INSTITUT FÜR THEORETISCHE PHYSIK
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG

Prof. Dr. W. Brenig
Dipl.-Ing. Ch. Jurecka

THERMODYNAMIK UND STATISTISCHE MECHANIK — WS 1998/99

7. Übungsblatt — Abgabe: Dienstag, 1. 12. 98, bis 11.25 Uhr

18. **Zur adiabatischen Invarianz des Phasenraums**

Ein Teilchen (Impuls $p = mv$, $p = |\vec{p}|$, $v = |\vec{v}|$) befinde sich in einem eindimensionalen Kasten der Länge l. Das Phasenraumvolumen dieses Systems ist $\phi = 2lp$.

(a) Eine reversible Kompression des Systems werde nun durch langsames Hereinschieben eines Stempels (Geschwindigkeit $u = |\vec{u}|$) beschrieben. Wesentlich ist hierbei, daß Reflexionen des Teilchens am Stempel ermöglicht werden, um ein Durchlaufen einer Folge von Gleichgewichtszuständen zu erreichen. Berechnen Sie die Änderung des Phasenvolumens bei der Kompression! (Die Masse des Stempels sei viel größer als die Masse des Teilchens.)

(b) Im irreversiblen Fall werde der Stempel so schnell hereinbewegt, daß es zu keinen Stößen des Teilchens mit dem Stempel kommt. Berechnen Sie wieder die Änderung des Phasenvolumens.

(c) Erklären Sie anschaulich (ohne Rechnung), wie die jeweiligen ((a),(b)) Entropieänderungen zustandekommen.

19. **Zustandsänderungen eines idealen Gases**

Ein ideales Gas (Volumen V, Druck P, Temperatur T, n Molzahl, R Gaskonstante) wird im Gleichgewicht durch die Zustandgleichung

$$PV = nRT \tag{1}$$

beschrieben.

(a) Berechnen Sie die Arbeit w einer reversiblen Expansion eines idealen Gases bei konstanter Temperatur.

(b) Berechnen Sie die Arbeit w, wenn die Expansion nicht isotherm ($T = \text{const.}$), sondern adiabatisch ($S = \text{const.}$) durchgeführt wird. Zeigen Sie außerdem, daß die Zustandänderung durch die Adiabatengleichung

$$PV^\gamma = \text{const.} \qquad \text{mit} \qquad \gamma = \frac{C_P}{C_V}. \tag{2}$$

beschrieben wird. Verwenden Sie hierbei, daß für das ideale Gas $C_P - C_V = nR$ gilt.

(c) Berechnen Sie die Arbeit w bei einer Expansion gegen konstanten äußeren Druck P_A.

(d) Zeigen Sie, daß bei isobarer ($P = \text{const.}$) Zustandsänderung gilt:

$$w = (C_P - C_V)\Delta T. \tag{3}$$

20. **Carnotscher Wirkungsgrad**

    Berechnen Sie den Wirkungsgrad $\eta = \frac{\oint \delta A}{Q_1}$, also den Quotienten aus insgesamt geleisteter Arbeit und eingesetzter Wärme, für den Carnotschen Kreisprozeß zuerst allgemein, dann für ein ideales Gas, indem Sie die Arbeit für die Teilschritte ausrechnen.

21. **Otto- und Dieselmotor**

    Als Näherung für einen Ottomotor (Dieselmotor) kann der folgende Kreisprozeß betrachtet werden: 1) adiabatische Kompression des gasförmigen Brennstoff-Luft-Gemisches (von Luft), 2) isochore ($V = \text{const.}$) Erwärmung vom Kompressionsvolumen $V = V_k$ (isobare Erwärmung mit Volumenänderung von V_k nach $V_k + V_e$, V_e: Einspritzvolumen. 3) adiabatische Expansion nach $V_k + V_h$ (V_h: Hubvolumen) und 4) isochore Abkühlung (Auspuffschritt).

    (a) Wie sehen die Prozesse im (S, V)-Diagramm aus? Man skizziere sie auch im (P, V)-Diagramm.

    (b) Man bestimme für ein ideales Gas als Arbeitsgas übertragene Wärme und geleistete Arbeit bei den vier Schritten (als Funktion der Temperaturen an den vier Eckpunkten).

    (c) Man zeige, daß der Wirkungsgrad gegeben ist durch $\eta = 1 - \epsilon^{1-\gamma}$ bzw. $\eta = 1 - \epsilon^{1-\gamma} \frac{\phi^{\gamma}-1}{\gamma(\phi-1)}$ mit $\gamma = C_P/C_V$, $\epsilon = (V_k + V_h)/V_k$ (Verdichtungsverhältnis) und $\phi = (V_k + V_e)/V_k$ (Einspritzverhältnis).