

Zeitschrift: Protar
Herausgeber: Schweizerische Luftschutz-Offiziersgesellschaft; Schweizerische Gesellschaft der Offiziere des Territorialdienstes
Band: 15 (1949)
Heft: 1-2

Artikel: Charakteristik und Möglichkeit des Rückstossfluges
Autor: Wetter, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-363271>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

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

Allgemeiner Teil

Charakteristik und Möglichkeiten des Rückstossfluges

Von Hptm. E. Wetter

Das Prinzip des Rückstosses ist alt, haben doch schon die Chinesen einige Jahre n. Chr. die Pulverrakete geschaffen! Auch Napoleon kannte sie. Aber erst nach der vergangenen Jahrhundertwende begann man die Verwendung des Rückstosses für die Fliegerei zu überprüfen. Und heute ist das Rückstossflugzeug keine Einzelercheinung mehr. In einigen Jahren wird es umgekehrt und so sein, dass Kolbenmotorflugzeuge Raritäten des Flugwesens sind.

Das Prinzip des Rückstosses dürfte allgemein bekannt sein: «Zur Fortbewegung in gasförmigen oder flüssigen Medien erzeugen alle Fahrzeuge wie auch alle Lebewesen (Vögel, Fische etc.), die treibende Kraft nach dem Rückstossprinzip. Bootsruder, Schiffs- und Flugzeugpropeller, Flossen und Flügel erfassen einen Teil der umgebenden Masse und erteilen ihm eine Beschleunigung, wozu — wie zum Beispiel beim Steinwurf — eine bestimmte Kraft nötig ist. Weil Aktion = Reaktion, wirkt auf den die Masse abstossenden Körper entgegengesetzt zur Richtung des Stosses eine gleich grosse Kraft, der sogenannte Rückstoss. Hier einige Anwendungsbeispiele:

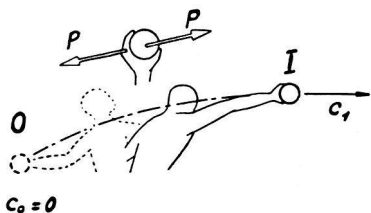


Abb. 1. Stoss und Rückstoss beim Steinwurf

Ein Stein vom Gewicht $G = 2 \text{ kg}$ werde innerhalb einer Sekunde auf der Strecke $O-I$ gleichmässig beschleunigt.

$$c_0 = 0$$

$$c_1 = 20 \text{ m/s}$$

$$P = M/s \times (c_1 - c_0) = \frac{2}{9,81} \times (20 - 0) = 4 \text{ kg}$$

Rückstoss P (durch Druck auf die Handfläche wirkend) ist entgegengesetzt gleich der Handkraft. Ein halb so schwerer Stein wird durch eine gleich grosse Handkraft doppelt so stark beschleunigt.

Bei der Vortriebserzeugung mittels Düse tritt die Luft mit Fluggeschwindigkeit v in die Düse ein. Die Erwärmung bewirkt Ausdehnung und Geschwindigkeitserhöhung des Strahls.

Zahlenbeispiel: Gefordert sei Schubkraft $S = 450 \text{ kg}$ bei $v = 500 \text{ km/h} = 140 \text{ m/s}$. Austrittsgeschwindigkeit des Strahls aus der Düse: $c_1 = 500$ bis 700 m/s .

Nötige Luftmenge = ?

$$c_0 = v$$

$$S = \frac{G/s}{g} (c_1 - c_0) = 450 \text{ kg}$$

$$G/s = 12 \text{ bis } 8 \text{ kg/s}$$



Abb. 2. Düsenantrieb

Vortriebserzeugung mittels Rakete: Brennstoff und Sauerstoff mitfliegend; Rückstoss ist von der Fluggeschwindigkeit unabhängig, denn die Anfangsgeschwindigkeit c_0 ist gleich Null bei beliebiger Fluggeschwindigkeit.



Abb. 3. Raketenantrieb

Zahlenbeispiel: Gefordert sei wiederum Schub $S = 450$ kg. Austrittsgeschwindigkeit des Strahls aus der Düse: $c_1 = 1500$ bis 2500 m/s.

$$S = \frac{G/s}{g} (c_1 - 0) = 450 \text{ kg}$$

$$G/s = 3,0 \text{ bis } 1,8 \text{ kg/s.}$$

Aufbau und Wirkungsweise von Raketentriebwerken: Die Rückstosskräfte können im Triebwerk nur als Druck auf die vom Strahl berührten Flächen wirken, wie beim Steinwurf als Druck auf die Handfläche. Am leichtesten wird dieser Vorgang bei der Rakete sichtbar (Abb. 4a und b). Alle zur Verbrennung nötigen Stoffe sind in fester Form im Brennraum A der Rakete enthalten oder werden zwecks Dauerbetrieb in flüssiger Form durch Zuleitungen B nach Bedarf in diesen Raum gepumpt. Bei der Verbrennung entsteht allseitig ein erhöhter Innendruck. Die Verbrennungsgase strömen an der Rückseite mit hoher Geschwindigkeit durch Düse C aus, während die an der gegenüberliegenden Seite voll auf die Wandung drücken und so eine Schubkraft ausüben. Diese Kraft ist grösser, je grösser die Differenz zwischen Innen- und Aussendruck; denn wenn rund um die Rakete der gleiche Gasdruck herrschen würde wie an den Innenwänden, so wäre der ganze Körper mit oder ohne Öffnung im Gleichgewicht. Mit dieser Einsicht ist auch die irrige Auffassung widerlegt, dass die Raketen-Schubkraft durch den Stoss der ausströmenden Gase gegen die umgebende Luft entstehe und dass der Rückstoss im Vakuum aufhöre. Wie der Druckunterschied und

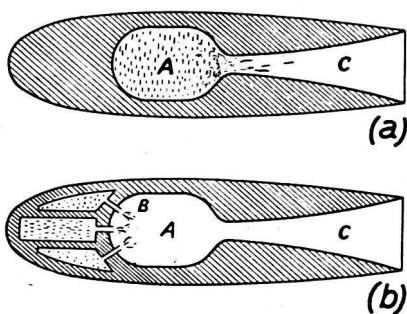


Abb. 4 a + b: Raketentriebwerke
(a = feste oder Pulverrakete, b = Flüssigkeitsrakete)

die Ausströmgeschwindigkeit, so nimmt auch die Schubkraft der Rakete beim Anstieg vom Erdboden in den luftleeren Weltraum sogar zu, wenn auch geringfügig.

Aufbau und Wirkungsweise von Düsentriebwerken: Wird nun bei gleicher Anordnung (Abb. 5c—e) statt der Sauerstoffzuleitung ein Lufteinlass D angebracht, so entsteht die einfachste Form eines Düsentriebwerkes. Statt Sauerstoff in chemisch gebundener oder flüssiger Form mitzuführen, wird der für die Verbrennung nötige Sauerstoff aus der Atmosphäre bezogen. Ist ein derartiges Triebwerk an einem schnellfliegenden Flugzeug befestigt, so wird vom Staudruck Luft durch Einlass D in den Brennraum A gepresst. Das Gemisch von Luft und bei B eingespritztem Treibstoff wird verbrannt, dehnt sich durch die Erwärmung aus und verlässt die Düse C mit erhöhter Geschwindigkeit.

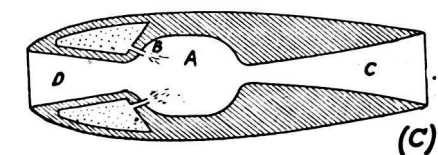
Wie das eingangs erwähnte Grundgesetz besagt, wächst die Rückstosskraft mit der verarbeiteten Gasmasse, und diese kann — wie die Zylinderfüllung beim Kolbenmotor — durch Steigerung des Verdichtungsverhältnisses vermehrt werden. Bei der Staudüse (Abb. 5c) findet nur aerodynamische Verdichtung durch den Staudruck statt und deshalb entsteht bei kleinen Geschwindigkeiten nur wenig oder kein Schub. Die Triebwerke der heutigen Düsenflugzeuge verwenden zusätzliche mechanische Verdichtung mit Hilfe von Lädern, die im Einlasskanal D eingebaut sind. Abb. 5d zeigt schematisch eine Anlage mit zweistufigem Lader E. Der Antrieb des Laders kann durch einen gewöhnlichen Kolbenmotor M erfolgen, was jedoch hinsichtlich Gewicht, Raum und gesamtem Konstruktionsaufwand ungünstig ist. Heute geschieht er allgemein mittels einer Gasturbine, deren Lauf- rad mit demjenigen des Laders auf gleicher Achse sitzt und von den Verbrennungsgasen angetrieben wird (Abb. 5e).»

Wie arbeitet das Düsentriebwerk? Die atmosphärische Luft tritt durch die Ansaugöffnungen in das Innere des Triebwerkes (Abb. 6 I. Ansaugen). Dann wird durch den Lader (Abb. 5e siehe E) die Luft verdichtet; diese Verdichtung wird ausserdem im Flug durch den Stau unterstützt. Darnach wird laufend Brennstoff eingespritzt. Es ist dies ein kontinuierliches Einspritzen, ähnlich wie wir es bei einer Zentralheizung mit Ölfeuerung haben. Durch die Erhitzung (2200 Grad Celsius) dehnt sich die Luft- und Gasmasse aus und strömt beschleunigt nach hinten. Vor dem Austritt aus dem Triebwerk passiert der Gasstrom noch eine Turbine, die lediglich zum Antrieb des Laders dient.

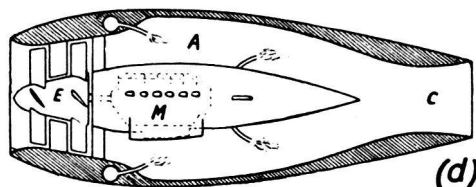
Die Temperaturen, Drücke und Geschwindigkeiten des Luft-, bzw. Gasstromes sind aus Abb. 6 ersichtlich. Als Kraftstoff wird billiges Petrol verwendet; hoch-oktaniges Flugbenzin ist nicht mehr notwendig. Der Kraftstoffverbrauch ist ziemlich gross, bedingt durch das ständige Einspritzen, beläuft er sich doch bei maximaler Fluggeschwindigkeit und Drehzahl in Meereshöhe auf 2300 Liter

pro Stunde. Da beispielsweise das Düsenflugzeug «Vampire», mit Zusatztanks an den Flügeln ausgerüstet, nur maximal 2390 Liter mitnehmen kann, ist die Flugdauer sehr beschränkt, d. h. in diesem

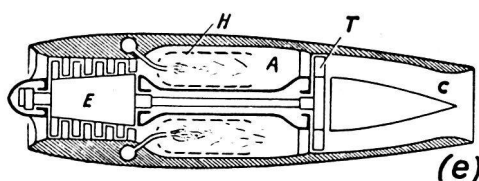
bine überflüssig, liefert aber bei kleinen Flugeschwindigkeiten keinen Schub, weshalb derartige Flugbomben katapultiert oder von Flugzeugen aus gestartet werden müssen.



(c) Einfachstes Düsentriebwerk



(d) Düsentriebwerk mit Laderantrieb durch Kolben-Flugmotor



(e) Turbo-Düsentriebwerk;
Laderantrieb mittels Gasturbine

Abb. 5 c — e: Düsentriebwerke

Fall beträgt sie 1 Stunde. Die Drehzahl der Turbine ist enorm; sie beläuft sich auf 10 200 Umdrehungen pro Minute im Maximum, das sind 170 Umdrehungen in der Sekunde. Diesen Schaufelrädern wird deshalb sehr viel Sorgfalt gewidmet; allein eine geringfügige Beschädigung, indem beispielsweise durch einen Fremdkörper 28 Gramm an einer Schaufel weggesplittert werden, erwirkt eine Unwucht von 1 Tonne.

Aufbau und Wirkungsweise der Zweitakt-Staudüse (V1): «Eine Sonderbauart von Düsentriebwerk, dessen Arbeitsprinzip eher mit dem Explosionsverfahren eines Zweitakt-Kolbenmotors verglichen werden darf, war auf der deutschen Flugbombe V1 angewendet. Die Düse dieses Triebwerkes ist hinten stark verengt und weist im vordern Teil eine Abschlusswand mit vielen Einlassventilen auf. Letztere sind aus flach aneinander liegenden Stahllamellen (K) gebildet (Abb. 7). Im Flug wird die Luft vor den Ventilen durch Stauwirkung vorverdichtet und in den Brennraum gefördert. Hierauf folgt Treibstoffeinspritzung und elektrische Zündung. Die mit Beginn der Verbrennung einsetzende Druckerhöhung schliesst sofort die Einlassventile durch Zusammendrücken der Lamellen, worauf die weitere Verbrennung annähernd wie in einem geschlossenen Zylinder unter Drucksteigerung auf etwa 10 at erfolgt. Beim Ausströmen der Luftmenge sinkt der Innendruck unter den Staudruck, sodass die Lamellen auseinander gedrückt werden und Frischluft einströmt. Mit der neuen Füllung wiederholt sich das gleiche Spiel ... Dieses Triebwerk macht Lader und Tur-

Entwicklungsaussichten: Für militärische Hochleistungs-Flugzeuge von verhältnismässig kurzer Flugdauer bietet der Turbo-Düsenantrieb in bezug auf Fluggewicht und Flugleistung bedeutende Vorteile gegenüber dem klassischen Propellerantrieb, und zwar schon für Flugzeuge oberhalb etwa 600 km/h Höchstgeschwindigkeit. Für den Luftverkehr und besonders für grosse Flugweiten ist der reine Düsenantrieb noch unwirtschaftlich; eine Wandlung hierin könnte nur geschafft werden durch aerodynamische Verbesserungen, die dem Flugzeug höhere Geschwindigkeiten ohne Steigerung der bisherigen Antriebsleistung ermöglichen würden.

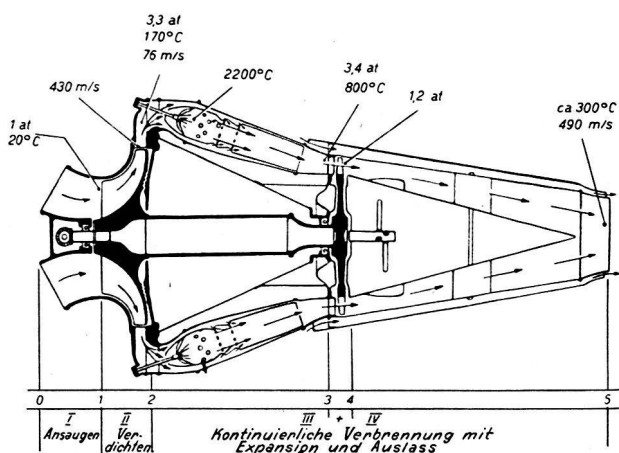


Abb. 6. Arbeitsprozess in der Turbodüse
(„Goblin II“, der im „Vampire“ eingebaut ist).

Die Kombination von Turbo-Düsen- und Propellerantrieb verspricht im Uebergangsbereich zwischen mittleren und hohen Fluggeschwindigkeiten günstige Möglichkeiten und grösste Wirtschaftlichkeit. Bei derart ausgebildeten Triebwerkstypen hat die Luftschaube nur einen Teil (70—80 %) der verfügbaren Leistung umzusetzen,

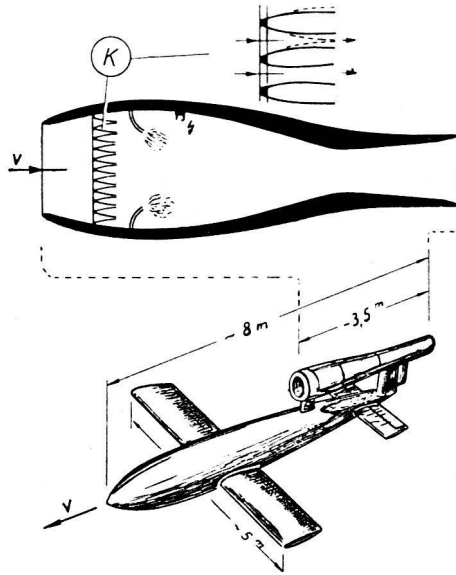


Abb. 7. Flügelbombe V 1 mit Zweitakt-Staudüse
(Fluggeschwindigkeit 500-600 km/h)

weshalb sie — als vielflügliger Schnellläufer kleinen Durchmessers ausgebildet — auch bei hohen Flug- und Motorleistungen verhältnismässig klein, leicht und wirksam bleibt. Die Strahlwärme dagegen muss stärker als bei der reinen Turbodüse in mechanischen Antrieb umgewandelt werden (mittels Wärmeaustausch und weiteren Turbinenstufen).

Auch unabhängig vom Düsenprinzip enthält der *Turbo-Propellerantrieb*, d. h. der Propellerantrieb mit Gasturbine statt Kolbenmotor, für Flugzeuge mit hohen Motorleistungen neue Entwicklungsmöglichkeiten. Der Kolbenflugmotor verlangt in der Leistungsklasse von 3000 PS mindestens 18 Zylinder, für 4000 bis 5000 PS 28 bis 30 Zylinder, in X- oder H-Form oder als mehrreihiger Stern angeordnet. Er scheint mit derart kompliziertem Aufbau seine praktische Entwicklungs-

grenzen erreicht zu haben und im Bereich zwischen 4000 und 6000 PS von der Gasturbine abgelöst zu werden. Letztere lässt sich in diesen Leistungsgrössen beträchtlich leichter und kleiner gestalten als der Kolbenmotor und eignet sich deshalb allgemein und besonders für den versenkten Einbau in aerodynamisch hochwertige Flugzeuge weit besser. Infolge des gleichförmigen Turbinenmomentes wird auch eine Gewichtsersparnis an Propeller, Uebertragungsorganen und Triebwerksgerüst möglich. — Der spezifische Kraftstoffverbrauch des Düsentriebwerkes ist zwar höher als beim Kolbenmotor, wird aber durch die Geschwindigkeitsverbesserung aufgewogen.

Der *Raketenantrieb* wurde in vorstehenden Darlegungen nicht näher behandelt. Da er den Sauerstoff für die Verbrennung selbst mitführt, verlangt er bedeutend grössere Treibstoffvorräte. Das Flugzeug, das für die Auftriebserzeugung am Tragwerk ohnehin auf das Luftmeer angewiesen ist, würde beim Raketenantrieb unnötig belastet.

Infolge der enorm hohen Strahlaustrittsgeschwindigkeit (die zur Einschränkung der auszustossenden Treibstoffmasse unerlässlich ist) wird der Raketenantriebswirkungsgrad erst bei übermässig hohen Geschwindigkeiten annehmbar gut — Fluggeschwindigkeiten, die nur in äusserst luftverdünnten Schichten oder ausserhalb der Erdatmosphäre erreichbar sind, also für die Weltraumfahrt und nicht für die Luftfahrt.

Immerhin vermag die Rakete für sehr kurze Betriebszeiten bei kleinem Gesamtgewicht von Triebwerk und Treibstoff relativ hohe Vortriebskräfte zu entwickeln: Das Eigengewicht des Raketenantriebswerkes ist nämlich ausserordentlich niedrig, weil kein Luftverdichter und keine Antriebsturbinen (abgesehen vom allfälligen Antrieb der Treibstoffpumpen) erforderlich ist. Für kurzzeitige Höchstleistungen stellt deshalb die Rakete das geeignete Antriebsmittel dar, beispielsweise für Geschossantrieb, als Hilfsmittel für die Beschleunigung beim Start oder im Flug sowie als Hauptantrieb ganz spezieller Militär- und Versuchsflugzeuge.»

Die in Anführungszeichen gesetzten Texte, sowie die Abbildungen sind direkt dem Reglement «Probleme bei hohen Fluggeschwindigkeiten», mit Erlaubnis der Abt. für Flugwesen und Flab, entnommen.

Ewe.

Die Entwicklungsmöglichkeiten beim Flugzeugbau

Von P. Schulthess

Eigentlich seltsam — alle unsere Land- und Wasserfahrzeuge stossen, trotz der gewaltigen Entwicklung der Technik, sehr rasch auf natürliche Grenzen, die eine weitere Erhöhung der Geschwindigkeit verbieten. So war ein Hochsee-

dampfer des Jahres 1910 in der Lage, eine Schnelligkeit von ungefähr 27 Knoten zu entwickeln, und heute leistet ein Dampfer modernster Bauart von rund 80 000 Tonnen auch nur rund 32 Knoten — ohne dass eine Aussicht besteht, jemals die 40-