

Prüfungsbedingung:

- 100 Punkte insgesamt
- 20 Punkte können während des Semesters durch Abgabe von Übungsbeispielen erworben werden (jeweils vor den Seminarterminen am 11.11., 13.01.)
- 80 Punkte für Theorie und Beispiele bei der zweistündigen schriftlichen Prüfung am 27.01.2025
- Erlaubte Hilfsmittel: Taschenrechner

Beispiele für den 11.11.:

1, 3, 5, 8, 14, 24, 32, 36, 39, 40

Beispiele

Phänomenologische Thermodynamik

- 1 Der Taupunkt betrage 5°C . Wie hoch war die Luftfeuchtigkeit untertags bei 24°C ? (Dampfdruck bei 5°C beträgt $8.7 \times 10^2 \text{Pa}$.)
- 2 Eine 100l Badewanne ($\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 10^3 \text{kg/m}^3$) soll mit 38°C warmen Wasser gefüllt werden. Es stehen nur kaltes Wasser mit $T_L = 10^{\circ}\text{C}$ und solargeheiztes Wasser mit $T_H = 78^{\circ}\text{C}$ zur Verfügung.
 - a) Wieviel Liter kaltes und wieviel Liter heisses Wasser werden benötigt?
 - b) Wie gross ist die gesamte Entropieänderung des Wassers ($c_{\text{H}_2\text{O}} = 4186 \text{J/kgK}$)?
 - c) Kann das Abwasser wieder durch separate Abflüsse in warmen und kalten Anteil aufgeteilt werden? (mit Begründung)
- 3 Ein Automotor mit 100PS ($1\text{kW} = 1.36\text{PS}$) hat einen Wirkungsgrad von 15%. Die Abgastemperatur betrage 85°C (Kühlwassertemperatur), die Eingangstemperatur sei 500°C (Verbrennungstemperatur des Benzin-Luft Gemisches).
 - a) Berechnen die den Wirkungsgrad relativ zum maximal möglichen Wirkungsgrad.
 - b) Wieviel Leistung in geht in die Bewegung des Autos über und welche Wärmemenge wird pro Stunde an die Luft abgegeben?
- 4 Auf welches Volumen V muß man einen Ballon ($m = 0,015 \text{kg}$) mit Helium bei einem Druck von $p = 1.5 \cdot 10^5 \text{Pa}$ aufblasen, damit er in Luft gerade schwebt? ($\rho_{\text{Luft}} = 1,29 \text{kg/m}^3$, $\rho_{\text{He}} = 0,178 \text{kg/m}^3$ bei $p_0 = 10^5 \text{Pa}$)?
- 5 Ein Mol N_2 bei 5°C wird bei konstantem Druck (10^5Pa) auf 100°C erwärmt. Wieviel ändert sich die innere Energie, wie groß ist die vom Gas geleistete Arbeit und die zugeführte Wärme?
- 6 Ein Bleigeschoss mit Masse m steckt in einem Türrahmen und ist beim Aufprall offensichtlich vollständig geschmolzen ($c_{\text{Pb}} = 190 \text{J/kgK}$, $L_{\text{Pb}} = 0.25 \cdot 10^5 \text{J/kg}$). Die Schmelztemperatur von Blei beträgt $T_{\text{Pb}} = 327^{\circ}\text{C}$. Mit welcher Mindestgeschwindigkeit wurde das Geschoss (bei $T = 20^{\circ}\text{C}$) abgefeuert?
- 7 Ein Mol eines idealen vieratomigen Gases ($f = 6$) bei $p_1 = 1 \cdot 10^5 \text{Pa}$ und $T_1 = 490 \text{K}$ durchläuft einen Prozess, bei dem der Druck linear mit der Temperatur steigt auf $p_2 = 1.6 \cdot 10^5 \text{Pa}$ und $T_2 = 720 \text{K}$.
 - a) Wie ändert sich die innere Energie?
 - b) Wie groß ist die vom Gas verrichtete Arbeit?
 - c) Wie groß ist die dem Gas zugeführte Wärme?

- 8 Eine 2cm dicke Eisplatte schmilzt in der Sonne. Die Leistungsdichte der Sonnenstrahlen beträgt $I = 1\text{kW/m}^2$, der Einfallswinkel betrage 70° zum Lot.
 - a) Welche solare Leistungsdichte führt zum Schmelzen des Eises? (Der Absorptionsgrad, d.h. der Anteil der absorbierten Leistung, betrage 5%.)
 - b) Wie lange dauert es die Eisplatte bei $T = 0^\circ\text{C}$ zu schmelzen? ($\rho = 917\text{kg/m}^3$, $L_F = 3.33 \times 10^5\text{J/kg}$)
- 9 Die spezifische Wärme pro Mol von Kalium bei niedrigen Temperaturen ist durch den Ausdruck $c_V = aT + bT^3$ gegeben ($a := 2.08\text{mJ/molK}^2$, $b := 2.57\text{mJ/molK}^4$).
Berechne die Entropieänderung von 0.25mol Kalium, wenn seine Temperatur von 3K auf 1K verringert wird.
- 10 30kg Wasser bei 20°C werden mit 30kg Wasser bei 24°C vermischt. Wie groß ist die Entropiezunahme unter der Annahme, dass $T_{\text{HM}} = 23^\circ\text{C}$ und $T_{\text{LM}} = 21^\circ\text{C}$?
- 11 Ein Konzertsaal mit $V = 8000\text{m}^3$ sei mit 300 Personen besetzt. Die Wärmeleistung einer ruhig sitzenden Person betrage 80W. Welcher Temperaturanstieg ergibt sich während eines 2-stündigen Konzerts, wenn die Klimaanlage ausfällt und keine Wärme entweichen kann? ($\rho_{\text{Luft}} = 1.29\text{kg/m}^3$, $c_{\text{Luft}} = 1005\text{J/kgK}$)
- 12 Ein Eis mit Kuchen schlage mit 500kcal zu Buche. Wieviele Höhenmeter muss eine Person mit 60kg überwinden, um diese Energie abzubauen? ($g = 9.81\text{m/s}^2$)
- 13 Ein Autoreifen wird bis zu einem Druck von 200kPa, bei 10°C , mit Luft gefüllt. Nach einer Fahrt von 100km hat sich die Temperatur der Reifen auf 40°C erhöht. Wie gross ist der Druck?
- 14 Wieviel Energie benötigt ein Kühlschrank um 2kg Wasser mit 20°C zu Eis mit -10°C abzukühlen. Auf welche Höhe kann das Wasser mit der gleichen Energie gehoben werden.
- 15 In einem Kolben mit Atmosphärendruck ($p = 1.01 \cdot 10^5\text{Pa}$) wird 1kg Wasser bei 100°C zum Kochen gebracht. (Dampf Temperatur ebenfalls 100°C , $L = 22.6 \times 10^5\text{J/kg}$). Das Volumen nimmt dabei von 1dm^3 (flüssiges Wasser) auf 1.671m^3 (Dampf) zu.
 - a) Welche Arbeit leistet das Gas am Kolben? Wieviel Wärme wird bei diesem Prozess benötigt?
 - b) Um welchen Betrag ändert sich die innere Energie des Systems?
- 16 Gegeben sind zwei identische Kupferblöcke der Masse $m = 1.5\text{kg}$ mit unterschiedlichen Temperaturen, $T_1 = 60^\circ\text{C}$ und $T_2 = 20^\circ\text{C}$, wobei $c_{\text{Cu}} = 386\text{J/kgK}$.
 - a) Welche Temperatur stellt sich ein, wenn die Kupferblöcke in einem isolierten Kasten ins thermische Gleichgewicht gebracht werden?
 - b) Um welchen Betrag ändert sich die Entropie des gesamten Systems?
- 17 Eine Carnot-Maschine arbeite zwischen Wärmereservoirs der Temperaturen $T_H = 850\text{K}$ und $T_L = 300\text{K}$.
 - a) Welcher Wirkungsgrad hat diese Maschine?
 - b) Ein Zyklus der Maschine daure 0.25s und leiste eine Arbeit von 1200J. Wie groß ist die mittlere Leistung der Maschine?
 - c) Welche Wärme wird pro Zyklus dem heissen Reservoir entzogen? Welche Wärme wird pro Zyklus als Abwärme abgegeben?
 - d) Welche Entropieänderung erfährt das heissere und das kühlere Reservoir pro Zyklus?

- 18 Ein Gas verliert Wärme indem es isochor ($V = 6.9\text{l}$) den Druck von $2.2 \times 10^5\text{Pa}$ auf $1.5 \times 10^5\text{Pa}$ verringert. Anschliessend expandiert das Gas isobar auf 10l bis die ursprüngliche Temperatur wieder erreicht wird.
- Wie groß ist die vom Gas verrichtete Arbeit?
 - Wie ändert sich die innere Energie vom Anfangs- zum Endzustand?
 - Wieviel Wärme wurde dem Gas zu- bzw. vom Gas abgeführt?
- 19 Eis der Masse $m = 720\text{g}$ bei einer Temperatur von -10°C wird zu Wasser der Temperatur 15°C geschmolzen.
- Wieviel Wärme wird dafür benötigt?
 - Angenommen, dem Eis wird nur eine Wärmemenge von 210kJ zugeführt. Welcher Endzustand (im thermischen Gleichgewicht) resultiert?
- 20 In einem Kolben wird 1l Helium unter Druck $p_1 = 2.02 \cdot 10^5\text{Pa}$ bei $T_1 = 27^\circ\text{C}$ eingeschlossen. Volumen und Druck werden nun verdoppelt, indem das Gas zunächst auf $V_2 = 2V_1$ bei konstanter Temperatur (isotherm) entspannt wird. Anschliessend wird bei konstantem Volumen V_2 erwärmt, bis der Druck $p_2 = 2p_1$ erreicht ist.
- Welche Masse besitzt das Helium ($m_{\text{He}} = 4u$)?
 - Wie hoch ist die Temperatur T_2 ?
 - Welches Volumen V_3 besitzt das Gas, wenn es wieder auf den Druck p_1 entspannt wird und dabei auf $T_3 = 900\text{K}$ abkühlt?
- 21 Die Dichte von Luft bei Raumbedingungen ($p = 1.01 \times 10^5\text{Pa}$) beträgt $\rho = 1.29\text{kg/m}^3$. Betrachte die "Luftmoleküle" als gleiche kugelförmige Teilchen.
- Wie gross ist die root-mean-square Geschwindigkeit der Luftteilchen?
 - Wie hängt dieses Resultat mit der Schallgeschwindigkeit zusammen?
- 22 Ein Körper der Masse $m = 1000\text{kg}$ stößt auf einen gleich schweren, ruhenden Körper (spez. Wärmekapazität $c = 2.1\text{kJ/kgK}$). In beiden wird nach dem völlig unelastischen Stoß eine Temperaturerhöhung von 10K gemessen. Wie groß war die Geschwindigkeit vor dem Stoß?
- 23 Die Dichte von Kupfer beträgt $8.9 \cdot 10^3\text{kg/m}^3$, jedes Kupferatom hat eine Masse von $63u$, wobei $1u = 1.66 \cdot 10^{-27}\text{kg}$. Wie groß ist der mittlere Abstand zweier Kupferatome?
- 24 Drei Mol eines idealen zweiatomigen Gases ($f = 5$) bei $p_1 = 1 \cdot 10^5\text{Pa}$ und $T_1 = 490\text{K}$ durchläuft einen Prozess, bei dem der Druck linear mit der Temperatur steigt auf $p_2 = 1.6 \cdot 10^5\text{Pa}$ und $T_2 = 720\text{K}$ ($R=8.314\text{ J/mol K}$)
- Wie ändert sich die innere Energie?
 - Wie groß ist die vom Gas verrichtete Arbeit?
 - Wie groß ist die dem Gas zugeführte Wärme?
- 25 Ein Mol Stickstoff und ein Mol Argon (ideales Gas) befinden sich in getrennten, gleichgroßen isolierten Behältern bei gleicher Temperatur. Die beiden werden verbunden, sodass sich die Gase vermischen (jeweils isotherm auf doppeltes Volumen).
- Wie groß ist die Entropieänderung jedes Gases, wie groß ist die Entropieänderung der Umgebung?
 - Wie groß ist die Entropieänderung wenn der Behälter mit Argon doppelt so groß ist, wie der Behälter mit Stickstoff?

- 26 Ein Maschinenhersteller behauptet, dass seine Maschine pro Sekunde 9kJ Wärme bei 475K aufnimmt und 4kJ bei 325K abführt. Kann das sein?
- 27 Ein Mol Stickstoff und zwei Mol Argon befinden sich in getrennten, isolierten Behältern bei gleicher Temperatur, wobei der Behälter mit Argon doppelt so groß ist wie der Behälter mit Stickstoff. Die beiden werden verbunden, sodass sich die Gase vermischen.
- Wie groß ist die Entropieänderung jedes Gases?
 - Wie groß ist die Entropieänderung der Umgebung?
 - Wie groß ist die Entropieänderung wenn beide Behälter gleich groß sind?
- 28 Angenommen zwei Adiabaten schneiden sich in einem Punkt im PV-Diagramm. Mithilfe einer Isothermen wird nun ein Kreisprozess konstruiert.
- Wie lautet Arbeit und Wärme für diesen Kreisprozess?
 - Welcher Hauptsatz wird verletzt und warum?
 - Welche Annahme ist daher unzulässig?
- 29 Ein ideales Gas expandiert bei konstantem Druck von $2 \times 10^5 \text{Pa}$ von 400ml auf 610ml. Welche Arbeit wird dabei vom Gas geleistet? Nimmt die innere Energie zu oder ab (mit $\delta Q \equiv 0$)?
- 30 Aus einem Eisklumpen der Masse $m = 1\text{kg}$ bei -5°C soll eine Suppe gekocht werden (Normaldruck). Die Schmelzwärme lautet $L_F = 333\text{kJ/kg}$, die Wärmekapazitäten $c_{\text{Eis}} = 2.1\text{kJ/kgK}$ und $c_{\text{Wasser}} = 4.2\text{kJ/kgK}$.
- Wieviel Wärme wird dafür mindestens benötigt?
 - Welche Anteile der Wärme wird für das Schmelzen benötigt, welcher Anteil für das Erwärmen des Eises?
- 31 Wieviel Energie benötigt ein Kühlschrank um 1.5kg Wasser mit 20°C zu Eis mit -12°C abzukühlen?
Auf welche Höhe kann das Wasser mit der gleichen Energie gehoben werden.
- 32 Ein Reifen wird bei 15°C mit Luft gefüllt, bis sein Überdruck 220kPa beträgt. Welcher Bruchteil der ursprünglichen Luftmenge muss entweichen, wenn die Temperatur auf 38°C ansteigt und der Druck von 220kPa erhalten bleiben soll?
- 33 Bestimmen Sie das Volumen von 1mol eines beliebigen Gases bei Normaldruck $p = 1.01 \times 10^5 \text{Pa}$ unter der Annahme, dass es sich wie ein ideales Gas verhält.
- Bei 0°C
 - Bei Raumtemperatur 20°C
- 34 Wieviel Wasser kann in einem Raum mit Volumen $V = 240\text{m}^3$ verdunsten, wenn die Feuchte bei 25°C bereits 80% beträgt? ($m_{\text{H}_2\text{O}} = 18u$)
- 35 Vom Grund eines Sees steigen Luftblasen auf. Das Volumen dieser Blasen verdreifache sich auch dem Weg zur Oberfläche. (Die Temperatur T des Sees und daher auch der Luftblase sei konstant, d.h. isotherme Expansion)
- Wie verhält sich der Druck p_1 am Seegrund zum (Luft-)Druck $p_2 = 1.01 \cdot 10^5 \text{Pa}$ an der Oberfläche?
 - Wie nimmt der Druck mit der Tiefe des Sees zu? Betrachte dazu eine Wassersäule mit Querschnitt A , auf die an der Oberfläche der Luftdruck p_2 wirkt. Der Druck in der Tiefe nimmt

mit dem Gewicht der Wassersäule zu. ($\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$ ist die Dichte von Wasser)

c) Wie tief ist der See?

- 36 Eine Wärmekraftmaschine mit einem Carnot-Wirkungsgrad von 29% nutzt eine Wärmequelle bei 580°C . Wie hoch muss die Temperatur der Wärmequelle sein, wenn der Wirkungsgrad auf 35% verbessert werden soll?
- 37 In einem Kolben mit Atmosphärendruck ($p = 1.01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$) wird 1kg Wasser bei 100°C zum Kochen gebracht. (Dampf Temperatur ebenfalls 100°C). Das Volumen nimmt dabei von 1 dm^3 (flüssiges Wasser) auf 1.671 m^3 (Dampf) zu.
- a) Welche Arbeit leistet das Gas am Kolben?
 - b) Wieviel Wärme wird bei diesem Prozess benötigt?
 - c) Um welchen Betrag ändert sich die innere Energie des Systems?
- 38 Eine Stirlingmaschine arbeite zwischen $T_H = 850 \text{ K}$ und $T_L = 300 \text{ K}$ und leiste pro Zyklus von 0.25 s eine Arbeit von 1200 J . Welcher Wirkungsgrad hat die Maschine? Welche Wärmeleistung wird zum Betrieb benötigt?
- 39 Eine Wärmepumpe mit Leistungszahl 4 verbraucht 1500 W . Welche Heizleistung wird erzielt, wie groß ist die Leistungszahl, wenn sie als Klimaanlage verwendet wird?
- 40 1kg Eis schmilzt sehr langsam bei 0°C in einem sehr großen Wasserbehälter gleicher Temperatur. Wie ändert sich die Entropie des Eiskubus und des Wasserreservoirs?