

# Der Wirkungsgrad des Raketenmotors

Autor(en): **K.H.G.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **119/120 (1942)**

Heft 19

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-52473>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Fahrbarer Portalkran in Holzkonstruktion

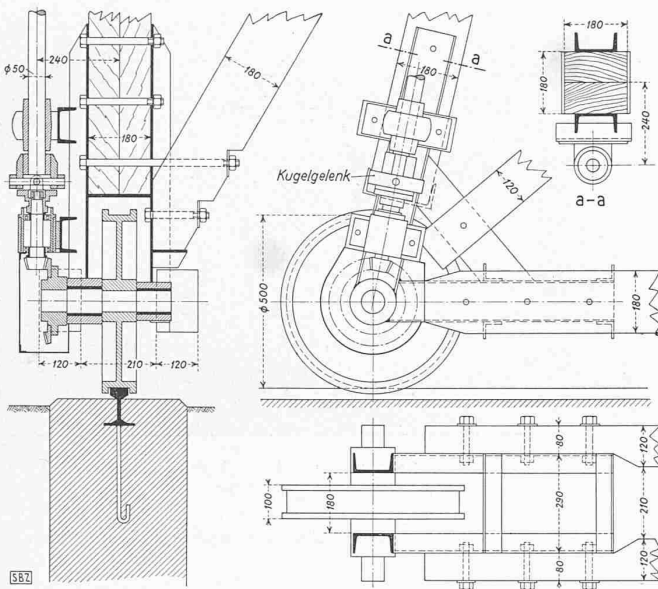


Abb. 4. Gelenkiger Antrieb am Fuss der starren Stütze. — 1 : 20

(Abb. 3) untergebracht. Die Brücke wird durch eine starre und eine Pendelstütze getragen. Die Streben der starren Stütze sind, der besseren Versteifung wegen, bis in den Obergurt geführt (Abb. 2). Die Laufräderachsen liegen genau im Schnittpunkt der drei Stabaxen des Fusses. Auch bei der Ausbildung der Hauptträgerknotenpunkte wurde dafür gesorgt, dass sich alle drei Stabaxen stets genau im selben Punkt schneiden, sodass keine zusätzlichen Beanspruchungen aus exzentrischen Anschlüssen entstehen.

Die Pfosten der Hauptträger bestehen aus einem einzigen Holz, die Streben aus je zwei, als Zange angebracht, mit Versteifung in der Mitte, und die Gurtungen ebenfalls aus je zwei Balken. Die Gurtungen sind auf der ganzen Länge von 30 m zweimal gestossen: der Obergurt im vierten Knotenpunkt, der Untergurt zwischen dem vierten und fünften.

Die Trägerpfosten sind über die Gurte hinaus verlängert zur Aufnahme der Zugkräfte durch Füllklötze. Im Obergurt dienen statt dieser Klötze durchgehende Hölzer zugleich als Träger der Katzenfahrtschiene und als Pfosten des Windverbandes. Die Schiene NP 22 ist mit je zwei Schrauben unter Zwischen-schaltung eines eichenen Sattels an ihnen aufgehängt.

Die Binder sollten ursprünglich um 5 cm in der Mitte überhöht werden; der Zimmermann gab ihnen jedoch (zu seiner Sicherheit) 8 cm. Nach der Aufstellung auf den Stützen betrug die Ueberhöhung noch 7 cm und mit 4000 kg Belastung in der Mitte immer noch 6 cm. Eine Ueberhöhung von 3 ÷ 4 cm hätte also wohl genügt. Der Betrieb erleidet durch die 4 <sup>0</sup>/<sub>100</sub> Steigung nach der Mitte zu keinerlei Nachteile.

Als Holzverbinder waren ursprünglich einheitlich Bulldogs von 10 × 10 cm vorgesehen. Diese konnten jedoch nicht bezu-zeit beschafft werden, daher kamen zur Anwendung: in der Mitte runde mit Ø 95 mm, nach aussen viereckige von 130 × 130 mm, in den Stützen Ø 95 und 65 und wo sie zwischen Eisen und Holz liegen, ovale, einseitige, mit satt am Bolzen anliegender Bohrung 7 × 13 cm. Die Bulldogverbinder sind wohl einfach und zuverlässig, sie müssen aber vollkommen ins Holz eingetrieben werden und dies verlangt einige Zeit, will man die Balken nicht beschädigen. Vier Monate nach der Montage des Krans sind sämtliche Schrauben durchschnittlich um 4 mm nachgezogen worden. Da das Holz während dieses besonders trockenen Sommers gut austrocknen konnte, war es erheblich geschwunden. Seither ist alles stehen geblieben und sind keinerlei Aenderungen aufgefallen.

Der Fahrstuhl ist eine normale Elektrokatz, mit nach unten verlängerter Führerkabine, sodass die Augen des Mannes 10 cm unter dem Untergurt liegen und die Sicht frei ist. Die Katze besitzt nur eine einzige Bremse und zwar gegen das Senken, weitere Bremsen erwiesen sich als überflüssig.

Der Portalantrieb weist gegenüber dem Antrieb bei eisernen Kranen keinen grundsätzlichen Unterschied auf. Von den vier Laufrädern werden nur zwei angetrieben, eines an jeder Stütze. Der Motor mit Riementrieb auf das Kegelradreduktionsgetriebe

sitzt in der Mitte der Brücke (Abb. 1). Die anschliessenden Transmissionswellen laufen mit 160 U/min in Kugellagern. Die Längenunterschiede, die zwischen ihnen und den Bindern infolge von Belastung, Temperatur, Schwinden oder Quellen des Holzes auftreten können, werden durch elastische Kupplungen und die um je 10 mm in den Kegelrädern der Winkeltriebe verschiebbaren Wellen ausgeglichen. Diese Winkelgetriebe zwischen liegenden und stehenden Wellen, mit Reduktion 1 : 4,5, dienen zugleich als Dehnungskupplungen für die vertikalen Wellen.

Da die Pendelstütze sich mangels seitlicher Verstrebung (sie musste möglichst schmal gestaltet werden, um zwischen den beiden Eisenbahngleisen durchfahren zu können), seitlich verbiegen kann, wurde am unteren Wellenende ein Kugelgelenk eingebaut (Abb. 4). Zwischen stehender Welle und Laufrad ist nur ein einziges Kegelradpaar eingeschaltet. Sämtliche Kegelräder stammen aus gebrauchten, aber sehr gut erhaltenen Auto-Differentialen. Wie viel kleiner und leichter diese als die üblichen gusseisernen Zahnräder sind, fällt sofort auf; ihr Sicherheitsfaktor gegen Bruch ist dennoch bedeutend höher. Aus dem Auto-Abbruch sind, besonders heute, noch ausgezeichnete Bestandteile zu verwerten!

Zur Befestigung der Laufräderlager und der vertikalen Wellen an den Stützen dient ein aus I-Eisen geschweisstes, einfaches und starres Gestell, das zugleich als Knotenpunktverbindung der Holzkonstruktion ausgebildet ist. Diese Lösung erwies sich als recht zweckmässig, trotz der Bedenken einer Spezialfirma, und sie arbeitet einwandfrei.

Die Kosten der ganzen Anlage verteilen sich wie folgt:

|   |                  |
|---|------------------|
| Laufschienen, inkl. Betonfundamente . . . . .         | 1900 Fr.         |
| Portal mit Laufsteg . . . . .                         | 7250 Fr.         |
| Katze mit Fahrtschiene und Kabine . . . . .           | 3800 Fr.         |
| Portalantrieb . . . . .                               | 5250 Fr.         |
| Elektrische Fahrleitungen und Netzanschluss . . . . . | 2900 Fr.         |
| <b>Total</b>  | <b>21100 Fr.</b> |

Die Erfahrungen, die bis dahin mit diesem Portalkran gesammelt wurden, lassen erkennen, dass sich das Holz im Kranbau gut eignen kann. In der heutigen Zeit vermag es darin das Eisen sogar manchmal vorteilhaft zu ersetzen. Der beschriebene Kran arbeitet ruhig und zuverlässig. Bis heute haben sich die Knotenpunkte sehr gut gehalten. Schwankungen, Erschütterungen und Stösse, die beim Anfahren oder Stillsetzen, sowie beim Anheben oder Ablegen der Last auftreten, sind von der gleichen Grössenordnung wie bei eisernen Kranen.

D. A. Allemand, Dipl. Masch.-Ing. E. T. H., Biel

Der Wirkungsgrad des Raketenmotors

Ueber den grundsätzlichen Aufbau, die Eigenschaften und die Verwendungsmöglichkeiten des Raketenmotors hat hier in Bd. 107 (1936), Nr. 2, S. 13\* Dr. E. Sängler Aufschluss gegeben, auch über seinen sogenannten «inneren Wirkungsgrad». In «Flug-Wehr und -Technik» 1941, Nr. 8 streift J. Stemmer auch den Begriff des «äusseren Wirkungsgrads»  $\eta_a$ . Die von den industriellen, periodisch arbeitenden Maschinen her gewohnte Definition des Wirkungsgrads als Quotienten der pro Zyklus gewonnenen zu der aufgewendeten Energie wird vieldeutig, wenn kein Zyklus vorliegt, die Leistung von Sekunde zu Sekunde variiert und Zweifel darüber bestehen, was zu der in einem bestimmten Zeitintervall gewonnenen oder verbrauchten Energie zu rechnen ist. Welches Zeitintervall ist überhaupt zu nehmen? Es bietet sich dar:

Erstens eine kleine, der Ausstossung der Gasmasse  $Q \cdot dt$  entsprechende Zeitspanne  $dt$ . Ist  $w$  die Flug- und  $c$  die relative Auspuffgeschwindigkeit, so ist  $K = Qc$  die Vortriebskraft und  $Kw \cdot dt = Qcw \cdot dt$  die an die Rakete (das Raketenflugzeug) von ihrem «Motor», dem Verbrennungssofen, abgegebene Arbeit. Bezeichnet  $h$  den in *mechanischen* Einheiten ausgedrückten Heizwert der *Masseneinheit* des Treibstoffgemisches, so ist  $hQ \cdot dt = Qc^2 \cdot dt/2\eta_i$  der Verlust an chemischer Energie, worin  $\eta_i = c^2/2h$  den inneren Wirkungsgrad bedeutet. Der erste Gedanke ist, als momentanen äusseren Wirkungsgrad das Verhältnis jener Arbeit zu diesem Energieaufwand zu definieren:

$$\eta_{a \text{ mom}} = \frac{cw}{c^2/2\eta_i} = 2\eta_i \frac{w}{c} \dots (1)$$

Der so definierte Wirkungsgrad hätte allerdings die ungewohnte Eigenschaft, mit zunehmendem Verhältnis  $w/c$  über 1 hinaus unbegrenzt anzuwachsen. Rechnet man jedoch zu der verlorenen ausser der chemischen auch die kinetische Energie  $Q \cdot dt w^2/2$  des noch unverbrannten Gases, so hält sich der abgeänderte momentane Wirkungsgrad

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

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

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

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

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

Der so definierte Wirkungsgrad wird zwar nie grösser als  $\eta_i$ , 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 Beschleunigungsphase<sup>1)</sup> 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, jenachdem man  $H$  oder  $H+B$  als Energieaufwand betrachtet. Unter Voraussetzung konstanten inneren Wirkungsgrades  $\eta_i$  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

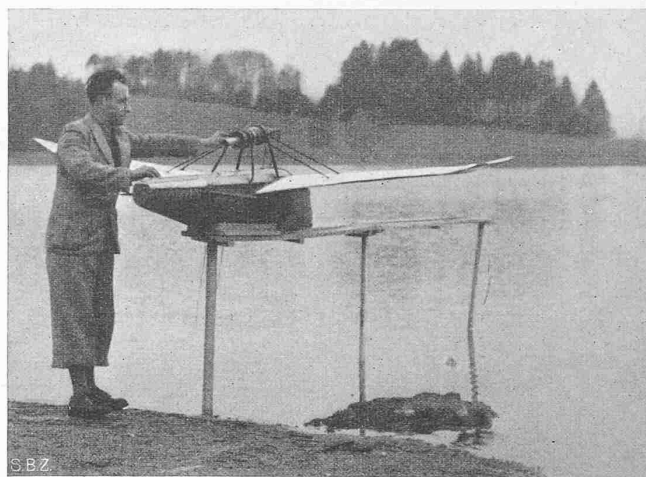
$$\eta_{a \text{ glob}} = \frac{A}{H} = 2 \eta_i \left[ 1 - \frac{w/c}{e^{w/c} - 1} \right] \quad (2)$$

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.  $\eta_{a' \text{ glob}}$  verharrt 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

<sup>1)</sup> Nur von dieser ist hier die Rede. Den weitaus längeren Teil der Flugbahn eines zukünftigen Raketenflugzeugs soll jedoch, wie Stemmer 1. 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  $\eta_i$  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 befasst sich J. Stemmer mit dem hier in Bd. 107 (1936), Nr. 2, S. 13<sup>8</sup> von Dr. E. Sängler 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 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; Byrner 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-progestrons im Harn, II. Darstellung und Umwandlung von <sup>4</sup>-17,20 - Oxidoprogren-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-

<sup>2)</sup> Stemmer beziffert  $\eta_i$  auf Grund eigener Messungen auf im Mittel 0,8.