

Übungsblatt 08

Ausgabe: Dienstag, 23.06.20; Besprechung: Montag, 29.06.20

Aufgabe 1 Stirlingmaschine

Eine Stirlingmaschine ist skizziert in Abb. 1. Sie enthält eine Arbeitssubstanz (z.B. Luft), welche zwischen zwei Kolben hin und her gepumpt wird und dabei Wärme vom warmen und kalten Reservoir transportiert wird. Das Gas wird dabei durch einen Regenerator gepumpt, typischerweise ein Drahtgeflecht, dessen Temperatur sich graduell von links nach rechts ändert. Die Kolben sind über eine Kurbelwelle verbunden, die Details hiervon ignorieren wir hier.

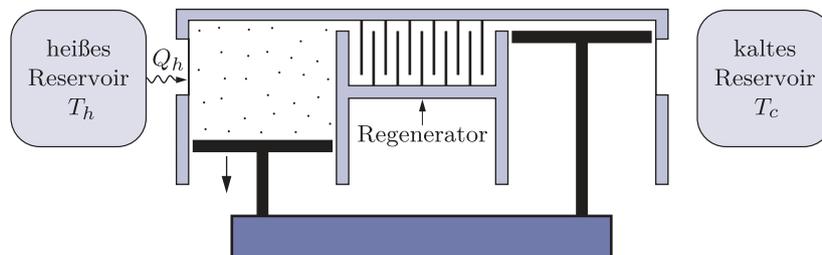


Abbildung 1: Stirlingmaschine während des Leistungstaktes: der heiße Kolben wird nach außen bewegt, der kalte Kolben ist in Ruhe. Details der Verbindung beider Kolben wurde für die Skizze ignoriert. Aus Schroeder, „Thermodynamik und statistische Physik“.

- A *Leistungstakt*. Das Gas hat Temperatur T_h und nimmt Wärme auf, also expandiert isotherm und schiebt den Kolben dabei heraus. Der Kolben im zweiten Zylinder bleibt ganz nach innen gedrückt.
- B *Transfer zum kalten Zylinder*. Der heiße Zylinder bewegt sich nach innen, der kalte nach außen, sodass das Volumen konstant bleibt. Das Gas verliert dabei Wärme an den Regenerator und kühlt auf T_C ab.
- C *Kompressionstakt*. Der kalte Kolben bewegt sich nach innen und komprimiert das Gas isotherm. Der warme Kolben bleibt dabei ganz nach innen gedrückt.
- D *Transfer zum heißen Zylinder*. Der kalte Kolben bewegt sich ganz hinein und transportiert das Gas dadurch bei konstantem Volumen in den heißen Kolben. Im Regenerator nimmt es Wärme auf, sodass es im Anschluss bei Temperatur T_h ist.

(a) Zeichnen Sie das PV -Diagramm für den idealisierten Stirling-Kreisprozess.

- (b) Wir ignorieren nun den Regenerator: Dadurch wird in Schritt B die Wärme an das kalte Reservoir abgegeben und in D die Wärme vom heißen Reservoir aufgenommen. Berechnen Sie hierfür den Wirkungsgrad abhängig von dem Temperaturverhältnis T_c/T_h vom Kompressionsverhältnis V_1/V_2 .
- (c) Welchen Effekt hat nun ein idealer Regenerator? Zeigen Sie, dass wir damit den selben Wirkungsgrad erreichen würden wie die Carnot-Maschine.
- (d) Überlegen Sie sich die Vor- und Nachteile einer Stirlingmaschine zur Carnotmaschine sowie Verbrennungsmotoren. Diskutieren Sie Komplexität, Gewicht, Wirkungsgrad, Leistung etc.

Aufgabe 2 Stabilitätsbedingungen

- (a) Zeigen Sie, dass die Funktion $Y(X) = X^n$ für $X > 0$ konkav ist, wenn $0 < n < 1$, und konvex, wenn $n < 0$ oder $n > 1$.

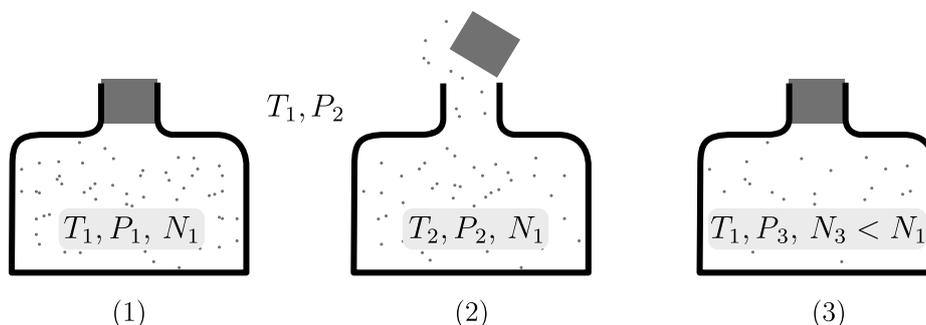
Die folgenden Gleichungen seien Fundamentalgleichungen physikalischer Systeme:

(b) $F = A\sqrt{\frac{N^5 T}{V^3}}$	(c) $H = \frac{CS^2\sqrt{P}}{N}$
(d) $G = B\sqrt{T}P^2N$	(e) $U = D\sqrt{\frac{S^3 V^4}{N^5}}$

wobei A, B, C und D positive Konstanten sind. Welche Gleichungen verletzen das Stabilitätskriterium? Beachten Sie, dass es nicht immer hinreichend ist, die zweiten Ableitungen auszurechnen.

Aufgabe 3 Messung des Isentropenexponenten

Wir betrachten das *Experiment von Clement und Desormes* zur Bestimmung des Isentropenexponenten γ . Ein Behälter, gefüllt mit einem idealen Gas, ist in thermischem Gleichgewicht mit der Umgebung bei Temperatur T_1 . Er steht unter Druck P_1 , welcher höher ist als der Umgebungsdruck P_2 . Nun wird der Behälter geöffnet, sodass sich der Druck schnell (daher isentrop) ausgleicht, wobei die Temperatur zu T_2 absinkt. Die Teilchenzahl nimmt dabei ab. Der Behälter wird in Schritt (3) wieder geschlossen und thermalisiert, wobei sich der Druck P_3 einstellt.



- (a) Skizzieren Sie das PV -Diagramm für den Versuchsablauf.

