

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 91/92 (1928)
Heft: 8

Artikel: Der Raketenmotor und seine Aussichten
Autor: Baetz, Konrad
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-42556>

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: 27.04.2025

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

Am 4. Mai waren die Gesamtarbeiten der Brückenhebung im wesentlichen beendet (Abb. 7, 8 und 14) und konnten die langen Geleisesperren, die den Zugverkehr beschränkten, aufgehoben werden. Der für die Personenzüge vom Bahnhof Schaan-Vaduz eingerichtete Auto-Hilfsverkehr konnte daher am 5. Mai eingestellt und am folgenden Tage wieder der unbeschränkte Verkehr aller Züge nach Buchs aufgenommen werden.

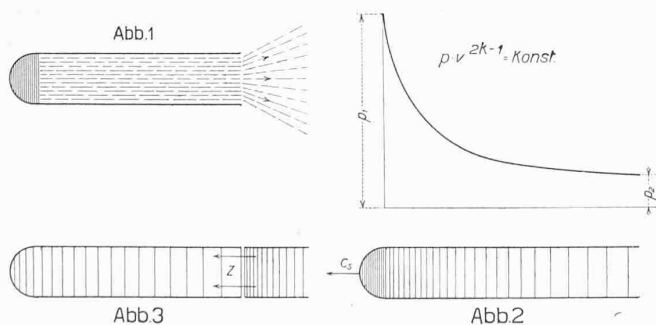
Der Erfolg dieser grossen, durch kein ausserordentliches Vorkommnis und durch keinen Unfall gestörten Bauarbeit ist der peinlich genauen Vorbereitung an Hand der von der Generaldirektion der Oesterr. Bundesbahnen in Wien aufgestellten Pläne und Arbeitsentwürfe zu verdanken. Die Bundesbahn-Direktion Innsbruck übertrug für die Zeit der Brückenhebung die Leitung und Ueberwachung dieser Spezialarbeit ihrem erfahrenen Brückenpersonal, während die Leitung der Gesamtausführung dem Berichterstatter oblag.

Damit wurde die zweite grössere Arbeit vollendet, die den Oesterr. Bundesbahnen durch das Hochwasser des 25. Sept. 1927 erwachsen war, wenn die Errichtung der 314 m langen Notbrücken auf hölzernen Jochen im Oktober und November des vergangenen Jahres als die erste Arbeit bezeichnet wird. Nun harret noch als letzte Aufgabe der endgültige Ausbau dieser beschädigten Strecke. Es ist zu hoffen, dass zwischen den Oesterr. Bundesbahnen und Liechtenstein eine befriedigende Verständigung über dieses Projekt zu Stande komme, die einerseits den Bundesbahnen die Möglichkeit gibt, den Bau in zweckentsprechender und wirtschaftlicher Weise auszuführen, andererseits der immer noch unter dem Schrecken der Hochwasserbedrängnis stehenden Bevölkerung volle Beruhigung bietet.

Der Raketenmotor und seine Aussichten.

Von Oberbaurat KONRAD BAETZ, Würzburg.¹⁾

Wird in einem röhrenförmigen Stahlgefäss (Abb. 1), dessen eine Seite offen ist, eine, grosse Gasmassen entwickelnde Ladung zur Verpuffung gebracht, so erhält das Gefäss (die Rakete) bei der in Abb. 1 gezeichnete Lage einen Antrieb nach links. Ist die Rakete von der atmosphärischen Luft umgeben, so treten die auspuffenden Gase an der Mündung rechts mit Schallgeschwindigkeit aus, wenn der Druck der Gase in der Rakete im Verhältnis zum Aussendruck grösser ist, als das sogenannte kritische Druckverhältnis,



das für Gase 1,892 beträgt. Der Druck in der Rakete kann demnach zu sehr hohen Werten anwachsen, wenn die Menge der in der Zeiteinheit erzeugten Gase grösser ist, als die in der Sekunde aus der Öffnung ausströmende Menge. Wächst der Druck in der Rakete über das 1,89 fache des Aussendruckes, so werden die mit der Schallgeschwindigkeit ausgestossenen Gasmassen ausserhalb der Mündung explosiv nach allen Seiten auseinandergerissen. Ein solcher Antrieb erscheint daher zunächst wärmeökonomisch ausserordentlich ungünstig. Der Antrieb, der der Rakete erteilt wird, berechnet sich aber

¹⁾ In Anbetracht der Aktualität des Raketenproblems haben wir uns zur Aufnahme des vorliegenden Artikels entschlossen, für dessen Inhalt wir indessen dem Autor die volle Verantwortung überlassen müssen. Red.

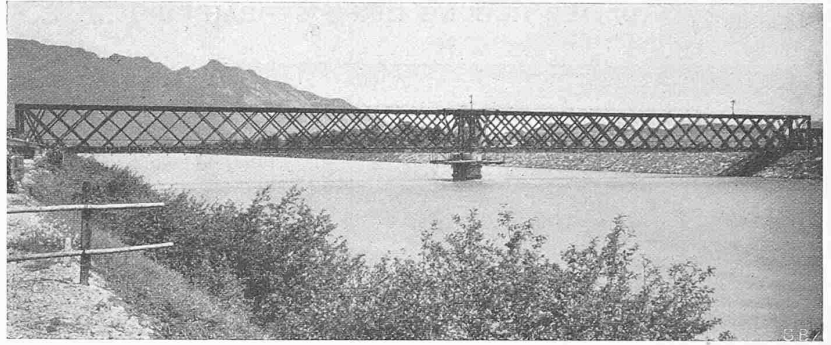


Abb. 14. Die Eisenbahn Rheinbrücke Buchs-Schaan nach vollendeter Hebung.

sehr einfach als das Produkt aus dem erreichten Gasdruck in der Rakete und dem Raketenquerschnitt.

Die Umsetzung der Wärmeenergie der verpuffenden Ladung beginnt nun in dem Augenblick, da die Rakete eine grössere Geschwindigkeit nach links erlangt hat. Je schneller sich die Rakete nach links bewegt, um so besser wird auch die Energieumsetzung bei ihrem Antrieb. Sobald die Rakete die Schallgeschwindigkeit der auspuffenden Gase selbst annimmt, tritt eine fast ideale Umsetzung der Gasenergie in Treibenergie ein. An der Mündung nimmt nämlich das auspuffende Medium, gegen den festen Raum betrachtet, eine viel grössere Geschwindigkeit als die Schallgeschwindigkeit an. Die Gase expandieren also in der Rakete ähnlich wie in der Düse einer Dampfturbine. Werden vom Boden der Rakete her fortwährend Gase mit hohem Druck nachgeliefert, so kann sich in der Rakete ein sogenannter stationärer Zustand ausbilden (Abb. 2).

Zwischen dem Boden und der Mündung der Rakete entsteht nämlich dauernd ein Druckabfall, dem ebenso eine Abnahme in der Dichte entspricht. Der Druckverlauf in der Rakete ist dann ähnlich, wie beim Expansionshub einer Gasmaschine, bleibt aber solange bestehen, als Gas geliefert wird. (Abb. 2 zeigt den Druckabfall, darunter die Aenderung in der Dichte). Mit der Abnahme des Druckes und mit der Zunahme des spez. Gasvolumens ist nach den Gesetzen der Wärmelehre auch eine Temperaturabnahme verbunden. Die Gase expandieren, während sie nach rechts ausströmen, indem sie die verfügbare Arbeitsleistung gleichzeitig als Antrieb an die Rakete abgeben. Die Energieumsetzung ist ideal, wenn der Enddruck p_2 gleich dem Aussendruck in der Umgebung wird. Der Antrieb, den die Rakete erfährt, ist dann $F \cdot (p_1 - p_2)$, wenn F die Querschnittfläche, p_1 der Druck am Boden, p_2 der an der Mündung ist.

Man erkennt nun leicht, dass es auf diese Weise möglich sein muss, solche Raketen zu ausserordentlichen Geschwindigkeiten anzutreiben, wenn man sie z. B. von vornherein aus einem Geschütz abschießt. Die Geschwindigkeit eines Artilleriegeschosses kann 800 bis 1000 m/sek betragen. Werden nun die Treibgase der Raketenladung erst nach dem Abschuss der Rakete zum Verpuffen gebracht, so wird die gesamte Gasenergie der Ladung auf die Rakete übertragen, weil sie sich von vornherein mit einer Geschwindigkeit bewegt, die grösser als die Schallgeschwindigkeit ist. Dringt die Rakete in die dünnern hohen Luftschichten und schliesslich in den luftleeren Raum vor, so wird die Energieumsetzung fortwährend günstiger, weil die in der Rakete expandierenden Gase auf einen immer mehr verschwindenden Gegendruck sich ausdehnen.

Beim Raketenmotor von Opel hat man bisher offenbar zur Erzeugung der Gasmassen hohen Drucks ein explosives festes Treibmittel wie zum Beispiel Blättchenpulver verwendet. Wie man einen wirtschaftlichen Raketenmotor mit Benzin oder Benzol betreiben kann, ergibt sich aus nachfolgender Beschreibung.

Wird eine, mit brennbarer Ladung gefüllte, einseitig geschlossene Röhre am offenen Ende (Abb. 3) bei Z gezündet, so pflanzt sich die Verbrennung ins Innere fort. Hierbei tritt eine Kompression der noch nicht entzündeten Schichten der Ladung in den grösseren Tiefen der Röhren auf. Die Verdichtung kommt dadurch zustande, dass sich die brennenden Schichten durch ihre Erwärmung sehr schnell ausdehnen. Ein Teil der verbrannten Gase muss also am offenen Ende der Röhre entweichen. Die Reaktion dieser abgeschleuderten Gasmasse verdichtet dann die noch nicht brennenden Schichten. Wandert die Zündstelle sehr schnell nach innen, dann

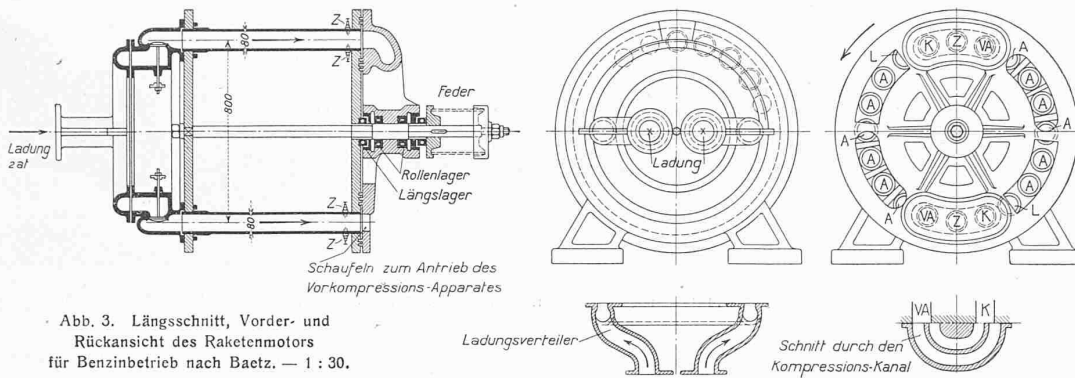


Abb. 3. Längsschnitt, Vorder- und Rückansicht des Raketenmotors für Benzinbetrieb nach Baetz. — 1 : 30.

wird auch die Verdichtung sehr gross. Durch diese hohe Verdichtung erhitzen sich aber die Schichten der unverbrannten Ladung in der Tiefe der Röhre so stark, dass ihr Zündpunkt erreicht wird. Nun verpufft der Restinhalt der Röhre auf einmal, wobei ausserordentlich hohe Drucke, bis über 100 at auftreten. Diese Explosionswelle wird sehr leicht zur Ausbildung kommen, wenn man die Ladung der Röhre vor der Zündung komprimiert. Diese Kompression wird am einfachsten durch heisse Abgase von Verpuffungen in andern Raketenröhren des selben Motors bewirkt. Sind diese Abgase glühend, so vermitteln sie gleichzeitig die Entzündung der Zwischenladung. Wird nach der Kompression und Zündung die entflammte Ladung einen kurzen Augenblick abgedeckt, wodurch die Gase nicht entweichen können, so wird die Verbrennungsverdichtung sehr gross und der Druck der Explosionswelle ausserordentlich hoch. Der Raketenmotor erhält nach dieser grundsätzlichen Festlegung nun die in der Abb. 3 angegebene Gestalt. Die Raketenröhren, z. B. 20 Stück, liegen im Wagen oder Flugzeug fest, wie bei einem Revolver im Kreis angeordnet. Die sämtlichen rechtsseitigen Öffnungen sind durch eine Stahlplatte geführt, so, dass die Rohr-Enden mit dieser Platte eine Ebene bilden. Vor dieser Lagerplatte befindet sich nun eine Art Revolverkopf, der auf Kugeln gelagert ist und durch eine starke Feder annähernd gasdicht auf die Stahlscheibe gepresst wird. Die Ladung der Raketenröhren erfolgt vom linken Ende her durch selbsttätige Einlassventile; die einzuführende Verbrennungsluft wird dabei in einem Kreiselgebläse auf etwa 1 bis 2 at Ueberdruck verdichtet, worauf ihr Benzindampf beigemischt wird. Dieses Gasgemisch tritt, sobald das Raketenende rechts freien Ausgang in die Atmosphäre hat, vermöge seines Ueberdruckes in die Rakete ein und bläst vorhandene Restgase nach rechts aus, bis die frische Ladung das offene Ende erreicht. An diesem offenen Ende sitzen nun elektrische Zündkerzen, die die Ladung von rechts her entflammen, während die Öffnung durch einen umlaufenden Deckel im Revolverkopf gerade abgedichtet ist. Es erfolgt also eine starke Explosionswelle in der gezündeten Ladung nach links. Der Revolverkopf wird durch die aus den Raketen ins Freie auspuffenden Abgase in Rotation versetzt, indem diese Gase auf einige im Kopf gelagerte Turbinenschaufeln treffen und ihn selbstregelnd zur Steuerung aller Raketenverpuffungen antreiben. Der Revolverkopf enthält ferner noch zwei Kanäle zur Kompression und zur selbsttätigen Zündung der Ladung, wenn der Motor in Dauerbetrieb ist. Die beiden hügelartigen Kanäle verbinden nämlich immer zwei Raketenröhren so, dass die auspuffenden Gase einer bereits gezündeten Rakete die frische Ladung einer im Drehsinn vorwärts liegenden Röhre verdichten und auch vermöge ihrer Glühtemperatur zünden. Durch diese Vorverdichtung und Zündung wird nun die momentan abgedeckte Rakete zur höchsten Explosionswelle angelegt. Hiermit wird der Höchstdruck in der Tiefe der Rakete erreicht, und nun werden die Abgase in den Stellungen A, A, A des Revolverkopfes ins Freie ausgestossen. Es wird nur wenig Energie an die steilstehenden Schaufeln des Revolverkopfes abgegeben, um ihn z. B. mit 1200 Uml/min laufen zu lassen. Dabei wird jede Raketenröhre, weil zwei Ueberleitkanäle vorhanden sind, während eines Umlaufes zweimal geladen und der Inhalt zweimal verpufft. Bei 80 cm Länge und 8 cm Durchmesser der Röhren ist das Volumen einer Röhre $80 \times 50 \text{ cm}^3 = 4 \text{ lit}$.

Nimmt man nun an, die Erwärmung der Ladung gleiche deren Verdichtung gerade soweit aus, dass ihr spezifisches Gewicht gleich dem der Luft im Normalzustand ist, so kann man sehr leicht die Leistung und den Benzinbedarf pro Stunde für diese Maschine be-

rechnen. Die Zahl der in der Sekunde geladenen Treibrohre ist bei 1200 Uml/min des Revolverkopfes nämlich $2 \times 20 \times 20 = 800$, weil 20 Stück in jeder Sekunde 2×20 mal geladen werden. Somit ist der Luftbedarf pro Sekunde gleich $3,2 \text{ m}^3$ und der Benzinbedarf $3,2 : 16 = 0,2 \text{ kg/sek}$ oder 720 kg/h . Der Antrieb, den das Raketenfahrzeug erfährt, ist

nun ausserordentlich gross, da die Zahl der Verpuffungen pro Sekunde ebenfalls 800 ist. Man kann also trotz der fortwährenden Ausgleichvorgänge in den einzelnen Raketen annehmen, dass sich ein mittlerer Druck in allen Raketen ergibt, der ungefähr gleich dem einer Gasmaschine ist. Nimmt man 7 kg/cm^2 an, so ergibt sich bei 20 Röhren von je 50 cm^2 ein Antrieb von 7000 kg für das Fahrzeug. Wiegt das Fahrzeug also z. B. 3500 kg, so ist dessen Beschleunigung nach dem Fundamentalgesetz der Mechanik beinahe 20 m/sek . Es wird somit nach 20 Sekunden, wenn der Luftwiderstand zunächst ausser Betracht bleibt, eine Geschwindigkeit von 400 m/sek oder von 1440 km/h erreichen, d. h. es wird möglich sein, in drei Stunden von Europa nach Amerika zu fliegen. Eine Beschleunigung von 20 m/sek ist für einen kräftigen Menschen gerade noch erträglich: bei einem Körpergewicht von 80 kg wird die auf ihn ausgeübte Trägheitskraft ungefähr 160 kg, d. h. eine Belastung, die gerade noch ertragen werden kann. Damit das Flugzeug die ausserordentlich hohe Geschwindigkeit von 400 m/sek erreichen kann, muss es sich natürlich in den höchsten Luftschichten bewegen und muss durch seine Geschwindigkeit, durch die Stauung an den Tragflächen, auch diese Luft soweit verdichten, dass sie die nötige Tragkraft erlangt: Barometerstand in 10 km Höhe $b = 229 \text{ mm}$! Die an dem vordern Kabinenkopf verdichtete Luft wird auch, wenn sie durch ein kleines Fenster in den Aufenthalts- und Maschinenraum eingelassen wird, für die Fahrgäste und die Antriebsmaschinen genügen. Gleichzeitig wird durch diese Einrichtung der Fahrzeugwiderstand entsprechend vermindert.

Anmerkungen des Verfassers. 1. Die Explosionswelle ist eine Entdeckung des französischen Chemikers Berthelot und ist durch Mallard und Le Chatelier, sowie durch den Engländer Dixon eingehend studiert worden. Der Verfasser besitzt das deutsche Reichspatent 465 037 der Anwendung der Explosionswelle zum Motorenantrieb. — 2. Versuche des Verfassers mit Gasverpuffung in Stahlröhren haben die hohe Triebkraft solcher Entladungen bestätigt. — 3. Dynamit hat einen Energie-Inhalt von 1500 bis 2000 kcal/kg, Schiesspulver 3000 kcal/kg, Benzin 10800 kcal/kg Heizwert. Bei Explosion von Nitrobenzol lagern sich nur die Moleküle um. Benzin verbraucht 20 kg Luft für 1 kg Brennstoff. Der Raketenantrieb mit Benzin ist also $5 \times 20 = 100$ mal besser als mit Dynamit.

Vom Internat. Wohnungs- und Städtebau-Kongress 2. bis 8. Juli 1928 in Paris.

In Paris mangelte fast alles, was früheren Kongressen eine besondere Note zu geben vermochte. Es fehlte der grossartige Rahmen einer Ausstellung wie in Göttingen. Modernistische Architektur gibt's in Paris fast keine, im Gegensatz etwa zu Holland. Die Finanzierung des Wohnungsbaues, und was Politisches und Wirtschaftliches damit zusammenhängt, bewegt sich in Paris in so vernünftigen Bahnen, dass auch dieses Thema die Gemüter nicht zu erhitzen vermochte, wie etwa in Wien. Aber gerade dieser Mangel einer besondern Attraktion ermöglichte es, die Zeit zu einer intensiven Arbeit zu benutzen. Die Fülle der zur Diskussion gestellten Themata machte es sogar notwendig, zu gleicher Zeit Sitzungen über verschiedene Fragen abzuhalten. Schade nur, dass sowohl das Amphithéâtre wie auch die Salle du Conseil in der Sorbonne wegen ihrer akustischen Mängel nicht alle Redner voll zur Geltung kommen liessen. Wie ganz anders hätte sich die