

# Vorwort

Das Buch fasst das Grundwissen der Physik für diejenigen Schüler zusammen, die bereits einige Grundlagen der Physik erlernt haben. Dementsprechend will es die Basiskenntnisse der Wärmelehre und Elektrizitätslehre auffrischen, ergänzen, vertiefen und in vielen Fällen auch unter neuer Betrachtungsweise vorstellen. Im folgenden Band werden Optik, moderne Physik und Astronomie behandelt.

Ausführlich werden im Buch Themen behandelt, die aus der Grundschule nicht bekannt sind. Wo es möglich ist, werden wir das Gelernte im Zusammenhang mit praktischen Erfahrungen und technischen Anwendungen in Erinnerung rufen. Dadurch soll das Verstehen erleichtert werden und die Aufmerksamkeit darauf gelenkt werden, wie die Gesetze der Physik unsere Umgebung, das Alltagsleben und viele Tätigkeiten durchdringen. Alles wird einheitlich im SI-Einheitssystem behandelt.

Die Anwendung der kennengelernten und in Erinnerung gerufenen Zusammenhänge wird durch ausgearbeitete Beispiele verständlicher gemacht. Die Lösung wird so dargestellt, dass man die einzelnen Schritte gut verfolgen kann.

Die Lösung von Aufgaben dient der besseren Vertiefung der Kenntnisse und der konkreten Anwendung. Deshalb findest du im Buch Aufgaben zur Übung. Durch die Versuchsbeschreibungen wollen wir erreichen, dass das Gelernte besser verstanden und von einer neuen Seite vorgestellt wird.

Die Versuche zu lesen ist auch für diejenigen nützlich, die keine Möglichkeit haben diese selbst durchzuführen. Nach den Versuchsbeschreibungen stehen die Versuchsergebnisse und gegebenenfalls die konkreten Messergebnisse. Nach den größeren Themenkreisen findest du eine stoffliche Zusammenfassung und zusammenfassende Fragen. In diesem Abschnitt wird das bisher Gelernte vertieft und in ein logisches System gesetzt: Das erleichtert die Arbeit des Lehrers und des Schülers.

In den Naturwissenschaften werden die Ergebnisse von Beobachtungen und Versuchen in mathematischen Zusammenhängen und in Formeln ausgedrückt. Von den Zusammenhängen, die durch Erfahrungen gewonnen werden, kann man durch Überlegungen, mithilfe von Mathematik und Logik weitere Gesetze formulieren. Die dadurch gewonnenen neuen Zusammenhänge sollen mit den Erfahrungen verglichen und der Geltungsbereich soll überprüft werden. Durch diese Methode hat die Wissenschaft die Möglichkeit, sich immer weiterzuentwickeln.

*Die Autorin*

# Vorwort zur Ausgabe der deutschsprachigen Übersetzung

Das vorliegende Lehrbuch wurde für die besonderen Bedürfnisse des deutschsprachigen Physikunterrichts in Ungarn überarbeitet. Deutschsprachiger Fachunterricht ist immer auch Fremdsprachenunterricht, da fachliche Inhalte in einer Fremdsprache vermittelt werden. Dieser besonderen Anforderung trägt die vorliegende Ausgabe Rechnung.

An manchen Stellen wurden fachliche Inhalte sprachlich einfacher dargestellt und übersichtlicher gestaltet. In einigen Kapiteln wurden Ergänzungen eingefügt. Entsprechend dem neuen Lehrplan sind aus den zwei Bänden und den Arbeitsheften der Vorlage drei Bände für die Klassenstufen 10, 11 und 12 geplant.

Die einzelnen Lektionen schließen mit Übungsaufgaben ab, deren Lösungen am Ende des Bandes stehen. Zu jedem Thema wurden auch Arbeitsblätter zusammengestellt, die fachdidaktisch nach den DFU-Methoden (deutschsprachiger Fachunterricht) geplant sind. Sie sind auf einer CD beigefügt und geeignet für das Üben sowohl in der Stunde als auch zu Hause. Wegen des speziellen Wortschatzes hielten die Autoren eine Wortschatzsammlung für unverzichtbar. Damit diese optimal verwendbar wird, sind im Anhang sowohl eine deutsch-ungarische als auch eine ungarisch-deutsche Variante vorhanden.

Ziel dieses Buches ist nicht nur die Vermittlung des Lehrstoffs. Vielmehr sollen die ungarischen Schüler die Verwendung der deutschen Sprache als Kommunikationsmittel – speziell im naturwissenschaftlichen Bereich – erlernen. Auf diese Weise soll dieses Buch auch einen Beitrag zum interkulturellen Lernen leisten.

*Das Übersetzerteam*

*Baja, im September 2007*

# 1. Thermodynamik

## 1.1 Die innere Energie

### Verschwindet die kinetische Energie?

Ein Auto mit der Masse 1600 kg bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 90 km/h. Seine kinetische Energie beträgt 500 kJ. Wo ist diese Energie, wenn das Auto anhält? Beim Bremsen werden die Bremse, die Reifen und die Umgebung des Autos erwärmt. So erhöht sich ihre innere Energie. Auch für diesen Fall ist der Energieerhaltungssatz gültig. Beim Bremsen nimmt die kinetische Energie des Autos um 500 kJ ab, die innere Energie des Autos und seiner Umgebung nimmt um 500 kJ zu.

Diese Energieumwandlung ist irreversibel. Das heißt, dass sie in der umgekehrten Richtung nicht stattfinden kann. (Wenn die Bremse und die Umgebung des stehenden Autos abgekühlt werden, setzt sich das Auto nicht in Bewegung.)

**Bei höherer Temperatur bewegen sich die Teilchen des Stoffes schneller als bei niedriger Temperatur.** Ein Körper bekommt auch dadurch Energie, dass sich seine Teilchen bewegen. **Diese Energie nennt man innere Energie. Formelzeichen:  $E_i$ , Einheit: Joule (J).** Mit mechanischer Arbeit können die Temperatur und die innere Energie des Körpers erhöht werden. Der Temperaturanstieg zeigt die Zunahme der inneren Energie an.



### Experimente

1. Wir legen je einen Würfelzucker in kaltes und in warmes Wasser. Im warmen Wasser löst sich der Zucker schneller auf als im kalten. Die Differenz ist so zu erklären, dass sich die Teilchen im warmen Wasser schneller bewegen und deshalb wird der Würfelzucker schneller aufgelöst.
2. Mit einem Stück Stoff reiben wir den Behälter eines Thermometers. Das Gerät zeigt eine Temperaturerhöhung. Mit mechanischer Arbeit haben wir also die Temperatur und die innere Energie erhöht.

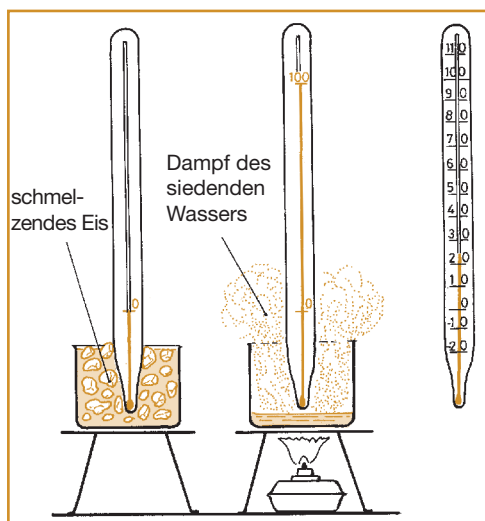
## Galileis Thermometer

Heutzutage ist die Verwendung eines Thermometers selbstverständlich. Das erste Thermometer wurde aber erst im 17. Jh. von Galileo *Galilei* (1564–1642) angefertigt. Einer seiner Schüler schrieb darüber: „Galilei nahm ein Glasgefäß mit den Maßen eines Hühnereis. In das Gefäß steckte er ein Rohr mit der Dicke eines Strohhalmes und der Länge von zwei Spannen. Das Gefäß erwärmte er mit seinen Händen. Dann steckte er das Rohr mit der Öffnung nach unten ins Wasser. Nachdem das Gefäß abgekühlt worden war, erhöhte sich das Wasserniveau im Rohr um eine Spanne. Dieses Gerät nutzte er, um die Grade der Kälte und der Wärme zu vergleichen.“

## Das Reh, die Kuh und das Thermometer

Die Thermometer, die im 16. und Anfang des 17. Jahrhunderts verwendet wurden, waren noch geöffnet. Die Messergebnisse wurden vom Luftdruck und den Verdampfungsverlusten der Thermometerflüssigkeit beeinflusst.

Ferdinand II., Großherzog von Toskana, ermunterte seine Wissenschaftler zur Verbesserung des Thermometers. Die Wissenschaftler verwendeten Spiritus statt Wasser und haben das Thermometerrohr zugeschmolzen. Es fehlte aber eine Skala, der zum genauen Messen benötigte Maßstab. Man brauchte zwei Festpunkte, wo jeder mit einer Naturerscheinung verbunden ist. Es mussten Vorgänge sein, die sich stets bei der gleichen Temperatur abspielen. Die Florentiner betrachteten die Kälte des Winters und die Wärme des Sommers als unteren und oberen Festpunkt. Unter der Kälte des Winters verstanden sie die Temperatur des Eises und des Schnees bei starkem Frost. Die Wärme des Sommers war der Körpertemperatur eines Rehs oder einer Kuh gleich.



Erstmals hat Gabriel *Fahrenheit* (1686–1736), ein deutscher Glastechniker, solche Festpunkte gewählt, die relativ gut zu beschreiben waren. Als unteren Festpunkt wählte er die Temperatur einer Gefrier Mischung, bestehend aus Salz, Wasser und Eis. Als oberen Fundamentalpunkt wählte er die Körpertemperatur des Menschen. Interessant ist, dass in den angelsächsischen Ländern auch heutzutage diese Temperaturskala genutzt wird.

In den meisten Ländern ist aber die Skala von Anders *Celsius* (1701–1744), einem schwedischen Astronomen,

verbreitet. **Die beiden Festpunkte dieser Skala sind der Schmelzpunkt des Eises (0 °C) und der Siedepunkt des Wassers (100 °C).**

Beim Erhöhen der Temperatur dehnen sich die meisten Flüssigkeiten aus, ihr Volumen vergrößert sich. Beim Sinken der Temperatur ziehen sich die Flüssigkeiten zusammen, ihr Volumen wird kleiner.

Die **Temperat**urausdehnung der Flüssigkeiten hängt von den folgenden Faktoren ab:

- a) der Temperaturänderung der Flüssigkeit
- b) der Qualität des Materials
- c) dem Ausgangsvolumen

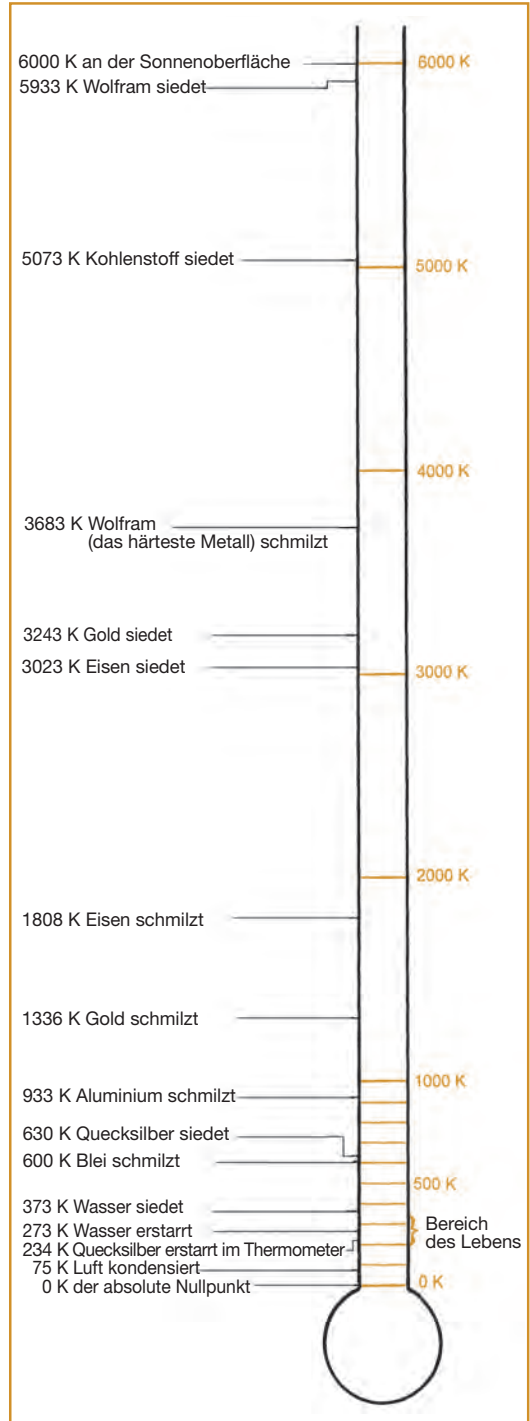
*Das Wasser verhält sich zwischen 0 °C und +4 °C merkwürdig. Wenn seine Temperatur von 0 °C auf +4 °C zunimmt, erhöht sich sein Volumen nicht, sondern es nimmt ab, sinkt dadurch. Bei Temperaturen über +4 °C verhält sich Wasser wie jede andere Flüssigkeit. Sein Volumen wächst mit steigender Temperatur.*

**Schmelzen mit Eis**

Die Luft hat bei 0 °C eine bedeutende innere Energie. Durch ihre Wirkung erhöht sich beispielsweise die Temperatur eines Steines mit der Ausgangstemperatur von -10 °C. Auch Eis besitzt bei 0 °C eine bedeutende innere Energie. Wenn es mit festem Quecksilber der Temperatur von -39 °C in Kontakt kommt, dann schmilzt das Quecksilber und wird flüssig.

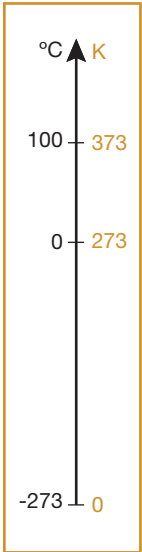
**Die absolute Temperatur**

Die Gase hätten bei -273 °C (nach Ergebnissen der theoretischen Physik) einen Druck von Null, die Teilchen des Gases würden sich nicht bewegen. Diese Temperatur nennt man den absoluten Nullpunkt. (Der genaue Wert liegt bei -273,15 °C.) Der absolute Nullpunkt 0 K ist die theoretisch vorstellbare niedrigste Temperatur.



In einem Laboratorium hat man sich dieser Temperatur bis auf  $2 \cdot 10^{-9}$  K genähert, wird sie aber nie erreichen können. Es ist kaum vorstellbar, dass die Gase ein Volumen oder einen Druck von Null haben können.

Mit unseren Kenntnissen können wir nun eine Temperaturskala konstruieren, die keine negativen Messzahlen enthält. Der Nullpunkt dieser Skala soll der absolute Nullpunkt sein ( $0 \text{ K} = -273 \text{ }^\circ\text{C}$ ).



Das Formelzeichen der absoluten Temperatur heißt  $T$ . Die Maßeinheit heißt *Kelvin* (K). Sowohl die Skala als auch die Einheit wurde nach *Lord Kelvin* (William Thomson), einem englischen Physiker, benannt. Auch die Temperaturdifferenz wird in Kelvin angegeben. Dabei entspricht die Differenz 1 K der Differenz  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  der Celsiusskala. Die Einheit Kelvin ist eine SI-Einheit. Sie wird so ausgerechnet wie die Einheit der Celsiusskala ( $^\circ\text{C}$ ) aus dem hundertsten Teil des Fundamentalabstandes (Temperaturunterschied zwischen den beiden Fixpunkten des schmelzenden Eises und des siedenden Wassers bei Normaldruck  $p = 1013 \text{ mbar} = 101\,325 \text{ Pa}$ ).

Die absolute Temperatur, in  $K$  gemessen, ist um 273 größer als dieselbe Temperatur in  $^\circ\text{C}$  gemessen. Dementsprechend ist der Schmelzpunkt des Eises  $0 \text{ }^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$ , der Siedepunkt des Wassers  $100 \text{ }^\circ\text{C} = 373 \text{ K}$ .

### Zusammenfassung

1. Die Energie, die aus der Bewegung der Teilchen des Stoffes stammt, nennt man innere Energie.
2. Die Temperatur ist eine Grundgröße. Formelzeichen ist  $T$ , die SI-Einheit ist  $K$ . Im Alltag wird auch die Einheit  $^\circ\text{C}$  genutzt. Die Temperatur wird mit einem Thermometer gemessen.

### Aufgaben

1. Wir stecken in ein Glas Wasser ein Thermometer. Wie bewegt sich die Flüssigkeitssäule im Thermometer,
  - a) wenn die Temperatur des Wassers kleiner ist als die des Thermometers?
  - b) wenn die Temperatur des Wassers der des Thermometers gleich ist?
  - c) wenn die Temperatur des Wassers höher ist als die Temperatur des Thermometers?

2. Das Rohr des Fieberthermometers verengt sich etwas oberhalb des Quecksilberbehälters.
  - a) Aus welchem Grund wird das Fieberthermometer so hergestellt?
  - b) Warum müssen wir die Quecksilbersäule des Fieberthermometers vor einer neuen Messung durch Herunterschütteln in den Quecksilberbehälter zurücksenken?
  - c) Was für ein physikalischer Vorgang spielt sich beim Herunterschütteln des Fieberthermometers ab?
3. Vergleiche die Dichte des Wassers bei  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
4. Warum friert ein See von oben her zu?
5. Das Wasser im Topf wird zuerst um  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dann um  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  erwärmt. Vergleiche die Volumenzunahme des Wassers in beiden Fällen.
6. In einem Behälter befinden sich  $50\text{ m}^3$ , in einem anderen  $40\text{ m}^3$  Öl. Ihre Temperaturen sinken um gleiche Beträge. Vergleiche die Volumenabnahmen.
7. Rechne die folgenden Temperaturen in K um.
  - a) Der Siedepunkt des Äthers ist  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - b) Der Schmelzpunkt des Zuckers ist  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - c) Der Erstarrungspunkt des Quecksilbers ist  $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
8. Rechne die folgenden Temperaturen in  $^{\circ}\text{C}$  um.
  - a) Der Schmelzpunkt des Bleis ist  $600\text{ K}$ .
  - b) Der Erstarrungspunkt des Alkohols ist  $159\text{ K}$ .
  - c) Der Siedepunkt der flüssigen Luft ist  $80\text{ K}$ .

## 1.2 Wärmeausdehnung der festen Körper

### Die Brücken ruhen auf Rollen

Die festen Körper haben praktisch eine konstante Form. Die Teilchen in einem festen Körper üben eine sehr starke Anziehungskraft aufeinander aus. Diese Wechselwirkung ist viel stärker als die bei den Flüssigkeiten und Gasen. Die Teilchen in einem Kristallgitter sind fest an den Ort gebunden und können nur eine Schwingung um den Gitterpunkt ausführen.

Bei Erwärmung dehnen sich die festen Körper aus und sie ziehen sich bei Abkühlung zusammen. Bei Festkörpern ist vor allem der Fall der linearen, also ein-dimensionalen Ausdehnung interessant wie er bei Drähten, Schienen usw. vorkommt. In diesem Fall gilt für die Längenänderung  $\Delta l$  eines Körpers, der bei  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  die Länge  $l_0$  hat:

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T.$$



$\alpha$  ist der lineare Ausdehnungskoeffizient,  $\Delta T$  ist die Temperaturdifferenz. **Die Längenänderung ist also proportional zur Ausgangslänge und zur Temperaturänderung.**  $\alpha$  ist eine Materialkonstante. Sie gibt die Längenänderung eines 1 m langen Stückes des gegebenen Materials bei einer Erwärmung von 1 K an. Einheit:  $\frac{1}{\text{K}}$ , in der Praxis  $\frac{1}{^\circ\text{C}}$ . Für die Volumenänderung  $\Delta V$  gilt eine entsprechende Gleichung:  $\Delta V = \beta \cdot V_o \cdot \Delta T$ .

Größe  $\beta$  heißt in diesem Fall kubischer oder Volumenausdehnungskoeffizient.  $\beta$  ist eine Materialkonstante. Sie gibt die Volumenänderung eines 1 m<sup>3</sup> großen Stückes des gegebenen Materials bei Erwärmung von 1 K an.

Einheit:  $\frac{1}{\text{K}}$ , in der Praxis  $\frac{1}{^\circ\text{C}}$ .

Als Faustformel kann man für viele Körper  $\beta = 3 \cdot \alpha$  setzen.

### Bemerkung

Ein Hohlkörper dehnt sich aus wie ein Vollkörper gleichen Materials.

### Beispiel

Der Rauminhalt eines Aluminiumtopfes bei 20 °C beträgt 5 l. Berechne seinen Rauminhalt beim Kochen. Die Temperatur beim Kochen beträgt 80 °C.

$$V_o = 5 \text{ dm}^3$$

$$\alpha = 66 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

$$\Delta T = 80 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

### Lösung

Man darf die Volumenzunahme annäherungsweise nicht nur auf das Volumen bei 0 °C, sondern auch auf das Ausgangsvolumen beziehen.

$$\Delta V = \beta \cdot V_o \cdot \Delta T = 3 \cdot 66 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot 5 \text{ dm}^3 \cdot 60 \text{ }^\circ\text{C} = 59400 \cdot 10^{-6} \text{ dm}^3 \sim 0,06 \text{ dm}^3$$

Der Rauminhalt des Aluminiumtopfes beträgt ca. 5,06 l.



## Zusammenfassung

1. Für die Längenänderung  $\Delta l$  eines festen Körpers, der bei  $0^\circ\text{C}$  die Länge  $l_0$  hat, gilt:

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T.$$

2. Für die Volumenänderung  $\Delta V$  gilt:

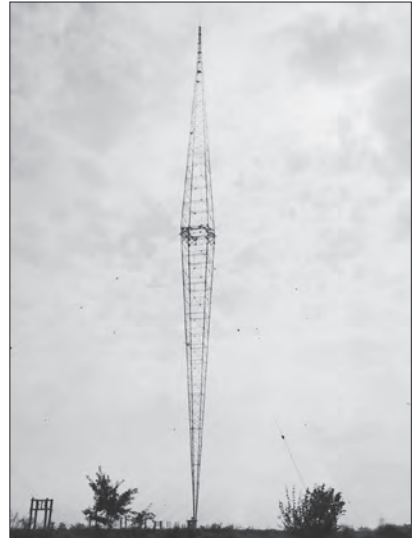
$$\Delta V = \beta \cdot V_0 \cdot \Delta T.$$

3.  $\alpha$  und  $\beta$  sind Materialkonstanten, sie hängen nur von der Qualität des Stoffes ab. Einheit:  $\frac{1}{\text{K}}$ , in der Praxis  $\frac{1}{^\circ\text{C}}$ .

Faustformel:  $\beta = 3\alpha$ .

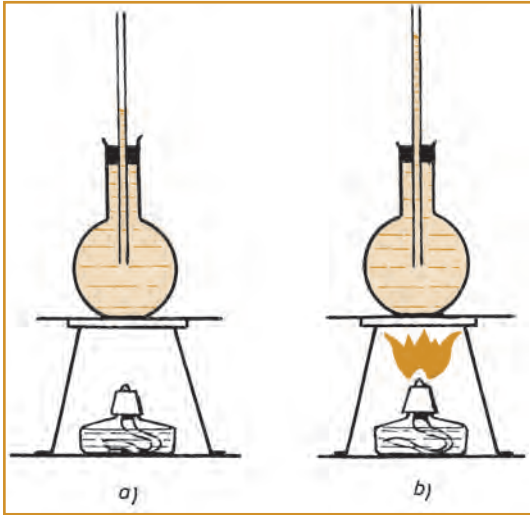
## Aufgabe

Der Rundfunksender in Lakihegy mit der Höhe von 307 m wurde am 2. Dezember 1933 in Betrieb genommen. Wie hoch ist der Turm im Sommer? (Die Temperaturen kannst du selber wählen.)



## 1.3 Wärmeausdehnung der Flüssigkeiten bei Temperaturänderung

Die Flüssigkeiten haben keine bestimmte Gestalt, sie nehmen immer die Form ihres Behälters an. Das Volumen der Flüssigkeiten ist aber (auch bei einem extrem hohen Druck) praktisch konstant. Das heißt, sie sind nicht zusammendrückbar. Die Flüssigkeitsteilchen bewegen sich ungeordnet und stoßen einander an. Diese Eigenbewegung beobachten wir bei der Diffusion: Bestimmte Flüssigkeiten mischen sich von selbst.



Die Flüssigkeiten dehnen sich bei Erwärmung aus und ziehen sich bei Abkühlung zusammen. Bei Flüssigkeiten ist die Volumenausdehnung von Interesse. Hier gilt im Prinzip dieselbe Gleichung wie bei den Festkörpern. So kann die Volumenänderung  $\Delta V$  eines Körpers, der bei  $0^\circ\text{C}$  das Volumen  $V_0$  hat, mit  $\Delta V = \beta \cdot V_0 \cdot \Delta T$  berechnet werden.  $\beta$  ist der kubische oder Volumenausdehnungskoeffizient,  $\Delta T$  ist die Temperaturdifferenz zu  $0^\circ\text{C}$ . Die Volumenänderung ist also proportional zum Ausgangsvolumen

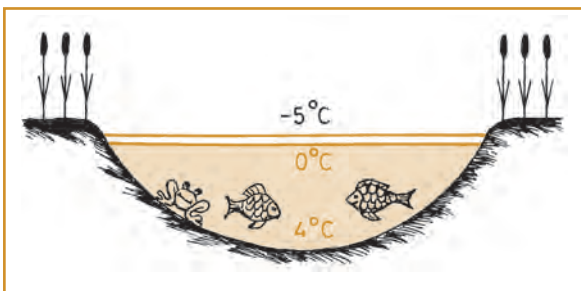
bei  $0^\circ\text{C}$  und zur Temperaturänderung gegenüber  $0^\circ\text{C}$ .

Die Materialkonstante  $\beta$  gibt die Volumenänderung einer gegebenen,  $1\text{ m}^3$  großen Flüssigkeitsmenge bei Erwärmung von  $1\text{ K}$  an. Einheit:  $\frac{1}{\text{K}}$ , in der Praxis  $\frac{1}{^\circ\text{C}}$ .

Der Volumenausdehnungskoeffizient der Flüssigkeiten ist wesentlich größer als der der festen Körper.

Es gibt solche Flüssigkeiten, bei denen der Volumenausdehnungskoeffizient nicht konstant ist. Eine wichtige Ausnahme macht der Stoff Wasser zwischen  $0^\circ\text{C}$  und  $+4^\circ\text{C}$ . Erwärmt man Wasser beginnend bei  $0^\circ\text{C}$ , so nimmt sein Volumen nicht zu, sondern zunächst ab. Bei  $+4^\circ\text{C}$  erreicht es sein kleinstes Volumen. Bei weiterer Erwärmung zeigt sich die erwartete Volumenzunahme. Wasser hat also bei  $+4^\circ\text{C}$  seine größte Dichte:  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

Anders als bei den meisten Stoffen, hat das Wasser im festen Aggregatzustand



(Eis) eine geringere Dichte als im flüssigen Aggregatzustand bei  $0^\circ\text{C}$ . Dadurch schwimmt Eis auf der Wasseroberfläche. Da die dichtesten Wasserschichten nach unten sinken, bleibt die Temperatur in einem See bei Frost in den tieferen Schichten bei  $+4^\circ\text{C}$ , sodass

Wassertiere überleben können. Erst bei lang anhaltendem Frost friert der See von oben her zu.

### Zusammenfassung

1. Die Volumenänderung der Flüssigkeiten bei Erwärmung ist:  $\Delta V = \beta \cdot V_0 \cdot \Delta T$ .
2. Der Volumenausdehnungskoeffizient  $\beta$  ist eine Materialkonstante.

Einheit:  $\frac{1}{\text{K}}$ .

3. Das Wasser erreicht seine größte Dichte bei  $+4^\circ\text{C}$ .

### Aufgabe

In einem Fass gibt es 200l Benzin. Berechne die Volumenzunahme bei einer Temperaturänderung von  $12^\circ\text{C}$  auf  $30^\circ\text{C}$ .

## 1.4 Die spezifische Wärmekapazität der Flüssigkeiten und festen Körper

### Die durchgeglühte Eisenplatte und das lauwarne Wasser

Der schottische Chemiker Joseph Black (1728–1799) machte zuerst darauf aufmerksam, welche Unterschiede es zwischen der Erwärmung der verschiedenen Stoffe gibt. Er erwärmte eine Eisenplatte und eine Wassermenge mit gleicher Masse. Nach zehn Minuten glühte die Eisenplatte fast durch, das Wasser war aber nur lauwarm. Die innere Energie beider Körper erhöhte sich gleichermaßen, die Temperatur der Eisenplatte änderte sich aber in größerem Maße als die des Wassers.

Nach diesem Versuch schloss Black unter anderem darauf, dass es einen Unterschied zwischen *Wärme* und *Temperatur* gibt. Er führte auch den Begriff der *spezifischen Wärmekapazität* ein.

Zur Änderung der inneren Energie eines Körpers muss Wärme übertragen werden. Die Wärme ist eine Prozessgröße, während die Energie eine Zustandsgröße ist. Die übertragene Wärme ist der Temperaturänderung und der Masse des Körpers direkt proportional. Die Wärme ist auch vom Stoff des Körpers abhängig. **Den Quotienten aus der Wärme und aus dem Produkt der Masse und der Temperaturänderung nennt man spezifische Wärmekapazität.**

Die spezifische Wärmekapazität =  $\frac{\text{Wärme}}{\text{Masse} \cdot \text{Temperaturänderung}}$ .

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta t} \text{ oder } c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

Formelzeichen:  $c$ . SI-Einheit:  $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ , erlaubt ist auch  $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ .

Die spezifische Wärmekapazität ist vom Stoff des Körpers abhängig, sie ist also eine Materialkonstante. Bei den Gasen hängt sie noch von weiteren Bedingungen ab. Die spezifische Wärmekapazität gibt an, wie viel Wärme benötigt wird, um Temperaturänderung 1 Kelvin bei einer Körpermasse von 1 kg zu erreichen.

Die Änderung der inneren Energie bzw. die Wärme erhält man mit der Formel  $\Delta E = Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ .

## Beispiele

1. Die spezifische Wärmekapazität des Flachglases beträgt  $840 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ . Will man also die Temperatur von 1 kg Glas um  $1^\circ\text{C}$  erhöhen, dann muss man 840 J Energie übertragen.

2. Die spezifische Wärmekapazität des Wassers ist  $c = 4183 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ . Das ist ein enorm hoher Wert. Daraus folgt, dass die Erwärmung von relativ wenig Wasser viel Energie kostet. Gleichzeitig kann eine kleine Wassermenge der Umgebung viel Energie abgeben. Deswegen ist das Wasser gut geeignet für Vorgänge, wo ein Körper abgekühlt oder erwärmt werden soll.

Die große spezifische Wärmekapazität des Wassers ist der Grund, warum sich die Ozeane wesentlich langsamer erwärmen und abkühlen als das Festland. Die Ozeane und Seen haben so eine temperatúrausgleichende Wirkung (vergleiche maritimes Klima). Damit kann auch die tägliche Änderung der Windrichtung an der Küste erklärt werden.

## Zum Lesen

**„Die verschiedenen Stoffe verfügen über unterschiedliches Absorptionsvermögen.“**

Ányos István *Jedlik* (1800–1895), ungarischer Physiker, verfasste zwischen 1847 und 1851 ein Manuskript mit dem Titel *Hőtan (Thermodynamik)*, das erst 1990 veröffentlicht wurde. Der Praxis der damaligen Spracherneuerung folgend verwendete er statt griechischer und lateinischer Ausdrücke selbstkonstruierte ungarische Begriffe. Von ihm stammen die ungarischen Wörter Kolben (= dugattyú), Draht (= huzal), Moment (= nyomaték), Volumen (= térfogat). Das folgende Zitat ist sowohl sprachlich als auch physikalisch interessant. Die Abkürzung lb steht für die alte Einheit der Masse libra. 1libra = 1 Wiener Pfund  $\approx 0,56$  kg. Für die spezifische Wärme verwendet Ányos *Jedlik* den Begriff *Absorptionsvermögen*.

„Midőn egyenlő tömegű, de különböző anyagú testek egy hőmérsékben vannak, mi sem jogosíthat fel bennünket arra, hogy a bennök létező meleg mennyiségeket is egyenlőknek állítsuk; mert lehetséges, hogy a különböző anyagok különböző elnyelhetési tehetséggel bírjanak. Mi csakugyan úgy van, amint a következő kísérletből kitűnik. Kevertessék össze egy edényben 1 lb víz 100 °C hőmérsékű, 1 lb higanyal, melynek hőmérséke 0 °C. A keverék hőmérséke tapasztalás szerint 97 °C. A víz tehát hőmérsékéből csak 3 foknyi meleget veszett, mely a higanyt 97 °C-ra felhevítette. Ha pedig az 1 lb víz hőmérséke összevegyítés előtt 0 °C, a higanyé 100 °C, összevegyítés utáni hőmércék léssen 3 °C. Ezen megfordított kísérletben a higany veszett 97 °C meleget, mely az egyenlő tömegű víz hőmércékét csak 3 °C-ra emelte.” (Aus dem Buch von Ányos Jedlik: *Hőtán*. [Thermodynamik]. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1990., S. 46) (Das Zitat ist gemäß der heutigen Rechtschreibung umgeschrieben.)



## Zusammenfassung

1. Die spezifische Wärmekapazität ist eine Materialkonstante.

Formelzeichen:  $c$ , im Alltagsleben verwendete Einheit:  $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ .

2. Die spezifische Wärmekapazität gibt an, wie viel J Wärme gebraucht wird, um die Temperaturerhöhung von 1 °C bei einem Körper der Masse 1 kg zu erreichen.

3. Die Wärme erhält man mit der Formel:  $Q = c \cdot m \cdot \Delta t$ .

## Beispiel

In einem Betrieb wird ein Maschinenteil in Petroleum gelegt. Die Masse des Teiles beträgt 8,4 kg, die Temperatur 118 °C und es ist aus Stahl gefertigt. Die Temperatur des Petroleums ist 20 °C, die Masse 12 kg. Die Mischtemperatur beträgt 34 °C. Die spezifische Wärmekapazitäten sind:  $2,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$  für das Petroleum und  $0,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$  für den Stahl.

a) Berechne die innere Energieänderung des Petroleums.

b) Wie groß ist die Abnahme der inneren Energie des Maschinenteiles?

## Lösung

a) Die Zunahme der inneren Energie des Petroleums beträgt:

$$c = 2,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$m = 12 \text{ kg}$$

$$\Delta t = 34^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 14^\circ\text{C}$$

$$\Delta E = ?$$

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta t} \quad / (m \cdot \Delta t) \quad c \cdot m \cdot \Delta t = Q$$

$$\Delta E = Q = c \cdot m \cdot \Delta t = 2,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 12 \text{ kg} \cdot 14^\circ\text{C} = 352,8 \text{ kJ.}$$

Die innere Energie nimmt also um 352,8 kJ zu.

b) Die Abnahme der inneren Energie des Maschinenteiles beträgt:

$$c = 0,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$m = 8,4 \text{ kg}$$

$$\Delta t = 118^\circ\text{C} - 34^\circ\text{C} = 84^\circ\text{C}$$

$$\Delta E = ?$$

$$\Delta E = Q = c \cdot m \cdot \Delta t = 0,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 8,4 \text{ kg} \cdot 84^\circ\text{C} = 352,8 \text{ kJ.}$$

Die innere Energie des Maschinenteiles nimmt also um 352,8 kJ ab.

Nach diesen Lösungen ist also die Abnahme der inneren Energie des Maschinenteiles ebenso groß wie die Zunahme der inneren Energie des Petroleums (siehe Energieerhaltungssatz).

## Aufgabe

Die spezifische Wärmekapazität des Eisens beträgt  $0,46 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ , die des Aluminiums  $0,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ . Es werden Eisen- und Aluminiumstücke gleicher Masse erwärmt. Die Temperaturänderungen der beiden Körper sind gleich. Vergleiche die Änderungen der inneren Energie der beiden Metallstücke.

## 1.5 Schmelzen und Erstarren

### 1.5.1 Schmelzen

#### Nub aus Nubien

Schon vor Jahrtausenden wurden Metalle verwendet. Bald erfand man den Metallguss. Nun konnte man Werkzeuge anfertigen. Die Erfindung beruht auf der Tatsache, dass die Metalle schmelzbar sind.

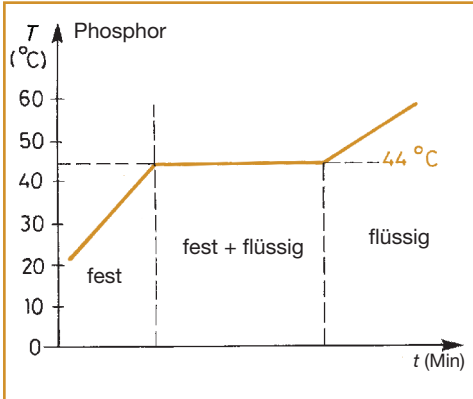
Als erstes wurde Kupfer geschmolzen (im Osten im 4. Jt. v. Chr., in Europa im 3. Jt. v. Chr.). Man fertigte Schmuckstücke, Messer, Pickel und andere Werkzeuge an. Kurz danach wurde auch das Gold gefunden. Die Sumerer in Mesopotamien stellten zum Beispiel aus Gold einen herrlichen Helm her, der wahrscheinlich bei Zeremonien verwendet wurde. In Ägypten waren zu dieser Zeit schon die Metalle Gold, Silber, Kupfer, Eisen und Blei bekannt. Das Gold hatte den Namen *nub* und wurde aus Nubien (heute Äthiopien) importiert.

Um 3000 v. Chr. haben die Sumerer die Herstellungsweise der Bronze entdeckt. Der große Vorteil der Bronze dem Kupfer gegenüber ist, dass ihr Schmelzpunkt niedriger ist und so können Bronzegegenstände schon bei entsprechend kleineren Temperatur hergestellt werden. Die damals hergestellte Bronze enthielt 75–95% Kupfer und 5–25% Zinn. Der Schmelzpunkt



dieser Bronze lag zwischen 786 °C und 900 °C. Der Schmelzpunkt des Kupfers beträgt 1083 °C. Zum Herstellen der Bronze wurden 4 m hohe Öfen mit einer Grundfläche von etwa 4 m<sup>2</sup> genutzt. Die in Ungarn sehr seltenen Funde aus der Bronzezeit wurden im Komitat Vas, in der Nähe von Velem neben der Szent-Vid-Kapelle entdeckt.

Der Übergang eines Stoffes vom festen in den flüssigen Aggregatzustand wird *Schmelzen* genannt. Das Schmelzen eines festen Körpers findet bei der Schmelztemperatur (*Schmelzpunkt*) statt. Sie ist von Stoff zu Stoff verschieden. Führt man einem festen Körper Wärme zu, so steigt seine Temperatur zunächst bis zur Schmelztemperatur an und bleibt dann trotz weiterer Wärmezufuhr so lange konstant, bis der Körper vollständig geschmolzen ist. Die während des Schmelzens zugeführte Energie wird nämlich vollständig dazu benötigt, die Bindungen



zwischen den Atomen oder Molekülen aufzutrennen. Diese Energie heißt Schmelzwärme.

Den Quotienten aus der Schmelzwärme und der Masse eines Körpers nennt man spezifische Schmelzwärme. Formelzeichen:  $L_0$ , Einheiten:  $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$ ,  $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ . Sie

hängt vom Stoff ab und gibt an, wie viel Energie pro 1 kg nötig ist, um einen festen Körper vollständig zu schmelzen.

Die *spezifische Schmelzwärme* wird berechnet:  $L_0 = \frac{Q}{m}$ .

Bei den meisten Stoffen vergrößert sich beim Schmelzen eines Körpers dessen Volumen. Mit zunehmendem äußerem Druck steigt der Schmelzpunkt (geringfügig). Eine Ausnahme bildet das Wasser. Das Volumen von Eis ist größer als das von Wasser und der Schmelzpunkt sinkt mit wachsendem Druck (siehe Anomalie des Wassers).

## Zum Lesen

### Sublimieren

Den direkten Übergang eines Stoffes vom festen in den gasförmigen Aggregatzustand bei Temperaturen unterhalb des Schmelzpunktes nennt man Sublimieren. Beim Atmosphärendruck und bei der Raumtemperatur sublimiert z.B. Jod. Gefrorenes Kohlendioxid (sog. Trockeneis) kann nur durch Sublimation gasförmig werden. (Es hat also keinen flüssigen Aggregatzustand!) Die Sublimationstemperatur (Sublimationspunkt) hängt vom Druck ab. Die erforderliche Sublimationswärme entspricht der Summe der Schmelz- und Verdampfungswärme. Der umgekehrte Übergang der Sublimation ist die Verfestigung.

## 1.5.2 Erstarren

### Gesalzenes Eis und Eiscreme

Vor Hundert Jahren gab es weder elektrische Eiscrememaschinen noch Haushaltskühlschränke. Damals nutzte man zur Abkühlung der Eiscrememasse gesalzenes Eis. Den Behälter steckte man in Eis und das Eis wurde gesalzen. Da der Schmelzpunkt der Salzwassermischung niedriger als der des Wassers ist (der Schmelzpunkt der Kochsalzlösung von 20%-iger Konzentration), wurde das Eis stark abgekühlt. Der Behälter wurde im gesalzenen Eis gedreht, die Eiscreme darin erstarrte relativ schnell.