Zeitschrift: Protar

Herausgeber: Schweizerische Luftschutz-Offiziersgesellschaft; Schweizerische Gesellschaft der Offiziere des Territorialdienstes

Band: 15 (1949)

Heft: 5-6

Artikel: Hohe Fluggeschwindigkeiten

Autor: [s.n.]

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-363286

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 23.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Während in den nächsten 10 Jahren mit chemischen Kraftstoffen geflogen wird, ist darnach mit einer Ablösung durch Atomkraftstoffe zu rechnen. Momentan spielen jedoch die zwei wichtigsten Systeme der Rückstoss-Flugtechnik, der Staustrahl- und Raketen-Antriebe, eine so bedeutende Rolle, dass näher auf sie eingegangen werden muss.

Der Staustrahl-Antrieb besteht aus einem Strömungskanal, in welchem die entgegen der Flugrichtung ständig einströmende Luft gestaut, erwärmt und mit einer grösseren Geschwindigkeit ausgestossen wird, als sie eingetreten ist. Beachtenswert ist, dass kein einziges bewegtes Organ notwendig ist. Ein solches Triebwerk setzt sich in seinen Hauptbestandteilen aus Diffusor, Heizung (Oel, Kohle, Atomenergie) und Brennkammer zusammen. Es ist möglich, ein Staustrahl-Unterschallflugzeug zu konstruieren, entweder mit Atom- oder chemischer Heizung. Erstere Heizungsart ist für Langstreckentransporter, zweite für Jäger mit grossem Steigvermögen und mittlerer Flugdauer. Staustrahl-Ueberschallflugzeuge haben maximale Fluggeschwindigkeiten bis Machzahl 3.

Die Rakete besteht heute aus Wasserstoff (Kohlenwasserstoff, Gasöl, Wasserstoff) und flüssigem Sauerstoff, der oft mit Flüssigozon angereichert wird. Die Feuertemperaturen liegen bei 4000 °K und Auspuffgeschwindigkeiten zwischen 3000—4000 m/sek. In der Brennkammer geschieht die Gemischaufbereitung und die Gaserhitzung; die Feuerdüse dient der überkritischen Entspannung der Feuergase.

Der Schritt zum Raketenflug bringt noch andere Probleme als nur die der Triebwerke. Vor allem aerodynamische, dann das Raketenflugzeug kennt drei grosse, wichtige Bereiche, nämlich denjenigen der Ueberschallgeschwindigkeit bis Machzahl 5, der Machzahlen 5—30 und den Bereich sehr grosser Flughöhen mit grossen molekularen Weglängen.

Interessant ist hier die bizarre Form des Höchst-Ueberschall-Raketenflugzeuges, mit seinem Halbogival, sodass die untere Rumpffläche völlig eben ist, sowie die geographische Darstellung eines Bombenabwurfes, wobei das Raketenbombenflugzeug (mit Anfangsgeschwindigkeit 7000 m/sek) nach 19 200 km aus einer Höhe von 40 km bei 6060 m/sek Fluggeschwindigkeit sich seiner Bomben entledigt. Wie das zu und her geht, wird wie folgt beschrieben: «Das Raketenflugzeug wird am Boden auf einer 3 km langen, horizontalen Startbahn mit Hilfe eines starken, durch rund 11 Sekunden wirkenden, erdgebundenen Raketenantriebes mässiger Auspuffgeschwindigkeit auf etwa 1,5fache Schallgeschwindigkeit katapultiert, steigt dann unter einer zunächst 30 Grad gegen den Horizont geneigten, später flacher werdenden Bahn mit vollem Schub der Bordrakete auf 50—150 km Höhe und erlangt dabei Endgeschwindigkeiten bis zu mehrfacher Auspuffgeschwindigkeit. Die Dauer dieses Aufstieges beträgt 4—8 Minuten; in dieser Zeit werden in der Regel die gesamten, an Bord befindlichen Kraftstoffvorräte verbraucht. Am Ende der Aufstiegbahn wird die Rakete abgestellt und das Flugzeug setzt seinen Weg lediglich auf Grund seiner kinetischen und potentiellen Energie als eine Art wellenförmigen Gleitflug mit allmählich abklingender Schwingungsamplitude fort.

Wegen seiner Flügel, bzw. der tragenden Rumpfform prallt das auf einer ballistischen Kurve absteigende Flugzeug an den tieferen Luftschichten gleichsam ab und wird wieder nach oben geschleudert, wie ein flacher Stein längs einer Wasseroberfläche, wobei während des Eintauchens in die Luft jedesmal ein Teil der kinetischen Energie verbraucht wird, so dass die anfangs sehr weiten Sprünge allmählich kürzer werden und schliesslich in einen stationären Gleitflug übergehen. Zugleich nimmt die Fluggeschwindigkeit auf der viele tausend Kilometer langen Gleitflugbahn von ihren hohen Anfangswerten bis zur normalen Landegeschwindigkeit ab.»

Schlussendlich wird zusammenfassend gesagt, dass man über die Stufe der Turbinentriebwerke zu den Staustrahlantrieben kommen wird, durch die ein erdumfassender, schneller Lufttransport möglich sein wird, und dass die Raketen zum ausserirdischen Luftverkehr, zur Weltraumluftfahrt führen werden.

Wer eingehender die heutigen, brennenden Probleme der Luftfahrttechnik studieren will, lese die ausgezeichnete Studie in den erwähnten Heften selbst. Hier konnte es sich nur um ein teilweises Vermitteln der Ausführungen handeln.

Wt.

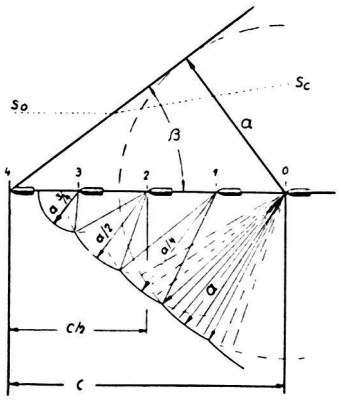
Hohe Fluggeschwindigkeiten

Vor einigen Monaten stürzte im Ausland ein Düsenflugzeug ab, von dem es hiess, es sei an der «Schallwand zerbrochen». Wie ist das zu verstehen? Was ist «Schallgeschwindigkeit» und welchen Einfluss hat sie auf die Fortbewegung eines Flugzeuges in der Luft? Warum wurde bis heute die Schallgeschwindigkeit durch ein von Menschen gesteuertes Flugzeug noch nie überschritten? Der absolute Welt-Geschwindigkeitsrekord steht momentan auf 1079,84 km/h, geflogen durch einen amerikanischen Düsenjäger; die Schallgeschwindigkeitsgrenze liegt bei 1220 km/h in Meereshöhe,

sie nimmt mit der in grösseren Flughöhen herrschenden tiefern Temperaturen ab und liegt in 10 000 m Höhe bei 1100 km/h. Es ist — nachdem ferngesteuerte, unbemannte Waffen (V 2) bereits 5800 km/h, also das Vielfache der Schallgeschwindigkeit erreicht haben — zu erwarten, dass demnächst (vielleicht schon im Jahre 1949) auch mit bemannten Flugzeugen diese Grenze hinter sich gelassen wird.

Welche Bedeutung hat nun die Schallgeschwindigkeit für den Flieger? «Die Schallgeschwindigkeit (d. h. die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls) in der Luft hat für das Flugzeug die Bedeutung einer kritischen Grenze von Flug- und Strömungsgeschwindigkeiten. Aerodynamisch gesprochen beginnt sich mit Annäherung an die Schallgeschwindigkeit die Zusammendrückbarkeit oder Kompressibilität der Luft bemerkbar zu machen, wodurch die verhältnismässig einfachen Strömungsgesetze, die bei kleineren Geschwindigkeiten gelten, verändert werden und wo auch ganz neue Erscheinungen auftreten. Wenn die Luft den Körper umströmt (oder gleichbedeutend: wenn der Körper die Luft durchdringt), so entstehen vor und um den Körper Druckstörungen, die sich in der Strömung wie Schallwellen mit Schallgeschwindigkeit ausbreiten. Fliegt der Körper langsam, so beginnt infolge dieser Druckausbreitung die Luft schon weit vor dem Hindernis auszuweichen, so wie es die bekannten Stromlinienbilder zeigen und wie auch die praktisch nicht zusammendrückbaren Flüssigkeiten den Körper umströmen. Fliegt er aber schneller als die ihn anmeldenden Druckänderungen, so trifft er auf unvorbereitete Luftmassen, die er gewissermassen zerschneiden muss. Es ist demnach leicht verständlich, dass unter diesen Umständen eine Körperform, die vorn eine scharfe Spitze oder Schneide aufweist, die Luft mit weniger Widerstand zu durchdringen vermag, als eine vorn abgerundete Stromlinienform, wie sie bei kleinen Geschwindigkeiten die beste Lösung darstellt. Die Körperspitze übernimmt dabei gewissermassen die Aufgabe der Druckwelle, das Kommen des Körpers «voranzumelden». Die Schnellflugzeuge der kommenden Saison werden deshalb alle Merkmale des Ueberschallfluges aufweisen, es sind dies dünne, beidseitig konvexe Profile der Flügel; Pfeilform der Flügel und Steuerflächen und Absaugen der Grenzschicht zur Verhinderung der Strömungsablösung.

«Die Geschwindigkeitsverhältnisse werden an Aufnahmen von mit Ueberschallgeschwindigkeit fliegenden Geschossen sichtbar. Die an der Geschossspitze durch Stauung entstehende Druckstörung breitet sich nach allen Seiten mit Schallgeschwindigkeit aus. Die äusserste Front dieser Schallwellen bildet einen Kegel, der um so spitzer wird, je grösser das Verhältnis zwischen Fluggeschwindigkeit und Schallgeschwindigkeit ist. Dieses Verhältnis wird als Mach'sche (M) Zahl bezeichnet. Die Mach'sche Zahl $M = 1$ bedeutet, dass die Geschwindigkeit der Bewegung gleich der Schallgeschwindigkeit ist. Einer Fluggeschwindigkeit von 1000 km/h in Bodennähe entspricht $M = 0{,}82$; in 10 km Höhe jedoch ist M schon 0,91.»



Wirklicher Zustand (oben): Geschoss erzeugt Druckstörungen längs ganzer Flugbahn

Angenommener Zustand (unten): Das Geschoss erzeuge nur jede Viertelssekunde eine Druckstörung.

Von 0 - 4 deshalb = 1 Sekunde.

Abb. 1. Vordringen des Geschosses und der Druckstörungen

a = Schallgeschwindigkeit
c = Geschossgeschwindigkeit
β = Mach'scher Winkel (bestimmt durch die Mach'sche Zahl $M = \frac{c}{a}$)
s_0 = Stromlinie im ungestörten Luftbereich
s_c = Stromlinie im gestörten Luftbereich.

Anhand dieses Beispiels ist leicht ersichtlich, dass die mit Ueberschallgeschwindigkeit anfliegenden Geschosse, Fernlenkwaffen wie V 2, Flugzeuge usw. nicht gehört werden können, weil ihre Fluggeschwindigkeit grösser als die Geschwindigkeit des Schalls (der Druckstörungen) ist.

Welchen Einfluss hat nun die Ueberschreitung der Schallgeschwindigkeit auf die Kompressibilität? Immer dann, wenn ein Körper von Luft umströmt wird, entsteht eine Druckänderung. Die Druckänderung ist praktisch Null bei geringen Geschwindigkeiten, ändert sich aber bei hohen Geschwindigkeiten. Für den Laien ist es oft unfassbar, dass — längst bevor das Flugzeug die Schallgeschwindigkeit erreicht hat — die Strömung längs der gekrümmten Oberfläche von Flügeln und an einzelnen Stellen des Rumpfes die Schallgeschwindigkeit bereits überschritten hat. «Bei Gasen wie Luft ermöglicht die Zusammendrückbarkeit vorübergehend jene Raumerweiterung, die zur Ueberschreitung der Schallgeschwindigkeit erforderlich ist. Dabei entsteht eine Art Kopfwelle. Die übermässige Luftverdünnung fällt aber bald stossartig zusammen und es bildet sich eine neue Grenzzone, die als Verdichtungsstoss bezeichnet wird. Anschliessend strömt die Luft mit Unterschallgeschwindigkeit weiter.»

Deshalb kann eine oft kleine Steigerung der Fluggeschwindigkeit eine plötzliche Druckverteilung am Flügel resp. am Flugzeug verursachen. Und noch mehr: die hohen Fluggeschwindigkeiten können sich in folgenden Gebieten — und für den Piloten teilweise fatal — auswirken: das Flugzeug

kann nicht mehr gesteuert werden, das Tragwerk wird überbeansprucht, es zeigen sich Schütteleerscheinungen am Leitwerk, das Flugzeug verharrt stabil in der Sturzfluglage und anderes mehr. Es genügt deshalb nicht, nur Triebwerke mit grösserer Leistung zu konstruieren oder im Flugzeug einzubauen, um es schneller fliegend zu machen, sondern darüber hinaus müssen auch die vielen technischen Schwierigkeiten, wie sie oben genannt wurden, überwunden werden, insbesondere muss eine genügende Steuerbarkeit und Stabilität geschaffen werden.

Diese und weitere Probleme sind im Reglement der Schweizerischen Flugwaffe «Probleme bei hohen Flugeschwindigkeiten» behandelt. Die in Anführungszeichen gesetzten Texte sind diesem direkt entnommen. *Ewe.*

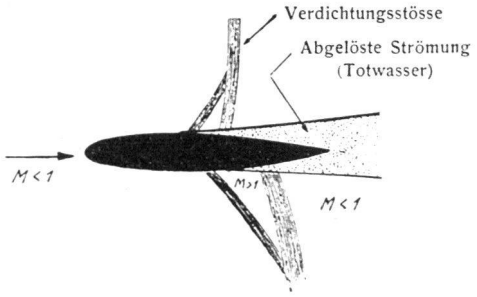


Abb. 2. Flügelprofil mit lokaler Ueberschallströmung

Probleme des Hochgeschwindigkeitsfluges

Von Lt. A. Geiger

Die Fluggeschwindigkeit der neuzeitlichen Flugzeuge sind in den letzten paar Jahren sprunghaft in die Höhe geschnellt. Am besten ist diese Entwicklung aus der Tatsache ersichtlich, dass zu Beginn des zweiten Weltkrieges bei beiden kriegführenden Parteien die damals leistungsfähigsten Jagdflugzeuge über eine Höchstgeschwindigkeit zwischen 500 und 600 km/h verfügten, während heute die modernsten Düsenjäger mit über 1000 km/h durch den Luftraum pfeilen. Besonders hochgezüchtete Spezialmodelle haben bei einzelnen Versuchsflügen sogar schon die *Schallgeschwindigkeit* übertroffen. In Meereshöhe pflanzt sich der Schall in der Normalatmosphäre mit einer Geschwindigkeit von 338 m/s oder 1215 km/h fort. Mit zunehmender Höhe, bzw. mit fallender Temperatur, erfolgt die Schallausbreitung etwas langsamer und beträgt in 10 000 m Höhe noch 306 m/s oder 1100 km/h. In knapp zehn Jahren ist es also gelungen, die Maximalgeschwindigkeit der Flugzeuge auf den doppelten Betrag zu steigern. Dieser Fortschritt ist neben der Anwendung der neuesten aerodynamischen Kenntnisse im Flugzeugbau vor allem der Einführung des Rückstossmotors als Flugzeugantrieb zuzuschreiben. Die bis vor einigen Jahren ausschliesslich verwendete Kombination Kolbenmotor - Propeller ist leistungsmässig dem Strahlantrieb in den hohen Geschwindigkeitsbereichen unterlegen und es ist damit nicht möglich, unter Einhaltung praktisch verwendbarer Triebwerksgrössen und -gewichte, Fluggeschwindigkeiten über 800 km/h zu erzielen. Die modernen Jagd- und Erdkampfflugzeuge und in jüngster Zeit sogar die Bombardierungsflugzeuge, sind denn auch alle mit Strahlantrieb ausgerüstet, und in wenigen Jahren wird auch ein Grossteil der zivilen Flugzeuge rückstossgetrieben sein.

Trotzdem bei Versuchsflügen mit besonders entwickelten Rekord- und Forschungsflugzeugen die Schallgrenze in grossen Höhen schon verschiedentlich überschritten worden ist und trotz der Tatsache, dass sich gegenwärtig die Entwicklung nach weitern Geschwindigkeitsvorstössen ins Ueberschallgebiet abzuzeichnen beginnt, ist zurzeit den Konstrukteuren ein gewisser Marschhalt im immerwährenden Streben nach höhern Geschwindigkeiten aufgezwungen worden. Ursache dafür sind die bei der Annäherung an die Schallgeschwindigkeit auftretenden *Kompressibilitätserscheinungen,* die den Aerodynamikern, Flugzeugstatikern und Triebwerkspezialisten grosse Probleme aufgeben. Diese auf die Zusammendrückbarkeit der Luft zurückzuführenden Störungen treten je nach der Flugzeugform bei Machschen Zahl zwischen 0,5 und 0,6 auf. Die *Machsche Zahl M* gibt das Verhältnis zwischen Fluggeschwindigkeit und Schallgeschwindigkeit an. $M = 0{,}5$ bedeutet z. B., dass die Fluggeschwindigkeit gleich der Hälfte der Schallgeschwindigkeit ist, während $M = 1{,}0$ besagt, dass sich das Flugzeug gleich rasch wie der Schall bewegt. Bei Machschen Zahlen kleiner als 0,6 sind die Einwirkungen der Zusammendrückbarkeit der Luft vernachlässigbar klein; dagegen beginnen sich bei grossen Mach-Zahlen die Kompressibilitätseinflüsse bemerkbar zu machen und verursachen einen rapiden Anstieg des Luftwiderstandes, der bei niedrigen Geschwindigkeiten quadratisch mit dieser zunimmt. Fast gleichzeitig und ebenso brüsk beginnt die Auftriebskraft abzufallen, die unter gewöhnlichen Verhältnissen ebenfalls quadratisch mit der Geschwindigkeit wächst.

Zur Untersuchung der bei hohen Fluggeschwindigkeiten auftretenden Effekte werden die drei folgenden Geschwindigkeitsbereiche unterschieden:

1. Unterschallgebiet (Subsonic). Im Unterschallgebiet herrscht an jeder Stelle Unterschallströmung. Es erstreckt sich bis ca. $M = 0{,}7$. In diesem Bereich lassen sich alle Vorgänge theoretisch genau erfassen.