

3. Posten



K. Simonyi, *Kulturgeschichte der Physik*, (Verlag Harri Deutsch, Frankfurt, 2. Auflage, S. 365)

Der Carnot'sche Kreisprozess

Ziel:

An diesem Posten erfahren Sie

- wann die theoretischen Grundlagen von Wärmearbeitsmaschinen erarbeitet wurden.
- wie die Arbeit einer Wärmearbeitsmaschine bestimmt werden kann.

Ablauf:

Lesen Sie den folgenden Text durch und beantworten Sie die Fragen. Für diesen Posten benötigen Sie 20 Minuten.

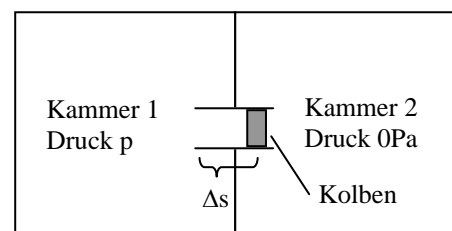
Der Kreisprozess für ideale Gase

Bereits James Watt erkannte, dass bei Bemühungen um die Erhöhung des Wirkungsgrades von Dampfmaschinen nicht nur Experimente, sondern auch theoretische Überlegungen angestellt werden müssen. Ein Ingenieur im Dienste Napoleons, Sadi Carnot (1796 – 1832, s. Titelbild), konnte die Zustandsänderungen eines idealen Gases beschreiben, welche dieses in einem Kreisprozess vollführt.

Lösen Sie dazu folgendes Problem: Wieviel Arbeit verrichtet jemand, der mit einem Kolben ein Gas zusammenpresst? Dies machen Sie zum Beispiel beim Aufpumpen eines Fahrradreifens. Wir betrachten dazu zuerst ein einfacheres Beispiel:

- a) Wir stellen uns zwei (sehr grosse) Kammern vor, welche nur durch ein, mit einem beweglichen Kolben verschlossenes, Rohr verbunden sind (s. Abb. 1). Der Druck in Kammer 1 sei p , in Kammer 2 sei der Druck 0 Pa (Vakuum). Nun sollen Sie den Kolben um die Strecke Δs im Rohr in Richtung Kammer 1 verschieben, sodass das Volumen von Kammer 1 um ΔV kleiner wird. Da Kammer 1 sehr gross ist, nehmen wir vereinfachend an, dass sich p dabei nicht ändert.

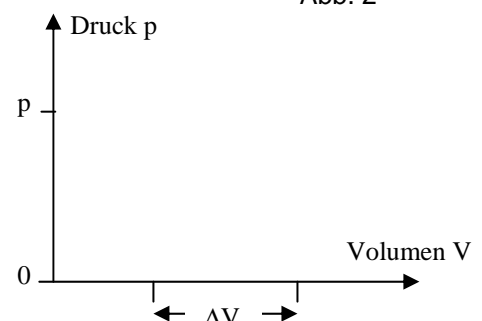
Abb. 1



Wie gross ist die in diesem Fall verrichtete Arbeit W (ausgedrückt durch ΔV)? Tipp: Benutzen Sie zuerst die Definition der Arbeit, bringen Sie dann die eine Grösse darin (Kraft F) mit dem Druck in Zusammenhang und vereinfachen Sie!

- b) Füllen Sie zur Aufgabe das vorbereitete V-p-Diagramm (s. Abb. 2) aus und überlegen Sie sich, was im Diagramm W ist, wenn Sie die in a) gefundene Formel mit dem Diagramm vergleichen!

Abb. 2



Nun kehren wir zu Carnot zurück. In Abbildung 3 ist ein Kreisprozess in einem V-p-Diagramm zu sehen.

Wir starten dabei mit einem Gas im Zustand 1. Über Zustand 2 gelangen wir zu Zustand 3. Dabei wird vom Gas mechanische Arbeit verrichtet. Anschliessend geht es über Zustand 4 wieder zu Zustand 1, der dem Anfangszustand entspricht. Dieser zweite Teil braucht Energie. Weil aber die abgegebene Arbeit grösser ist, als die zugeführte Energie, bleibt am nach einem Umlauf die Arbeit W übrig. Es wird also vom Gas mehr mechanische Arbeit abgegeben, als von diesem bei der Kompression aufgenommen wird. Wie wir von der vorangehenden Seite wissen, entspricht die umrandete Fläche der abgegebenen Arbeit W , die man aus diesem Kreisprozess erhält.

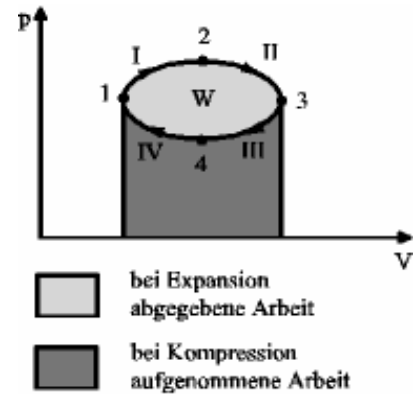


Abb. 3

Carnot fand vier Zustandsänderungen, die einen solchen Kreisprozess ergeben. Diesen Kreisprozess für einen idealen thermischen Energiewandler nennen wir Carnot'scher Kreisprozess. Dieser ist in Abbildung 4 dargestellt.

Wir beginnen in Punkt 1. Die anschliessende Expansion verläuft isotherm, d.h. bei konstanter Temperatur T_h . Dabei muss Energie (Wärme Q_h) von aussen in das System fließen. Bei dieser Zustandsänderung handelt es sich somit um eine **isotherme Expansion**.

Von Punkt 2 zu Punkt 3 führt das Gas eine **adiabatische Expansion** aus, d.h. eine Expansion ohne Energiefluss nach aussen oder innen. Diese führt uns zu einer niedrigeren Temperatur T_n .

Nun folgt eine **isotherme Kompression**. Weil diese bei einer niedrigeren Temperatur erfolgt als die vorhergehende isotherme Expansion, braucht sie weniger Energie Q_n , als die Expansion an Energie Q_h lieferte. Diese Zustandsänderung führt uns von Punkt 3 zu Punkt 4.

Nun folgt eine **adiabatische Kompression**, die uns in den Ausgangszustand 1 zurück führt.

Der Umgebung wird dabei Energie $\Delta Q = Q_h - Q_n$ entzogen, die die Maschine in Arbeit W umwandelt. Das Gas braucht Wärme aus einem Wärmereservoir der Temperatur T_h und gibt Wärme an ein kälteres Wärmereservoir T_n ab. Bei der Dampfmaschine, die Carnot damals verbessern wollte, handelte es sich bei den Wärmereservoirs um den Dampf im Dampfkessel und um die Kühlung auf der Dampfauslassseite, dem Kondensator.

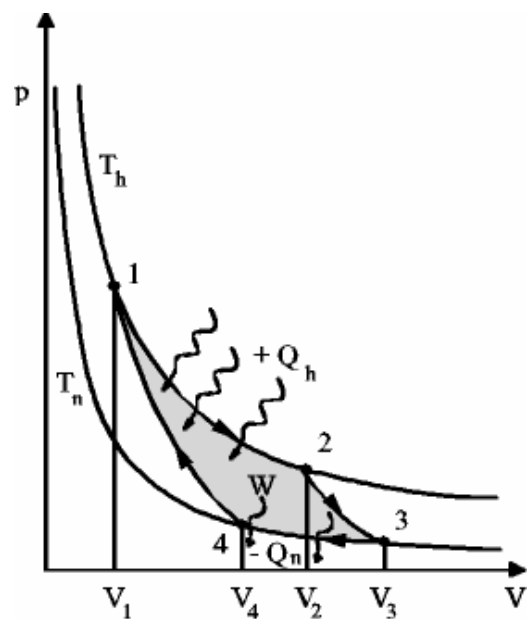


Abb. 4

Frage:

1. Weshalb ist die adiabatische Expansion im Carnot'schen Kreisprozess nötig?