

Übungen zur Thermodynamik

Serie 2: Temperaturänderungen und Phasenübergänge

1. Innere Energie, Wärme und thermisches Gleichgewicht

- (a) Du wärmst deine Hände an einem Kachelofen.
Beschreibe unter Verwendung der Begriffe **thermischer Kontakt**, **innere Energie** und **Wärme**, was passiert, wenn du den Ofen anfasst. Erkläre ebenso, was auf der Teilchenebene bei der Kontaktstelle zwischen deinen Händen und dem Ofen abläuft.
- (b) Wie kann man bewirken, dass ein Körper Wärme abgibt?
- (c) *“Beim Spaziergang am Seeufer vergleiche die Temperatur meines Tees in der Thermoskanne mit derjenigen des Wassers im Zürisee. Simple Feststellung: Der Tee ist viel heisser als das Seewasser. Der erste Gegenstand beinhaltet also mehr innere Energie als der zweite.”*
Die Folgerung im letzten Satz ist falsch. Wo liegt die Fehlüberlegung?
- (d) Wie “reagiert” ein Körper grundsätzlich auf die Erhöhung seiner inneren Energie?

2. Einführende Fragen zu Phasenübergängen

- (a) Weshalb ist bei 100°C die innere Energie von 1 kg Wasserdampf grösser als die innere Energie von 1 kg Wasser?
- (b) Wie viele Liter Wasser von 100°C lassen sich mit 334 kJ verdampfen?
- (c) Weshalb kann man die Stufe der Kochplatte beim Kochen von Kartoffeln deutlich erniedrigen, sobald das Wasser siedet?

3. Erwärmung durch Umrühren

Das folgende Gedankenexperiment soll verdeutlichen, dass eine Temperaturänderung, insbesondere bei Wasser, stets mit einem beträchtlichen Energieumsatz verbunden ist.

Du möchtest durch Umrühren mit einem Löffel einen halben Liter Wasser von 21°C auf 55°C erwärmen. Aus der Mechanik kann man abschätzen, dass man, wenn eine Umdrehung etwa $\frac{1}{4}$ Sekunde dauert, pro Umdrehung etwa 0.75 J Bewegungsenergie in innere Energie verwandelt.

Wie viele Umdrehungen müsstest du theoretisch also vornehmen, um die angestrebte Temperaturzunahme zu erreichen, und wie lange würde das dauern, wenn du ununterbrochen weiterrühren könntest? Weshalb würdest du in der Realität diesen Temperaturunterschied niemals hinbekommen?

4. Der Schmelzofen eines Stahlwerks

Bei der Stahlproduktion muss zunächst Schrott eingeschmolzen werden. Im Stahlwerk Thüringen wird dazu ein Elektroofen mit einem Fassungsvermögen von 120 t benutzt. Zunächst wird der Schrott auf die Schmelztemperatur von etwa 1600°C erhitzt, danach setzt der Schmelzvorgang ein. Die Heizleistung des Ofens beträgt $P_{\text{Heiz}} = 91 \text{ MW}$.

Nach etwa 6 Minuten auf dem Fixpunkt ist der Schrott geschmolzen. Bestimme die ungefähre spezifische Schmelzwärme des Schrotts in $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$.

5. Schnee schmelzen

Wenn in der Alphütte das Wasser gefroren ist, muss man Schnee (von -7°C) schmelzen. Dann schluckt der Kochherd viel Holz, bis man kochendes Teewasser (in den Bergen schon bei 92°C) hat.

Wie gross ist die effektive Heizleistung des Kochherdes, wenn er in 18 Minuten 1.6 kg Schnee in Teewasser verwandelt ($c_{\text{Schnee}} \approx c_{\text{Eis}}$)?

6. Aufwärmen des Bügeleisens

Der beheizte Teil eines Bügeleisens besteht aus 1.3 kg Eisen und 270 g Aluminium. Die Heizung hat eine Leistung von 350 W. Das Bügeleisen soll auf einer Temperatur von 130 °C arbeiten.

Welche theoretische Aufheizzeit ergibt sich daraus und weshalb braucht diese Erwärmung in der Realität etwas mehr Zeit? (Start bei 21 °C.)

7. Kochwaschgang

Eine moderne Waschmaschine (mit Energiesparzertifikat) braucht für einen Kochwaschgang (mit 95 °C) eine Energie von 12 kWh. Für den Waschgang werden 38 Liter Leitungswasser von 18 °C bezogen.

Bestimme, welcher Prozentsatz davon für das Aufheizen des Wassers gebraucht wird.

8. Trockeneis

Kohlenstoffdioxid (CO₂) ist bezüglich Aggregatzustandsänderungen eine spezielle Substanz: Es sublimiert resp. resublimiert.

Bestimme, welche Wärme 260 g CO₂-Gas entzogen werden muss, um es von Zimmertemperatur (21 °C) in Trockeneis (= fester Aggregatzustand) zu verwandeln. Gib die Antwort in Kilojoule.

9. Die Bettflasche

Welche Wärmemenge gibt eine Bettflasche über Nacht ab, wenn sie am Abend mit 0.80 Liter (≈ 0.80 kg) siedendem Wasser gefüllt wird, und ihre Temperatur am nächsten Morgen noch 29 °C beträgt? Geben Sie die Antwort in Kilojoule.

10. Kochphysik

(a) Welche Wärmemenge muss einem Deziliter Wasser im Gefrierfach des Kühlschranks beim Phasenübergang entzogen werden?

(b) Bei der Teigwarezubereitung bringe ich Wasser zum Kochen. Danach gebe ich die Pasta dazu. Das Wasser hört kurz zu kochen auf, obwohl ich an der Kochstufe am Elektroherd nichts verändert habe.

Erkläre diese Beobachtung. Verwende dabei die Begriffe Temperatur, innere Energie und Wärme.

(c) Ein Kochtopf von 250 mm Durchmesser steht auf einer eingeschalteten Kochplatte und enthält siedendes Wasser.

Um wie viele Millimeter pro Minute sinkt der Wasserspiegel, wenn die Heizleistung der Platte an das Wasser 1.2 kW beträgt?

11. Die Masse eines Glühdrahtes

Der Glühdraht in einer normalen Glühbirne besteht aus **Wolfram**. Dies ist ein Metall mit einem besonders hohen Schmelzpunkt (3410 °C!). Diese Eigenschaft ist notwendig, weil das **Weissglühen**, welches bei dieser Art der Lichterzeugung verwendet wird, erst ab einer Temperatur von etwa 2900 °C auftritt.

Wenn ich auf einen Lichtschalter drücke, geht das Licht sofort an. Das stimmt aber nur bedingt. In Wirklichkeit muss der Glühdraht in der Glühbirne zuerst von Zimmertemperatur auf Glühtemperatur gebracht werden. Dies geschieht offenbar so schnell, nämlich innerhalb von 50 ms, dass unsere optische Wahrnehmung den Vorgang zeitlich nicht auflösen kann.

Aus diesen Angaben und Überlegungen kann man folgern, dass die Masse des Glühdrahtes in einer Lampe nicht grösser als ein bestimmter Wert m_{\max} sein kann.

Bestimme, welche Masse m_{\max} der Glühdraht in einer 100 W-Glühbirne maximal haben kann. (100 W ist die Leistung, mit welcher im Draht elektrische Energie in Wärme umgewandelt wird.) Gib die Antwort in Milligramm ($1 \text{ mg} = 10^{-6} \text{ kg}$).

12. Erwärmung im Schwimmbad

Ein Becken von 50.0 m Länge, 18 m Breite und 2.5 m durchschnittlicher Tiefe soll an einem sonnigen Tag um 1.0°C erwärmt werden können. An dir ist es nun festzulegen, wie gross die dazu benötigte Fläche an Sonnenkollektoren mindestens sein muss.

Nimm an, dass die Sonne während 6 Stunden scheint und im Mittel mit einer Flächenleistung von $700 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ auf die Kollektorfläche trifft. Der Wirkungsgrad einer solchen Anlage erreicht 60%. D.h., 60% der Sonnenenergie können in im Wasser gespeicherte Wärme umgewandelt werden.

13. Abwärme beim Kernkraftwerk Beznau

Im Prospekt des Kernkraftwerks Beznau wird angegeben, dass das Werk eine Leistung von 2100 MW habe, wovon allerdings nur 33% in Form von elektrischer Energie genutzt werden können. Die restlichen 67% sind Abwärme und machen eine Kühlung notwendig. Das KKW benötige höchstens eine Kühlwassermenge von 40 m^3 pro Sekunde und das Kühlwasser erwärme sich nicht mehr als um 10°C .

Passen die Angaben im Prospekt zusammen? Begründe deine Antwort mit einer ausführlichen Rechnung.

14. Etwas zum Formalismus: Das gewichtete Mittel

Während einem Semester hast du in einem Fach drei Prüfungen geschrieben (Noten 4.5, 3 und 5). Davon wird die Schlechteste nur halb gezählt. Die mündliche Note (5.5) zählt zu einem Drittel. Die Übersicht:

Leistung	Note	Gewicht
Prüfung 1	$N_1 = 4.5$	$g_1 = 1$
Prüfung 2	$N_2 = 3$	$g_2 = \frac{1}{2}$
Prüfung 3	$N_3 = 5$	$g_3 = 1$
Mündlich	$N_4 = 5.5$	$g_4 = \frac{1}{3}$

Berechne aus diesen Angaben deine Semesternote. Versuche, die durchgeführte Rechnung in einer einzigen Formel aufzuschreiben (zunächst vielleicht nur in Zahlen, dann rein formal mit Noten N_i und Gewichten g_i , $i = 1, \dots, 4$).

15. Diverses zu Mischungstemperaturen

- 40.0 g Kupfer der Temperatur $\vartheta_{\text{Cu}} = 80.0^\circ\text{C}$ werden in 150 g Wasser der Temperatur $\vartheta_{\text{H}_2\text{O}} = 20.0^\circ\text{C}$ getaucht. Welche Mischungstemperatur ergibt sich?
- Berechnet man bei einem Mischungsversuch den theoretischen Wert der Mischungstemperatur, so wird dieser typischerweise etwas neben dem im Experiment realisierten Wert liegen. Begründe diese Beobachtung.
- Ein unbekannter Stoff ($m_S = 20.0 \text{ g}$) mit der Temperatur $\vartheta_S = 15^\circ\text{C}$ wird in 140 g Wasser der Temperatur $\vartheta_{\text{H}_2\text{O}} = 45^\circ\text{C}$ getaucht. Es ergibt sich eine Mischungstemperatur von $\vartheta_E = 41^\circ\text{C}$, ohne dass einer der beteiligten Körper während der Einstellung des thermischen Gleichgewichts einen Phasenübergang durchführen würde. Um welchen Stoff könnte es sich handeln?
- In ein leeres Kalorimeter ($m_K = 152 \text{ g}$, $c_K = 553 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$) werden 3.2 dl Wasser gefüllt. Nach einiger Zeit beträgt die Temperatur des Kalorimeters 21°C . Jetzt werden 560 g Sand mit einer Temperatur von 73°C ins Kalorimeter gegeben ($c_S \approx 700 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$). Nach kurzer Zeit stellt sich ein thermisches Gleichgewicht ein. Mischungstemperatur?

Anmerkung: Ein Kalorimeter ist ein so isoliertes Gefäss, dass möglichst wenig Wärme nach aussen abgegeben oder von aussen aufgenommen wird. Es eignet sich daher gut für Mischungsversuche. Allerdings muss bei den Berechnungen die Innenseite des Kalorimeters mit berücksichtigt werden. Darauf beziehen sich die Angaben zu Beginn der Aufgabe.

16. *Wasser als Kühlmittel*

Erläutere in ein paar Sätzen, warum sich Wasser als Kühlmittel ganz besonders eignet. (Versuche, einen echten logischen Gedankengang aufzustellen, und nicht einfach ein Schlagwort zu liefern!)

17. *Frostschutz*

Bei Frostgefahr besprühen die Obstbauern im Frühjahr die Blüten ihrer Bäume mit Wasser, um sie so vor dem Erfrieren zu schützen.

Erkläre diesen Frostschutzmechanismus.

18. *Kurzes Lüften ist besser!*

Zweck des Lüftens ist der Austausch "alter" Luft in einem Zimmer durch "neue". Dazu werden die Fenster geöffnet. Bei weit geöffneten Fenstern läuft der Luftaustausch rasch ab. Nach wenigen Minuten ist ausreichend frische Luft im Zimmer und die Fenster können geschlossen werden. Im Winter sinkt dabei die Temperatur zwischenzeitlich um einige Grad ab, steigt danach aber schnell wieder an.

Begründe, weshalb nach längerem Lüften die Temperatur im Zimmer unverhältnismässig viel länger braucht, um wieder den ursprünglichen Wert zu erreichen.

19. *Im Boiler*

Viele Häuser besitzen für die Warmwasserversorgung im Keller einen Boiler, in welchem kaltes Wasser unter Verwendung elektrischer Energie erhitzt wird. Der Boiler eines Mehrfamilienhauses habe ein Fassungsvermögen von 920 Liter. Er sei zunächst voll und das gesamte Wasser befinde sich auf der Maximaltemperatur von $81\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jetzt nimmt Herr Fritz ein Bad. Dabei bezieht er 180 Liter dieses heissen Wassers. Im Boiler wird die entzogene Wassermenge sofort mit kaltem Wasser ($14\text{ }^{\circ}\text{C}$) ersetzt.

- (a) Welche Celsius-Temperatur herrscht im Boiler unmittelbar nach dem Wasserbezug durch Herrn Fritz?

Hinweis: Nimm an, der Boiler beginnt nicht sofort wieder zu heizen und das thermische Gleichgewicht im Boiler stellt sich schnell ein.

- (b) Mit wie vielen Litern Wasser müsste Herr Fritz sein Bad füllen, damit im Boiler nur noch eine Temperatur von $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ herrschen würde?

20. *Ein Mischungsversuch mit Phasenübergang*

Berechne, welche Temperatur sich einstellt, wenn 2.2 kg Eis von $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ in 3.4 Liter Wasser von $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ gegeben werden.

21. *Die Erwärmung beim Föhn – eine Aufgabe für "Cracks"*

Bei Föhn regnet es bekanntlich im Tessin in den Bergen. Die Temperatur in der Wolke soll kurz vor dem Regnen noch etwa $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ betragen. Unter diesen Bedingungen enthält jeder Kubikmeter Luft etwa eine Wassermasse von knapp 8 g . Die Dichte der Luft ist in dieser Höhe etwas geringer als bei uns im Flachland. Wir nehmen an, es sind noch etwa $1100\frac{\text{g}}{\text{m}^3}$ (anstatt etwa $1300\frac{\text{g}}{\text{m}^3}$). Nehmen wir weiter an, dass etwa 30% des Wasserdampfs der Luft kondensieren.

Wie stark erwärmt sich dadurch die Luft, wenn wir davon ausgehen, dass pro 1 g Luft und pro Temperaturanstieg um $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ eine Wärmemenge von 0.8 J benötigt wird, also die spezifische Wärmekapazität der Luft $c_{\text{Luft}} = 800\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}}$ beträgt?