werden. Die auf dem Gehäuse vorhandenen Kühlrippen sollten dann geschickt für die Befestigung des Wasserkühlmantels genutzt werden, wie es in Bild 241 gezeigt ist. Bei Motoren mit ABC bzw. AAC-Laufsaätzen genügt es häufig völlig, den Zylinderkopf neu zu gestalten bzw. mit einer Wasserkühlung zu versehen. Eine recht einfache Lösung zeigt Bild 242.

Prinzipiell ähnliche Kühlverhältnisse, wie beim alleinigen Kühlen des Zylinderkopfes mit Wasser, treten bei Modellrennwagen auf, die ihre Kühlung fast ausschließlich durch überdimensional vergrößerte Zylinderköpfe erhalten. (Bild 243)

Bei fast allen Bootsmotoren macht sich eine zusätzliche Kühlung des Auspuffrohres erforderlich, um ein Verbrennen der elastischen Verbindungsle-

Bild 241 Beim Anbau eines Wasserkühlmantels sind die Kühlrippen teilweise zur Abdichtung zu nutzen. 1 – gestrichelter alter Zustand; 2 – mit Kühlmantel für Wasserkühlung; 3 – Gummi-O-Ringe; 4 – Mantel



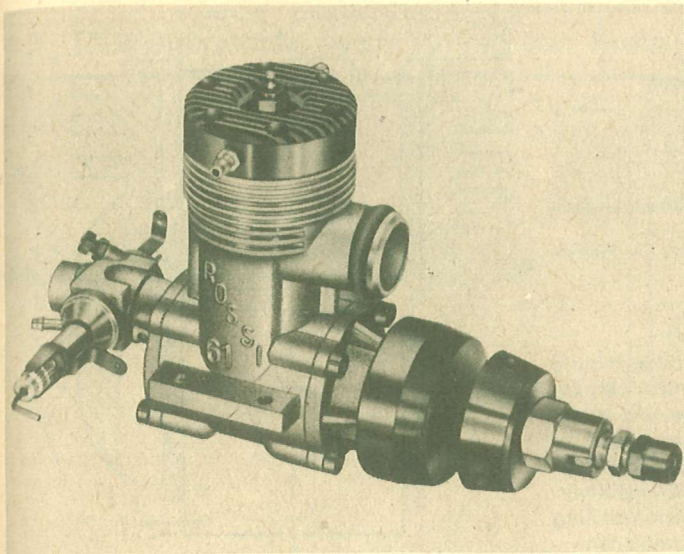


Bild 242
Ausreichende Kühlung des Motors
durch alleinige Kühlung des
Zylinderkopfes beim Rossi R 65 RV
Marine ABC

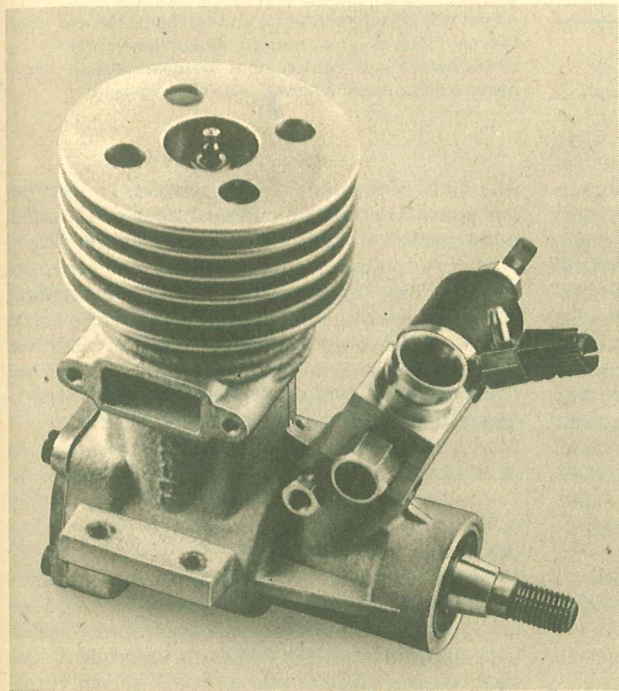


Bild 243
Rennautomotor mit 3,5 cm³ Hubraum und
Extrem-Kühlkopf

mente (meist Silikongummi) zwischen Motor und Schalldämpfer zu verhindern. Bild 244 zeigt an Beispiel des Rossi 90 eine praktikable Lösung dieses Problems. Bei diesem Motor ist außerdem der Zylinderkopf und der Zylindermantel getrennt kühlbar,

so daß hier unterschiedliche Temperaturen einstellbar sind. Nicht akzeptabel ist das einfache Umwickeln eines Motorzylinders mit Kupferrohr, um so eine Motorkühlung zu erreichen. Das Kupferrohr wird zwar vom durchfließenden Kühlwasser ausrei-

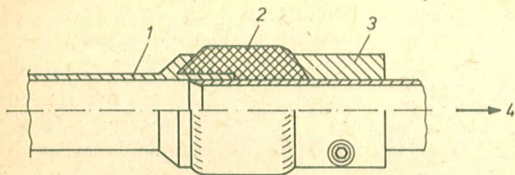


Bild 244 Prinzipskizze, die Verbindungsstelle am Auspuffrohr des Rossi 90
1 – Auspuffrohr; 2 – Silikongumme-Formstück; 3 – Klemmstück (verstellbar); 4 – Zum Motor

chend gekühlt, aber selbst ein unter Federspannung am Zylinder anliegendes Kühlrohr berührt den Zylinder nur an einigen wenigen Punkten und ist damit nicht in der Lage, den Motor hinreichend zu kühlen. Zylinderverzug durch ungleichmäßige Kühlung, höherer Verschleiß und hoher Kraftstoffverbrauch, hervorgerufen durch starke Innenkühlung mit Kraftstoff sind die Folgen solcher Umbauten.

6.2.4. Veränderte Steuerzeiten

Mit den Steuerzeiten im Einlaß und in den Überstromkanälen sowie dem Auslaß, wird das Lauf- und Ansprungsverhalten des jeweiligen Motors vorgegeben. Wie bereits in Abschnitt 6.1.1. erwähnt, kann nach entsprechender Analyse und Messung der vorhandenen Steuerzeiten durch Hochschleifen der Kanäle bzw. Steuerschlitze ihre Öffnungszeit verlängert und damit der Steuerwinkel vergrößert werden. Schwieriger ist es schon, einen Rennmotor durch Verkleinerung der Steuerwinkel zu einem Alltagsmotor umzufunktionieren oder aus einem Motor für Resonanzbetrieb einen optimalen Motor für offenen Betrieb ohne Auspuff zu machen. Generell sind derartige Verkleinerungen von Steuerwinkeln am Einlaß nur durch die Anfertigung von neuen Bauteilen zu erzielen. Zur Verringerung der Steuerzeiten am Zylinder gibt es drei Möglichkeiten:

- Tiefersetzen des Zylinders im Gehäuse und als Folge hochsetzen des Zylinderkopfes, um den gleichen Betrag
- Einbau eines längeren Pleuels und hochsetzen des Zylinderkopfes
- Einbau eines oben längeren Kolbens, hochsetzen des Zylinderkopfes

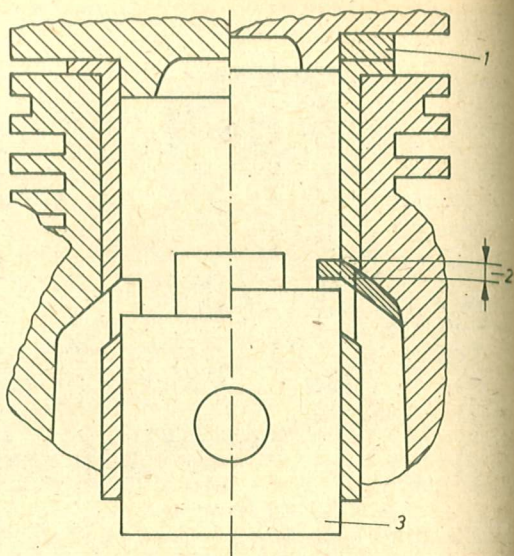


Bild 245 Durch Einbau eines längeren Kolbens (3), Hochsetzen des Zylinderkopfes (1) und Nacharbeiten der Überströmer (2) ist es relativ einfach, einem Rennmotor für Resonanzbetrieb auf Betrieb ohne Resonanzauspuff umzubauen (rechts neuer Zustand, links alter Zustand)

Alle diese Methoden haben Nachteile, so wird bei der ersten Methode im oberen Totpunkt die Kolbenunterkante am Auslaß das Kurbelgehäuse öffnen, so daß Auspuffgas, einen Schalldämpfer vorausgesetzt, in das Kurbelgehäuse gelangt. Unsauberer Motorlauf kann die Folge sein. Der gleiche Effekt tritt bei der zweiten Methode ein, sie erfordert dafür nicht so viel Erfahrung, wie die Nacharbeit am Gehäuse, da ein Pleuel ein recht einfach anzufertigendes Bauteil ist.

Muß sowieso ein neuer Kolben gefertigt werden, so ist die dritte Methode der günstigste Weg. Der Nachteil durch den sich dann meist ergebenden asymmetrischen Kolben ist relativ gering (Bild 245) (siehe auch Abschnitt 3.2.2.).

Meist sind derartige Manipulationen an Modellmotoren nicht erforderlich, sie können sich jedoch zwingend erforderlich machen, wenn beim Bestreben, die Motorleistung weiter zu vergrößern, das gute zu viel getan wurde und eine einmal vorgenommene Veränderung an der Motorsteuerung rückgängig gemacht werden muß.

6.3. Besonderheiten beim Tuning von Kreiskolbenmotoren

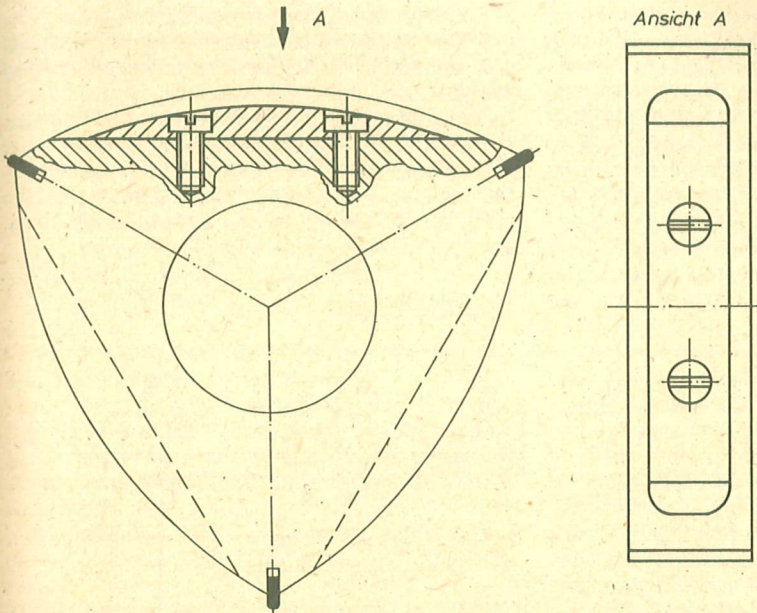


Bild 246

So könnten Füllstücke zur Erhöhung der Verdichtung an dem Läufer eines Wankelmotors befestigt werden

Kreiskolbenmotoren System Wankel werden in Serie nur von O. S. in Japan als Modellmotoren produziert.

Diese Motoren haben ein Kammvolumen von 5 cm^3 und geben etwa $0,63 \text{ kW}$ ab. Sie sind als reine RC-Motoren mit einem Drosselvergaser mit sehr kleinem Durchlaß (5 mm) versehen und besitzen einen Schalldämpfer mit ebenfalls sehr kleinem Volumen und Auslaßquerschnitt (siehe Bild 51). Auf Grund ihrer besonderen Bauart kann bei Wankelmotoren nachträglich kein bzw. nur eine sehr geringe Veränderung der Motorkennwerte vorgenommen werden. So läßt sich z. B. das Verdichtungsverhältnis nur in sehr geringen Grenzen verändern, da die Größe des Brennraums durch die Epitrochoidenform des Motorgehäuses vorgegeben ist. Eine Veränderung des Verdichtungsverhältnisses kann durch teilweises Ausfüllen der Brennraummulden im Läufer erfolgen (Bild 246). Die Gefahr dieses Ver-

fahrens besteht darin, daß sich die Füllstücke beim Motorlauf sehr stark aufheizen und lösen.

Die einzige sichere Methode der Leistungssteigerung besteht in der Erweiterung der Einlaß- und Auslaßkanäle. Wankelmotoren sagt man nach, daß ihre Leistung im gleichen Verhältnis wie ihr Ein- und Auslaßquerschnitt zunimmt. Eine Grenze der Erweiterung der Kanäle wird durch die erforderlichen Auflageflächen für die Dichtleisten gesetzt. Werden die Auflageflächen zu klein, erhöht sich an dieser Stelle der Verschleiß stark und der Motor wird unbrauchbar.

Durch seinen vibrationsfreien Lauf, hervorgerufen durch den fast vollständigen Massenausgleich des Läufers ist der Wankelmotor sehr gut für hohe Drehzahlen geeignet, er erreicht allerdings nicht die Spitzenwerte von normalen Modell-Rennmotoren.

6.4. Besonderheiten beim Tuning von Viertakt-Modellmotoren

Auf dem internationalen Modellmotorenmarkt erscheinen immer mehr Viertaktmotoren. Bei gleichem Hubraum sind sie meist den Zweitaktmotoren leistungsmäßig stark unterlegen. Der Vorteil dieser Motoren liegt in ihrem vibrationsarmen und sehr leisen Lauf sowie dem geringen Ölbedarf. Zusammengefaßt sind sie als umweltfreundlicher zu bezeichnen als Zweitaktmotoren. Dieses Minus an Leistung fordert den Modellmotorenfachmann förm-

lich heraus. Aus diesem Grund hier ein paar Möglichkeiten zur Leistungssteigerung an Viertaktmotoren, die nicht nur für Viertakt-Modellmotoren zu treffen.

1. Prinzipiell treffen alle Maßnahmen zur Verbesserung des Massenausgleichs bzw. der Auswuchtung, die in den Abschnitten 1.2.3. und 6.1.5. zur Verbesserung von Zweitaktmotoren empfohlen wurden auch für Viertaktmotoren zu. Dazu gehören Abma-

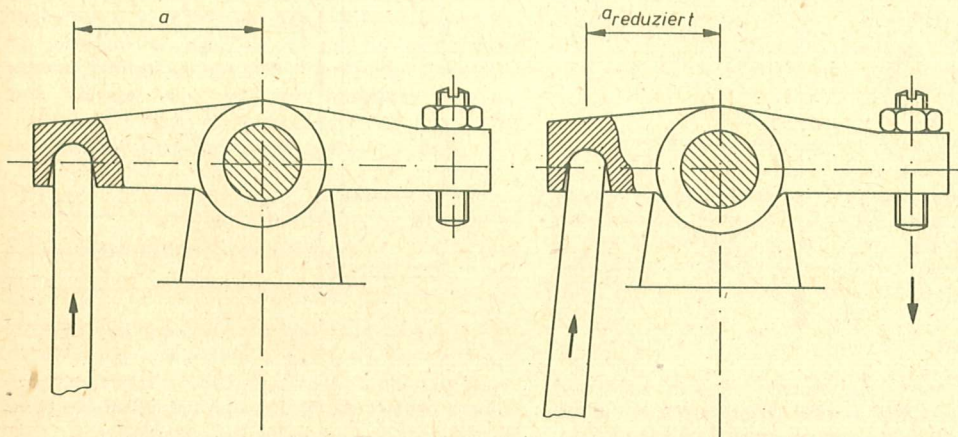
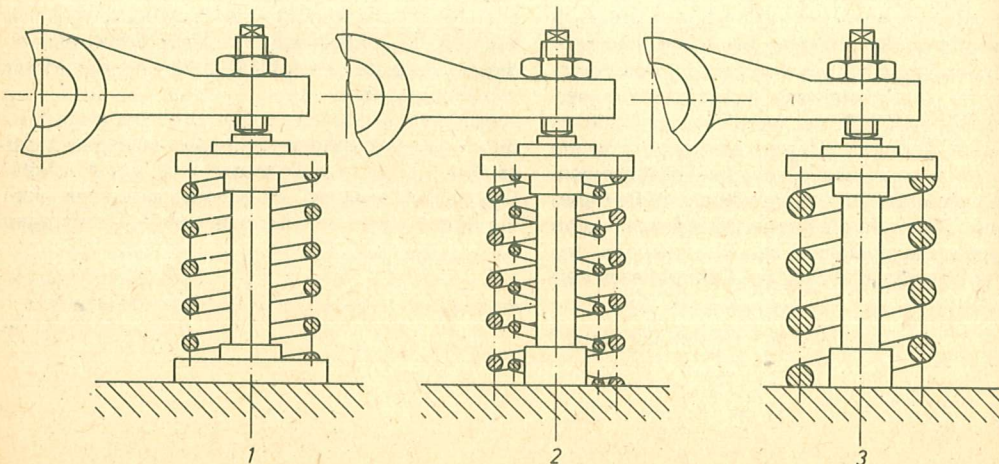


Bild 247 Vergrößerung des Ventilhubes durch Veränderung des Hebelverhältnisses, links alter, rechts neuer Zustand

Bild 248 Erhöhung der Ventildrucksicherung durch
1 – Unterlegscheiben; 2 – Zusatzfedern; 3 – stärkere Federn



gerung des Kolbens, Vergrößerung der Gegengewichte an der Kurbelwelle, Verminderung der Reibung.

II. Optimierung des Verdichtungsverhältnisses wie im Abschnitt 6.1.2. beschrieben. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß durch ein Anheben oder Absenken des Zylinderkopfes durch Unterlegen von Scheiben bzw. Abdrehen des Kopfes keine Beeinträchtigung der Ventilsteuerung erfolgen darf, d. h. evtl. vorhandene Stoßstangen sind zu kürzen bzw. durch stauchen zu verlängern. Bei Antrieb der Nockenwelle (Wellen) durch Zahnriemen gleicht der Riemenspanner diese geringen Unterschiede aus.

III. Zur Verbesserung des Füllungsgrades sind folgende Maßnahmen durchzuführen:

– Abstimmung des Ansaugweges gemäß Abschnitt 6.1.8.

– wenn möglich, Einbau von größeren Ventilen, besonders eines größeren Einlaßventils

– Vergrößerung des Ventilhubes auf den durch den Brennraum und die Ventilüberschneidung begrenzten Maximalwert. Dazu ist das Hebelverhältnis der Kipphebel gemäß Bild 247 zu ändern. Dazu müssen neue Kipphebel gefertigt werden.

– Vergrößerung des Vergaserquerschnitts analog der Vergrößerung des Einlaßventils und des Einlaßkanals.

IV. Zur mechanischen Absicherung einer höheren Betriebsdrehzahl sind die Ventildfedern straffer zu gestalten. Dazu können folgende Veränderungen durchgeführt werden (Bild 248):

1. Vorspannen der vorhandenen Federn durch Unterlegscheiben

2. Einbau von Zusatzfedern

3. Einbau von stärkeren Ventildfedern

V. Der Einbau von Nockenwellen mit größeren Öffnungswinkeln und kürzeren Öffnungs- und Schließzeiten (in der Sprache der Motorbauer „scharfe Nockenwellen“ genannt) bringen in fast jedem Fall einen Leistungsanstieg. Ihre Herstellung übersteigt jedoch im allgemeinen die Möglichkeiten eines Modellsportlers, so daß auf ihre Konstruktion nicht weiter eingegangen werden soll.

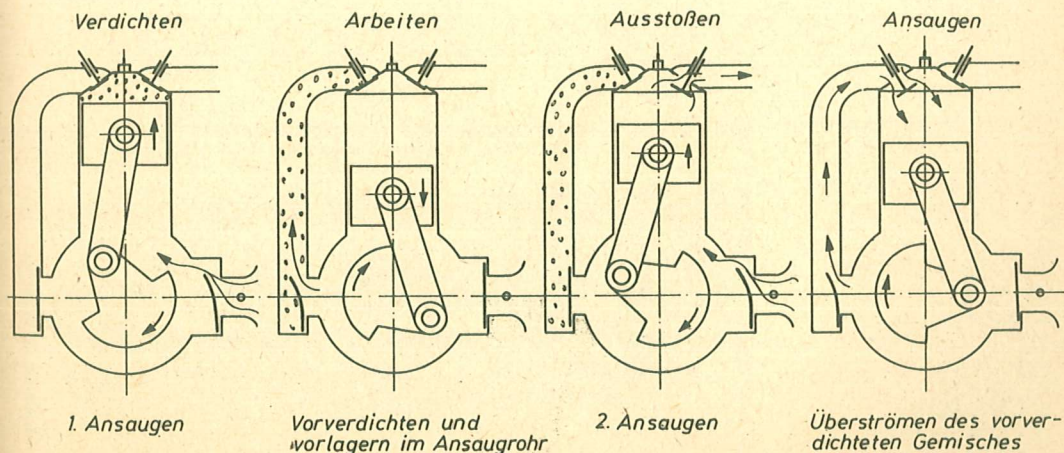
VI. Beim Tuning von mehrzylindrischen Motoren ist sehr darauf zu achten, daß an allen Zylindern exakt die gleichen Werte erreicht werden. Dazu sollten die Größe der Brennräume, die Federspannung und Hubhöhe der Ventile, sowie die Gewichte von Kolben und Pleuel exakt nachgemessen und angeglichen werden.

Mit einem derart vorbereiteten Motor kann ein beachtlicher Leistungszuwachs erzielt werden. Wählt man nur einige der vorgeschlagenen Tuningmaßnahmen aus, sind die, die den Zylinderkopf betreffen, vorzuziehen, da eine alte Tuningregel für Viertaktmotoren besagt, daß 80 % des Leistungszuwachses aus dem Zylinderkopf zu holen ist.

Der Viertaktmotor bietet uns noch eine weitere Möglichkeit der Leistungssteigerung, die beim kurbelkastengespülten Zweitaktmotor nicht durchführbar ist, die Aufladung. Mit der Aufladung ist eine erhebliche Leistungssteigerung möglich. Im Großmotorenbau erreicht man ein mehrfaches der Leistung aufgeladener Motoren.

Bei aufgeladenen Motoren wird dem Motor ein bereits verdichtetes Kraftstoff-Luftgemisch zugeführt.

Bild 249 Prinzip der Aufladung von Modell-Viertaktmotoren mit Hilfe eines membrangesteuerten Einlasses direkt in das Kurbelgehäuse



Mit der Höhe des Verdichtungsdruckes erhöht sich die Motorleistung. Bei besonders hoch aufgeladenen Motoren macht sich eine zusätzliche Kühlung der verdichteten Luft (Ladeluftkühlung) erforderlich. Mit der technischen Beherrschbarkeit kleiner und kleinster Turbinen mit ihren extremen hohen Drehzahlen von zum Teil über 200 000 1/min stieg im Kraftfahrzeug-Motorenbau der Anteil von Abgasturbolader an. Bei dieser Bauart wird mit Hilfe der Energie der Abgase des Motors über eine Turbine die Ladeluft erzeugt. Da es Abgasturbinen auch in absehbarer Zeit für Modellmotoren kaum serienmäßig geben wird, bleibt zur Ladelufterzeugung nur der Kolbenverdichter übrig. Da unsere Modellvier-

takter mit einem Kraftstoff-Öl-Gemisch betrieben werden, bietet sich das Kurbelgehäuse als Ladeluftpumpe an. In Bild 249 ist das Prinzip dargestellt. Der Motor saugt über den Vergaser und eine Membrane das Kraftstoffluftgemisch direkt in das Kurbelgehäuse an und drückt es beim Arbeitstakt über eine weitere Membrane in das Ansaugrohr. Beim Ausstoßtakt wird wiederum Kraftstoffluftgemisch angesaugt und beim Ansaugtakt des Motors das in zwei Takten in das Kurbelgehäuse gesaugte Gemisch in den Brennraum gesaugt bzw. gedrückt. Voraussetzung ist neben dem gezeigten Membransystem und dem geänderten Ansaugtrakt ein absolut dichtes Kurbelgehäuse.

7. Rückstoßantriebe für Modelle

7.1. Gasturbinen

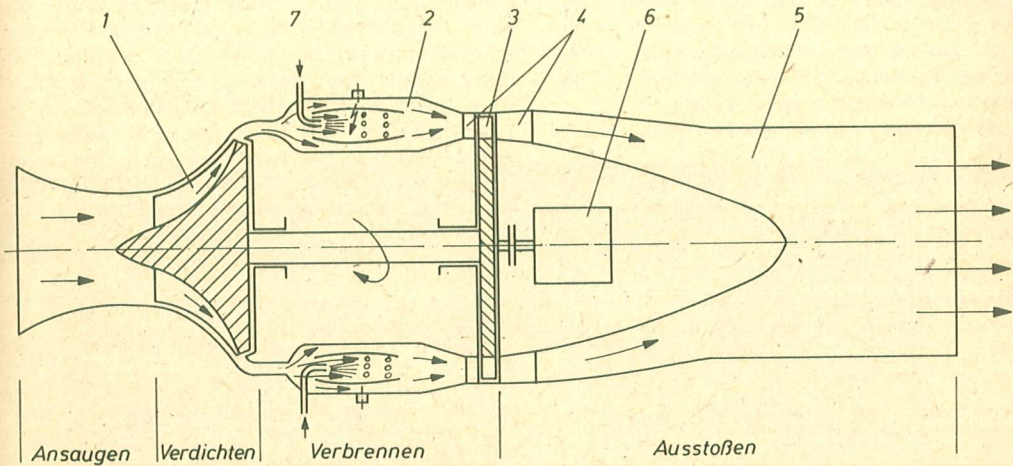
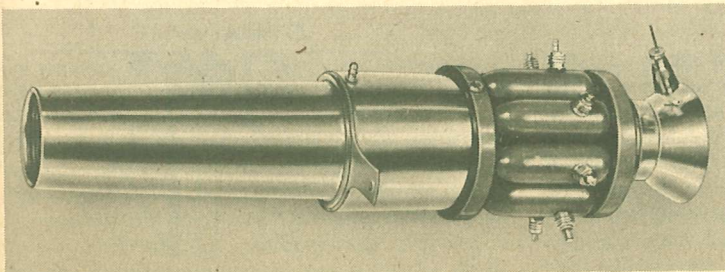


Bild 250 Funktionsschema eines Turbinen-Luftstrahl-Triebwerkes

1 – Radialverdichter; 2 – Brennkammer; 3 – Turbine; 4 – Leitschaufeln; 5 – Ausstoßrohr; 6 – Anlasser; 7 – Kraftstoff

Bild 251 Dieses Turbinenluftstrahltriebwerk für Flugmodelle wurde um 1964 in den USA gebaut. Seine Betriebsdrehzahl liegt bei 45'000 1/min. Es ist mit 8 Brennkammern ausgerüstet.



Gasturbinen in Form des Turbinen-Luftstrahl-Triebwerkes sind zum Standardantrieb schneller Luftfahrzeuge geworden. Der komplizierte Aufbau und die hohen Anforderungen an das Material dieser Triebwerke stellt sehr hohe technische Anforderungen bei der Miniaturisierung solcher Antriebe (Bild 250). Es ist daher nicht verwunderlich, daß bisher nur eine Gasturbine für Modellantriebe kurze Zeit in

den USA serienmäßig in den 60ziger Jahren produziert wurde. Dieses Turbinen-Luftstrahl-Triebwerk mit einem Radialverdichter und acht Brennkammern überschreitet allerdings mit seinen 700 g das von der FAI für Rückstoßmotore festgelegte Maximalgewicht (Bild 251). Je nach Kraftstoff erreicht dieses Triebwerk 25 bis 40 N Schub bei 20 bis 45 000 1/min.

7.2. Pulsotriebwerke

Im Gegensatz zur Gasturbine ist der Aufbau eines Pulsotriebwerkes System Schmidt-Argus ausgesprochen primitiv (Bild 252) und durch einen guten Handwerker mit relativ einfachen Mitteln leicht aufzubauen. Zudem liegt das Gewicht dieser Triebwerke, bei Verwendung dünner zunderfreier Bleche für die Brennkammer, sehr niedrig.

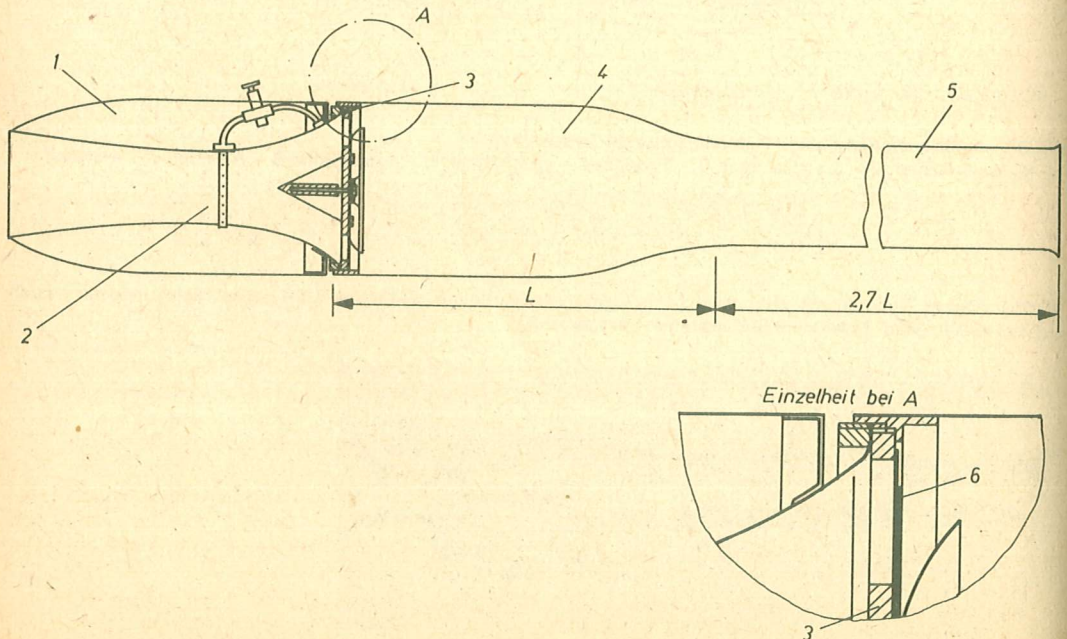
Die Funktionsweise des laufenden Triebwerkes ist folgende:

In der Brennkammer wird an der glühenden Brennkammerwand und an den heißen Restgasen das Kraftstoff-Luft-Gemisch entzündet. Der Verbren-

nungsdruck schließt die Membranen in der Zwischenwand und das Verbrennungsgas strömt mit hohem Druck über das Ausstoßrohr ab. Durch die hohe Ausströmgeschwindigkeit entsteht in der Brennkammer ein Unterdruck. Durch diesen Unterdruck werden die Membranen in der Zwischenwand geöffnet und Kraftstoff-Luft-Gemisch, das im Venturiteil vor der Zwischenwand aufbereitet wurde, strömt in die Brennkammer. In der Brennkammer entzündet sich das Kraftstoff-Luft-Gemisch wieder an den heißen Brennkammerwänden bzw. an den Restgasen und der Zyklus läuft von vorn ab.

Bild 252 Modellstrahltriebwerke im Schnitt.

1 – Tank, 2 – Vergaser, 3 – Ventilplatte, 4 – Brennkammer, 5 – Ausstoßrohr, 6 – Membranventil



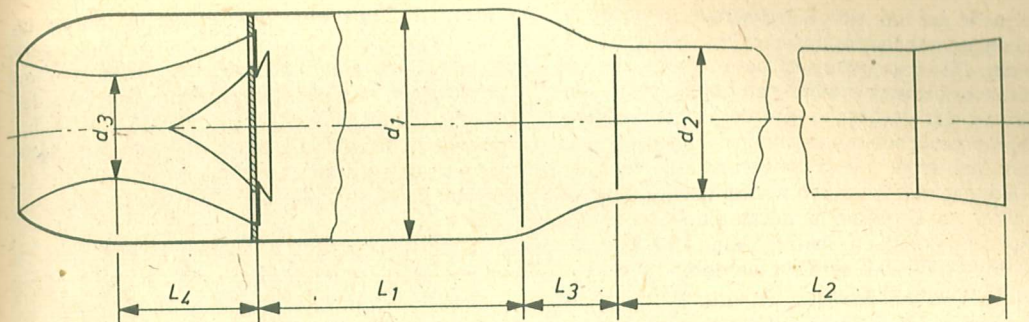


Bild 253 Geometrische Verhältnisse an einem Modellstrahltriebwerk (Pulsotriebwerk):

Variante A: $d_1:L_1 = 0,7$ bis $0,9$; $d_1:d_2 = 1,6$ bis $1,7$;

$L_2:d_2 = 9,5$ bis $10,5$

Variante B: $d_1:L_1 = 0,5$ bis $0,6$; $d_1:d_2 = 1,6$ bis $1,8$;

$L_2:d_2 = 12$ bis 13

Variante C: $d_1:L_1 = 0,9$ bis 1 ; $d_1:d_2 = 1,9$ bis $2,2$;

$L_2:d_2 = 10$ bis 12

Für alle Varianten gilt:

$d_1:d_3 = 2,2$ bis $2,6$; $d_1:L_4 = 1,2$ bis $1,4$; $L_3:d_1 = 1$ bis $1,5$

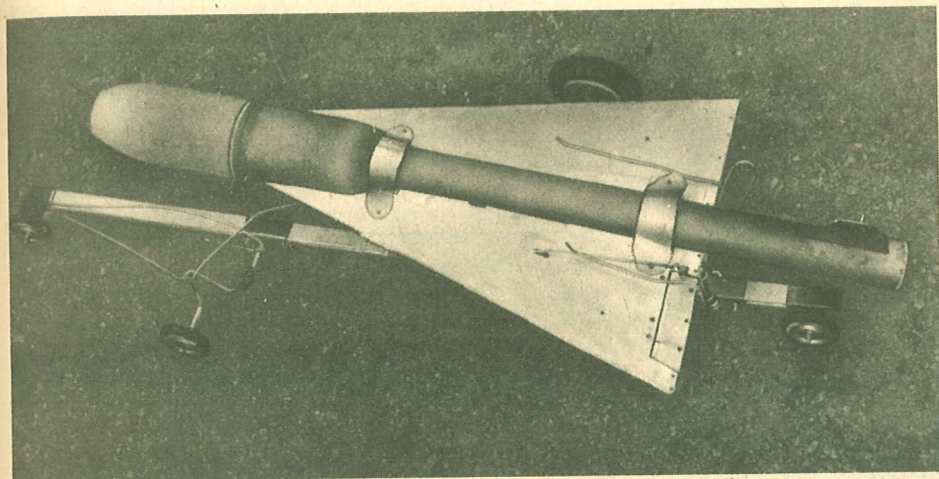


Bild 254 Leinengesteuertes Rekordmodell mit Strahltriebwerk von Peter Lang, Berlin. Mit diesem Modell stellte er, zusammen mit dem Verfasser, 1985 mit 295 km/h einen DDR-Rekord auf.

Die Leistung (Schubkraft) von Pulsotriebwerken ist abhängig von der bei jeder Einzelverbrennung (Schwingung) beschleunigten Gasmenge und deren Geschwindigkeit sowie von der sich einstellenden Verbrennungsfrequenz. Die im Triebwerk ablaufenden Vorgänge werden bestimmt durch die infolge der explosionsartigen Verbrennung (Gleichraumverbrennung) und der nachfolgenden Schwingungen der Gassäule im Rohr hervorgerufenen Wech-

selwirkung von aufeinander abgestimmten Druckwellen mit höherem und niedrigem Niveau.

Die beschleunigte Gasmenge setzt sich aus dem Massendurchsatz des Kraftstoff-Luftgemisches (Verhältnis Kraftstoff zu Luft 1:10) und der infolge der Schwingung der Gassäule in das Rohr eingetretenen Luftsäule zusammen.

Die optimale Aufladung der Brennkammer mit Kraftstoff-Luftgemisch wird durch Abstimmung der Ven-

tilffrequenz auf die, sich entsprechend den geometrischen Verhältnissen einstellenden, Rohrfrequenz erreicht. Der Energieumsatz bei möglichst hohem Verbrennungsdruck ergibt einen hohen Impuls. Die Erhöhung des Verbrennungsdrucks und der damit verbundenen Erhöhung der Intensität der beschleunigten Gasmenge durch Forcierung der bei jeder Schwingung stattfindenden Rückdiffusion (Rückverdichtung) der Gassäule ist durch eine Erweiterung am Rohrende möglich. Dadurch kann eine Schuberrhöhung von 15–20 % erreicht werden.

Die durch die Rückdiffusion hervorgerufene Druckwelle bewirkt gleichzeitig zusammen mit den heißen Restgasen die Zündung des durch die vorangegangene Unterdruckperiode in die Brennkammer eingetretenen Kraftstoff-Luftgemischs.

Der Spezialist für Pulsotriebwerke Peter Lang untersuchte und erprobte verschiedene geometrische Verhältnisse an Pulsotriebwerken und kam dabei zu dem im Bild 253 dargestellten Ergebnis. Nach seiner Erfahrung ist das günstigste Betriebsverhalten für Triebwerke der Variante A bei einem Brennkammerdurchmesser > 70 mm zu erwarten. Die Frequenz beträgt dabei etwa 200 Hz.

Für Triebwerke der Variante B kann der Brennkammerdurchmesser < 65 mm gewählt werden. Der

Einsatz von erweiterten Rohrenden ist hierbei besonders geeignet.

Variante C ist am günstigsten für Brennkammerdurchmesser < 65 mm einzusetzen. Die Frequenz liegt bei 250 bis 300 Hz.

Triebwerke der Variante B und C haben gegenüber Kraftstoff und Luftdurchsatzänderungen ein stabileres Betriebsverhältnis als Triebwerke der Variante A.

Auf Grund des vorgeschriebenen Maximalgewicht von 500 g für Strahltriebwerke in Flugmodellen liegt der max. mögliche Brennkammerdurchmesser bei etwa 85 mm. Mit einem vom Verfasser eingesetzten Triebwerk der Variante A konnten mit einem leinengesteuerten Geschwindigkeitsmodell (Klasse F2A Kategorie 30) Geschwindigkeiten bis zu 300 km/h erreicht werden (Bild 254).

Der Weltrekordinhaber Lipinski (UdSSR) erreichte mit einem Triebwerk der Variante B 296 km/h.

Beim Betrieb von Pulsotriebwerken sind die hohen Schallpegelwerte von 110 bis 120 dBA, gemessen 15 m hinter dem Triebwerk, zu berücksichtigen. Pulsotriebwerke sind nur für den leinengesteuerten Modellflug unter Berücksichtigung besonderer Sicherheitsbestimmungen zugelassen.

7.3. Impellerantriebe

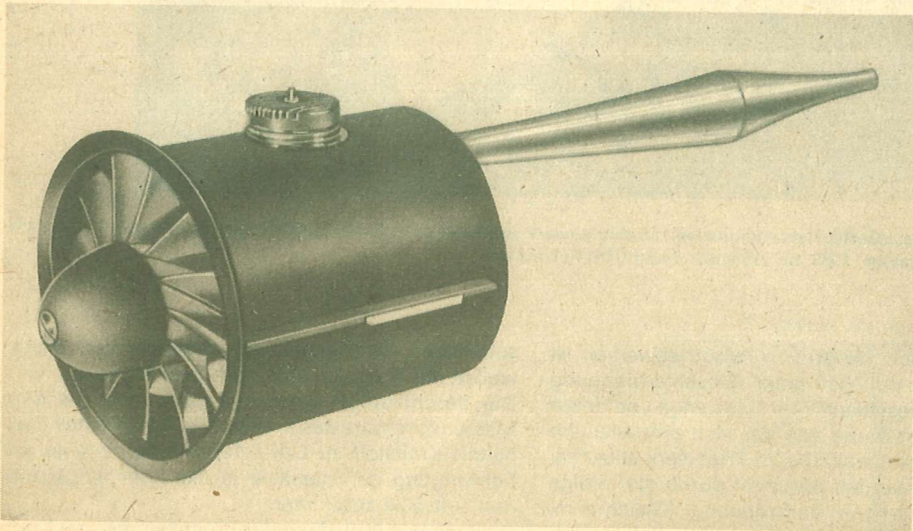


Bild 255 In Schweden serienmäßig gefertigtes Impellertriebwerk mit 10 cm³ Motor und Resonanzauspuff

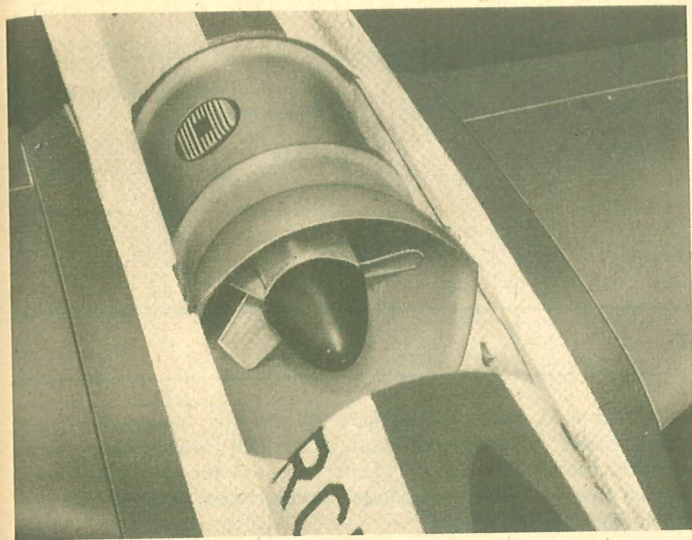


Bild 256
Impeller-Triebwerk der englischen
Firma Mid-West eingebaut, in den
Rumpf eines RC-Flugmodells

Um Modelle von strahlgetriebenen Flugzeugen ein realistisches Aussehen zu verleihen, aber dabei den robusten und zuverlässigen Zweitaktmotor beizubehalten, wurden Impellerantriebe entwickelt und auch serienmäßig gefertigt (Bild 255/256). Prinzipiell ist der Selbstbau von Impellerantrieben relativ einfach und wurde in den verschiedensten Modellbauzeitschriften des öfteren beschrieben. Der Wirkungsgrad dieser Impellerantriebe ist jedoch relativ gering, da die erforderliche Fertigungsgenauigkeit der Lüfterflügel des Impellers und die nötige Spaltbreite zwischen Impeller und Mantel nicht eingehalten werden können. In Großserie gefertigte Impellerantriebe bestehen meist aus Spritzgußteilen, die

mit sehr großer Genauigkeit gefertigt werden, dadurch haben sie einen akzeptablen Wirkungsgrad. Eine weitere Leistungserhöhung ist dadurch möglich, daß die Impeller exakt auf die maximale Leistung eines mit Resonanzauspuff versehenen Motors abgestimmt werden und der Impellerantrieb mit Motor und Resonanzrohr komplettiert wird. Die hohe Motorleistung, die sich durch die Ausnutzung der hohen Motordrehzahlen ergibt, sorgt trotz des geringen Wirkungsgrades des Impellers für eine dem Propeller ebenbürtige Vortriebsleistung. Die hohe Motordrehzahl sorgt außerdem noch für das turbinenähnliche Geräusch, wodurch der naturgetreue Eindruck des Modells noch verstärkt wird.

8. Einsatz der Modellmotoren

8.1. Motor – Luftschaube

Wichtig für das gute Funktionieren eines Flugmodells ist die Abstimmung zwischen Modell, Motor und Luftschaube. Modellmotoren sind nur in der Lage, ihre Leistung bei hohen und höchsten Drehzahlen voll zu entfalten. Kein moderner Modellmotor sollte daher bei Drehzahlen unter 9000 1/min bis 10 000 1/min betrieben werden, da in diesem Bereich meist nur noch, je nach Motorengröße, 40 % bis 70 % der Motorleistung zur Verfügung stehen. Die günstigste Drehzahl für den normalen Gebrauchsmotor liegt zwischen 13 000 1/min und 17 000 1/min, wobei die kleineren Motoren die höhere Drehzahl benötigen. Bei Motoren mit einem Hubraum kleiner als 1 cm³ sollte die Betriebsdrehzahl noch höher liegen.

Da nur wenige Sportler in der Lage sind, Motordrehzahlen zu messen, sind in Bild 257 einige Propellergrößen für die einzelnen Hubraumklassen zusammengestellt. Diese Propellergrößen beziehen sich nicht auf die spezifischen Renn- und Wettkampfklassen, sondern auf allgemeine Sportmo-

delle. Die genaue Berechnung, Konstruktion und Herstellung von Propellern wurde von Horst Schulze in „Luftschauben für Modellantriebe“ (transpress-Modellsportbücherei Band 5, 1980) beschrieben.

Als Grundsatz für die Propellerauswahl innerhalb der in Bild 257 angegebenen Grenzen gelten folgende Faustregeln:

– Große und schwere Modelle: Großer Durchmesser, kleine Steigung.

– Kleine und schwere Modelle mit hoher Flächenbelastung: Kleiner Durchmesser, mittlere Steigung.

– Kleine, leichte und schnelle Modelle: Kleiner Durchmesser, hohe Steigung.

Die sicherste Methode, um mit einem Modell bessere Leistungen zu erreichen, ist in den meisten Fällen ein Heraufsetzen der Motorendrehzahl durch Verwendung eines Propellers mit geringerer Steigung oder mit kleinerem Durchmesser, wobei die Größe des Modells eine Grenze für die Verringerung des Propellerdurchmessers setzt.

Motorhubraum		Selbstzünder	Glühzünder		φ	Steigung
					in mm	
					150	100
					150	120
0,5 cm ³	0,8 cm ³				150	150
					180	75
					180	100
0,8 - 1 cm ³	1,5 - 1,8 cm ³				180	120
					180	150
1,5 cm ³	1,8 - 2,5 cm ³				180	180
					200	100
					200	120
2,5 cm ³	3,5 cm ³				200	150
					230	100
3,5 cm ³	4 - 5 cm ³				230	120
					230	150
5 cm ³	6,5 cm ³				250	100
					250	120
					250	150
					250	180
					280	100
					280	120
7 - 8 cm ³					280	150
					280	180
10 cm ³					280	200
					300	100
					300	120
					300	150
					330	150

Bild 257
Propellerauswahl für Flugmodelle

8.2. Motor – Schiffsschraube

Soll ein Modellmotor im Schiffsmodell betrieben werden, benötigt er, um einen gleichmäßigen Lauf zu gewährleisten, eine Schwungscheibe. Die Größe und Konstruktion der Schwungscheibe richtet sich nach dem Verwendungszweck, der Motorengröße und dem zu nutzenden Drehzahlbereich (siehe Abschnitt 1.2.4.).

Die Schiffsschraubendurchmesser werden nach der Näherungsformel

$$d = k \cdot \sqrt{2432 \cdot N} \quad [\text{mm}]$$

berechnet.

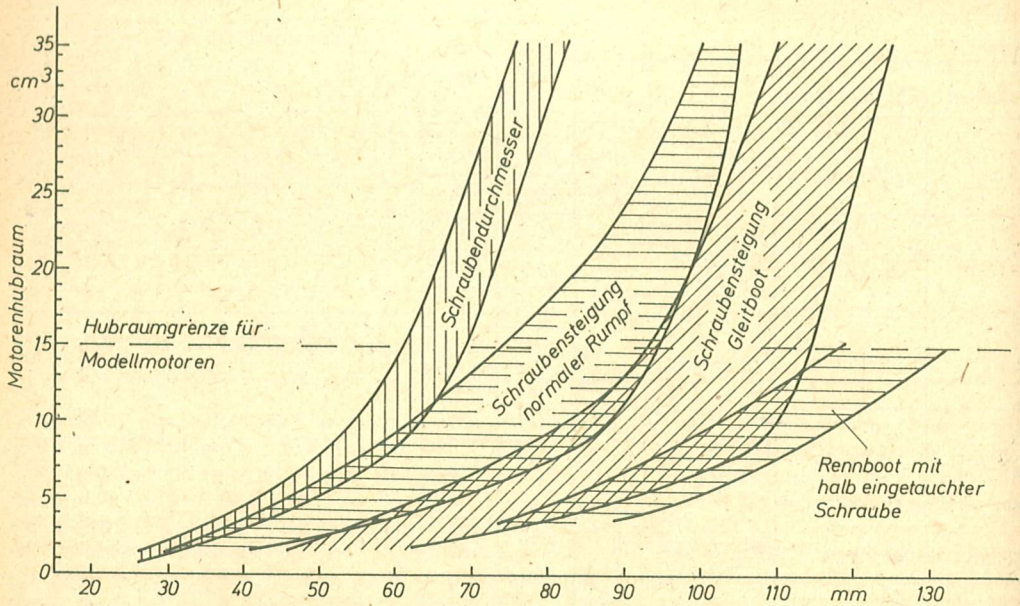


Bild 258 Schraubenauswahl für Bootsmodelle

N ist die Motorenleistung in kW

k ist ein Leistungsfaktor

($k = 1$ für leistungsschwache Motoren)

($k = 0,6$ für Hochleistungsmotoren)

Das Verhältnis Steigung zu Durchmesser liegt zwischen 1:1 bis 2:1.

Benutzt werden sollte:

für schwere Modelle eine Steigung 1 bis 1,4 mal Durchmesser für leichte Modelle und Gleitboote eine Steigung von 1,4 bis 1,8 mal Durchmesser; für Gleitboote mit halb eingetauchter Schraube eine Steigung zwischen 1,8 bis 2 mal Durchmesser.

Für nicht untersetzte Modellbootantriebe mit Modellmotoren ist grundsätzlich die Zweiblattschraube zu bevorzugen.

Für Boote, die häufig beschleunigen müssen, ist zu Gunsten einer besseren Beschleunigung eine kleine Steigung zu bevorzugen (es wird sinngemäß ein niedriger Gang gefahren), die in Verbindung mit einer leichten Aluschwunzscheibe sehr gute Verhältnisse ergibt.

Die Schiffsschraube, die für das jeweilige Modell und den vorgesehenen Motor die besten Ergebnisse bringt, ist nur durch exakt protokollierte Fahrversuche zu finden. In Bild 258 sind einige Erfahrungswerte für die Schiffsschraubenauswahl zusammengestellt.

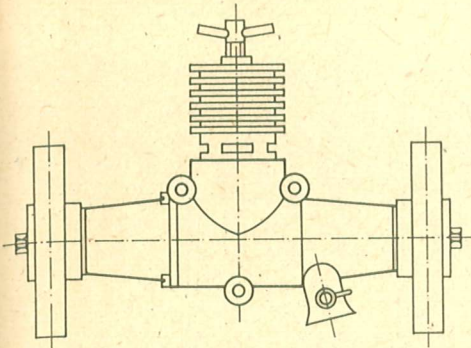
8.3. Motor – Rad

Soll ein Kfz-Modell von einem Modellmotor angetrieben werden, gibt es, ausgehend vom Einsatzzweck des Modells und Drehzahlcharakteristik des Motors, folgende grundsätzliche Lösungsvarianten: – Einfachste Art des Antriebs, der fast ausschließlich für gefesselte Rennautomodelle einsetzbar ist, ist die direkte Befestigung eines Rades auf der Pro-

pellernabe. Bei dieser Bauweise bestimmt der Kurbelgehäusedurchmesser den minimalen Raddurchmesser und damit Motordrehzahl und Fahrgeschwindigkeit (Bild 259).

– Eine präzise Abstimmung zwischen Motordrehzahl bei Höchstleistung, Raddurchmesser und maximaler Fahrgeschwindigkeit ist nur mit Untersetz-

Bild 259 Direkter Antrieb für Auto-Rennmodelle mittels Spezialmotor



zungsgetrieben erreichbar. Für gefesselte Rennmodelle hat sich der starre Antrieb beider Hinterräder bewährt.

– Bei beiden Antriebsarten wirken Räder und Getriebe als Schwungmasse. Auf den Einbau einer Fliehkraftkupplung kann verzichtet werden, da diese Modelle durch Anschieben auf der Piste gestartet werden.

– Für funkgesteuerte Rennautomodelle und Funktionsmodelle, die aus eigener Kraft anfahren müssen, ist sowohl eine Schwungscheibe als auch eine Fliehkraftkupplung notwendig (siehe Abschnitte 10.6. und 10.7.). Sowohl der Antrieb eines Rades als auch der Antrieb beider Hinterräder unter Einsatz eines Differentials sowie der Allradantrieb sind üblich.

Zur Erzielung einer befriedigenden Funktion ist die Verwendung sehr breiter Reifen aus verschiedenen, den Fahrbahnverhältnissen angepaßten Laufflächenmischungen, notwendig. Die Getriebe werden bei den Rennwagen so ausgelegt, daß die Höchstgeschwindigkeit von z. Z. etwa 120–140 km/h bei Drehzahlen von etwa 32 000 1/min erreicht werden.

Für Funktionsmodelle von LKW und Kettenfahrzeugen werden auch vereinzelt Schaltgetriebe eingesetzt.

9. Kraftstoffe

9.1. Benzinmotoren

Die historischen Modellbenzinmotoren mit Graugußzylinder und Aluminiumkolben mit Kolbenringen wurden mit einem Öl-Benzin-Gemisch von 1:25 betrieben. Motoren mit eingeläppter Paßgruppe (Stahlzylinder – Graugußkolben) benötigen Gemische zwischen 1:10 und 1:7. Generell ist es auch möglich, solche Motoren mit Kerzenzündung mit Methanol zu betreiben. Es tritt dann gegenüber dem Benzinbetrieb eine Leistungssteigerung von

etwa 20 % bei etwa doppeltem Kraftstoffverbrauch auf. Bei der Verwendung von Benzin kann an Stelle von Rizinusöl auch normales Motorenöl oder spezielles Zweitaktöl verwendet werden. Um das richtige Mischungsverhältnis zu garantieren, sollte man keine Zweitaktgemische aus der öffentlichen Zapfsäule benutzen, sondern sich das Gemisch selbst in einem Meßglas herstellen.

9.2. Selbstzündermotoren

Selbstzündermotoren benötigen folgende Kraftstoffkomponenten:

(Bild 260)

Öl: Anteil 5 % bis 30 %

Als Öl kommen Rizinusöl, unlegiertes Motorenöl, Paraffinöl oder gefettetes Rennöl in Frage, wobei das Rennöl zum überwiegenden Teil aus Rizinusöl besteht.

Petroleum: Anteil 25 % bis 62 %

Das Petroleum dient als Energieträger. Es kann durch Kraftstoffe für Strahltriebwerke (z. B. TS I Kerosin) ersetzt werden.

Die Verwendung von Dieselöl ist nicht zweckmäßig, da sich Zündprobleme ergeben können. Vereinzelt wurde für Hochleistungskraftstoffe statt Petroleum Nitrobenzol empfohlen. Nitrobenzol ist jedoch hoch giftig und deshalb abzulehnen. Außerdem sind keine spürbaren Verbesserungen des Laufverhaltens zu verzeichnen; der Motor wird höchstens noch kritischer in der Einstellung.

Äther: Anteil 18 % bis 50 %

Der Äther dient als Zündhilfe und Energieträger. Geeignet sind sowohl technischer als auch medizinischer Äther.

Mit einem Kraftstoff, der die drei angeführten Bestandteile in einem beliebigen Mischungsverhältnis innerhalb der angegebenen Grenzen besitzt, muß jeder Selbstzündermotor laufen.

Amylnitrit: Anteil bis 3 %

Um jedoch bei Hochleistungsselbstzündern einen sauberen Motorenlauf bzw. höchste Leistung zu erzielen, benötigt man noch eine vierte Kraftstoffkomponente, die die Aufgabe hat, den Zündzeitpunkt in Richtung Frühzündung zu verstellen, um so den Verbrennungsablauf den höheren Drehzahlen anzupassen. Dazu wird im allgemeinen Amylnitrit oder Amylnitrat benutzt. Beide Stoffe unterliegen den Bestimmungen des Giftgesetzes. Sie sind nur über die modellsporttreibende Organisation beschaffbar, von der ein Giftverantwortlicher zu benennen ist, der eine sogenannte Gifterlaubnis erwerben muß.

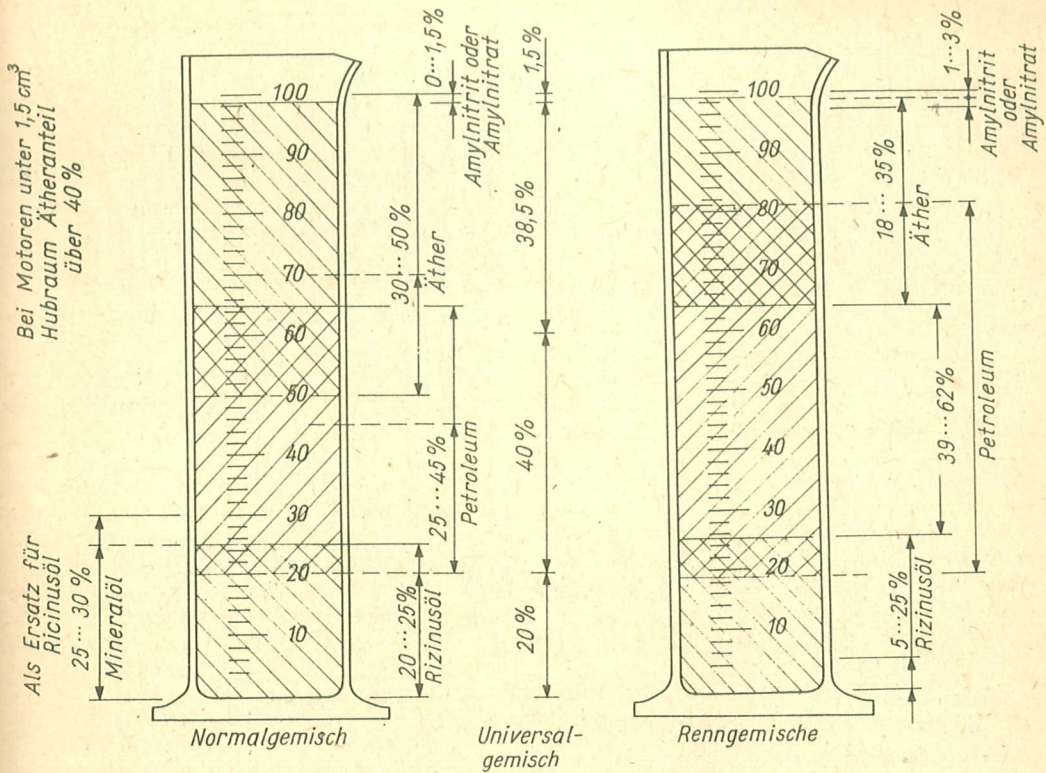


Bild 260 Kraftstoffmischungen für Selbstzündermotoren

Lagerung und Ausgabe solcher Stoffe unterliegen besonderen Vorschriften.

Der höchste Anteil an Amylnitrit oder Amylnitrat, der dem Kraftstoff zugesetzt werden sollte, beträgt 3%. Ein höherer Anteil bringt keine weitere Leistungssteigerung.

Nitrobenzol: Anteil bis 3%

Speziell für die Klasse F2C (Team-Racing) wird noch oft mit einem Anteil von maximal 3% Nitrobenzol im Kraftstoff gearbeitet, um eine „weichere“ Verbrennung zu erzielen. Dieser Effekt ist aber kaum nachweisbar, und das Nitrobenzol im Kraftstoff hat wohl mehr „moralischen“ Wert.

9.3. Glühzündermotoren

Die Glühzündermotoren werden mit einem Gemisch aus 16% bis 25% Rizinusöl und 75% bis 84% Methanol betrieben. Es können anstatt des Methanols auch andere Alkohole verwendet werden, die jedoch dann eine andere Leistung und ein anderes Laufverhalten ergeben (siehe Bild 5).

Um bei niedriger Außentemperatur leichter die Betriebstemperatur des Motors halten zu können, ist

der Zusatz von maximal 10% Benzin im Kraftstoff vorteilhaft.

Den entgegengesetzten Effekt bei hoher Außentemperatur erzielt man mit der gleichen Menge Äther im Kraftstoff.

Ein Austausch des teuren Rizinusöls gegen normales Motorenöl ist nicht möglich, da sich Motorenöle nicht mit Methanol mischen. Lediglich mit Hilfe

Äther bei Motorüberhitzung
Benzin bei Motorunterkühlung

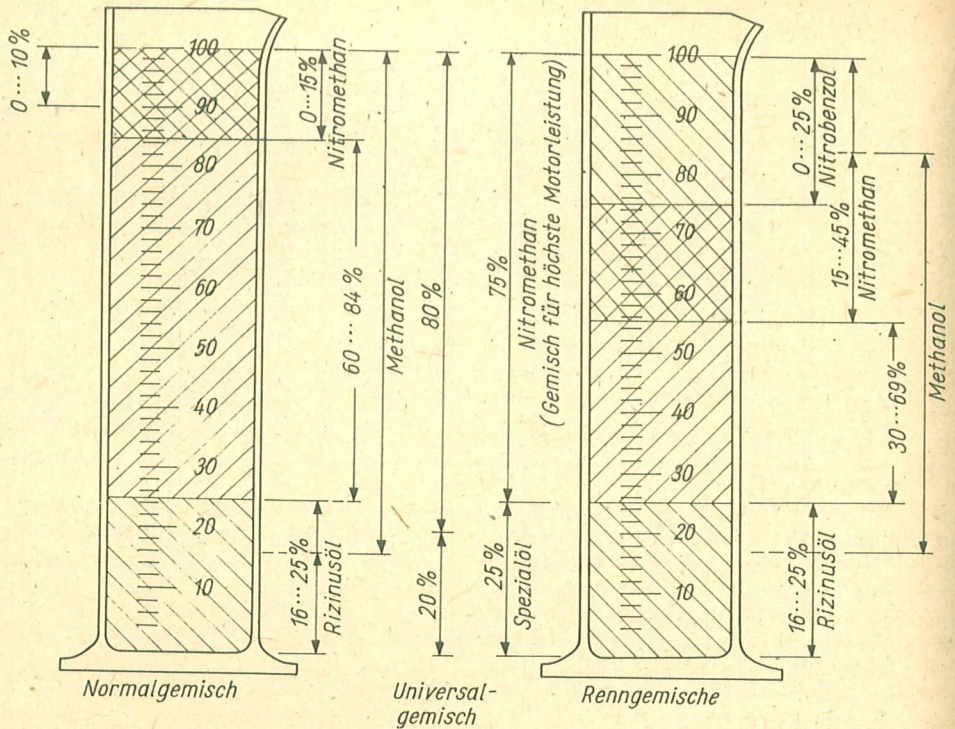


Bild 261 Kraftstoffmischungen für Glühzündermotoren

der Frischölaufomatik (siehe Abschnitt 10.10.) ist es möglich, Motorenöl zu verwenden, da es getrennt dem Motor zugeführt wird.

Bild 261 gibt einige Gemische für Glühzündermotoren an. Da in den meisten Modellsportklassen jedoch Standardkraftstoffe vorgeschrieben sind, haben die in Bild 261 aufgeführten Renngemische nur noch für Rekordversuche Bedeutung.

Interessant ist das linke Renngemisch. Es ergibt doppelte Motorleistung, kann aber nur mit einem speziell aufbereiteten Rizinusöl (Castrol R), synthetischem Öl oder mit Frischölaufomatik benutzt werden, da sich normales Rizinusöl nicht mit Nitromethan mischt.

9.4. Strahltriebwerke

Modellstrahltriebwerke werden üblicherweise mit normalem Benzin betrieben. Es eignen sich sowohl Leichtbenzin, Benzin-Gasolin-Petroleum-Gemische als auch hochoktaniges Superbenzin. Erfahrungen bei etlichen Rekordversuchen zeigten, daß Superbenzin gute Ergebnisse bringt.

10. Motorenzubehör

10.1. Vergaser

Der Vergaser eines Modellmotors zählt im allgemeinen nicht zum Zubehör, da er Motorbestandteil ist. Da sich bei vielen Motoren die RC-Versionen von der Rennversion nur durch den Drosselvergaser unterscheiden, sollen hier einige Bauarten von Vergasern beschrieben werden. Folgende Arten sind bekannt:

- Spritzvergaser mit zentralem Düsenstock
- Ringvergaser
- Spezial- und Rennvergaser
- Drosselvergaser ohne Kraftstoffregelung
- Drosselvergaser mit Kraftstoffregelung

Die älteste Vergaserbauart für Modellmotoren ist der Spritzvergaser.

Unterschiede gibt es lediglich in der Anordnung und Form des meist quer durch die Luftbohrung führenden Düsenstocks.

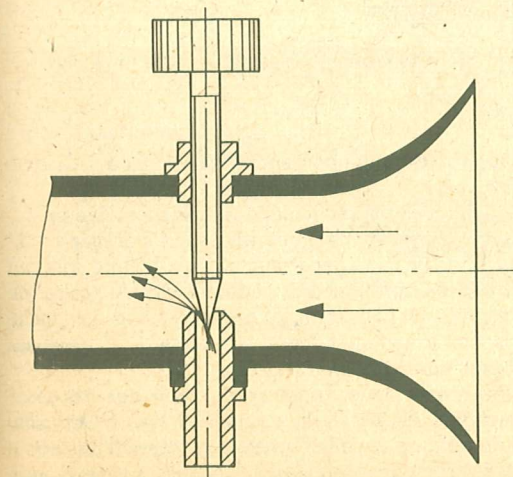


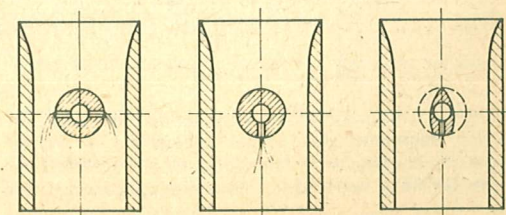
Bild 262 zeigt einen Vergaser mit geteiltem Düsenstock. Er hat den Vorteil, daß nur die sehr dünne Düsenadel durch den Vergaser geführt ist und ihn dadurch nicht so sehr verengt wie ein voller Düsenstock.

Im Bild 263 sind die Möglichkeiten der Ausführung eines Düsenstocks dargestellt. Beim Zusammenbau des Düsenstocks nach Bild 263 ist unbedingt die Lage der Kraftstoffbohrungen genau einzuhalten, da sonst kein Kraftstoff angesaugt wird. Durch Zuarbeiten des vorher runden Düsenstocks gemäß Bild kann man auf Grund der Verringerung des Strömungswiderstandes mit einem Drehzahlzuwachs von ca. 500 1/min bei Nennleistung rechnen.

Die Ringvergaser mit ihrem durch keine Einbauten gestörten glatten Luftschacht ergeben die höchste

Bild 262 Das Bild zeigt einen Spritzvergaser mit geteiltem Düsenstock (schematisch)

Bild 263 Querschnitte verschiedener Düsenstöcke



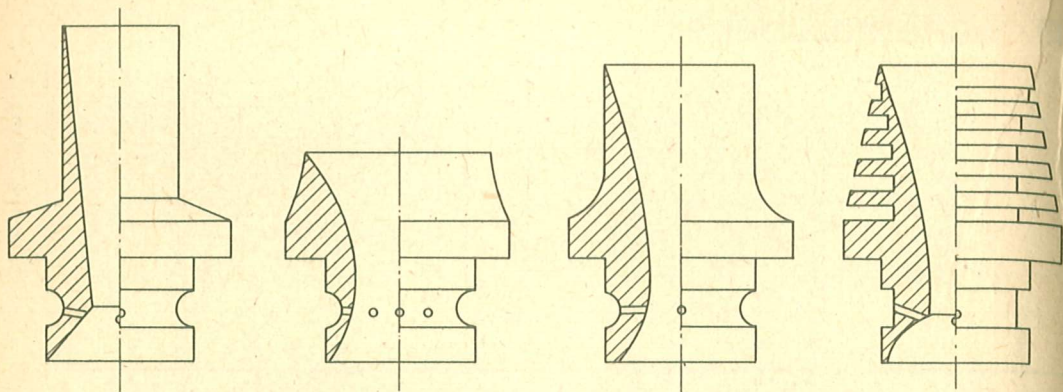


Bild 264 Verschiedene gebräuchliche Ausführungsformen von Ringvergaseinsätzen

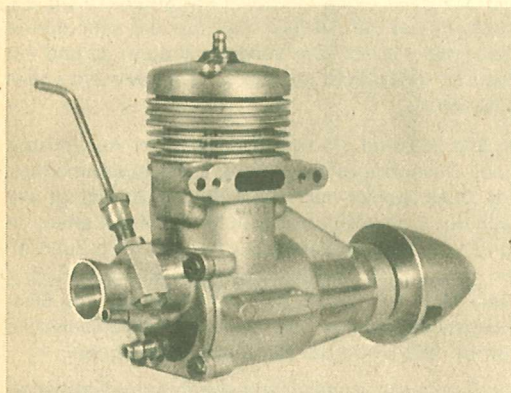


Bild 265 Auf diesem Bild vom Super Tigre G 15 RV (2,5 cm³) sind der einseitig sitzende Düsenstock für den Spritzvergaser und der drehchiebergesteuerte Drucktankanschluß gut zu erkennen.

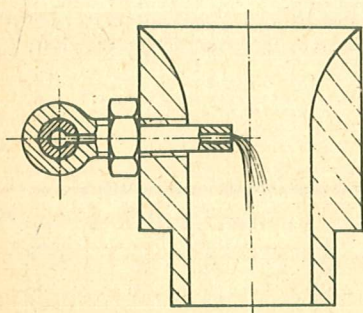


Bild 266 In letzter Zeit treten Vergaser der hier gezeigten Form im Rennmotorenbau immer häufiger auf. Ihr Vorteil ist die bessere Gemischaufbereitung, da der Kraftstoffaustritt in der Zone der höchsten Strömungsgeschwindigkeit liegt.

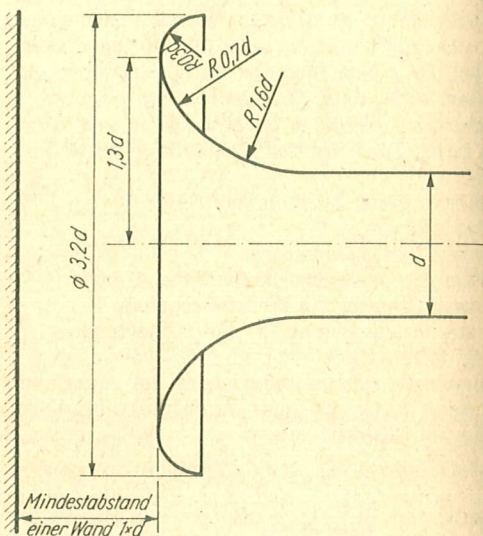


Bild 267 Der ideale Ansaugtrichter nach Prof. E. Ansong

Motorenleistung und gehören schon zu der Gruppe der Spezial- und Rennvergaser.

Bild 264 zeigt verschiedene Ringvergaserarten. Gut bewährt im Rennbetrieb haben sich auch Vergaser mit einseitiger Kraftstoffeinspritzung, die auf Grund des großen Querschnittes des Ausgangskanals nur mit Drucktank zu betreiben sind. Die italienische Firma Super Tigre verwendet u. a. Vergaser dieser Konstruktion (Bild 265).

Eine relativ neue Konstruktion stellt der Vergaser nach Bild 266 dar. Er bewirkt eine bessere Gemischaufbereitung, da der Kraftstoff im Bereich der höchsten Strömungsgeschwindigkeit der Luft zugegeben

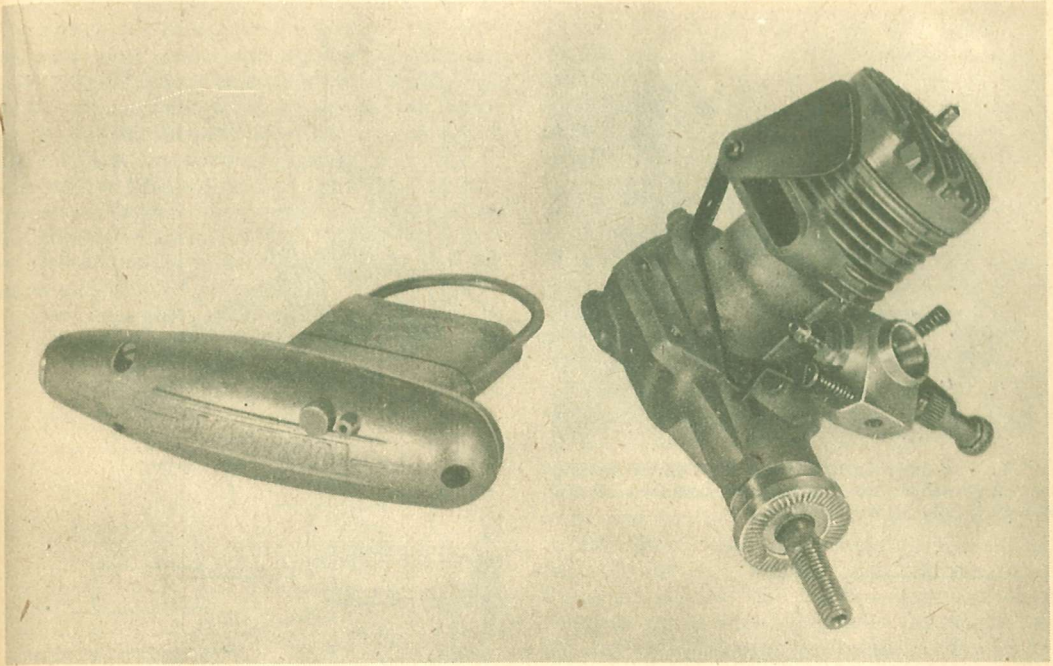


Bild 268 Der Merco 29 „Multi-speed“ (5 cm³) kann wahlweise mit Drosselklappe am Auspuff oder Einkammerschalldämpfer ausgerüstet werden. Sein Vergaser arbeitet ohne Kraftstoffregulierung.

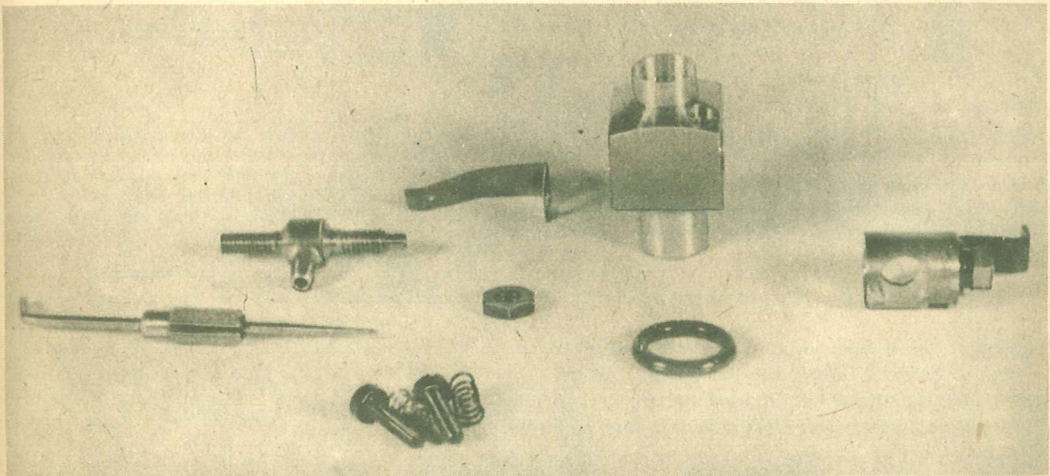


Bild 269 Den relativ unkomplizierten Aufbau eines Vergasers ohne Kraftstoffregulierung zeigt dieser zerlegte Vergaser von MVVS

wird. Mit einem Vergaser dieser Art ist u. a. der italienische Rossi RV ausgerüstet. Aus wirtschaftlichen Gründen und aus Platzgründen

sind die Ansaugtrichter aller Modellmotorenvergaser nur keglig aufgeweitet oder in einem leichten Bogen ausgeführt. Bild 267 zeigt den idealen An-

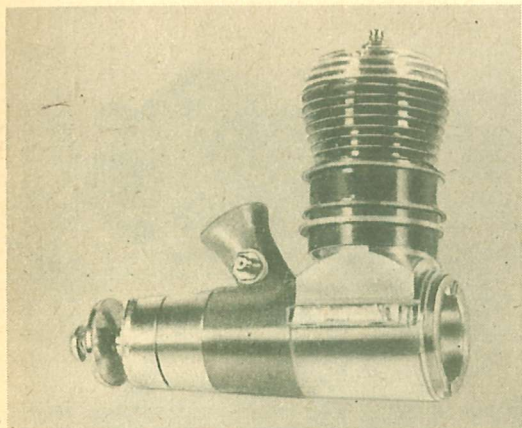


Bild 270 An diesem Cox-Medaillon 15 ist ein Drosselring über den Auslaßschlitzen montiert, mit dem die Drehzahl des Motors reguliert werden kann

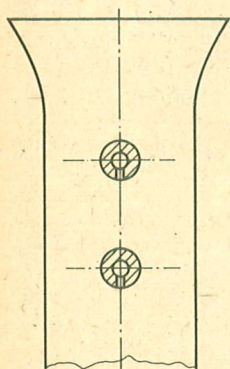


Bild 271 Mit zwei derart angeordneten Düsenstöcken kann durch Zu- bzw. Abschalten des einen Düsenstocks die Drehzahl eines Selbstzündermotors in zwei Stufen reguliert werden

saugtrichter, der von dem Strömungstechniker E. Ansong entwickelt wurde. Modellsportler, die genügend Platz in ihrem Rennmodell haben, sollten ihn verwenden, wenn sie Wert auf „ein paar Umdrehungen mehr“ legen.

Die einfachste Form des Drosselvergasers ist die Bauart, bei der die Luftzufuhr mit einer Luftklappe oder einem Küken gedrosselt wird. Da hierbei zwangsläufig der Luft zuviel Kraftstoff zugesetzt wird, läuft der Motor zu fett. Um dennoch einen sauberen Lauf zu erreichen, wird meist gleichzeitig mit dem Schließen der Vergäsertrossel eine Auspuffdrossel betätigt (Bild 268). Den relativ einfachen

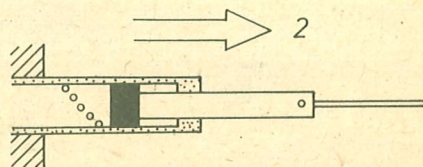
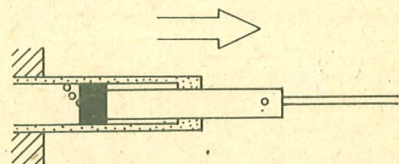
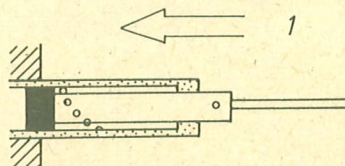
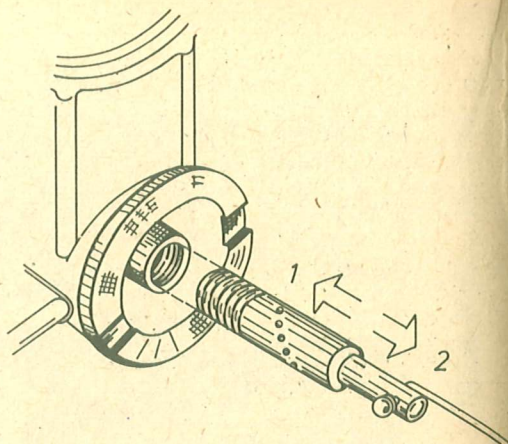


Bild 272 Diese Vorrichtung zum gesteuerten Abblasen des Kurbelgehäusedrucks ist eine unkomplizierte und leicht im Selbstbau herstellbare Drosseleinrichtung
1 = schnell; 2 = langsam

Aufbau solch einer „Versaufdrossel“ zeigt Bild 269. Eine weitere Möglichkeit des Drosselns von Modellmotoren ist die Auspuffdrossel. Sie wird bei kleinen Glühzündern mit Vorliebe verwendet. Die amerikanische Firma Cox bietet sie für fast alle ihre Motoren an (Bild 270).

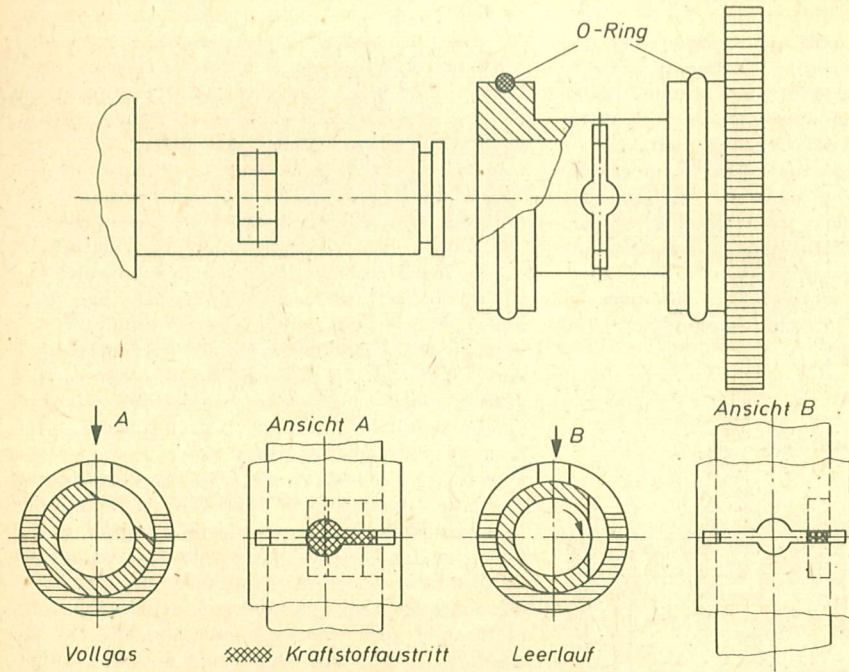


Bild 275 Form der Kraftstoffregulierungselemente des Perry-Vergasers. Da im gedrosselten Zustand der Kraftstoff durch den schmalen Schlitz fließt, ist dieser Vergasertyp gegenüber verschmutztem Kraftstoff sehr empfindlich.

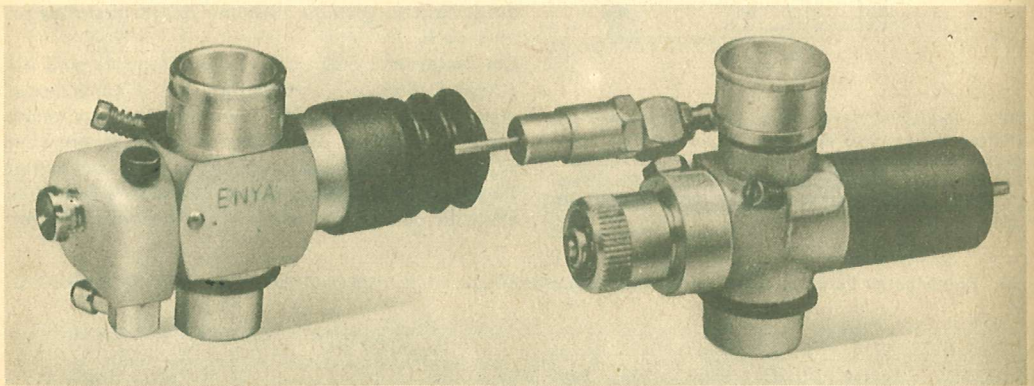


Bild 276 Zwei Rundschiebervergaser für Modellrennwagen

pumpe ausgelegt. Sein Düsenstock mit dem Kraftstoffregulierungsschlitz liegt außerhalb der Vergaserebene seitlich neben dem Schieber. Durch diese Bauweise wird die Luftströmung im Vergaser durch keine Einbauten gebremst. Um ein sicheres Gasannehmen zu garantieren, besitzt dieser Vergaser

eine Beschleunigerpumpe, d. h. beim Öffnen des Vergasers wird dem Motor eine bestimmte Kraftstoffmenge durch den Vergaser zusätzlich zugeführt (siehe Bild 213).

Trotz sehr großem Durchmesser des Lufttrichters haben diese Vergaser eine geringe Baugröße und

ein geringes Gewicht. Soll im Modell das schlagartige Gasanehmen des Motors mit diesem Vergaser genutzt werden, dann ist es unbedingt erforderlich, die Schwungmasse gering zu halten, um einem Bruch der Kurbelwelle vorzubeugen. Es sind also leichte Propeller bzw. leichte Schwungscheiben zu benutzen.

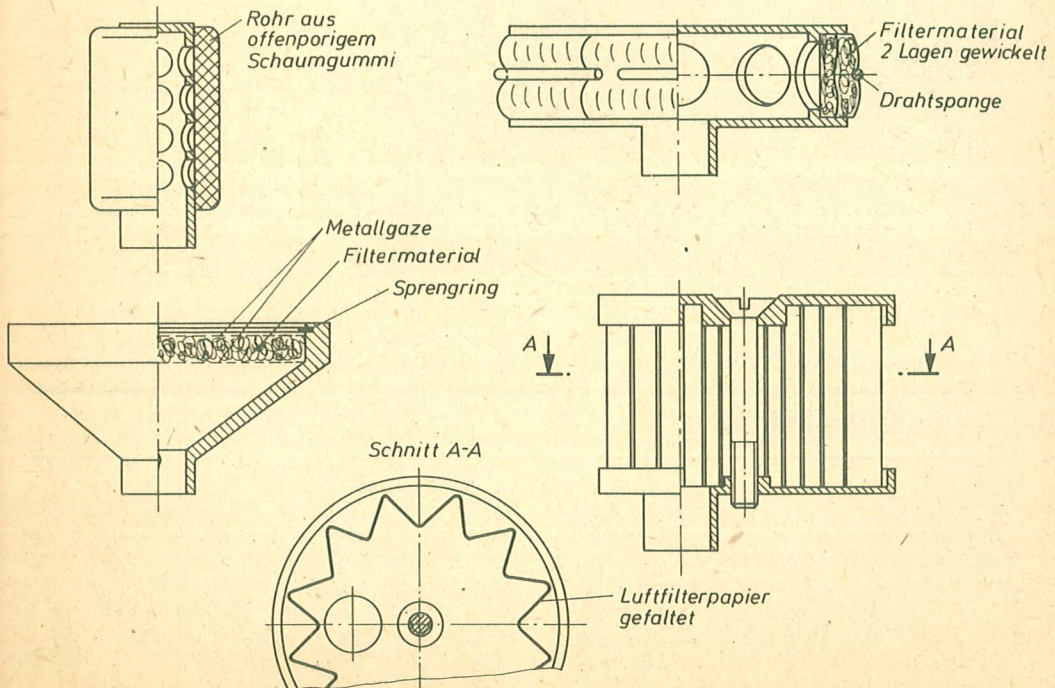
Die Rundschiebervergaser arbeiten ähnlich den Motorradvergäsern mit zentrisch zum Schieber stehender Düsennadel. Bild 276 zeigt zwei Rundschiebervergaser für Rennautomodelle. Der Vorteil des Rundschiebervergäsert besteht in einer gleichmäßigen Gemischaufbereitung über den gesamten Drehzahlbereich sowie einer geringen Baugröße.

10.2. Luftfilter

Prinzipiell erhöht sich die Lebensdauer eines Modellmotors, wenn das Eindringen von Fremdkörpern durch die Ansaugluft verhindert wird. Daher sollte jeder Modellsportler, ausgehend von seinem speziellen Trainingsgelände entscheiden, ob ein Luftfilter an seinem Motor notwendig ist oder nicht. Bei Automodellen sollte auf keinen Fall auf ihn verzichtet werden. Beim Bau von Luftfiltern ist die Drosselwirkung des Filters für den Motor zu berücksichtigen, d. h. die Filteroberfläche kann nicht groß genug sein. Bild 277 zeigt an einigen Beispielen den Aufbau von Luftfiltern.

Als Filterwerkstoff eignet sich offenporiger Schaumgummi bzw. Polyurethan, wie er in Badeschwämmen verwendet wird, feine Metall- oder Kunststoffgaze, Kunststofffilz, wie er zur Grobfilterung bei Pkw-Motoren Verwendung findet oder Filterpapier von Pkw-Luftfiltern. Es gibt auch bereits fertige Papier-Luftfilter für Modellmotore (Bild 278). Derartige Papier-Luftfilter lassen sich auch, wie in Bild 279 gezeigt, aus Filterpapier von Pkw-Luft- oder Benzinfiltern selbst fertigen.

Bild 277 Verschiedene Möglichkeiten des Aufbaus von Luftfiltern



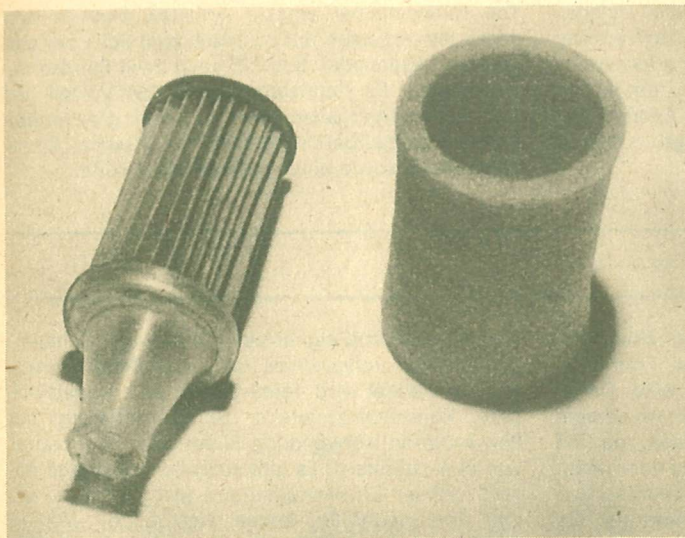


Bild 278
Industriell gefertigter Papier-Luftfilter
für Modellmotoren

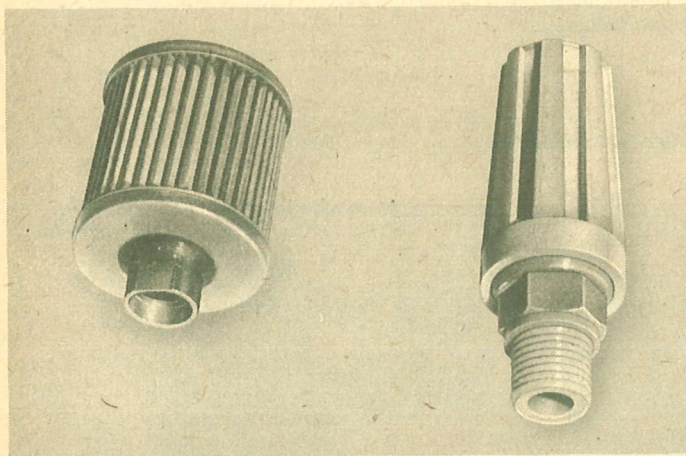


Bild 279
Papierluftfilter für Modellmotoren,
gefertigt aus einem Kraftstofffilter für
PKW und aus einem
Pneumatik-Geräuschdämpfer

10.3. Abgasschalldämpfer

Abgasschalldämpfer herkömmlicher Bauart stellen meist eine Expansionskammer oder eine Kombination mehrerer Expansionskammern dar, in der das Verbrennungsgas in einer oder mehreren Stufen entspannt und abgekühlt wird, bevor es in die Atmosphäre austritt (Bild 280). Die Größe der ersten Expansionskammer sollte nicht kleiner als $6 \times$ Motorhubraum sein. Mit Verkleinerung des Austrittsquer-

schnitts verringert sich bei diesen Abgasschalldämpfern auch die Schallabstrahlung und im gleichen Verhältnis die Motorleistung. Diese Abgasschalldämpfer sind dort angebracht, wo ein geringer Platzbedarf für den Abgasschalldämpfer zur Verfügung steht und die Motorleistung nur von untergeordnetem Interesse ist, wie z. B. naturgetreue Flugmodelle, Schiffmodelle, Hubschrauber.

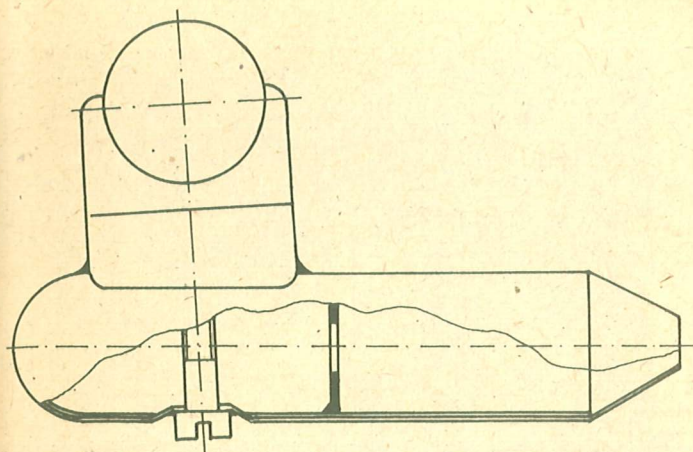


Bild 280
Zweikammerschalldämpfer, wie er von den F2B-Fliegern benutzt wird. Er hat bei sehr guter Geräuschkämpfung ein Minimum an Leistungsverlust.

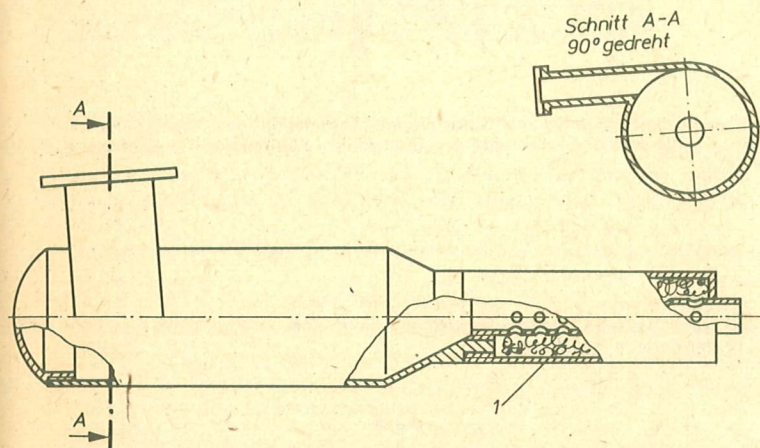


Bild 281 Querschnitt durch eine Kombination von Einkammer- und Absorbtdämpfer. Bei allen Ein- und Mehrkammerdämpfern sollte, wie hier dargestellt, das Auspuffgas radial in die erste Kammer strömen, um eine Stauwirkung zu vermeiden. 1 - Stahlwolle

Eine modernere Art der Abgasschalldämpfer stellen die Absorbtdämpfer dar, die im allgemeinen als Zusatzdämpfer für herkömmliche Abgasschalldämpfer in Einkammerbauart verwendet werden. Bei diesen Dämpfern wird das Auspuffgas durch ein gelochtes Rohr geführt, das wiederum in einem zweiten Rohr steckt und mit ihm starr verbunden ist. Der Zwischenraum zwischen den Rohren ist mit Stahlwolle gefüllt. Die Dämpfungswirkung ist sehr hoch. Es ist möglich, durch eine Kombination von Einkammerdämpfer und Absorbtdämpfer einen hohen Dämpfungsgrad bei sehr geringem Leistungsabfall zu erreichen, wenn der Absorbtdämpfer als Endrohr ausgebildet ist und der Rohrquerschnitt das 1- bis 1,5fache des Auspuffquer-

schnitts des Motors beträgt, wie es im Bild 281 dargestellt ist.

Generell sollte bei der Montage eines Abgas-Schalldämpfers versucht werden, das fest mit dem Motor verbundene Bauteil so leicht wie nur möglich zu gestalten und den oder die eigentlichen Abgas-Schalldämpfer fest mit dem Modell zu verbinden. Die Verbindung zwischen Dämpfer und Motor muß elastisch erfolgen, z. B. mit Silikonschlauch. Es ist dabei jedoch auf jeden Fall zu verhindern, daß das Auspuffgas längere Strecken durch einen Schlauch geleitet wird, da die elastischen Wände des Silikonschlauchs mit dem Auspuffgas schwingen und somit die Motorleistung stark herabsetzen.

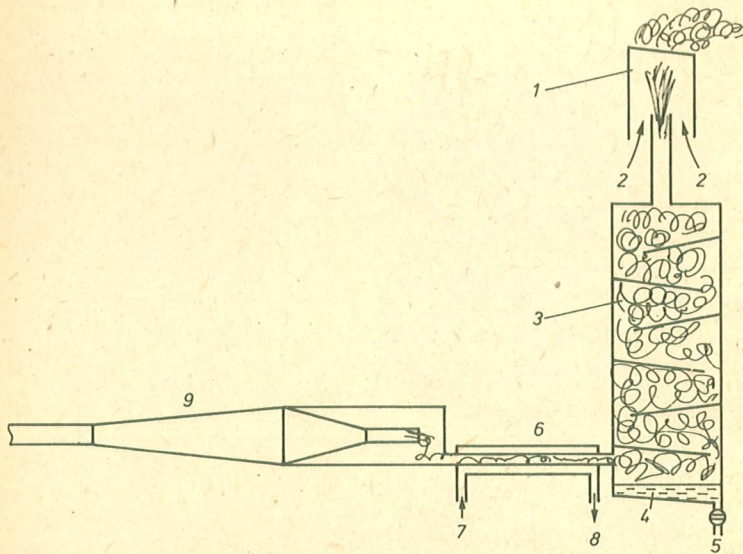
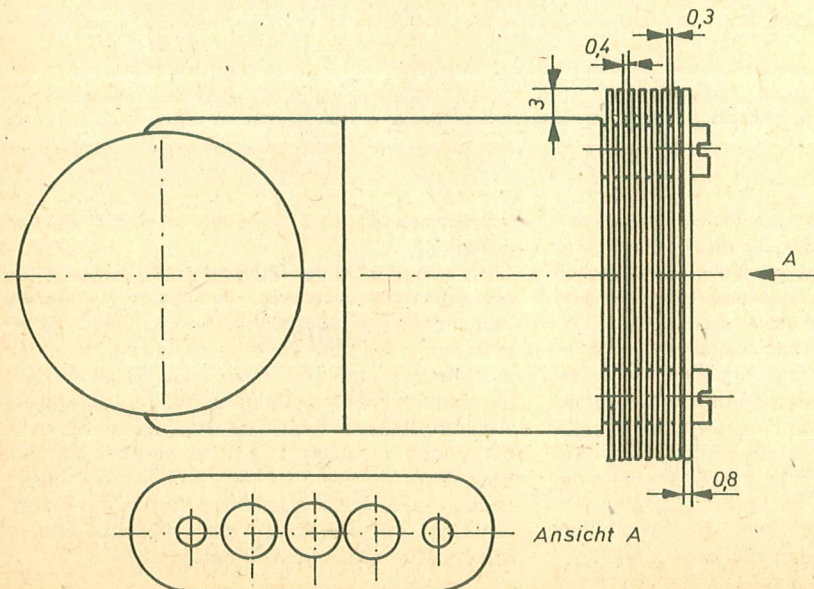


Bild 282 Vorschlag zur Gestaltung einer Auspuffanlage für Schiffsmodelle mit Ölabscheider und Abgaskühler
 1 – Rauchgaskanal im Modell; 2 – Luft; 3 – Stahlwolle; 4 – Ölsumpf; 5 – Ölablaß; 6 – Kühlstrecke; 7 – Kühlwasserzulauf;
 8 – zur Motorkühlung; 9 – Auspufftüte;

Bild 283 Dieser Blättchendämpfer verursacht bei relativ guter Schalldämpfung nur einen Drehzahlverlust von 350 1/min an einem 10 cm³-Motor. Sein Vorteil ist der geringe Platzbedarf.



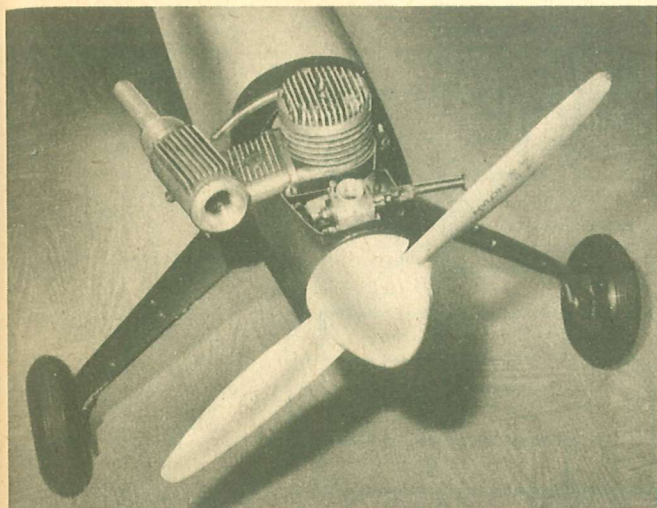


Bild 284
Schalldämpfer mit Abgaskühlung durch
Kaltluftzusatz für Flugmodelle

Bei Schiffsmodellen empfiehlt es sich einen Ölabscheider zwischen zu schalten, um die Wasserverschmutzung in Grenzen zu halten. Der Aufbau einer derartigen Auspuffanlage für Schiffsmodelle zeigt Bild 282.

Eine interessante, weil platzsparende Konstruktion zeigt Bild 283.

Dieser, von einer nordamerikanischen Firma entwickelte Dämpfer soll an einen 10-cm^3 -Motor nur einen Drehzahlverlust von 350 1/min verursachen gegenüber 650 1/min bei herkömmlichen Zweikammerdämpfern. Von den im Bild sichtbaren 8 Dämp-

ferblättchen bestehen 7 aus $0,3\text{ mm}$ dickem Blech und das äußere aus $0,8\text{ mm}$ dickem Blech. Die Dämpferblättchen sollen 3 mm über den Auspuffschacht hinausragen und die Distanzscheiben sollen $0,4\text{ mm}$ dick sein.

Ebenfalls eine gute Lösung stellen die Abgasschalldämpfer dar, die nach dem Prinzip der Abgaskühlung durch Kaltluftzusatz arbeiten. Bei entsprechender Dimensionierung ist ihr Leistungsverlust sehr gering. Sie erreichen allerdings nur eine geringe Dämpfung. (Bild 284)

10.4.: Leistungssteigernde Abgasschalldämpfer

Aus der Kombination von Auspufftüte und Schalldämpfer ergibt sich der leistungssteigernde Abgasschalldämpfer. Er stellt die zur Zeit höchste Entwicklungsstufe in der Abgasschalldämpfung von Modellmotoren dar. Wie die Berechnung des leistungssteigernden Teiles solch eines Dämpfers zu erfolgen hat, ist bereits in Abschnitt 6.1.9. ausführlich nachzulesen. Der sich anschließende Schalldämpfer kann an eine vorhandene Auspufftüte angesetzt werden, wie es Bild 285 zeigt oder mit der Auspufftüte ein gemeinsames Bauteil bilden, wie es Bild 286 zeigt. Bei diesem Abgasschalldämpfer handelt es sich um eine Konstruktion, bei der die erste Dämpferkammer als Reihenfilter ausgelegt ist. An den Reihenfilter schließt sich ein Absorbtdämpferteil an.

Bei verschiedenen, vom Verfasser vorgenommenen Leistungs- und Schallmessungen, ergab dieser Dämpfer die günstigsten Werte. Eine Konstruktion mit gestaffelten Reihenfilter älterer Bauart zeigt Bild 287. Bei ihm ist das leistungssteigernde Teil nach einer älteren Berechnungsmethode ausgelegt. Die Leistungskurve an einem 10 cm^3 Moki-Motor sowie die Schallabstrahlung dieser Schalldämpfer zeigt Bild 288. Deutlich ist die ca. 40% ige Leistungssteigerung, die sich durch den Betrieb mit leistungssteigerndem Abgasschalldämpfer ergibt, zu sehen, sowie der mit der Drehzahl steigende Schallpegel. Daraus resultiert, daß die Maßnahmen zur Schalldämpfung mit steigender Betriebsdrehzahl vergrößert werden müssen, wobei eine große Rolle die Schallabstrahlung durch die schwingende Seiten-

Bild 285
 Verschiedene Ausführungsformen von Nachschalldämpfern für Auspufftäten

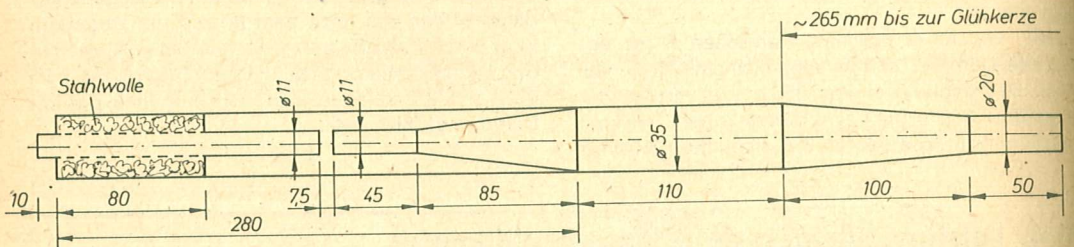
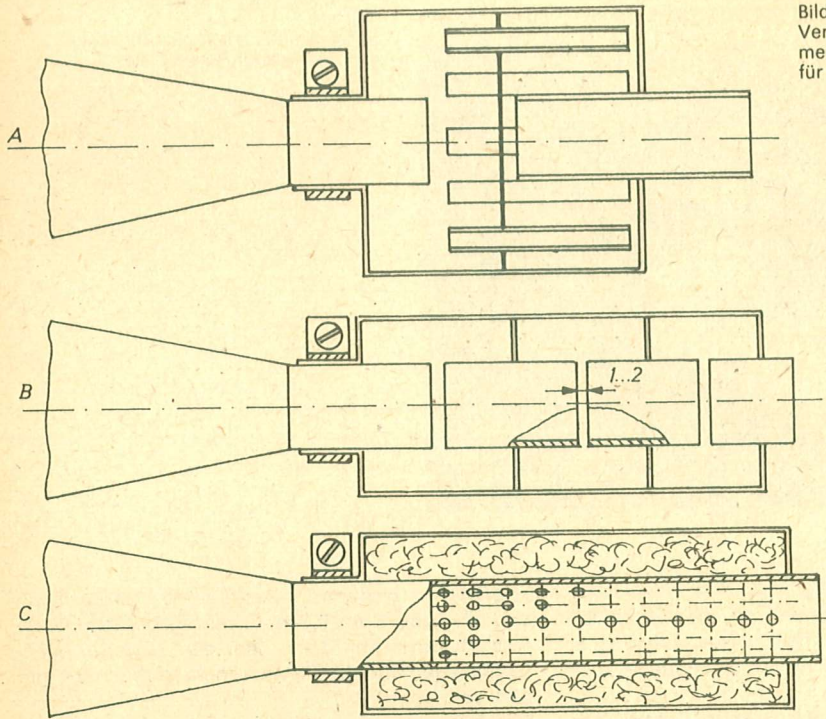
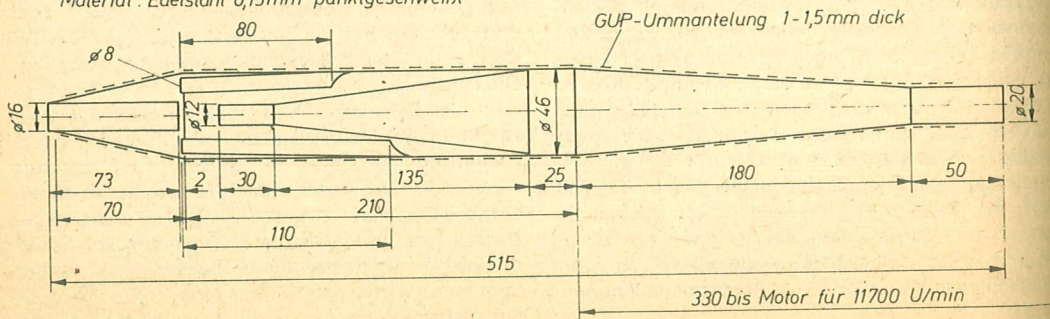


Bild 286 Auspufftüte und mehrteiliger Schalldämpfer für 10 cm³-Motoren zum leistungssteigernden Schalldämpfer zusammengefaßt (für ca. 15 000 1/min)

Bild 287 Leistungssteigernder Schalldämpfer älterer Bauart mit gestaffeltem Reihenfilter

Material: Edelstahl 0,15mm punktgeschweißt



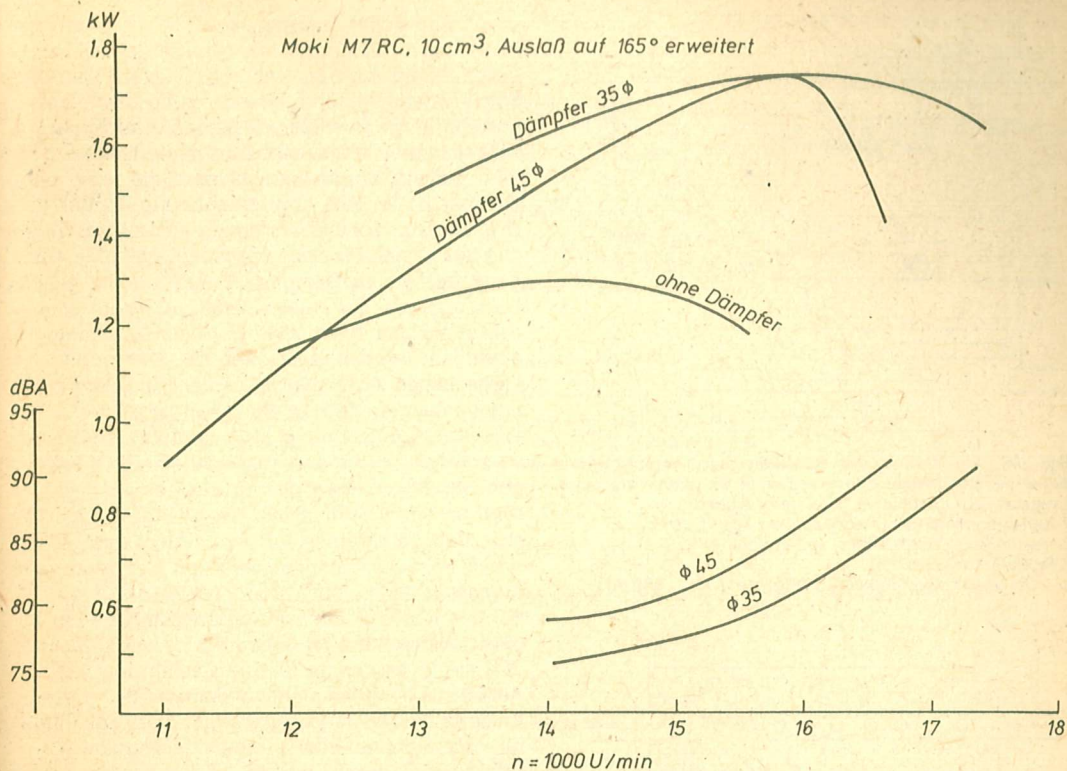


Bild 288 Leistungskurven und Kurven der Schallabstrahlung eines Moki M 7 (10 cm³) ohne Schalldämpfer und mit den leistungssteigernden Schalldämpfern nach Bild 286 und 287

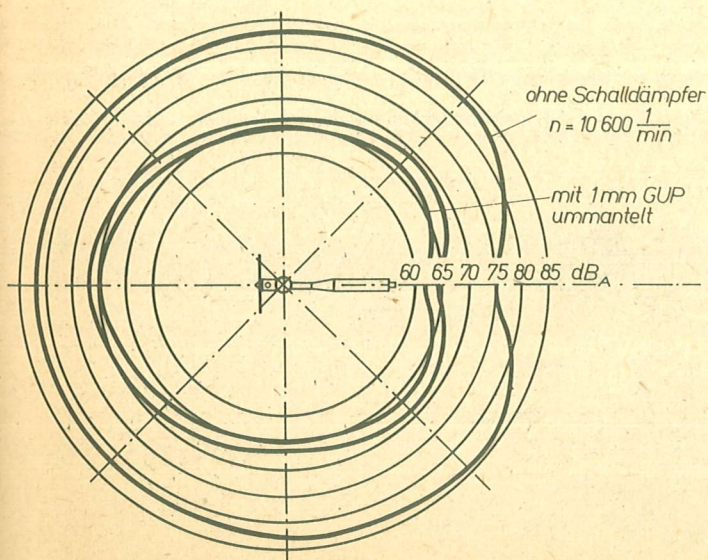


Bild 289 Schallabstrahlung eines 10 cm³ Modellmotors mit einem Dämpfer

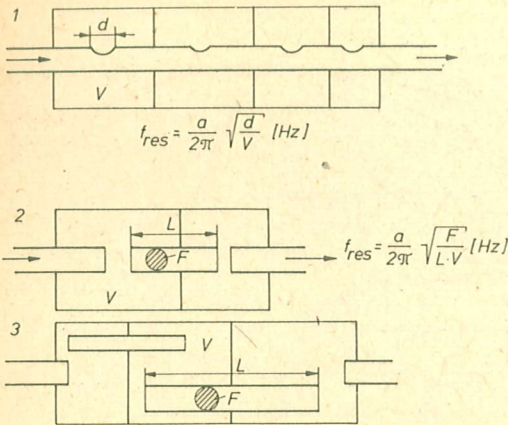


Bild 290 Berechnung von Schalldämpfern verschiedener Konstruktionsformen. Die errechnete Frequenz f_{res} wird gesperrt, d. h. geschluckt bzw. unterdrückt.

1 Reflexionsdämpfer (Hochpaßfilter) sperrt um f_{res}

2 Reihenfilter (Tiefpaßfilter) sperrt über $2 \times f_{res}$

3 Reihenfilter gestaffelt

a – Schallgeschwindigkeit im Abgas = 350 ... 500 m/s

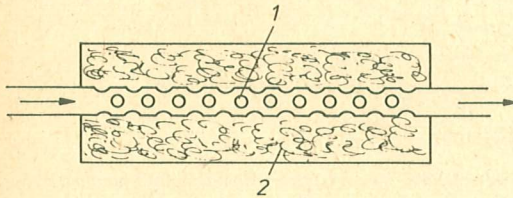
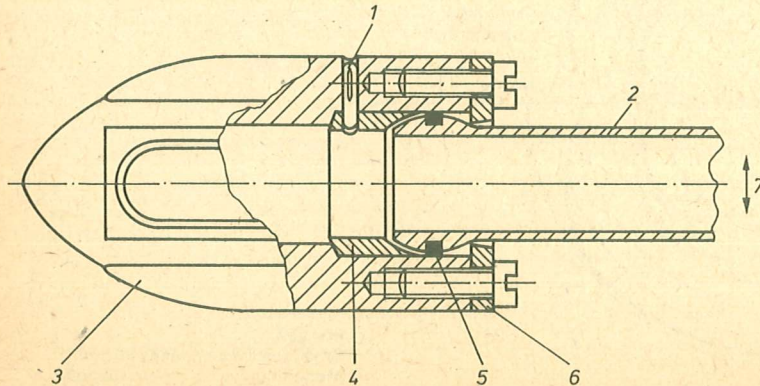


Bild 291 Derartige Absorptionsdämpfer dämpfen hohe Frequenzen um 500 Hz.

1 – gelochtes Rohr; 2 – Stahlwolle

Bild 292 Lösungsvorschlag von Prof.³ Demuth zur beweglichen Verbindung zwischen Motor und leistungssteigerndem Schalldämpfer

1 – Kerbstift; 2 – Auspuffrohr; 3 – Serien-Auspuffrohr; 4 – eingesetzte Messingkalotte; 5 – Teflonring oder Silikongummi; 6 – Sicherungsscheibe; 7 – $\pm 5^\circ$ schwenkbar



wand des Schalldämpfers spielt. Eine Unterdrückung bzw. Dämpfung dieser Seitenabstrahlung durch einen Auftrag von 1,5 mm GUP auf den Schalldämpfer brachte eine Senkung des Schallpegels um 2 dB (Bild 289), da Reihen- und Diffusionschalldämpfer immer eine bestimmte Frequenz aus dem Schallspektrum herausfiltern, die exakt berechenbar ist, ist eine Kontrollrechnung bei der Konstruktion von Schalldämpfern zu empfehlen. Versuche des Verfassers haben ergeben, daß eine Auslegung der ersten Dämpferkammer auf die gleiche Frequenz wie das Resonanzteil zu einem starken Leistungsabfall führt. Wie Schalldämpferkammern berechnet werden, zeigt Bild 290. Die im Bild 291 dargestellten Absorptionsdämpfer „schlucken“ alle Frequenzen um 500 Hz. Bei ihnen ist auf jeden Fall eine Reinigungsöffnung bzw. eine Ölablaßöffnung vorzusehen, da sie sich sehr schnell mit Öl vollsaugen. Im allgemeinen genügt dazu eine 2 mm-Bohrung an der tiefsten Stelle des Dämpferteiles. Das sich dort sammelnde Öl wird, durch den Innendruck im Schalldämpfer, während des Motorlaufs herausgedrückt.

Bei der Konstruktion von leistungssteigernden Abgasschalldämpfern ist unbedingt darauf zu achten, daß die Querschnitte für die Gasführung sich zur Austrittsöffnung hin nicht verkleinern, bei größeren Anlagen, in denen das Auspuffgas stark abkühlt, ist für eine kontinuierliche Vergrößerung der Querschnitte zu sorgen, nur so ist ein Leistungsabfall durch das Dämpferteil zu verhindern. Bei den in den Bildern 286 und 287 gezeigten Abgasschalldämpfern tritt durch das Dämpferteil kein Leistungsabfall ein.

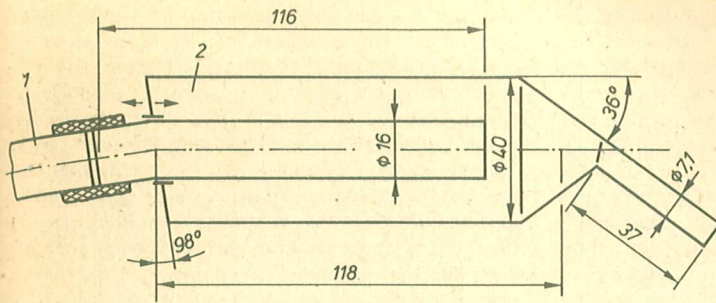


Bild 293
Schalldämpfer mit Leistungssteigerung, entwickelt für RC-Pylon-Rennmodelle (Motoren mit $6,5 \text{ cm}^3$ Hubraum).
1 – Auspuffkrümmer, 2 – Außenteil verschiebbar

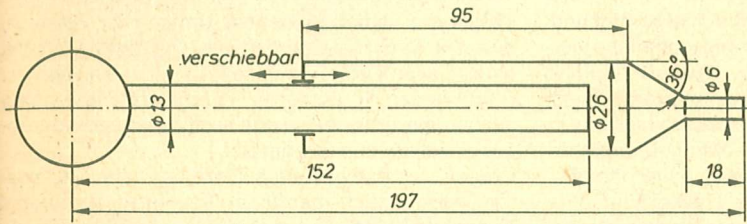


Bild 294 Schalldämpfer nach Bild 293, ausgelegt für $2,5 \text{ cm}^3$ Motoren und einer Drehzahl von $20\,000 \text{ 1/min}$

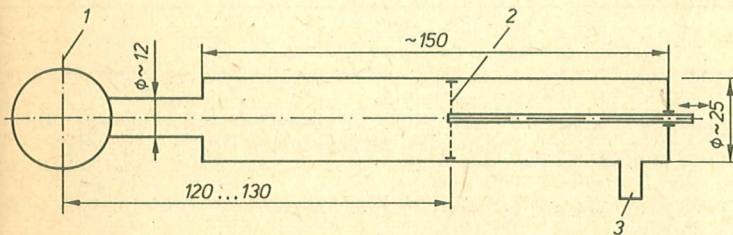
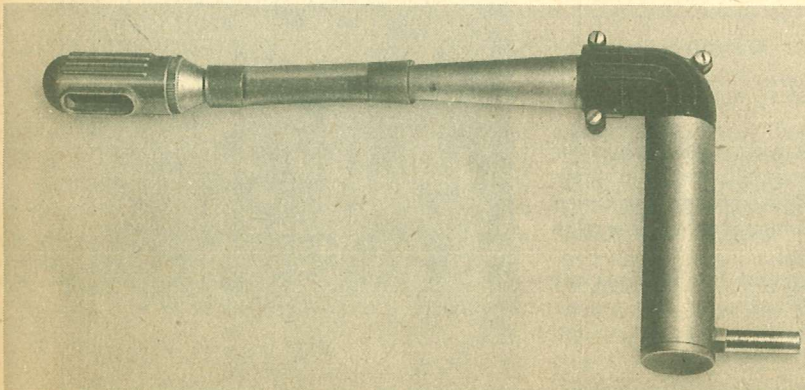


Bild 295 Leistungssteigernder Schalldämpfer für Rennautomodelle
1 – Mitte Zylinderkopf; 2 – gelochte Wand verschieb- und justierbar; 3 – Auslaßrohr ca. $\phi 7 \text{ mm}$

Bild 296 Mehrfach abgewinkelter Schalldämpfer für RC-Modellrennwagen



Die Verbindung zwischen Motor, Schalldämpfer und Modell sollte so gestaltet sein, daß alle 3 Baugruppen schwingungstechnisch getrennt sind. Auf keinen Fall darf der Schalldämpfer, wie es oft zu beobachten ist, starr mit dem Motor verbunden werden. Eine sehr günstige, aber auch aufwendige Lösung des BRD-Modellmotorenexperten Prof. P. Demuth zeigt Bild 292. Werden Auspuffkrümmer verwendet, sind solche mit elastischer Verbindung zum Motor, z. B. mittels Federzug, den angeschraubten vorzuziehen. Solche, die mittels Spannband oder Klammer am Motor gehalten werden, sind abzulehnen, da es häufig zu einer Verformung des Motorgehäuses und der Laufbuchse kommt und damit die Lebensdauer und Leistungsentfaltung des Motors negativ beeinflußt wird. Auspuffkrümmer sollten möglichst kurz sein, um keine Hebelwirkung durch den Auspuff auf den Motor zuzulassen. Ein Schalldämpfer, der ebenfalls eine Leistungssteigerung ergibt, zeigt Bild 293. Dieser Schalldämpfer wurde für RC-Pylon-Rennmodelle entwickelt und ist daher für 6,5 cm³-Motore ausgelegt. Die Schalldämpfung dieses Dämpfers ist gut, wenn auch nur

eine geringe Leistungssteigerung im Vergleich zur Auspufftüte nachzuweisen ist. Die Einregulierung auf Höchstdrehzahl erfolgt bei diesem Dämpfer ebenfalls durch Veränderung der Rohrlänge zwischen Motor und Dämpfer. Bild 294 zeigt die Abmaße eines solchen Schalldämpfers für einen 2,5 cm³-Motor. Daß mit diesem Schalldämpfer, genau wie mit der Auspufftüte, nur eine Leistungssteigerung zu erzielen ist, wenn die Auslaßsteuerzeiten des Motors entsprechend hoch ausgelegt sind, sei zum Abschluß nochmals erwähnt. Für Modellrennwagen werden häufig Schalldämpfer nach Bild 295 verwendet. Bei ihnen ist ebenfalls eine Leistungssteigerung in bescheidenem Umfang zu verzeichnen. Die Drehzahl, bei der die Leistungssteigerung eintritt, kann durch Verschieben der Trennwand variiert werden. In immer größerem Umfang werden auch in dieser Modellklasse leistungssteigernde Abgas-Schalldämpfer eingesetzt.

Wegen der komplizierten Einbauverhältnisse müssen diese jedoch mehrfach abgeknickt ausgeführt werden (Bild 296).

10.5. Kraftstoffpumpen

Das Bestreben, die Motorleistung der Motore zu erhöhen, führte zwangsläufig zu großen Vergaserquerschnitten. Mit diesen großen Vergaserquerschnitten waren die Motore nicht mehr in der Lage, den Kraftstoff anzusaugen. Da die in diesem Fall häufigste Form der Kraftstoffzufuhr, der Drucktank, nicht in allen Anwendungsfällen vorteilhaft ist, bestand der Bedarf nach einer Kraftstoffpumpe. Mit der Kraftstoffpumpe wird dem Vergaser ständig Kraftstoff mit konstantem Druck zugeführt. Folgende Bauarten sind gebräuchlich:

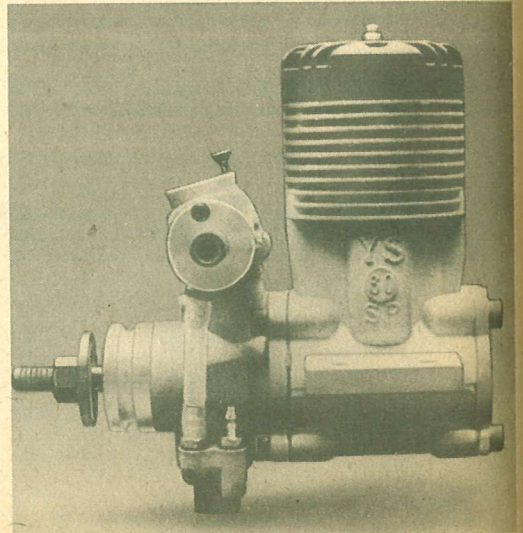
1. Mechanisch betriebene Kolben- oder Membranpumpe
2. Pneumatisch betriebene Membranpumpe mit Druckregler
3. Pneumatisch betriebene Pumpe mit Schlauchmembrane

Der Jamada-Modellmotor aus Japan (Bild 297) ist der einzige Motor mit mechanisch betriebener Kraftstoffpumpe, der dem Verfasser bekannt geworden ist. Bei ihm erfolgt der Pumpenantrieb über eine Nocke auf der Kurbelwelle.

Die technisch wohl eleganteste Lösung stellt die HB-Membranpumpe mit Druckregler dar, wie sie im Bild 298 gezeigt wird. Bei ihr erfolgt der Antrieb über den pulsierenden Kurbelgehäusedruck, wie es z. B. auch beim PKW „Wartburg“ praktiziert wird.

Ein der Pumpe nachgeschalteter einstellbarer Druckregler sorgt für konstanten Druck. Die Pumpe wird

Bild 297 Der 10 cm³ Jamada-Motor aus Japan ist mit einer mechanisch betriebenen Kraftstoffpumpe ausgerüstet



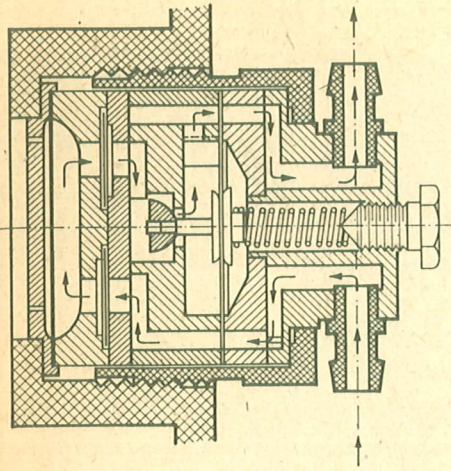


Bild 298 HB-Membranpumpe mit Druckregler im Schnitt

als separates Aggregat oder im hinteren Gehäusedeckel integriert angeboten. Einfach in den Kraftstoffschlauch eingesetzt und mit dem Kurbelgehäuse verbunden, werden die pneumatischen Schlauchpumpen (Bild 299), sie besitzen keinen Druckregler, sind jedoch in ihrem Aufbau so bestehend einfach und zweckmäßig, daß sie zum Nachbau förmlich reizen.

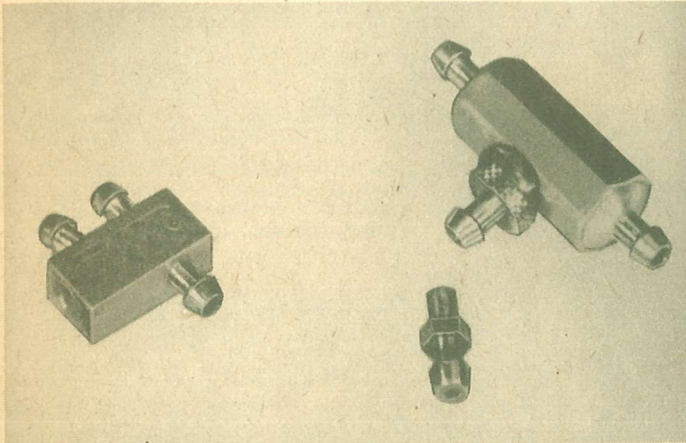


Bild 299
Pneumatische Kraftstoffpumpe, ausgebildet als Schlauchpumpe mit Verteilerstück (Rückschlagventil) zur Rückführung des zuviel geförderten Kraftstoffs in den Tank

10.6. Getriebe

Die spezifische Eigenart aller Modellmotoren, ihre recht hohe Motorleistung aus sehr hohen Drehzahlen zu schöpfen, engen ihre Einsatzmöglichkeit überall dort ein, wo relativ niedrige Drehzahlen und ein hohes Drehmoment gefordert werden. Für viele dieser Anwendungsfälle werden Getriebe benötigt. Wegen ihres geräuschlosen Laufs und der Wartungsfreiheit haben sich in der letzten Zeit Zahnriemen als Übertragungselemente immer mehr durchgesetzt. Wo allerdings kompakte Getriebe gefordert werden, ist nach wie vor das gradverzahnte Zahn-

rad vorherrschend. Eine sehr interessante Lösung für den Antrieb großer Flugmodelle zeigt Bild 300. Bei dieser Konstruktion, die vorrangig für die in den USA beliebte offene RC-Kunstflugklasse entwickelt wurde, werden zwei 10 cm^3 RC-Leistungsmotoren über ein Stirnradgetriebe gekoppelt und der Luftschraubenantrieb gegenüber der Motorendrehzahl soweit untersetzt, daß beide Motoren ihre Höchstleistung erreichen, der Propeller von ca. 50 cm Durchmesser jedoch im Drehzahlbereich seines höchsten Wirkungsgrades läuft. Bei richtiger Ein-

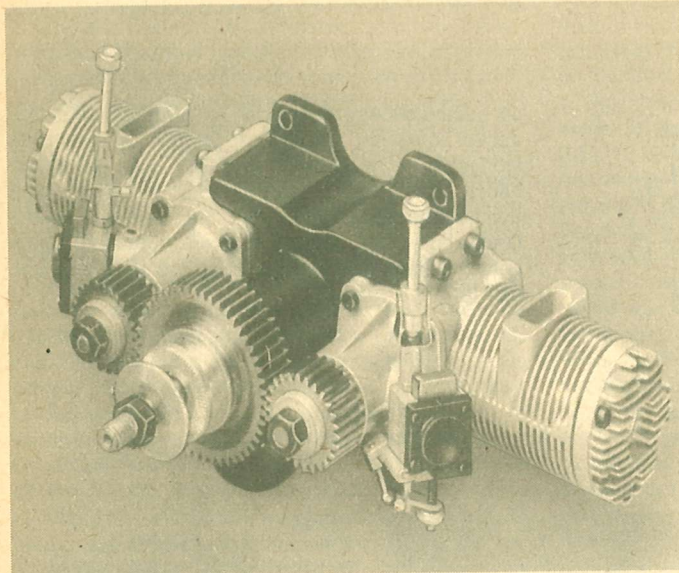


Bild 300
Getriebeeinheit zum Koppeln von zwei
Modellmotoren mit gleichzeitiger
Untersetzung der Propellerdrehzahl für
sehr große Flugmodelle

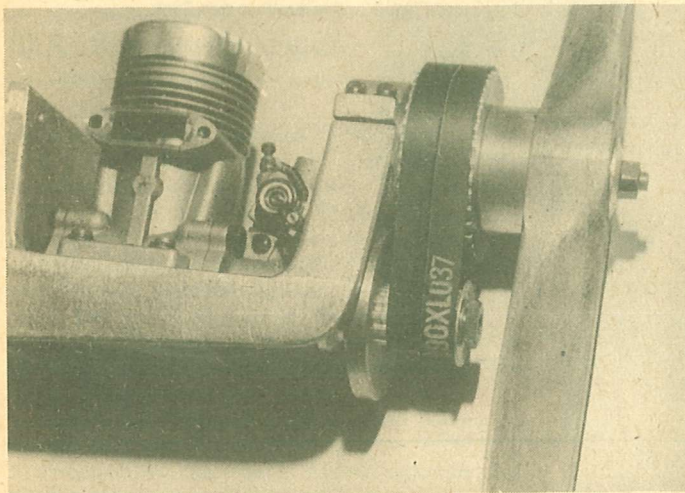


Bild 301
Untersetzungsgetriebe mit Zahnriemen

stellung der Motorkolben zueinander läuft das gesamte Aggregat dazu noch schwingungsfrei. Die Motoreinstellung ist allerdings problematisch. Bei der Konstruktion von Zahnriemengetrieben (Bild 301) ist der Zahnriemen nach den Einsatzempfehlungen des Herstellers auszuwählen, Zahnriemen in für Modellsportler interessanten Abmessungen sind häufig in Büromaschinen zu finden. Die günstigste Lösung für eine Propelleruntersetzung wäre ein Motor mit intergriertem Getriebe. Aus die-

sem Grund wurde von der Fa. Webra speziell für große Flugmodelle der im Bild 302 dargestellte 10 cm³-Motor entwickelt. Sein Getriebe setzt die Propellerdrehzahl um 40% herab und ermöglicht dadurch den Einsatz von Propellern bis 45 cm Durchmesser. Zahnradgetriebe für Rennmotore in Automodellen und Rennbooten sind, da fast ausschließlich Eigenbauten der Modellsportler, speziell auf die Motorcharakteristik und den Einsatzzweck abgestimmt. Wichtig ist bei der Konstruktion dieser

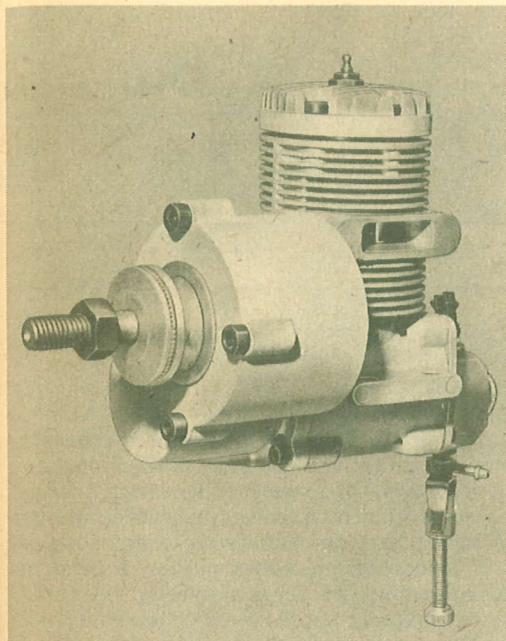


Bild 302 10 cm³ Motor Webra speed mit integriertem Untersetzungsgetriebe. Er ermöglicht die Verwendung von Propellern bis 45 cm Durchmesser. Das Getriebe erzeugt allerdings eine beachtliche Geräuschkulisse.

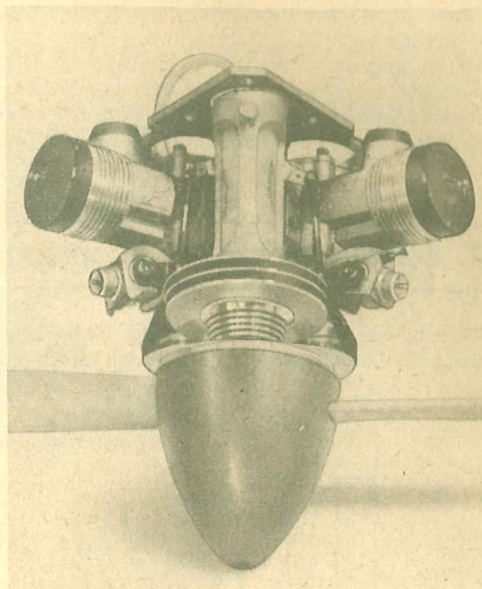


Bild 303 Keilriemengetriebe zum Koppeln von zwei 10 cm³-Motoren in V-Form

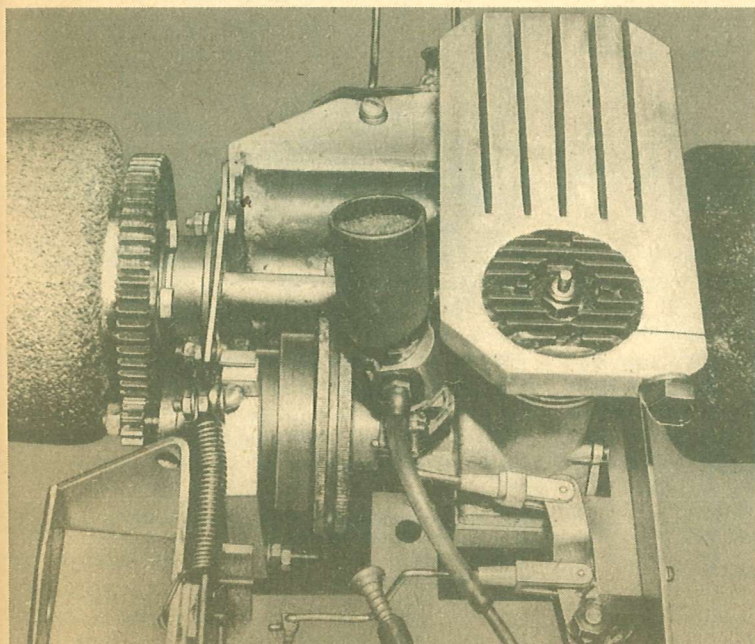


Bild 304 Getriebe im RC-Modellrennwagen mit Fliehkraftkupplung, Bremse und Untersetzungsgetriebe. Auffallend ist der große Zylinderkopf am Motor.

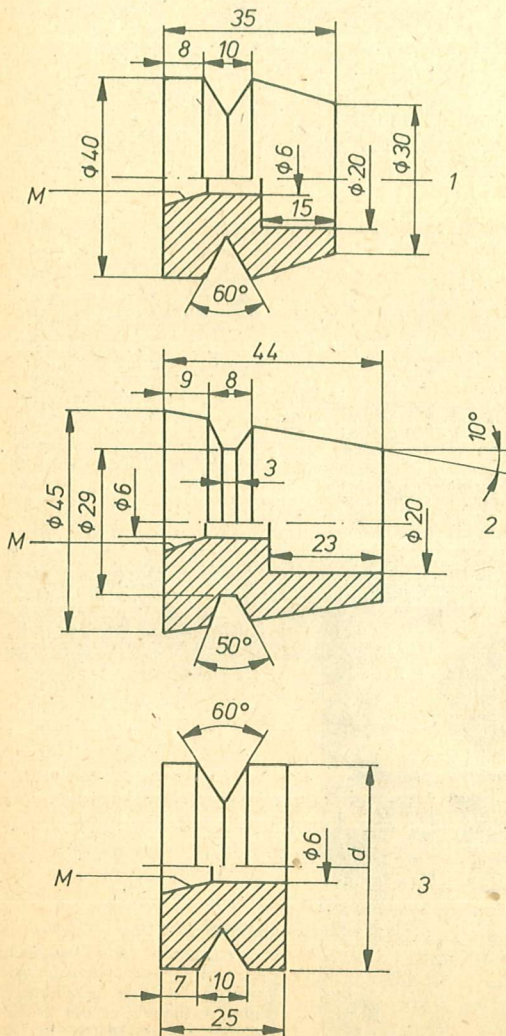
Getriebe eine einwandfreie Lagerung und ein möglichst formsteifer Aufbau, um Schwingungen der Zahnräder gegeneinander zu vermeiden. Gemäß vorliegender Erfahrungswerte ist je nach Motorgröße ein Modul 1 bis 2 bei einer Zahnbreite von ca. $6 \times \text{Modul}$ zu wählen. Speziell für RC-Automobil-

rennwagen wurden Ausgleichsgetriebe (Differential) entwickelt, die die Straßenlage der Minirennwagen beträchtlich verbesserten. (Bild 304)

Ein besonders hohes technisches Niveau fordern die Getriebe für Hubschraubermodelle.

10.7. Schwungscheiben, Kupplungen

Die Berechnung von Schwungscheiben ist bereits im Abschnitt 1.2.4. ausführlich behandelt worden,



so daß nur einige Konstruktionsformen vorgestellt werden. Das Bild 305 zeigt Schwungscheiben für die verschiedensten Einsatzzwecke. Kupplungen werden in Modellen fast ausschließlich als automatisch wirkende, drehzahlabhängige Fliehkraftkupplungen ausgelegt und vorrangig in RC-Rennwagen und Hubschrauber eingesetzt. Bei diesen Kupplungen wird ein inneres Kupplungsteil mit Fliehgewichten ständig von der Kurbelwelle angetrieben, es wirkt gleichzeitig im ausgekuppelten Zustand bei Leerlaufdrehzahl als Schwungscheibe. Mit zunehmender Drehzahl werden die Fliehgewichte (Teil 2 Bild 306) entgegen der Zugkraft der Feder (Teil 3) gegen den äußeren Kupplungskörper (Teil 1) gedrückt, durch die auftretende Reibung wird der Kraftschluß mit dem äußeren Kupplungskörper erreicht.

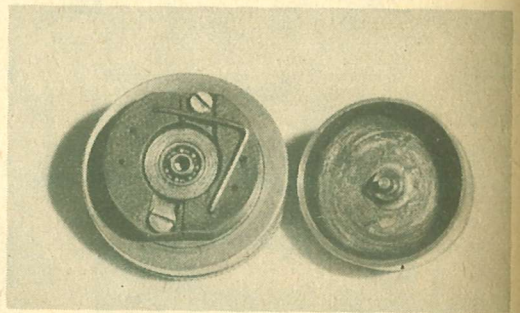


Bild 306 Aufbau einer Fliehkraftkupplung für Modellmotoren

Bild 305 Verschiedene, in der Praxis bewährte Schwungscheibenformen für Rennboote.

Material: Ms 1 – 5 cm³-Motor; 2 – 10 cm³-Motor; 3 – es gelten folgende Maße:

Hubraum	2,5	3,5	6,5	10	15	(cm ³)
d	36	38	41	46	52	(mm)

M – nach Motor anpassen

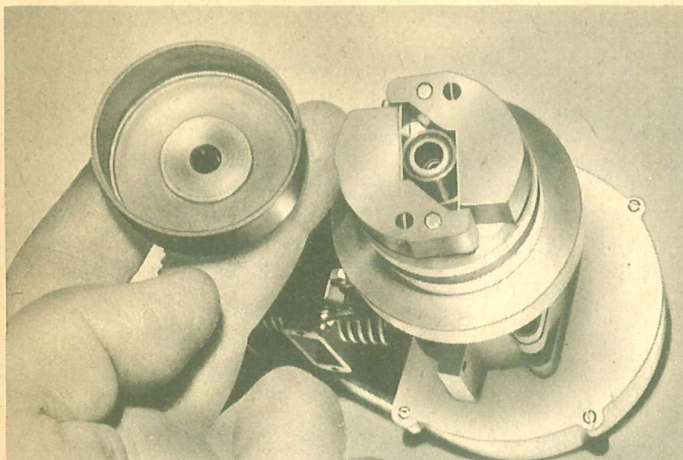


Bild 307
Kupplung für einen
10 cm³-Hubschrauber motor

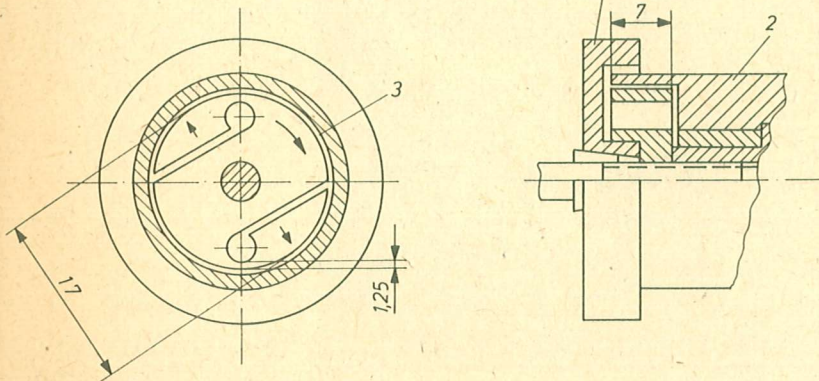


Bild 308 Federlose Kupplung für Modellrennwagen (2,5 cm³-Motor)
1 – Schwungscheibe; 2 – Kupplungsglocke; 3 – Luftspalt ca. 0,2 mm

Je nach Stärke der Rückzugsfedern und Masse der Fliehgewichte ändert sich die Drehzahl, bei der die Kupplung mitnimmt. Somit ist es möglich, an einer fertigen Kupplung durch Verstärkung der Feder bzw. durch Herabsetzen der Masse der Fliehgewichte die Einrückdrehzahl heraufzusetzen und durch Verwendung von schwächeren Federn die Einrückdrehzahl herabzusetzen. Die benötigte Einrückdrehzahl ist vom Verwendungszweck abhän-

gig, sollte aber deutlich über der Leerlaufdrehzahl liegen, die der Motor mit Sicherheit erreicht.

Das Bild 307 zeigt eine Kupplung für 10 cm³-Motoren zum Hubschraubereinsatz.

Daß eine Kupplung auch ohne Federn arbeiten kann, zeigt die in Bild 308 dargestellte Kupplung für Modellrennwagen (2,5 bis 3,5 cm³ Hubraum). Bei ihr dient der schmale Steg mit seiner elastischen Verformung als Federelement.

10.8. Anlasser

Gebräuchlich sind mechanische und elektrische Anlasser für das Starten des Motors im Stillstand, sowie elektrische und mechanische Anlasser für das Starten des Motors über Fernauslösung.

Mechanische Anlasser, auch Anlaßmaschinen genannt, haben sich besonders im leinengesteuerten Geschwindigkeitsflug durchgesetzt, bei ihnen wird

über Handkurbel und Getriebe ein Starterkopf mit einem Gummikegel auf 5–10 000 Umdrehungen gebracht und durch Einstecken der Propellernabe in den Gummikegel der Motor angelassen. Vorteil dieser Geräte ist ihre einfache Handhabung und ihre Unabhängigkeit von Fremdenergie. Sie sind besonders für Motoren bis 5 cm³ geeignet (Bild 309). Bei

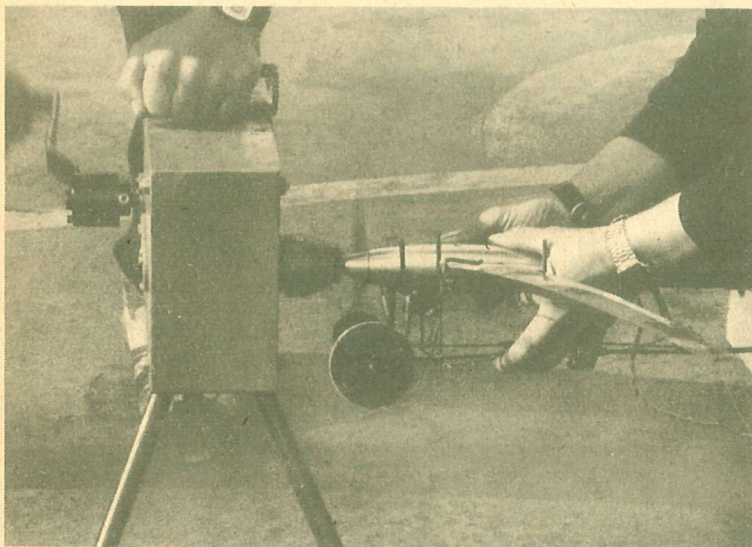


Bild 309
Mechanische Anlaßmaschine,
wie sie sich im Fesselflug
Klasse F2A bewährt hat, im
Einsatz

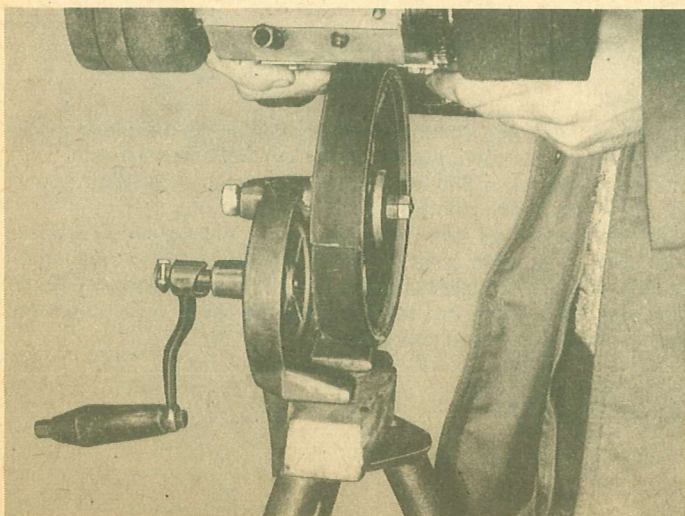


Bild 310
Umgebaute Handschleifmaschine
zum Anlassen von Modellrennwagen

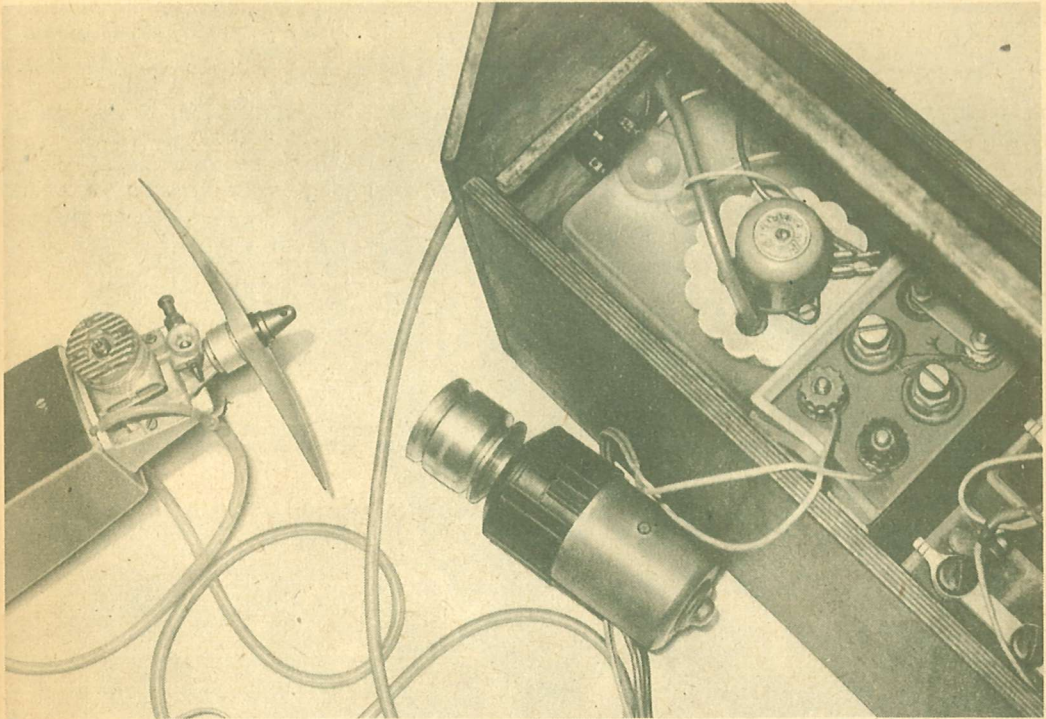
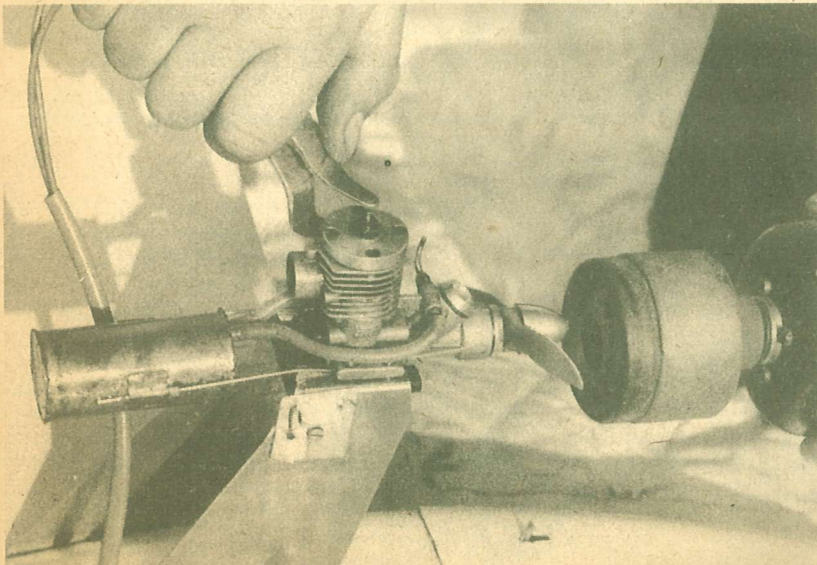


Bild 311 Startbox mit Akkus für Glühkerzenspannung, Spritpumpe und industriell gefertigtem Elektrostarter für RC-Modelle

Bild 312 Elektrostarter mit Schwungmasse



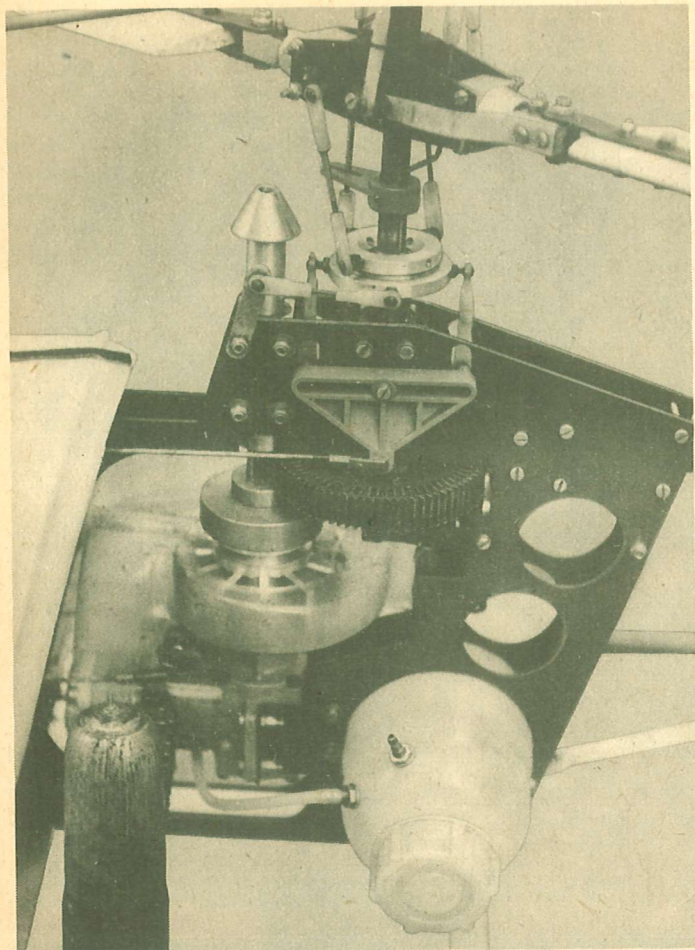


Bild 313
Hubschraubermotor mit Kühlgebläse
und Anlaßkegel

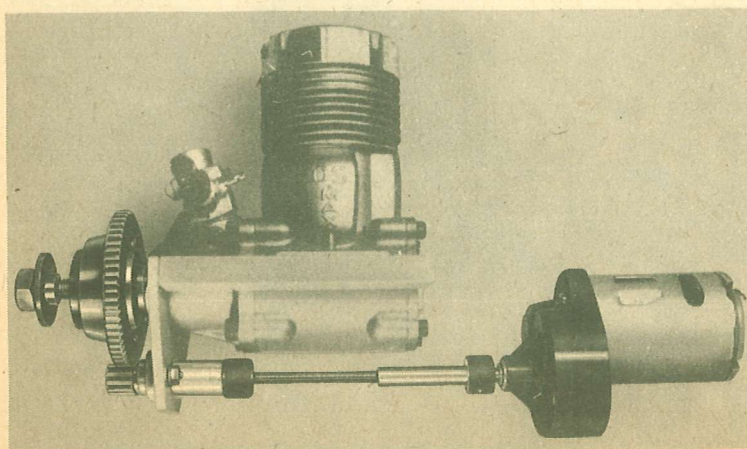


Bild 314
Dieser elektrische Anlasser
wird fest im Modell eingebaut
und über die Fernsteueranlage
betätigt

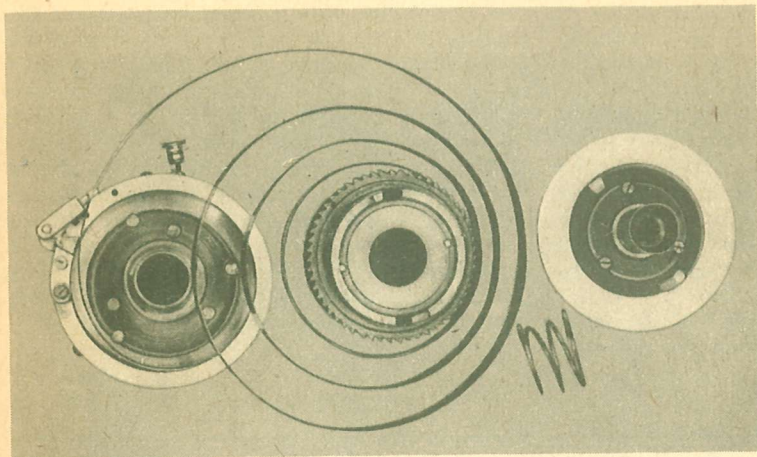


Bild 315
Einzelteile eines mechanischen
Anlassers mit Fernauslösung
für ein F4B-Flugmodell

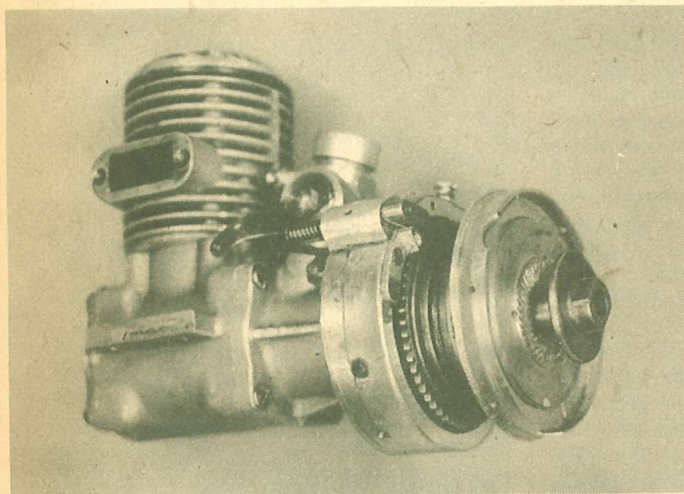


Bild 316
Motor mit angebautem Anlasser nach
Bild 315

den RC-Rennwagen haben sich ebenfalls mechanische Anlasser bewährt. Bei dieser Modellklasse reicht die Palette der Anlaßhilfen vom kopfgestellten Fahrrad bis zur umgebauten Handschleifmaschine (Bild 310). Der RC-Flug mit seinen meist großvolumigen Motoren ist heute ohne elektrische Anlasser nicht mehr denkbar. Ebenso hat er sich in den RC-Bootsrennklassen durchgesetzt und findet im RC-Rennwagensport immer mehr Verbreitung. Entsprechend in Startboxen untergebrachte Akkus für Glühkerzenspannung, Starter und Kraftstoffpumpe erleichtern das Umgehen mit den schweren und unhandlichen Akkus (Bild 311). Elektrische Anlasser können in zwei Bauweisen ausgeführt werden. Bei der ersten Bauweise, es han-

delt sich meist um industriell gefertigte Geräte, ist der Elektromotor so kräftig, daß er den Modellmotor ständig durchdrehen kann. Bei der zweiten Bauweise, sie entsteht meist im Eigenbau, wird mit dem Elektromotor eine Schwungmasse auf Drehzahl gebracht und mit Hilfe der in der Schwungmasse gespeicherten Energie der Modellmotor einige Male durchgedreht. Sinkt die Drehzahl der Schwungmasse dann dabei zu weit ab, wird sie vom Modellmotor getrennt und wieder mit dem Elektromotor auf die notwendige Drehzahl beschleunigt. Für derartige Anlasser genügen meist Elektromotoren aus dem Fahrzeugbau, wie z. B. Gebläsemotoren (Bild 312).

Bei Rennbootmotoren erfolgt im allgemeinen die mechanische Verbindung von Anlasser und Modellmotor über einen Keilriemen, bei Automodellen und Flugmodellen direkt auf die Schwungscheibe bzw. Propellernabe. Zum Anlassen von Hubschraubermotoren haben sich zwei Arten bewährt. Bei waagrecht eingebautem Motor wird über die Schwungscheibe, in der gleichzeitig die Fliehkraftkupplung integriert ist, ein Keilriemen gelegt und über diesen mit Hilfe eines Elektrostarters der Motor angelassen. Beim Fliegen verbleibt der Keilriemen im Hubschrauber.

Bei senkrecht eingebautem Motor (Bild 313) erfolgt das Anlassen über einen separaten, von außen erreichbaren Anlaßkegel.

Bei elektrischen Anlassern für Fernauslösung (Bild 314) handelt es sich fast ausschließlich um Industrieerzeugnisse, wogegen mechanische Anlasser für Fernauslösung fast ausschließlich Eigenbauten für die Flugmodellklasse F4B sind. Bei ihnen wird über eine Klauenkupplung oder einen Freilauf eine kräftige, vorgespannte Spiralfeder mit der Kurbelwelle des Motors verbunden. Bei Auslösung des Mechanismus dreht die Feder den Motor 3-6 mal durch und setzt ihn so in Gang. Bild 315 zeigt die Einzelteile solch eines Federstarters. Natürlich muß während des Startvorgangs die Glühkerze des Motors mit Strom versorgt werden.

10.9. Tankeinrichtungen

Als Tankeinrichtungen verstehen wir Einrichtungen zum Betanken und Enttanken der Modelle. Bei kleineren Motoren genügt dazu häufig eine Plasteflasche mit Schlauchanschluß oder gar eine Injektionspritze. Sollen jedoch Kraftstoffmengen von einem halben Liter und mehr getankt werden, wird es mit diesen Hilfsmitteln ein mühsames Unterfangen. Aus diesem Grund haben sich im RC-Modellsport mechanische und elektrische Tankeinrichtungen durchgesetzt. Als mechanische Tankeinrichtungen haben sich Ballpumpen bewährt, mit deren Hilfe im Vorratstank ein Überdruck erzeugt wird, der den Kraftstoff zum Modell fördert. Ein Enttanken ist damit nicht möglich. Mit handbetriebenen Schlauchpumpen (Bild 317) kann auch enttankt werden. Elektrische Scheibenwaschanlagen für PKW sind hervorragend zum Betanken von Modellen geeignet. Mit ihren 2-3 l Fassungsvermögen reichen sie für einen durchschnittlichen Flugtag. Jedoch ist ein Enttanken hier nicht möglich. Erst elektrische, umsteuerbare Zahnradschlepppumpen, die speziell als Tankpumpen konstruiert wurden, lassen dies zu. Speziell für die Modellflugklasse F2C werden Tankeinrichtungen benutzt, bei denen mit Hilfe von Luftpumpen ein am Arm des Sportlers befestigter Kraftstofftank unter Druck gesetzt wird und mit Hilfe eines Schlauches und eines Ventils das Modell in einem Sekundenbruchteil aufgetankt werden kann (Bild 318).

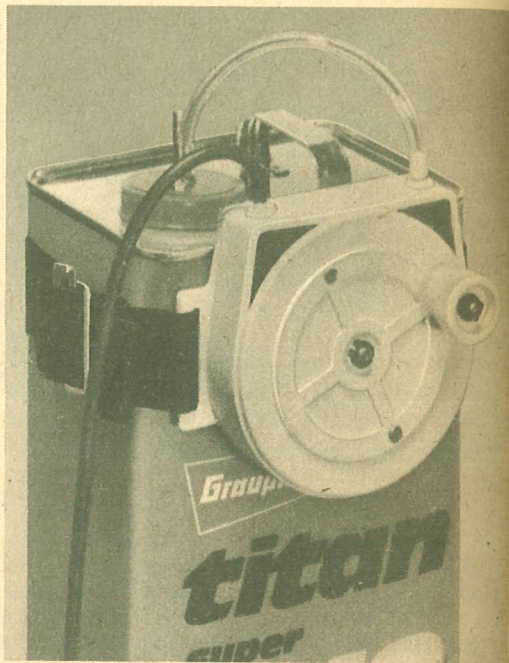


Bild 317 Handbetriebene Pumpe zum Be- und Enttanken von Modellen

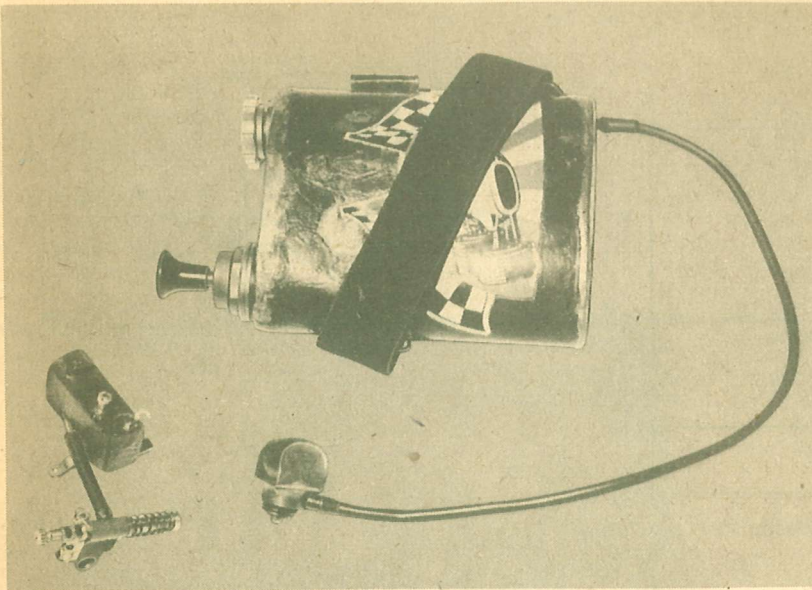


Bild 318 Tankanlage zum extrem schnellen Betanken von F2C-Flugmodellen. Diese Einrichtung arbeitet mit Druckluft und gestattet das Betanken eines Modells in weniger als 1 Sekunde (links Tankventil und Tank).

10.10. Tankanlagen

Da Modellmotoren nicht wie Großmotoren mit Schwimmervergäsern ausgerüstet sind, spielen die Anordnung und die Konstruktion der Tankanlage eine wesentliche Rolle für den einwandfreien Betrieb. Der Tank sollte so angeordnet werden, daß sich der Kraftstoffspiegel beim sich leerenden Tank nur minimal ändert. Besonders bei den gefesselten Rennmodellen, bei denen durch die starke Flieh-

kraft der Kraftstoffspiegel senkrecht steht, muß dieser gleich bleiben, um einen konstanten Motorlauf zu garantieren.

Eine Möglichkeit bietet die Verwendung sehr schmaler Tanks, die durch ihre geringe Breite keine große Veränderung des Kraftstoffspiegels zulassen. Die Bilder 319 und 320 zeigen Beispiele solcher Tankkonstruktionen.

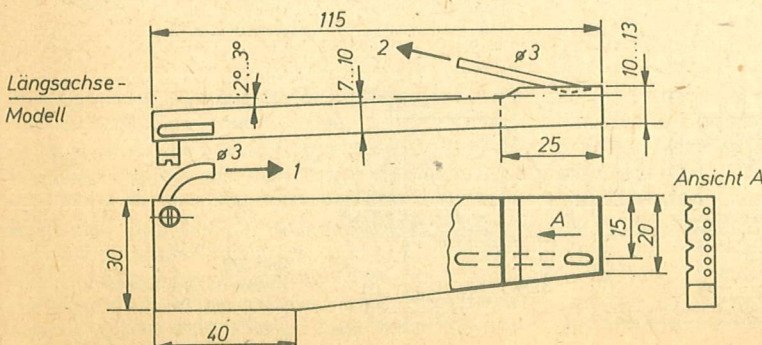


Bild 319
Tank für ein Modell der Klasse
F2A
1 - zum Auspuff; 2 - zum
Motor

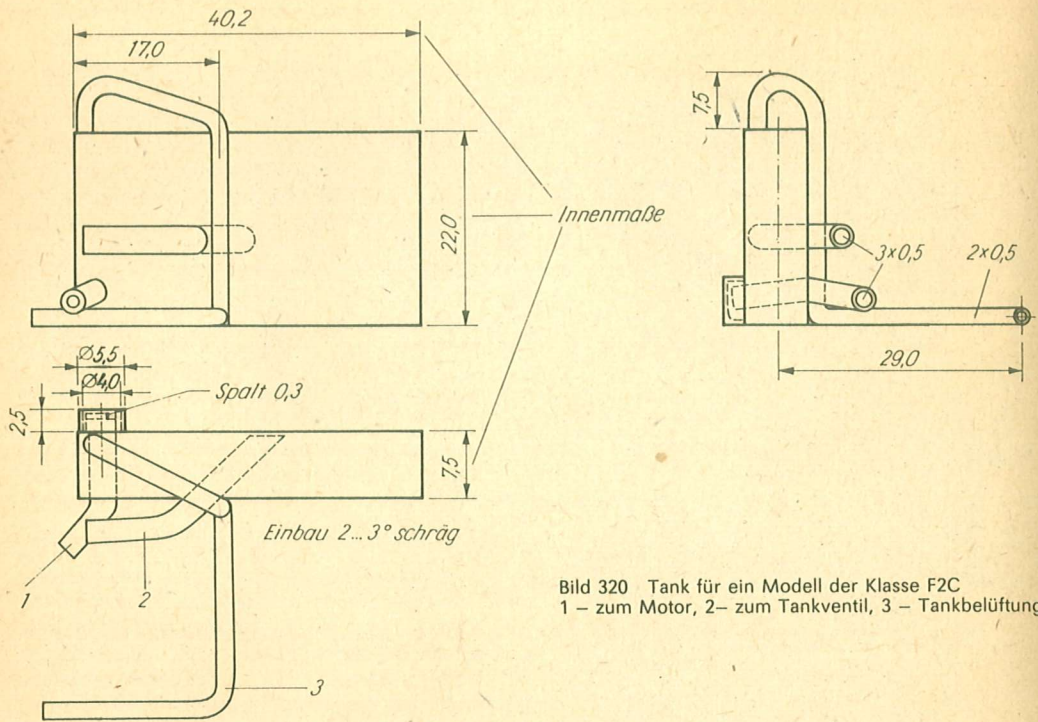


Bild 320 Tank für ein Modell der Klasse F2C
1 – zum Motor, 2 – zum Tankventil, 3 – Tankbelüftung

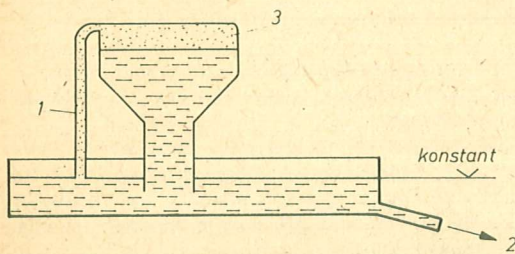


Bild 321 Funktionsprinzip der Geflügelränke
1 – Regulierrohr, 2 – Abfluß, 3 – Luft

Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von Tanks, die nach dem Prinzip der Geflügelränke arbeiten (Bild 321). Bild 322 zeigt einen solchen Tank für ein F2A-Flugmodell, erstmals von dem ČSSR-Sportler Josef Sladky verwendet. Ähnlich arbeitet der Tank, den der USA-Sportler Wisniewskie (Bild 323) entwickelte.

Setzt man einen geschlossenen Tank unter Druck, so kann, da der Druckunterschied durch die sich verändernde Fallhöhe vernachlässigbar klein ist, ebensfalls von einem konstanten Kraftstoffspiegel gesprochen werden. Dieser Druck kann aus dem

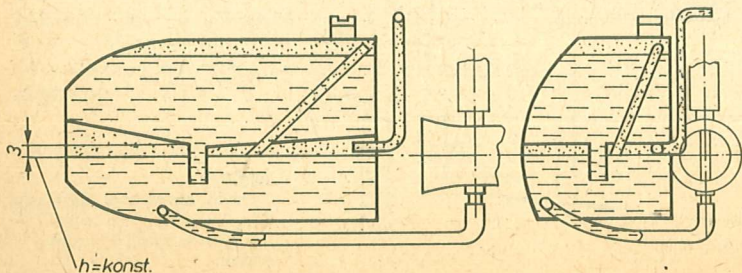


Bild 322
Zweikammertank mit konstanter Saughöhe nach Sladky (schematische Darstellung)

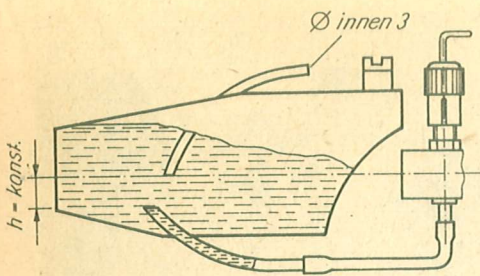


Bild 323 Tank mit konstanter Saughöhe nach Wisniewskie (schematische Darstellung)

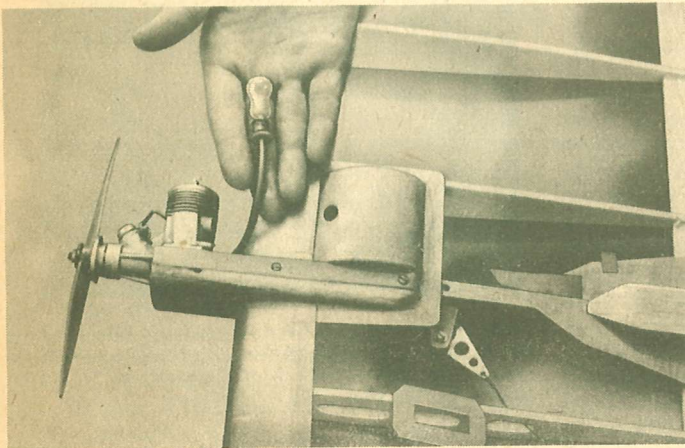


Bild 324
Aufblasbarer Gumm-tank, hergestellt aus einem Babynuckel, an einem Fuchsjagdmodell

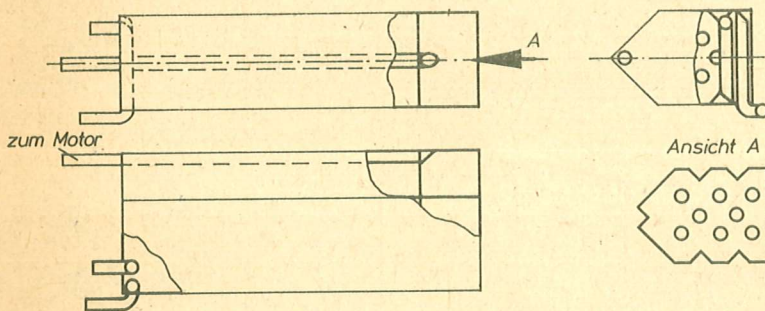


Bild 325
Tank für Modelle der Klasse F2B (Kunstflug) System Palmer (schematische Darstellung)

Kurbelgehäuse oder aus der Auspufftüte (siehe Bild 229 und 230) entnommen werden.

Es ist auch möglich, eine Gummiblase als Tank zu benutzen und sie mit dem Kraftstoff aufzublasen (Bild 324) oder den Staudruck des sich schnell bewegenden Modells zu benutzen (siehe Bild 231).

Bei einigen Modellflugklassen, z. B. bei F2B (Kunstflug), ist es erwünscht, daß durch den sich verändernden Kraftstoffspiegel das Laufverhalten des Motors verändert wird. Ist der Tank hinter dem Mo-

tor angeordnet, so wird erreicht, daß beim Hochziehen (der Tank ist dann unter dem Motor) durch den niedrigen Kraftstoffspiegel der Motor wenig Kraftstoff bekommt und dadurch volle Leistung abgibt. Beim Geradeausflug (Tank hinter dem Motor) liegt der Kraftstoffspiegel bedeutend höher, und der dadurch überfettet laufende Motor gibt die für den langsamen Geradeausflug erwünschte geringe Leistung ab. Derartige Kunstflugtanks zeigen die Bilder 325 und 326.

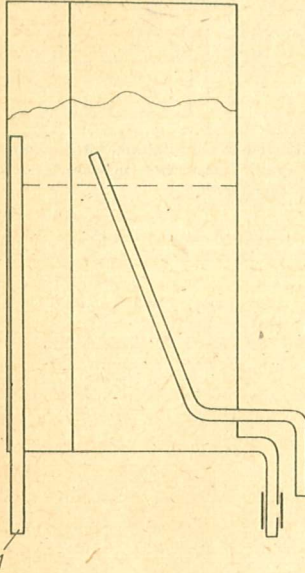
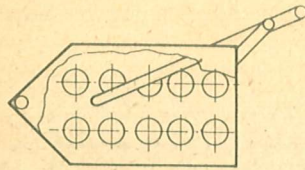


Bild 326 F2B-Tank System Halupa (schematisch)
1 – zum Motor

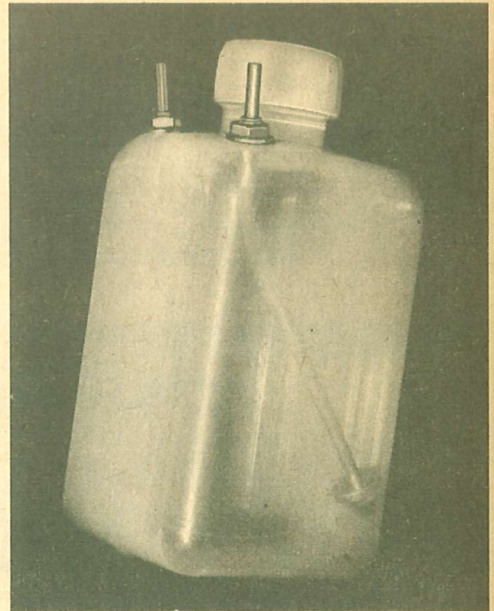


Bild 327 Kunstflugtank für RC-Modelle. Durch das an einem Schlauch hängende Pendel wird der Kraftstoff immer an der Stelle abgesaugt, an der er sich auf Grund der Fliehkraft bzw. Gravitation befindet.

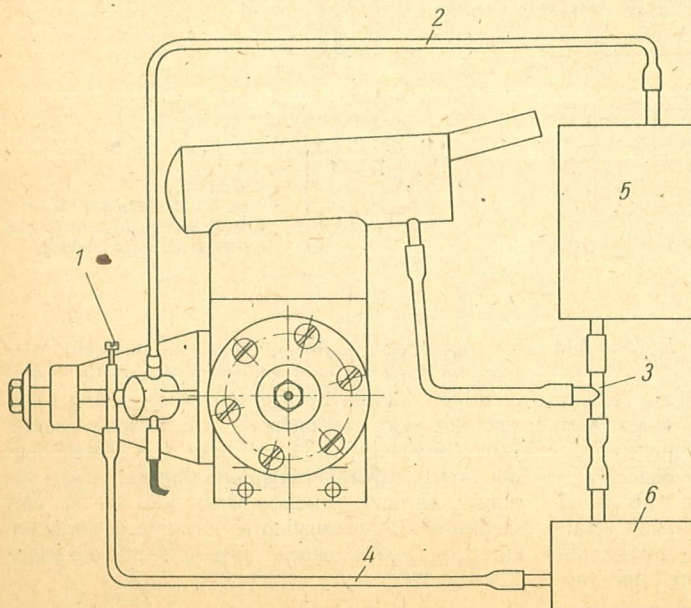


Bild 328
Anordnung und Funktionsweise der
Frischölaufomatik für Modellmotoren.
Damit ist es möglich, normales
Motorenöl für Glühzündermotoren zu
verwenden (schematisch).
1 – Ölregulierung; 2 –
Kraftstoffleitung; 3 – Druckleitung; 4 –
Ölleitung; 5 – Methanol; 6 – Öl

Beim Fernsteuerflug haben sich Tanks nach Bild 327 bestens bewährt. Das Pendel bewirkt, daß sich der Absaugeschlauch immer an der Stelle befindet, an der sich auch der durch Fliehkraft bzw. Gravitation beeinflusste Kraftstoff befindet. Meist werden diese Tanks aus Plastikflaschen gefertigt und oft mit Druck aus der Auslaßanlage geflogen bzw. gefahren. Eine interessante Möglichkeit zur Kosteneinsparung für die Benutzer großer Glühzündermotoren bietet

die getrennte Zuführung von Kraftstoff und Öl. Durch diese Methode läßt sich das teure Rizinusöl durch normales Motorenöl ersetzen. Bild 328 zeigt eine solche Anlage. Die Ölmenge ist an der Drosselschraube so einzustellen, daß der Motor maximale Leistung ohne Überhitzungsneigung abgibt. Es sind Mischungsverhältnisse Methanol:Öl 40:1 ohne Motorschäden und erhöhten Verschleiß erreichbar.

10.11. Kraftstoffschalter und Ventile

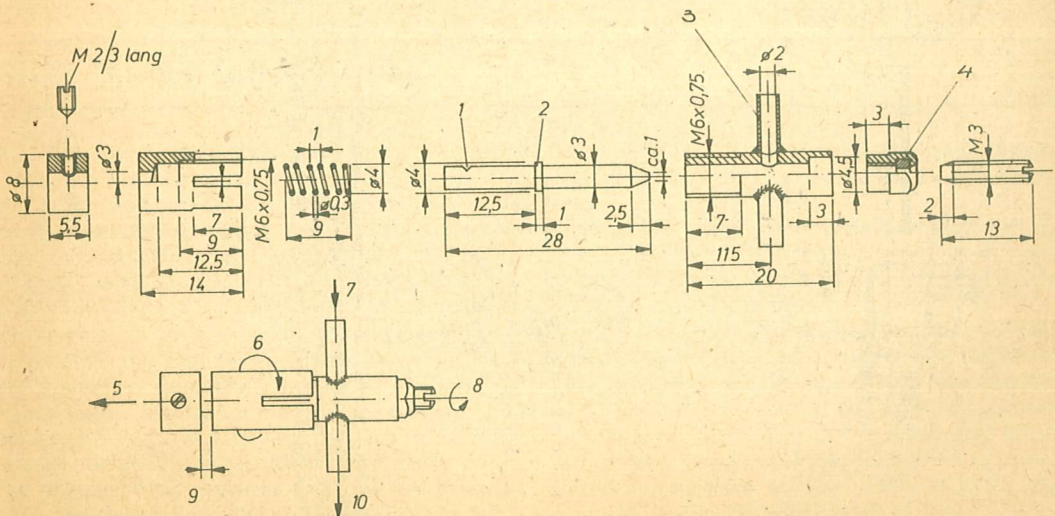
In den gefesselten Rennklassen, wie Fesselflug und gefesselte Rennautomodelle, aber auch bei Freiflugmodellen mit Motor, werden Kraftstoffschalter und Kraftstoffventile benötigt. Spezielle Fliehkraftschalter werden in der Modellflugklasse F2A-Geschwindigkeitsflug verwendet. Diese Fliehkraftschalter haben die Aufgabe, den Start mit mager (wenig Kraftstoff) eingestelltem Motor zu ermöglichen und dann bei steigender Fluggeschwindigkeit den Kraftstofffluß auf die für den Betrieb mit abgestimmter Auspuffanlage notwendige Menge zu erhöhen. Bild 329 zeigt eine Zeichnung solch eines Schalters. In der Modellklasse F2C-Mannschaftsrennen sind spezielle Tankventile in Gebrauch. Mit ihnen wird die

Betankung des Modells ermöglicht, gleichzeitig der Motor am Auspuff angespritzt und ein Abschalten des Motors durch Kraftstoffabsperren ermöglicht. Weiterhin sind Tankventile bekannt, die die Kraftstoffregulierung beinhalten, eine Düsenadelreinigung bei jedem Tankvorgang bewirken und eine Gemischüberfettung in der Startphase ermöglichen. Als Beispiel ist im Bild 330 ein leichtes Tankventil mit den Funktionen Tanken, Kraftstoffregulierung, Stop dargestellt.

Bei den gefesselten Rennwagen ist ein Mechanismus zum Abschalten des Motors vorgeschrieben. Dazu werden meist Kükenhähne oder Schieber im Kraftstoffzufluß verwendet, die über einen kurzen

Bild 329 Fertigungszeichnung eines Fliehkraftschalters für F2A-Modelle

1 – Kerbe für Madenschraube; 2 – Ring aufgelötet; 3 – Ms-Rohr Durchmesser 3×0,2 aufgelötet; 4 – Elastic-Stop-Mutter M3; 5 – Fliehkraft; 6 – Schaltpunkt einstellen; 7 – vom Tank; 8 – Motorlauf im Stand einstellen; 9 – Schaltung; 10 – zum Motor; (Die Einstellung der Betriebskraftstoffmenge erfolgt an der Motordüsenadel)



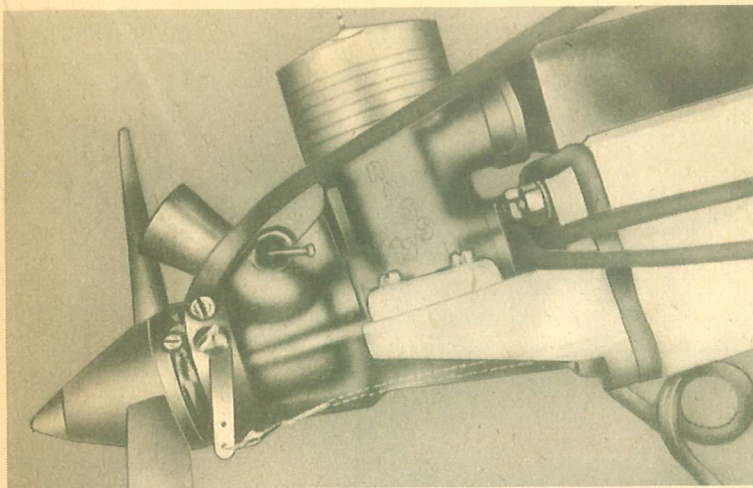


Bild 331
Rossi 15 an einem F1C-Modell
mit Kraftstoffanschluß zum
Fluten des Vergasers und
Motorbremse durch eine
mechanisch betätigte
Backenbremse

aus dem Rennwagen herausragenden Stahldraht betätigt werden. Das Abschalten erfolgt, indem man den Rennwagen durch einen Reisigbesen fahren läßt. Dabei wird der Abschalter über den Stahldraht betätigt und der Rennwagen kommt zum Stillstand. In der Modellflugklasse F1C, als einzige Freiflugklasse mit Verbrennungsmotor, werden auf Grund der genau einzuhaltenden Motorlaufzeit Motorabstellvorrichtungen benötigt. Da das Abstellen durch Sperren des Kraftstoffs zu einer hohen Ausfallquote der Glühkerzen führt, hat sich hier das Fluten des Vergasers mit Kraftstoff als Abstellmethode durchgesetzt. Dazu bekommt der Motor, der mit Druck-

tank betrieben wird, einen zusätzlichen Kraftstoffanschluß mit 2-3 mm Durchlaß in den Vergaser. Über einen Zeitschalter wird der Schlauch zu diesem Anschluß geöffnet und der Motor wird geflutet. Meist wird der Kraftstoffschlauch dazu nur durch ein Stück Stahllitze abgeklemmt bzw. geöffnet. Um einen noch höheren Genauigkeitsgrad der Motorlaufzeit zu erzielen, werden häufig zusätzlich noch Motorbremsen verwendet, die gleichzeitig mit dem Fluten den Motor an der Propellernabe abbremsen. Meist werden dazu auflaufende Schraubenfedern oder Bremsbacken verwendet (Bild 331).

10.12. Spezial-Luftschauben

Zu den Spezial-Luftschauben zählen Klappluftschrauben für Flugmodelle der Klasse F1C, mit deren Hilfe bei Stillstand des Motors der Luftwiderstand erheblich verringert und damit die Flugleistung des Modells erhöht wird (Bild 332). Da diese Propeller mit Drehzahlen von über 25 000 1/min betrieben werden, ist eine entsprechend robuste Gestaltung der Propellernabe und des Klappmechanismus notwendig. Eine Besonderheit, die in den letzten Jahren bei den leinengesteuerten Maßstabmodellen immer häufiger zu sehen war, sind die Verstellpropeller. Es werden maßstabgerecht nachgebauete funktionsfähige Verstellpropeller nicht nur für die Standprüfung, sondern auch für die Flugprüfung verwendet. Entsprechend dem Vorbild erfolgt

die Verstellung mit steigender Drehzahl automatisch (Bild 333) oder über Steuerleinen vom Piloten aus.

Automatisch arbeitende Verstellpropeller werden speziell für 4-Takt-Flugmodellmotore auch industriell gefertigt und in RC-Flugmodellen eingesetzt (Bild-334).

Eine Besonderheit der Modellflugklasse F2A-Geschwindigkeitsflug sind Einblattpropeller. Mit ihnen wird bei den in dieser Modellflugklasse üblichen Motordrehzahl von über 32 000 1/min ein höherer Luftschaubenwirkungsgrad und damit eine erheblich höhere Fluggeschwindigkeit als mit normalen Zweiblattpropellern erreicht. Das Gewicht des einen fehlenden Propellerblattes wird mit Gewicht

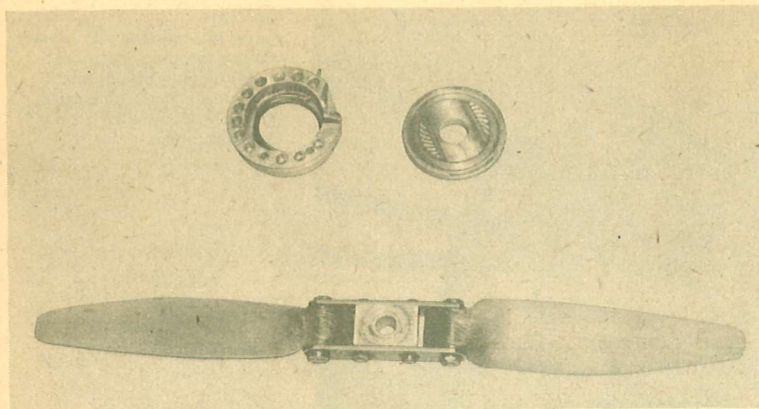


Bild 332
Klappflugschraube und
Auflaufbremse demontiert

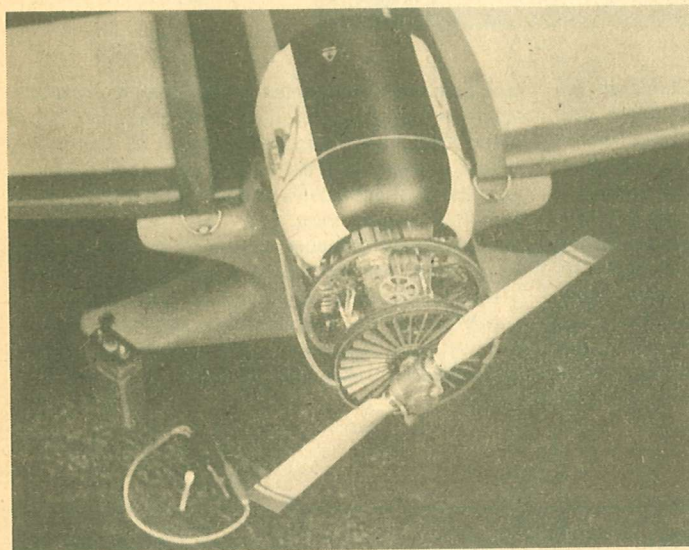


Bild 333
Automatisch arbeitender
Verstellpropeller an einem F4B-Modell

ten in der Propellernabe ausgeglichen und so eine Unwucht vermieden. Vereinzelt wird mit derartigen Propellern auch in anderen Modellflugklassen experimentiert.

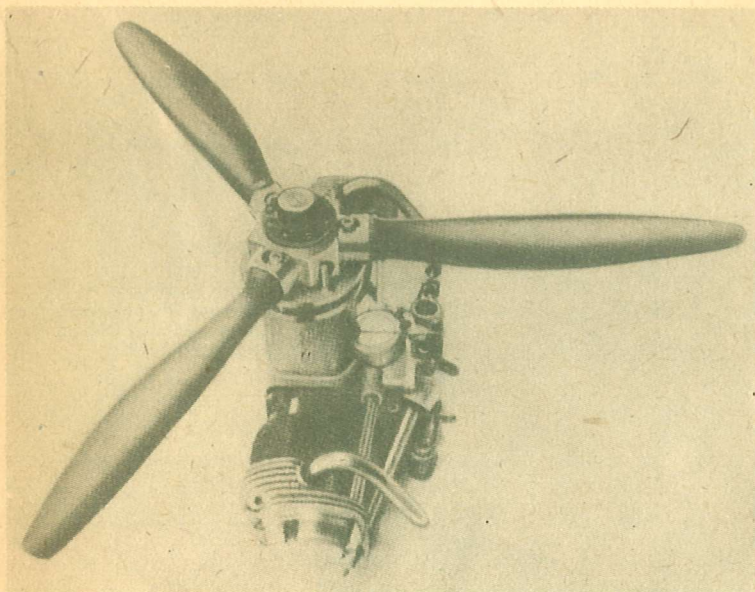


Bild 334
Automatisch arbeitender
Dreiblatt-Verstellpropeller an
einem 20 cm³ Viertaktmotor

10.13. Spezial-Unterwasserantriebe

Bei den gefesselten Rennbooten mit Unterwasserantrieb werden halb eingetauchte Propeller gefahren. Mit Hilfe von Kardangetrieben wird der Unterwas-

serantrieb in die günstigste Schubrichtung umgelenkt (Bild 335).

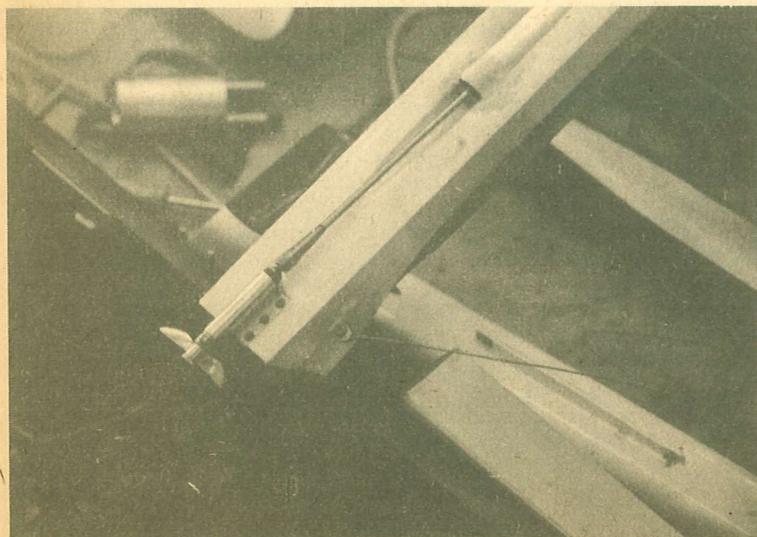


Bild 335
Kardanantrieb eines halb
eingetauchten Propellers an
einem gefesselten Rennboot

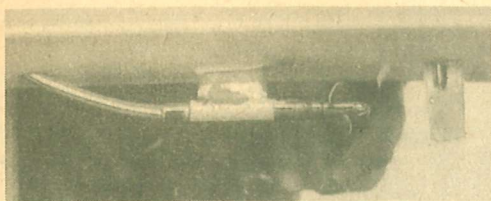
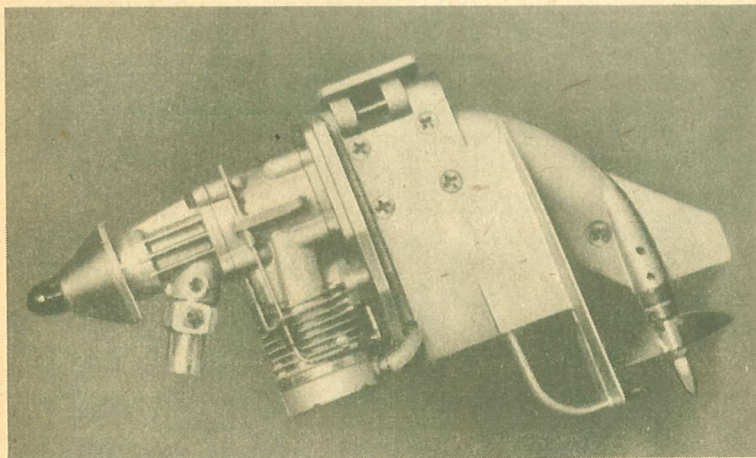


Bild 336 FSR-Rennboot mit biegsamer Welle

Bild 337
Heckmotor für
Modell-Sportboote mit 3,5 cm³
Hubraum. Die Umlenkung der
Antriebsrichtung erfolgt mittels
biegsamer Welle.

Im Gegensatz zu den gefesselten Rennbooten mit Unterwasserantrieb wird in den RC-Rennbooten mit voll eingetauchter Schraube gefahren. Meist wird auf ein Abwinkeln der Schraubenwelle im Interesse einer robusteren Bauweise verzichtet. Auch hier werden, wie bei den gefesselten Rennbooten, in immer stärkerem Maße biegsame Wellen eingesetzt, um die günstigste Schubrichtung der Schraube zu erzielen (Bild 336).

Nicht für den Rennbetrieb gedacht ist der in Bild 337 gezeigte Modell-Heckmotor mit 3,5 cm³ Hubraum. Die Umlenkung erfolgt ebenfalls mittels eingebauter biegsamer Welle, so daß sich für Modell-Sportboote neben einem naturgetreuen Gesamteindruck noch ein guter Wirkungsgrad des Antriebes ergibt.

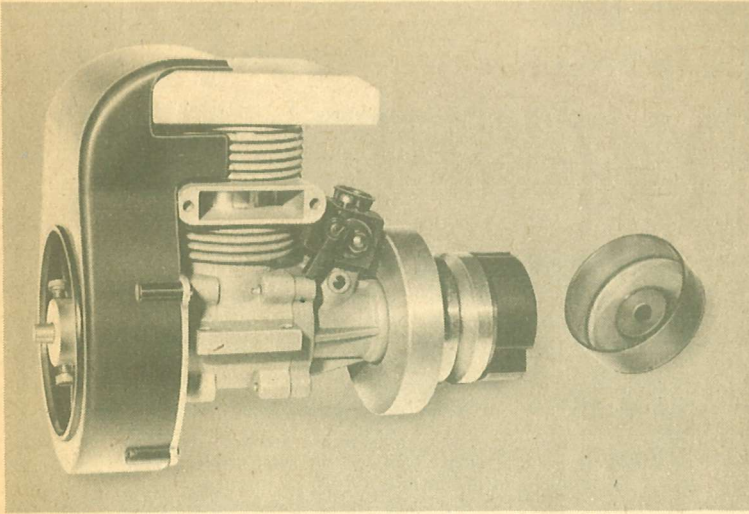


Bild 338
Der HB 10 Statmo für den
Einbau in Hubschrauber

10.14. Kühlgebläse

Die Kühlgebläse werden im allgemeinen mit Kurbelwellendrehzahl betrieben. Dazu werden sie bei Motoren mit Kurbelwellendrehtrieber, meist mit einer separaten Lagerung, am hinteren Deckel an-

geflanscht. Sie sind dann als Radialgebläse ausgebildet (Bild 338). Bei Motoren mit rückwärtigem Einlaß werden die Kühlgebläse, meist als Axialgebläse, zwischen Motor und Schwungrad angeordnet.

11. Der neue Modellmotor

11.1. Der Einlaufstand

Steht der Anfänger vor dem Problem, einem soeben erworbenen Modellmotor die ersten Arbeitstakte entlocken zu wollen, so benötigt er Einlaufstand, der es ihm ermöglicht, den Motor zu befestigen. Da der Modellmotor ein Präzisionserzeugnis ist, wird es leicht verständlich sein, daß ein Einspannen des Motors in den Schraubstock nur für den Schraubstock ohne Folgen bleiben würde.

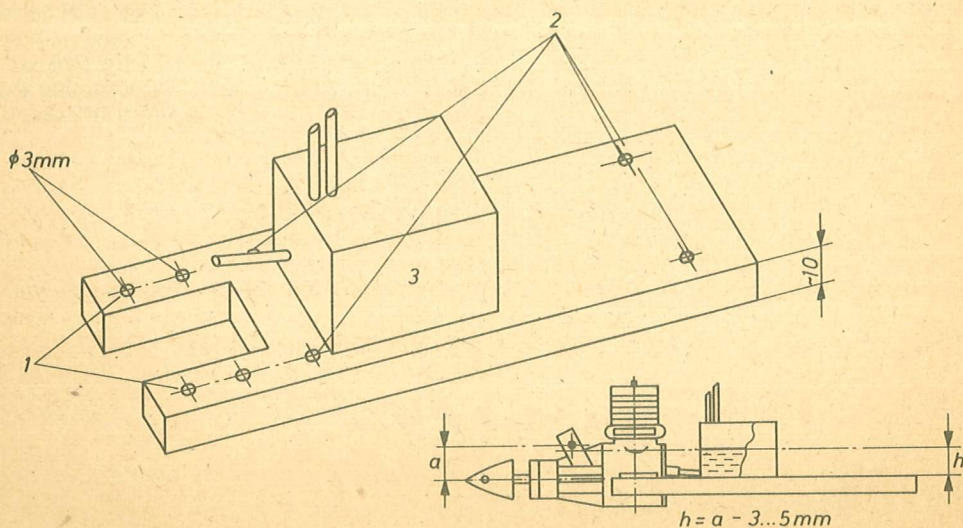
Der einfachste Einlaufstand ist ein 10 mm dickes Buchenholzbrettchen, das mit einem passenden Ausschnitt für den Motor versehen ist. Dem Motor entsprechend sind Befestigungslöcher zu bohren. Der Motor wird mit 4 M-3-Schrauben und gekonterten

Muttern befestigt und gesichert. Unterlegscheiben verhindern ein Durchziehen der Schraubenköpfe durch das Holz. Holzschrauben sind für die Befestigung von Modellmotoren nicht geeignet.

Auf dem Brett wird der Tank befestigt, dabei ist auf die Saughöhe zu achten. Auf keinen Fall darf der Tank so angeordnet werden, daß durch „Fallsprit“ der Motor ständig mit Kraftstoff vollläuft (Bild 339). Die Befestigung des Einlaufstandes an einem Tisch oder an einer Werkbank erfolgt mit kräftigen Holz- oder Maschinenschrauben. Schraubzwingen sind auf keinen Fall zu benutzen, da sie sich durch die Motorenvibration garantiert lösen.

Bild 339 Einfacher Prüfstand für Modellmotoren. Wichtig für ein einwandfreies Anspringen des Motors ist die Einhaltung der Saughöhe (h).

1 – Ausschnitt und Bohrung je nach Motor; 2 – hier Prüfstand mit 4 Holzschrauben befestigen; 3 – Tank



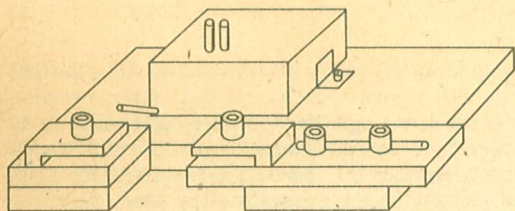


Bild 340 Mit diesem Prüfstand ist man in der Lage, Modellmotoren jeder Größe zu betreiben. Durch die Verwendung eines anschraubbaren Fußes kann er auch gut im Freien benutzt werden.

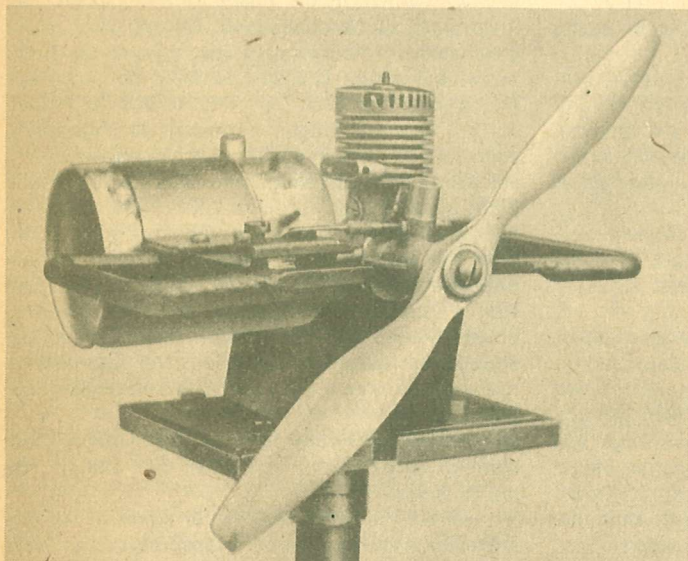


Bild 341 Freiluftprüfstand im Betrieb. Der Fuß wird in den Boden geschlagen und der Prüfstand daran befestigt.

Wer häufiger Motoren laufen lassen muß, sollte sich einen Einlaufstand nach Bild 340 bauen. Dieser Einlaufstand ermöglicht die Befestigung verschieden großer Motoren. Wichtig ist die Anbringung von Sicherungsstiften, die es verhindern, daß der Motor bei Lösen der Befestigungsklammer nach vorn herausrutscht.

Der Einlaufstand kann durch ein ca. 1,4 m langes Rohr komplettiert werden, das, in die Erde geschlagen, einen idealen Freiluft-Einlaufstand ergibt (Bild 341).

Auf keinen Fall darf beim Laufenlassen von Modellmotoren der Arbeitsschutz außer Acht gelassen werden. Unachtsamkeit führt bei Kontakt mit der drehenden Luftschaube zu bösen Verletzungen.

Vor zurückschlagenden Luftschauben schützt man sich am besten, indem der Anwerffinger mit Lenkerband oder ähnlichem umwickelt wird.

Wichtig ist eine gute Belüftung, denn die beim Motorenlauf entstehenden giftigen Kohlenoxyde führen schon bei geringer Konzentration zu Kopfschmerz, Übelkeit und Brechdurchfällen.

Der nicht unerhebliche Lärm, der beim Einlaufen nicht schallgedämpfter Modellmotoren entsteht, führt vor allem in geschlossenen Räumen zu Gehörschäden. Daher sind Gehörschutzwatte oder Gehörschutzkappen zu tragen.

Bei Hochleistungskraftstoffen kommt noch die Vergiftungsgefahr durch Hautkontakt, durch kleine Verletzungen oder durch die Atemluft hinzu.

11.2. Das Anwerfen

Günstig ist es, wenn einem Anfänger beim ersten Starten seines Motors ein erfahrener Modellsportler zur Seite steht. Nur so ist garantiert, daß der Motor auch zum Laufen kommt und nicht bereits bei den ersten Versuchen beschädigt wird.

Für den Neuling, der nicht auf die Hilfe eines erfahrenen Modellsportlers zurückgreifen kann, einige Hinweise:

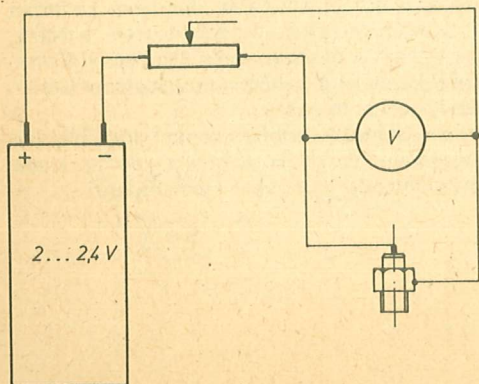
Der Motor wird auf einen Einlaufstand befestigt und der Tank mit dem erforderlichen Kraftstoff gefüllt. Auf den Motor wird ein Propeller mit großem Durchmesser und kleiner Steigung (Bild 257) so befestigt, daß bei Beginn des Verdichtungs Vorgangs der Propeller waagrecht steht.

Ein neuer Motor sollte nicht vorher verstellt werden, da die Motoren meist vom Werk in einer Grundeinstellung eingestellt sind, in der sie auch anspringen.

Soll ein Glühzündermotor angeworfen werden, ist eine Spannungsquelle (Blei- oder NC-Sammler) zu verwenden, die mit einer Kerzenklemme über einen Vorwiderstand verbunden wird (Bild 342). Je nach Kerzenfabrikat werden 1,2 bis 2,4 V benötigt. Mit dem Vorwiderstand wird die Spannung so eingestellt, daß die Kerzenwendel hellrot, aber nicht weiß glüht. Wer über ein Voltmeter verfügt, kann die vorgeschriebene Spannung genau einstellen.

Da die meisten Modellmotoren mit einer Düsenadelstellung von 2 bis 3 Umdrehungen laufen, wird die Düsenadel zu Beginn 2,5 Umdrehungen geöffnet,

Bild 342 Stromkreis zum Betreiben einer Glühkerze für Modellmotoren. Die Spannung wird je nach Kerzentyp (1,5 oder 2,4 V) eingestellt.



net, mit dem Finger der Vergaser verschlossen und durch zwei bis drei Umdrehungen Kraftstoff in den Motor gesaugt. Ein schmatzendes Geräusch zeigt an, daß sich genügend Kraftstoff im Motor befindet. Meist hilft ein Tropfen Kraftstoff, den man mit einer Injektionsspritze in die Auspufföffnung tropft, das Anspringen zu beschleunigen. Danach wird, unter gleichzeitigem Anlegen der Spannung an die Glühkerze, bei einem Glühzündermotor der Propeller kräftig „durchgerissen“. Wichtig ist, daß der Propeller mit einem kräftigen Schwung durchgerissen, aber nicht auf den Propeller geschlagen wird.

Hat der Motor nach einigen Anwerfversuchen noch nicht gezündet, so ist beim Glühzündermotor zunächst zu prüfen, ob die Kerze hellrot glüht. Glüht zwar die Kerze vorschriftsmäßig, ist aber nur ein Knistern zu hören, so hat der Motor zuviel Kraftstoff. Es sind dann noch einige Anwerfversuche zu unternehmen. Hört das Knistern nicht auf, ist die Düsenadel weiter zu schließen. Der überflüssige Kraftstoff im Motor wird durch Blasen in den Auspuff entfernt.

Der Selbstzündermotor läßt sich, wenn zuviel Kraftstoff im Zylinder ist, nicht über den oberen Totpunkt drehen.

Ein weiteres sicheres Zeichen für einen zu fett eingestellten Motor ist, wenn er anspringt, aber nicht durchläuft, sondern pendelt; d. h. der Motor zündet, aber die Laufschaube dreht sich nicht, sondern pendelt hin und her.

Sollte ein Selbstzündermotor nach etlichen Versuchen bei richtig eingestellter Vergasernadel nicht zünden, so ist langsam die Verdichtung zu erhöhen. Die Kompressionsschraube wird $\frac{1}{8}$ Umdrehung weiter hineingedreht, und die Anwerfversuche werden wiederholt; hierbei ist alles bisher Gesagte wieder neu zu beachten.

Das Gefühl für einen richtig eingestellten Motor kann nur durch beharrliches Training erworben werden und ist verbal nicht zu vermitteln. Die beste Hilfe bleibt die Einweisung durch einen erfahrenen Modellsportler. Auf keinen Fall darf der Motor mit Gewalt durchgedreht oder gar mit einer Bohrmaschine und ähnlichem Gerät mißhandelt werden. Hat man endlich soviel Fertigkeit und Erfahrung erworben, daß der Motor angesprungen ist, so muß der Motorenlauf genauestens beobachtet werden. Heult der Motor nur kurz auf und bleibt wieder stehen, so erhält er zu wenig Kraftstoff; die Düsenadel ist ein Stück aufzudrehen. Läuft der Motor stotternd mit langsamer Drehzahl, und brennt beim Glühzünder die Kerze dunkelrot, so erhält der Mo-

tor zuviel Kraftstoff; die Düsenadel ist ein Stück zu schließen.

Läuft ein Selbstzünder mit niedriger Drehzahl und hartem Motorengeräusch, so ist meist die Verdichtung zu hoch eingestellt. Wird die Kompressionschraube ein Stück herausgedreht, so geht der Motor in einen hell singenden Ton über, der die richtige Kompressionseinstellung anzeigt.

Läuft ein Motor einige Sekunden mit hoher Drehzahl und sauberem Ton, sinkt dann aber in der Drehzahl rasch ab, so ist das ein Zeichen dafür, daß der Motor überhitzt. Bei einem Glühzünder ist dann die Düsenadel ein Stück zu öffnen. Bei einem Selbstzünder hilft diese Maßnahme zwar auch, aber es ist wirksamer, die Kompression etwas zu verringern.

11.3. Das Einlaufen

Das Einlaufen hat den Zweck, alle gleitenden Teile des Motors einander anzupassen und somit die Reibung im Motor auf ein Minimum herabzusetzen. Durch diesen Vorgang entsteht zu Beginn des Einlaufens beachtlicher Abrieb, der sich durch eine schwarze Färbung des vom Motor ausgeworfenen Öls bemerkbar macht. Je sauberer und genauer der Motor an den Gleitflächen bearbeitet wurde, desto weniger Abrieb entwickelt er und desto kürzer wird folglich die Einlaufzeit.

Da zu Beginn des Einlaufens die Motoren durch die hohe innere Reibung zum Überhitzen neigen, müssen sie mit Kraftstoffüberschuß betrieben werden, da der überschüssige Kraftstoff als Kühlmittel wirkt.

Das Einlaufen sollte folgendermaßen erfolgen:

Unter Verwendung von Einlaufkraftstoffen den Motor mit einer Luftschraube großen Durchmessers und kleiner Steigerung bestücken und so lange laufen lassen, bis kein schwarzes Öl mehr aus dem Auspuff austritt. Der Motor ist möglichst ohne Schalldämpfer zu betreiben und sollte nach jeweils 3 min bis 5 min Laufzeit vor dem erneuten Anwerfen erst auskühlen.

Mit einem Stück Löschpapier oder weißem Stoff, das bei laufendem Motor vor den Auspuff gehalten wird, ist leicht die Farbe des austretenden Öls zu prüfen. Nach jedem erneutem Anwerfen ist die Düsenadel neu einzuregulieren, da der Motor immer weniger Kraftstoff zur Innenkühlung benötigt. Wenn die Ölprobe zeigt, daß das Öl in mäßiger Menge goldgelb austritt, ist die erste Phase des Einlaufens abgeschlossen. Meist benötigen die Motoren dazu 10 min bis 40 min Laufzeit. Für die meisten Modellsportler ist damit das Einlaufen abgeschlossen. Sportler, die den Motor für Wettbewerbszwecke, vor allem in den Rennklassen, einsetzen

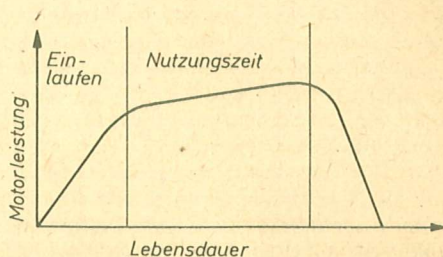


Bild 343 Abhängigkeit Lebensdauer – Leistung bei Modellmotoren

wollen, müssen noch eine zweite Einlaufphase anhängen. Dazu wird der Motor mit einem Rennpropeller versehen und solange auf dem Einlaufstand laufengelassen, bis wiederum nur sauberes Öl austritt.

Bei dieser zweiten Phase ist gegen Ende jeder neuen Tankfüllung die Motorendrehzahl zu messen und zu notieren. Dieses rennmäßige Einlaufen ist abgeschlossen, wenn die Drehzahl, über drei Tankfüllungen gemessen, nicht mehr steigt. Der Motor muß dann auch in der Lage sein, kurzzeitig (20 s bis 30 s) mit abgedeckten Kühlrippen ohne Drehzahlverlust zu laufen. Jeder Motor hat zu diesem Zeitpunkt noch nicht seine absolute Höchstleistung erreicht. Diesen Höchststand erreicht er kurz vor Ende seiner Lebensdauer (Bild 343). Die Kunst des Modellsportlers ist es, den Zeitpunkt der Höchstleistung des Motors durch seine Erfahrung genau zu bestimmen und ihn für die wichtigsten Wettbewerbe aufzuheben.

11.4. Wartung und Pflege

Modellmotoren sind Präzisionserzeugnisse von höchster Genauigkeit und so müssen sie auch behandelt werden. Ein neuer Motor sollte nicht demontiert werden, da schon die kleinsten Fehler bei der Montage oder ein paar Sandkörner, wenn sie die „richtige Stelle“ erreichen, den Motor unbrauchbar machen.

Manche Hersteller verwenden stark harzende Öle zum Konservieren ihrer Motoren. Diese Öle bewirken, daß der neue Motor dermaßen verklebt ist, daß er sich nur sehr schwer oder überhaupt nicht durchdrehen läßt. In solch einem Fall muß der Motor mehrere Tage in Petroleum, Nitroverdünnung, Waschbenzin oder Trichloräthylen eingeweicht und vorsichtig, ohne Gewaltanwendung, demontiert werden. Von allen Bauteilen ist das verharzte Öl abzuwaschen. Die Teile sind zu trocknen und der Motor ist wieder zusammenzubauen. Beim Zusammenbau sind alle Teile mit Uramol (Feinwerköl) oder Paraffinöl einzuölen.

Zur Arbeit an Modellmotoren ist nur passendes Werkzeug zu verwenden. Auf keinen Fall darf improvisiert werden. Sollten Spezialschlüssel zur Demontage benötigt werden, so müssen sie, wenn sie dem Motor nicht beigelegt waren, erst besorgt oder angefertigt werden. Die verwendeten Schraubendreher müssen passen, d. h. die Schrauben sollen, auf die Schraubendreherklinge gesteckt, an ihr hängenbleiben. Nur so ist eine Beschädigung der Schraubenschlitze ausgeschlossen.

Kreuzschlitz- oder Innensechskantschrauben sind nur mit den dafür vorgesehenen Werkzeugen zu lösen; notfalls müssen die Schlüssel erst angefertigt werden. Sechskantschrauben, Kerzen oder eingeschraubte Vergaser sind ebenfalls nur mit passenden Steck- oder Gabelschlüsseln zu lösen; auf keinen Fall dürfen dafür Zangen verwendet werden!

Kugellager und Laufbuchsen werden meist warm in das Gehäuse eingesetzt; sie können demzufolge auch nur nach entsprechender Erwärmung des Gehäuses auf einer Heizplatte demontiert werden. Bei der Montage ist das Gehäuse wiederum zu erwärmen. Die Einzelteile sind auf einen sauberen, nicht fuselnden Putzlappen (Leinenlappen) zu legen, um jedwede Verschmutzung zu vermeiden.

Besondere Vorsicht ist mit den Kugellagern geboten. Ein einziges überrolltes Sandkorn auf der Lauffläche setzt die Lebensdauer eines Kugellagers rapide herab und steigert im gleichen Maße die Reibung im Lager, wodurch die Motorenleistung um den gleichen Anteil sinkt. Einmal überrollte Teil-

chen können aus einem Kugellager nur schwerlich entfernt werden.

Ist es notwendig, einen Hammer zu verwenden, wie z. B. bei der Montage einer kugellagerten Kurbelwelle, so ist ein leichter Hammer (50 g) zu verwenden. Außerdem ist mit einem Aluminium- oder einem Kupferdorn zu arbeiten, um ein Anstauchen des Bauteils zu verhindern.

Bei eingelaufenen Motoren ist das Demontieren der Laufbuchse und des Kolbens nach Möglichkeit zu vermeiden, da diese Teile in der Stellung, in der sie eingelaufen sind, nie wieder eingebaut werden können.

Aus diesem Grund sind die Laufbuchsen bei Qualitätsmotoren durch einen Stift gegen Verdrehen und falschen Einbau gesichert.

Zur Demontage der Laufbuchse darf auf keinen Fall ein Schraubendreher durch den Auspuff gesteckt oder die Buchse am Bund mit der Zange gegriffen werden, da es in beiden Fällen zu Deformationen kommt. Sehr gut hat sich dagegen folgende Technik bewährt: Ein Aluminium-Kerzendichtring wird soweit durch den Auspuff gesteckt, daß er, auf dem Kolben liegend, noch ein Stück in den Auspuff ragt. Wird nun die Kurbelwelle gedreht, schiebt der Kolben die Laufbuchse aus dem Motor heraus.

Ist ein Motor durch einen Absturz stark verschmutzt, so ist es vorteilhaft, nur den hinteren Deckel abzubauen und ihn dann mit Waschbenzin oder Petroleum auszuspülen.

Nur wenn Sand in die Kugellager gekommen ist, was recht selten geschieht, ist der gesamte Motor, wie oben beschrieben, zu reinigen. Ein verschmutzter Motor darf niemals durchgedreht werden.

Nicht benutzte Motore werden gereinigt, mit Feinwerköl eingeölt und in Plastetüten vor Staub geschützt, aufbewahrt.

Im Modell eingebaute Motoren sind in den Phasen zwischen den Starts durch Umwickeln mit sauberen Lappen oder durch Verschließen der Ansaug- und Auspufföffnung vor Staub zu schützen.

Damit in den Motor keine Staubteilchen über den Kraftstoff gelangen, ist vor dem Tanken sorgfältig zu filtern. Kraftstofffilter in der Kraftstoffleitung am Modell müssen häufig gereinigt werden, da sie sonst die Eigenschaft haben, sich genau in den Augenblick zuzusetzen und den Kraftstoffzufluß zu drosseln, in dem man es am wenigsten erwartet und gebrauchen kann. Gut bewährt haben sich auch Einfülltrichter mit einem sehr feinen Metallgaze-Filter.

Genauso, wie auf die Sauberhaltung des Motors geachtet werden muß, ist natürlich auch das Zubehör (Vergaser, Kerzen usw.) sauber zu halten. Am besten verwendet man für die Aufbewahrung dieser Bauteile Plastschachteln.

Zur Wartung und Pflege gehört, daß von Zeit zu Zeit alle Schrauben am Motor nachgezogen und,

wenn Öl an den Trennstellen austreten sollte, die Dichtungen erneuert werden. Zur Pflege des Motors gehört ebenfalls, daß nur einwandfrei ausgewuchtete Propeller verwendet werden. Wer diese Hinweise beachtet, dürfte mit seinen wertvollen Modellmotoren eine hohe Laufzeit erreichen.

12. Literaturverzeichnis

Bücher:

- Fellgiebel: Benzinmotoren für Flugmodelle und ihr Selbstbau. – Berlin: Volkman-Verl., 1943.
- Kratsch: Modellmotoren und ihre Behandlung. – Zella-Mehlis: PGH HAWEGE (Bauplanbeilage), 1968.
- Moulton: Modell Aero Engine Encyclopaedia. – London: Argus Press Ltd., 1959.
- Rachwał, A.: Lotnicze modele wyczynowaa uwiezi. – Warszawa: WKL, 1972.
- Raschkow; Tinew: Skorostni awiomodeli. – Sofia: Technika, 1967.
- Demuth: Modellmotoren. – Villingen-Schwenningen: Neckar-Verl., 1976.
- Perelman: Taschenbuch der Chemie. – Berlin: Dt. Verlag d. Wiss., 1959.
- Müller, Ch.; Müller, F.: Kraftfahrzeugvergaser. – Berlin: Technik, 1980.
- Fisher: Model Aero Engines. – Watford: Argus Books Ltd., 1977.

Zeitschriften:

- modellbau heute. – Berlin: Militärverlag
- Modell. – Villingen: Neckar Verl.
- Aeromodeller. – Hampstead/London: MAP
- Modellistica. – Roma

Sachwortverzeichnis

A

Abgasseite 130
 Anlasser 182
 Ansaugseite 129
 Äther 11
 Auspufftüte 133
 Auswuchtung 16
 Automodelle 20

B

Betriebsdrehzahl 12
 Brennraum 71

C

CO₂-Motor 47

D

Drehmomentpendel 94
 Drehmoment-Waage 91
 Drehschieber 64
 Drehzahl 11, 12, 86
 Drehzahlmessung 94
 Dreikanal-Umkehrspülung 30
 Drosselvergaser 22
 Drucktank 176
 Druck-Volumen-Diagramm 6

E

Einlaßdrehschieber 79
 Einlaßsteuerung 64, 140
 Einlaufstand 198

F

F1 C 30
 F2 C 30
 F2 D 30
 FAI-Klassen 30
 Flammpunkt 10
 Flugmodelle 20
 Füllungsgrad 126

G

Gasdynamische Abstimmung 128
 Gaskräfte 15
 Gasturbine 148
 Gegenkolben 74
 Gleichstromspülung 55
 Glocken-Drehschieber 30
 Glühkerzen 14, 137
 Glühwedel 137
 Glühzünder 27
 Glühzündermotor 11, 27, 159

H

Hartchrom-Auftrag 102
 Heizwert 10
 Hochleistungsmotor 27, 30
 Hub-Bohrungsverhältnis 50
 Hubraum 11, 50

I

Innenkühlung 11

K

Kolben 68
 Kolbenbolzen 68
 Kolbengeschwindigkeit 51
 Kolbensteuerung 63
 Kolbenring 107
 Kompressionsverstellung 74
 Kraftstoff 8
 Kraftstoff-Luft-Gemisch 14
 Kraftstoffverbrauch 14
 Kreiskolbenmotor 36
 Kreisprozeß 6
 Kühlgebläse 197
 Kühlung 117
 Kurbelgehäusevolumen 130
 Kurbelkastenpumpe 116
 Kurbeltrieb 15
 Kurbelwelle 16, 70, 109

L

Lanchestergetriebe 16
Langhuber 50
Läppen 100
Laufbuchse 74, 107
Leistungsmessung 85
Leistungsprüfstand 86
Luftbedarf 10

M

Massenausgleich 16
Membransteuerung 63
Motorengehäuse 70

N

Nasenkolben 55

O

Öl 11
One-line 34

P

Pendelbock 91
Petroleum 11
Pleuel 69
Propeller 20
Prüfstand 91
Pulsotriebwerk 150

Q

Querstromspülung 55

R

Rennbootmotor 14
Rennvergaser 27, 161
Reparatur 114
Ringspülung 60
Ringvergaser 161
Rückdrehmoment 12

S

Schalldämpfer 22, 27, 171

Schleifen 100

Schnürlespülung 57
Schwungmasse 20
Schwungscheibe 20
Seitendruck 51
Selbstzünder 11
Selbstzündermotor 29
Siedepunkt 10
Spritzvergaser 161
Spülpumpe 13
Spülung 12
Sternmotor 35
Steuerdiagramm 114
Steuerzeiten 144

T

Tankeinrichtung 186
Team Racing 30
Tuning 114

U

Überströmkanal 127
Umkehrspülung 55

V

Verbrennungsmotor 6
Verdichtung 13, 74
Verdichtungsverhältnis 116
Vergaser 161
Viertaktmotor 7

W

Wirkungsgrad 11
Wirkungsgrad, mechanisch 121

Z

Zündbeschleuniger 11
Zündzeitpunkt 138
Zweitaktmotor 8
Zylinder 51
Zylinderkopf 71

NEUERSCHEINUNG

Karl-Heinz Eyermann

MiG-Flugzeuge

MiG-Flugzeuge sind heute ein Begriff in aller Welt. Mehr als vier Jahrzehnte sind seit der Entwicklung des ersten Jagdflugzeuges im 1939 gebildeten Konstruktionsbüro von A. I. Mikojan und M. I. Gurewitsch vergangen.

Das transpress-Typenbuch, das sich vor allem an Typensammler und Modellbauer wendet, bietet einen repräsentativen Überblick über die MiG-Flugzeuge von der MiG-1 bis zur MiG-27. Viele Fakten und Daten hat der bekannte Luftfahrtautor K.-H. Eyermann zusammengetragen und in diesem Buch verarbeitet. Zahlreiche

Fotos und eine Vielzahl von farbigen und Schwarzweißzeichnungen ergänzen den Text.

1. Auflage
192 Seiten – 216 Abbildungen
Pappband cellophaniert
02980
Ausland 28,00 DM
Bestellangaben:
ISBN 3-344-00071-3
566 156 6/Eyermann, MiG-Flugzeuge



transpress VEB Verlag für Verkehrswesen
DDR – 1086 Berlin
Französische Str. 13/14

IN VORBEREITUNG

Günter Schmitt

Hugo Junkers und seine Flugzeuge

Professor Hugo Junkers, ein international geachteter Pionier des technischen Fortschritts, hatte entscheidenden Anteil an der Konstruktion und an dem Bau von Ganzmetallflugzeugen. Das Buch schildert die Entwicklung der Junkers-Flugzeuge und den Lebensweg Hugo Junkers bis zu seinem Tod im Jahre 1935.

Bis in die Gegenwart war der Name Junkers mit Vorurteilen und überkommenen, voreiligen Behauptungen behaftet. In diesem Buch werden Tatsachen dargestellt, die es dem Leser ermöglichen, solche Beurteilungen zu überprüfen und zu korrigieren.

Mit großer Akribie zeichnet der Autor einen wichtigen Abschnitt der Luftfahrtgeschichte.

Zahlreiche Fotos, Zeichnungen und Tabellen ergänzen die Textaussage.

1. Auflage

224 Seiten – 350 Abbildungen –

16 Tabellen – 10 Karten

Leinen mit Schutzumschlag

04800

Ausland 48,00 DM

Bestellangaben:

ISBN 3-344-00065-9

566 933 0/Schmitt, Flugz. Junkers



transpress VEB Verlag für Verkehrswesen
DDR – 1086 Berlin
Französische Str. 13/14

1908 flog in England das erste Flugmodell mit einem 15-cm³-Viertakt-Benzinmotor; inzwischen sind 5- und 7-Zylinder-Sternmotoren auf dem Markt, nachdem vor 15 Jahren in Polen die ersten Kreiskolbenmotoren als Modellantriebe gebaut worden sind.

Dieses Buch beschäftigt sich jedoch nicht mit den Extremen, sondern mit dem handelsüblichen Serienangebot an Modellmotoren, das dem Modellsportbegeisterten zur Verfügung steht. Es werden die Arbeitsweise und die Bauweisen sowie die Baugruppen moderner Modellmotoren erläutert mit der Detailliertheit, die nötig ist, um durch Tuning und gasdynamische Abstimmung Hochleistungen zu erzeugen. Selbstredend gehören das ganze Drum und Dran wie Tankanlagen, Brenn- und Schmierstoffe, das Einlaufen des neuen Motors sowie Wartung und Pflege dazu.
