

Sitzungsperiode 1940/1941

5. Wissenschaftssitzung der ordentlichen Mitglieder
19. Juli 1940

Arthur Berger: Die äußere Gestaltung der Flugmotoren in der nächsten Zeit

Robert W. Pohl: Herr Pohl legt der Akademie sein Buch über »Optik« vor

Die äußere Gestaltung der Flugmotoren in der nächsten Zeit

Von Arthur Berger

(Auszug)

Wegen der beschränkten Zeit muß in diesem Vortrag von der Besprechung aller auf die Verbrennung bezüglichen Verbesserungen abgesehen werden, ebenso von der der Auflademöglichkeiten, der Ausnutzung der Auspuffenergie in Rückstoßdüsen und Abgasturbinen usw., da diese Verbesserungen allen hier zu besprechenden Motoren zugute kommen. Lediglich von der Drehzahlsteigerung, den Anordnungen von Kurbelwellen und Zylindern und der Zylindervermehrung mit dem Ziel der Leistungserhöhung und Gewichtssenkung soll die Rede sein mit bewußter geringerer Besprechung der luftgekühlten Sternmotoren, weil deren Zylinderanordnung nicht so wandlungsfähig ist, wie die der Reihenmotoren.

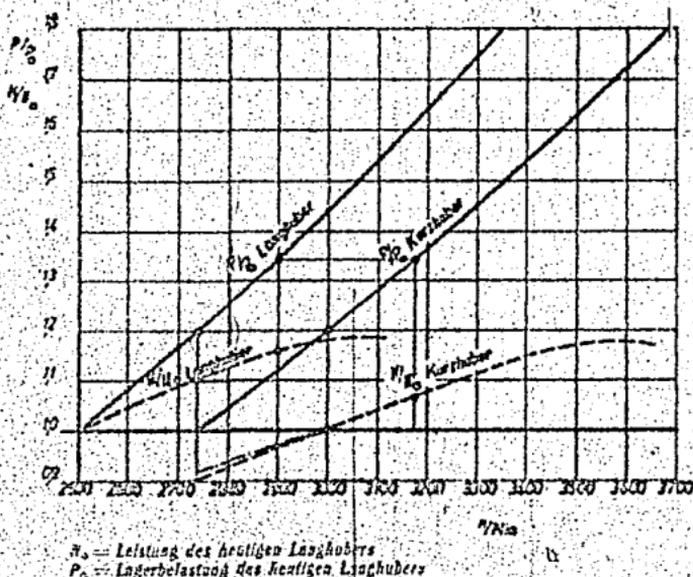
Im Vordergrund bleibt zunächst die Leistungssteigerung durch Drehzahlerhöhung. Es tritt vorerst die Frage auf: Ist es richtig, einen Motor besonders kurzhubig zu bauen?

Geht man von einem nach heutigen Begriffen guten Flugmotor aus, bei dem eine Vergrößerung der Ventilquerschnitte und eine Verringerung der Kolben- und Pleuellgewichte konstruktiv nicht gut möglich ist, so wird die Drehzahl hauptsächlich begrenzt durch die Gasgeschwindigkeit in den Ventilen und die Belastungsfähigkeit der Pleuellagerflächen durch die Zentrifugalkraft.

Verringert man seinen Hub, so kann man bis zur Erreichung der beim ursprünglichen Langhuber zulässigen Pleuellagerbeanspruchung die Drehzahl nur umgekehrt dem Verhältnis der Quadratwurzel des Hubverhältnisses steigern, während gleichzeitig das Hubvolumen proportional der Hubverkleinerung, also stärker fällt. Zur Erreichung der Langhuberleistung durch den Kurzhuber müßte dessen Drehzahl weiter gesteigert werden, wobei die Lagerbelastung mit dem Quadrat der Drehzahl, also stark zunimmt. Reicht das Lager aber doch noch für diese Drehzahl aus, so würde das ja gleich große Lager des Langhubers auch

diese Belastung aushalten, also eine höhere Drehzahl, die eine weitere Leistungssteigerung des Langhubers ergibt. Diese erzielt aber der Kurzhuber erst durch weitere Drehzahlsteigerung, also noch wesentlich höhere Lagerbeanspruchung.

In Abbildung 1 sind die Pleuellagerbelastungs- und Leistungsverhältnisse des Lang- und Kurzhubers gleichen Zylinderdurchmessers, also auch gleicher Ventilquerschnitte verglichen, deren Hübe solche Abmessungen haben, daß der Langhuber bei 2500 Uml/Min. dieselbe Leistung hat, wie der Kurzhuber bei $n = 3000$.



P_0 = Leistung des heutigen Langhubers
 P_0 = Lagerbelastung des heutigen Langhubers

Abb. 1

Vergleich der Leistungen und Lagerbelastungen von Langhuber und Kurzhuber bei gleichem mittlerem Druck

Man sieht, daß dabei die Lagerbelastung des Kurzhubers bereits 20% größer ist als die des Langhubers gleicher Leistung, und daß bei gleicher Lagerbelastung der Kurzhuber fast 10% kleinere Leistung aufweist.

Ein einfacher Gewichtsvergleich — nur Pleuel- und Zylinderlänge ändern sich — zeigt, daß die Verringerung des Gewichtes durch Hubverkleinerung bei weitem nicht dem dadurch entstehenden Leistungsverlust entspricht.

Allerdings wird auch die Stirnfläche des Kurzhubers kleiner, aber auch dieser Vorteil ist nur scheinbar, weil ja bei gleicher Lagerbeanspruchung beider Motoren auch die Leistung gefallen ist.

Ein weiterer Nachteil der schnellaufenden Motoren bringt die Notwendigkeit mit sich, für gleiche Luftschaubendrehzahl das Getriebeübersetzungsverhältnis zu vergrößern, was besonders bei Kurzhubern häufig zu Schwierigkeiten, z. B. zu Doppelübersetzungen, führt, die das Gewicht vergrößern, den Wirkungsgrad verringern und damit den Brennstoffverbrauch und die Überwärmung vermehren und die Herstellungskosten und die Herstellungszeit steigern.

Den Hub der jetzt gebräuchlichen Motoren zu vergrößern ist dagegen auch nicht günstig, da damit das Verhältnis von Ventilquerschnitt zu Hubvolumen sinkt.

In erster Linie muß auf die Pleuellagerverbesserung hingearbeitet werden, dann erst auf die Ventilquerschnittsvergrößerung, um durch Drehzahlsteigerung Leistungssteigerung und spezifische Gewichtserparnisse zu erzielen.

Das Verlangen nach immer größeren Leistungen kann vorläufig noch durch eine gewisse gleichzeitige Vergrößerung von Hub und Bohrung befriedigt werden, wobei deren Abmessungsverhältnis um 1,05 bis 1,12 liegen müßte, doch dürfte beim Zwölfzylinder (wie bei dem z. Zt. erzielbaren mittleren Druck erreichbare Leistung nur wenig über 2000 PS herauskommen, da bei weiterer Vergrößerung der Kolben und Zylinder die Hubraumausbeute wieder sinkt, das spezifische Gewicht und die Stirnfläche steigen.

Eine wirksame Leistungssteigerung bringt die Vermehrung der Zylinderzahl.

Naheliegend ist die Vermehrung der Anzahl der Zylinder in der V-förmigen Anordnung von zwölf auf sechzehn, also 8 Zylinder je Reihe, eine Konstruktion, die im Flugmotorenbau noch nicht mit Erfolg angewendet wurde, wofür der Grund nicht recht einzusehen ist, wenn auch gerade keine Gewichtslockerung davon zu erwarten ist. Gewisse Kompromisse werden in Kauf genommen werden müssen, das lange Motorgehäuse muß verdrehungssteif, der Achtzylinderblock technisch ausführbar konstruiert sein. Der für gleichmäßige Zündfolge nötige Zylinderwinkel müßte zwar 45° betragen und der Motor würde sehr schmal, aber die

Durchführung des Schußloches ist erschwert. Verzicht auf gleichmäßige Zündfolge durch einen Winkel von 60° ermöglicht den Durchschußkanal, verlangt aber zwei Zündmagnete.

Das Boxerprinzip (Abbildung 2) das sich für Zwölfzylinder nicht einbürgert hat, weil es für Jagdeinsitzer horizontal wegen der breiten Bauart, vertikal neben dem Fehlen eines zentrischen Schußloches wegen schlechter Auspuffabführung nicht günstig erschien, könnte auch mit 16 Zylindern mit voller Ausbalancierung ohne gleichzeitige Zündung in zwei Zylindern durchgeführt werden. Es gibt dafür eine eigenartige, wenig bekannte Kurbelanordnung mit ungefähr $\pm 8^\circ$ gegen die 45° versetzten Kurbeln.

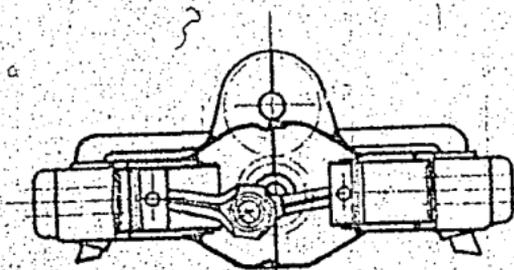


Abb. 2

Prinzip des
Boxer-Motors
 2×6 oder
 2×8 Zylinder

Achtzehn Zylinder hat Isotta Fraschini in drei Sechserreihen untergebracht (Abbildung 3). Ein Schußkanal ist an geeigneter Stelle nicht möglich, die Pleuelstangen werden wegen des 40° -Winkels der Zylinder sehr lang, damit die Bauhölle groß.

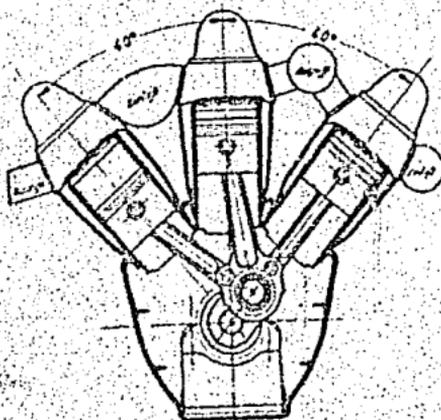
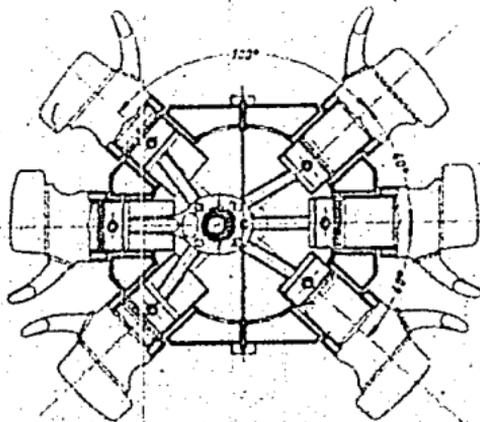


Abb. 3

W-Motor 3×6 Zylinder, Winkel der Zylinder zueinander 20°

Für besonders hohe Leistungen wäre ein Doppel-W-Motor mit 36 Zylindern als Schnellläufer nach Abbildung 4 wegen seiner nicht großen Höhe, günstiger Leitungsführung und praktischer Apparateunterbringung und Aufhängungsmöglichkeit im oberen und unteren 100°-Zwischenraum geeignet.

Abb. 4



Doppel-W-Motor mit einer Kurbelwelle

Sternanordnung mit neun Zylindern in einem und weiteren neun Zylindern im hinteren, zum vorderen gestaffelten Stern ergibt wegen der besten Ausnutzung der Kurbelkröpfung und Kurbelkammer wohl günstiges Gewicht trotz der schweren Gegengewichte, ist aber wegen der Stirnfläche ausschließlich der Luftkühlung vorbehalten.

Für mehr als achtzehn Zylinder eignen sich besonders auch für Wasserkühlung sechs Zylinderreihen von je vier Zylindern unter je 60° und vier Zylinderreihen von je sechs Zylindern unter 90° (Abbildung 5), wobei die Pleuelstangenkonstruktion wegen der nicht immer durch Explosionskräfte verringerten Zentrifugalkräfte den schwierigsten Teil bilden dürfte. Verschiedene Zündfolgen beim 90°-X-Motor ergeben eigenartige Kraftfolgen an der Kurbelwelle (Abbildung 6).

Zweiwellenmotoren haben aus verschiedenen Gründen Berechtigung. Der Napier Dagger (luftgekühlt) und der Hispano (wassergekühlt) sind als parallele, stehende Boxermotoren, sogenannte H-Motoren konstruiert, um vierundzwanzig Kolben unterzubringen, wovon immer nur zwei auf eine Kurbelkröpfung arbeiten, so daß die Verwendung von zentrisch angreifenden Pleueln möglich ist (Abbildung 7). Der Einbau ist nicht gerade günstig.

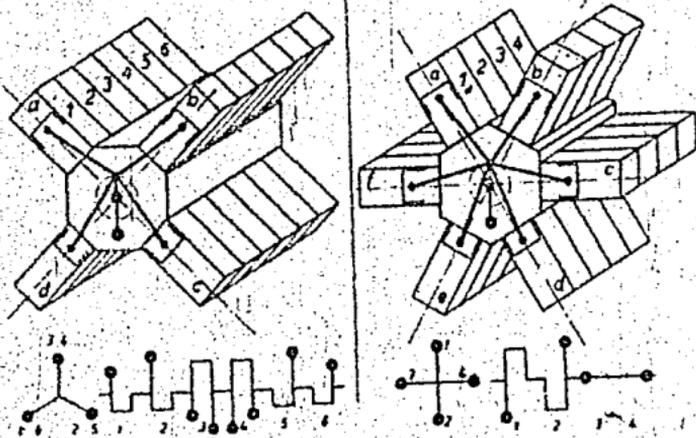
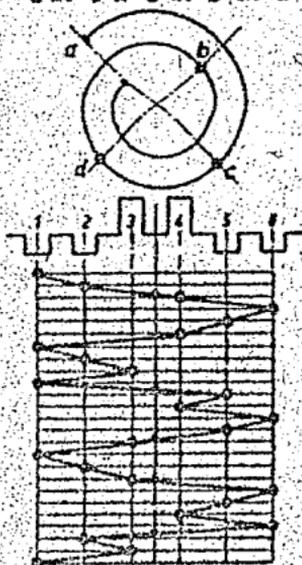


Abb. 5

4 Zylinder im Stern
6 Zylinder in Reihe

6 Zylinder im Stern
4 Zylinder in Reihe

$a-90^\circ-c-90^\circ-d-90^\circ-b-270^\circ-a$



$a-90^\circ-b-90^\circ-c-90^\circ-d-450^\circ-a$

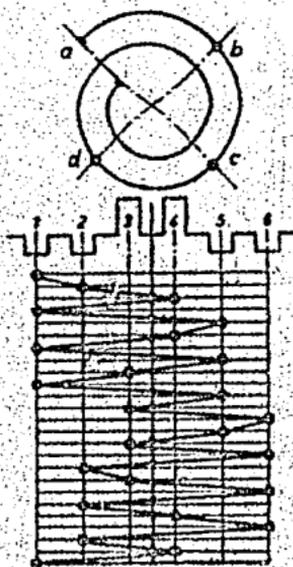
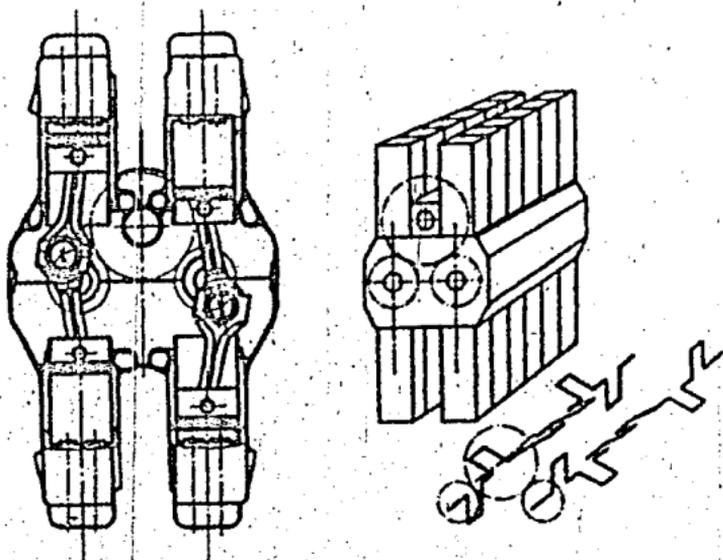


Abb. 6

2 charakteristische Zündfolgen eines Reihensternmotors mit 4 Zylindern im Stern und 6 Zylindern in Reihe

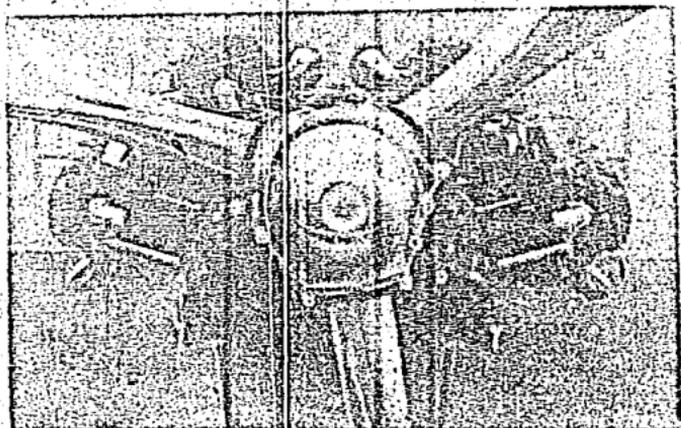
Abb. 7



Prinzip des
H-Motors
4×6 Zylinder

Ähnlich hat man auch zwei amerikanische 12-Zylinder-Allisonmotoren (Abbildung 8) vereinigt, aber mit gemeinsamem Kurbelgehäuse, ohne die großen Vorteile des Abkuppelns jedes Motors auszunützen.

Abb. 8



24-cyl. ALLISON
(2000 h. p.)

Die in Amerika ausgeführte Verbindung zweier luftgekühlter 6-Zylinder-Menascomotoren mittels Freiläufen ist nicht vorteilhaft.

Wird, wie früher besprochen, zwecks Zylindervermehrung zum V-förmigen Sechszehnzylinder übergegangen, so ist auch die Verbindung zweier

solcher Motoren nebeneinander in der Art des DB 606 möglich, womit fast 4000 PS auf eine Schraube wirkend erreicht werden können. Nur rückt (Abbildung 9) bei möglichst schmaler Bauart das Zentrum wegen der großen Luftschraube und des dementsprechend sehr großen Übersetzungsverhältnisses tief nach unten.

Zwei W-Motoren, also 36 Zylinder lassen sich in den in Abbildung 10 dargestellten Arten auf eine Schraube wirkend abkuppelbar zusammenbauen, wodurch bei gedrängter Bauart und nicht ungünstiger Auspuffführung über oder unter dem Tragdeck je nach der Zylinderanordnung sehr große Einheiten geschaffen werden können.

Wesentliche Schwierigkeiten erwachsen den Motorenkonstruktoren aus der Forderung gegensinnig drehender Luftschrauben bei mehrmotorigen Flugzeugen, wobei die Kurbelwellendrehrichtung aller Motoren wegen der Lagerhaltung nur eines Motormusters erhalten bleiben, also die Drehrichtungsumkehrung durch das Getriebe bewerkstelligt werden muß. Bei mit der Kurbelwelle koaxialen Getrieben ist die Lösung durch Festhalten des sonst getriebenen Trabantensternes gegeben, bei desaxialen Getrieben durch Einführung eines Zwischenrades, das die Drehrichtung umkehrt.

Gegenläufige, d. h. zwei koaxiale Schrauben auf einer Welle, besonders wichtig für Jagdeinsitzer zur Vermeidung des Kippmomentes und des Kreischmomentes, werden bei Doppelmotoren von je einem der Motoren, also nicht synchronlaufend, angetrieben.

Vorteil: Betrieb mit einem Motor zwecks Brennstoffersparnis im Reiseflug oder bei Ausfall eines Motors.

Nachteil: Keine Durchschußmöglichkeit durch den Schraubenkreis. Bei Einzelmotoren gibt es verschiedene Antriebsmöglichkeiten für gegenläufige Schrauben, wovon 3 Prinzipien im Vortrag gezeigt wurden.

Nur der Vollständigkeit halber auf Abbildung 11 der Vergleich der Stirnflächen der besprochenen Motoren, deren Größe nicht allein ausschlaggebend für die Eignung ist, aber von Fall zu Fall die Wahl beeinflusst.

Die meisten der gezeigten Motorenmuster dürften nur flüssigkeitsgekühlt in Betracht kommen. Die Anordnung des Kühlers ist sehr wichtig

Abb. 9

Die Lage der Luftschrauben-Mitteln bei einfachem Stirn- und bei Doppelübersetzung (---) und bei Doppelübersetzung (---)

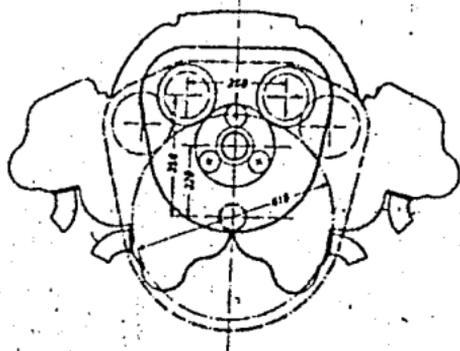
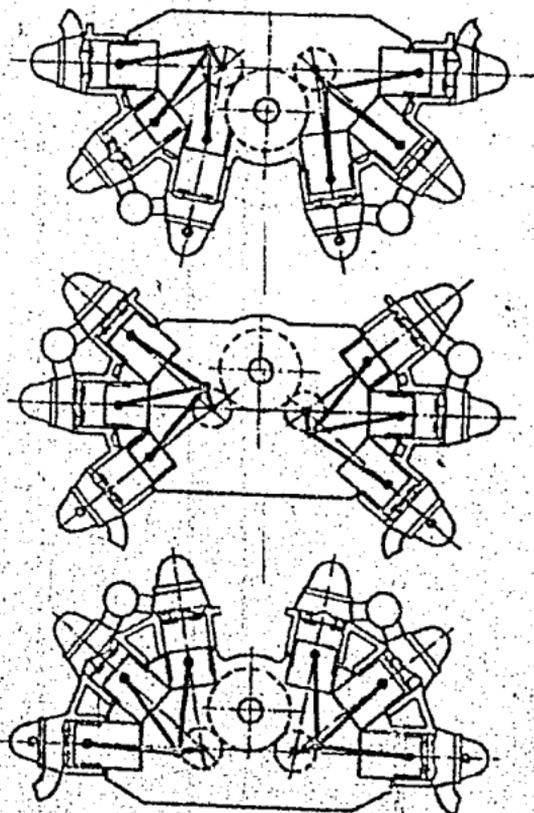


Abb. 10



Zwilling-
W. Motoren

für die Gestaltung namentlich der Motorschnauze, deren Gewichts-
aufwand bei Bauchkühlern oder Tragflächenkühlern nicht gerechtfertigt
wäre. Leider steht die Frage des besten Kühlereinbaues noch aus.

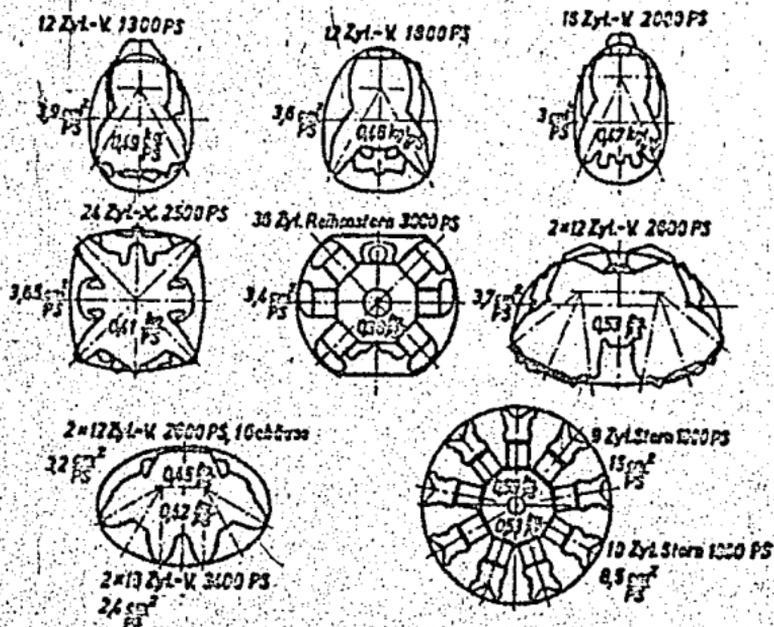


Abb. 11

Auf 1 PS bezogene Stirnflächen

Man sieht, daß alles noch im Fluß ist, ganz besonders solange oft
wechselnde kriegstechnische Anforderungen bei der Flugzeugkonstruk-
tion stark mitbestimmend sind.

Der Vortrag sollte Flugzeugbauern und Aerodynamikern die verschie-
denen Motorenentwicklungsmöglichkeiten nochmal geschlossen vor Augen
führen, damit sie leichter übersehen können, welche ihrer Wünsche
leicht, welche schwer erfüllbar sind.

Herr Pohl legt der Akademie sein Buch über „Optik“ vor.

In herkömmlicher Weise überreichte Herr Pohl dem Herrn Kanzler ein Exemplar seines Buches für die Bibliothek der Akademie und erläuterte dann an Hand einiger Stichproben und Lichtbilder kurz Inhalt, Anlage und Zweck des Buches. Herr Pohl führte zunächst aus, wie die allbekannte Darstellung der Lichtausbreitung mit Hilfe von Strahlen, also Kreide- oder Bleistiftstrichen, zwar stets ihre Bedeutung behalten wird, daß aber daneben das Wellenbild mehr und mehr in den Vordergrund trete. Das werde wesentlich dadurch begünstigt, daß man gelernt habe, für viele Fälle die mathematisch abstrakte Behandlung der Wellenvorgänge durch anschauliche, teils geometrische, teils physikalische Modellversuche zu ersetzen. Das wurde an einer Reihe typischer Beispiele vorgeführt, und zwar unter Bezugnahme auf teils technische, teils physikalische Fragen, die mehrfach in Vorträgen anderer Mitglieder der Akademie behandelt worden waren. Nicht zuletzt aus Rücksicht auf die technischen Fragen wurde auf eine einheitliche Darstellung der »Optik aller Wellenlängen« besonderer Wert gelegt. Dabei kam ein altes Vorurteil zur Sprache: Die Überlegenheit des Röntgenlichtes gegenüber dem gewöhnlichen Lichte beruht — vom Sonderfall der Metalle abgesehen — nicht auf der Kleinheit der Absorption, sondern auf der Kleinheit der Streuung. Die Erwähnung der Streuung gab den Anlaß, die Frage zu berühren, wie weit sich der Anstrich eines Flugzeugkörpers optisch matt, d. h. diffus zerstreuernd, aber mechanisch glatt gestalten lasse. Auch hier konnte an Hand einer Bilderfolge eine Antwort gegeben werden. — Die angeführten Stichproben wurden durchweg der »Klassischen Optik« entnommen. Daneben ist die »Quantenoptik« nicht zu kurz gekommen.