

WÄRMELEHRE

AKA. THERMODYNAMIK

eBook für Physik – Klasse 10

Matthias Lutz – GMS Rheintal

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 4

Arbeiten mit dem eBook 5

Versuche protokollieren 6

1. Grundlagen 8

1.1 Begriffsklärung 8

1.2 Die Hauptsätze der Thermodynamik 9

1.3 Temperaturempfinden 11

1.4 Messen von Temperaturen 12

1.5 Anomalie des Wassers 14

2. Energieform Wärme 15

2.1 Wärme erzeugen 15

2.2 Energien messen und vergleichen 16

3. Wärmeausbreitung 18

3.1 Wärmemitführung 18

3.2 Wärmeleitung 20

3.3 Wärmestrahlung 22

3.4 Wärmedämmung 23

4. Der Treibhauseffekt 25

4.1 Was passiert in einem Treibhaus? 25

4.2 Treibhauseffekt – Gut oder schlecht? 25

4.3 Der Treibhauseffekt in Zahlen 26

5. Ausdehnung durch Wärme 27

5.1 Veränderung der Dichte 27

5.2 Ausdehnung durch Wärme im Alltag 27

5.3 Die Brown´sche Bewegung 29

6. Die spezifische Wärmekapazität 30

6.1 Wärmeaufnahme 30

6.2 Die Wärmemenge Q 31

6.3 Die Leistung P 32

6.4 Berechnungen mit Q 33

7. Wechsel der Aggregatzustände 34

7.1 Das Teilchenmodell 34

7.2 Schmelzenergie 35

7.3 Verdampfungsenergie 36

7.4 Der Kühlschrank 37

7.5 Aufgaben mit hs und hv 38

Formeln, Einheiten, Tabellen 40

Formeln 40

Einheiten 41

Tabellen 42

Vorwort

Herzlich willkommen zum eBook für Gemeinschaftsschulen Physik – Wärmelehre (Thermodynamik). Der Bereich Wärmelehre im Fach Physik ist im Bildungsplan 2026 für Sekundarschulen von Baden-Württemberg für die 9. und 10. Stufe vorgesehen. Mit Hilfe dieses eBooks kannst du dir den kompletten Bereich selbstständig erarbeiten. Wie in allen Naturwissenschaften sollten zum Erkenntnisgewinn jedoch einige Versuche durchgeführt werden. Für deine eigene Sicherheit ist es sehr wichtig, dass du vorher alle Versuche mit einer Lehrkraft abklärst. Sie/Er kann dir dabei Tipps geben und dich gegebenenfalls beaufsichtigen, falls du mit gefährlichen Materialien arbeiten und experimentieren sollst.
Sollten dir Fehler auffallen, fachliche oder Rechtschreibfehler, teile sie mir bitte mit, damit ich dieses eBook stetig weiterentwickeln kann.

Entstehung und Intention des eBooks:
Ich habe das Fach Physik auf Realschullehramt an der Pädagogischen Hochschule in Schwäbisch Gmünd studiert und bin aktuell Konrektor und Lehrer an der Gemeinschaftsschule Rheintal. Begonnen habe ich meine Laufbahn an der Alemannenschule Wutöschingen, wo es als einziger Physiklehrer an der Schule meine Aufgabe war, allen SchülerInnen auf allen Niveaustufen die Grundlagen dieses Faches zu vermitteln. Zeitlich war dies kaum möglich, und ich musste damit einen Weg finden, wodurch sich alle Lernenden gewisse Inhalte selbstständig erarbeiten konnten. Das eBook war die Lösung.
Dieses eBook folgt keinem kommerziellen Zweck; „Bildung für alle“ ist das Motto.

Nun wünsche ich viel Spaß mit dem eBook und dem physikalischen Bereich *Wärmelehre*.

Autor: Matthias Lutz
matthias.lutz@gemeinschaftsschule-rheintal.de

Version: 3.0.0 (Stand 28.10.2026)

Arbeiten mit dem eBook



Das eBook ist so aufgebaut, dass man es von vorne nach hinten durcharbeiten kann. Jedes Kapitel baut dabei auf dem vorherigen auf. Solltest du also etwas nicht verstehen, könnte es u.a. daran liegen, dass du das vorherige Kapitel nicht sorgfältig genug durchgearbeitet hast.

Das eBook ist sowohl digital als auch analog in ausgedruckter Form verwendbar, darum werden Links auch immer in QR-Form zum Abscannen angegeben. Die QR-Codes sind im digitalen Bereich anklickbare/antippbare Links.

Dies ist keine Fachliteratur, sondern ein auf SchülerInnen ausgerichtetes eBook. Trotzdem ist die hier verwendete Sprache einer Fachliteratur sehr nahe. Das bedeutet, dass manche Wörter oder sogar ganze Sätze für fachfremde oder uninteressierte Personen teilweise etwas schwer verständlich sein können. Es kann vorkommen, dass du manche Abschnitte mehrmals lesen musst, bevor du sie komplett durchdrungen hast. Solltest du nach mehrfachem Lesen immer noch Verständnisprobleme haben, kannst du selbstverständlich eine Lehrkraft fragen.

Es wurden absichtlich keine Trennungen nach Niveaus eingefügt. Meiner Erfahrung nach kann sich jeder interessierte Mensch den kompletten Bereich aneignen, egal welche Voraussetzungen dieser mitbringt.

Es gibt Bereiche, die speziell gekennzeichnet sind:

V

Damit sind Versuche gekennzeichnet, die du selbst durchführen kannst. Fertige zu allen Versuchen ein Versuchsprotokoll an. Was du dabei beachten solltest, findest du im Kapitel Versuche protokollieren.

Zi

Damit sind Zusatzinformationen gekennzeichnet. Diese Informationen sind lediglich für interessierte Lernpartner/Schüler gedacht.

Bsp.

Damit sind Beispiele und Beispielrechnungen gekennzeichnet, die dir auf einfachem Wege zeigen sollen, wie du beim Lösen vorgehen kannst.

A

Damit sind Aufgaben gekennzeichnet, die du bearbeiten solltest. Damit andere deine Lösungen nachvollziehen können, gib am besten immer deinen kompletten Rechenweg an.

Versuche protokollieren

Vorlage Versuchsprotokoll

In der Naturwissenschaft werden viele Versuche durchgeführt, um neue Erkenntnisse zu gewinnen oder um bereits Bekanntes nachzuweisen. Hierbei ist es wichtig, dass diese richtig dokumentiert werden, damit die Ergebnisse für andere klar nachzuvollziehen sind. Dafür muss ein sogenanntes **Versuchsprotokoll** erstellt werden. Auf dem Protokoll müssen ALLE der folgenden Punkte zu finden sein.

1. Thema
Macht euch bewusst, zu welchem Thema ihr euren Versuch durchführt.
Bsp.: Wir führen einen Versuch zur Wärmeleitfähigkeit durch.

2. Intention
Überlegt euch genau, warum ihr euren Versuch durchführt.
Bsp.: Wir wollen damit herausfinden, welches Material die Wärme am besten leitet, um dies später in unser Modell einzubauen.

3. Hypothesen
Formuliert vor dem Experiment Hypothesen (Vermutungen), um euer Vorwissen und eure Gedanken offenzulegen.
Bsp.: Hypothesen: Wir vermuten, dass Metall die Wärme am besten leitet, weil …
Wir vermuten, dass Kunststoff die Wärme am schlechtesten leitet, weil …

4. Materialliste
Stellt eine genaue Liste der Versuchsmaterialien auf.

5. Versuchsaufbau
Beschreibt genau, was und wie ihr etwas aufgebaut habt, aber OHNE Wertung und Begründung. Macht am besten eine ordentliche und übersichtliche Zeichnung oder ein oder mehrere Bilder.

6. Versuchsdurchführung
Beschreibt genau, was im Versuch getan wird, aber OHNE Wertung und Erklärung.
Verwendete Sprache:
a) im Passiv,
b) in der Gegenwart,
c) ohne „ich“.

Physikalische Experimente haben kein handelndes Subjekt. Die Durchführung muss erfassen, was gemessen wird.
Bsp.: Der Metallstab und der Kunststoffstab werden gleichzeitig erhitzt, bis eine erste eindeutige Änderung zu erkennen ist.

7. Versuchsbeobachtung
Beschreibt genau, was ihr bei der Durchführung beobachten konntet, aber wieder OHNE Wertung und Erklärung und im Präteritum.
Bsp.: Nach etwa 2 Minuten lösten sich beim Metallstab die ersten Wachskugeln. Bei den Wachskugeln am Kunststoffstab war keine Veränderung zu erkennen.

8. Versuchsdeutung
Erklärt, warum ihr auftretende Effekte beobachten konntet.
Bsp.: Die Wachskugeln am Metallstab lösten sich deutlich früher, da Metall die Wärme besser leitet als Kunststoff.

9. Versuchsergebnis
Formuliert in kurzen, klaren Sätzen eure Ergebnisse, vergleicht diese mit euren Hypothesen (Punkt 3) und falls der Versuch Bestandteil eines Projekts ist, beschreibt die Folgen dafür.
Bsp.: Unsere Hypothesen haben sich damit bestätigt, weshalb wir unsere Dämmung nicht aus Kunststoff bauen.

Sicherheitshinweis:
Klärt alle Versuche, vor allem die mit potenziellen Gefahrenquellen wie z. B. Feuer oder elektrischem Strom, vorher mit einer Lehrkraft ab.



Tipp:
Eine KI (künstliche Intelligenz) deiner Wahl kann dir bei der Formulierung helfen. Gib als Prompt die geforderten Vorgaben ein.

1. Grundlagen

1.1 Begriffsklärung

Wärme und Energie

Es gibt viele verschiedene Formen von Energie, wie z. B. elektrische Energie (Strom) oder chemische Energie (Nahrung). Wärme ist ebenfalls eine Form von Energie. Energie hat die Einheit Joule (kurz: J).

Dichte ρ

Du weißt sicher, dass eine Bowlingkugel deutlich schwerer ist als ein Fußball, obwohl sie in etwa gleich groß sind. Das liegt an der jeweiligen Dichte. Jedes Material bzw. jedes Element hat seine eigene individuelle Dichte. Die Dichte ρ (sprich: „Rho“), auch Massendichte genannt, ist das Verhältnis der Masse *m* zum Volumen *V* eines Körpers.

$$Dichte = \frac{Masse}{Volumen} \qquad \rho = \frac{m}{V}$$

Die Einheit wird in den Grundeinheiten angegeben, also $\frac{kg}{m^3}$, bei geringer Dichte wird auch $\frac{g}{cm^3}$ verwendet.

Achtung:
Die Dichte ist abhängig von der Temperatur des Gegenstands.

Beispiel:
Die Dichte von Wasser (bei ca. 5 °C) beträgt 1000 $\frac{kg}{m^3}$, weil 1 Liter Wasser, also 1 dm³, 1 kg wiegt. In einem m³ stecken 1000 dm³, also 1000 kg.

Um die Dichte verschiedener Stoffe nachzuschauen, gehe ins Kapitel Formeln, Einheiten und Tabellen zum Abschnitt Tabellen.

Aggregatzustände

Stoffe können in drei unterschiedlichen Aggregatzuständen vorkommen:
1. Fest
2. Flüssig
3. Gasförmig

Führt man einem festen Stoff Energie in Form von Wärme zu, so erhöht sich seine Temperatur. Ist die Schmelztemperatur erreicht, so wird er nach und nach flüssig. Wird die Temperatur weiter bis zur Siedetemperatur erhöht, so wird der Stoff Gasförmig.

Beispiel:
Am Beispiel von Wasser ist dies gut zu erkennen und auch im Normalfall jedem bekannt. Eis ist der feste Aggregatzustand von Wasser. Wird Eis auf 0 °C erwärmt (Schmelztemperatur), so beginnt es zu schmelzen. Im flüssigen Aggregatzustand ist es „einfach nur“ Wasser, bis es auf 100 °C erhitzt wird (Siedetemperatur). Danach nimmt es den gasförmigen Aggregatzustand an und wird zu Wasserdampf.

Eis zu Wasser - Zeitraffer

Unter besonderen Bedingungen gibt es auch noch weitere Aggregatzustände, bspw. Plasma. Aber diese werden in diesem eBook nicht berücksichtigt. Wenn du mehr dazu wissen möchtest, schau dir den Film „Was ist Plasma“ auf YouTube an.

Was ist Plasma?

1.2 Die Hauptsätze der Thermodynamik

Thermodynamik ist ein anderes Wort für Wärmelehre. Sie gehorcht vier grundlegenden Naturgesetzen – den sogenannten **Hauptsätzen**. Diese beschreiben, wie Energie fließt und warum bestimmte Dinge in unserem Universum unumkehrbar sind. In den weiteren Kapitel wird immer wieder auf diese Hauptsätze verwiesen.

0. Hauptsatz: Das Gesetz des Temperaturausgleichs



- **Inhalt:** Bringt man zwei Körper mit unterschiedlichen Temperaturen miteinander in Kontakt, fließt solange Wärme von dem wärmeren zum kälteren Körper, bis beide **dieselbe Temperatur** erreicht haben (thermisches Gleichgewicht).
- **Aus dem Alltag:** Wenn du einen kalten Metalllöffel in eine heiße Tasse Kakao steckst, erwärmt sich der Löffel, während der Kakao ein wenig abkühlt. Am Ende haben beide exakt dieselbe Temperatur. Ohne dieses Prinzip würde kein Thermometer der Welt funktionieren.

1. Hauptsatz: Energieerhaltung



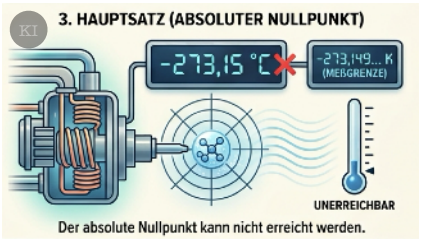
- **Inhalt:** Energie kann in einem geschlossenen System **weder erzeugt noch vernichtet** werden. Sie wird immer nur von einer Energieform in eine andere umgewandelt (z. B. elektrische Energie in Bewegungsenergie oder Wärme). Die Gesamtenergie bleibt dabei immer konstant.
- **Aus dem Alltag:** Wenn dein Smartphone-Akku leer ist, hat sich die Energie nicht in Luft aufgelöst. Sie wurde in elektrische Energie, Bildschirmlicht, Töne aus den Lautsprechern und vor allem in **Abwärme** umgewandelt.

2. Hauptsatz: Die Richtung von Wärmeflüssen



- **Inhalt:** Wärme fließt freiwillig immer nur von einem Ort hoher Temperatur zu einem Ort niedriger Temperatur – niemals von selbst umgekehrt.
- **Aus dem Alltag:** Eine heiße Tasse Kaffee kühlt auf dem Schreibtisch von alleine ab, indem sie Wärme an die Raumluft abgibt. Ein kalter Kaffee fängt jedoch niemals von alleine an, heiß zu werden und dabei die Umgebung abzukühlen. Auch ein zerbrochenes Glas setzt sich von selbst nicht wieder zusammen.

3. Hauptsatz: Der absolute Nullpunkt



- **Inhalt:** Es ist unmöglich, ein System durch einen endlichen Kühlprozess bis zum **absoluten Nullpunkt** (bei -273,15 °C) bzw. 0 Kelvin) abzukühlen. Bei dieser Temperatur würde jede thermische Eigenbewegung der Teilchen vollständig zum Erliegen kommen.
- **Aus dem Alltag:** Selbst im tiefsten, kältesten Weltall herrscht eine winzige Restwärme bzw. Nullpunktsenergie. Man kann sich dem absoluten Nullpunkt zwar im Labor bis auf Milliardstel Grade annähern, ihn aber **niemals ganz erreichen**.

1.3 Temperaturempfinden



Wir alle reagieren auf Wärme und Kälte, aber alle reagieren darauf unterschiedlich. Das Temperaturempfinden ist also subjektiv, d. h. von Person zu Person unterschiedlich. Während manche bei steigenden Temperaturen im Frühjahr schon ein T-Shirt als Bekleidung reicht, greifen andere noch zur Jacke. „warm“ ist also nicht gleich „warm“. Wir können mit unserem persönlichen Temperaturempfinden der Haut keine genaue Temperatur bestimmen. Wir können lediglich sagen, ob es uns zu kalt, zu warm oder angenehm ist. Außerdem können wir noch im direkten Vergleich sagen, ob etwas kälter oder wärmer ist. Aber auch da kann unser Temperaturempfinden getäuscht werden, je nach Voraussetzung des Berührungspunkts unserer Haut.
Besonders deutlich wird dies mit dem Versuch *Temperaturempfinden*.
Auch die Wärmeleitfähigkeit von Materialien kann unser Temperaturempfinden beeinflussen. Den Versuch dazu findest du im Kapitel 3.2 Wärmeleitung.

Versuch: Temperaturempfinden





Versuchsaufbau:
Drei Gefäße werden mit Wasser mit unterschiedlichen Temperaturen befüllt:

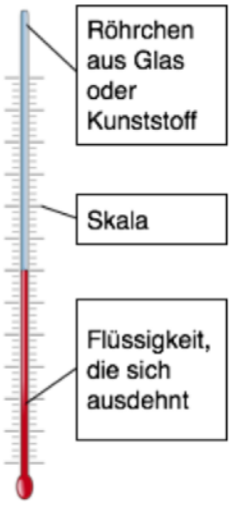
1. Kaltes Wasser – *ca. 10 – 15 °C* (kältestes Wasser aus dem Wasserhahn)
2. Heißes Wasser – *ca. 50 – 60 °C* (muss meist erhitzt werden)
3. Lauwarmes Wasser – *ca. 30 °C* (Mischung aus den ersten beiden)

Versuchsdurchführung:
Eine Hand wird ca. 60 Sekunden in das kalte Wasser gehalten, die andere Hand gleichzeitig ins heiße Wasser.
Danach werden beide Hände in das Lauwarme Wasser gehalten.

Tipp:
Denkt bei der Durchführung des Versuchs daran, diesen ordentlich zu dokumentieren, damit du ihn später nachvollziehen und auch deine Ergebnisse mit anderen vergleichen kannst. Lest dazu nochmal im Kapitel Versuche protokollieren nach.

1.4 Messen von Temperaturen

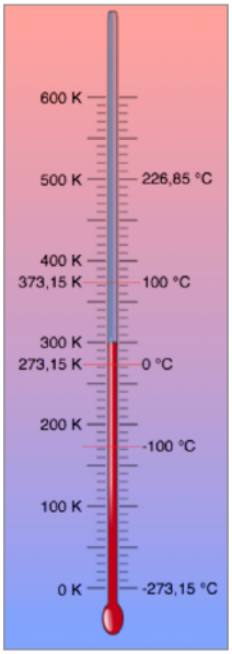
Das Thermometer



Um Temperaturen miteinander vergleichen zu können, wird ein Thermometer benötigt. Ältere und viele neuere Thermometer funktionieren nach dem Prinzip der Ausdehnung von Flüssigkeiten und haben folgenden Aufbau:

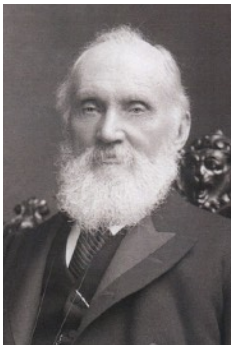
Ein dünnes durchsichtiges Röhrchen, meist aus Glas oder Kunststoff, wird teilweise mit einer Flüssigkeit gefüllt (im Bild links rot dargestellt). Welche Flüssigkeit dies ist, hängt vom Einsatzgebiet des Thermometers ab, also welche Temperaturen angezeigt werden sollen (siehe Tabelle unten).
Steigt nun die Temperatur, dehnt sich die Flüssigkeit aus und steigt im Röhrchen nach oben. Sinkt die Temperatur, zieht sich die Flüssigkeit zusammen und der Pegel sinkt. Um die genaue Temperatur ablesen zu können, wird eine Skala benötigt. Im europäischen Raum wird meist die Celsius-Skala verwendet, während im amerikanischen Raum die Fahrenheit-Skala zur Temperaturbestimmung vorherrscht. Abgekürzt wird Celsius mit °C (sprich: „Grad Celsius“), Fahrenheit mit °F (sprich: „Grad Fahrenheit“).

Celsius und Kelvin



Die Celsius-Skala orientiert sich an der Schmelz- und Siedetemperatur von Wasser. Bei 0 °C schmilz Eis und wird dadurch zu Wasser, bei 100 °C siedet Wasser und wird zu Wasserdampf. Die Skala geht auf den schwedischen Astronomen Anders Celsius zurück. Er nahm diese beiden Temperaturen als Fixpunkte und unterteilte den Bereich dazwischen in 100 gleich große Teile, heute Grad genannt.
Die Kelvin-Skala orientiert sich am absoluten Temperatur-Nullpunkt. Benannt ist sie nach William Thomson, 1. Baron Kelvin, der bei seinen Untersuchungen zum Verhalten von Gasen herausfand, dass eine gewisse Temperatur nicht unterschritten werden kann, der absolute Nullpunkt. Dieser liegt bei **-273,15 °C**. Dieser absolute Nullpunkt ist auf der Kelvin-Skala ebenfalls der Nullpunkt, also 0 K (sprich: „Null Kelvin).
Die Unterschiede, auch Differenzen genannt, sind bei Kelvin und Celsius gleich. Das bedeutet, wenn die Temperatur um 1 °C steigt, steigt sie ebenfalls um 1 K. Um einen Unterschied in der Mathematik


Anders Celsius (1701 - 1744)[Ω]


William Thomson, 1. Baron Kelvin (1824 - 1907)[Ω]

und in der Naturwissenschaft in Kurzschreibweise auszudrücken, wird der griechische Buchstabe Δ (sprich: „Delta“) verwendet. In der Wissenschaft werden die Temperaturen (T) und Temperaturunterschiede (ΔT) in der Regel in Kelvin angegeben.

Beispiel:
Der Temperaturunterschied zwischen -100 °C und +100 °C sind 200 K. Kurz ausgedrückt: ΔT = 200 K

3. Hauptsatz der Thermodynamik:
Dem absoluten Nullpunkt kann sich nur genähert werden, er ist jedoch durch keinen Prozess endgültig zu erreichen.

Häufig verwendete Flüssigkeiten für Thermometer

Substanz	Einsatzbereich		Anmerkungen
	von	bis	
Quecksilber	-30 °C	+350 °C	unbrennbar aber giftig
Toluol	-80 °C	+100 °C	gesundheitsschädlich und leicht entzündlich
Pentan	-200 °C	+30 °C	für besonders tiefe Temperaturen, jedoch sehr leicht entzündlich
Ethanol	-110 °C	+60 °C	leicht entzündlich
Galinstan	-10 °C	+1000 °C	nicht giftig, jedoch haftet es an Glas, weshalb es vorher speziell behandelt werden muss

Elektrische Thermometer

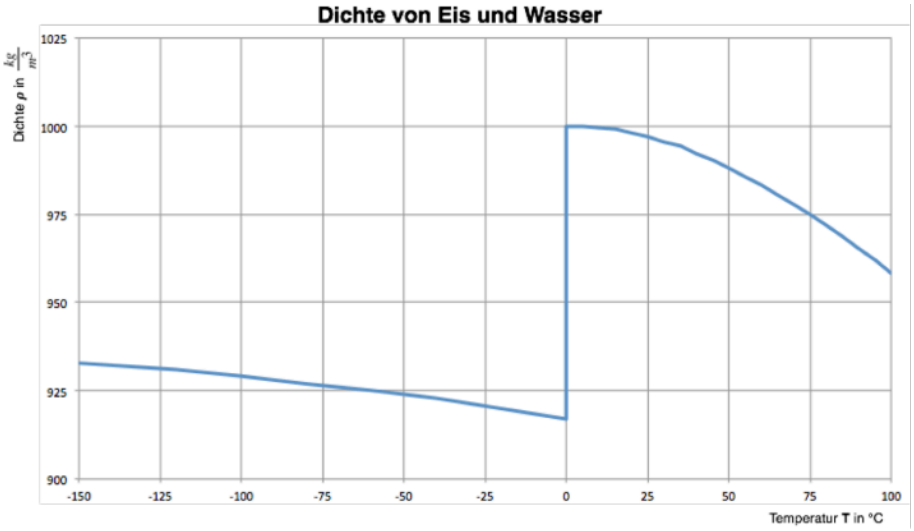
Ein elektrisches Thermometer (oft auch elektronisches Thermometer genannt) nutzt die Eigenschaft von bestimmten Materialien, bei unterschiedlichen Temperaturen ihren **elektrischen Widerstand** oder ihre **elektrische Spannung** zu verändern.
Im Gegensatz zum klassischen Quecksilber- oder Alkoholthermometer, bei dem sich Flüssigkeiten ausdehnen, wird hier die Temperatur in ein elektrisches Signal umgewandelt.

Stirnthermometer

Ein Stirnthermometer – auch **Infrarot-Thermometer** oder **Pyrometer** genannt – funktioniert nach einem ganz anderen Prinzip: Es misst die Temperatur **berührungslos**, indem es die **Wärmestrahlung** (Infrarotstrahlung) auffängt, die der menschliche Körper aussendet.

1.5 Anomalie des Wassers

Wasser gehört zu den chemischen Stoffen, die eine Dichteanomalie aufweisen. Normalerweise wird die Dichte von Stoffen größer, je weiter die Temperatur sinkt, da der Stoff sich zusammenzieht, das Volumen dadurch geringer wird, aber die Masse bestehen bleibt.
Doch jeder, der im Sommer einmal eine Glasflasche Wasser in der Tiefkühltruhe vergessen hat und danach das Chaos beseitigen musste, weiß, dass Wasser sich ausdehnt, wenn es zu Eis wird. D. h., das Volumen wird größer und die Dichte dadurch geringer.
Diese Anomalie tritt bei Wasser zwischen 0 °C und 3,98 °C auf. Eis, also der feste Aggregatzustand von Wasser, verhält sich untypischerweise nicht anormal. Dadurch ergibt sich das einzigartige Diagramm beim Verhältnis von Dichte und Temperatur.



Erläuterung des Diagramms:

- Bei Temperaturen unter 0 °C verhält sich das Eis normal, d. h. bei steigender Temperatur nimmt die Dichte stetig ab.
- Bei 0 °C beginnt das Eis zu schmelzen, es ändert seinen Aggregatzustand und wird zu Wasser. Wasser hat eine deutlich höhere Dichte, d. h. das Volumen wird kleiner.
- Ab 4 °C verhält sich Wasser dann wieder normal, d. h. bei steigender Temperatur nimmt die Dichte wieder stetig ab.

Die Dichteanomalie des Wassers ist außerdem dafür verantwortlich, dass stehende Gewässer wie Seen und Teiche nur oben frieren und die Lebewesen darin im Winter überhaupt überleben können. Mehr dazu erfährst du im Video.

Die Diche-Anomalie des Wassers

2. Energieform Wärme

2.1 Wärme erzeugen



Metall am Schleifbock: Mechanische Wärmeerzeugung

Wärme kann auf unterschiedliche Weise erzeugt werden. Durch Reibung kann beispielsweise sehr schnell sehr viel Wärme erzeugt werden. Dieser Effekt kann sehr nützlich sein, aber auch zu Problemen führen. Wir reiben unsere Hände aneinander, wenn uns kalt ist, jedoch müssen wir Arbeitsmaterialien wie z. B. einen Bohrer bei zu viel Reibung kühlen, damit er nicht stumpf wird oder bricht. Diese Beispiele zählen zur **mechanischen Wärmeerzeugung**.



Elektrische Energie wird in (Licht und) Wärme umgewandelt. Ca. 5% Licht und 95% Wärme.

In vielen Küchen wird heutzutage auf Elektroherden gekocht, und um Wasser schnell zu erhitzen, benutzen wir einen Wasserkocher oder Tauchsieder. Diese Geräte erzeugen alle Wärme mit Hilfe von **Elektrizität**.



Holzkohle verbrennt: Wärmeerzeugung durch chemischen Vorgang

Wenn wir grillen, benutzen wir zur Wärmeerzeugung meist Holzkohle oder Gas. Unsere Heizung wird u.a. oft mit Öl betrieben, und auch unser Auto erzeugt Wärme mit Benzin. Bei diesen Beispielen wird die Wärme immer durch einen **chemischen Vorgang** erzeugt.



Kernreaktor im Inneren Wärmeerzeugung durch atomaren Vorgang

In einem Atomkraftwerk oder bei einer Atombombe wird mit Hilfe von Kernspaltung ebenfalls Wärme erzeugt. Die Sonne erzeugt ihre Wärme durch Kernfusion. Dabei handelt es sich immer um einen **atomaren Vorgang**.

2.2 Energien messen und vergleichen

1. Hauptsatz der Thermodynamik: Energieerhaltung
Wärme ist eine Form von Energie, welche in andere Formen umgewandelt werden kann und umgekehrt. In einem geschlossenen System ist die Summe aller Energien konstant.

Energie messen

Um Energie messen und mit anderen Formen von Energie vergleichen zu können, wird eine allgemeine Bezugsgröße, eine sogenannte Einheit, benötigt.
Die Einheit für Energie ist Joule (kurz: J). Sie wurde im Bereich der Mechanik definiert, nicht im Bereich der Wärmelehre. Daher sind die Bezugswerte in der Wärmelehre keine glatten Zahlen, wie bei der Celsius-Skala.
Um die Temperatur von 1 kg Wasser (dies entspricht exakt einem Liter) um 1 Kelvin zu erhöhen, werden 4186 Joule benötigt.
Der Energiewert, der benötigt wird, um etwas zu erwärmen, ist bei jedem Stoff unterschiedlich. Man nennt diesen Wert die spezifische Wärmekapazität.

Die Einheit Joule wurde nach dem Physiker JAMES PRESCOTT JOULE benannt. Ursprünglich war Joule nicht die Energieeinheit für Wärme. Wilhelm Siemens hat erstmals 1882 die Einheit Joule als Einheit für die Wärme vorgeschlagen. Auf dem internationalen Elektrizitätskongress 1889 wurde sein Vorschlag angenommen.
Die Generalkonferenz für Maß und Gewicht hat 1948 verlangt, dass das Joule nach Möglichkeit anstelle von Kalorie verwendet wird. Seit 1960 ist Joule schließlich Teil des internationalen Einheitensystems (SI).Ω


James Prescott Joule (1818 - 1889)Ω

Noch heute verwenden wir im alltäglichen Sprachgebrauch die Einheit Kalorie, vor allem im Zusammenhang mit Lebensmitteln. Eigentlich reden wir dabei immer von Kilokalorien (kurz: kcal). Diese Angabe finden wir heute noch auf den meisten Lebensmittel-verpackungen.
Diese Einheit orientiert sich wie die Celsius-Skala am Wasser. 1 kcal wird benötigt, um 1 kg Wasser um 1 K zu erwärmen.

1 kcal = 4,186 kJ = 4186 J

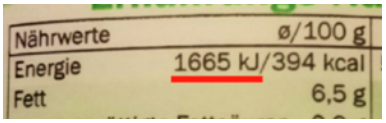
Energien vergleichen

Seit 1960 werden alle Formen von Energien in der Einheit Joule angegeben. Das macht es besonders einfach, unterschiedliche Energien miteinander zu vergleichen.
Das bedeutet, dass man z. B. die Energie von Nahrungsmitteln (auch Nährwert genannt) mit der Energie von Heizöl vergleichen kann.

Der Nährwert

Der Mensch ist ebenfalls ein Energiewandler. Nur einen kleinen Teil der Energie, die wir in Form von Nahrung (chemische Energie) zu uns nehmen, wandeln wir in Bewegung und Denkprozesse um; ein Großteil (80 % - 100 %) wird aber dafür verwendet, um unsere Körpertemperatur (etwa 37 °C) aufrechtzuerhalten. Das macht uns zu einer Wärmequelle. Ein erwachsener Mensch gibt im Durchschnitt etwa 100 J pro Sekunde an Wärme an seine Umwelt ab. D. h., pro Tag etwas 8640 kJ.

Food Database



Energieangaben auf einer Verpackung eines Laugen-Snacks.

Mittlerweile ist auf fast allen Lebensmittelverpackungen der Nährwert angegeben, damit wir wissen, wie viel Energie wir zu uns nehmen. In der Regel ist die Angabe der Energie immer auf eine Masse von 100 g angegeben. Auf dem Bild siehst du die Energieangaben auf einer Verpackung eines Laugen-Snacks. Pro 100 g stecken 1665 kJ an Energie darin. Im Vergleich dazu hat Heizöl einen Brennwert von 4270 kJ pro 100 g.

Beispielrechnung:

- Essen wir 100 g vom oben abgebildeten Laugen-Snack, nehmen wir 1665 kJ Energie zu uns, also 1 665 000 J.
- Wir gehen davon aus, dass wir 90 % der Energie in Wärme umwandeln: 1 665 000 J · 0,9 = 1 498 500 J
- Bei 100 J pro Sekunde bedeutet das:
  1 498 500 J : 100 J/s = 14 985 s.
  → Energie für 14 985 s.
  14 985 s : 3 600 s ≈ 4 h 10 min.
  → **Energie für über 4 Stunden!**

A

Aufgabe 2.2/1:
Schau in der Food Database (QR-Code rechts) nach und berechne, wie lange die Energie eines Döners (mit Hähnchenfleisch) hält?

Lösung A2.2/1

3. Wärmeausbreitung

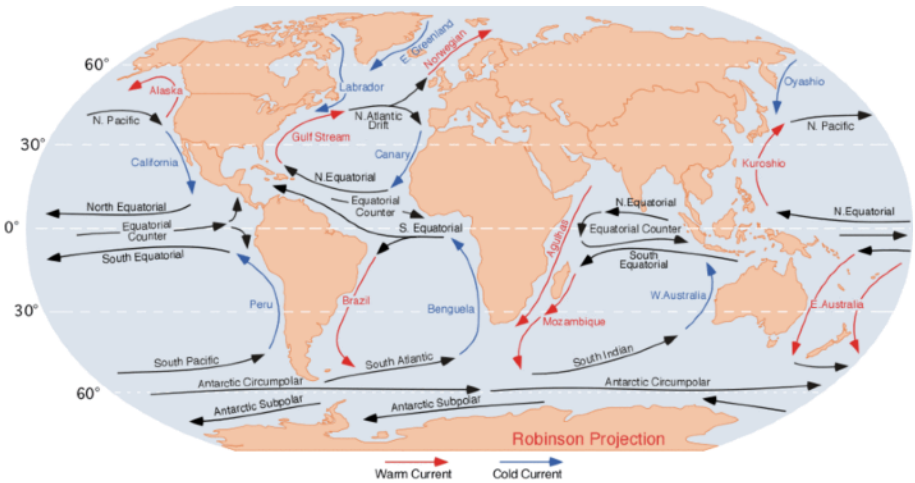
2. Hauptsatz der Thermodynamik:
Die Richtung von Wärmeflüssen
Wärme geht niemals von selbst von einem Körper niederer Temperatur zu einem Körper höherer Temperatur über.

3.1 Wärmemitführung

Wärme kann durch Wärmemitführung, auch Wärmeströmung oder Konvektion genannt, transportiert werden.

Wärmemitführung durch Wasser

Die Meeresströme der Erde beeinflussen sehr stark unser Klima. Ohne beispielsweise den Golfstrom (im Bild Gulf Stream) wäre es in Nordeuropa deutlich kälter. Er transportiert das warme Wasser vom Golf von Mexiko zu uns, wo er die Luft und damit unsere Umgebung erwärmt.
Auch eine Zentralheizung im Haus funktioniert nach diesem Prinzip. Ein komplett mit Wasser gefülltes Kreislaufsystem wird durch einen Brenner im Keller erhitzt. Das Wasser erwärmt sich und steigt wegen der Ausdehnung automatisch nach oben (wie auch warme Luft nach oben steigt). Am Zielort, dem Heizkörper oder der Heizspirale im Boden, gibt das warme Wasser die Wärme an die Umgebung ab, und der Raum wird beheizt. Das abgekühlte Wasser fließt danach wieder zurück zum Brenner und wird dort wieder erhitzt.



Wärmemitführung durch Wasser - Meeresströme auf der ganzen Welt [Q]

Wärmemitführung durch Luft

Im Raum selbst findet bei einer Heizung eine Wärmemitführung durch Luft statt, wenn der Heizkörper die Wärme an die Luft im Raum abgegeben hat und diese sich dann im gesamten Raum verteilt. Eine im Winter alltägliche Situation, bei der eine Wärmemitführung durch Luft zu beobachten ist, entsteht oft nach dem Duschen, wenn das Fenster zum Lüften geöffnet wird. Die warme Luft mit samt dem in der Luft hängenden Wasserdampf zieht dabei gut beobachtbar nach draußen. Die Wärme wird durch die Luft nach außen transportiert. Es findet hier also auch eine Wärmemitführung durch Luft statt.



Wärmemitführung durch Luft - warmer Dampf entweicht.

Allgemein gilt:

Wie viel Wärme durch Wärmemitführung übertragen wird, ist abhängig von …

- dem Stoff, der die Wärme transportiert,
- der durchströmten Fläche,
- der Temperaturdifferenz,
- der Strömungsgeschwindigkeit und
- der Zeit.

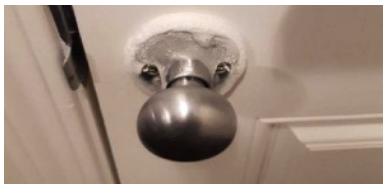
A

Aufgabe 3.1/1:

Nenne weitere Beispiele für Wärmemitführung aus dem Alltag:

3.2 Wärmeleitung

Materie kann die Wärme ebenfalls weiterleiten. Das weiß jeder, der schon einmal eine Suppenkelle aus Metall längere Zeit im heißen Kochtopf gelassen und sie dann wieder angefasst hat. Manche Materialien leiten die Wärme besser als andere (Vgl. Bild Türknauf rechts). Nachzuweisen ist dies relativ einfach mit verschiedenen Versuchen.



Türknauf bei -41 °C. Wärme wird durch Metall nach außen geleitet, dabei kühlt er im Inneren stark ab. Q

Versuch: Wärmeleitung 1

Materialliste:
Digitales Stabthermometer



Versuchsdurchführung:
Die gefühlte Temperatur von verschiedenen Materialien im selben Raum wird **mit der bloßen Hand** geprüft und eine Rangliste von warm zu kalt erstellt. Z. B. Holz (Stühle), Metall (Tische), Glas (Fenster), usw.
Danach wird die reale Temperatur der selben Materialien mit Hilfe des Stabthermometers geprüft.

Versuch: Wärmeleitung 2

Versuchsaufbau:
1. Ein Glas wird mit sehr warmem (nicht kochendem) Wasser gefüllt.
2. Stifte und andere längliche Gegenstände aus verschiedenen Materialien werden in das Glas gestellt.

Versuchsdurchführung:
Die Temperatur am oberen Ende der Gegenstände wird zu Beginn per Hand geprüft. (Dabei kommt es nicht auf die exakte Temperatur an, sondern nur auf das subjektive Empfinden.) Nach etwa 2 Minuten werden die Temperaturen erneut mit der bloßen Hand geprüft und die einzelnen Materialien miteinander verglichen.



Wärmeleitfähigkeit λ

In der Physik wird die Wärmeleitfähigkeit bei Festkörpern mit dem griechischen Buchstaben λ (sprich „Lambda“) abgekürzt und ist abhängig von der eingesetzten Energie (Q), der Länge (l) und der Querschnittsfläche (A) des Körpers, sowie der Zeit (t) und Temperaturdifferenz (ΔT). Dadurch ergibt sich folgende Gleichung:

$$\lambda = \frac{Q \cdot l}{A \cdot t \cdot \Delta T} \qquad \text{Einheit: } \frac{J \cdot m}{m^2 \cdot s \cdot K} = \frac{W}{m \cdot K}$$

Der Wärmestrom I_Q

Der Wärmestrom I_Q ist die Energie bzw. Wärme pro Zeit, die durch einen Gegenstand hindurchfließt. Er ist einerseits proportional zum Temperaturunterschied ΔT zwischen der heißen und der kalten Seite des Wärmeleiters, andererseits auch proportional zur Wärmeleitfähigkeit λ des Wärme leitenden Materials. Zusätzlich ist I_Q direkt proportional zur Querschnittsfläche A und indirekt proportional zur Länge beziehungsweise Schichtdicke l des Wärmeleiters. Insgesamt gilt also:

$$I_Q = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = -\lambda \cdot \frac{A}{l} \cdot \Delta T \qquad \text{Einheit: } \textbf{Watt}$$

Das Minuszeichen gibt an, dass der Wärmestrom stets in Richtung der kälteren Materialseite stattfindet.

A

Aufgabe 3.2/1:
Berechne den Wärmestrom eines 10 cm langen Kupferdrahtes mit einer Querschnittsfläche von 12 mm² und einer Temperaturdifferenz von 50 K.

Lösung A3.2/1

A

Aufgabe 3.2/2:
Um Heizkosten zu sparen wird eine Außenwand (20 m²) mit 15 cm dickem Schaumstoff gedämmt (λ = 0,14 $\frac{W}{m \cdot K}$). Berechne die Leistung, die eine Heizung bringen muss, um den Wärmestrom bei einer Temperaturdifferenz von 20 K auszugleichen und damit die Temperatur zu halten. (Sonstige Dämmungen sind zu vernachlässigen.)

Lösung A3.2/2

A

Aufgabe 3.3/3:
Das Dach (400 m²) einer Scheune wird mit 20 cm Stroh (λ = 0,065 $\frac{W}{m \cdot K}$) gedämmt. Bei einer Innentemperatur von 18 °C entsteht ein Wärmestrom von -1950 W. Welche Temperatur herrscht außerhalb der Scheune?

Lösung A3.2/3

3.3 Wärmestrahlung



Zwischen der Sonne und der Erde befindet sich im Wesentlichen ein Vakuum – also kaum Materie. Trotzdem erreicht uns die Wärme der Sonne auf der Erde. Dies geschieht durch **Wärmestrahlung**, bei der es sich physikalisch um elektromagnetische Wellen handelt. Einen großen Teil davon macht die unsichtbare **Infrarotstrahlung** aus. Diese Strahlung durchdringt den Raum, trifft auf die Erde sowie auf Gegenstände und erwärmt diese direkt. Ein Teil der ankommenden Strahlung wird dabei von der Erdoberfläche wieder reflektiert (zurückgeworfen).
Diesen Effekt können wir auch im Alltag auf der Erde beobachten. Wenn wir uns beispielsweise einem Lagerfeuer nähern, spüren wir die intensive Hitze deutlich, selbst wenn wir seitlich zum Feuer stehen. Da warme Luft aufgrund der Thermik (Konvektion) nach oben steigt, kann die Wärme an der Seite nicht primär von der Luft stammen. Die spürbare Wärme wird stattdessen direkt durch **Infrarotstrahlung** übertragen, die sich – unabhängig von der Luftbewegung – geradlinig von der Wärmequelle ausbreitet.

Zi



Eine Wärmebildkamera wird hauptsächlich von Energieberatern, Handwerkern und Bauingenieuren genutzt. Die Kamera misst die abgegebene Infrarotstrahlung und stellt sie farblich dar: Warme Bereiche (rot/gelb) zeigen Wärmeverluste sowie Lücken in der Isolierung, während kalte Bereiche (blau/lila) auf eine gute Dämmung hinweisen. Dadurch lassen sich energetische Schwachstellen schnell und präzise aufspüren.

A

Aufgabe 3.3/1:
Nenne weitere Beispiele für Wärmestrahlung aus dem Alltag:

_____

_____

_____

_____

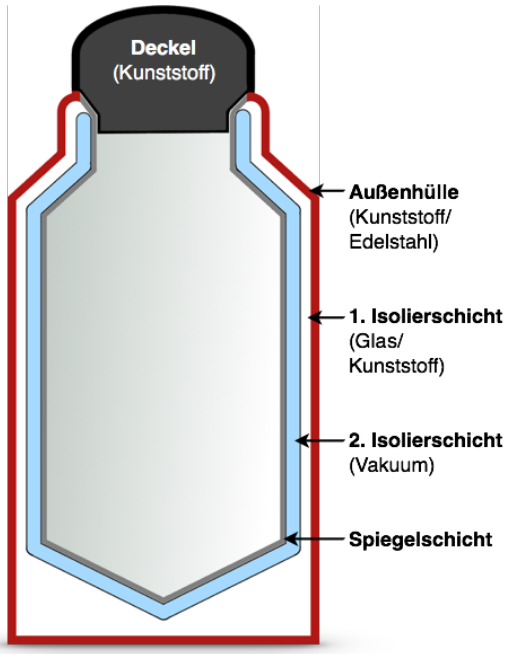
3.4 Wärmedämmung

0. Hauptsatz der Thermodynamik:
Das Gesetz des Temperaturausgleichs
Zwei Teilsysteme verschiedener Temperatur, die im Wärmekontakt stehen, streben einem Gleichgewichtszustand an.

Wenn wir verhindern möchten, dass sich Wärme ausbreitet, sprechen wir von Wärmedämmung. Das funktioniert mit unterschiedlichen Materialien unterschiedlich gut. In Kapitel 3.2 Wärmeleitung hast du schon erfahren, dass die Wärmeleitfähigkeit dafür entscheidend ist.

Die Isolierkanne / Thermoskanne

Die Isolierkanne ist ein sehr gutes Beispiel für Wärmedämmung aus beiden Richtungen.
Wenn es beispielsweise im Sommer außen warm ist, soll die Isolierkanne die Flüssigkeit im Inneren kalt halten. Dafür muss die Kanne von außen vor Wärme schützen. Dafür besitzt sie eine Außenhülle, die entweder aus Kunststoff oder aus Edelstahl ist. Edelstahl hat dabei den Vorteil, dass durch die spiegelnde Oberfläche die Wärmestrahlung abgehalten wird, jedoch leitet das Material die Wärme recht gut. Kunststoff leitet die Wärme zwar schlechter, schützt jedoch weniger vor Wärmestrahlung und ist nicht so stabil wie Edelstahl.



Als nächstes kommt die 1. Isolierschicht, die entweder aus Glas oder Kunststoff besteht. Glas leitet die Wärme dabei schlechter als Kunststoff, jedoch ist es deutlich empfindlicher.
Danach kommt ein luftleerer Raum, auch Vakuum genannt. Da kein Medium besteht, durch das die Wärme übertragen werden kann, und keine Strahlung bis dahin kommt, ist die Flüssigkeit im Inneren optimal vor äußeren Einflüssen geschützt.

Wenn es außen kalt ist, soll die Isolierkanne die Wärme der Flüssigkeit im Inneren halten. Dafür kommt zuerst eine Spiegelschicht, die die Wärmestrahlung der Flüssigkeit aufhält. Danach kommt die 2. Isolierschicht, das Vakuum, damit die Wärme kein Trägermedium mehr hat.

So behält das Innere sowohl bei Kälte als auch bei Wärme von außen seine Temperatur.
Größter Schwachpunkt einer Isolierkanne ist der Deckel. Auch wenn dieser aus isolierendem Kunststoff gefertigt ist, ist eine hundertprozentige Isolierung nicht möglich.

Wärmedämmung bei Häusern

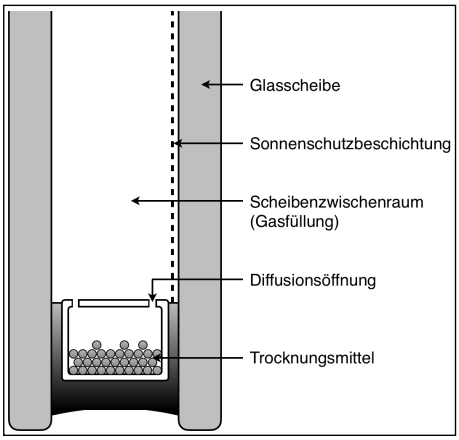
Auch Wohnhäuser sollten gedämmt werden, damit im Winter die Wärme nicht so leicht verloren geht und Heizkosten gespart werden können. Gleichzeitig sollten die Häuser im Sommer vor der Hitze von außen geschützt werden, damit im Inneren eine angenehmere Temperatur herrscht.



Hauswand mit Glaswolle bzw. „Wärmedämmverbundsystem“ gedämmt

Für die Wände nutzt man dafür häufig Glas- oder Steinwolle bzw. ein Wärmedämmverbundsystem (druckfester als reine Glas- oder Steinwolle). Diese Materialien sind sehr leicht zu verarbeiten, günstig in der Anschaffung und weisen einen sehr guten Dämmwert auf.

Schwachpunkte bei der Wärmedämmung von Häusern sind i. d. R. die Fenster. Allerdings wurden in diesem Bereich in den letzten Jahren große Fortschritte erzielt. In der Abbildung rechts ist ein Doppelglasfenster im Querschnitt abgebildet.



Doppelglasfenster im Querschnitt

Die Glasscheibe ist direkt mit einem Sonnenschutz beschichtet. Diese durchsichtige Beschichtung soll gefährliche Sonnenstrahlung abhalten und uns z. B. vor Sonnenbrand schützen.
Der Zwischenraum ist meist mit Argon gefüllt. Dieses Gas weist einen besonders guten Wärmedämmwert auf.
Zwischen den Scheiben befindet sich im unteren Bereich Trocknungsmittel. Dies nimmt die Feuchtigkeit zwischen den Scheiben auf, damit diese nicht von innen anlaufen. Damit sich das Trocknungsmittel im Scheibenzwischenraum entfeuchten kann, sind Diffusionsöffnungen nötig (*Diffusion: Selbstständige Vermischung von Gasen*).

4. Der Treibhauseffekt

4.1 Was passiert in einem Treibhaus?


Treibhaus

Die Außenwände und das Dach eines Treibhauses bestehen zum großen Teil aus Glas. Es fällt daher besonders viel Sonnenlicht ein. Sonnenlicht ist Energie in Form von Strahlung (elektromagnetische Wellen). Die Materialien im Innenraum absorbieren diese Energie und erwärmen sich. In einem Gewächshaus sind dies im Normalfall Pflanzen und die Umgebungsluft.
Da das Haus aber geschlossen ist, kann kein direkter Wärmeaustausch mit der kälteren Außenluft stattfinden. Die Temperatur im Inneren ist darum deutlich höher. Gleichzeitig steigt die Luftfeuchtigkeit, die ebenfalls nicht entweichen kann.
Dieser Effekt ist natürlich beabsichtigt, da bestimmte Pflanzen bei diesen Bedingungen deutlich besser und schneller wachsen und blühen.

Übertragung auf die Erde

Die Sonne strahlt Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung zur Erde. Strahlung breitet sich, wie z. B. auch Schall, in Wellen aus. Die häufigste Wellenlänge liegt um 500 nm (Nanometer; 1 nm = 0,000000001 m). In diesem Bereich absorbiert die Lufthülle der Erde, wie auch Glasscheiben, nur wenig Strahlung, Objekte auf der Erde jedoch sehr wohl. Die Objekte auf der Erde geben ebenfalls wieder Strahlung ab, jedoch im Bereich um 10.000 nm. Für die Rückstrahlung sind aber bestimmte Elemente in der Lufthülle der Erde (sog. Treibhausgase), wie auch Glas, undurchlässig. Die Erde erwärmt sich.

4.2 Treibhauseffekt – Gut oder schlecht?

Der Treibhauseffekt ist für unsere Erde auf der einen Seite enorm wichtig. Ohne ihn wäre es bei uns sehr kalt und wir könnten wohl kaum überleben. Wir sprechen dabei vom *natürlichen Treibhauseffekt*.
Auf der anderen Seite darf sich dieser Effekt auch nicht wirklich verstärken, ansonsten gerät unser Klima total aus dem Gleichgewicht, was bereits jetzt katastrophale Folgen hat, auch wenn dies noch nicht alle wahrhaben wollen. Der durch den Menschen verursachte Treibhauseffekt nennt sich der *anthropogene Treibhauseffekt*. Lange, heiße und sehr trockene Sommer, schlechtere Ernten, ausgetrocknete Flüsse und Seen und milde

Winter mit kaum Schneefall können nicht mehr ignoriert werden. Und das sind nur die direkten Folgen für unsere Region in Mitteleuropa, die uns Menschen betreffen.

Um den Klimawandel zu stoppen, muss jeder Mensch auf der Erde seinen Beitrag leisten. Das fängt schon bei kleinen Dingen an, wie weniger Auto fahren oder nur hochwertiges Fleisch kaufen, um Massentierhaltung nicht zu unterstützen.

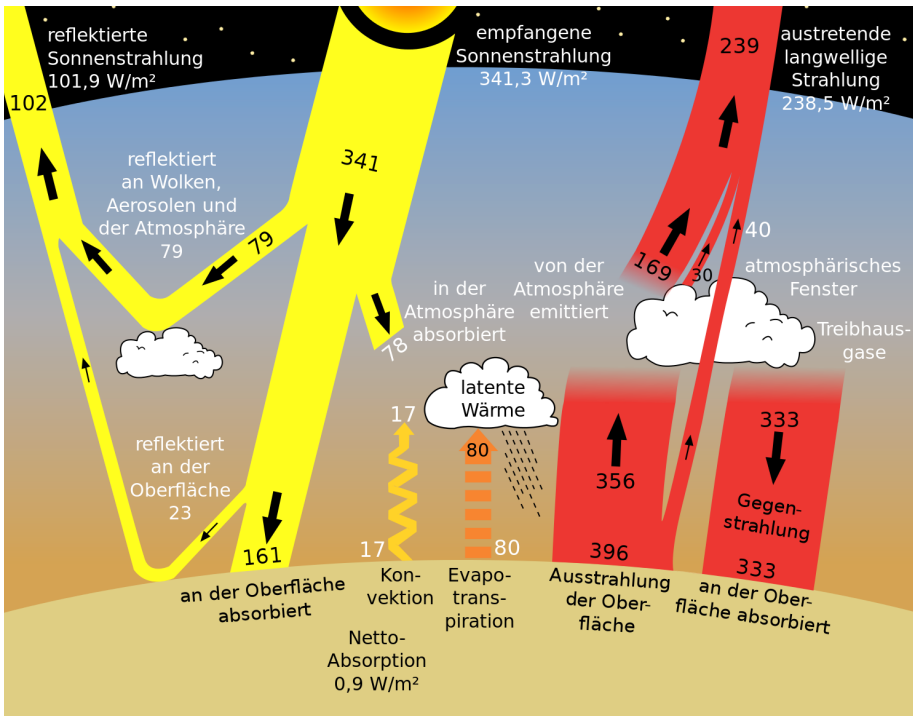


G. Thunberg vor dem schwedischen Parlamentsgebäude in Stockholm im August 2018Ω

4.3 Der Treibhauseffekt in Zahlen

Im BildΩ kannst du die sowohl ankommenden, als auch die reflektierenden und ausgehenden Strahlenwerte ablesen. Diese werden in $\frac{W}{m^2}$ angegeben, das bedeutet Leistung (der Strahlenenergie) pro Fläche. Leistung ist Energie pro Zeit (1 W = 1 $\frac{J}{s}$).

In der Abbildung wird ebenfalls deutlich, dass Wolken durch Treibhausgase die Strahlung auf der Erde halten. Diese Gase werden von uns Menschen erzeugt, vor allem durch Industrie-, Autoabgase und landwirtschaftliche Nebenprodukte. Am Ende bleibt eine Netto-Absorption von 0,9 $\frac{W}{m^2}$ übrig. Das bedeutet, dass permanent ein Energieüberschuss in Form von Wärme auf unserer Erde bleibt, weswegen sie sich langsam immer mehr erwärmt.



5. Ausdehnung durch Wärme

5.1 Veränderung der Dichte



Heißluftballon, der die Luft im Inneren erhitzt, um zu steigen.

Den meisten Menschen ist bekannt, dass warme Luft nach oben steigt, aber der Grund dafür ist weniger bekannt. Ob sich etwas vom Erdboden entfernt oder nicht, hängt von der Dichte des Stoffes und seiner Umgebung ab. Hat ein Stoff eine geringere Dichte als seine Umgebung, so steigt er nach oben. Luft mit einer höheren Temperatur hat eine geringere Dichte als Luft mit niedrigerer Temperatur. Luft dehnt sich, wie die meisten Stoffe auch, bei Wärmezufuhr aus. Dadurch bleibt zwar die Masse erhalten, jedoch erhöht sich das Volumen. Bei Abkühlung zieht sich die Luft wieder zusammen und die Dichte steigt wieder.

Stoffe, egal ob Gase, Flüssigkeiten oder Materie, dehnen sich im Regelfall bei Wärmezufuhr aus (die Dichte verringert sich) und bei Abkühlung ziehen sie sich zusammen (die Dichte vergrößert sich). Eine Ausnahme dieser Regel ist beispielsweise Wasser zwischen 3,98 °C und 0 °C. Dieses Phänomen ist bekannt unter „die Anomalie des Wassers“.

Wie groß die Ausdehnung ist, hängt von der Temperaturerhöhung und vom Stoff selbst ab. Aber allgemein gilt: Je höher die Temperatur, desto größer die Ausdehnung.

5.2 Ausdehnung durch Wärme im Alltag



Dehnungsfuge einer Brücke

Auch im Alltag müssen wir darauf achten, dass sich Stoffe ausdehnen, und dies entsprechend mit einplanen. Beispielsweise muss beim Bau einer Brücke eine sogenannte **Dehnungsfuge** mit eingebaut werden. Ansonsten droht die Gefahr, dass durch die Temperaturunterschiede zwischen Sommer und Winter eine zu große Spannung entsteht und diese im schlimmsten Fall einstürzt.

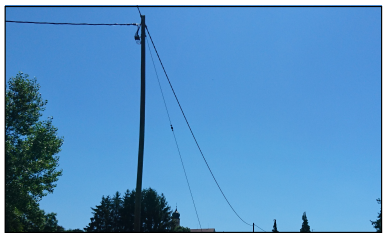


Asphalt ohne Dehnungsfuge - bei zu hohen Temperaturen fängt dieser an sich zu wellen. Q

Was passieren kann, wenn die Temperatur zu hoch steigt und sich damit der Asphalt auf der Straße zu weit ausdehnt, zeigt das Bild Asphalt ohne

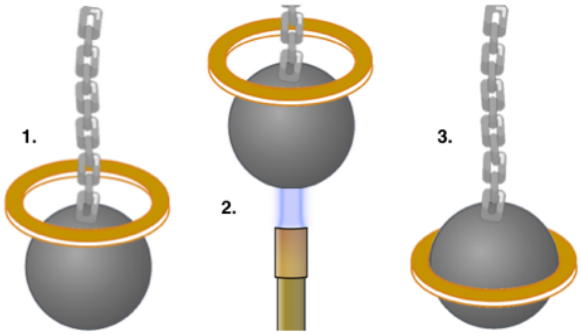
Dehnungsfuge.
Auch beim Auto muss die Ausdehnung bei Erwärmung beachtet werden. Z.B. müssen bei allen Verkleidungsteilen gewisse **Spaltmaße** eingehalten werden. Beachtet man dies nicht, droht die Verkleidung unter der entstehenden Spannung zu reißen.
Beim Verlegen von Kabeln muss ebenfalls darauf geachtet werden, dass diese nicht zu straff gespannt sind, damit sie Platz haben, sich auszudehnen bzw. zusammenzuziehen.
Um anschaulich nachzuweisen, dass sich Stoffe bei Wärmezufuhr merklich ausdehnen und bei Abkühlung wieder zusammenziehen, dient der Versuch *Ausdehnung durch Wärmezufuhr*.


Spaltmaße beim Auto


Kabelverlegung

Versuch: Ausdehnung durch Wärmezufuhr

Versuchsaufbau:



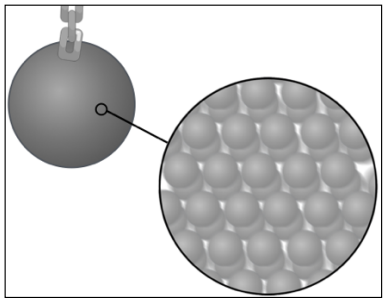
Ausdehnung durch Wärme

Versuchsdurchführung:
Eine Metallkugel passt bei Raumtemperatur exakt durch einen Metallring.
Die Kugel wird etwa 1 Minute lang mit einem Bunsenbrenner erhitzt.
Direkt im Anschluss wird versucht die Kugel wieder durch den Metallring zu drücken.
Nachdem die Kugel wieder auf Raumtemperatur abgekühlt ist, wird erneut versucht die Kugel durch den Metallring zu drücken.

5.3 Die Brown´sche Bewegung

Innerer Aufbau von Körpern

Damit wir verstehen können, was im Inneren eines Körpers passiert, müssen wir zuerst wissen, wie ein Körper aufgebaut ist.
Alle Körper sind aus kleinen Teilchen aufgebaut, sogenannten Atomen. Wir stellen sie uns Kugelförmig vor. Diese Teile sind ständig in Bewegung, auch wenn wir dies mit dem bloßen Auge nicht sehen können.



Innerer Aufbau und innere Energie von Körper

Erwärmung eines Körpers

Fügen wir einem Körper Energie in Form von Wärme zu, verstärkt sich die Bewegung der Teilchen, aus denen er aufgebaut ist. Je höher die Temperatur, desto stärker die Bewegung, desto mehr Platz benötigen die Teilchen, umso mehr dehnt sich der Körper als Ganzes aus. Die Bewegung der Teilchen bezeichnen wir als innere Energie.
Ist die innere Energie gleich Null, also wenn keinerlei Bewegung der Teilchen besteht, ist der absolute Nullpunkt erreicht. Dieser liegt bei -273,15 °C, bzw. bei 0 K (Kelvin).

ACHTUNG: Temperaturdifferenzen werden immer in Kelvin angegeben. Bsp.: Die Differenz von 10 °C und 40° C ist 30 K.

Robert Brown

Der Entdecker dieses Phänomens war Robert Brown. 1827 beobachtete der schottische Botaniker Bewegungen von Pollenstaub im Wasser, obwohl das Wasser völlig still erschien. Der sehr leichte Pollenstaub wurde von den sich bewegenden Wasserteilchen mitbewegt.
Diese Entdeckung wurde dann erst 1905 von Albert Einstein und 1906 von Marian Smoluchowski aufgeklärt.



Robert Brown (1773 - 1858)

---

6. Die spezifische Wärmekapazität

6.1 Wärmeaufnahme



An einem heißen Sommertag läufst du barfuß durch das Freibad und stellst folgendes fest: Das Gras auf der Liegewiese hat eine angenehme Temperatur, es ist weder zu kalt, noch zu heiß für deine Füße. Die Steinplatten um die Schwimmbecken sind sehr heiß. So heiß, dass du teilweise das Gefühl hast, du verbrennst dir die Füße. Zur Abkühlung springst du ins Wasser, dieses fühlt sich im Vergleich dazu sehr kalt an.
Da es für uns Alltag ist, nehmen wir dies als „normal“ hin. Aber denken wir genauer darüber nach, fällt auf: Gras, Stein und Wasser bekommen alle gleich lang die selbe Energie der Sonne.
Warum erhitzen diese sich dann unterschiedlich?

Unterschiedliche Stoffe benötigen unterschiedlich viel Energie, um sich zu erwärmen. Dies ist die *spezifische Wärmekapazität* (Formelzeichen: *c*). Sie ist bei jedem Stoff anders. Sie gibt genau an, wie viel Energie (Joule, kurz: J) nötig ist, um 1 kg des Stoffes um 1 K (Kelvin) zu erwärmen.
Die Einheit ist also $\frac{J}{kg \cdot K}$

Beispiel Wasser:
Wasser hat eine spezifische Wärmekapazität c von 4180 $\frac{J}{kg \cdot K}$ bzw. 4,18 $\frac{kJ}{kg \cdot K}$.
Will man also 1 kg (1 Liter) Wasser um 1 Kelvin erhöhen, benötigt man dafür 4180 J.

Die spezifische Wärmekapazität von einigen Stoffen findest du im Kapitel Formeln, Einheiten und Tabellen im Abschnitt Tabellen.

Da die spezifische Wärmekapazität bei allen Stoffen unterschiedlich ist, kann sie auch zur Bestimmung von Stoffen genutzt werden. Ist die Dichte zu ähnlich, kann neben der elektrischen Leitfähigkeit auch die spezifische Wärmekapazität durch Tests Aufschluss geben, um welches Material es sich handelt.

6.2 Die Wärmemenge Q

Die Energie, die ein Körper zum Erwärmen benötigt, bzw. bei Abkühlung abgibt, kann berechnet werden. Sie wird als *Wärmemenge Q* bezeichnet und wie alle Energien in Joule bzw. Kilo-Joule (kurz: J bzw. kJ) angegeben.
Um sie zu berechnen wird die spezifische Wärmekapazität (c) benötigt, die Masse des zu erwärmenden Körpers (m) und wie viel Grad er wärmer werden muss (ΔT).

Formel:
Wärmemenge = spez. Wärmek. · Masse · Temperaturdifferenz
Q = c · m · ΔT

Bsp.

Beispielrechnung:
Beim Kochen auf einem Elektroherd muss zuerst der Topf aus Aluminium (0,5 kg) um 150 K erhitzt werden.
Berechne die Wärmemenge, die allein der Topf benötigt, um zu kochen.

Gegeben: $c = 0{,}896 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

$m = 0{,}5\ kg$

$\Delta T = 150\ K$

Gesucht: Q

Berechnung: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$
$= 0{,}896 \cdot 0{,}5 \cdot 150$ (ohne Einheiten → wirkt einfacher)
$= \underline{67{,}2\ kJ}$ (am Ende MUSS aber die korrekte Einheit stehen)

Antwort: Es werden ca. 67 kJ benötigt, um alleine den Topf auf die richtige Temperatur zu bringen.

Allgemeiner Hinweis zu Berechnungen:
Verwende bei Berechnungen immer die selben Einheiten. Wenn c in $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ angegeben ist, rechne mit **kg, kJ** und **K** und nicht mit **g, J** und/oder **°C**. Gegebenenfalls musst du die Einheiten vorher umrechnen.

6.3 Die Leistung P

Leistung ist in der Physik immer erbrachte Arbeit, bzw. Energie pro Zeit. Also wie viel Joule bspw. ein elektrisches Gerät pro Sekunde erbringen kann. Die Einheit hierfür ist Watt (kurz: W).

$$Leistung = \frac{Energie(Arbeit)}{Zeit}$$

Kurz: $P = \frac{W}{t} = \frac{Q}{t}$

Einheiten: $Watt(W) = \frac{Joule(J)}{Sekunde(s)}$

Bsp.

Beispielrechnung:
Die Herdplatte rechts schafft maximal 1500 W.
Wie lange benötigt die Herdplatte, um den Aluminiumtopf aus der Beispielrechnung aus Kapitel 6.2 zu erhitzen?



Herdplatte 1500 W. - unnötige Informationen wurden aus dem Bildausschnitt entfernt. Q

Gegeben: P = 1500 W
Q = 67,2 kJ = 67200 J (aus Beispielrechnung von 6.2)

Gesucht: Zeit t

Berechnung: $P = \frac{Q}{t}$

$1500 = \frac{67200}{t}$ (ohne Einheiten → wirkt einfacher)

$t = \frac{67200}{1500}$ = 44,8 s ≈ 45 s

Antwort: Bei voller Leistung braucht die Herdplatte etwa 45 Sekunden, um den Topf um 150 K zu erhitzen.

6.4 Berechnungen mit Q

A

Aufgabe 6.4/1:
Um Nudeln zu kochen, sollen 2 Liter Wasser von Raumtemperatur (20 °C) zum Kochen gebracht werden.
Welche Menge Energie (Wärmemenge) ist dafür nötig?
(Q für Topf kann vernachlässigt werden.)

Lösung 6.4/1

A

Aufgabe 6.4/2:
Die Raumluft in einem quaderförmigen Raum (5m x 8m x 2,5m) soll um 3 K erhöht werden.
Welche Menge Energie ist dafür nötig?

Lösung 6.4/2

A

Aufgabe 6.4/3:
Eine Rolle Aluminiumfolie ist ausgerollt, 30 cm breit, 10 m lang und 0,015 mm dick. Zum Auswalzen muss sie von Raumtemperatur (20 °C) auf Schmelztemperatur erhitzt werden.
Welche Menge Energie ist dafür nötig?

Lösung 6.4/3

A

Aufgabe 6.4/4:
Ein Brandstempel mit einem Gewicht von 1,5 kg wird zum Einbrennen um 1000 K erhitzt. Dafür sind 678 kJ Energie nötig.
Aus welchem Material besteht der Stempel?

Lösung 6.4/4

A

Aufgabe 6.4/5:
Ein Goldbarren hat die Maße (in mm) 55 × 31,4 × 3

a) Wie schwer ist der Goldbarren?
b) Er soll von Raumtemperatur (20 °C) zum Schmelzen gebracht werden. Wie viel Energie ist dafür nötig?
c) Ein Muffelofen bringt etwa 1100 W Leistung. Wie lange benötigt er theoretisch zum Schmelzen, wenn tatsächlich die gesamte Leistung beim Goldbarren ankommt?
d) Tatsächlich benötigt der Ofen jedoch etwa 2 min. Welche Leistung kommt beim Goldbarren an?

Lösung 6.4/5

A

Aufgabe 6.4/6:
Ein Heizgebläse mit 17 kW Leistung soll die Lufttemperatur in einem quaderförmigen Raum (10m x 10m x 2,5m) um 10 K erhöhen.

a) Wie lange muss das Heizgebläse dafür in Betrieb sein? Runde auf ganze Minuten.
b) Da sich im Raum nicht nur Luft befindet, die aufgeheizt werden soll, sondern auch Möbel und andere Gegenstände, benötigt das Heizgebläse ca. 15 min. Wie viel Energie benötigen die Gegenstände, um aufzuheizen?

Lösung 6.4/6

7. Wechsel der Aggregatzustände

7.1 Das Teilchenmodell

Aggregatzustands-wechsel

Führt man einem Stoff Energie zu, dann erhöht sich seine Temperatur. Je höher die Temperatur, umso mehr schwingen die Teilchen im Inneren, und die Bindungskräfte zwischen ihnen werden schwächer. Dadurch benötigen die Teilchen mehr Platz, und der Körper dehnt sich aus. Vgl. 5. Ausdehnung durch Wärme

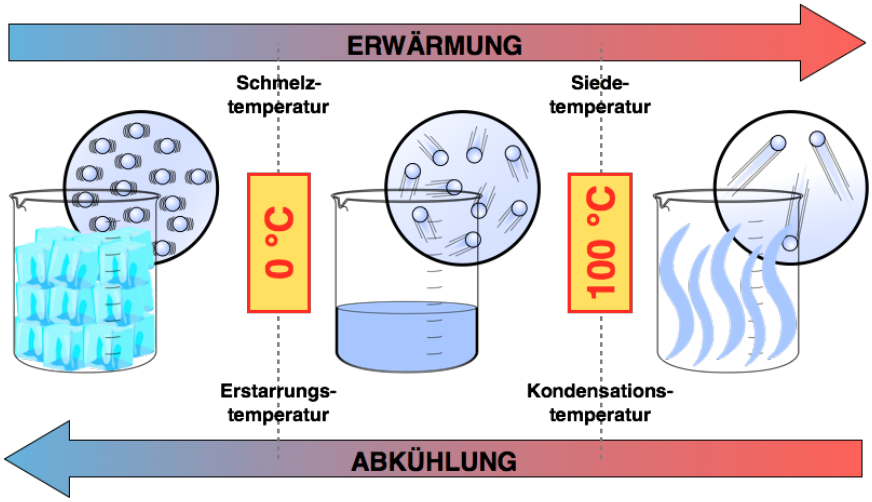
Erreicht man die Schmelztemperatur (kurz: Θ_m; sprich „Theta“; das *m* steht für *melting*) eines Stoffes, sind die Bindungskräfte zwischen den Teilchen so schwach, dass sie ihren Platz verlassen und der feste Körper in den flüssigen Zustand übergeht.

Erhöht man die Temperatur noch weiter, bis die Siedetemperatur (kurz: Θ_b; *b* für *boiling*) erreicht wird, wirken die Bindungskräfte nicht mehr, und der Stoff geht in den gasförmigen Zustand über.

Beim Abkühlen laufen die Vorgänge in umgekehrter Reihenfolge ab. Jeder Stoff hat seine individuelle Schmelz- und Siedetemperatur, siehe Tabellen.

Bsp.

Beispiel Wasser:
Das Eis wird durch Energiezufuhr so lange erwärmt, bis es 0 °C erreicht hat. Es wird weiter Energie hinzugefügt, die Temperatur bleibt aber konstant bei 0 °C, bis das Eis komplett geschmolzen ist. Erst danach erhöht sich die Temperatur des Wassers wieder, bis 100 °C. Wird dem Wasser weiter Energie zugeführt, erhöht sich die Temperatur des Wassers nicht mehr, sie bleibt konstant bei 100 °C, bis es komplett verdampft ist. Wasserdampf kann dann wiederum weiter erhitzt werden.

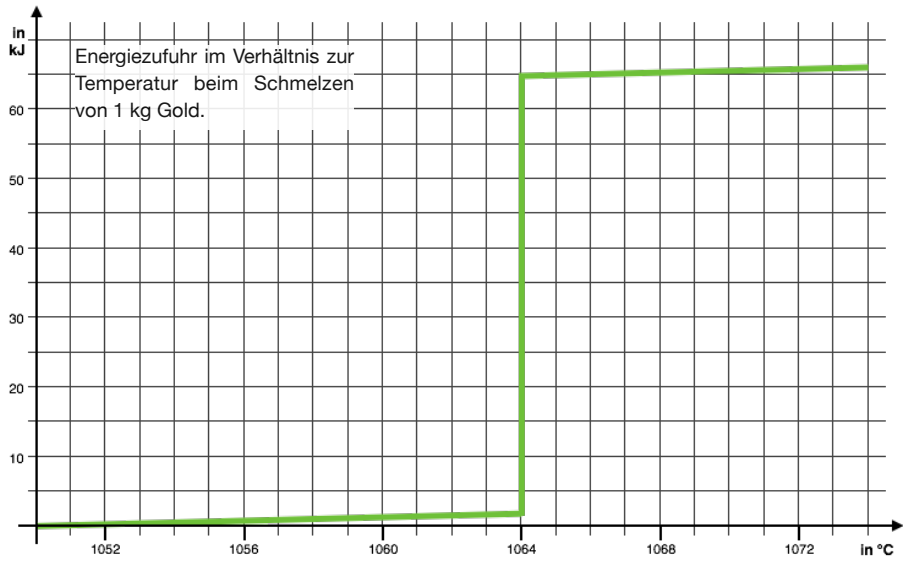


7.2 Schmelzenergie

Wird ein fester Stoff bis zur Schmelztemperatur erwärmt, beginnt er, seinen Aggregatzustand zu wechseln, von fest zu flüssig. Dabei behält der Stoff die Schmelztemperatur bei, bis er komplett geschmolzen ist. Damit der Stoff aber immer weiter schmilzt, benötigt er auch immer weiter Energie, obwohl die Temperatur konstant bleibt. Diese Menge an Energie nennt man **Schmelzenergie** (auch *Schmelzenthalpie* genannt), abgekürzt mit $\mathbf{h_s}$. Sie ist abhängig von der Masse und dem Stoff selbst, d. h. jeder Stoff benötigt unterschiedlich viel Energie.
Die Einheit ist $\frac{kJ}{kg}$, sie gibt also an, wie viel Energie nötig ist, bis 1 kg des Stoffes geschmolzen ist, aber ohne dabei die Temperatur zu erhöhen.

Der umgekehrte Vorgang ist die **Erstarrung**. Dabei wird dem Stoff entsprechend Energie entzogen. Die Erstarrungsenergie (auch *Kristallisationswärme* genannt) und die Schmelzenergie sind identisch.
Die benötigte Schmelzenergie von einigen Stoffen findest du im Abschnitt Tabellen.

Erläuterung Diagramm:
Die spezifische Wärmekapazität von Gold ist recht gering, d. h., man benötigt wenig Energie, um Gold zu erhitzen. Darum ist die Gerade vor und nach dem Schmelzen recht flach. Bei 1064 °C ist die Schmelztemperatur erreicht; ab da wird die ganze Energie benötigt, um das Gold zu schmelzen; die Temperatur bleibt konstant. Erst wenn das ganze Gold geschmolzen ist, steigt die Temperatur wieder an.

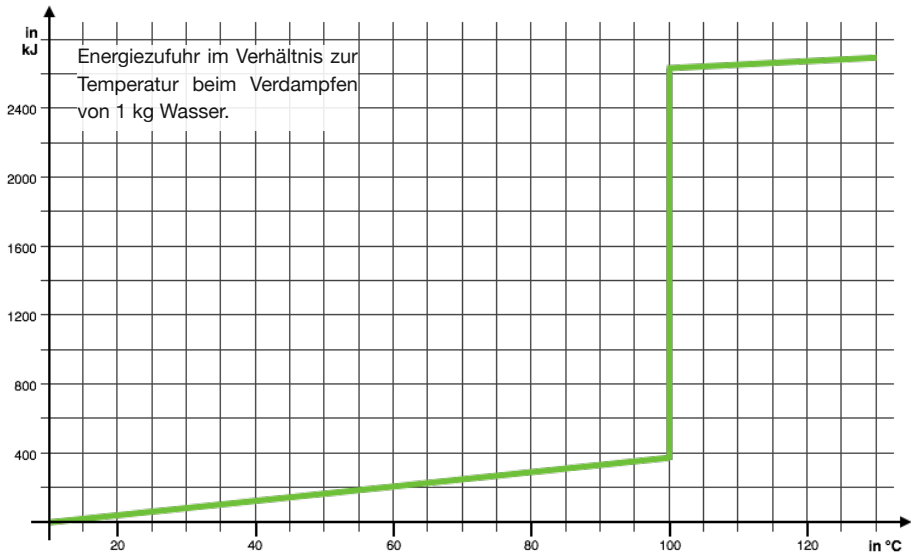


7.3 Verdampfungsenergie

Wird ein flüssiger Stoff bis zur Siedetemperatur erwärmt, beginnt er, seinen Aggregatzustand zu wechseln, von flüssig zu gasförmig. Dabei behält der Stoff die Siedetemperatur, bis er komplett verdampft ist. Damit der Stoff aber immer weiter verdampft, benötigt er auch immer weiter Energie; die Temperatur bleibt dabei konstant. Diese Menge an Energie nennt man **Verdampfungsenergie**, abgekürzt mit $\mathbf{h_v}$. Sie ist abhängig von der Masse und dem Stoff selbst, d. h., jeder Stoff benötigt unterschiedlich viel Energie.
Die Einheit ist ebenfalls $\frac{kJ}{kg}$, sie gibt also an, wie viel Energie nötig ist, bis 1 kg des Stoffes verdampft ist, aber ohne dabei die Temperatur zu erhöhen.

Der umgekehrte Vorgang ist die **Kondensation**. Dabei wird dem Stoff entsprechend Energie entzogen. Die Kondensationsenergie und die Verdampfungsenergie sind identisch.
Die benötigte Schmelzenergie von einigen Stoffen findest du im Abschnitt Tabellen.

Erläuterung Diagramm:
Die spezifische Wärmekapazität von Wasser ist recht hoch, d. h., man benötigt viel Energie, um Wasser zu erhitzen. Bei 100 °C ist die Siedetemperatur erreicht; ab da wird die ganze Energie benötigt, um das Wasser zu verdampfen; die Temperatur bleibt konstant. Erst wenn das ganze Wasser verdampft ist, steigt die Temperatur des Wasserdampfes wieder an.

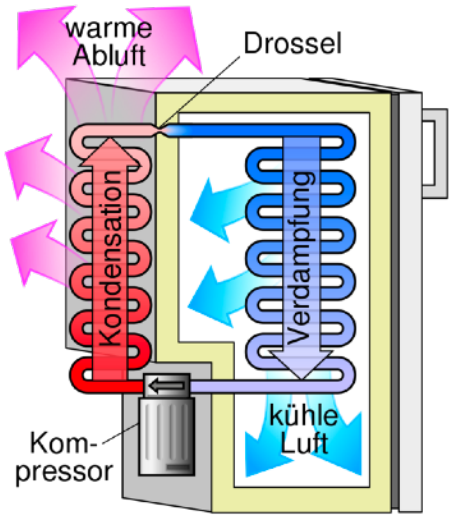


7.4 Der Kühlschrank

Ein handelsüblicher Kühlschrank (Kompressorkühlschrank) macht sich den physikalischen Vorgang der Verdampfung zunutze.

Nochmal zur Wiederholung:
Die Temperatur eines Stoffes gibt an, wie viel Energie (in Form von Wärme) in ihm steckt.
Wechselt ein Stoff den Aggregatzustand von Flüssig zu Gasförmig, benötigt er so lange Energie, bis er komplett verdampft ist.

Und so funktioniert der Kühlschrank:
Ein Kühlmittel mit niedriger Siedetemperatur, früher Ammoniak (-33,34 °C) oder FCKW (-40,7 °C), heute meistens Propan (-42 °C), befindet sich in einem geschlossenen Kreislauf, d. h. es kann nicht entweichen. Mit Hilfe eines Kompressors wird das Kühlmittel verdichtet und damit erwärmt. Über die Kühlrippen an der Rückseite des Kühlschranks wird die Wärme an die Umgebung abgegeben (Kondensation). Durch die Drossel wird der Druck abgesenkt und das Kühlmittel verdampft, weil die Siedetemperatur sehr niedrig ist. Für die Verdampfung benötigt es, wie jeder andere Stoff auch, Energie, die sich das Kühlmittel aus den wärmeren Gegenständen im Inneren des Kühlschranks nimmt. Die Gegenstände verlieren dadurch ihre Energie und kühlen ab. Danach beginnt der Kreislauf von vorne.



Kreislauf im Kompressorkühlschrank Ω


Rückseite eines handelsüblichen Kühlschranks. Zu sehen sind die dunklen Kühlrippen und unten im Bild der Kompressor. Ω

7.5 Aufgaben mit h_s und h_v

A

Aufgabe 7.5/1:
Ein Liter Wasser soll von Raumtemperatur (20 °C) zum Kochen gebracht und so lange gekocht werden, bis das gesamte Wasser verdampft ist.
Wie viel Energie ist dafür nötig?



Lösung 7.5/1

A

Aufgabe 7.5/2:
Auf einer Rolle Aluminium-Folie befinden sich etwa 120 g Aluminium. Diese müssen für die Verarbeitung komplett eingeschmolzen werden. Wie viel Energie ist dafür nötig, wenn bei Raumtemperatur (20 °C) gestartet wird?



Lösung 7.5/2

A

Aufgabe 7.5/3:
Edelmetalle wie Gold und Silber werden oft in Form von Münzen ausgegeben, die genau eine Unze schwer sind.
Vergleiche den Energieaufwand, bis beide von Raumtemperatur (20 °C) ausgehend eingeschmolzen sind.



Lösung 7.5/3

A

Aufgabe 7.5/4:
Bevor man wusste, dass Blei giftig ist, wurde es für sehr viele Dinge genutzt, u.a. für Wasserleitungen. Schau dir die Werte von Blei in der Tabelle an und stelle Vermutungen an, warum ausgerechnet Blei verwendet wurde.



Lösung 7.5/4

A

Aufgabe 7.5/5:
Beim Kochen von Wasser entweicht etwa 20 g Wasserdampf (100 °C) dem Topf und kondensiert an den umliegenden Flächen, die Raumtemperatur (20 °C) haben.
Wie viel Energie gibt der Wasserdampf an die Umgebung ab, bis das Wasser die Raumtemperatur erreicht hat?



Lösung 7.5/5

A

Aufgabe 7.5/6:
Beim Schmieden von Eisen (1,5 kg) wird dieses auf ungefähr 1200 °C erhitzt. Um es schnell abzukühlen, wird es in ein Faß mit kaltem Wasser (20 °C) getunkt (dieser Vorgang nennt sich Abschrecken).

a) Wie viel Energie gibt das Eisen beim Abschrecken an das Wasser ab?
b) Durch das schnelle Eintauchen des glühenden Eisens verdampfen 10 ml des Wassers, der Rest der Energie verteilt sich im restlichen Wasser. Die Temperatur des Wassers erhöht sich um etwa 3,7 K. Wie viel Wasser ist im Faß?



Lösung 7.5/6

Aufgabe 7.5/7:
Kann ein Kühlschrank als Klimaanlage benutzt werden, indem man einfach die Türe offen stehen lässt?

Lösung 7.5/7

Aufgabe 7.5/8:
Ein Kühlschrank macht Dinge kalt. Widerspricht das nicht dem 0. und 2. Hauptsatz der Thermodynamik? Erkläre, warum hier kein physikalisches Gesetz gebrochen wird.

Lösung 7.5/8

Formeln, Einheiten, Tabellen

Formeln

Bezeichnung	Grundformel	Alternative Formel	Alternative Formel
Dichte	$\rho = \frac{m}{V}$		
Energie	$E = P \cdot t$		
Leistung	$P = \frac{W}{t}$	$P = \frac{E}{t}$	$P = \frac{Q}{t}$
Masse	$m = V \cdot \rho$	$m = \frac{Q}{c \cdot \Delta T}$	
Spezifische Wärmekapazität	$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$		
Temperaturdifferenz	$\Delta T = \frac{Q}{m \cdot c}$	$\Delta T = \frac{I_Q \cdot l}{-\lambda \cdot A}$	
Volumen	$V = \frac{m}{\rho}$		
Wärmemenge	$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$	$Q = P \cdot t$	
Wärmeströmung	$I_Q = -\lambda \cdot \frac{A}{l} \cdot \Delta T$		
Zeit	$t = \frac{Q}{P}$		

Einheiten

Bezeichnung	Formel-zeichen	Grundeinheit / Abhängigkeiten	Kurzzeichen
Dichte	ρ	$\frac{Masse}{Volumen}$	$\frac{kg}{m^3}$
Energie	E	Joule	J
Fläche	A	Quadratmeter	m²
Leistung	P	Watt	W
Masse	m	Kilogramm	kg
Schmelz- / Verdampfungs-energie	h_s, h_v	$\frac{Energie}{Masse}$	$\frac{kJ}{kg}$
Spezifische Wärmekapazität	c	$\frac{Energie}{Masse \cdot Temperaturdifferenz}$	$\frac{kJ}{kg \cdot K}$
Temperatur	T	Grad Celsius, Kelvin	°C, K
Volumen	V	Kubikmeter	m³
Wärmeleitfähigkeit	λ	$\frac{Energie \cdot Laenge}{Querschnittsflaeche \cdot Zeit \cdot Temperaturdifferenz} = \frac{Leistung}{Laenge \cdot Temperaturdifferenz}$	$\frac{J \cdot m}{m^2 \cdot s \cdot K} = \frac{W}{m \cdot K}$
Wärmemenge	Q	Joule	J
Wärmeströmung	I_Q	Watt	W
Zeit	t	Sekunde	s

Tabellen

Stoff	spez. Wärmekapa. c in $\frac{kJ}{kg \cdot K}$	Dichte ρ in $\frac{kg}{m^3}$	Schmelztemperatur Θ_m in °C	Siedetemperatur Θ_b in °C	Schmelz-energie h_s in $\frac{kJ}{kg}$	Verdampfungsenergie h_v in $\frac{kJ}{kg}$	Wärmeleitfähigkeit λ in $\frac{W}{m \cdot K}$
Reine chemische Elemente							
Aluminium	0,896	2710	660,3	2519	398	10900	237
Blei	0,129	11340	327,5	1750	25	858	35
Eisen	0,452	7874	1538	2862	268	6260	80,2
Gold	0,128	19320	1064	2970	63	1700	310
Kupfer	0,385	8920	1085	2562	205	4730	401
Silber	0,237	10490	961,8	2162	105	2320	429
Siliciu m	703000	2336	1414	2357	166	13700	248
Chemische Verbindungen							
Ammoniak	2,060	0,73	-77,73	-33,34	331,6	1368,11	0,025
Luft	1,005	1,2	„Luft“ ist eine Zusammensetzung aus verschiedenen Gasen und hat deswegen keine eindeutigen Werte.				0,024
Wasser (fest ; gasförmig)	4,18 (2,06; 2,02)	1000	0	100	336	2258	0,6