

Wärmelehre



Skript 2024/2025

Physik – FMS 2

Erstellt von

Krisanth Vyithiyalingam

www.vyk-mip.ch

fms | THUN

Eine Institution des Kantons Bern

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	3
2	Temperatur und Wärme	5
2.1	Temperaturskalen	6
2.1.1	Celsius	6
2.1.2	Réaumur	6
2.1.3	Fahrenheit	6
2.1.4	Kelvin	6
2.2	Zusammenfassung	7
2.3	Molekulare Deutung der Temperatur	8
2.4	Aggregatzustände	9
2.5	Innere Energie vs. Temperatur	10
2.6	Temperatur und Wärme	10
2.7	Aufgaben	11
3	Spezifische Wärmen	13
3.1	Wärmetransport	13
3.2	Änderung der inneren Energie	15
3.2.1	Temperaturänderung	15
3.2.1.1	Aufgaben	16
3.2.2	Mischungsprobleme	17
3.2.2.1	Aufgaben	18

Kapitel 1

Motivation

Die Wärmelehre ist die Lehre der Wärme. Dies klingt sehr banal, aber gerade der Begriff der Wärme war lange Zeit ungeklärt und bot immer wieder Anlass zu Diskussionen. Was ist Wärme? Im Altertum gingen viele Forscher davon aus, dass es sich bei der Wärme um einen alles durchdringenden unsichtbaren Stoff handelte, das ‘Caloricum’. Dieses Caloricum sei ein gewichtsloser Stoff, der beim Erwärmen in die feinsten Poren eines Körpers eindringt. Viele Beobachtungen sprachen für diese Theorie. Wir werden (ein)sehen, dass diese Vorstellung falsch war. Wärme ist auch auf keinen mit dem uns eher geläufigen Begriff der Temperatur gleichzusetzen: Zufuhr von Wärme schlägt sich zwar häufig in einer Erhöhung der Temperatur nieder, ist aber bestimmt nicht das Gleiche. Man könnte auch sagen, Temperatur setze das Vorhandensein von Wärme voraus.

Ihre Daseinsberechtigung hat die Wärmelehre aber zu einem grossen Teil der Energieerhaltung zu verdanken. Letzten Endes benötigen wir die Wärmelehre, um die Energieerhaltung korrekt aufschreiben zu können. Einfach gesagt: tritt Reibung auf, geht die Energie nicht verloren, sondern ein Körper erwärmt sich.

Und nicht zu Letzt: der Hauptuntersuchungsgegenstand der Wärmelehre, die Temperatur, ist aktuell stark im Interesse der Öffentlichkeit. Ist es denn wirklich so schlimm, dass die Durchschnittstemperatur in den nächsten Jahren um etwa 2°C ansteigen soll?

Kapitel 2

Temperatur und Wärme

Der Begriff *Temperatur* stammt vom griechischen Wort "thermos" ab, was "warm" bedeutet. Erst mit der Erfindung des Thermometers konnte man genauere Aussagen über die Temperatur machen. Doch was ist "Temperatur" überhaupt? Das wird in diesem Kapitel genauer untersucht!

Die ersten Thermometer stammen aus dem 17. Jahrhundert (Barock). Das unten abgebildete Thermometer (Abbildung 2.1) stammt aus dieser Zeit. Unten im Hohlraum war Alkohol eingefüllt. Dehnt sich die Flüssigkeit durch Erwärmung aus, so steigt sie in dem spiralförmig aufgewickelten dünnen Rohr auf. Wenn die Thermometer verschieden dicke Steigrohre oder unterschiedlich geteilte Skalen hatten, konnten die Messungen der einzelnen Thermometer nicht miteinander verglichen werden. Diese Thermometer hatten noch keine Skalen mit Zahlenwerten, sondern unterschieden grob in Temperaturstufen, die in Worten unterscheidet wurden: "magnus frigidus" (grosse Kälte), "aer frigidus" (kalte Luft), "aer subfrigidus" (etwas kalte Luft), "aer temperatus" (milde Luft), "aer subcalidus" (etwas heisse Luft), "aer calidus" (heisse Luft) und "magnus calor" (grosse Hitze).

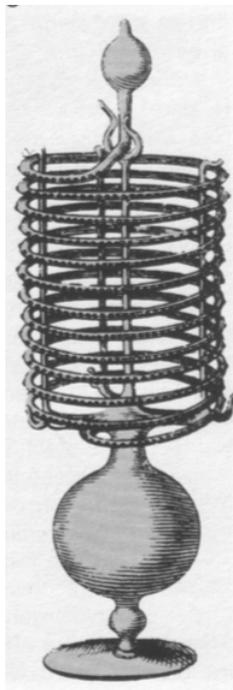


Abbildung 2.1: Das erste Thermometer

Gesucht wurde also eine Vorschrift wie die Temperatur in vergleichbaren Zahlenwerten gemessen werden kann, das bedeutet: eine geeignete Skala für die Temperaturmessung.

2.1 Temperaturskalen

2.1.1 Celsius

Der aus Uppsala stammende schwedische Astronom Anders Celsius (1701 - 1744) griff die Idee auf, die Schmelztemperatur von Eis und die Siedetemperatur von Wasser als Temperaturfixpunkte zu verwenden. Er schlug 1742 vor: Der Abstand zwischen den Markierungen der beiden Fixpunkte soll in 100 gleiche Teile eingeteilt werden; dabei ist Quecksilber als Thermometerflüssigkeit zu verwenden. Allerdings betrug bei Celsius die Siedetemperatur des Wassers 0 Grad und die Schmelztemperatur von Eis 100 Grad. Erst später wurde die Skala umgedreht. Die beiden Fixpunkte sind damit allerdings noch nicht genau definiert: Man muss noch angeben, unter welchem Druck der Siede- und Schmelzpunkt betrachtet wird. Man hat sich auf einen Druck von 1013 mbar geeinigt.

2.1.2 Réaumur

Nach dem Franzosen René-Antoine Réaumur (1683 - 1757) ist eine Thermometerskala benannt, bei welcher der Abstand Siedepunkt-Schmelzpunkt des Wassers in 80 gleiche Teile unterteilt ist. Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts wurden Temperaturen oft in °R (Grad Réaumur) angegeben. Die Réaumurskala wird heute nicht mehr verwendet.

2.1.3 Fahrenheit

In den USA und in Jamaika (und nur noch teilweise in Grossbritannien und Kanada) ist heute noch die Fahrenheitskala im Gebrauch. Diese wurde noch vor der Celsiusskala, nämlich um 1714, von Daniel Gabriel Fahrenheit (1686 - 1736) aus Danzig (damals Deutschland, heute Polen) entwickelt. Fahrenheit verbrachte den grössten Teil seines Lebens in Holland (Amsterdam, Den Haag) und baute seine Thermometer in der heute noch üblichen Form und füllte einige mit Quecksilber, andere mit Alkohol. Er gilt als der Erfinder des Alkoholthermometers (1709) und des Quecksilberthermometers (1714). Offenbar angeregt durch einen Besuch bei Olaf Römer suchte er nach Temperaturfixpunkten für seine Messskala. Als einen Fixpunkt und als Nullpunkt seiner Thermometerskala wählte er die Temperatur einer Mischung aus Eis, festem Salmiak und Wasser ("Kältemischung", -17.8°C); diese Temperatur soll auch die tiefste Nachttemperatur des bitterkalten Winters von 1709 gewesen sein. Fahrenheit hoffte, durch diese Wahl negative Temperaturen vermeiden zu können (was ihm aber nicht gelang). Als zweiter Fixpunkt diente ihm seine eigene Körpertemperatur (37°C). Fahrenheit markierte die Höhe der Flüssigkeitssäule bei diesen Fixpunkten; dann teilte er den Abstand zwischen den Markierungen in 100 gleiche Teile. Fahrenheit änderte den oberen Fixpunkt der Skala noch ab, da der Schmelzpunkt von Eis und der Siedepunkt von Wasser bei seiner Definition keine runden Werte annahmen. Nach der kleinen Korrektur lag die Schmelztemperatur des Eises bei 32°F (sprich: Grad Fahrenheit) und die Siedetemperatur des Wassers bei 212°F , die Körpertemperatur allerdings nicht mehr bei 100°F .

2.1.4 Kelvin

Die für die Physik wohl wichtigste Temperaturskala geht auf den schottischen Mathematiker und Physiker Lord William Thomson Kelvin (1824 - 1907) zurück. Man nennt die Skala die absolute Temperaturskala. Sie besitzt die Einheit Kelvin (K). Dies ist die SI-Einheit der Temperatur und diese muss in den Formeln der Thermodynamik eingesetzt werden! Man hat herausgefunden, dass es für alle Materie eine tiefstmögliche Temperatur gibt, den absoluten Nullpunkt. Dieser wird in der absoluten Temperaturskala als Fixpunkt verwendet. Bei dieser Temperatur ist die thermische Bewegung der Atome nicht mehr existent. Alle Atome und Moleküle des auf diese Temperatur gebrachten Körpers sind dann also in Ruhe. Der zweite Fixpunkt ist der so genannte Tripelpunkt des Wassers. Bringt man leicht verunreinigtes Wasser (ca. 4°C kühl) in ein Gefäss und saugt man kontinuierlich Luft aus dem Gefäss, so erniedrigt sich der Luftdruck über dem Wasser. Das Wasser beginnt sehr bald zu sieden (denn: je geringer der Druck über dem Wasser, desto früher beginnt dieses zu sieden). Interessanterweise beginnt zudem beim Absaugen der Luft die Wassertemperatur zu sinken. Es entsteht immer mehr Wasserdampf. Bei einem Druck

von 611 Pa (6.11 mbar) und einer Temperatur von 0.01 °C tritt ein interessanter Zustand auf: Es bildet sich eine Wassereisschicht im Gefäss. Darunter sind Blasen aus Wasserdampf und zuunterst im Gefäss ist immer noch Wasser vorhanden. Beim genannten Druck und der genannten Temperatur sind also alle drei Aggregatzustände des H₂O gleichzeitig vorhanden. Eis, Wasser und Dampf können im Behälter koexistieren (gleichzeitig vorhanden sein für alle Zeiten). Diesen Zustand nennt man den Tripelpunkt des Wassers.

2.2 Zusammenfassung

Celsiuskala:

Fixpunkte:

Zeichen:

Einheit:

Fahrenheitkala:

Fixpunkte:

Zeichen:

Einheit:

Kelvinskala:

Fixpunkte:

Zeichen:

Einheit:

Der Unterschied zwischen der Celsius- und der Kelvinskala ist lediglich die unterschiedliche Wahl des Nullpunktes. In der Kelvinskala wurde der Nullpunkt dort gewählt, wo die Teilchen absolut in Ruhe wären. "Wären" daher, weil man diesen Punkt nicht exakt erreichen kann, da dort jegliche Bewegungsenergie der Teilchen "verschwinden" würden. Man kann sich zwar experimentell bis auf wenige mK an den absoluten

Temperaturnullpunkt annähern, aber exakt erreichen kann man den absoluten Nullpunkt jedoch nicht!
Die Temperaturdifferenzen sind bei der Celsius- und der Kelvinskala gleich.

Beispiel 1: Erstellen Sie nun eine Umrechnungsformel für die Umrechnungen

a) von Celsius in Kelvin und zurück

b) von Celsius in Fahrenheit und zurück.

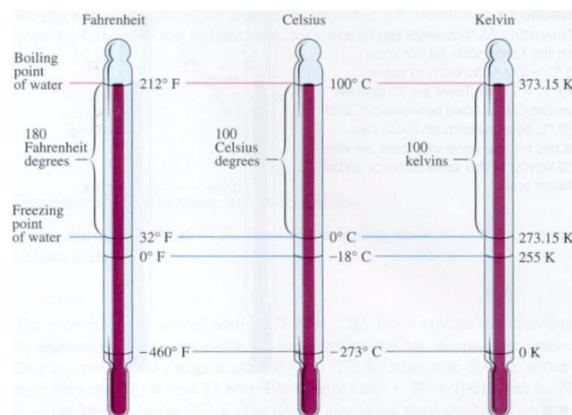


Abbildung 2.2: Fahrenheit, Celcius und Kelvinskala mit den Fixpunkten.

2.3 Molekulare Deutung der Temperatur

Der schottische Botaniker, Robert Brown, machte um 1827 eine erstaunliche Entdeckung. Er sah im Lichtmikroskop, dass Blütenpollen im Wasser eine andauernde Zitterbewegung ausführen. Er deutete dies zuerst als 'Manifestation des Lebens' in den Keimzellen. Jedoch fand er den gleichen Effekt auch bei leblosem Staub. Erst Albert Einstein, der sich in seiner Doktorarbeit mit dieser Brown'schen Bewegung auseinandersetzte, gab eine korrekte theoretische Beschreibung dieses Phänomens an: Im Zittern dieser Teilchen macht sich die thermische Bewegung der Wassermoleküle bemerkbar. Die Moleküle stossen von allen Richtungen her an die Blütenpollen. Die Bewegung bleibt bei konstanter Temperatur beliebig lange erhalten, da die thermische Bewegung der Wassermoleküle stets vorhanden ist. Bei zunehmender Temperatur wird diese Bewegung heftiger.

Molekulare Deutung der Temperatur:

2.4 Aggregatzustände

Je nach Temperatur kann sich ein Material in einem anderen Zustand befinden. Man unterscheidet dabei drei verschiedene solche Zustände, die sogenannten Aggregatzustände.

Fest:

Flüssig:

Gasförmig:

Im Folgenden werden die verschiedenen Zustände und Phasenübergänge in Abbildung 2.3 dargestellt.

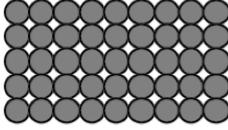
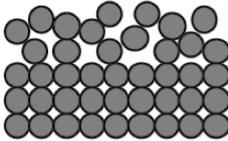
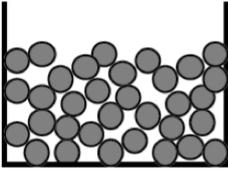
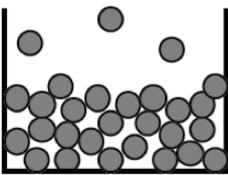
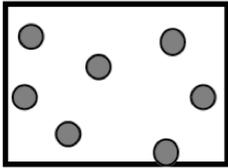
Temperatur	mikroskopische Modelle		makroskopische Eigenschaften
„niedrig“		idealer Festkörper Die Teilchen werden durch gegenseitige Kräfte an festen Plätzen gehalten. Sie schwingen leicht um die Gleichgewichtslage.	Ideale Festkörper sind starr. Festkörper dehnen sich bei Erwärmung geringfügig aus. Kristalle zeigen zusätzlich eine regelmässige äussere Struktur.
Schmelzpunkt , bzw. Erstarrungspunkt		Bei genügend heftiger thermischer Bewegung können sich die Teilchen vom ursprünglichen Platz im Festkörper entfernen.	Phasenübergänge schmelzen und erstarren
		ideale Flüssigkeit Die thermische Bewegung ist gerade so stark, dass sich die Teilchen einerseits gegeneinander (reibungsfrei) verschieben können, andererseits einander noch fast berühren.	Ideale Flüssigkeiten sind reibungsfrei, inkompressibel und passen sich jeder Gefässform an. Flüssigkeiten bilden eine horizontale Oberfläche und vergrössern bei Erwärmung ihr Volumen.
Siedepunkt, bzw. Kondensationspunkt		Bei starker Zunahme der thermischen Bewegung können die Teilchen mit genügend heftiger Bewegung den Teilchenverband ganz verlassen.	Phasenübergänge verdampfen und kondensieren
„hoch“		ideales Gas Die thermische Bewegung ist so heftig, dass die Abstände zwischen den Teilchen sehr gross sind und somit sich die Teilchen zwischen den elastischen Zusammenstössen frei und geradlinig bewegen können.	Gase können leicht zusammengepresst werden, sind flüchtig, füllen jeden Raum aus, sind sehr leicht und vermischen sich von selbst. Bei Erwärmung vergrössert sich der Druck auf die Gefässwände oder vergrössert sich dessen Volumen.

Abbildung 2.3: Die mikroskopischen und makroskopischen Eigenschaften für verschiedene Temperaturen.

2.5 Innere Energie vs. Temperatur

Die innere Energie ist die Summe aller Energieformen (Kinetische Energie, Rotationsenergie, Vibrationsenergie, Potentielle Energie) in einem Körper. Für die Wärmelehre ist die kinetische Energie die wichtigste Komponente der inneren Energie. Diese Komponente nennen wir in der Wärmelehre auch thermische Energie.

Temperatur ist ein Mass für die durchschnittliche (nicht totale!) kinetische Energie der Moleküle in einem Körper.

2.6 Temperatur und Wärme

Die Temperatur ist für den Menschen primär eine Empfindungsqualität. Wir können dank den Sinneszellen in der Haut wärmere und kältere Körper unterscheiden. Diese Empfindung erlaubt es dem menschlichen Körper, seine ideale Temperatur von knapp 37°C aufrechtzuhalten. Entsprechend verfügt die menschliche Haut über Kältesensoren, die im Bereich 20°C bis 34°C besonders empfindlich sind, und

über Wärmesensoren, die zwischen 37°C und 40°C ansprechen. Die Beurteilung der Temperatur nach dem Gefühl ist allerdings ziemlich unsicher, weil die Wärmeempfindung des Menschen nicht auf der physikalischen Temperatur, sondern auf dem Wärmestrom beruht und die "gefühlte Temperatur" deshalb erheblich von der tatsächlichen Temperatur abweichen kann.

Die Temperatur ist eine physikalische Grösse, die den Wärmezustand (den thermodynamischen Zustand) eines Körpers beschreibt: der Körper ist wärmer oder kälter; besser: der Körper hat eine höhere oder eine tiefere Temperatur. Deshalb bezeichnet man die Temperatur auch als *Zustandsgrösse*.

Demgegenüber ist die Wärme eine *Prozessgrösse*, die den Vorgang der Erwärmung oder Abkühlung eines Körpers beschreibt. Die Wärme muss einem Körper von aussen zugeführt werden, um ihn zu erwärmen, also um seine Temperatur bzw. seine sogenannte innere Energie zu erhöhen. Die Wärme wird dem Körper bei einer Abkühlung entzogen, er wird kälter, seine Temperatur nimmt ab und damit auch seine innere Energie.

Berühren sich zwei Materialien mit unterschiedlichen Temperaturen, so gleichen sich die Temperaturen aus.

Das heisse Material sich ab, seine innere Energie wird und das kühle Material sich, seine innere Energie

Die aufgrund der Temperatur übertragene Energie heisst [.....] =

Die Wärme beschreibt einen

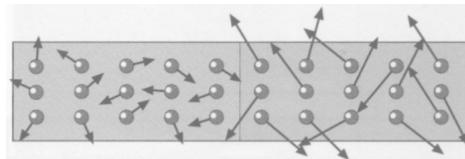


Abbildung 2.4: Wärme(energie) fliesst vom heissen System (rechts) zum kalten System (links),

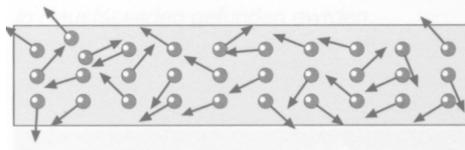


Abbildung 2.5: bis beide Systeme dieselbe Temperatur haben und keine Wärme mehr fliesst.

2.7 Aufgaben

- 1) Fahrenheit eichte seine Skala anhand seiner Körpertemperatur. Wie hoch war seine Körpertemperatur offenbar? Geben Sie diese Temperatur in $^{\circ}\text{C}$ und in Kelvin an.
- 2) 0°F soll die tiefste Temperatur des bitterkalten Winters von 1709 gewesen sein. Geben Sie diese Temperatur in $^{\circ}\text{C}$ und in Kelvin an.
- 3) Weshalb erwärmt sich ein Geldstück, wenn wir es starken Hammerschlägen aussetzen?

- 4) Bei welchen Temperaturen in °C und Kelvin gefriert resp. kocht das Wasser?
- 5) Welche Energieform(en) beeinflusst/beeinflussen die Temperatur eines Körpers? Kinetische Energie, Potentielle Energie, Rotationsenergie, Vibrationsenergie oder alle von diesen?
- 6) Im Schulzimmer hat es Stühle, Tische und Menschen. Welche dieser Körper haben eine Temperatur, die (a) tiefer als, (b) höher als oder (c) gleich der Temperatur der Luft ist?
- 7) Was hat eine höhere innere Energie: (a) ein Eisberg oder (b) eine Tasse heissen Kaffee? Begründen Sie Ihre Antwort.
- 8) Sie berühren einen kalten Stein. Fließt Kälte vom Stein in Ihre Hand? Erklären Sie!
- 9) Temperatur und Wärme sind zwei Begriffe, die in der Alltagssprache oft die gleiche Bedeutung haben. In der Physik ist dies nicht der Fall.
- a) Welcher der beiden Begriffe beschreibt, wie warm ein Körper ist?
- b) Welcher der beiden Begriffe beschreibt die Energie, die ein Körper aufnimmt oder abgibt, wenn er aufgeheizt oder abgekühlt wird?
- 10) Vervollständigen Sie diesen Text:
- a) Die innere _____ eines Körpers kann verändert werden, in dem man ihn erhitzt oder _____.
- b) Die Moleküle in einer heissen Kartoffel haben im Durchschnitt mehr _____ als die _____ in einer _____ Kartoffel.
- c) Zwei heisse Steine haben zusammen mehr _____ als ein heisser Stein alleine.
- d) Um einen Stein zu erwärmen braucht es _____.
- 11) Die Temperatur eines Körpers ist eine seiner fundamentalen physikalischen Eigenschaften.
- a) Weshalb gibt es eine untere Grenze für die Temperatur?
- b) Geben Sie die tiefstmögliche Temperatur in °C und K an.
- 12) Rechnen Sie die folgenden Temperaturen der einen Skala in die andere Skala um.
- a) 20°C, 100°C, -25°C, 0°C
- b) 0K, 100K, 300K

Kapitel 3

Spezifische Wärmen

3.1 Wärmetransport

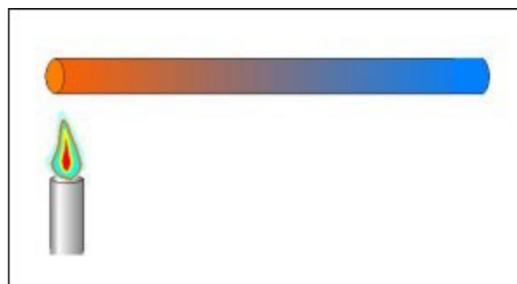
Im letzten Kapitel haben Sie die Temperatur und die Wärme kennengelernt. Nun betrachten wir, wie die Wärme transportiert werden kann. Wärme kann grundsätzlich auf drei verschiedene Arten transportiert werden.

1. Art:

Darunter versteht man den Wärmetransport innerhalb eines Körpers oder durch die Kontaktfläche zweier Körper. Sie sorgt vor allem in Festkörpern für die Temperaturangleichung, während sie bei Flüssigkeiten und Gasen zwar auch vorkommt, aber fast immer durch die Konvektion (siehe unten) dominiert wird.

Sind in einem Festkörper unterschiedliche Temperaturen vorhanden, so heisst das, dass sich die Moleküle verschieden stark bewegen. Beim Stoss von raschen Molekülen gegen langsamere wird im Durchschnitt der Stösse Bewegungsenergie auf die langsamere übertragen: die Temperaturen gleichen sich an, es liegt thermisches Gleichgewicht vor. Genau das gleiche passiert, wenn wir einen heissen Gegenstand berühren: Unsere Hautmoleküle werden zu stärkeren Schwingungen gebracht, die Wärmesensoren melden das ans Gehirn und wir erfahren eine Wärmeempfindung.

Die Wärmeleitung passiert umso schneller, je grösser der Temperaturunterschied ΔT ist. D.h., dass die Menge an transportierter Wärme pro Zeit proportional zum Temperaturunterschied ansteigt. Die Wärmeleitung ist ebenfalls materialabhängig: so leitet beispielsweise Glas die Wärme rund 10-mal besser als Kunststoffschäum. Die geringste Wärmeleitfähigkeit wird in Gasen beobachtet.



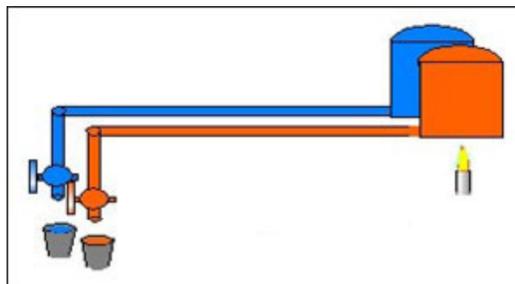
2. Art:

In Flüssigkeiten und Gasen ist die Konvektion der wirkungsvollste Ausgleichsprozess. In der Technik unterscheidet man die erzwungene von der Autokonvektion. Erstere wird mit Pumpen (z.B. in Heiz- und Kühlkreisen) oder Ventilatoren steuerbar eingesetzt. Die Autokonvektion äussert sich am eindrucksvollsten im täglichen Wettergeschehen und läuft nach folgendem Prinzip ab: Eine lokale Erwärmung in einer Flüssigkeit oder in einem Gas führt mit der damit verbundenen Ausdehnung zu einer lokal kleineren

ren Dichte und damit weiter zu einer Auftriebskraft, die nun ihrerseits eine Zirkulation in Gang setzt. Der erwärmte Stoff steigt auf und nimmt die in den schnelleren Molekülen deponierte Energie mit sich (Wärmemitführung). Kühlerer Stoff aus der Umgebung fließt nach und wird nun seinerseits erwärmt.

Beispiele: Lokale Aufwinde (für Gleitschirm- und Segelflieger), Abend- und Morgenwinde an Seeufern, die Erwärmung eines mit Heizkörpern ausgestatteten Raumes durch die Konvektion der Luft; Wärmetransport durch Zirkulation des Füllgases zwischen den zwei Scheiben einer Doppelverglasung. Wichtig ist die erzwungene Konvektion unseres Blutkreislaufs, welche neben anderen Funktionen die Körperwärme auf die Körperoberfläche transportiert.

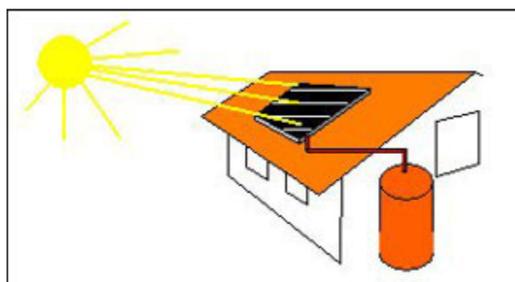
Die Konvektion ist ein Beispiel einer natürlichen Wärmekraftmaschine. Eine Temperaturdifferenz ist Ursprung einer mechanisch geordneten Bewegung - der Zirkulationsströmung des Mediums -, der eine entsprechende makroskopische Bewegungsenergie zugeordnet werden kann. Diese wird zum Beispiel in Windenergieanlagen genutzt.



3. Art:

Dass durch Strahlung Energie übertragen wird, ist uns von der Sonnenstrahlung her geläufig. Vielleicht haben Sie auch schon die Strahlung eines heißen Zimmerofens oder eines heißen Motors gespürt. Dass wir selber auch Energie abstrahlen (emittieren), ist bereits weniger bekannt, kann aber sofort überzeugend nachgewiesen werden: Halten Sie die offenen Hände in etwa 1 cm Abstand vor die Wangen. An ihren Wangen spüren Sie die Strahlung der Hände und in den Handflächen die Strahlung der Wangen.

Alle Körper strahlen Energie ab, unabhängig davon, ob ein anderer Körper in der Umgebung vorhanden ist oder nicht. Jeder Körper verringert also seine innere Energie durch Wärmeabstrahlung. Auf der Erdoberfläche sind wir in einer Umgebung, bei der alle Objekte etwa gleich stark strahlen. Deshalb wird die abgestrahlte Energie durch die Aufnahme (Absorption) der Umgebungsstrahlung wieder ersetzt. Der Wärmetransport durch Strahlung ist also fast immer ein Geben und Nehmen zwischen benachbarten Körpern. Besonders gut zeigt sich das, wenn man die rasche Abkühlung der Erdoberfläche in einer klaren Nacht mit der Situation bei bedecktem Himmel vergleicht. Die Erdoberfläche strahlt in beiden Fällen gleich stark nach oben ab. In der klaren Nacht wird nur wenig von der Lufthülle reflektiert, während bei bedecktem Himmel die Wolken stark zurückstrahlen und die Abkühlung kleiner ist. Bei der Wärmestrahlung muss also eine Bilanz zwischen Einstrahlung aus der Umgebung und Abstrahlung in die Umgebung gemacht werden, wobei immer eine Nettoübertragung von Energie in Richtung tieferer Temperatur resultiert.



3.2 Änderung der inneren Energie

3.2.1 Temperaturänderung

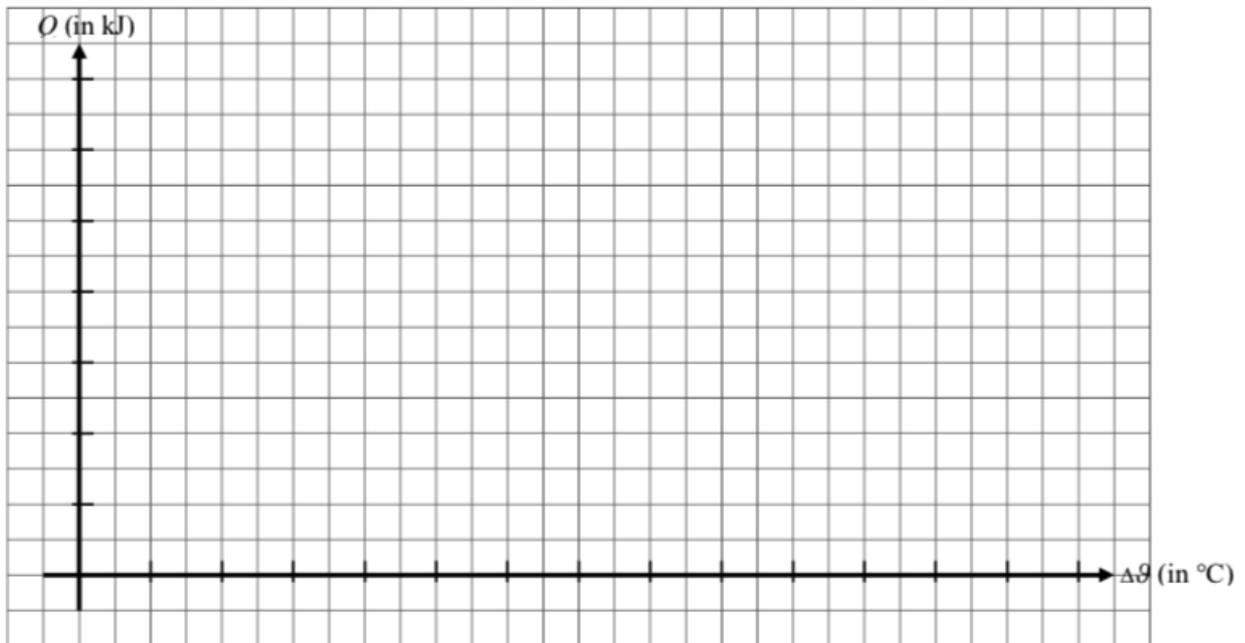
Steigt die Temperatur eines Körpers, so nimmt seine innere Energie zu, es wird dem Körper also Wärme zugeführt. Wie viel Wärme ein Körper speichern oder abgeben kann, ist (neben seiner Masse) entscheidend abhängig vom Material und seinem Aggregatzustand (fest, flüssig, gasförmig). Wir alle wissen und haben es evtl. schon schmerzhaft erfahren, dass viele Steine oder Sand im Sommer sehr heiss werden können. Doch warum erhitzt sich die gleichermassen bestrahlte Wasserpflütze nebenan nicht ebenfalls so stark?

Mit einem Tauchsieder ($P = \dots\dots\dots$) erhitzen wir Wasser für eine bestimmte Zeitdauer t . Die Wärmemenge Q , die dem Wasser zugeführt wird, berechnet sich gemäss:

Wärmemenge:

Messung (Wasser, $m = \dots\dots\dots$)

Zeit t (in s)	zugeführte Wärme- menge Q (in kJ)	gemessene Temperatur T (in °C)	Temperaturänderung (seit $t = 0$ s) ΔT (in °C)	$\frac{Q}{\Delta T}$ in $\left(\frac{\text{kJ}}{^\circ\text{C}}\right)$



Wir finden also folgenden Sachverhalt:

Die *spezifische Wärmekapazität* c ist ein Mass dafür, welche Wärmemenge Q man 1 kg eines Stoffes zuführen muss, damit sich seine Temperatur um 1 K (1°C) erhöht. Umgekehrt kann man auch sagen, dass die spezifische Wärmekapazität angibt, wie viel Wärmemenge 1 kg eines Stoffes bei einer Temperaturniedrigung von 1 K (1°C) abgibt.

Beispiel Wasser:

$$m =$$

$$\Rightarrow \frac{Q}{\Delta T} =$$

$$\Rightarrow c = \frac{Q}{\Delta T \cdot m} =$$

Die obengenannte Gleichung kann man umschreiben. Dann ist es möglich für eine bestimmte Masse m bei einer Temperaturerhöhung ΔT die zugeführte Wärmemenge Q zu berechnen:

Formel Q :

3.2.1.1 Aufgaben

- 1) Warum ist im Sommer der Sand heisser als die Wasserpflütze nebenan?
- 2) Wie viel Energie braucht es um einen 500 g schweren Aluklotz von 20°C auf 25°C zu erwärmen?
- 3) Aus welcher Höhe müsste ein Turmspringer der Masse 70 kg mindestens springen, damit er ein Wasserbecken von 1000 m^3 um 0.15°C erhitzen könnte?
- 4) Bei welchem (welchen) der folgenden Beispiele aus der Technik verwendet man Materialien mit möglichst hoher bzw. möglichst kleiner spezifischer Wärmekapazität?
 - a) Kühlflüssigkeit bei Automotoren
 - b) Thermoskanne
 - c) elektrische Speicheröfen
- 5) Zum Warmhalten von Speisen werden gelegentlich Wärmeplatten eingesetzt, die in einem Ofen aufgeheizt werden. Wärmeplatten mit den vorgegebenen Massen $1.5 \times 15 \times 30\text{ cm}^3$ sollen bei gleicher Temperaturdifferenz möglichst viel Wärme abgeben. Welches von diesen Materialien erfüllt diese Bedingung am besten: Aluminium, Blei, Eisen oder Kupfer?
- 6) In einem Boiler werden 400 l Wasser von 25°C auf 60°C aufgeheizt. Wie viel Energie in Joule werden dafür benötigt? Was kostet das Aufheizen, wenn der Preis für 1 kWh in der Nacht 8 Rp. beträgt?
- 7) Im Frühling ist das Wasser in der Badi manchmal noch sehr kalt und man fragt sich, wieso die Betreiber das Wasser nicht elektrisch aufheizen.
 - a) Berechnen Sie die elektrische Energie, die man aufwenden müsste, um das Wasser ($50\text{ m} \times 25\text{ m} \times 2\text{ m}$) von 16°C auf 25°C aufzuheizen.
 - b) Was würde das bei einem Kilowattstundenpreis von 17 Rp./kWh kosten?
- 8) Wie viel Energie muss einem Liter Wasser zugeführt werden, um ihn zum Kochen zu bringen (20°C auf 98°C)? Auf welche Höhe könnte man das Wasser mit dieser Energie hochheben?
- 9) Wie viel Energie ist nötig, um 85 cm^3 Ethylalkohol (Ethanol) von -5°C auf 55°C zu erwärmen? Die Wärmekapazität finden Sie in der Formelsammlung!

3.2.2 Mischungsprobleme

Die von einem Körper oder von einer Flüssigkeit aufgenommene Wärmemenge Q_{zu} ist gleich gross wie die vom anderen Körper oder der anderen Flüssigkeit abgegebene Wärmemenge Q_{ab} .

$$Q_{ab} + Q_{zu} = 0$$

Dabei geht die Wärme immer vom wärmeren Körper/Flüssigkeit auf den kälteren Körper/Flüssigkeit über, und zwar solange bis beide die gleiche Temperatur haben.

Beispiel 2: Wir mischen zwei unterschiedliche Mengen Wasser mit unterschiedlichen Temperaturen:

$$m_1 = \text{-----}, T_1 = \text{-----}$$

$$m_2 = \text{-----}, T_2 = \text{-----}$$

$$\text{gemessene Mischtemperatur } T_m = \text{-----}$$

Berechnung:

Beispiel 3: Eine Messingkugel wird in einem Wasserbad gekocht. Danach wird sie in kaltes Wasser geworfen. Durch Messen der Mischtemperatur bestimmen wir die Temperatur der Messingkugel vor dem Reinwerfen und vergleichen diese berechnete Anfangstemperatur mit der Temperatur des heissen Wasserbades, indem die Kugel zuvor erhitzt wurde:

Berechnung:

3.2.2.1 Aufgaben

1) Manchmal gelangen die Gläser in der Mensa direkt aus dem Geschirrspüler ($T_G = 70^\circ\text{C}$) wieder zum Gebrauch auf die Auslage. Nehmen wir an, so ein Glas ($m = 180\text{ g}$) sei immer noch 40°C warm, wenn man 1 dl Wasser der Temperatur 20°C (Raumtemperatur) einfüllt. Welche Mischtemperatur T_M stellt sich nach kurzer Zeit ein? (Der Wärmeaustausch mit der Umgebung soll vernachlässigt werden).

2) In einer Badewanne befinden sich 60 Liter Wasser der Temperatur von 16°C . Wie viel warmes Wasser der Temperatur 50°C muss eingefüllt werden, um eine Badetemperatur von 37°C zu erreichen? (dazu gehen wir von einer idealen Wanne, ohne Wärmeverlust aus).

3) Ein Wärmespeicher aus Wasser soll im Sommer durch Kollektoren aufgeheizt werden und im Winter durch Wärmeabgabe ein Haus heizen. Welche Masse Wasser muss der Speicher umfassen, wenn im Winter durch eine Temperaturverminderung von 50°C auf 35°C eine Wärmemenge abgegeben werden soll, die dem Heizwert¹ von 3000 kg Heizöl entspricht?

4) In manchen Restaurants werden heisse Speisen auf vorgewärmte Tellern serviert. Ohne diese Massnahme kühlen die heissen Speisen schon beim Anrichten stark ab. Die Suppe (= Wasser) zum Beispiel hat im Topf eine Temperatur von 95°C . Von ihr werden 240 g auf einen Porzellanteller (hat die gleichen thermischen Eigenschaften wie Glas) mit einer Masse von 610 g. gegeben Welche Anfangstemperatur müsste der Teller haben, damit sich allein durch den Temperatureausgleich zwischen Suppe und Teller eine Temperatur von 80°C einstellen würde?

5) Jedes Thermometer, das in eine Flüssigkeit getaucht wird, verändert die Temperatur, die eigentlich gemessen werden soll (ausser wenn es zufällig die gleiche Temperatur wie die Flüssigkeit hat). Untersuchen Sie am folgenden realen Beispiel, wie gross dieser Effekt ist:

Ein Stabthermometer, das nur aus Glas und Quecksilber besteht, hat eine Anfangstemperatur von 22.3°C . Es wird in 110 g Wasser von 60.0°C getaucht. Dabei werden 6.38 g Quecksilber und 1.26 g Glas des Thermometers erwärmt. Welche Temperatur zeigt das Thermometer maximal an?

¹Der Heizwert ist eine physikalische Grösse, die angibt, wie viele Joule Energie frei werden, wenn man ein Kilogramm des betreffenden Stoffs verbrennt, Tabelle hierzu auf S.102 im Fundamentum.