

Prof. Dr. Gernot Schaller
 Dr. Javier Cerrillo, Felix Köster, Alexander Kraft

2. Übungsblatt – Theoretische Physik IV: Thermodynamik und Statistik

Abgabe: Do. 02.05.2019 bis 12:00 Uhr, Briefkasten ER-Gebäude

Aufgabe 4 (1+4+1=6 Punkte): Stirling'scher Kreisprozess

Der Stirling'sche Kreisprozess beschreibt einen Heißgasmotor, bei dem ein Gas innerhalb eines Zylinders einen Kreisprozess durchläuft. Der Prozess besteht aus vier Schritten, die sich zyklisch wiederholen: (1) Eine isotherme Expansion unter Kontakt mit einem warmen Bad, (2) eine isochore Abkühlung vom Gas im Kontakt mit dem Zylinder, (3) eine isotherme Kompression unter Kontakt mit einem kalten Bad und (4) eine isochore Erwärmung des Gases wegen der im Zylinder gespeicherten Wärme.

- (a) Skizzieren Sie zunächst den Prozessablauf des Stirling'schen Kreisprozesses im p - V -Diagramm.
- (b) Berechnen Sie die Wärmeaustausche und verrichteten Arbeiten während der zwei Isothermen und zwei Isochoren. Welche Arbeit ΔW wird während eines Zyklus verrichtet?
- (c) Zeigen Sie, dass der Wirkungsgrad η den Wirkungsgrad des Carnot-Kreisprozesses η_c gleicht. Beachten Sie dabei, welcher Wärmeaustausch von Bedeutung ist.

Aufgabe 5 (1+1+6+1=9 Punkte): Realer Carnot-Prozess

Für technische Anwendung von Wärmekraftmaschinen ist die Maximierung der abgegebenen Leistung von besonderem Interesse (die abgegebene Leistung des idealen Carnot-Prozesses ist identisch Null!). Damit die Prozesse in endlicher Zeit ablaufen können, ist es erforderlich, dass bei Kontakt zwischen dem Arbeitsmedium und einem Reservoir eine endliche Temperaturdifferenz besteht. Die isothermen Prozesse eines 'realen' Carnot-Prozesses, der an die zwei Reservoirs mit $T_1 > T_2$ angekoppelt ist, werden folgendermaßen beschrieben: Das Arbeitsmedium hat bei der isothermen Expansion die konstante Temperatur $T'_1 < T_1$ und für die pro Zeit abgegebene Wärmemenge wird folgender Ansatz gemacht: $dQ_1/dt = k_1 F_1 (T_1 - T'_1)$, wobei F_1 die Größe der Kontaktflächen und k_1 eine materialabhängige Konstante ist. Analoges gilt für die isotherme Kompression: $T'_1 > T'_2 > T_2$, $dQ_2/dt = k_2 F_2 (T_2 - T'_2)$. Im folgenden sei $k_2 F_2 = k_1 F_1 = K$. Weiter wird angenommen, dass beide isothermen Prozesse die Zeit Δt_{iso} benötigen und die adiabatischen Prozesse die Zeit Δt_a . Außerdem sei $\Delta t_a \propto \Delta t_{iso}$.

- (a) Skizzieren Sie zunächst den Prozessablauf des 'realen' Carnot-Prozesses im p - V -Diagramm.
- (b) Wie lautet der Wirkungsgrad $\eta'_C(T'_1, T'_2)$ und welche Arbeit ΔW wird während eines Zyklus verrichtet?
- (c) Bei welchen Temperaturen T'_1, T'_2 wird die abgegebene Leistung P maximal und welchen thermischen Wirkungsgrad η'_C hat dieser 'reale' Carnot-Prozess? Geben Sie für den Fall maximaler Leistung η'_C explizit in Abhängigkeit von T_1 und T_2 an. Diese ist die sogenannte Chambadal-Novikov-Effizienz, manchmal auch als Curzon-Ahlborn-Effizienz bekannt.

Hinweis: Finden Sie zwei Darstellungsmöglichkeiten für die geleistete Arbeit ΔW eines Zyklus, sodass Sie eine Gleichung erhalten, die die Temperaturen T_1, T_2, T'_1 und T'_2 miteinander verknüpft. Dadurch hängt die Leistung P effektiv nur noch von einer der beiden Temperaturen T'_1 bzw. T'_2 ab.

Bitte Rückseite beachten! →

2. Übung TPIV SS 19

- (d) Das "West Thurrock Kohlekraftwerk" (GB) arbeitet zwischen den Temperaturen $T_1 = 565^\circ\text{C}$ und $T_2 = 25^\circ\text{C}$. Gemessen wird ein Wirkungsgrad $\eta = 36\%$. Berechnen Sie η_C und η'_C und nehmen Sie Stellung zu den Resultaten.

Aufgabe 6 (1+2+1+1=5 Punkte): Irreversibilität

Bei Anwesenheit irreversibler Übergänge ist ein Kreisprozeß möglich, bei dem eine von Null verschiedene Arbeit geleistet wird aus der aus einem einzelnen Thermostaten entzogene Wärme:

- (a) Kombinieren Sie eine isotherme Kompression, eine isochore Erwärmung (beide Teilprozesse im Kontakt mit einem Bad der Temperatur T) und eine adiabatische Ausdehnung bis zur Temperatur T_1 , um einen Kreisprozess zu realisieren. Skizzieren Sie den Prozessablauf im p - V -Diagramm.
- (b) Berechnen Sie die geleistete Arbeit laut dem ersten Hauptsatz. Zeigen Sie dass die geleistete Arbeit gleich Null sein muss mit Hilfe der Definition der Entropie $dS = \frac{dQ}{T}$.
- (c) Die isochore Erwärmung wird jetzt irreversibel durchgeführt. Teilen Sie jetzt den Kreisprozeß in reversible und irreversible Teilprozesse. Zeigen Sie, dass die Änderung der inneren Energie in beiden Teilprozesse $dU_{irr} = -dU_{rev}$ ist. Zeigen Sie schließlich

$$dQ_{rev} + dQ_{irr} = dW_{rev} + dW_{irr} \quad (1)$$

aus dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik.

- (d) Zeigen Sie mit Hilfe des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik, dass die geleistete Arbeit jetzt ungleich Null sein kann.

Scheinkriterien:

- Mindestens 50% der Übungspunkte (Abgabe in 3er Gruppen).
Einzel- und Zweierabgaben nicht akzeptiert!
- Regelmäßige, aktive Teilnahme an den Tutorien.
- Bestandene Klausur.

Sprechstunden		
Prof. Dr. Gernot Schaller	EW 744	Di, 13-14 Uhr
Dr. Javier Cerrillo	EW 705	Do, 12-13 Uhr
Felix Köster	EW 629	Mo, 15-16 Uhr
Alexander Kraft	EW 269	Mi, 15-16 Uhr