

Leistungssteigerung des Flugtriebwerks

Von Harald Wolff

(Auszug)

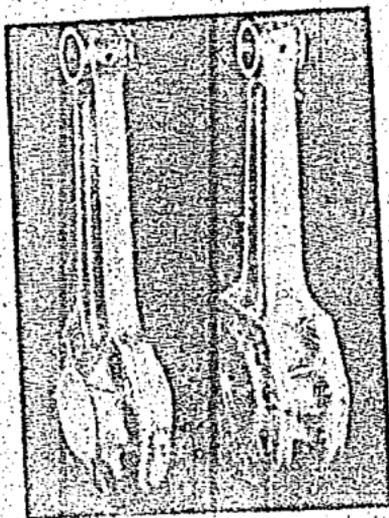
Übersicht

Die Aufgabe eines Flugtriebwerks ist die Erzeugung einer möglichst großen Kraft für den Vortrieb bei geringstem Gewichtsufwand, wobei der Eigenwiderstand selbst möglichst klein sein soll. Hierzu kommen als weitere Forderungen: Der Schub soll noch in möglichst großen Höhen verfügbar sein, der Brennstoffverbrauch zur Erzielung großer Reichweiten möglichst gering, Bedienung und Wartung sollen einfach sein; dazu wird gefordert größte Betriebssicherheit und vieles andere mehr. Zur Schuberzeugung ist es notwendig, Luft- oder Gasmassen entgegen der Flugrichtung nach rückwärts zu beschleunigen. Die aus den mitgeführten Kraftstoffen gewonnene Wärmeenergie kann nun entweder zunächst in eine an der Welle verfügbare Leistung verwandelt werden, die an die Luftschaube zur Schuberzeugung weitergegeben wird: Schraubentriebwerke. Die Wärme kann aber auch zur unmittelbaren Beschleunigung von Luft- und Gasmassen benutzt werden: Strahltriebwerke. In allen Fällen werden die Luft- und Gasmassen zuerst verdichtet, dann durch die Verbrennungswärme der Kraftstoffe erhitzt und hierauf gedehnt. Bei den Schraubentriebwerken wird durch diese Expansion in einer Kolbenmaschine oder einer Turbine mechanische Leistung gewonnen. Bei den Strahltriebwerken werden durch die Expansion die Gase vor ihrem Austritt aus der Schubdüse beschleunigt und dadurch der Schub erzeugt. Der Grad der Verdichtung der Luft bzw. der Gase bestimmt bei allen Triebwerken in erster Linie den Wirkungsgrad und damit den Kraftstoffverbrauch. Einen Sonderfall des Strahltriebwerkes bildet die Rakete, bei der außer dem Kraftstoff auch der für die Verbrennung erforderliche Sauerstoff zur Erzielung großer Höhen mitgeführt wird.

Literleistung

In meiner kurzen Schilderung des heutigen Standes und der voraussichtlichen Weiterentwicklung der einzelnen Triebwerke und deren vorläufigen Grenzen möchte ich zunächst auf das bisher am weitesten entwickelte Triebwerk, den Flugmotor in seiner heutigen Standardbauart als Viertakt-Otto-Motor, eingehen. Drehzahlen und Mitteldrücke sind im Laufe der letzten zwei Jahrzehnte gewaltig angestiegen. Während am Ende des Weltkrieges die Motoren eine Literleistung von kaum 10 PS besaßen, gehen die heute eingesetzten Motoren 35 PS je Liter und darüber; die Gesamtleistung einer Motoreinheit von 300 PS im Jahre 1918 stieg auf heute 1800 PS und darüber. Zu gleicher Zeit sind die Drehzahlen von 1500 min^{-1} auf nahezu das Doppelte gestiegen. Diese Drehzahlsteigerung und die damit verbundene Erhöhung der Kolbengeschwindigkeiten war nur durch sorgfältige Entwicklung

Abb. 1



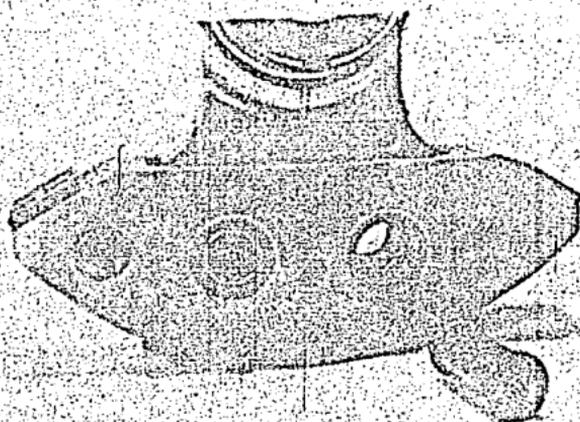
Mittelsteg
und
altes Pleuel

des Triebwerkes und der Steuerung möglich. So ist beim Sternmotor das Hauptpleuellager der jetzigen Bauart an der Grenze seiner Belastbarkeit durch die hohen Massenkräfte. Eine Weiterentwicklung dieses Hauptlagers zeigt die Abbildung 1. Durch besondere Gestaltung des Pleuels ist es gelungen, die Verformung des Kurbelzapfens und des Pleuels so anzugleichen, daß die ganze Lagerfläche zu gleichmäßigem Tragen gebracht ist. Während die Serienausführung mit Bleibronze-

buchse kann noch Schleuderdrehzahlen von 3 000 vertragen, hat das neue Pleuel mit Leichtmetallbuchse bis 3 200 Umdrehungen ein fehlerfreies Tragbild gezeigt.

Gute Aussichten für eine weitere Drehzahlsteigerung bietet nach Überwindung der Lagerschwierigkeiten die Schiebersteuerung sowohl von Seiten der verfügbaren Öffnungsquerschnitte, die infolge der kurzen Zeit größer sein müssen, als auch von Seiten der Beanspruchung, da bei hohen Drehzahlen die gleichmäßig umlaufende Schiebersteuerung besser als die hin und her gehende kraftschlüssige Ventilsteuerung beherrscht werden kann. Es besteht berechtigte Hoffnung, daß die Entwicklung der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt bald zu einem vollen Erfolg führt, während der englische Bristol-Schieber bisher aus technischen Gründen sich nicht durchsetzen konnte.

Abb. 2



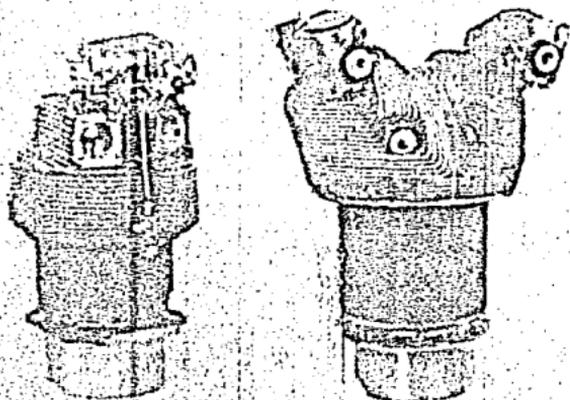
Flichkraftpendel im Gegengewicht

Zur Bekämpfung der durch Schwingungen auftretenden Beanspruchung ist für die Kurbelwelle in dem bekannten Flichkraftpendel ein einfaches und doch wirksames Gegenmittel gefunden. Abbildung 2 zeigt ein solches im Gegengewicht eingebautes Pendel.

Die heute allgemein benutzte Überladung der Motoren mit Hilfe von Aufladegeräten hat die Steigerung der Mitteldrücke ermöglicht. Die dabei bis zu 90 atü angestiegenen Spitzendrücke konnten durch geschickte Ausgestaltung der Bauteile ohne Gewichtserhöhung beherrscht werden. Die mit der Vergrößerung Hand in Hand gehende thermische Be-

lastung müßte eine bessere Kühlung aller Bauteile zur Folge haben. Beim luftgekühlten Motor, der mein besonderes Arbeitsgebiet ist, war eine außerordentliche Steigerung der Wärmeabfuhr durch immer engere, dünnere und höhere Rippen am Zylinder möglich. Die anfänglich bestehenden Schwierigkeiten der Herstellung waren schnell überwunden. Die gesamte Kühloberfläche eines Zylinders bei etwa demselben Hubraum wurde im Laufe von 4 Jahren von 1,2 auf 2,2 qm gesteigert. Abbildung 3 zeigt diese beiden Zylinder. Aber auch hier ist die Grenze

Abb. 3



Zylinder 322 und Zylinder 800 (1931.-1938)

noch nicht erreicht. Bei Versuchen ist es neuerdings gelungen, durch besonders dünne und auf besondere Art unterbrochene Rippen, die auf einem neuen Weg mit der Laufhülse verbunden werden, durch Beeinflussung der Grenzschicht Wärmeübergangszahlen für Luftkühlung zu erreichen, die denen der Wasserkühlung nahezu gleichkommen.

An der Grenze ihrer Belastbarkeit sind gegenwärtig auch Kolben und Auslaßventile. Von vielen Vorschlägen versprechen zwei Wege einigen Erfolg für ihre Fortentwicklung:

1. Bessere Abdichtung des Kolbens durch vollkommeneren Kolbenringe, da ein Teil der hohen Kolbentemperaturen auf mangelhafte Anlage der Ringe zurückzuführen ist;
2. Pendelkühlung des Kolbens, bei der die Wärme von den heißen an die kälteren Stellen gebracht wird.

Für die heißen Auslaßventile wird wohl erst die Schiebersteuerung die Schwierigkeiten endgültig beheben.

Während bisher der Verbrennungsraum nur von außen gekühlt wurde, wird in neuerer Zeit von einer Art Innenkühlung Gebrauch gemacht. Durch eine größere Überschneidung der Steuerzeiten von Einlaß und Auslaß kann eine Totraumspülung erreicht werden. Sobald Einlaß- und Auslaßventile eine gewisse Zeit gleichzeitig offenstehen, spült die Ladeluft den heißen Gasrest im Zylinder fort und kühlt hierbei unmittelbar Kolbenboden und Ventile. Zugleich wird eine größere Füllung mit frischem Gas erreicht und die Klopfestigkeit merkbar erhöht. Durch diese Spülung haben wir Leistungssteigerungen von ungefähr 15% erreicht. Sie ist bis heute nicht voll ausgenutzt wegen ihrer Drehzahl- und Höhenabhängigkeit, die erst durch eine Verstellsteuerung oder andere Mittel voll beherrscht werden könnte.

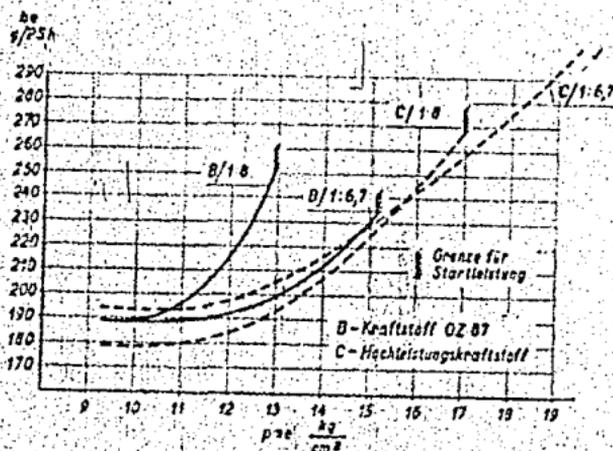


Abb. 4

Hochleistungskraftstoffe, Verbrauch und Klopfgrenzen

Der unbeschränkten Steigerung der Mitteldrücke setzt das Klopfen des Motors eine unübersteigbare Grenze. Hier haben die von der deutschen Industrie in den letzten Jahren geschaffenen Hochleistungskraftstoffe, zum Teil auf synthetischer Grundlage, einen ungeheuren Fortschritt gebracht. Die hohe Klopfestigkeit kann entweder zur bedeutenden Leistungssteigerung oder zur Erhöhung der Verdichtung und damit zur Verbrauchssenkung benutzt werden. Abbildung 4 zeigt die Gegenüberstellung eines solchen Kraftstoffes zum normalen Kraftstoff mit der Oktanzahl 87. Die Abbildung zeigt die für Startleistung

erreichbaren Mitteldrücke und die Verbräuche im Reibereich bei zwei verschiedenen Verdichtungen.

Ein zweiter bedeutungsvoller Weg zur Heraufsetzung des Mitteldruckes ist der sogenannte Zweistoffbetrieb, bei dem außer dem normalen Kraftstoff ein zweiter Stoff eingespritzt wird. Damit kann vorübergehend eine starke Leistungssteigerung auf Kosten des Verbrauchs erzielt werden. Dieser Zusatzstoff ist entweder nur ein Wärmespeicher, der dem Verbrennungsvorgang Wärme entziehen soll, um die Klopfgrenze zu erhöhen, die Zylindertemperatur zu senken und durch die Verlangsamung der Verbrennung die Spitzendrücke klein zu halten. Der Zusatzstoff kann aber gleichzeitig Sauerstoffträger sein. Hierbei ist eine Erhöhung des Mitteldrucks über die Aufladefähigkeit des Laders hinaus möglich, d. h. es kann auch in größerer Höhe eine Leistungssteigerung erzielt werden. Als Wärmespeicher dient vor allem Wasser oder Wasser-Alkohol-Mischung. Abbildung 5 zeigt eine Gegenüberstellung des Betriebes mit Kraftstoff OZ 87, mit Hochleistungskraftstoff und des Zweistoffbetriebes. Man sieht, daß beim Zweistoffbetrieb eine weitere Steigerung des Mitteldrucks möglich ist und daß Temperaturen und

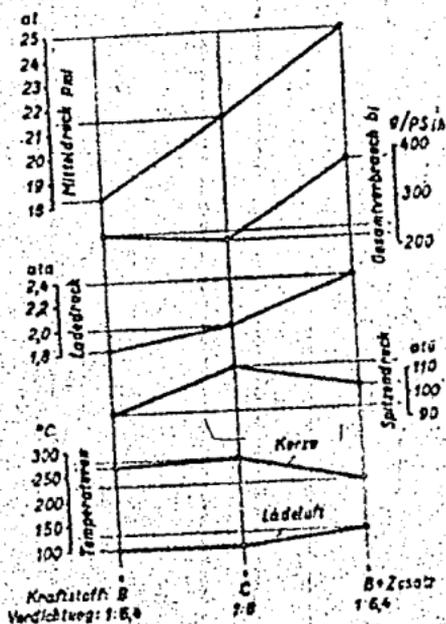


Abb. 5
Zweistoff-Betrieb

Spitzendrücke dabei sogar niedriger sind, der Verbrauch allerdings fast doppelt so hoch. Diese Möglichkeiten größter Spitzenleistung sind nicht nur für den Start, sondern auch für viele taktische Aufgaben sehr bedeutsam.

Bei den heute erreichten Fluggeschwindigkeiten von über 600 km/h ist eine neue Art der Leistungserhöhung zur Anwendung gekommen durch Rückstoßausnutzung des Abgasstrahles. Die Abgasstrahlen eines 1 000 PS-Motors ergeben einen Schubzuwachs von 55 kp am Boden und 70 kp in 6 km Höhe. Das bedeutet eine Erhöhung der Vortriebsleistung in 6 km um fast 20%, die ohne besonderen Aufwand durch einfache Strahldüsen gewonnen wird. Wenn diese Strahldüsen geschickt eingesetzt werden, kann durch Beschleunigung der Grenzschicht ihr Ausnutzungsgrad möglicherweise noch gesteigert werden.

Nennleistungshöhe

Die Nennleistungshöhe unserer Motoren wird ausschließlich durch den Lader bestimmt. Neben dem Radiallader, der bis heute allein das Feld beherrscht, hat in letzter Zeit auch der Axiallader große Fortschritte gemacht, der zwar etwas länger baut, aber im Durchmesser merkbar kleiner als der Radiallader ist. Dieser wird vorerst in bezug auf Einfachheit überlegen bleiben. Sein schon heute sehr guter Wirkungsgrad und die Förderhöhen werden durch weitere Entwicklung sicher noch verbessert werden. Der Laderwirkungsgrad ist in mehrfacher Hinsicht von Bedeutung. Schlechter Wirkungsgrad ergibt außer der erforderlichen größeren Laderleistung mit erhöhtem Kraftstoffverbrauch auch hohe Ladelufttemperaturen, die wiederum eine Herabsetzung der Klopfgrenze und eine Verschlechterung der Füllung verursachen. Übersteigt die Ladelufttemperatur einen bestimmten Wert, so wird die Kühlung der Ladeluft mit all ihren Unannehmlichkeiten notwendig. Durch die Arbeiten vor allem der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt ist es gelungen, für 1,3 atü Ladedruck eine Nennhöhe von 9 km noch ohne Ladeluftkühlung mit einer Laderstufe zu erreichen. Für noch größere Förderhöhen werden Mehrstufenlader und damit Ladeluftkühler unvermeidlich.

Fühbare Schwierigkeiten besonders für große Nennhöhen bereitet die Frage des Antriebs und der Regelung des Laders. Die wirksame Förderhöhe des Laders muß bei konstant zu haltendem Ladedruck mit der Höhe gesteigert werden, was durch Erhöhung der Laderdrehzahl

möglich ist. Wird der Lader vom Motor mechanisch angetrieben, so muß die Getriebeübersetzung mit der Höhe verändert werden, will man nicht den Lader mit der höchsten Drehzahl laufen lassen und in den unteren Höhen einfach abdrosseln und die dabei entstehenden Verluste in Kauf nehmen. Da es ein stufenlos regelbares Übersetzungsgetriebe für diese Leistungen noch nicht gibt, benutzt man Mehrganggetriebe, deren Gänge in den verschiedenen Höhen geschaltet werden. Innerhalb gewisser Höhenbereiche lassen sich die Drehzahlunterschiede auch durch eine Schlupfkupplung überbrücken, deren Schlupf man mit der Höhe verändert. Eine solche Schlupfkupplung ist die lkupplung nach Föttinger. Die bei großem Schlupf entstehende lwrme muß allerdings in Kauf genommen werden.

Einen anderen Weg für mechanisch angetriebene Lader hat neuerdings die Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt mit der sogenannten Dralldrossel beschritten, der beim Gelingen infolge seiner Einfachheit einen großen Fortschritt bedeuten würde. Die Dralldrossel stellt eine Art verlustlose Drossel dar, die im Gegensatz zur normalen Drossel eine Abkühlung der Luft erzeugt und deren wechselnder Drall vor dem Lader eine verschiedene Förderhöhe ergibt. Jeder Ladedruck wird dabei mit einer möglichst geringen Ladelufttemperatur erreicht, was letzten Endes der Zweck einer verlustlosen Regelung ist.

Der Laderantrieb durch eine Abgasturbine hat in den letzten Jahren beachtliche Fortschritte gemacht. Beim Dieselmotor wird der Turbolader bereits serienmäßig eingebaut. Beim Ottomotor mit seinen viel höheren Abgastemperaturen von rund 1000° gegenüber 600° beim Diesel war die Abgasturbine seit vielen Jahren ein ungelöstes Problem, das erst gegenwärtig durch die Einführung einer unmittelbaren Schaufelkühlung seiner Verwirklichung entgegengeht. Diese Kühlung ist entweder eine Außenkühlung des teilbeaufschlagten Turbinenrades durch den Flugstau oder eine Innenkühlung der hohlen Schaufeln durch die Ladeluft. Die Züchtung hochwarmfester Werkstoffe und die Verfeinerung der Konstruktion waren weitere Vorbedingungen für den Erfolg.

Die Frage Turbolader oder mechanisch angetriebener Lader mit Rckstoausnutzung der Abgase ist in bezug auf Leistung und Verbrauch von verschiedenen Seiten eingehend untersucht worden. Maßgebend für den Vergleich sind die zugrunde gelegten Fluggeschwindigkeiten und die Flughöhe. Für große Geschwindigkeiten ist die Abgasausnutzung im Rückstoß, für große Flughothen die in der Turbine vorteilhafter. Für

beispielsweise 600 km/h Geschwindigkeit liegt der Überschneidungspunkt in etwa 8 km Höhe. Abbildung 6 zeigt den Verlauf von Leistung und Verbrauch für beide Fälle. Die Nennleistungshöhen über 10 km, die angestrebt werden, wird in Zukunft die Abgasturbine beherrschen. Läßt man hinter der Turbine noch einen gewissen Gegendruck zu, so kann zusätzlich ein Rückstoß gewonnen werden und die Frage Turbine oder Rückstoß geht in die Aufgabe Turbine und Rückstoß über. Der Motor wird damit zu einer Dreifach-Expansionsmaschine mit einer Hoch-

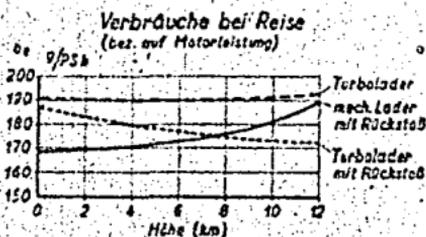
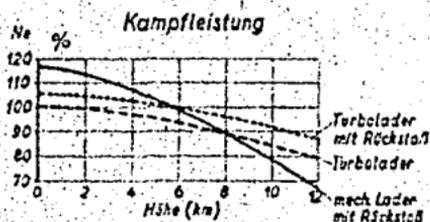


Abb. 6

Vergleich Turbolader gegen mechanisch angetriebenen Lader

Mittel- und Niederdruckstufe, nämlich der eigentlichen Kolbenmaschine, der Turbine und der Schubdüse. Durch sorgfältige Abstimmung und Einregelung der Druckgefälle für die einzelnen Stufen läßt sich der Wirkungsgrad des Gesamttriebwerkes noch weiter verbessern. Durch Anordnung von mehreren Turbinenstufen lassen sich die Flughöhen noch weit über die heute erreichten Höhen hinaus steigern, und theoretisch ist auch über 20 km Höhe noch keine Grenze hierfür erreicht. Bei einem solchen Triebwerk verliert die Kolbenmaschine gegenüber den Strömungsmaschinen immer mehr an Bedeutung, und die Leistung der Strömungsmaschinen erreicht nahezu die Größenordnung derjenigen der Kolbenmaschine. Praktisch ist die Grenze vorläufig gegeben durch die

erforderlichen, für diese Höhen außerordentlich umfangreichen Ladeluftkühler, die schwierig unterzubringen sind und die eine hohe Schlepplleistung beanspruchen.

Eine Möglichkeit zur vorübergehenden Erhöhung der Nennhöhe bietet der bereits erwähnte Zweistoffbetrieb. Durch die Einbringung eines Sauerstoffträgers in den Zylinder wird der für die Verbrennung verfügbare Sauerstoffanteil der Füllung erhöht. Hier kann auch die außerordentliche Kühlwirkung der bei der Entspannung aus den Druckbehältern verdampfenden Flüssigkeit für die Leistungssteigerung mit ausgenutzt werden. Der Gesamtverbrauch von Kraftstoff und Zusatzstoff ist dabei natürlich sehr hoch, so daß diese Zusatzleistung nur für beschränkte Zeit zur Verfügung steht.

Verbrauch

Der Kraftstoffverbrauch des Motors, der z. B. für Fernkampflugzeuge eine ausschlaggebende Rolle spielt, ist heute gegenüber früher bedeutend abgesenkt worden. Eine mühevollere Kleinarbeit bezüglich Gemischbildung, Regelung und Zündung war hier erforderlich, um dem Motor Gramm für Gramm abzurufen. Während noch vor wenigen Jahren der Ottomotor im Betrieb nicht unter 250 g/PS_h herunterkam, wird heute an der Front im Reiseflug z. T. mit nur 200 g/PS_h geflogen. Von entscheidendem Einfluß war hierfür in Deutschland das Abgehen vom Vergaser und der Siegeszug der Benzineinspritzung. Sie gewährleistet gleichmäßigeres Gemisch in allen Zylindern. Durch sie wurde erst die Totraumspülung möglich und die Verwendung von hochsiedenden Kraftstoffen, die im Vergaser nicht mehr verarbeitet werden können. Sie beseitigt endgültig die Vereisungsgefahr des Vergasers.

Es ist zu erwarten, daß in den nächsten Jahren eine weitere Verbrauchssenkung im praktischen Betrieb erreicht werden wird. Drei Maßnahmen sind es, die verfolgt werden müssen, vor allem eine genaue, alle Betriebszustände berücksichtigende Einspritzregelung. Der Grund, daß die am Prüfstand gefahrenen, von Hand eingestellten Paradowerte nie ganz im praktischen Flugbetrieb verwirklicht werden, liegt lediglich in der Unvollkommenheit der heutigen automatischen Regelung. Besonders die Einflüsse von Höhe und Lufttemperatur müssen in Zukunft besser berücksichtigt werden. Weiter müssen für die Reiseleistung die Betriebswerte des Motors in allen Höhen günstig gewählt werden, d. h. die Zuordnung von Ladedruck und

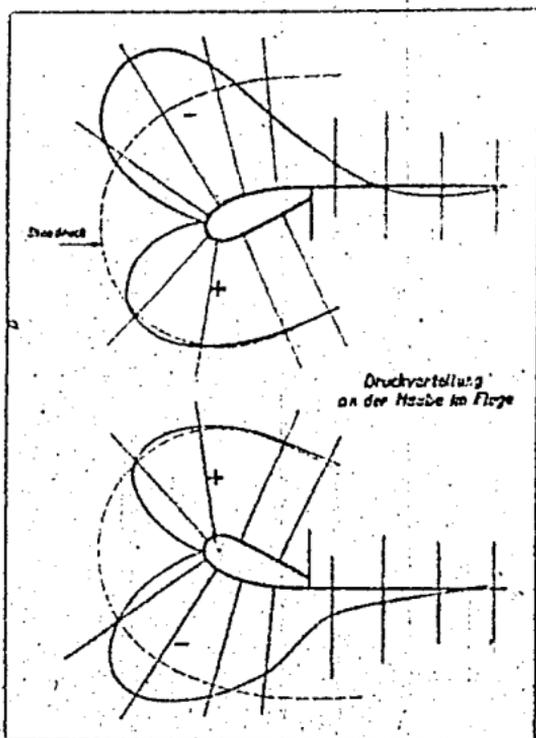
Drehzahl. Bekanntlich läßt sich dieselbe Leistung durch eine gewisse Drehzahl senkung und entsprechende Ladedruckerhöhung mit geringerem Verbrauch erzielen. Das Optimum liegt dort, wo die Reibungsleistung des Motors und die Laderleistung zusammen einen Kleinstwert ergeben. Die Regelung der verschiedenen Aufladungen muß dabei möglichst verlustlos erfolgen. Ich verweise hier auf die bereits erwähnte Dralldrossel. Hierher gehört auch die Frage nach dem Wirkungsgrad der Luftschrauben bei verschiedenen Betriebszuständen. Es hat keinen Zweck, für einen bestimmten Flugzustand eine Drehzahl zu wählen, die wohl guten Verbrauch des Motors, aber schlechten Schraubenwirkungsgrad ergibt. Hier sind noch eingehende Untersuchungen erforderlich. Die dritte Maßnahme ist die Steigerung der Verdichtung etwa von dem heutigen Wert von rund 1:6,5 auf etwa 1:8 bei gleichzeitigem Übergang zu klopfesteren Kraftstoffen. Ich erinnere an das zu Anfang gezeigte Bild der verschiedenen Hochleistungskraftstoffe. Durch die erwähnten Maßnahmen zusammen wird meines Erachtens der Verbrauch im Flugbetrieb bei Reise in 4 bis 6 km Höhe von 200 auf etwa 170 g/PSh herabgesetzt werden können.

Luftwiderstand

Der Luftwiderstand eines Flugmotors hängt in erster Linie von seiner Bauart ab, der Zylinderanordnung, ob luft- oder wassergekühlt. Aber auch die Verkleidung des Motors ist von größtem Einfluß. Durch die Einführung der Haubenverkleidung ist seinerzeit ein großer Schritt vorwärts getan worden. Bei dem Erfolg ist man jedoch lange Zeit stehengeblieben, und erst in neuerer Zeit regen sich wieder die Versuche, den Luftwiderstand durch genaueres Studium der Strömungsverhältnisse weiter herabzusetzen. Es werden die verschiedensten Formen im Windkanal untersucht, die Umströmung der Haubennase und die dort sich einstellenden Übergeschwindigkeiten werden verfolgt. Diese Fragen interessieren besonders beim Übergang zu höheren Fluggeschwindigkeiten, um der Gefahr, stellenweise die Schallgeschwindigkeit zu erreichen, aus dem Wege zu gehen. Abbildung 7 zeigt die im Flug gemessene Druckverteilung an der Haubennase, die auf eine Übergeschwindigkeit an gewissen Stellen von 1,6facher Fluggeschwindigkeit schließen läßt.

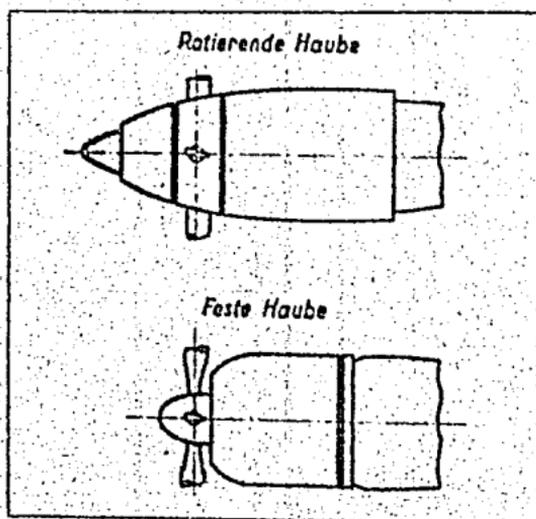
Ein Erfolg versprechender Vorschlag ist die rotierende Haube, bei der die Schraubennabe in die Motorverkleidung mit eingeschlossen

Abb. 7



Strömungsverhältnisse an der Haubennase

Abb. 8



Rotierende Haube und feste Haube

ist. Abbildung 8 zeigt eine Gegenüberstellung zu der bisher festen Haube. Modellversuche im Windkanal brachten eine Widerstandsverringerung von $c_w = 0,08$ bei der festen Haube auf rund $c_w = 0,05$ bei der rotierenden Haube. Beim eingehauten Motor wird der Unterschied wohl nicht ganz so groß sein. Nimmt man den Anteil der Motoren am Gesamtwiderstand des Flugzeugs zu 30% an, so wäre durch die rotierenden Hauben eine Verringerung des Gesamtwiderstandes um etwa 10% zu erwarten.

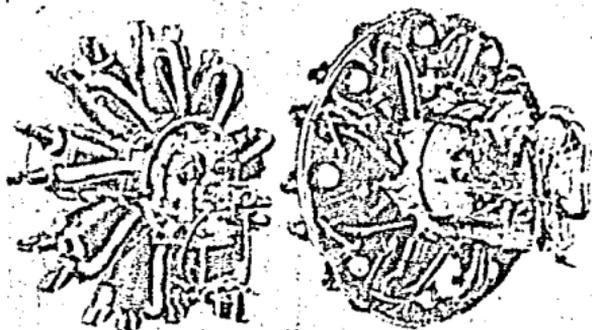
Bei luftgekühlten Motoren wird der Kühlluftführung, ihrer Regelung und ihrem Austritt hinter dem Motor heute vollste Beachtung geschenkt. Man strebt an, die Austrittsgeschwindigkeit hinter dem Motor durch die Abgase oder ein besonderes Gebläse wieder der Fluggeschwindigkeit anzugleichen und damit den Widerstand zu verringern. Im Steigflug und im Stand gibt dieses Kühlgebläse zu gleicher Zeit die benötigte Kühlluft. Bei flüssigkeitsgekühlten Motoren ist man nach wie vor bestrebt, die Heißkühlung in ihren Temperaturen, möglichst unter Vermeidung von Glykol weiter zu steigern. Die Druckwasserkühlung von Junkers, die auch bei eintretender Verdampfung noch betriebssicher arbeitet, bringt eine bedeutende Verkleinerung des Kühlers. Hoffentlich wird auch der Ölkühler im Laufe der Zeit einmal entbehrlich werden.

Alle diese Maßnahmen zur Verringerung des Luftwiderstandes des Triebwerks sollen dem Flugzeugbauer den Eindruck vermitteln, daß auch vom Motorenbauer innerhalb und außerhalb des Motors vernünftige aerodynamische Arbeit geleistet wird. An einem Einbau des Motors, auch eines Boxermotors, in die Tragfläche, der an sich das Ideal wäre, wird nicht gearbeitet, da bei Schnellflugzeugen mit ihren dünnen Profilen hierfür wenig Möglichkeit besteht und der Raum eines Flugzeugs ohnehin schon voll ausgenutzt ist.

Bedienung

Mit der zunehmenden Leistungssteigerung und der Anpassung der Flugmotoren an ihre neuen und weitergehenden Forderungen ist eine Komplizierung des Motors Hand in Hand gegangen. Die Gegenüberstellung des äußeren Bildes eines modernen Motors mit einem Motor gleicher Bauart von vor etwa 10 Jahren, wie sie auf Abbildung 9 zu sehen ist, vermittelt einen Eindruck, der sehr nachdenklich stimmt. Allein die Anzahl der Hilfsgeräte hat einen solchen Umfang angenommen,

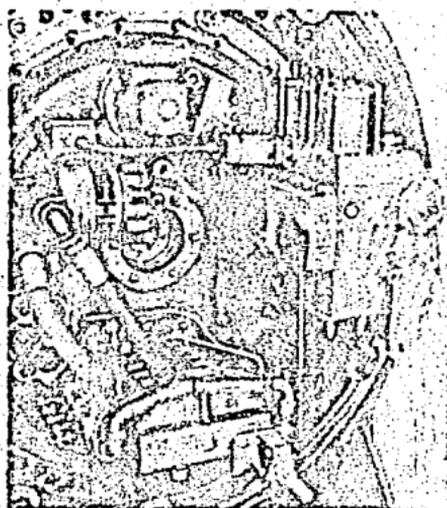
Abb. 9



Sternmotor Sh 20 aus dem Jahre 1930 und der moderne Sternmotor 323 P

daß der Raum hinter dem Motor restlos vollgestopft ist und man teilweise dazu übergegangen ist, weitere Geräte getrennt vom Motor anzubringen und durch eine Welle vom Motor anzutreiben. Während bei dem hier gezeigten Motor Sh 20 aus dem Jahre 1930 das Gewicht der Hilfsgeräte nur etwa 10% des ganzen Motorgewichtes beträgt, ist bei einem heutigen Motor dieses Verhältnis bis zu 30% angewachsen.

Mit dieser Komplizierung des Motors ist auch seine Bedienung im Fluge ein Problem geworden. Ein moderner Motor müßte für die Betätigung aller seiner Organe wohl ein halbes Dutzend Bedienhebel besitzen. Abgesehen davon, daß der Pilot gar nicht die Zeit dazu hat, sich um alle diese Einstellungen zu kümmern, ist er auch gar nicht in der Lage, alle Organe richtig einzustellen, d. h. für die verschiedensten Betriebszustände den Motor immer auf beste Wirtschaftlichkeit und größte Betriebssicherheit einzuregulieren. Hier kann nur eine Automatik helfen, eine selbsttätige Regelung aller Funktionen, die dem Piloten nur einen einzigen Bedienhebel überläßt, mit dem er die gewünschte Belastung des Motors einstellt bzw. wählt. Diese Einhebelsteuerung ist heute schon weitgehend verwirklicht. Wir sind ferner dazu übergegangen, die für die automatische Betätigung der verschiedenen Organe notwendigen Regler und Steuerungen an einer Stelle zu einem einzigen Gerät, dem sogenannten Kommandogerät, zusammenzufassen, das gewissermaßen die Befehlszentrale des Motors darstellt. Abbildung 10 zeigt das an den Motor angebaute Kommandogerät des Sternmotors 800, das alle Elemente für die selbsttätige Einstellung von Ladedruck, Ein-

Kommando-
gerät 800

spritzmenge, Zündzeitpunkt, die dazu notwendige Höhenkorrektur enthält, das die selbsttätige Gangschaltung des Zweigangladers in der richtigen Höhe besorgt und von dem aus über den Verstellregler der Luftschaube die Drehzahl eingestellt wird. Getrennt davon arbeitet nur noch der automatische Klappenregler für die Motorkühlung und derjenige für die Ölkühlung. Das Kommandogerät arbeitet in allen seinen Teilen hydraulisch mit dem Motoröl, der Bedienhebel kann vom Piloten mit geringer Kraft bewegt werden.

Herstellung

Die Komplizierung des Motors, zu der natürlich auch das Kommandogerät einen erheblichen Teil beiträgt, macht den Motor empfindlicher und stellt an seine Wartung größere Ansprüche. Sie verteuert auch seine Herstellung. Dies alles ist gerade im Krieg nicht besonders vorteilhaft, da die Frage, wieviel Flugzeuge ein Industriestaat mit bestimmter Einwohnerzahl im Kriegsfall herausbringen kann, eine Frage der Herstellungszeit ist. Auch diese Betrachtung gehört in eine Ausführung über Leistungssteigerung. Wie jedes technische Erzeugnis nach seiner Entwicklung langsam zur Einfachheit zurückkehrt, ohne daß es Einbuße an seiner Leistungsfähigkeit erleiden darf, wird und muß auch für den Flugmotor die Zeit kommen, wo die Forderungen sich nicht mehr überstürzen und zu seiner Vereinfachung mit Erfolg geschritten

werden kann. Als Beispiel für einen solchen Vorgang kann die Steuerung des Motors genannt werden. Ich erinnere an die bekannten Bilder, in denen die Einzelteile der Ventilsteuerung denen der Schiebersteuerung gegenübergestellt werden und auf denen die starke Vereinfachung des Motors durch den Schieber gezeigt wird. Dies gilt insbesondere für den in Deutschland entwickelten DVL-Drehschieber. Das Beispiel dieses Drehschiebers ist auch nach einer anderen Seite hin besonders eindringlich, da hierbei eine Ersparnis in Deutschland nicht vorhandener Ventilbaustoffe eintritt. Diese Umstellung auf sparstoffarme Werkstoffe, die im Krieg aus zwingender Notwendigkeit geboren wurde, ist weitgehend gelungen. Der Übergang zu nickel- und molybdänfreien Baustählen, die Verwendung kupferfreier Leichtmetalle und die Verwendung von Lagern aus Leichtmetall statt Bronze ist weitgehend durchgeführt. Sie ist im Rahmen dieser Ausführungen als eine besondere Tat nicht zu vergessen.

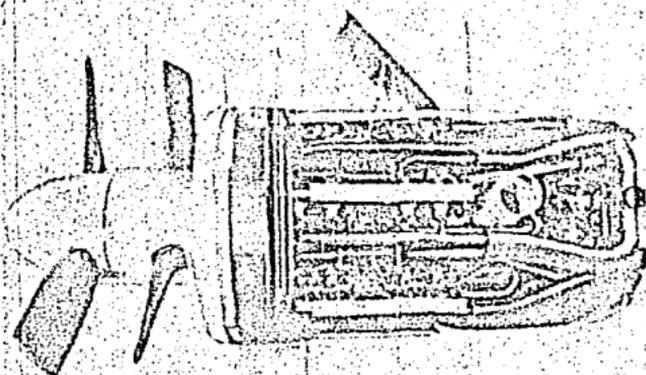
Dieselmotor

Wenn ich bisher den Ottomotor besonders hervorgehoben habe, gilt auch vieles ebenso für den Dieselmotor, der bisher trotz seiner außerordentlichen Wirtschaftlichkeit wegen seines größeren Gewichtes und seiner geringeren Leistung in großen Höhen an Bedeutung für den Krieg zurückstand. Durch die Einführung der Abgasturbine ist es Junkers gelungen, die Höhenleistung des Dieselmotors bedeutend zu verbessern. Ich weise hier auf die großen Erfolge des Junkersmotors 203 hin, die auf der Dezembertagung der Lilienthal-Gesellschaft in München besondere Beachtung fanden.

Großtriebwerke

Aus den bisherigen Ausführungen wird man den Eindruck erhalten haben, daß der Kolbenmotor noch lange nicht am Ende seiner Entwicklung ist und durch zähe Kleinarbeit seine Leistungsfähigkeit weiter gesteigert werden kann. Immerhin möchte ich nicht unterlassen, auf einige Punkte hinzuweisen, die nach unserer heutigen Erkenntnis eine gewisse Grenze darstellen. Der Flugzeugbauer verlangt für bestimmte Projekte immer größere Leistungen in einer Triebwerkseinheit. Die Motorenentwicklung muß diesem Wunsch nachkommen. Abbildung 11 zeigt die Motoranlage eines Doppeltriebwerkes von 28 Zylindern mit Gegenläufschrauben für eine Leistung von 4 000 bis 5 000 PS. Jeder Motor dieses Doppeltriebwerkes arbeitet unabhängig vom andern auf

Abb. 11

Triebwerk 803
(Attrappe)

eine der beiden Schrauben. Abbildung 12 zeigt die 14 Zylinder des halben Triebwerks. Auch aus dem Ausland, besonders den USA., hört man über ähnliche und noch größere Projekte von Großtriebwerken. Solche Leistungen mit vielen tausend PS lassen sich auf der Basis des heutigen Kolbenmotors nur durch Erhöhung der Zylinderzahl erreichen. Da diese aber nicht beliebig vergrößert werden kann, scheinen wir hier für den heutigen Maßstab bald an einer natürlichen Grenze anzukommen.

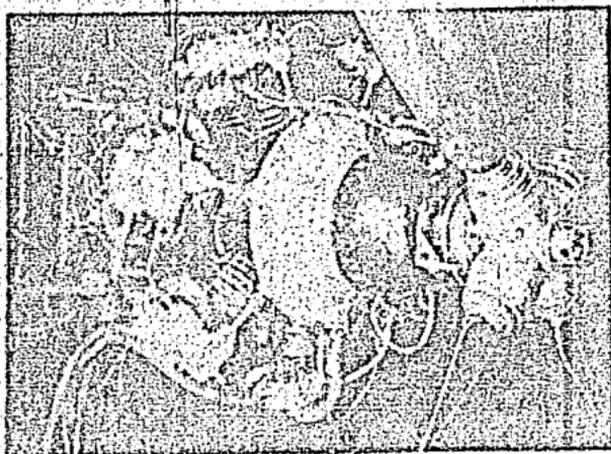


Abb. 12

Teiltrieb-
werk 803

Eine weitere Grenze für die Erreichung großer Fluggeschwindigkeiten bildet auch die Tatsache, daß das Leistungsgewicht des Flugmotors nicht mehr wesentlich gesenkt werden kann. Infolgedessen bringt eine Erhöhung der Leistung nicht mehr den entsprechenden Gewinn an Fluggeschwindigkeit, da das ebenfalls erhöhte Triebwerksgewicht die Vergrößerung der Tragflächen erfordert.

Ich habe versucht, einen Überblick über die Probleme zu geben, die den Motorenbauer gegenwärtig beschäftigen, ohne wegen der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit dabei alles gestreift zu haben, was an interessanter Arbeit geleistet wird, wobei als zweifellos entwicklungsfähig und -würdig ich nur als Beispiel das Zweitaktverfahren nennen möchte. Alle unsere Arbeit gilt im Grunde der Erfüllung der alten Forderungen:

Höhe, Geschwindigkeit, Reichweite, Zuverlässigkeit.

Der Krieg, den uns unsere Feinde aufgezwungen haben, hat dem Ernst dieser Forderungen eine erhöhte Geltung gegeben.