

12. Posten



**Der Raketenantrieb:
Primitiv und trotzdem leistungsfähig**

Ziel:

An diesem Posten erfahren Sie

- wie der einfachste Antrieb mit Wärmeenergie funktioniert.
- wie der Wirkungsgrad, welcher sich mit einer Wärmearbeitsmaschine maximal erreichen lässt, bestimmt werden kann.

Ablauf:

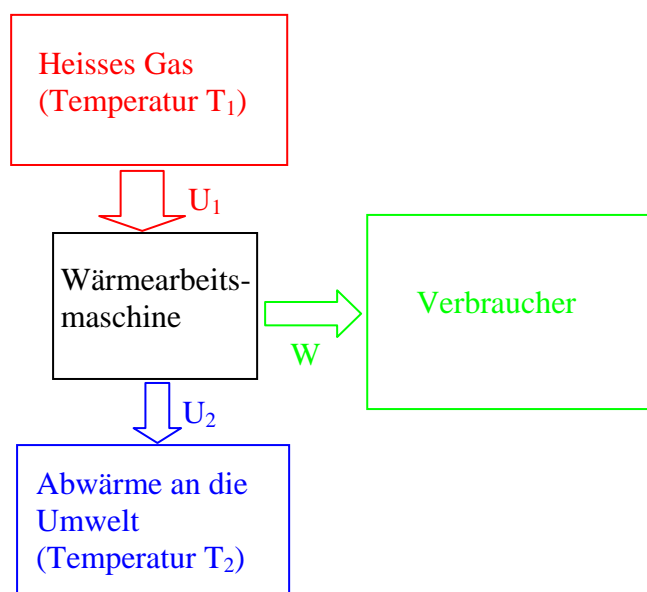
Lesen Sie den folgenden Text durch und beantworten Sie die Fragen. Für diesen Posten benötigen Sie 20 Minuten. Erledigen Sie Aufgaben, die die angegebene Zeit überschreiten, zu Hause.

Das einfachste Prinzip, der Raketenantrieb

Das Prinzip des Raketentriebwerks ist sehr einfach, wenn nicht schon fast primitiv. Durch eine Verbrennung, welche möglichst viel Energie freisetzen soll, entstehen sehr hohe Temperaturen in einem Raum und damit eine sehr starke thermische, ungeordnete Molekularbewegung der Teilchen des Gases. Öffnet man den Raum, indem die Verbrennungsreaktion abläuft, nur zu einer Seite, so wandelt sich die ungeordnete in teilweise geordnete Bewegung um (s. Abbildung). Die gewaltige freigesetzte Energie lässt keine Defekte am Mantel des Raumes zu, denn schnell kann es zu einer Explosion – und dann in alle Richtungen - kommen!



Raketen sind wohl die ältesten Wärmearbeitsmaschinen überhaupt, so sollen bereits die Araber 1288 die spanische Stadt Valencia mit Raketen angegriffen haben. Es ist aber nicht ganz einfach, eine Rakete kontrolliert zu steuern. Erst dem nationalsozialistischen Deutschland gelang es mit enormen Forschungsgeldern unter der Führung von Wernher von Braun eine militärische Grossrakete, die V2, zu entwickeln. Die Sowjets waren, allerdings erst nach dem 2. Weltkrieg, ebenfalls erfolgreich im Entwickeln einsatzfähiger Raketen, selbst für Flüge ins Weltall. Einzig den USA gelang dies lange Zeit nicht, so endeten enorm viele Versuche mit schauerhaften Explosionen. Erst unter der Hilfe von von Braun, der nach dem Krieg nach den USA gebracht wurde, kamen auch diese besser voran. Dennoch klappte es mit einem Flug in den Weltraum, der den Sowjets 1957 mit dem Sputnik bereits gelungen war, nicht nach Plan. Als John Glenn als erster Amerikaner mit der höchst unzuverlässigen Atlas-Trägerrakete 1962 in den Weltraum geschossen wurde, kam das geglückte Abenteuer beinahe einem Wunder gleich, denn zuvor waren zwei von drei Atlas-Tests missglückt. Der vierte mit Glenn an Bord war erstaunlicherweise ein Erfolg.



Der Wirkungsgrad einer Rakete

Mit Hilfe des Diagramms (Vorderseite) werden wir berechnen können, wie gut der Wirkungsgrad einer Rakete maximale überhaupt sein kann. Ob man diesen Wert dann auch tatsächlich erreicht, hängt davon ab, wie gut die Rakete gebaut wird.

Das Diagramm kann so verstanden werden: Eine Wärmearbeitsmaschine nutzt die innere Energie U_1 eines heissen Gases aus und wandelt einen Teil davon in Arbeit W um. Die Abgase, die die Maschine nicht weiter nutzen kann, stösst diese wieder aus. Die Abgase haben immer noch eine innere Energie U_2 .

Ein heisses Gas befindet sich in der Rakete. Das Gas besteht aus N Teilchen und hat die Temperatur T_1 . Damit ergibt sich für die innere Energie U_1 des Gases:

$$U_1 = \frac{3}{2} \cdot N \cdot k_B \cdot T_1 \quad (1)$$

Den Wirkungsgrad der Maschine finden wir mit dem Diagramm und aus der Definition des Wirkungsgrades η :

$$\eta = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{W}{U_1} \quad \text{Aufgelöst nach } W: \quad W = \eta \cdot U_1 \quad (2)$$

Zwischen den Grössen U_1 , U_2 und W gilt gemäss Diagramm und dem Energiesatz folgender Zusammenhang:

$$U_1 = U_2 + W = U_2 + \eta \cdot U_1 \quad (3)$$

Im zweiten Schritt wurde Gleichung (2) eingesetzt. Setzen wir die Gleichung (1) in (3) ein, so folgt:

$$\frac{3}{2} \cdot N \cdot k_B \cdot T_1 = \frac{3}{2} \cdot N \cdot k_B \cdot T_2 + \eta \cdot \frac{3}{2} \cdot N \cdot k_B \cdot T_1$$

Lösen Sie diese Gleichung nun nach dem Wirkungsgrad η auf:

$\eta_{\text{theor}} =$

Fragen:

- Der maximal mögliche Wirkungsgrad η_{theor} einer Wärmearbeitsmaschine gilt interessanterweise nicht nur für Raketen, sondern für alle Wärmearbeitsmaschinen. Bestimmen Sie die (theoretisch maximal erreichbaren) Wirkungsgrade η_{theor} folgender Wärmearbeitsmaschinen und füllen Sie die Tabelle dazu aus. Füllen Sie auch die heute in der Praxis erreichten Wirkungsgrade η ein, wenn Sie die entsprechenden Posten absolviert haben:

| Maschine | Arbeitstemperatur T_1 | Abgastemperatur T_2 | η_{theor} | η |
|-------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|--------|
| 4-Takt-Otto-Motor | 1800K | 900K | | |
| Dieselmotor | 2900K | 770K | | |
| Dampfturbine | 800K | 320K | | |

- Was für eine Bedingung müsste erfüllt sein, dass der Wirkungsgrad einer Wärmearbeitsmaschine nahezu 100% beträgt? Weshalb ist das auf der Erde nicht möglich?