

Ueber einige Fragen der Vortriebserzeugung.

von D. Kuchemann.

Zum Fliegen gehört die Vorwärtsbewegung im Luftraum. Es genügt uns nicht allein die Fähigkeit, uns in die Luft erheben zu können, wie es z.B. mit dem gasgefüllten Luftballon möglich ist, sondern wir fordern auch, daß ein solches Luftfahrzeug lenkbar vorwärtsbewegt werden kann, und wir sprechen erst dann vom eigentlichen Fliegen, wenn ein Flugzeug dem Vogel gleich den Luftraum in allen Richtungen zu durchmessen imstande ist. Erst von der Zeit an, in der dies dem Menschen mehr oder weniger gelang, rechnen wir die Geschichte der menschlichen Flugtechnik.

Ein Flugzeug braucht also nicht nur ein Organ, um den Auftrieb zu erzeugen, sondern auch ein weiteres für den Vortrieb. Die Vortriebserzeugung ist daher vom Anfang der Entwicklung der Flugtechnik an als besondere Aufgabe gesehen und behandelt worden. Bemerkenswerterweise ist jedoch bis vor einigen Jahren nur einer von den möglichen Wegen konsequent verfolgt, nämlich die Entwicklung des Schraubenpropellers in Verbindung mit einem Kolbenmotor, während andere Triebwerksarten erst heute "modern" werden, obwohl sie bereits vor fast einem halben Jahrhundert erfunden und bekannt gewesen sind. Diese Einseitigkeit hat aber ihre guten Gründe, denn bis vor einigen Jahren hat das Luftschraubentriebwerk den an das Vortriebsorgan gestellten Anforderungen durchaus genügt. So konnte ein einsitziges Flugzeug, das in Bodennähe etwa 500 km in der Stunde fliegen sollte, sehr wohl mit einem Luftschraubentriebwerk von gutem Wirkungsgrad und brauchbaren Gewichten ausgerüstet werden. Inzwischen hat sich die Situation jedoch grundlegend geändert: wir möchten heute hoch und sehr schnell fliegen und - um bei dem Beispiel zu bleiben - wir möchten gern, daß ein entsprechendes einsitziges Flugzeug heute etwa 1 000 km in der Stunde und dabei beispielsweise 11 km hoch flöge. Lassen sich diese Forderungen nun noch mit dem üblichen Luftschraubentriebwerk erfüllen?

3368

Ich möchte die Antwort vorwegnehmen: Es geht nicht. Und um mich kurz zu fassen, möchte ich nur einen Grund anführen, nämlich das untragbar große Gewicht, welches dies Triebwerk haben würde. Denken wir an ein Flugzeug von etwa 4 t Gewicht und 20 m² Flügelfläche, so wird dieses zur Erzielung der geforderten Geschwindigkeit in der Höhe von 11 km etwa 1 800 PS nutzbare Vortriebsleistung brauchen. Die Motorleistung an der Welle muß wegen des Luftschraubenwirkungsgrades höher sein und wird um 3 000 PS liegen, wobei wir den Luftschraubenwirkungsgrad zu 60 % angesetzt haben, was wahrscheinlich nur mit äußerster Mühe (mindestens Gegenlaufschrauben) erreicht werden kann (die Flugmachzahl liegt bei 0,94). Der Gesamtwirkungsgrad, d.h. das Verhältnis zwischen der nutzbaren Vortriebsleistung und der mit dem Brennstoff in der Zeiteinheit dem Motor zugeführten Energie liegt natürlich bedeutend niedriger, denn der Motor als Kraftmaschine wird nur einen Wirkungsgrad von etwa 25 % haben, so daß der Gesamtwirkungsgrad um 15 % liegen wird. Bei der Bestimmung des Triebwerksgewichtes (einschließlich der Luftschraube mit Getriebe, des Kühlers und des notwendigen Abgas-Turboladers) können wir für jedes PS etwa 1,5 kg rechnen, sodaß das Triebwerk 4 500 kg wiegen würde, also mehr als wir für das ganze Flugzeug angesetzt haben. Wir müssten also das Verfahren wiederholen, und mit einem größeren Flugzeug und einer entsprechend höheren erforderlichen Leistung beginnen. Daß dies Verfahren konvergiert, ist kaum anzunehmen, jedenfalls nicht bei diskutablen Flugzeuggrößen und -gewichten. Dies Beispiel zeigt, daß wir gezwungen sind in Bezug auf die Vortriebserzeugung eine Umstellung vorzunehmen, wobei wir auf die früheren Erkenntnisse zurückgreifen können. Die Hauptforderungen, die an das Triebwerk gestellt werden, sind dabei: Große Triebwerksleistungen bei geringem Gewicht und Brauchbarkeit bei höheren Machzahlen. Wir wollen uns nun im folgenden über die grundsätzlichen Möglichkeiten, Vortrieb zu erzeugen, einen kurzen Ueberblick verschaffen.

In der Flugtechnik wird der Vortrieb stets dadurch erzeugt, daß Massen nach hinten beschleunigt werden, und zwar entweder Massen, die das Luftfahrzeug selbst mit sich führt (Raketen) oder solche aus der umgebenden Luft. Die letzte Art ist die bei weitem häufigere und mit ihr wollen wir uns auch nur befassen.

Es wird dabei also eine bestimmte Luftmenge aus dem Fahrtwind abgezweigt und ihr Energie zugeführt. Von dieser Energie kann aber nur ein Teil in gewünschte Vortriebsleistung umgewandelt werden, ein anderer Teil verbleibt in dem sich bildenden Strahl und geht verloren, d.h. die Vortriebserzeugung geht stets mit einem Wirkungsgrad vor sich. Ich möchte nun heute die Art der Energieübertragung an die Luft und die dabei erreichbaren Wirkungsgrade etwas näher betrachten.

Als Energiequelle stehen ausschließlich Stoffe zur Verfügung, die über einen Verbrennungsprozess Wärmeenergie liefern. Beim bisher üblichen Triebwerk findet die Umsetzung von Wärmeenergie in mechanische Energie im Motor statt, während die Uebertragung an die Luft rein mechanisch in Form einer Druckerhöhung in der Schraubenebene erfolgt. Das dabei entstehende Strömungsfeld und die Geschwindigkeits- und Druckverläufe sind allgemein bekannt (Abb.1). Bei den neueren Strahltriebwerken ist dies anders, und um leichter zu einem Verständnis der grundlegenden Vorgänge bei diesen Triebwerken zu kommen, möchte ich nun grundsätzlich fragen: Was geschieht, wenn der Strömung direkt Wärmeenergie zugeführt wird?

Wir betrachten eine senkrecht angeströmte Fläche, in welcher der Strömung Wärmeenergie zugeführt wird, also einen "freifahrenden Brenner". Um einen Ueberblick über die sich einstellende Strömung zu bekommen, müssen wir in jedem Querschnitt die unbekanntens Zustandsgrößen Geschwindigkeit, Druck, Dichte und Temperatur bestimmen, wozu uns ausreichend viele Gleichungen zur Verfügung stehen, die wir von Querschnitt zu Querschnitt ansetzen können. Die Zustandsgrößen in der ungestörten Anströmung nehmen wir dabei als gegeben an. Dann liefern uns nach Bedarf die Energiegleichung und der Impulssatz Aussagen über die Geschwindigkeit, den Druck und die Dichte; außerdem benutzen wir die Kontinuitätsgleichung, die Zustandsgleichung und die Gasgleichung, indem wir die Luft und das Verbrennungsprodukt als ideales Gas ansehen. Bis auf den Brenner, wo wir eine bestimmte Leistung in Form einer in der Zeiteinheit eingeführten Wärmeenergie übertragen, nehmen wir die gesamten Strömungsvorgänge als adiabatisch an. Der Brenner selbst möge nur imstande sein, die Wärmemenge zuzuführen und nicht irgendwelche Luftkräfte aufzunehmen. Dann ist von vornherein klar, daß der freifahrende Brenner als Ganzes

keinen Schub liefern kann, was bedeutet, daß die gesamte zugeführte Energie sich im Abstrom in Form einer Temperaturerhöhung wiederfinden muß und verloren geht. Dies ist ein wesentlicher Unterschied gegenüber der mechanischen Energieübertragung, bei welcher das Uebertragungsgerät naturgemäß zur Aufnahme von Kräften geeignet sein muß.

Die Strömung hat den Verlauf wie er in Abb. 1 schematisch angedeutet ist. Vor dem Brenner findet eine Verzögerung der Luft, verbunden mit Druck-, Dichte- und Temperaturerhöhung statt. Im Brenner selbst nimmt die Geschwindigkeit plötzlich zu, während Druck und Dichte abfallen. Die Temperatur steigt an und nähert sich im Abstrom einem bestimmten Grenzwert. Die Dichte wird im Strahl kleiner als die Dichte der ungestörten Luft, während sich Druck und Geschwindigkeit ausgleichen und den Ausgangswerten wieder annähern. Es bildet sich also gar kein Strahl aus, sondern der Abstrom verbreitert und verzögert sich, entsprechend der Temperaturerhöhung und der Dichteabnahme. Daß der Brenner selbst keine Kräfte aufnehmen kann, äußert sich darin, daß die Impulszunahme während des Brennvorganges durch einen entsprechenden Druckabfall wieder ausgeglichen wird.

Wir müssen uns nun fragen, auf welche Weise wir denn überhaupt Schubkräfte erzeugen können, wenn wir der Strömung direkt Wärmeenergie zuführen wollen. Die Rechnung zeigt, daß Schubkräfte auftreten müssen, wenn wir von außen her auf irgendeine Weise die Geschwindigkeit am Brenner zusätzlich verringern. In diesem Falle (wie wir das praktisch herstellen, wollen wir später überlegen) fließt dann eine kleinere Luftmenge durch den Brenner und bei gleicher zugeführter Leistung ist die Geschwindigkeit weit hinten im Abstrom größer als die Anströmgeschwindigkeit. Druck, Dichte und Temperatur ändern sich wie in Abb. 1 angedeutet, wobei zu bemerken ist, daß der Druckabfall entsprechend der geringeren Impulszunahme kleiner und die Temperatur im Strahl erheblich größer wird, weil die gleiche Leistung einer kleineren Luftmenge zugeführt wird.

Im ganzen ergibt die Rechnung, wenn wir die Geschwindigkeit vor dem Brenner im Verhältnis zur Anströmgeschwindigkeit willkürlich verändern, daß bei gleicher zugeführter Leistung mit abnehmender Geschwindigkeit der Schub zunächst ansteigt,

dann aber auf Null abfällt. Wegen der konstantgehaltenen Leistung zeigt der Wirkungsgrad den gleichen Verlauf. Der Wirkungsgrad setzt sich aus zwei Anteilen zusammen, der eine herrührend von der im Strahl zurückbleibenden kinetischen Energie und der andere von der im Strahl zurückbleibenden Wärmeenergie. Daß der freifahrende Brenner den Wirkungsgrad Null hat, liegt daran, daß die gesamte Energie thermisch im Strahl verlorenght, d.h. daß der thermische Wirkungsgrad Null ist. Dieser thermische Wirkungsgrad wird immer besser, je größer der Aufstau vor dem Brenner und je größer damit der Druck vor der Verbrennung ist, eine von allen Kraftmaschinen her bekannte Tatsache (Abb.2). Daß der Gesamtwirkungsgrad mit abnehmender Geschwindigkeit wieder abfällt, liegt an den Verlusten an kinetischer Energie, denn dann muß eine immer kleiner werdende Luftmenge immer stärker beschleunigt werden, wenn die gleiche Leistung hineingesteckt wird. In diese Schub- und Wirkungsgradkurven geht außerdem die Anströmgeschwindigkeit oder die Flugmachzahl als absolute Größe wesentlich ein. Man kann auf einfache Weise den maximal möglichen thermischen Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Flugmachzahl bestimmen, der zunächst mit der Flugmachzahl etwa quadratisch ansteigt (Abb.2). D.h. also ein solches Triebwerk hat einen umso besseren Wirkungsgrad, je größer die Flugeschwindigkeit ist.

Wir wollen uns nun kurz überlegen, auf welche Weise eine solche Herabsetzung der Geschwindigkeit am Brenner praktisch erreicht werden könnte. Unter den verschiedenen Möglichkeiten wäre eine, den Brenner in eine Verkleidung zu setzen, deren veränderlicher Austrittsquerschnitt die Geschwindigkeit am Brenner in gewünschter Weise regelt. Die Verkleidung könnte nach unseren bisherigen Ueberlegungen z.B. ein in Anströmrichtung liegendes zylindrisches Rohr sein (Abb.3), welches die Geschwindigkeit am Brenner gegenüber der im freifahrenden Fall vermindern würde, weil wir im Austritt bereits den ungestörten Außendruck annehmen dürfen und daher einen zylindrischen Strahl erhalten. Wo greifen nun die Schubkräfte an? Eine Erklärung ergibt sich ohne weiteres, wenn wir das Rohr als ringförmigen Tragflügel auffassen, der eine Zirkulation besitzt und dessen Vorderkante umströmt wird. Ähnlich wie bei der bekannten schräg angeströmten ebenen Platte ergeben sich an der Vorderkante unendlich große Unterdrücke, die

insgesamt eine endliche Saugkraft liefern, und diese Saugkraft repräsentiert bei dem verkleinerten Brenner den gesamten Schub. Nun sind im praktischen Fall diese unendlich großen Unterdrücke höchst ~~un~~wünscht, abgesehen davon, daß sie praktisch nicht auftreten würden. Im Gegenteil müssen wir dafür sorgen, daß die Unterdrücke und die damit verbundenen Uebergeschwindigkeiten möglichst klein bleiben, was sich durch eine dicke Verkleidung, welche den Unterdrücken eine größere Angriffsfläche zur Verfügung stellt, ohne weiteres bewerkstelligen läßt (Abb. 3). Die gesamten Schubkräfte greifen dann vollständig an dem vorderen Verkleidungsteil an. Sollen die Uebergeschwindigkeiten klein sein, so folgt daraus eine sehr große Verkleidungsdicke und damit Stirnfläche und Oberfläche des gesamten Triebwerks, so daß wir uns nach Mitteln umsehen müssen, die Luftkräfte auch an anderen Stellen angreifen lassen. Dies ist möglich, wenn wir einen Diffusor vor dem Brenner vorsehen, so daß die Verzögerung der Strömung zu einem Teil vor dem Verkleidungseintritt und zum anderen im Diffusor stattfindet. Der Triebwerksschub tritt dann ganz entsprechend zu einem Teil als Unterdruck an der Außenseite der Verkleidung und zum anderen Teil als Ueberdruck an den Wänden des Diffusors auf. Dies ist auch der Weg, der in der Praxis am einfachsten einzuschlagen ist und der sich auch bewährt hat.

Das soeben beschriebene Triebwerk, welches Lorin-Triebwerk nach einem der ersten, der es vor etwa 40 Jahren beschrieben hat, benannt ist, ist bereits praktisch verwendbar. Es hat aber vor allen Dingen noch die Mängel, daß es beim Start ohne Anströmung keinen Schub liefert und erst bei größeren Flugmazzahlen einen brauchbaren Wirkungsgrad besitzt; es hat aber den Vorteil, relativ große Leistungen aufnehmen zu können und dabei besonders kleine Gewichte zu haben.

Nachdem wir so gesehen haben, welche Vorteile eine Verkleidung haben kann, wollen wir überlegen, ob sie auch bei der Luftschraube brauchbar und imstande ist, die diesem Vortriebsorgan grundsätzlich anhaftenden Mängel zu beheben. Das naheliegendste wäre, auch hier eine Verkleidung zu verwenden, welche die axiale Zuströmgeschwindigkeit an der Schraube verringert. Diese Maßnahme würde die Verschlechterung des Luftschraubenwirkungsgrades bei hohen Mazzahlen zurückhalten und außerdem die Verluste

durch die Blattspitzenumströmung und den Drall verringern, da die Verkleidung als Endscheibe wirkt und außerdem die Anbringung eines Leitapparates gestattet und damit Gegenläufigkeit überflüssig macht; schließlich läuft die Schraube dann auch bei einem geringeren effektiven Fortschrittsgrad. Die Verkleidung greift also gerade da ein und verbessert diejenigen Erscheinungen, welche der Grund dafür sind, daß der Wirkungsgrad des Luftschraubentriebwerkes bei hohen Flugmachzahlen so abnimmt.

Den sich bei der verkleideten Luftschraube ergebenden Strömungsgeschwindigkeits- und Druckverlauf ersehen wir aus Abb. 1. Es ist nun sehr bemerkenswert, daß eine solche Verkleidung, die eine Verminderung der Zuströmgeschwindigkeit erreicht, schon rein potentialtheoretisch einen Widerstand erfährt, was wieder unmittelbar einleuchtend wird, wenn wir die Verkleidung als Ringtragflügel mit Zirkulation auffassen und bedenken, daß die Grundströmung und damit die resultierende Luftkraft in diesem Falle im Gegensatz zur Brennerströmung eine andere Neigung an der Schraubenebene besitzt. Diese Tatsache hat zur Folge, daß der Schub bei konstantgehaltener Leistung und damit auch der Wirkungsgrad mit abnehmender Innengeschwindigkeit ebenfalls abnimmt (Abb. 2). Da außerdem der Reibungswiderstand an der Verkleidung den Wirkungsgrad verschlechtert und die Verkleidung auch sehr machempfindlich ist, wird also die Mantelschraube in dieser Form nur unter Aufwendung größter Mühe ein brauchbares Triebwerk werden können.

Wir haben nun zwei Triebwerksarten kennen gelernt, die an sich schon praktisch anwendbar wären, aber jedes für sich noch mit gewissen Mängeln behaftet ist, so daß sie beide noch nicht einen großen Schritt vorwärts bedeuten. Es ist aber sehr einleuchtend, daß sich beide gut ergänzen können, und wir wollen überlegen, wie weit eine Kombination beider Triebwerke einen wirklichen Vorteil bringt. Dem Lorin-Triebwerk fehlt vor allem der notwendige Ueberdruck vor dem Brenner; diesen könnte die im Ring laufende Schraube, die wir auch als Gebläse ansehen können, liefern. Bei der Mantelschraube wirkt sich die Verringerung der Innengeschwindigkeit ungünstig bei der Verkleidung aus; dieses ist wiederum beim Lorin-Triebwerk nicht der Fall, bei dem die Verringerung der Innengeschwindigkeit einen Schub an der Verkleidung hervorruft.

So sieht also in der Tat eine solche Kombination von vornherein sehr erfolgversprechend aus. Ich möchte zur Bestätigung nur den maximal möglichen thermischen Wirkungsgrad eines solchen Kombinationstriebwerkes angeben, der sich wieder einfach berechnen läßt. Je nach dem Druckverhältnis, welches der Verdichter aufbringt, ergeben sich Wirkungsgrade wie in Abb. 2, die also besser als die der beiden Einzeltriebwerke sind, und zwar entscheidend besser gerade in dem Bereich hoher Unterschallgeschwindigkeiten, der uns heute besonders interessiert.

Wie wird nun ein solches Triebwerk praktisch aussehen? Zunächst muß wieder eine bestimmte Luftmenge durch eine Verkleidung aufgefangen werden. Diese Luft wird dem Verdichter zugeführt, den man natürlich mehrstufig ausführen muß, wenn man größere Druckverhältnisse erreichen will. Die Geschwindigkeit bleibt dabei näherungsweise konstant und die Temperatur steigt etwas an. Anschließend folgt die Brennkammer, in welcher vor allem die Temperatur erhöht wird, während Geschwindigkeit und Druck entsprechend den Endwerten beim freifahrenden Brenner praktisch ungeändert bleiben. Wir könnten nun die Luft durch eine Düse in Form eines Strahles austreten lassen, müssten dann aber den Verdichter durch einen besonderen Motor von außen her antreiben, wie das z.B. bei der Mantelschraube im allgemeinen der Fall sein wird. Es ist jedoch wesentlich einfacher, einen Teil der Energie, welche die Luft im Austritt des brennraumes hat, dazu zu benutzen, eine Turbine anzutreiben, die ihrerseits wiederum ihre Leistung vollständig an den Verdichter abgibt. In der Turbine wird dann die Temperatur und vor allem der Druck wieder absinken, während die Geschwindigkeit im Mittel sich kaum zu ändern braucht. Hinter der Turbine folgt dann eine Düse mit veränderlicher Austrittsöffnung in welcher der Druck in Geschwindigkeit umgesetzt wird, wobei die Temperatur noch etwas abfällt. Der Strahl tritt dann mit gegenüber den Anfangswerten erhöhter Geschwindigkeit und erhöhter Temperatur aus und liefert den Schub. (Abb. 4).

Derartige Triebwerke werden TL-Triebwerke oder Turbinen-Luftstrahltriebwerke genannt und sind bereits in verschiedenen Ausführungen gebaut. Sie vereinen die Vorteile des Lorin-Triebwerkes mit denen der Mantelschraube und erfüllen unsere eingangs erwähnten Forderungen nach großen Triebwerksleistungen bei gerin-

gem Gewicht und Brauchbarkeit bei höheren Machzahlen weitgehend. Da es sich um ein Kombinationstriebwerk handelt, erfolgt die Energieübertragung an die Luft in zweifacher Weise, nämlich einmal mechanisch im Verdichter und zum anderen thermisch in der Brennkammer. Es sei erwähnt, daß dies nur die einfachste und naneliegendste Kombinationsmöglichkeit ist, und daß natürlich noch mannigfache Varianten denkbar sind.

Nachdem ich bisher nur grundsätzliche Ueberlegungen und allgemeine Skizzen gebracht habe, möchte ich zum Schluß die bisherigen Ergebnisse noch mit einigen Zahlenangaben belegen und ergänzen. Von jeder Triebwerksart nehmen wir einen typischen modernen Vertreter: Für das Luftschraubentriebwerk mit Otto-Motor den Jumo 213 E, für das TL-Triebwerk das Heinkel-Hirth-Gerät 011 und für das Lorin-Triebwerk einen Entwurf von Focke-Wulf, den wir auf die Stirnfläche des 011 Triebwerkes umgerechnet haben. Diese Triebwerke sind entweder bereits gebaut gewesen oder doch so weit erprobt, daß die Angaben in ihren Grundzügen als einigermaßen gesichert angesehen werden können. Es mag genügen, den Gesamtwirkungsgrad und die nutzbare Vortriebsleistung anzugeben.

Die Wirkungsgrade (Abb. 5) zeigen bei kleinen Fluggeschwindigkeiten die eindeutige Ueberlegenheit des Luftschraubentriebwerkes aber auch ebenso eindeutig dessen Grenzen bei größeren Fluggeschwindigkeiten und in der Höhe. Besonders auffällig ist, daß die Wirkungsgrade des Luftschraubentriebwerkes bei großen Geschwindigkeiten in der Höhe bereits vom TL-Triebwerk überholt werden, wobei außerdem zu bedenken ist, daß die TL-Entwicklung noch jung ist und noch längst nicht alle Möglichkeiten ausgeschöpft hat. Bei der nutzbaren Vortriebsleistung finden diese Ueberschneidungen noch viel früher statt. Besonders bemerkenswert sind ferner die enormen Gewichtsunterschiede. Denken wir noch einmal an das Beispiel zurück, mit dem wir begonnen haben, an das Flugzeug, welches in 11 km Höhe 1 000 km in der Stunde fliegen sollte und dazu 1 800 PS Vortriebsleistung brauchte, so sehen wir, dass das HeS 011 Triebwerk diese Leistung tatsächlich hergibt. Außerdem hat es keinen schlechteren Wirkungsgrad, als ihn das Luftschraubentriebwerk haben würde, und schließlich wiegt es nur 800 kg im Gegensatz zu den 4500 kg, die wir für das Luftschraubentriebwerk abgeschätzt hatten. Bei dem Gesamtgewicht

von 4 000 kg, von dem höchstens die Hälfte von der Zelle und der Zuladung in Anspruch genommen werden, bleibt also noch die Möglichkeit, eine ausreichende Menge Brennstoff mitzunehmen, um mindestens die gleiche Zeit fliegen zu können, die wir heute bei entsprechenden wenn auch wesentlich langsameren Flugzeugen gewohnt sind.

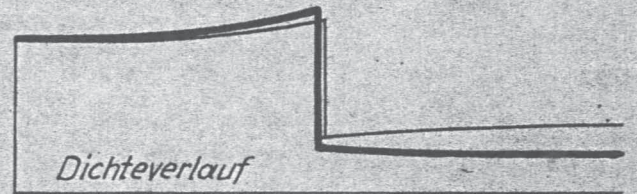
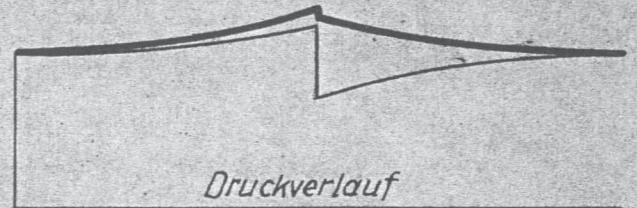
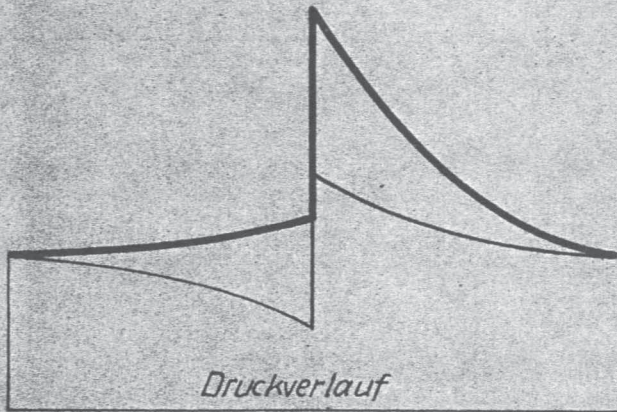
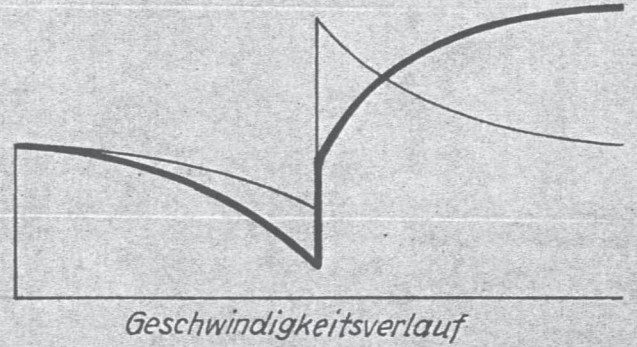
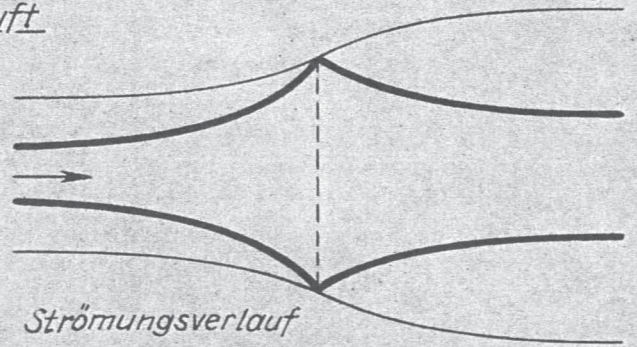
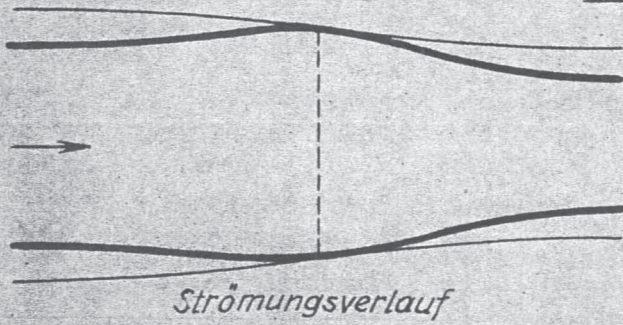
So haben wir also heute eine weit größere Mannigfaltigkeit von Triebwerksarten als noch vor wenigen Jahren, und im Hinblick auf die Vortriebserzeugung ist neben die Luftschraube mit rein mechanischer Energieübertragung an die Luft vollgültig die direkte Uebertragung von Wärmeenergie an die Luft getreten. Zwischen beiden haben wir außerdem Kombinationstriebwerke mit z.T. mechanischer und z.T. thermischer Energieübertragung, und diese werden wohl in der nächsten Zukunft das größte Interesse beanspruchen. Mit diesen neuen Triebwerken aber kommen die gesamten Probleme der Vortriebserzeugung noch mehr als bisher in das Gebiet der Aerodynamik herüber, und es ist unser Jubilar gewesen, der dies von Grund auf und rechtzeitig klar gesehen hat, und der daher stets sein Können und seine Förderung diesem Zweig der allgemeinen Strömungslehre - der Triebwerksaerodynamik - mit dem größten Nutzen hat angedeihen lassen.

Vortriebserzeugung durch Übertragung von

mechanischer Energie

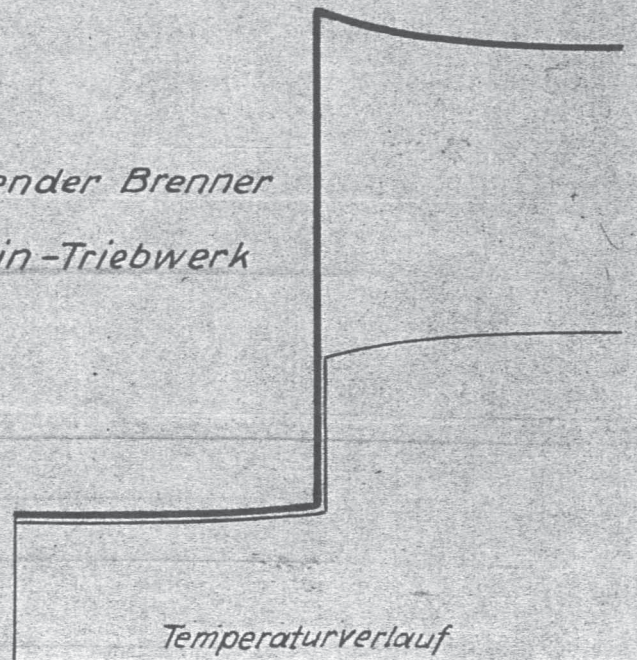
Wärmeenergie

an die Luft



— Luftschraube bzw. freifahrender Brenner
 — Mantelschraube bzw. Lorin-Triebwerk

Abb.1





maximal möglicher Schub bzw. m.m. Wirkungsgrad

Lorin-Propeller

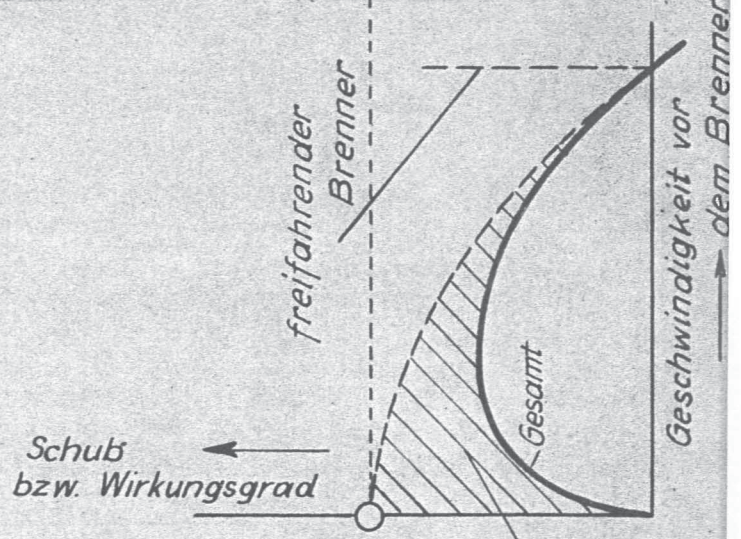


Abb. 2

ohne Verdichter (Lorin-Propeller)

Mantelschraube

Motor allein

mittlere Leistung

grosse Leistung

Schub bzw. Wirkungsgrad

Freifahrtsschraube

Verluste durch kinetische Energie

Geschwindigkeit in der Schraubebene

TL-Triebwerk

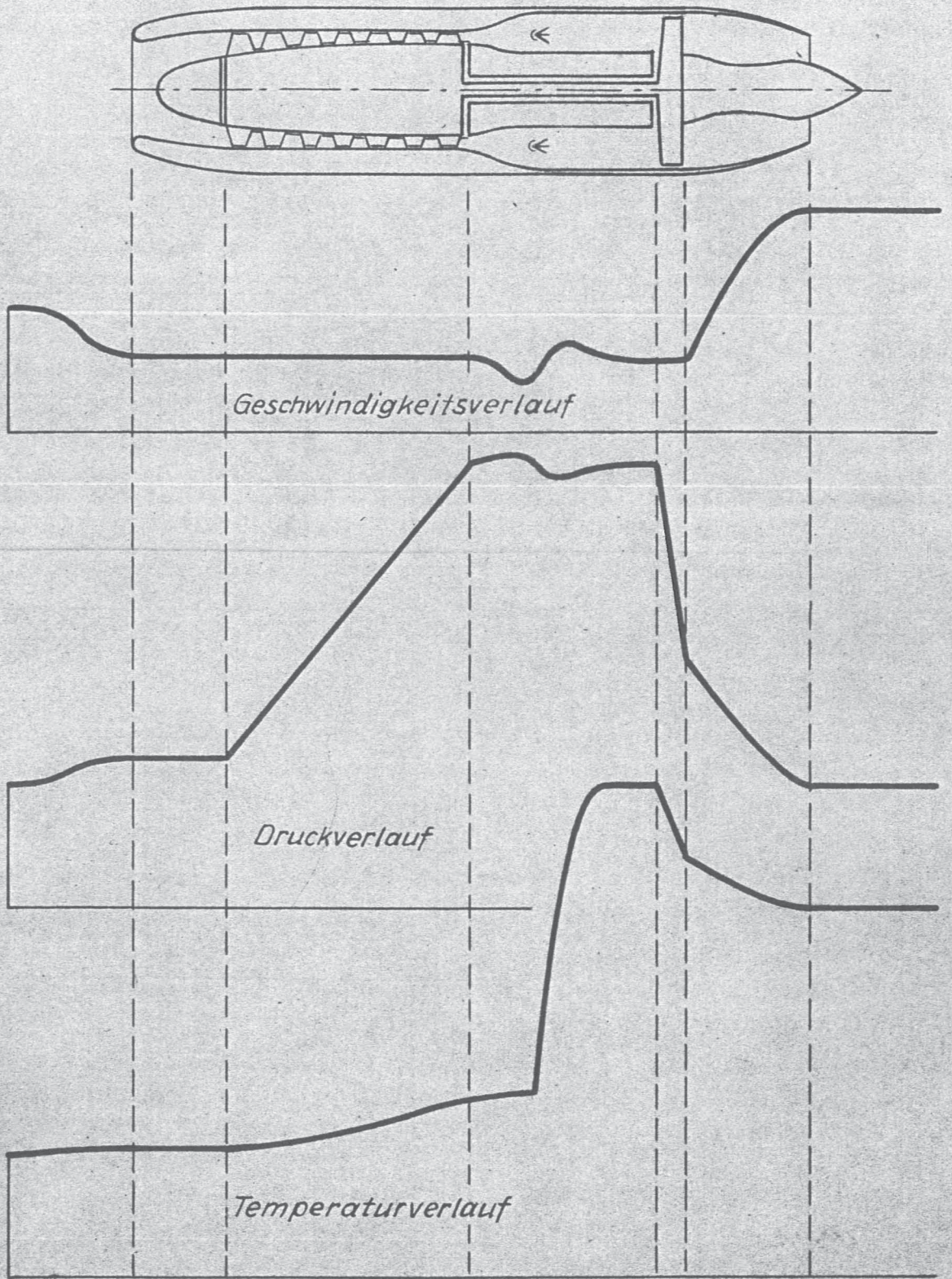


Abb. 4

Formgebung des Lorin-Triebwerkes

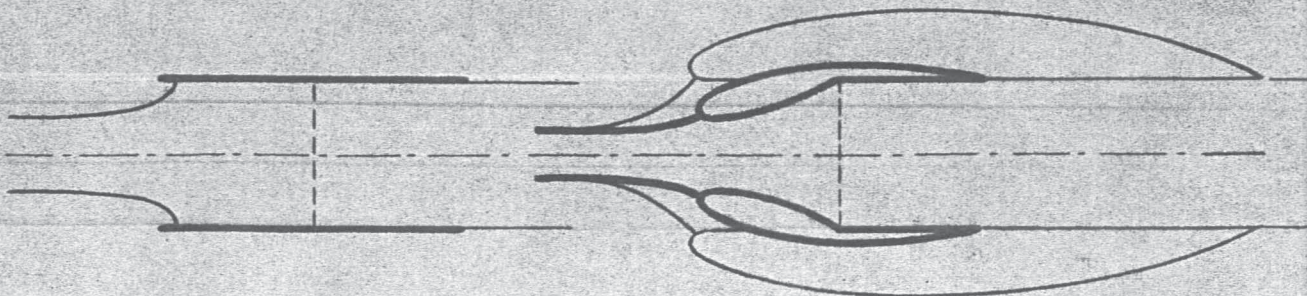


Abb. 3

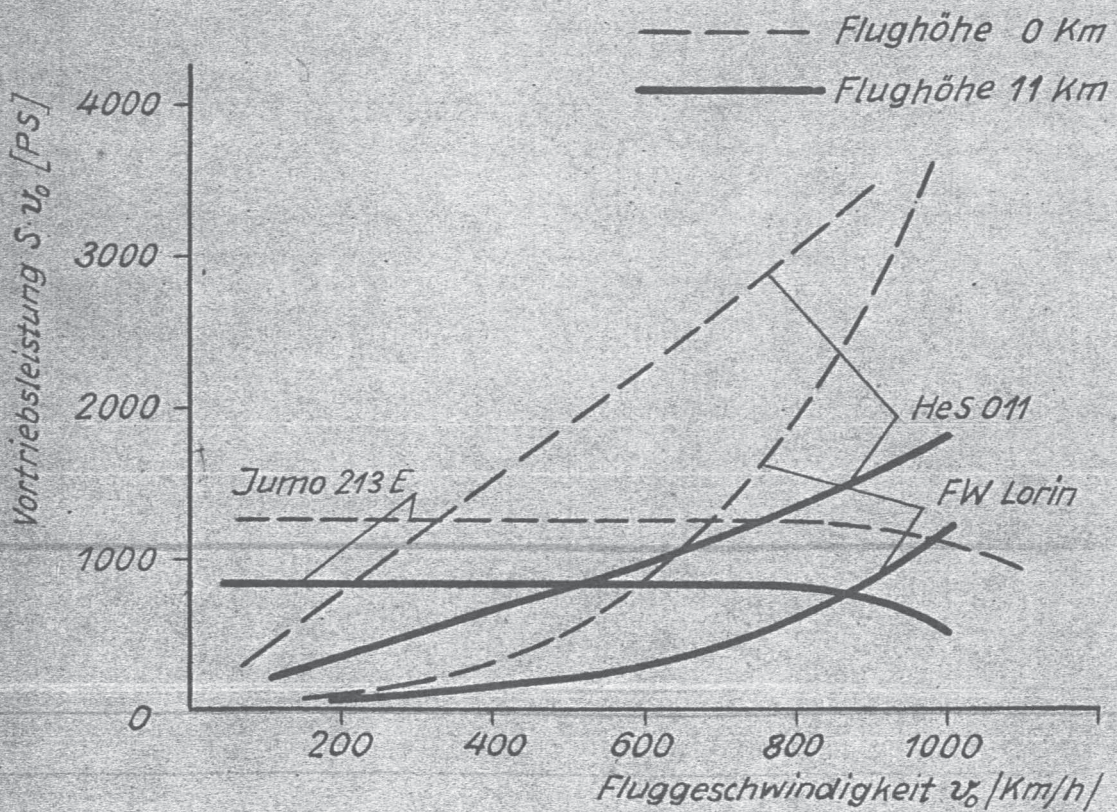
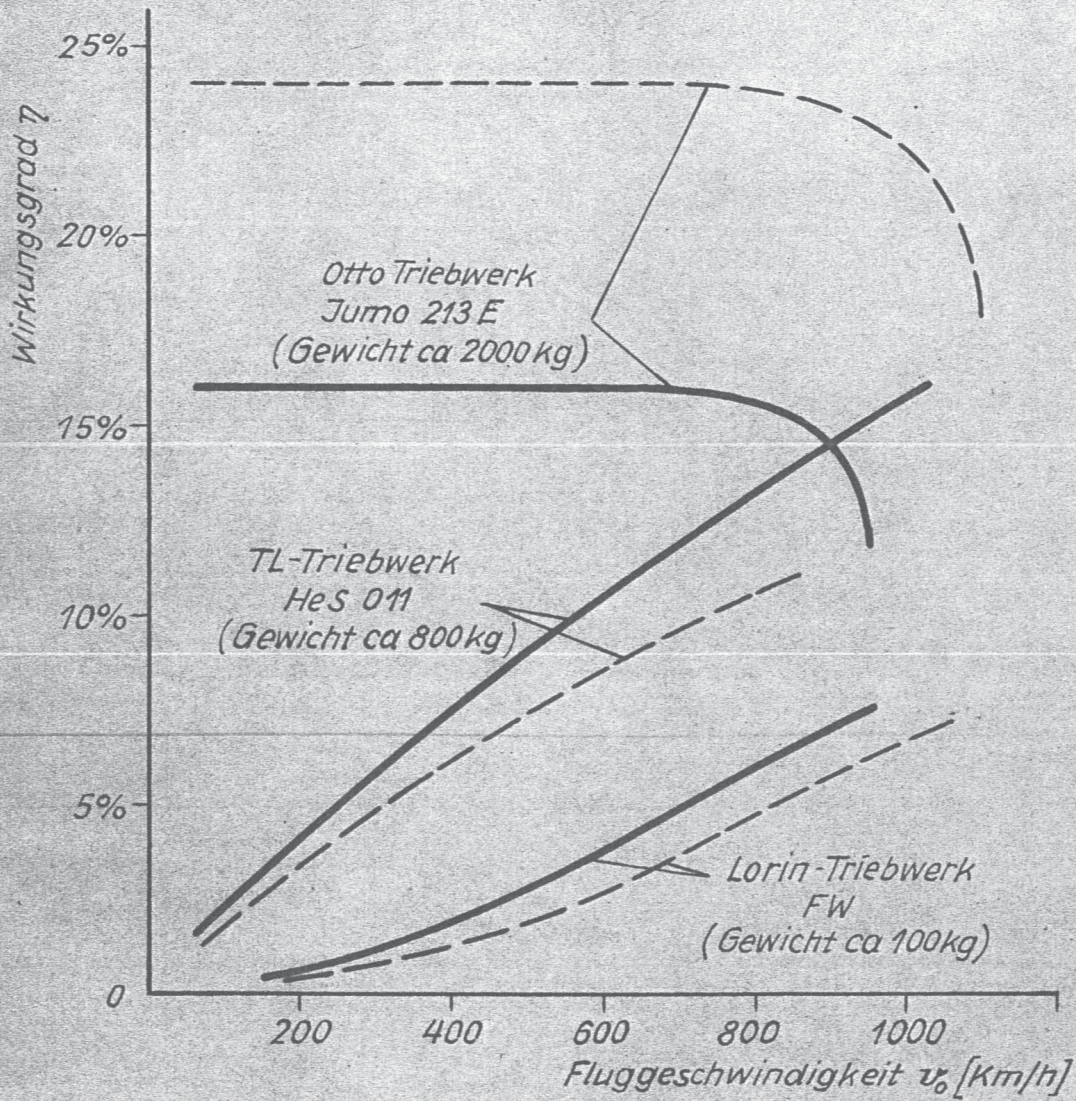


Abb. 5