

PRÜFUNG DER BETRIEBSVERHÄLTNISSE PARALLELER TURBINEN-LUFTSTRAHLTRIEBWERKE*

Von

E. PÁSZTOR

Lehrstuhl für Gasturbinen der Technischen Universität, Budapest

(Eingegangen am 30. Juli 1959)

1. Eine der wichtigsten Vorbedingungen für die Fortentwicklung und Modernisierung der Turbinen-Luftstrahltriebwerke besteht in der Möglichkeit, die maximale Mitteltemperatur vor der Turbine zu erhöhen. Von einzelnen Ausnahmefällen abgesehen, vermindert die Erhöhung dieser Temperatur den spezifischen Brennstoffverbrauch des Triebwerkes und steigert in jedem Fall dessen spezifische Schubkraft.

Der Erhöhung der Maximaltemperatur (T_3) vor der Turbine setzt der Schaufelwerkstoff bzw. dessen bedeutende Zug- und Biegebeanspruchung

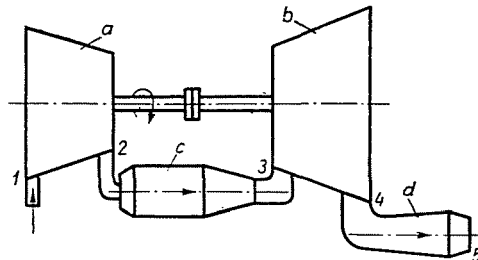


Bild 1. Skizze einer Reihenstrahltriebwerke; a) Kompressor, b) Turbine, c) Brennkammer, d) Düse

bestimmte Grenzen. Bei modernen Flugzeugtriebwerken beträgt der Maximalwert von T_3 ca. $900-950^\circ\text{C}$, wobei jedoch nur eine sehr kurze (200–300 Stunden dauernde) Betriebszeit zugelassen ist.

Bei den gegenwärtig in Verwendung stehenden sogenannten Reihen-Flugzeugtriebwerken mit Gasturbine (Bild 1) wird in erster Linie zur kurzzeitigen Steigerung der Schubkraft die Flüssigkeitseinspritzung in den Kompressor sowie die Methode des Nachbrennens vor der Düse angewendet. In beiden Fällen steigt der spezifische Brennstoffverbrauch des Triebwerkes auf sein Vielfaches, so daß diese Methoden bei kontinuierlichem Betrieb überhaupt nicht in Frage kommen können.

* Auszug aus einer Kandidaten-Dissertation.

2. Durch Anwendung der sogenannten parallelen Gasturbinen-Triebwerke läßt sich der die Temperatur T_3 begrenzende Effekt der Turbinen-Laufschaufeln vermeiden (Bild 2). Im Gegensatz zu den Reihentriebwerken, strömt bei den Parallel-Triebwerken nur das zum Drehen des Kompressors nötige Arbeitsmittel durch die Turbine (durch den inneren Stromkreis). Die in den äußeren Stromkreis gelangende restliche Luftmenge (ungefähr 20—30% der Gesamtluftmenge) kann in einer separaten Brennkammer erhitzt und durch Expansion in der Düse zur Erzeugung von Schubkraft benützt werden. Im äußeren Stromkreis befinden sich keinerlei, auf Einwirkung der Zentrifugalkräfte der Zug- und auf Einwirkung der Gaskräfte der Biegebeanspruchung ausgesetzte Bestandteile, die Maximaltemperatur des Außenstromkreises

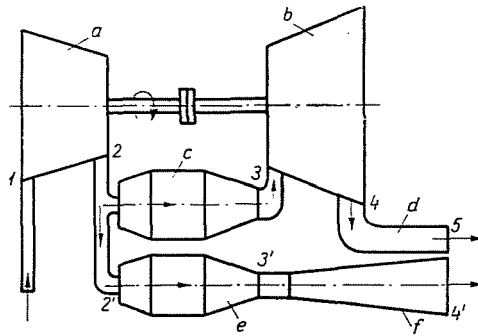


Bild 2. Skizze einer Parallel-Strahltriebwerke; a) Kompressor, b) Turbine, c) Brennkammer des Innenstromkreises, d) innere Düse, e) Brennkammer des Außenstromkreises, f) äußere Düse

läßt sich mithin ähnlich dem Nachbrennen vor der Düse des Reihentriebwerkes — wesentlich über die Innentemperatur erhöhen. Bei einer hinreichenden Kühlung der Brennkammerwand des Außenstromkreises mittels Kaltluft kann selbst eine Gastemperatur von 2000°C erzielt werden.

3. Einen der wichtigsten Faktoren des parallelen Gasturbinenbetriebes bildet die Frage, wieviel von der im Kompressor verdichteten Luft in die äußere Düse gelangen darf, da nützliche Arbeit nur durch den Außenstromkreis geleistet wird. In dieser Hinsicht kann der Innenstromkreis als ein sogenannter »Gasgenerator« betrachtet werden, der die Aufgabe hat, Gas in genügender Menge zu erzeugen und auf entsprechenden Druck zu bringen. Der Luftbedarf des Gasgenerators läßt sich durch die Bedingungen der Kooperation zwischen Kompressor und Turbine bestimmen. Die Verhältniszahl, die den Anteil der vom Kompressor eingesaugten und die Turbine durchströmenden Luftmenge anzeigt, nennt man den spezifischen Luftbedarf (m) des Gasgenerators.

Zieht man den Verlust in den drei Hauptteilen (Kompressor, Turbine, Brennkammer) in Betracht, dann schreibt sich der spezifische Luftverbrauch

(Luftbedarf) des Gasgenerators für den Fall einer Fluggeschwindigkeit 0 zu

$$m = \frac{c_{pl}}{c_{pg}} \cdot \frac{T_1}{T_3} \cdot \frac{1}{\eta_{adk} \eta_{adt}} \cdot \frac{\left[\left(\pi_k^{\frac{\kappa_l - 1}{\kappa_l}} - 1 \right) \right]}{\left[1 - \left(\frac{1}{\sigma \pi_k} \right)^{\frac{\kappa_g - 1}{\kappa_g}} \right]}, *$$

worin sich l auf die in den Kompressor strömende bzw. in demselben verdichtete Luft, g auf das erhitzte Gas bezieht, während

$T_1; T_3$ die Absoluttemperaturen vor dem Kompressor bzw. vor der Turbine,

$c_p; \kappa$ die spezifische Wärme bzw. den adiabatischen Exponenten, $\eta_{adk}; \eta_{adt}$ den adiabatischen Wirkungsgrad des Kompressors bzw. der Turbine,

$\pi_k = \frac{p_2}{p_1}$ das Druckverhältnis des Kompressors,

$\sigma = \frac{p_3}{p_2}$ den Druckverlustfaktor des Heizraumes bedeuten.

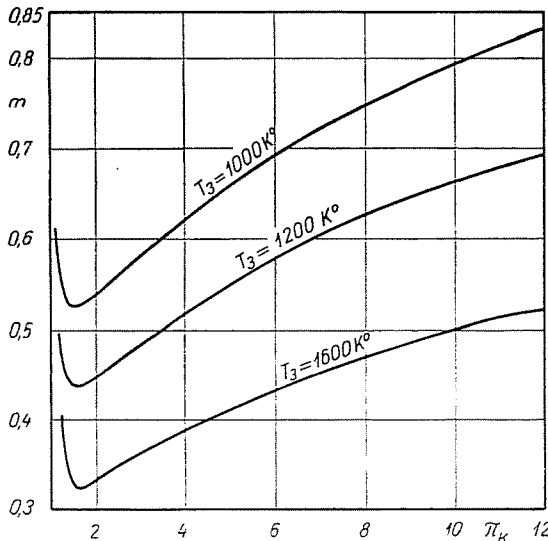


Bild 3. Verlauf des realen spezifischen Luftverbrauches des Gasgenerators in Abhängigkeit vom Druckverhältnis bei Fluggeschwindigkeit = 0 und bei verschiedenen Temperaturen vor der Turbine

Auf Grund dieses Zusammenhanges ist der spezifische Luftverbrauch des Gasgenerators, in Abhängigkeit vom Druckverhältnis (π_k) für $c_{pl} = 0,24$ [kcal/kg °C]; $\kappa_l = 1,4$; $c_{pg} = 0,27$ [kcal/kg °C]; $\kappa_g = 1,33$; $\eta_{adk} = 0,82$; $\eta_{adt} = 0,854$; $\sigma = 0,96$ und $T_1 = 288^\circ \text{K}$ in Bild 3 aufgetragen.

* Ableitungen in der Dissertation.

Den Verlauf des in Bild 3 dargestellten spezifischen Luftverbrauches haben auch die durch den Lehrstuhl für Gasturbinen an der Budapester Technischen Universität — mit Unterstützung der Ungarischen Akademie der Wissenschaften — an Kleingasturbinen durchgeführten Versuche bestätigt.

Der spezifische Luftverbrauch verläuft auch während des Fluges ähnlich, doch muß hierbei das Druckverhältnis des Kompressors, die Temperaturänderung die aus der Abbremsung der mit der Fluggeschwindigkeit einströmenden

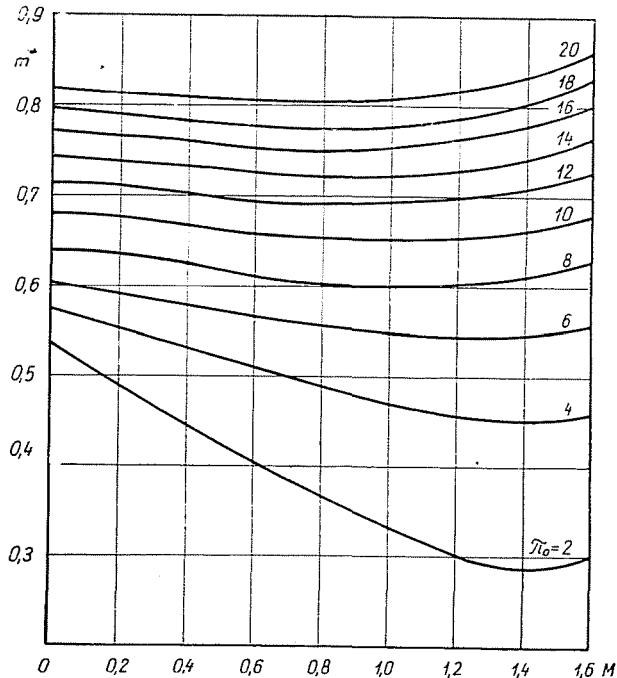


Bild 4. Verlauf des realen spezifischen Luftverbrauches in Abhängigkeit von der M-Zahl bei $T_3 = 1200^\circ \text{K}$ und bei unterschiedlichen Druckverhältnissen

Luft resultiert, und schließlich — im Interesse der Kalkulationsgenauigkeit — die Geschwindigkeit des vom Gasgenerator ausströmenden Mediums in Betracht gezogen werden.

Die Änderung des Kompressorverhältnisses läßt sich durch die gut annähernde Annahme bestimmen, daß die Fluggeschwindigkeit die durch die Turbine dem Arbeitsmedium entzogene Energie nicht merklich ändert. Da die Temperatur der in den Kompressor eintretenden Luft zufolge der in der Triebwerkdüse zustande kommenden dynamischen Kompression in Abhängigkeit von der Fluggeschwindigkeit (M-Zahl) steigt, vermindert sich das Druckverhältnis des Kompressors mit steigender M-Zahl. Das Gesamtdruckverhältnis des Triebwerkes ergibt sich als Produkt aus den in der Düse (π_D)

und im Kompressor (π_K bzw. im statischen Zustand π_0) zustande kommenden Druckverhältnissen und erhöht sich in Abhängigkeit von der Fluggeschwindigkeit.

Die wichtigsten Charakteristiken für den Betrieb des Gasgenerators paralleler Turbinen-Luftstrahltriebwerke lassen sich folgendermaßen zusammenfassen :

Im idealen Fall steigt ihr Luftbedarf in Abhängigkeit vom Druckverhältnis kontinuierlich an. Beim Einheit-Druckverhältnis ergibt sich ein bestimmter (minimaler) Wert. Dieser Verlauf des spezifischen Luftverbrauches ändert sich auch im Falle des wirklichen Kompressors der wirklichen Turbine und des idealen Heizraumes nicht.

Infolge des Druckverlustes im Heizraum steigt der spezifische Luftverbrauch in Richtung der niedrigen Druckverhältnisse von neuem an, um bei einem Wert von $\pi_K = 1/\sigma$ unendlich zu werden.

Die Ausdrücke für den spezifischen Luftbedarf der parallelen Gasturbine und für die zum Leerlauf benötigte Temperatur T_3 vor der Turbine lassen sich von gemeinsamer, prinzipieller Grundlage aus behandeln, in ihrem Verlauf sind sie mithin identisch.

Infolge der dynamischen Kompression vermindert sich der spezifische Luftverbrauch je nach der Fluggeschwindigkeit (Bild 4). Beim idealen parallelen Luftstrahltriebwerk ist die Verminderung kontinuierlich, in realen Fällen, bei hohen (nahe oder jenseits der Schallgeschwindigkeit liegenden) Fluggeschwindigkeiten beginnt jedoch der Luftverbrauch im allgemeinen wieder zu steigen, in erster Linie als Folge der steigenden Geschwindigkeit des dem Innenstromkreis entströmenden Gases.

Mit zunehmender Temperatur T_3 vor der Turbine vermindert sich der spezifische Luftbedarf in jedem Fall.

3. Mit dem bekannten spezifischen Luftverbrauch des Gasgenerators schreibt sich die in thermischem Sinne aufgefaßte Nutzarbeit des parallelen Luftstrahltriebwerks im realen Fall zu

$$AL_{ip} = c_{pg} T_3' \eta'_{adt} \left[1 - \left(\frac{1}{\sigma' \pi_K} \right)^{\frac{\kappa_g - 1}{\kappa_g}} \right] (1 - m),$$

wobei sich die mit einem (') bezeichneten Faktoren auf den Außenstromkreis beziehen.

Die thermische Nutzarbeit und der Wirkungsgrad der parallelen Gasturbine stimmen im idealen Fall, bei Gleichheit der Maximaltemperaturen $T_3' = T_3$ völlig, und unter den Verhältnissen der Wirklichkeit im wesentlichen mit denen der Reihengasturbinen überein, was den Vergleich der beiden Arten von Gasturbinen sehr erleichtert, da ihre thermischen Charakteristiken auf diese Weise zusammen berechnet werden können.

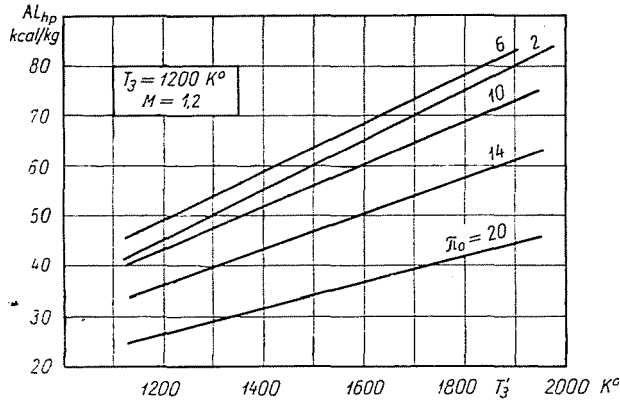


Bild 5. Verlauf der realen Nutzarbeit des Parallel-Strahltriebwerkes bei einer als Funktion der Maximaltemperatur (T'_3) des Außenstromkreises gegebenen M-Zahl und T_3 -Temperatur

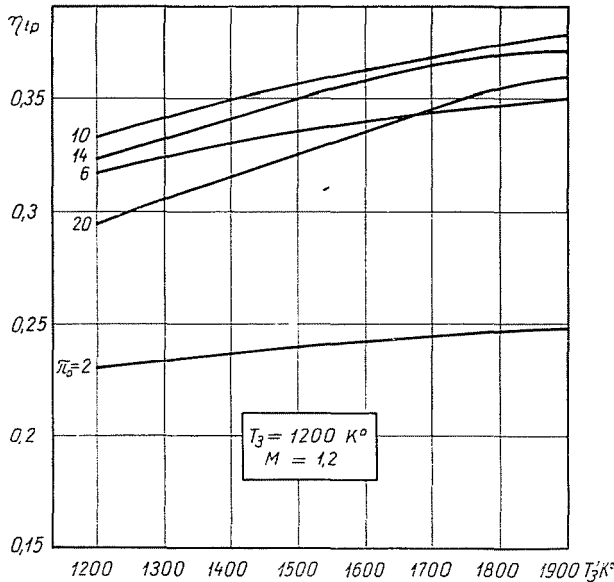


Bild 6. Verlauf des inneren (thermischen) Wirkungsgrades des Parallel-Strahltriebwerkes in Abhängigkeit von der Temperatur T'_3

Hier zeigt sich zum ersten Mal der Vorzug der parallelen Luftstrahlmotore im Vergleich zur Reihenanordnung, da die Nutzarbeit bei Erhöhung der Maximaltemperatur (T'_3) des Außenstromkreises in Abhängigkeit von T_3 linear steigt (Bild 5.). Die Temperatur T'_3 kann, wie bereits erwähnt, den Wert von T_3 wesentlich überschreiten. Natürlich ist dieser Vorzug nur für Luftstrahltriebwerke gültig, da bei parallelen Gasturbinen, die eine Wellenleistung abgeben, die Temperatur T'_3 nicht über diejenige des Innenstromkreises T_3

erhöht werden kann, ohne die Unversehrtheit der Turbine des Außenstromkreises zu gefährden. Ähnlich wie die Nutzarbeit, wenn auch nicht in demselben Ausmaß, erhöht sich auch der thermische Wirkungsgrad der parallelen Luftstrahltriebwerke (Bild 6) mit zunehmender Temperatur T_3 .

Entsprechend dem in Bild 4 dargestellten Verlauf des spezifischen Luftverbrauches sowie auf Grund von Bild 5 erweisen sich die Arbeitsvorgänge mit niedrigeren Druckverhältnissen im Falle von Fluggeschwindigkeit bei beiden Schaltungsarten vom Gesichtspunkte der Nutzarbeit als günstiger, besonders bei niedrigeren Temperaturen vor der Turbine; im statischen (Start-) Zustand dagegen wird man zweckmäßig ein hohes Druckverhältnis wählen. Freilich lassen sich diese beiden gegensätzlichen Anforderungen gleichzeitig im allgemeinen nur schwer, und meist nur in Form eines Kompromisses befriedigen.

4. Bei Luftstrahltriebwerken kommt außer dem inneren thermischen Wirkungsgrad auch der Gestaltung des Propulsions- bzw. des effektiven Wirkungsgrades äußerste Wichtigkeit zu. Bekanntlich ist die thermische Nutzarbeit der in der Düse entstehenden Strahlleistung gleich, doch wandelt sich diese nicht zur Gänze in Zugleistung um. Die Verluste, die bei dem auf Grund des Propulsionsprinzips erfolgenden Flugzeugschleppen auftreten, drückt der Propulsionswirkungsgrad aus, der gemäß Gleichung

$$\eta_p = \frac{L_V}{L_S} = \frac{2}{\frac{w}{v} + 1}$$

als das Verhältnis zwischen Schlepp- und Strahlleistung definiert werden kann, wobei w bzw. v die Geschwindigkeit des Mediums nach bzw. vor der Beschleunigung bedeutet. Der gute Propulsionswirkungsgrad und die hohe spezifische Zugkraft, die der Geschwindigkeitsdifferenz ($w-v$) proportional ist, sind einander widersprechende Erfordernisse, wie dies auch aus obigem Zusammenhang hervorgeht. Hier muß also die richtige Lösung danach streben, neben einer niedrigen spezifischen Zugkraft einen guten Propulsionswirkungsgrad zu erzielen, und die geringe spezifische Zugkraft durch mengenmäßige Erhöhung des am Arbeitsvorgang beteiligten Arbeitsmediums auszugleichen.

In Reihentriebwerken (Bild 1) nimmt die am Arbeitsvorgang beteiligte gesamte Luftmenge in der Erzeugung der Schubkraft teil, während das Arbeitsmedium im Triebwerk eine verhältnismäßig geringe Beschleunigung erfährt, so daß sich die an das Propulsionsschleppen gestellten erwähnten Anforderungen innerhalb der Grenzen der Möglichkeit mehr oder weniger verwirklichen lassen.

Bei den parallelen Triebwerken kommt es zu einer direkteren Zugkraftherzeugung, im Vergleich zu den Reihentriebwerken. Die auf den Außenstromkreis bezogene spezifische Zugkraft ist zwar hoch (was natürlich einen schlechten

Propulsionswirkungsgrad zur Folge hat), doch nimmt an der Zugkraftherzeugung nur ein Teil des durch das ganze Triebwerk strömenden Arbeitsmediums teil, die auf die gesamte, durch das Triebwerk strömende Luftmenge bezogene spezifische Zugkraft vermindert sich somit wesentlich.

Für die Beurteilung der Brauchbarkeit bzw. Berechtigung der parallelen Anordnung sind also zwei gegensätzliche Faktoren maßgebend:

a) Mit Hilfe der parallelen Schaltung läßt sich die maximale Temperatur (T_3) des äußeren (die Schubkraft liefernden) Stromkreises wesentlich über die Temperatur T_3 des Innenstromkreises erhöhen. Demzufolge erhöht sich auch die thermische Nutzarbeit (Strahlleistung) des Triebwerkes, sein thermischer Wirkungsgrad und seine auf den Außenstromkreis bezogene spezifische Zugkraft.

b) Die günstigen thermischen Eigenschaften der parallelen Schaltung beeinträchtigt jedoch in hohem Maße der Umstand, daß an der Erzeugung der Zugkraft nur ein Teil (20—30%) der durch das Triebwerk strömenden Luftmenge beteiligt ist.

Diese beiden einander entgegengesetzten Faktoren treten unter verschiedenen Betriebsverhältnissen in verschiedener Weise in Erscheinung, nur die genaue Prüfung ihrer wechselseitigen Wirkung vermag präzise Aufschlüsse darüber zu geben, auf welchen Gebieten parallele Luftstrahltriebwerke zweckmäßig anzuwenden sind.

Die Anwendung von Wärmeaustauschern erhöht die Wirtschaftlichkeit der Wellenleistung abgebenden Turbinen (hierzu können auch die Propellerturbinen-Luftstrahltriebwerke — PTL-Triebwerke — gezählt werden) sehr wesentlich, da hierbei ein Teil der Wärmeenergie des der Turbine entströmenden Gases der aus dem Kompressor austretenden verdichteten Luft übermittlelt werden kann.

Bei Luftstrahltriebwerken ist ein Wärmeaustausch nur bei Arbeitsmedien möglich, die an der Erzeugung der Zugkraft nicht teilnehmen, da sich hierbei auch die Energie des der Düse entströmenden Gases im Verhältnis zur übermittelten Wärmeenergie vermindert.

Bei Reihentriebwerken kommt der Einbau von Wärmeaustauschern nicht in Frage, da der Wärmeaustauscher eben die Energie des die Schubkraft erzeugenden Arbeitsmediums herabsetzen würde.

Bei parallelen Triebwerken nimmt der Innenstromkreis in der Erzeugung der Schubkraft nicht teil, so daß der Wärmeaustausch dortselbst die Schubkraft (Bild 7.), von der aus dem unvermeidlichen Druckverlust resultierenden Schubkraftverminderung abgesehen, nicht beeinträchtigt, wogegen er jedoch den spezifischen Brennstoffverbrauch vornehmlich bei niedrigen Druckverhältnissen herabsetzt.

Dem parallelen Luftstrahltriebwerk mit Wärmeaustauscher kommt auch deshalb erhöhte Bedeutung zu, weil *nur solche und ähnliche Strahltriebwerke*

den Einsatz eines Wärmeaustauschers zwecks Verringerung des spezifischen Brennstoffverbrauches gestatten.

Da hiermit die wichtigsten Eigenschaften der parallelen Lufstrahltriebwerke abgeklärt sind, sollen im weiteren ihre Betriebscharakteristiken und Anwendungsgebiete ausführlicher analysiert werden.

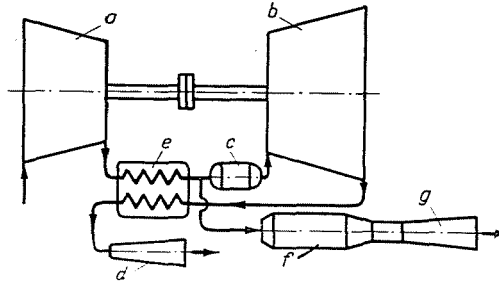


Bild 7. Skizze eines Parallel-Strahltriebwerkes mit Wärmeaustauscher; a) Kompressor, b) Turbine, c) Brennkammer des Innenstromkreises; d) Düse des Innenstromkreises, e) Wärmeaustauscher, f) Brennraum des Außenstromkreises, g) äußere Düse

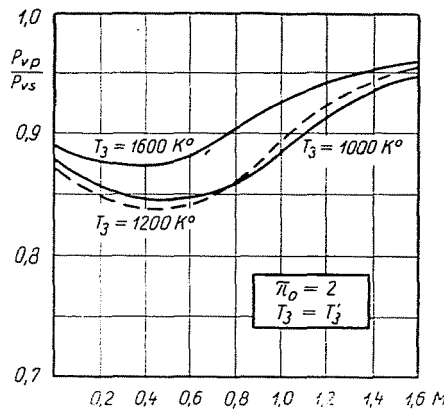


Bild 8. Verhältnis der realen spezifischen Zugkräfte von Parallelen- und Reihen-Strahltriebwerken in Abhängigkeit von der M-Zahl im Falle der Gleichheit der Maximaltemperaturen

Ohne Wärmeaustauscher geben die parallelen Luftstrahltriebwerke — im Falle der Gleichheit der Maximaltemperaturen ($T_3 = T_3'$) — bei beliebiger Flugeschwindigkeit und bei jeder Art von Druckverhältnissen eine geringere Schubkraft ab als das unter gleichen Verhältnissen arbeitende Reihentriebwerk. Unter solchen Umständen sind also die beiden Triebwerke miteinander nicht wettbewerbsfähig, doch verdient es immerhin Beachtung, daß die Zugkraft des parallelen Strahltriebwerkes bei hohen Flugeschwindigkeiten und niedrigen Druckverhältnissen nur um 5–10% unter derjenigen eines entsprechenden Reihentriebwerkes liegt (Bild 8). Da die den beiden Trieb-

werken zugeführten Wärmemengen im Falle der Gleichheit der Maximaltemperaturen identisch sind, wird das parallele Triebwerk ohne Wärmeaustauscher stets einen höheren spezifischen Verbrauch aufweisen.

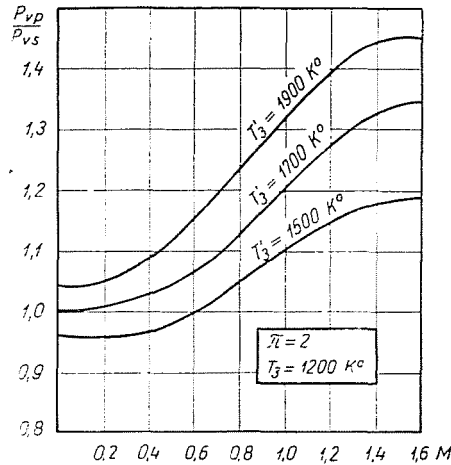


Bild 9. Verhältnis der realen spezifischen Zugkräfte in Abhängigkeit von der M-Zahl bei gegebener Temperatur T_3 und bei veränderlichen Temperaturen T'_3

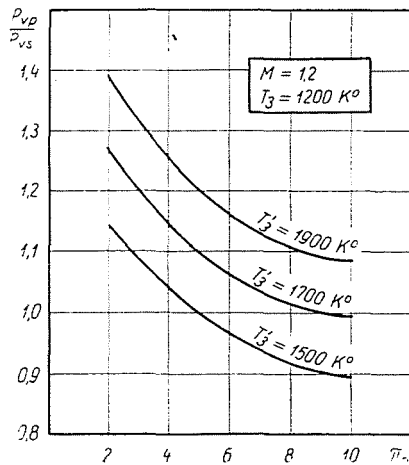


Bild 10. Verhältnis der realen spezifischen Zugkräfte als Funktion des Druckverhältnisses bei verschiedenen Temperaturen T'_3

Erhöht man die Temperatur des Außenstromkreismediums des parallelen Triebwerkes (wird also $T'_3 > T_3$), dann kann die Schubkraft unseren bisherigen Feststellungen gemäß bedeutend über diejenige des Reihentriebwerkes ansteigen. Vor allem bei hohen Fluggeschwindigkeiten und niedrigen Druckverhältnissen erzeugt das parallele Triebwerk nahezu im gesamten geprüften Geschwin-

digkeitsbereich schon bei verhältnismäßig niedrigen T'_3 -Temperaturen (z. B. $T'_3 = 1500^\circ \text{K}$) eine höhere Zugkraft als das entsprechende Reihentriebwerk. Mit steigenden Druckverhältnissen verschlechtert sich diese vorteilhafte Eigenschaft der parallelen Triebwerke in zunehmendem Maße (Bild 10), um bei einem hohen Druckverhältnis (z. B. $\pi_0 = 10$) praktisch ganz zu verschwinden. Erhöht man die Maximaltemperatur des Außenstromkreises, dann steigt zusammen mit der Schubkraft auch die Geschwindigkeit des der äußeren Düse entströmenden Arbeitsmediums, was die Verschlechterung des Propulsionswirkungsgrades bzw. eine Zunahme des spezifischen Brennstoffverbrauches

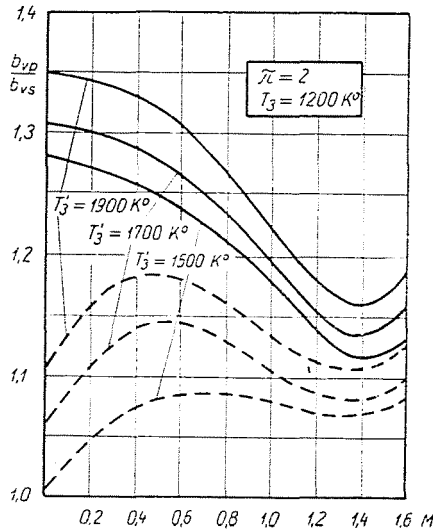


Bild 11. Verlauf des spezifischen Brennstoffverbrauches bei Parallelen- und Reihen-Strahltriebwerken als Funktion der M-Zahl bei verschiedenen T'_3 -Temperaturen (— ohne Wärmeaustauscher, - - - mit Wärmeaustauscher)

zur Folge hat. In diesem Zusammenhange sei erwähnt, daß eine Erhöhung der Schubkraft von Strahltriebwerken auf thermischem Weg infolge der gesetzmäßig eintretenden Verschlechterung des Propulsionswirkungsgrades lediglich um den Preis eines größeren spezifischen Brennstoffverbrauches erzielt werden kann.

Aus dem gesagten geht hervor, daß die parallelen Triebwerke mit den Reihentriebwerken in erster Linie bei Überschall-Fluggeschwindigkeiten wettbewerbsfähig sind. Bei hohen Geschwindigkeiten wendet man nämlich zweckmäßig Triebwerke mit geringen Druckverhältnissen an (Bild 4), während die parallel angeordneten dem Reihentriebwerk gegenüber, vornehmlich bei einem derartigen Betriebszustand einen bedeutenden Vorzug aufweisen.

Die Anwendung eines Wärmeaustauschers vermindert den spezifischen Brennstoffverbrauch der parallelen Strahltriebwerke in erster Linie bei

niedrigen Druckverhältnissen und mäßigen Fluggeschwindigkeiten (Bild 11). Die Erhöhung der Fluggeschwindigkeit hat das Anwachsen des Gesamtdruckverhältnisses des Triebwerkes zur Folge, es ist daher verständlich, daß die Brennstoffersparnis, die der Wärmeaustauscher ermöglicht, im Falle höherer (nahe oder jenseits der Schallgeschwindigkeit liegender) Fluggeschwindigkeiten beständig abnimmt. Die parallelen Strahltriebwerke mit Wärmeaustauscher bieten somit ebenfalls bei niedrigen Druckverhältnissen Vorteile, ihre Anwendung empfiehlt sich jedoch eher bei niedrigen und mittleren Fluggeschwindigkeiten. Bei diesen Fluggeschwindigkeiten lassen sich also durch die Einfügung eines Wärmeaustauschers günstige Betriebsverhältnisse erzielen, während bei Überschallgeschwindigkeiten eben die Ausschaltung des Wärmeaustauschers die günstigen Betriebseigenschaften gewährleistet. Bei Prüfung der Frage, ob ein Wärmeaustauscher angewendet werden soll, darf man natürlich auch das mit diesem verbundene Mehrgewicht nicht außer acht lassen, da dieses in vielen Fällen die Zweckmäßigkeit seines Einbaues fraglich machen kann.

Dieser Aufsatz hat bei weitem nicht den Zweck, zu beweisen, daß die parallele Strahltriebwerke das Flugtriebwerk der Zukunft sei, wünschte vielmehr nur den Gedanken aufzuwerfen, daß die Entwicklung bei der Suche nach dem günstigsten Arbeitsvorgang der Turbinen-Luftstrahltriebwerke noch nicht zum Abschluß gelangt ist.

Außer dem Reihenstrahltriebwerk können auch Triebwerke anderer Anordnung entwickelt werden, die zufolge einzelner Spezialeigenschaften evtl. nur auf einem engen Gebiet zu ersten Konkurrenten der gegenwärtig allgemein verwendeten Reihenstrahltriebwerke werden können.

Zusammenfassung

Die Studie prüft die Betriebscharakteristik und die Anwendungsmöglichkeit einer möglichen Spezialvariante der Luftstrahltriebwerke für Flugzeuge. Obwohl der Propulsionswirkungsgrad der Parallel-Strahltriebwerke notwendigerweise ungünstiger ist als derjenige der Reihentriebwerke — so stellt die Studie fest —, rechtfertigt die Möglichkeit zur Erhöhung der Höchsttemperatur des Außenstromkreises der Parallelanordnung sowie die Möglichkeit zur Anwendung eines Wärmeaustauschers die Prüfung derartiger Triebwerke. Auf Grund der in der Studie unvollständigen Prüfung kann festgestellt werden, daß das Parallel-Strahltriebwerk bei hohen (nahe oder jenseits der Schallgeschwindigkeit liegenden) Fluggeschwindigkeiten Vorzüge aufweist, die seine Anwendung bzw. seine weitere präzisere und ausführlichere Prüfung gerechtfertigen können.