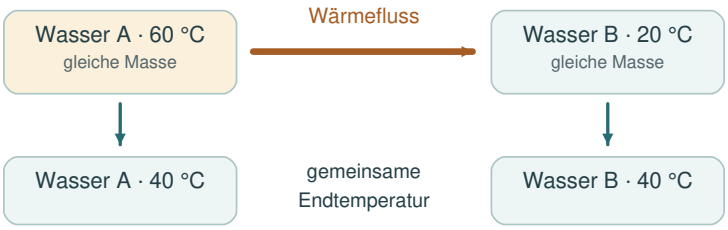
01 | WISSEN IM ZUSAMMENHANG

Vom warmen Gegenstand zum Teilchenmodell

Ein Metalllöffel und ein Holzlöffel liegen im selben Raum. Beim Anfassen fühlen sie sich verschieden an. Eine Messung hilft, zwischen der Temperatur eines Gegenstands und der Energieübertragung an deiner Haut zu unterscheiden.



Wärmeausgleich im vereinfachten Modell: gleiche Mengen desselben Stoffes, gleiche Wärmekapazität und Austausch nur miteinander. Die Endtemperatur liegt hier bei 40 °C.

1 · Temperatur beschreibt einen Zustand

Die **Temperatur** beschreibt, wie warm oder kalt ein Körper ist. Ein Thermometer misst sie beispielsweise in Grad Celsius, °C. Sein Messfühler muss sich erst an den Gegenstand angleichen. Die Anzeige wird dann möglichst gleichbleibend. Für einen fairen Vergleich werden beide Gegenstände mit demselben Messverfahren untersucht und die Werte mit Einheit notiert.

Im einfachen Teilchenmodell bewegen sich die Teilchen eines wärmeren Stoffes im Mittel stärker. In Feststoffen schwingen sie um ihre Plätze, in Flüssigkeiten und Gasen wechseln sie ihre Orte. Die Zeichnung macht eine Bewegung sichtbar, die unsere Augen direkt kaum erfassen können.

2 · Wärme beschreibt eine Übertragung

Berühren sich Körper mit verschiedenen Temperaturen, wird Energie vom wärmeren zum kälteren übertragen. Diese Übertragung heißt **Wärme**. Dabei nähern sich die Temperaturen an. Gleiche Temperaturen bedeuten **thermisches Gleichgewicht**. Wärme wird wie andere Energiemengen in Joule, J, angegeben.

Die **innere Energie** umfasst Energie der ungeordneten Teilchenbewegung und der Wechselwirkungen zwischen Teilchen. Auch die Stoffmenge ist wichtig: Eine Badewanne mit warmem Wasser kann insgesamt viel mehr Energie abgeben als eine kleine Tasse derselben Temperatur.

3 · Teilchen können ihre Anordnung verändern

Beim Erwärmen dehnen sich viele Stoffe aus. Die mittleren Abstände ihrer Teilchen werden größer. Beim Schmelzen und Verdampfen verändert sich außerdem ihre Anordnung. Für solche **Zustandsänderungen** wird Energie benötigt.

Während reines Eis bei gleichbleibendem Druck schmilzt, bleibt seine Temperatur ungefähr gleich. Die zugeführte Energie ermöglicht den Übergang zu flüssigem Wasser. Die Wassermoleküle behalten dabei ihre Zusammensetzung H_2O. Beim Erstarren wird Energie an die Umgebung abgegeben.

Das gehört zusammen: Temperatur beschreibt den Zustand. Wärme bezeichnet die durch einen Temperaturunterschied übertragene Energie. Teilchenbewegung und Teilchenanordnung erklären die Veränderungen.

Öffne „Wärme fließt“. Wähle für beide Körper denselben Stoff und gleiche Massen. Vergleiche Starttemperaturen, Wärmefluss und gemeinsame Endtemperatur.

01 | ZUSAMMENHÄNGE VERTIEFEN

Warum die Endtemperatur nicht immer in der Mitte liegt

Ein abgeschlossener Temperaturausgleich

1. Unterschied
A ist wärmer als B.

→

2. Übertragung
A gibt Energie ab; B nimmt dieselbe Energiemenge auf.

→

3. Gleichgewicht
Beide nähern sich derselben Temperatur an.

Masse und Material bestimmen die Endtemperatur; der Kontakt beeinflusst den zeitlichen Verlauf.

Zwei gleich große Wasserportionen von 80 °C und 20 °C können in einem abgeschlossenen Vergleich gemeinsam 50 °C erreichen. Für den Mittelwert müssen aber passende Bedingungen gelten: gleiche Massen, derselbe Stoff und keine zusätzliche Energieübertragung an die Umgebung. Verdoppelst du die heiße Wassermasse, kann sie beim Abkühlen mehr Energie abgeben. Die gemeinsame Endtemperatur liegt dann näher an ihrer Anfangstemperatur. **Gleiche Temperaturänderungen** bedeuten bei unterschiedlichen Mengen nicht automatisch gleiche übertragene Energiemengen.

Zusätzlich zählt der Stoff. Wasser, Eisen und andere Materialien benötigen für dieselbe Masse und Temperaturänderung unterschiedliche Energiemengen. Die **Wärmekapazität** eines Körpers verbindet Stoffeigenschaft und Masse. Ein Körper mit großer Wärmekapazität verändert seine Temperatur bei gleicher Energieübertragung weniger stark. Bei einem Experiment untersuchst du deshalb die Masse und das Material am besten getrennt. Der thermische Kontakt beeinflusst vor allem, wie rasch sich die Temperaturen annähern; im abgeschlossenen Modell bestimmt er nicht die endgültige gemeinsame Temperatur. Wärme beschreibt dabei einen Vorgang der Energieübertragung. Sie ist kein eigener Stoff aus kleinen Wärmeteilchen, der zwischen den Körpern fließt.

Bei der Temperatur ist außerdem die Skala wichtig. 0 °C bedeutet nicht, dass Teilchen keine Bewegung besitzen. Die Kelvin-Skala beginnt beim absoluten Nullpunkt; 0 °C entsprechen ungefähr 273 K. Eine Temperaturerhöhung um 1 °C entspricht einer Erhöhung um 1 K. Für einfache Vergleiche reicht Celsius, während manche physikalischen Zusammenhänge eine absolute Temperatur in Kelvin verlangen. Beide Skalen beschreiben denselben Zustand mit verschiedenen Nullpunkten.

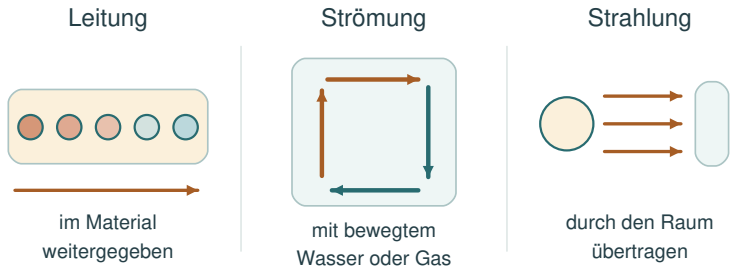
Zwei ungleiche Wasserportionen
Im Modell werden 2 kg Wasser bei 80 °C mit 1 kg Wasser bei 20 °C verglichen. Bei gleichen Stoffeigenschaften, ohne Phasenänderung und ohne Verluste ergibt sich 60 °C. Die größere warme Portion beeinflusst das Ergebnis stärker als die kleinere kalte Portion.

Genau unterscheiden
Häufige Verwechslung: Die Endtemperatur ist immer der Mittelwert beider Starttemperaturen.
So stimmt es: Der einfache Mittelwert passt nur bei gleichen Wärmekapazitäten. Unterschiedliche Massen oder Materialien können die gemeinsame Endtemperatur verschieben.

02 | WISSEN IM ZUSAMMENHANG

Drei Wege, auf denen Energie weitergegeben wird

Beim Kochen wird der Topfboden warm, Wasser bewegt sich im Topf und deine Hand spürt die warme Herdumgebung. Mehrere Übertragungswege können gleichzeitig wirken. Sie unterscheiden sich darin, wie die Energie weitergelangt.



Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung als vereinfachte Modelle. Pfeile zeigen Übertragungsrichtungen; Teilchengrößen, Abstände und Energiemengen sind schematisch.

4 · Wärmeleitung verbindet benachbarte Teilchen

Bei der **Wärmeleitung** wird Energie innerhalb eines Stoffes oder über eine Kontaktstelle weitergegeben. Benachbarte Teilchen wechselwirken miteinander; in Metallen tragen bewegliche Elektronen zusätzlich zur Übertragung bei. Der Stoff als Ganzes bleibt dabei am Platz.

Metall leitet Energie rasch von deiner warmen Hand weg. Deshalb fühlt es sich häufig kühler an als Holz derselben Temperatur. Ein Griff aus schlecht leitendem Material verlangsamt die Übertragung vom Topf zur Hand. Auch Dicke und Form beeinflussen den Vorgang. Eine warme Jacke hält ruhende Luft in kleinen Zwischenräumen fest und verlangsamt so den Energieaustausch mit der Umgebung.

5 · Strömungen nehmen Energie mit

Bei der **Konvektion** bewegt sich Flüssigkeit oder Gas und transportiert dabei innere Energie. Erwärmte Luft dehnt sich bei annähernd gleichem Druck aus. Ihre Dichte sinkt: Gleiche Masse braucht mehr Raum. Auftrieb kann sie deshalb nach oben bewegen.

Kühlere Luft strömt nach und wird ebenfalls erwärmt. So entsteht eine Umlaufströmung. Ein Ventilator kann Strömungen zusätzlich antreiben. Für die Erklärung gehören also Teilchenbewegung, Dichte und die Bewegung größerer Stoffmengen zusammen.

6 · Strahlung überträgt Energie durch den Raum

Wärmestrahlung ist elektromagnetische Strahlung, die Körper abhängig von ihrer Temperatur aussenden. Bei Alltagsgegenständen liegt ein großer Anteil im Infrarotbereich. Die Sonne überträgt Energie durch den Weltraum zur Erde.

Trifft Strahlung auf eine Oberfläche, wird ein Teil aufgenommen, ein Teil zurückgeworfen und gegebenenfalls ein Teil durchgelassen. Aufgenommene Strahlung kann den Körper erwärmen. Dämmung, ruhende Luftschichten und geeignete Oberflächen helfen, Energieübertragungen gezielt zu beeinflussen.

Das gehört zusammen: Leitung überträgt Energie durch Wechselwirkungen im Material. Konvektion transportiert sie mit strömender Materie. Strahlung kann Energie auch durch den Weltraum übertragen.

Wähle „Leitung · Strömung · Strahlung“ und öffne die drei Ansichten. Beschreibe jeweils, was sich bewegt und wodurch die Energie an einen anderen Ort gelangt.

02 | ZUSAMMENHÄNGE VERTIEFEN

Die drei Übertragungswege im Alltag unterscheiden

Was bewegt sich bei der Übertragung?

Wärmeleitung
Energie wird durch Wechselwirkungen im Material weitergegeben.

Konvektion
Strömendes Gas oder strömende Flüssigkeit transportiert innere Energie.

Wärmestrahlung
Elektromagnetische Strahlung überträgt Energie auch durch Vakuum.

Die Vorgänge können in einer Alltagssituation gleichzeitig auftreten.

Bei einer warmen Suppe treten mehrere Wege gleichzeitig auf. Vom heißen Topfboden gelangt Energie durch **Wärmeleitung** in das angrenzende Material. In der Flüssigkeit kann eine **Strömung** wärmere und kühlere Bereiche miteinander verbinden. Die Topfoberfläche sendet außerdem **Wärmestrahlung** an die Umgebung aus. Eine echte Situation gehört daher nicht immer nur zu einem der drei Bilder. Die getrennten Ansichten helfen dir, die jeweiligen Vorgänge zunächst einzeln zu erkennen.

Frage bei jeder Darstellung: Bewegt sich Materie über größere Strecken mit? Bei Leitung bleibt der feste Körper als Ganzes am Ort; bei Konvektion strömt Flüssigkeit oder Gas. Strahlung braucht dazwischen kein Material und kann durch Vakuum Energie übertragen. Darum erreicht Sonnenenergie die Erde durch den Weltraum. Für eine Dämmung werden oft mehrere Wege gleichzeitig gebremst: Ruhende Luftschichten leiten schlecht und können große Umlaufströmungen begrenzen; geeignete Oberflächen verändern die Strahlungsübertragung. Eine Jacke erzeugt dadurch nicht selbst ständig neue Wärme. Sie verlangsamt den Energieverlust deines Körpers. Die Wirksamkeit hängt von Material, Dicke, Feuchtigkeit, Luftbewegung und Umgebung ab. Die drei Grundbilder sind Bausteine für eine gemeinsame Erklärung.

Beim **Verdunsten** wird Energie benötigt. Verdunstet Wasser auf der Haut, kann diese Energie der Haut und ihrer Umgebung entzogen werden. Luftbewegung erleichtert häufig das Abführen feuchter Luft; sehr feuchte Umgebungsluft kann die weitere Verdunstung erschweren. Deshalb hängen Kühlung, Temperatur und Feuchtigkeit zusammen. Ein Ventilator senkt nicht automatisch die Temperatur eines leeren Raums: Er bewegt Luft und beeinflusst dadurch unter anderem den Energieaustausch mit der Haut.

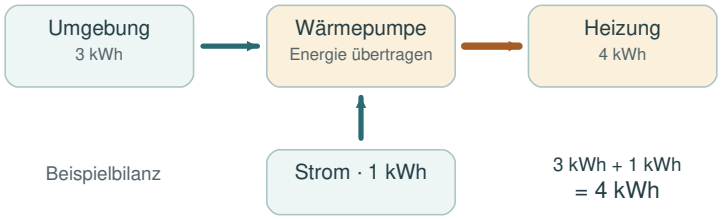
Warum sich Metall kalt anfühlt
Ein Metallgriff und ein Holzgriff können dieselbe Raumtemperatur haben. Metall führt Energie aus der wärmeren Hand oft schneller ab. Deshalb fühlt es sich kälter an. Das Gefühl hängt also vom Energieaustausch ab und ist kein zuverlässiger Ersatz für ein Thermometer.

Genau unterscheiden
Häufige Verwechslung: Bei jeder Wärmeübertragung wandert warmer Stoff mit.
So stimmt es: Das trifft auf Konvektion zu. Bei Leitung kann der Stoff als Ganzes am Ort bleiben; Strahlung benötigt zwischen den Körpern kein Material.

03 | WISSEN IM ZUSAMMENHANG

Energiebilanzen erklären Technik und Alltag

Eine Wärmepumpe versorgt ein Haus mit Heizenergie. Ein Teil stammt aus der Umgebung, ein weiterer aus elektrischer Energie. Eine Bilanz macht sichtbar, woher Energie kommt, wohin sie gelangt und wie viel insgesamt übertragen wird.



Beispielbilanz einer Wärmepumpe: 3 kWh Umweltenergie plus 1 kWh elektrische Energie ergeben 4 kWh Heizenergie. Das Verhältnis ist eine Modellannahme, keine allgemeine Geräteeigenschaft.

7 · Energiemengen passen zusammen

Der **erste Hauptsatz der Thermodynamik** beschreibt die Energieerhaltung. Für ein ausgewähltes System werden alle aufgenommenen und abgegebenen Energiemengen berücksichtigt. Wärmeübertragung und verrichtete Arbeit können seine innere Energie verändern.

Zum Beispiel nimmt ein Modellgas 500 J als Wärme auf und gibt 200 J als Arbeit ab. Für diese Vorzeichenvereinbarung gilt:

Grundgleichung: $\Delta U = Q - W$
Einsetzen: $\Delta U = 500\ \text{J} - 200\ \text{J}$
Ergebnis: $\Delta U = 300\ \text{J}$

Die innere Energie des Gases steigt um 300 J.

8 · Eine Wärmepumpe verschiebt Energie

Eine **Wärmepumpe** nimmt Energie aus einer kühleren Umgebung auf und gibt sie an einen wärmeren Bereich ab. Dafür wird Arbeit benötigt, meist durch einen elektrisch betriebenen Verdichter. Ein Kältemittel durchläuft dabei wiederholt Veränderungen von Druck und Zustand.

Ein mögliches Beispiel mit 3 kWh aus der Umgebung und 1 kWh elektrischer Energie:

Grundgleichung: Heizenergie = Umweltenergie + elektrische Energie
Einsetzen: Heizenergie = 3 kWh + 1 kWh
Ergebnis: Heizenergie = 4 kWh

Die Kilowattstunde ist eine Energieeinheit. Dieses Verhältnis hängt vom Gerät und den Temperaturen ab; es beschreibt hier ein ausgewähltes Modellbeispiel.

9 · Vom Haushalt zum Klimasystem

Wasser besitzt eine hohe **spezifische Wärmekapazität**: Für dieselbe Masse und Temperaturerhöhung benötigt es mehr Energie als viele andere Stoffe. Seen und Meere können deshalb große Energiemengen aufnehmen. Ihre Temperaturen reagieren vergleichsweise langsam.

Beim Klimasystem verbinden sich Strahlung, Strömungen, Verdunstung und Speicherung. Eine Erklärung beginnt stets mit derselben Frage: Welches System untersuche ich, und welche Energie gelangt hinein oder hinaus? Ein Modell hilft dabei, einen Zusammenhang übersichtlich zu betrachten; weitere Einflüsse werden anschließend ergänzt.

Das gehört zusammen: Energie lässt sich übertragen, speichern und umwandeln. Eine vollständige Bilanz verbindet die Vorgänge im Gerät mit seiner Umgebung.

Fachbücher und Quellen stehen auf Seite 7. Die Onlinefassung verlinkt außerdem die passenden Lehrbuchkapitel.

03 | ZUSAMMENHÄNGE VERTIEFEN

Energie zuführen heißt nicht immer Temperatur erhöhen

Wasser nimmt Energie auf

1. Eis erwärmen
Die Temperatur steigt bis zum Schmelzbereich.

→

2. Eis schmilzt
Bei etwa 0 °C verändert sich der Anteil von Eis und Wasser.

→

3. Wasser erwärmen
Nach dem Schmelzen steigt die Temperatur des Wassers weiter.

→

4. Wasser siedet
Bei etwa 100 °C wird flüssiges Wasser zu Wasserdampf.

Vereinfachter Verlauf für reines Wasser bei konstantem Normaldruck; H_2O bleibt erhalten.

Eine Erwärmungskurve verbindet zwei verschiedene Größen: auf einer Achse steht die zugeführte Energie, auf der anderen die Temperatur. Bei einem reinen Stoff und konstantem Druck kann ein **waagrechtes Kurvenstück** auftreten. Während Eis schmilzt, verändert sich vor allem das Verhältnis zwischen festem und flüssigem Wasser. Die Temperatur bleibt im idealisierten Modell bei ungefähr 0 °C. Beim Sieden geschieht Vergleichbares bei ungefähr 100 °C unter Normaldruck. Die zugeführte Energie ermöglicht die Zustandsänderung.

Die Wassermoleküle bleiben dabei H_2O. Nicht die Moleküle selbst schmelzen oder werden größer; ihre Anordnung, Abstände und Wechselwirkungen verändern sich. Beim Abkühlen kann Energie wieder abgegeben werden: Wasserdampf kondensiert, Wasser erstarrt. **Verdunsten** ist außerdem bereits unterhalb der Siedetemperatur möglich und findet an der Oberfläche statt. Das erklärt trocknende Wäsche und die Kühlwirkung von verdunstendem Schweiß. Bei einer Wärmepumpe werden solche Zustandsänderungen eines geeigneten Kältemittels technisch genutzt. Zusammen mit Druckänderungen und zugeführter Arbeit ermöglichen sie Energieaufnahme auf der kühlen und Energieabgabe auf der warmen Seite. Die Verbindung der Themen lautet deshalb: Energie kann die Temperatur, den Zustand oder beides verändern; eine vollständige Bilanz verfolgt alle Beiträge.

Wasser zeigt außerdem eine besondere Dichteänderung. Flüssiges Wasser besitzt bei ungefähr 4 °C seine größte Dichte. Beim weiteren Abkühlen bis zum Gefrieren wird es wieder weniger dicht; Eis nimmt mehr Raum ein und schwimmt auf Wasser. Das beeinflusst Seen im Winter: Eine Eisdecke liegt oben, während darunter flüssiges Wasser bleiben kann. Die allgemeine Aussage „Beim Abkühlen wird jeder Stoff immer dichter“ gilt deshalb nicht uneingeschränkt.

Eis kühlt ein Getränk
Ein Eiswürfel kann Energie aus einem Getränk aufnehmen, während er schmilzt. Seine Temperatur muss dabei nicht sofort steigen. Erst wenn kein Eis mehr vorhanden ist, kann sich das gesamte flüssige Wasser weiter erwärmen. Zustandsänderung und Temperaturänderung sind unterschiedliche Vorgänge.

Genau unterscheiden
Häufige Verwechslung: Wenn die Temperatur gleich bleibt, wird keine Energie aufgenommen.
So stimmt es: Beim Schmelzen oder Sieden kann Energie für die Zustandsänderung aufgenommen werden. Das waagrechte Kurvenstück bedeutet keine unterbrochene Energiezufuhr.

Wissen anwenden und weiterdenken

Drei ergänzende Entdeckeraufträge. Erkläre deine Beobachtungen mit den Zusammenhängen aus dem Wissenstext.

1 · Wärme fließt

Ausprobieren: Wähle für A und B Wasser, zunächst je 1 kg bei 80 °C und 20 °C. Vergleiche danach Masse A = 2 kg.

Beobachten: Vergleiche die angezeigte Endtemperatur vor und nach der Massenänderung.

Erklären: Warum liegt die Endtemperatur bei mehr heißem Wasser näher an 80 °C?

Modellgrenze: Zwei abgeschlossene Körper mit konstanten Wärmekapazitäten; Umgebung und Phasenänderungen fehlen.

2 · Leitung · Strömung · Strahlung

Ausprobieren: Öffne nacheinander „Wärmeleitung“, „Konvektion“ und „Wärmestrahlung“. Pausiere die Animation zum Vergleichen.

Beobachten: Unterscheide Materialkörper, Strömungsbahn und Strahlungsweg.

Erklären: Welche der drei Darstellungen kann Energieübertragung im leeren Weltraum erklären?

Modellgrenze: Bewegte Punkte sind Symbole. Ihre Geschwindigkeit und Anzahl geben keine gemessenen Wärmeströme an.

3 · Aggregatzustände · Wasser

Ausprobieren: Wähle „Schmelzen“ und verschiebe den Energieregler langsam im waagrechten Bereich. Vergleiche danach „Sieden“ und „Abkühlen“.

Beobachten: Beobachte Temperatur, Kurvenposition und die Anteile der Zustände.

Erklären: Woran erkennst du eine Energieänderung, obwohl die Temperatur gleich bleibt?

Modellgrenze: Das Modell gilt für 1 kg Wasser bei konstantem Normaldruck ohne Energieverluste.

Interaktive Werkstatt öffnen →

Fachliche Quellen und weiterführende Literatur

College Physics 2e