Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 123/124 (1944)
Heft: 20

Inhaltsverzeichnis

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: 15.07.2025

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

INHALT: Bemerkungen über den Rückstossantrieb von Flugzeugen. — Neue Leichtstahlwagen der SBB. — Das Internationale Komitee vom Roten Kreuz als Welttransport-Unternehmen. — Eidg. Institut für Schnee- und Lawinen-Forschung auf Weissfluhjoch/Davos. — Warum wir den Nussbaumersee schützen wollen. — Eine freigelegte Bodenverfestigung. — Mitteilungen: S. I. A.-Fachgruppe der Ing. für Brücken- und Hochbau. Hydraul. Erscheinungen im Einspritzsystem bei Verbrennungsmotoren. Zustandsbild und Aussichten der Französischen Eisenbahngesellschaft. Kraftwerk Tagenstal. Dreissig Jahre Kaplan-Turbinen. Elektr. Akkumulierherde. Schweiz. Vereinigung für Landesplanung. Naturstein und seine besondere Verwendung im Hochbau. Luzerner Betoninstruktionskurse. — Nekrologe: Ludwig Chomton. Ernst Renner. Prof. Dr. Rob. Eder. — Wettbewerbe: Planung der Region Solothurn und Umgebung. Planung der Region Olten und Umgebung. — Literatur.

Band 123 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet Nr. 20

Bemerkungen über den Rückstossantrieb von Flugzeugen

Von Prof. Dr. J. ACKERET, E. T. H., Zürich

Seinem verehrten Kollegen Prof. H. QUIBY zum 60. Geburtstag gewidmet

In letzter Zeit hat der sogenannte Rückstossantrieb für Flugzeuge wieder viel von sich reden gemacht. Es sind zwar vor einigen Jahren schon in Italien *(Campini)* interessante Ergebnisse erzielt worden. Die neue Anordnung von *Whittle* in England soll aber jetzt wesentlich bessere Resultate ergeben haben. Nun liegen leider nur recht dürftige Angaben über dies letzte Flugzeug vor, aus denen man kaum sichere Schlüsse ziehen kann [1]). Aber unabhängig von den Details kann man durch einfache thermodynamisch-mechanische Betrachtung sich ein Bild verschaffen über die *Möglichkeiten*, die überhaupt vorliegen.

Zunächst ist zu bemerken, dass der Unterschied zwischen gewöhnlichem Flugzeugantrieb mit Motor und Schraube und dem Rückstossantrieb nicht ganz so gross ist, wie man vielleicht annehmen wird.

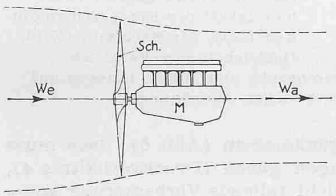

Abb. 1. Normaler Schraubenantrieb. Die Luft wird von der relativen Eintrittsgeschwindigkeit W_e durch die Schraube Sch auf W_a beschleunigt. Die Reaktion der Luft äussert sich als Schraubenschub

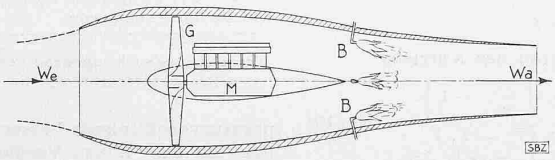

Abb. 2. Anordnung CAMPINI. Die Luft wird bis zum Gebläse G verzögert, erhält dann Druckenergie und wird durch die Brenner B zusätzlich erwärmt

In Abb. 1 wird eine Luftschraube *Sch* durch den Motor *M* angetrieben. Sie bewirkt (beobachtet von einem flugzeugfesten Koordinatensystem) eine Beschleunigung der mit der entgegengesetzten Fluggeschwindigkeit w_e ankommenden Luft auf die höhere Geschwindigkeit w_a. Der so hervorgerufene «Rückstoss» entspricht gerade dem Schube *S* der Schraube.

Bei *Campini*, Abb. 2, wird die Schraube in einen Tunnel verlegt, wirkt also als Gebläse *G*, und wird als neu hinzukommend, der Schraubenstrahl durch Oelbrenner *B erhitzt*. Die Luft tritt somit nicht nur mit erhöhter Geschwindigkeit w_a, sondern auch mit höherer Temperatur aus. Das Gebläse schafft eine Vorverdichtung; die Erhitzung ergibt eine Volumenvermehrung bei konstantem Druck und damit eine zusätzliche Geschwindigkeitsvergrösserung. Die Schwäche des Verfahrens liegt darin, dass man weder mit der Verdichtung in *G* noch auch mit der Temperaturerhöhung in *B* weit gehen darf, weil sonst w_a zu gross wird. Wenn auch grosses w_a grossen Schub ergibt, so bedeutet anderseits die zurückbleibende Absolutgeschwindigkeit $(w_a - w_e)$ des Luftstrahles einen beträchtlichen kinetischen Energieverlust.

Bei der im Folgenden näher betrachteten Anordnung nach Abb. 3 ist eine Variation insofern vorgenommen, als der Antrieb des Gebläses nicht durch einen Flugmotor, sondern durch eine Gasturbine erfolgt, der die Brenner *B* vorgeschaltet sind. Die Anlage wird dadurch wesentlich eleganter und wahrscheinlich auch leichter.

Man kann den Arbeitsprozess einigermassen vereinfacht im (schematischen) Entropiediagramm Abb. 4 verfolgen und erhält dann einen Ueberblick, insbesondere aber die Möglichkeit der Berechnung des Verbrauchs an Brennstoff.

Die Maschine fliege mit einer Geschwindigkeit w_1 in einer Flughöhe, der die Temperatur T_1 entspricht. Wir betrachten die Zustands- und Geschwindigkeitsänderungen eines Kilogramms Luft. Zunächst wird die Luft von w_1 auf w_2 verlangsamt. w_2 nehmen wir gleich Null an, was keine besondere Vernachlässigung bedeutet. Erfahrungsgemäss sind die Verluste bei guter Formgebung der Mündung recht klein, sodass wir sie, indem wir damit etwas zu günstig rechnen, weglassen können.

Die Temperaturerhöhung ergibt sich zu:

$$\frac{A\, w_1^2}{2\, g\, c_p} = T_2 - T_1$$

Führen wir die Schallgeschwindigkeit $a_1 = \sqrt{g\, k\, R\, T_1}$ und die Mach'sche Zahl $M_1 = \frac{w_1}{a_1}$ ein,

so folgt $\frac{T_2}{T_1} = 1 + \frac{k-1}{2} M_1^2 = \mathfrak{M}$

für Luft $(k = 1{,}4)$ also:

$$\mathfrak{M} = 1 + 0{,}2\, M_1^2 \quad . \quad . \quad (1)$$

Die nun folgende Verdichtung messen wir durch das zugehörige adiabatische Temperaturverhältnis:

$$\vartheta = \frac{T_3}{T_2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Es ist für:

$\frac{p_3}{p_2}$ =	1,5	2	2,5	3	4
ϑ =	1,123	1,219	1,299	1,369	1,487

Für die Verdichtung im Kompressor ist ein Wirkungsgrad η_K einzusetzen, sodass:

$$T_4 - T_2 = \frac{T_3 - T_2}{\eta_K}\,; \quad \frac{T_4}{T_1} = \mathfrak{M}\left(1 + \frac{\vartheta - 1}{\eta_K}\right) \quad . \quad (3)$$

Die Erwärmung durch die Brenner erfolgt von T_4 auf T_5, für das wir setzen:

$$T_5 = K\, T_1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Würden wir nun einfach adiabatisch auf den Aussendruck expandieren, so würde die Temperatur T_8 erreicht:

$$\frac{T_5}{T_8} = \frac{T_3}{T_1}$$

da adiabatische Expansion zwischen gleichen Drücken, also:

$$\frac{T_8}{T_1} = \frac{T_5}{T_3} = \frac{K\, T_1}{\mathfrak{M}\, \vartheta\, T_1} = \frac{K}{\mathfrak{M}\, \vartheta} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Nun müssen wir aber einen Teil des Gefälles in der Turbine umsetzen, nämlich gerade so viel, dass die Kompressorarbeit gedeckt werden kann. Mit dem Turbinenwirkungsgrad η_T muss also sein:

$$\frac{T_3 - T_2}{\eta_K} = (T_5 - T_6)\, \eta_T$$

bzw.

$$T_4 - T_2 = T_5 - T_7$$

[1]) Beispielsweise in den «Illustrated London News», 15. Januar 1944. Zieht man Kombinationen von Benzinmotoren, Gasturbinen, Luftschrauben und Rückstoss-Strahlen in Betracht, so gelangt man zu sehr zahlreichen Baumöglichkeiten mit teilweise höheren Wirkungsgraden. Auch ist es möglich, durch Mischung des Auspuffstrahles mit Aussenluft zusätzliche Effekte zu erzielen. Wir haben uns hier auf den einfachsten Fall beschränkt.

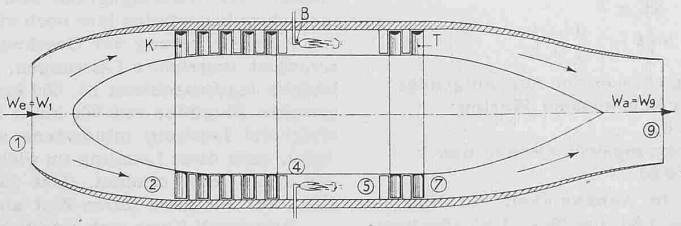

Abb. 3. Reaktionsantrieb mit Gasturbine. Die Erwärmung erfolgt zwischen Kompressor K und Turbine T. Die eingetragenen Zahlen entsprechen den Punkten im Entropiediagramm Abb. 4

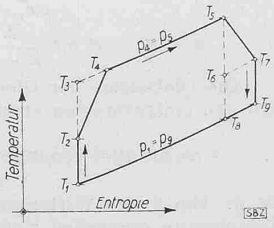

Abb. 4. Entropiediagramm (Schema), des Vorgangs in Anordnung nach Abb. 3