

# Wasserrakete

Experimente mit Plastikflaschen

Christian Ucke

Mit üblichen PET-Plastflaschen (PET = Polyethylenterephthalat; Coca-Cola, Fanta o.ä.) und einem käuflichen Bausatz /1/ lassen sich Wasserraketen starten. PET-Plastflaschen sind besonders für diesen Zweck geeignet, da sie einen hohen Druck aushalten und sehr stabil sind. Der Selbstbau solcher Plastikflaschen-Wasserraketen ist prinzipiell auch möglich /2/, aber relativ mühsam. Deswegen sei hier das fertige Beispiel beschrieben. Sollten Sie aber besser zu realisierende Selbstbauvorschläge haben, lassen Sie es mich wissen!

Gut geeignet sind die 1,5-Liter-Flaschen, bei denen das unten befindliche Standunterteil entfernt wird. Der Bausatz besteht aus einem Schraubgewinde mit Gummihohlein-satz, das auf das Flaschengewinde paßt. An das Schraubgewinde werden drei Leitflossen angesetzt. In das Gummiteil wird ein Messingteil mit angeflanschem Schlauch eingedrückt. Am anderen Ende des Schlauches läßt sich eine normale Fahrradpumpe ansetzen. Ist die Flasche mit Wasser gefüllt, wird durch Pumpen ein Überdruck in der Flasche erzeugt. Bei genügend hohem Überdruck (etwa 2 bis 3 bar) löst sich das Messingteil mit dem Schlauch. Das Wasser schießt heraus und treibt die Rakete 20 bis 30 m hoch.

Sehr schön läßt sich die Abhängigkeit der Flughöhe von der eingefüllten Wassermenge demonstrieren. Befindet sich sehr viel Wasser und kaum Luft in der Rakete, ist das Startgewicht der Rakete sehr groß

und das nutzbare Luftvolumen klein. Die Rakete kommt nicht sehr hoch, ja eventuell bleibt sie sogar wasser-ausstößend am Boden. Ist umgekehrt wenig Wasser und viel Luft vorhanden, ist nur wenig Masse zum Antrieb vorhanden und die Rakete fliegt deswegen nicht sehr hoch. Dazwischen gibt es eine optimale Wasserfüllmenge.

Im folgenden werde ganz grob die Flughöhe abgeschätzt. Es sei betont, daß es sich dabei um eine einfache Überschlagsrechnung han-

delt. Für genauere Berechnungen sei auf entsprechende Literatur verwiesen /2/.

Eine 1,5-Liter PET-Flasche enthält ein reales Volumen von etwa 1,65 Liter. Die Flasche werde mit 0,4 Liter

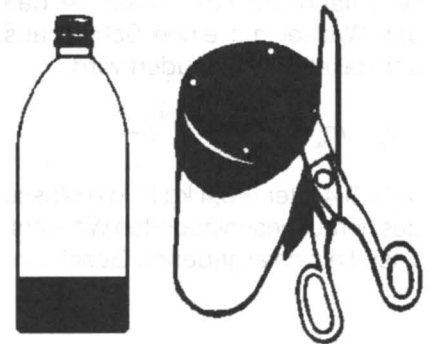


Bild 1 Entfernen des Standteils von den PET-Plastflaschen

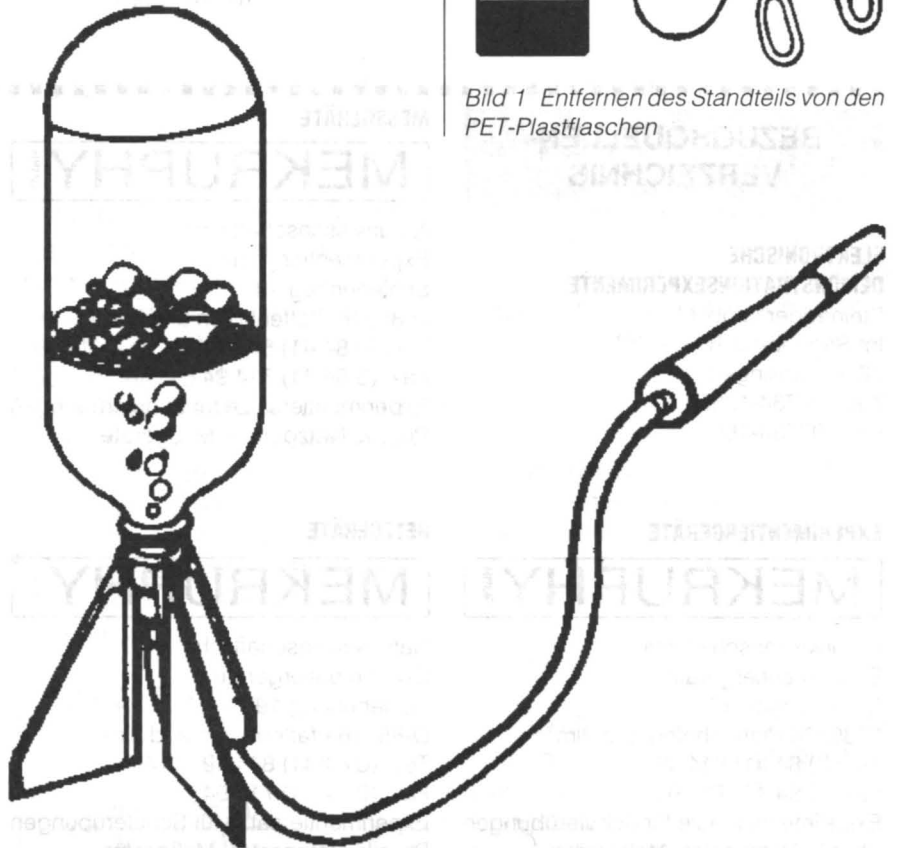


Bild 2 Fertig montierte Wasserrakete mit Leitflossen und Pumpschlauch

Wasser gefüllt; das ist eine günstige Füllmasse. Wir nehmen an, daß sich bei einem Überdruck von

$$\Delta p = 2 \text{ bar} = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

das Messingteil löst und die Rakete startet. Genau genommen verringert sich der Druck während des Ausströmens des Wassers. Und dabei handelt es sich eigentlich auch noch um eine adiabatische Druckänderung. Das sei hier aber vernachlässigt, was zulässig ist, wenn das Wasservolumen klein ist im Verhältnis zum Gesamtvolumen. Die Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers  $v_w$  ergibt sich dann zu (*Bernoullisches Gesetz* bzw. *Torricellische Ausflußformel*):

$$v_w = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{10^3 \text{ kgm}^{-3}}} = 20 \text{ ms}^{-1}$$

( $\rho = 10^3 \text{ kgm}^{-3}$  ist die Dichte des Wassers)

Mit dem Impulssatz ergibt sich vereinfacht unter der Annahme, daß das Wasser auf einen Schlag aus der Rakete geschleudert wird:

$$v_w \cdot m_w = v_r \cdot m_r$$

$m_w = 0,4 \text{ Liter} = 0,4 \text{ kg}$  ist die Masse des herausgeschleuderten Wassers,  $v_r$  ist die sich ergebende Geschwin-

digkeit der Rakete und  $m_r$  ist die Masse der Rakete. Die Leermasse der Rakete ohne Wasser beträgt etwa 0,08 kg; mit Wasser ist also  $m_r = 0,48 \text{ kg}$ . Dies gilt aber nur bei Startbeginn. Bei Brennschluß ist  $m_r = 0,08 \text{ kg}$ . Daraus läßt sich rechtfertigen, mit einer mittleren Raketenmasse von  $m_r = 0,28 \text{ kg}$  zu rechnen.

Setzt man diese Werte ein, ergibt sich

$$v_r = v_w \cdot \frac{m_w}{m_r}$$

$$= 20 \text{ ms}^{-1} \cdot \frac{0,40 \text{ kg}}{0,28 \text{ kg}} = 28,6 \text{ ms}^{-1}$$

Wenn der Weg vernachlässigt wird, den die Rakete während der Beschleunigungsphase zurücklegt (etwa 2 m), errechnet sich die Flughöhe  $h$  der Rakete zu

$$h = \frac{v_r^2}{2 \cdot g} = \frac{(28,6 \text{ ms}^{-1})^2}{2 \cdot 10 \text{ ms}^{-2}} \approx 40 \text{ m}$$

In Wirklichkeit fliegt die Rakete nicht ganz so hoch.

Die Zeit  $\Delta t$ , in der das Wasser aus der Raketendüse ausgestoßen wird, läßt sich mit dem Volumen des ausgestoßenen Wassers  $V_w$  und dem Querschnitt der Raketendüse ( $A \approx 1 \text{ cm}^2 \approx 10^{-4} \text{ m}^2$ ) berechnen:

$$\Delta t = \frac{V_w}{A \cdot v_w} = \frac{400 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 20 \text{ ms}^{-1}} = 0,2 \text{ s}$$

Mit Hilfe der heutigen tragbaren und leistungsfähigen Videokameras läßt sich diese Zeit hinreichend gut ermitteln und bestätigen. Auch andere Parameter wie z. B. die Höhe, bei der der Brennschluß auftritt, kann man abschätzen. Solche Aufnahmen sind für Kinder nebenbei noch sehr motivierend.

Diese Wasserrakete läßt sich auch mit Luft alleine starten. Das funktioniert deswegen ziemlich gut, weil die Plastikflasche ein relativ großes Luftvolumen enthält. Mit Luft erreicht die Rakete immerhin noch eine Flughöhe von 5 bis 8 m. Der Versuch der Berechnung der Flughöhe mittels obiger Formeln führt allerdings zu unrealistisch großen Ausströmgeschwindigkeiten, nämlich größer als die Schallgeschwindigkeit. Hier liegen die Grenzen solcher Rechnungen.

**Literatur**

- /1/ Physik-Boutique. – Stark-Verlag, Freising
- /2/ Linckens, P. H.: Raketophysik im Unterricht. – Aulis-Verlag Deubner, Köln 1974

---

Dr. Christian Ucke  
Technische Universität München  
Physikdepartement 20  
85748 Garching

---