

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 119/120 (1942)
Heft: 19

Artikel: Der Wirkungsgrad des Raketenmotors
Autor: K.H.G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-52473>

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>

$$\eta_{a' \text{ mom}} = \frac{cw}{c^2/2 \eta_i + w^2/2} = 2\eta_i \frac{w/c}{1 + \eta_i \left(\frac{w}{c}\right)^2} \quad (1')$$

in normalen Grenzen: $0 \leq \eta_{a' \text{ mom}} \leq \sqrt{\eta_i}$.

Die vom Anfangswert m_0 mit der Zeit t gemäss $dm/dt = -Q$ abnehmende Gesamtmasse m der Rakete, bei Horizontalflug und vernachlässigtem Luftwiderstand wegen $K = Qc = m dw/dt$ mit w durch die Differentialgleichung

$$-c \cdot dm = m \cdot dw$$

verknüpft, berechnet sich bei konstant vorausgesetztem c zu

$$m(w) = m_0 \cdot e^{-w/c}$$

Die Arbeit

$$Kw \cdot dt = m w \cdot dw = d \left(m \frac{w^2}{2} \right) - \frac{w^2}{2} dm$$

übertrifft die Zunahme an kinetischer Energie der Rakete um den Betrag $-w^2 \cdot dm/2 = Q w^2 \cdot dt/2$; statt ihn als Aufwand zum Nenner des Wirkungsgrads zu schlagen, erscheint es vielleicht logischer, ihn als Verlust vom Zähler abzuziehen, dort also nicht die der Rakete von dem entweichenden Gas gelieferte Arbeit, sondern nur den daraus resultierenden Gewinn an kinetischer Energie aufzuführen. Dann wird

$$\eta_{a'' \text{ mom}} = \frac{cw - w^2/2}{c^2/2 \eta_i} = 2\eta_i \frac{w}{c} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{w}{c} \right) \quad (1'')$$

Der so definierte Wirkungsgrad wird zwar nie grösser als η_i , jedoch für $w > 2c$ negativ! Bei solchen Jules Verne'schen Fluggeschwindigkeiten würde nämlich bei weiterer Geschwindigkeitssteigerung die kinetische Energie der Rakete immer kleiner.

Zweitens kann man in irgend einem Moment der Beschleunigungsphase¹⁾ eine Energiebilanz für die seit dem Start verstrichene Dauer t ziehen; dieser «globale» Wirkungsgrad lässt sich wie der momentane statt als Funktion von t als solche der mit t wachsenden Fluggeschwindigkeit w auffassen. Da die momentane Vortriebsleistung $K_w = m w \frac{dw}{dt}$ beträgt, ist

$$A = \int_0^w m(w) \cdot w \cdot dw$$

die globale, d. h. bis zur Erreichung der Geschwindigkeit w an die Rakete gelieferte Arbeit.

$$H = -\frac{1}{2} \int_{m_0}^m \frac{c^2}{\eta_i} dm = -\frac{1}{2} \int_0^w \frac{c^2}{\eta_i} \frac{dm}{dw} dw$$

ist der globale chemische Energieaufwand,

$$B = -\frac{1}{2} \int_{m_0}^m w^2 dm = -\frac{1}{2} \int_0^w w^2 \frac{dm}{dw} dw$$

die von den ausgestossenen Treibstoffteilchen kurz vor ihrer Verbrennung insgesamt besessene Bewegungsenergie. Wie vorhin erhält man für den äusseren globalen Wirkungsgrad zwei verschiedene Werte, je nachdem man H oder $H+B$ als Energieaufwand betrachtet. Unter Voraussetzung konstanter inneren Wirkungsgrades η_i und konstanter relativer Auspuffgeschwindigkeit c wird

$$A = m_0 c^2 \left[1 - \left(1 + \frac{w}{c} \right) e^{-w/c} \right],$$

$$H = \frac{m_0 c^2}{2 \eta_i} \left(1 - e^{-w/c} \right),$$

$$B = m_0 c^2 \left[1 - \left\{ 1 + \frac{w}{c} + \frac{1}{2} \left(\frac{w}{c} \right)^2 \right\} e^{-w/c} \right]$$

und somit je nach Definition entweder

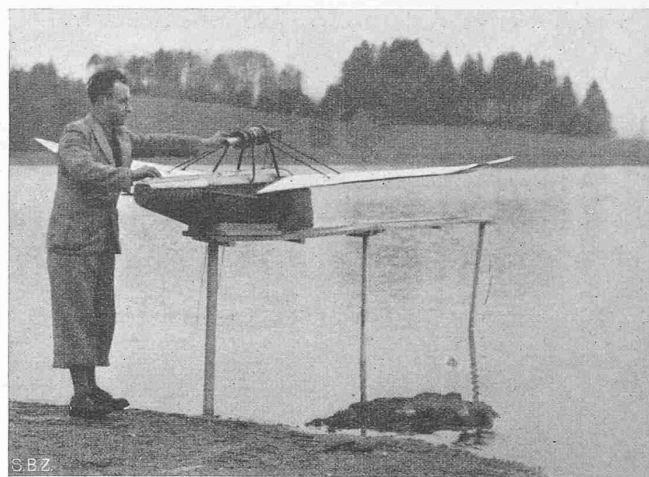
$$\eta_{a \text{ glob}} = \frac{A}{H} = 2\eta_i \left[1 - \frac{w/c}{e^{w/c} - 1} \right] \quad (2)$$

oder $\eta_{a' \text{ glob}} = \frac{A}{H+B} =$

$$\frac{1 - \left(1 + \frac{w}{c} \right) e^{-w/c}}{1 + \frac{1}{2\eta_i} - \left\{ 1 + \frac{1}{2\eta_i} + \frac{w}{c} + \frac{1}{2} \left(\frac{w}{c} \right)^2 \right\} e^{-w/c}} \quad (2')$$

Mit zunehmendem Verhältnis w/c nähert sich $\eta_{a \text{ glob}}$ dem Grenzwert $2\eta_i$, der 1 übersteigen kann. $\eta_{a' \text{ glob}}$ verhält zwar unter der Schranke $2/3$, ist aber ein etwas mühsamer Ausdruck. Der Freund der Einfachheit wird sich darum für den Nenner H entscheiden, dafür aber den Zähler A , die an die Rakete gelieferte Arbeit, durch den kleineren Betrag E , die der Fluggeschwindigkeit

¹⁾ Nur von dieser ist hier die Rede. Den weitaus längeren Teil der Flugbahn eines zukünftigen Raketenflugzeugs soll jedoch, wie Stemmer l. c. hervorhebt, nicht die Antrieb-, sondern die anschliessende Auslaufstrecke ausmachen.



Ferngesteuertes Raketenflugzeug-Modell von J. Stemmer, Zürich für 3,8 km Flugstrecke bei 50 m max. Flughöhe

keit w entsprechende kinetische Energie, ersetzen, kleiner infolge des Verlustes B :

$$E = A - B = \frac{m w^2}{2}$$

Damit wird, wiederum bei fest vorausgesetzten Werten η_i und c :

$$\eta_{a'' \text{ glob}} = \frac{E}{H} = \eta_i \frac{\left(\frac{w}{c}\right)^2}{e^{w/c} - 1} \quad (2'')$$

Wie $\eta_{a'' \text{ mom}}$ hat dieser Wirkungsgrad ein Maximum ($0,65 \eta_i$, für $w = 1,58 c$!), um dann, bei weiter ansteigender Fluggeschwindigkeit, nach 0 zu streben.

Mit einer relativen Auspuffgeschwindigkeit c von 3 bis 5 km/s ist, solange die Fluggeschwindigkeit w unter jener des Schalls liegt, $w/c < 0,1$ und sind sämtliche oben definierten Wirkungsgrade annähernd proportional zu w/c . Mit $w/c = 0,1$ erreichen die momentanen Wirkungsgrade ungefähr den Wert $0,2 \eta_i$, die globalen $0,1 \eta_i$ ²⁾. Höhere Werte bedingen einen der Zukunft vorbehaltenen Vorstoss in das Ueberschallgebiet und damit Schwierigkeiten, unter denen die einer zweckmässigen Definition des Wirkungsgrades wohl die kleinste sein wird.

K. H. G.

MITTEILUNGEN

Raketenflug. In «Flugwehr und -Technik» 1941, Nr. 7/8 fasst sich J. Stemmer mit dem hier in Bd. 107 (1936), Nr. 2, S. 13* von Dr. E. Säger erörterten Problem des Flugzeugantriebs durch den sog. Rückstoss- oder Raketenmotor und berichtet über seine eigenen, auf die Entwicklung eines brauchbaren Motors für flüssige Treibstoffe gerichteten Arbeiten. Seine Versuche an einem selbstgebauten Prüfstandmotor betrafen die Messung der Rückstosskraft und der Auspuffgeschwindigkeit, die Wärmeverhältnisse, die Einspritzung und Verwirbelung der Brennstoffe, die Form der Expansionsdüse, das Brennstoffgemisch. Ferner hat Stemmer ein Raketenflugzeugmodell über eine Strecke von 3,8 km, bei maximal 50 m Flughöhe, ferngesteuert. Auf aerodynamisch günstige Gestaltung des obenstehend gezeigten Modells wurde wenig Rücksicht genommen. Weitere Versuchsflüge sind mit einem grösseren Modell von 4,8 m Spannweite geplant, das für die Wasserlandung ausgerüstet ist. In den beiden Schwimmern sind die Tanks für Brenn- und Sauerstoff untergebracht, der Rückstossmotor im Mittelrumpf.

Eidg. Technische Hochschule. Die E. T. H. hat folgenden Kandidaten die Doktorwürde verliehen:

A. Der Technischen Wissenschaften: El-Arousy Abd-el-Aziz, aus Kairo, dipl. Bau-Ing., Dissertation: Studien über das elastische Verhalten von Brückengewölben einschliesslich des Zusammenwirkens mit dem Aufbau; Balla Georg, dipl. Ing.-Chem., aus Budapest (Ungarn), Dissertation: Zur Kenntnis der Caryophyllene (Maleinsäure-anhydrid-Addukt des Caryophyllens; Abbau des Dihydro- und des 8-Caryophyllens), Synthese des 14-Desoxy-digitoxigenins; Brunner Walter, dipl. Ing.-Agr., von Zürich, Dissertation: Untersuchungen über die Arbeitsleistung des schweizerischen Zugpferdes (Jurapferd); Dieterle Walter, dipl. El.-Ing., aus Neuhausen am Rheinfall, Dissertation: Ein Dreiphasen-Drehfeld-Sender für ultrakurze Wellen; Graf Rudolf, dipl. Ing.-Chem., aus Winterthur, Dissertation: Zur Bildung und Konstitution von Schwefel-farbstoffen; Hardegger Emil, dipl. Ing.-Chem., aus Gams (Kt. St. Gallen), Dissertation: I. Ausscheidungsprodukte des Anhydro-oxy-progesterons im Harn, II. Darstellung und Umwandlung von ⁴-17,20 - Oxidopregnen-3-on; Hauser Hannes, dipl. Ing.-Chem., aus Wädenswil, Dissertation: Untersuchungen über Calciumaluminat; Jeanrenaud Alfred, dipl. Ing.-Chem., von Travers (Neuchâtel), Dissertation: Le problème technique de l'élasticité du caoutchouc aux basses températures; Inan Mu-

²⁾ Stemmer beziffert η_i auf Grund eigener Messungen auf im Mittel 0,8.