

Temperatur und Volumsveränderung

Kann unser Körper die Temperatur messen?

Der Mensch hat in der Haut temperaturempfindliche Nervenzellen, sog. **Thermozeptoren**. Sie regen den Körper zu Maßnahmen gegen Überhitzung und Unterkühlung an. Die Kältemelder sind wesentlich zahlreicher als die Hitzemelder. Wie das nachfolgende einfache Experiment zeigt, können die Rezeptoren relativ gut Temperaturunterschiede registrieren. Das subjektive Temperaturempfinden hängt auch von äußeren Faktoren wie Luftfeuchtigkeit oder Wind ab. Als Thermometer sind die Rezeptoren ungeeignet. Unser Temperatursinn kann Temperaturunterschiede besser unterscheiden als Temperaturwerte feststellen.

Wovon ist die gefühlte Temperatur abhängig?

[Wv8-GefuehlteTemperatur.mp4](#)

Experiment: Temperaturempfindung

- 81.1 E1** Überprüfe deine subjektive Temperaturempfindung, indem du deine Hände in unterschiedlich warmes Wasser tauchst z.B. die linke Hand in heißes Wasser, die rechte in kaltes Wasser und dann beide Hände in lauwarmes Wasser.

In der Temperaturkammer

In der Temperaturkammer

[Temperaturkammer-gefuehlteTemperatur.mp4](#)

Messung der Temperatur

Was passiert bei der Erwärmung eines Stoffes?

Um Temperatur objektiv messen zu können, muss man fragen: Was passiert, wenn wir einen Körper erwärmen? Welche physikalischen Eigenschaften verändern sich dadurch und wie können wir sie messen?



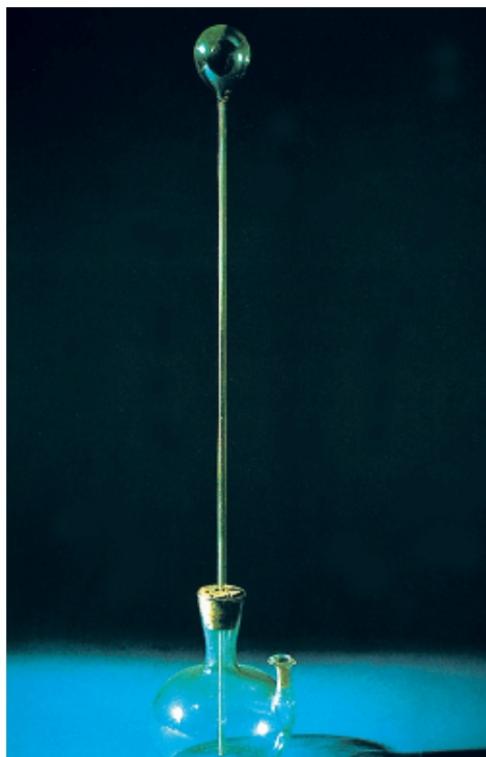
81.1 Gase dehnen sich durch Erwärmung aus.
Beschreibe und erkläre, was du hier siehst.

Wenn man die Temperatur eines Körpers erhöht, stellt man einige Veränderungen fest: Der Aggregatzustand, die Form, auch optische und elektrische Eigenschaften können sich ändern.

Ganz besonders fällt auf, dass sich Körper beim Erwärmen ausdehnen.

Galilei'sches Thermoskop - ein erstes Thermometer

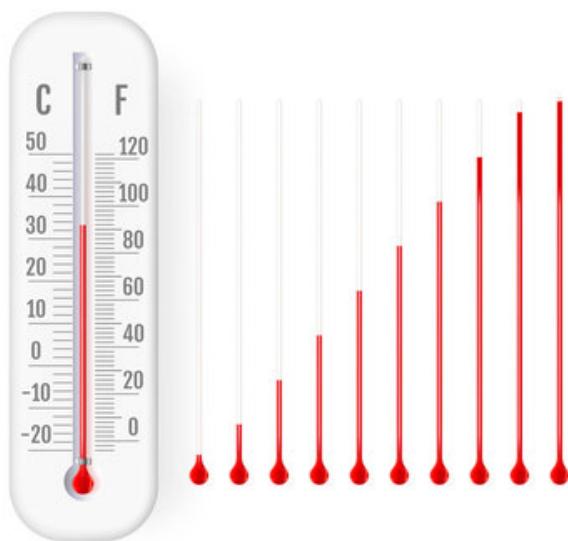
Die Volumenänderung ermöglicht es, Geräte zur Temperaturmessung, **Thermometer**, zu konstruieren. Bringt man den Körper, dessen Temperatur man bestimmen will, mit einem Thermometer in Kontakt, dann nimmt dieses nach einiger Zeit die Temperatur des Körpers an.



81.2 Das Galilei'sche Thermoskop

Bereits GALILEI hat ein „Thermoskop“ erfunden. Es besteht aus einer Glaskugel mit angesetzter Röhre, die mit dem unteren Ende in gefärbtes Wasser eintaucht. Die Luft in der Glaskugel dehnt sich bei Erwärmung aus und drückt die Wassersäule in der Glasröhre nach unten (☞ 81.2). Das Gerät wurde später zum Fiebermessen verwendet, wobei die Patienten die Glaskugel in den Mund nahmen.

Wie funktioniert das klassische Thermometer?



Das klassische Thermometer, das **Flüssigkeitsthermometer**, nutzt die Volumenausdehnung einer Flüssigkeit, z.B. von Alkohol oder Petroleum. Flüssigkeit in einem kleinen Vorratsgefäß dehnt sich aus und steigt in einem engen Kapillarrohr auf. An einer Skala neben dem Kapillarrohr wird die Temperatur abgelesen. (Die früher benutzten Thermometer mit Quecksilber (giftig!) dürfen seit 2009 in der EU nicht mehr für Haushalt und Industrie, sondern nur für Forschungszwecke verkauft werden.)

Europa und die USA: Celsius- und Fahrenheit-Skala

Die **Celsius-Skala** ist – außer in den USA und einigen englischsprachigen Ländern – die allgemein gebräuchliche Temperaturskala. Sie geht auf den schwedischen Naturforscher ANDERS CELSIUS (1701–1744) zurück. Sie ist mittels zweier Fixpunkte definiert:

Der Gefrierpunkt von Wasser wird als Nullpunkt 0°C der Celsius-Skala definiert.

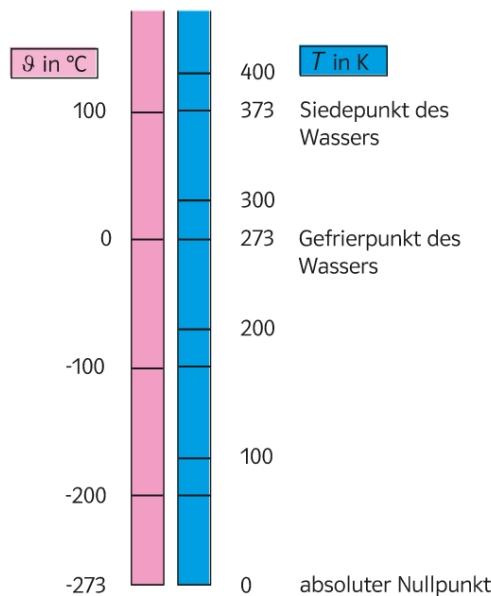
Dem Siedepunkt von Wasser wird die Temperatur 100°C zugeordnet.

In den USA wird im Alltag die Temperatur meist in Grad Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) angegeben. 0°C entspricht 32°F , 100°C entspricht 212°F .

Um ein Flüssigkeitsthermometer mit einer Skala zum Ablesen der Temperatur zu versehen, wird es zunächst in eine Mischung von Eis und Wasser getaucht und der Nullpunkt 0°C der Skala markiert. Anschließend wird es in siedendes Wasser gehalten, und die Temperatur 100°C markiert. Den Abstand zwischen 0°C und 100°C teilt man in hundert gleiche Teile und erhält so die Gradeinteilung.

Dabei muss man beachten, dass die Siedetemperatur des Wassers vom Luftdruck abhängt. Je kleiner der Luftdruck z.B. im Gebirge ist, desto niedriger ist die Siedetemperatur. Daher müssen die Fixpunkte 0°C und 100°C bei 1013,25 mbar Luftdruck, dem mittleren Luftdruck auf Meereshöhe, bestimmt werden.

Die physikalische Temperaturskala: Kelvin-Skala



81.3 Vergleich der Celsius- und Kelvinskala

Im internationalen Maßsystem SI ist die **Temperatur T** als **Basisgröße** festgelegt. Allerdings ist die Basiseinheit für die Temperatur nicht Grad Celsius, sondern Kelvin (K). Die Bezeichnung Kelvin ist zu Ehren von WILLIAM THOMSON (1824–1907), dem späteren Lord KELVIN, erfolgt. Die Kelvin-Skala unterscheidet sich von der Celsius-Skala durch die Definition des Nullpunktes: Man wählt als Nullpunkt jene Temperatur, bei der keine thermische Bewegung mehr auftritt. Diese **absolut tiefste Temperatur** liegt bei $-273,15^\circ\text{C}$ (siehe nächstes Kapitel). Bei der Temperaturangabe in Grad Celsius verwendet man statt des Symbols T das Zeichen θ (☞ 81.3).

Die Basisgröße Temperatur

Die **Temperatur T** ist eine Basisgröße im Internationalen Maßsystem SI,
sie wird in Kelvin (K) gemessen.
Bezug zur Celsius-Skala: 0°C entsprechen 273,15 K.

Wärmedehnung

Wie steigt das Volumen eines Stoffes mit seiner Temperatur?

Kugel durch Öffnung



Video

Die Volumenänderung $\Delta V / V(\%)$ einiger Stoffe bei einer Erwärmung von 0 °C auf 100 °C	
Stickstoff	36,7
Sauerstoff	36,7
Wasserstoff	36,7
Alkohol	11,1
Benzin	10,6
Quecksilber	1,8
Aluminium	0,69
Messing	0,54
Eisen	0,37
Grafit	0,24
Diamant	0,03

Stoff	in 10^{-6} K^{-1}
Stickstoff	3674
Sauerstoff	3674
Wasserstoff	3662
Ethanol (Alkohol)	1400
Benzin	1060
Wasser	207
Quecksilber	180
Aluminium	69
Eisen	33
Diamant	3
Glaskeramik (Ceran)	0,3

☞ 82.1 Volumenausdehnungskoeffizient γ einiger technisch wichtiger Stoffe bei 20 °C und einem Druck von 1013 mbar.

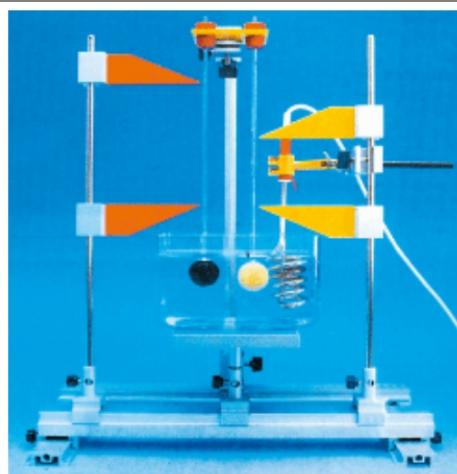
Wenn man die Änderung des Volumens verschiedener Stoffe bei Erwärmung vergleicht (☞ 82.1), erkennt man: Gase dehnen sich stärker aus als Flüssigkeiten, diese wiederum stärker als feste Körper. Offenbar hängt die Größe der Volumenzunahme davon ab, wie fest die Teilchen aneinander gebunden sind.

Die Messung zeigt, dass die Volumenänderung ΔV fester und flüssiger Stoffe in sehr guter Näherung proportional zur Temperaturänderung ΔT ist. Daraus ergibt sich folgendes Gesetz:

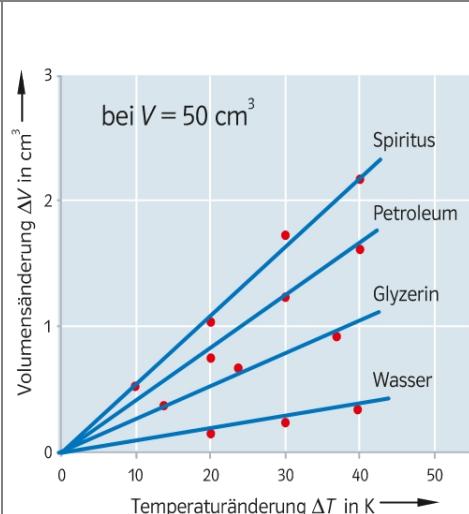
$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta T \quad \text{oder} \quad V = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta T)$$

V_0 ... Anfangsvolumen, V ... Volumen nach der Temperaturänderung ΔT ,
 γ ... Volumenausdehnungskoeffizient (Einheit: K^{-1})

Der Volumenausdehnungskoeffizient γ gibt an, um welchen Bruchteil das Volumen pro Kelvin Temperaturerhöhung zunimmt (☞ 82.1)



82.2 Messung: Ausdehnung von Flüssigkeiten bei Erwärmung. In Rundkolben mit angesetztem Kapillarrohr werden im Wasserbad verschiedene Flüssigkeiten erwärmt. Aus der Steighöhe in der Kapillare wird die Volumenzunahme bestimmt.



► **82.3** Darstellung der Volumenausdehnung verschiedener Flüssigkeiten.

Unterschiedliche Volumenausdehnung von Alkohol und Wasser

Unterschiedliche Volumenausdehnung von Alkohol und Wasser



Video

Vorsicht bei der Erwärmung voller Tanks

🔍 Untersuche, überlege, forsche: Warmer Kraftstoff

82.1 Beim Betanken eines PKW im Sommer ergibt sich folgende Situation: Kraftstoff mit einer Temperatur von 15 °C wird in den Tank gefüllt, anschließend steht der PKW auf einem Parkplatz in der Sonne und kann sich um 50 °C aufheizen.

W1 a) Wenn der Tank 60 l fasst, um wieviel dehnt sich der Treibstoff aus?

S2 b) Überlege, welche Probleme dadurch entstehen. Informiere dich, wie bei modernen PKW ein Austreten von Kraftstoff und die Abgabe von Kraftstoffdämpfern an die Umgebung vermieden werden.

Lösung:

Lösung:

82.1 a) Die Volumenzunahme von Benzin bei Erwärmung um 50 °C beträgt nach Tab. 82.1 5,3%, also 3,18 l.

b) Zum Schutz der Umwelt darf kein Kraftstoff (flüssig oder gasförmig) entweichen. Ein Aktivkohlefilter in der Tankentlüftung bindet Treibstoffdämpfe.

Wie vergrößert sich die Länge eines Stabes mit der Temperatur?

Bolzensprenger

Bolzensprenger



Video

Festkörper dehnen sich nach allen Richtungen aus. Bei Stäben und Drähten wirkt sich die Ausdehnung hauptsächlich auf die Länge aus. Man unterscheidet daher zwischen **Volumenausdehnung** mit der obigen Formel und **Längenausdehnung**.

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T \text{ oder } l = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

l_0 ... Anfangslänge, l ... Länge nach der Temperaturänderung ΔT ,

α ... Längenausdehnungskoeffizient.

Die **Tab. 83.1** enthält die Werte für die Koeffizienten der Längenausdehnung einiger technisch wichtiger Stoffe.

1 m

82.4 Messung der Ausdehnung eines Rohrs. Überlege, welche Fehlerquellen auftreten können.

Stoff	in 10^{-6} K^{-1}
Quarzglas	0,5
Fensterglas	7,6
Aluminium	23,0
Eisen	12,2
Messing	18,5
Polyamid (Nylon)	100–140
Eis	51,0
Silber	19,7

83.1 Längenausdehnungskoeffizienten α einiger praktisch wichtiger Stoffe.

Untersuche, überlege, forsche: Längenänderung

82.2 Mit dem Experiment von  **82.4** kann man messen, wie sich die Länge eines Rohres mit der Temperatur ändert.

E1 a) Beschreibe das Experiment.

E2 b) Welche Größen müssen gemessen werden? Worauf muss man besonders achten, damit verlässliche Ergebnisse erreicht werden?

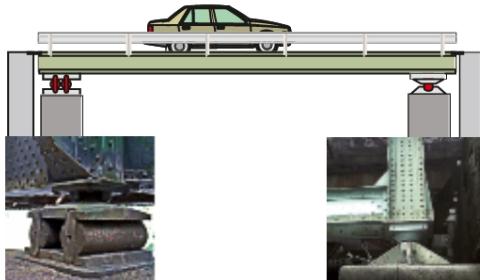
Lösung:

Lösung:

82.2 b) Anfangstemperatur, Länge des Rohres zwischen Klemme und Messgerät, Zeigeraus- schlag. Das gesamte Rohr muss die Temperatur des Wasserdampfs erreichen!

Wo zeigt sich die Wärmeausdehnung im Alltag?

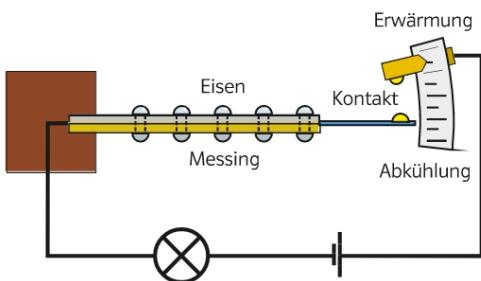
Die Ausdehnung durch Erwärmung hat bei Bauwerken, vor allem bei Brücken, große Bedeutung. Bedenkt man, dass die Temperatur einer Brücke innerhalb eines Tages um etwa 40°C schwanken kann, so ergeben sich – besonders bei Metallbrücken großer Spannweite – beträchtliche Längenänderungen. Durch den Einbau von Rollenlagern an den Enden von Brücken oder durch Dehnungsfugen muss dies berücksichtigt werden ( **83.2**). Zu beachten ist die Wärmeausdehnung auch bei Hochspannungsleitungen, die im Betrieb 80°C erreichen und zwischen den Masten 300m und mehr frei durchhängen. Eisenbahnschienen wiesen früher Fugen zwischen den Schienenstücken auf, um die Wärmeausdehnung zu kompensieren; heute werden sie verschweißt und so fest mit den Schwellen verschraubt, dass sie sich nicht verbiegen können: die wechselnden Temperaturen führen zur Stauchung, bzw. Dehnung der Schienen.



 **83.2** Brücken werden an mindestens einer Seite auf Kompensationsrollen gestellt (linkes Bild), damit sie auf Wärmeausdehnung reagieren können, ohne Schäden an den Fundamenten anzurichten.

Wie funktioniert ein Bimetallschalter?

Auch bei **Bimetallstreifen** wird die Wärmeausdehnung ausgenützt. Sie bestehen aus zwei Metallen mit unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten, die zusammen gewalzt oder verlötet sind. Bimetallstreifen werden in Thermometern und als Thermoschalter verwendet, weil sie sich bei Erwärmung verbiegen und Kontakte öffnen oder schließen können. (☞ 83.3)



☞ 83.3 Wirkungsweise eines Bimetallschalters

Weitere Verfahren zur Temperaturmessung

Welche Möglichkeiten der Temperaturmessung gibt es neben der Wärmedehnung?

Neben der thermischen Ausdehnung wird heute vor allem die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands von feinen Metalldrähten, bzw. von Halbleiterbauelementen zur Temperaturmessung genutzt. Der elektrische Widerstand von Metallen und sog. Kaltleitern nimmt mit der Temperatur zu, während sog. Heißleiter (z.B. Thermistoren, ☞ 83.5 links) besonders gut im warmen Zustand leiten. Aus diesen Materialien gefertigte Messfühler, **Sensoren**, ermöglichen es in Kombination mit elektronischen Schaltungen, Temperaturen zu messen und zu regeln. Beispielsweise messen Computer die Temperatur ihrer Prozessoren und steuern die Kühlung nach Bedarf, um Überhitzung zu vermeiden. Die Temperatursensoren sind wichtige Bausteine der **Mess- und Regelungstechnik**, die sich besonders wegen des Umweltschutzes rasch entwickelt.

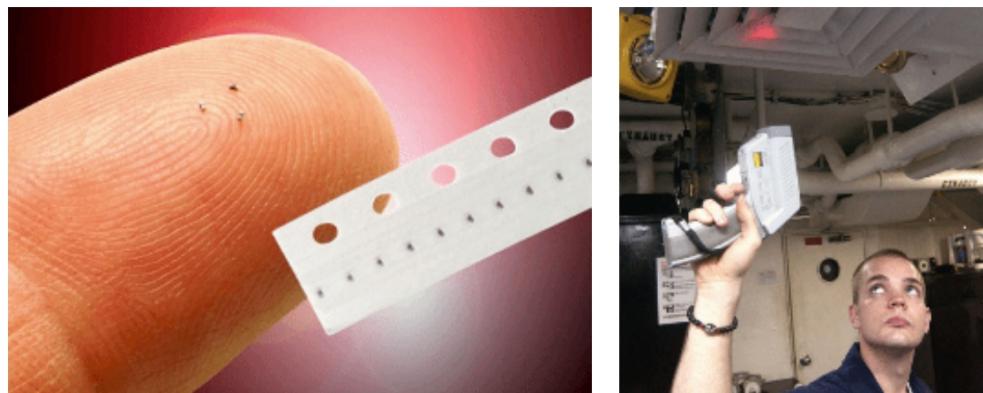
Was ist ein Folienthermometer?

Folienthermometer zum Fieberschnelltest oder als Aquarienthermometer nutzen den Farbumschlag gewisser chemischer Verbindungen, der bei Überschreiten einer Solltemperatur eintritt.

Wie funktionieren Infrarotthermometer?



Im Gegensatz zu den bisher besprochenen Verfahren funktionieren **Infrarotthermometer** (**83.4. 83.5 rechts**) berührungslos, d.h. ohne das Messobjekt zu berühren. Sie ersetzen z.B. in Krankenhäusern die traditionellen Fieberthermometer. Im technischen Alltag helfen sie, überhitzte Leitungen bei elektrischen Anlagen oder Kältebrücken bei Gebäuden aufzuspüren. Sie messen die elektromagnetische Strahlung, die jede Körperoberfläche entsprechend ihrer Temperatur abstrahlt und die wir als Wärmestrahlung (infrarote Strahlung) wahrnehmen, und zeigen die entsprechende Temperatur am Display an. (Mehr zur Wärmestrahlung S. 86)

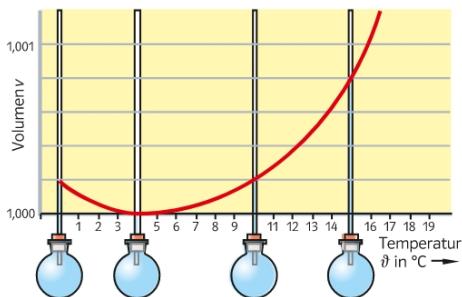


83.5 Links: Drei Thermistoren auf einer Fingerkuppe. Diese Halbleiterbauelemente reagieren schnell auf Temperaturänderungen mit einer Änderung des elektrischen Widerstands.

Rechts: Mit einem Infrarotthermometer kann die Temperatur berührungslos und punktgenau gemessen werden. (Im Bild bei einer elektrischen Anlage, ein eingebauter Laserpointer hilft beim Zielen.)

Anomalie des Wassers

Welches merkwürdige Verhalten zeigt Wasser bei der Volumsänderung?



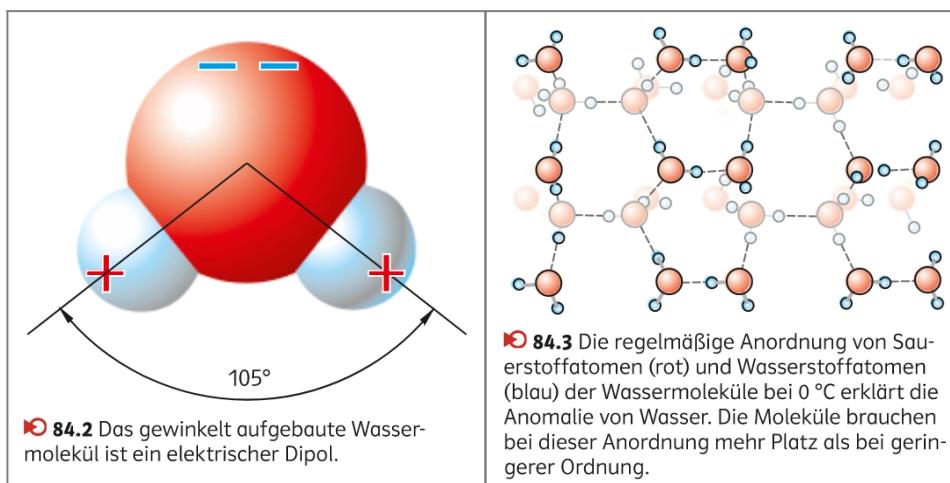
☞ 84.1 Die Anomalie des Wassers: Zwischen 0°C und 4°C nimmt das Volumen des Wassers bei Erwärmung ab.

Ein besonders merkwürdiges Verhalten zeigt Wasser, wenn man es erwärmt. Wie ☞ 84.1 zeigt, nimmt das Volumen einer Wassermenge beim Erwärmen im Bereich von 0°C bis 4°C ab und nimmt erst bei weiterer Erwärmung zu. Diese eigenartige Erscheinung bezeichnet man als „Anomalie des Wassers“.

Was ist die Ursache für die Anomalie des Wassers?

Um dieses Verhalten zu verstehen, betrachten wir die Form des Wassermoleküls. Wasser hat die chemische Formel H₂O, es besteht aus 2 Atomen Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff. Das Molekül ist zwar elektrisch neutral, aber durch seine gewinkelte Form ist die Ladung nicht gleichmäßig verteilt: Das Sauerstoffatom zieht die Elektronen der Wasserstoffatome ein wenig an sich, so dass das Molekül nun eine negative und eine positive Seite besitzt, es ist ein elektrischer Dipol (☞ 84.2). Elektrische Dipole ziehen einander an. Dies gilt auch für Wassermoleküle, was einige besondere Eigenschaften von Wasser erklärt:

- großer Energiebedarf für schmelzen und verdampfen, hohe Oberflächenspannung
- flüssiger Zustand zwischen 0°C und 100°C. (Dass dies eine Besonderheit ist, sieht man im Vergleich mit anderen Molekülen ähnlicher Masse. Beispielsweise ist Ammoniak NH₃ zwischen -78°C und -33°C flüssig.)



Wassermoleküle binden einander bei geringer thermischer Bewegung mittels **Wasserstoffbrücken**: Die negative Seite eines Moleküls zieht ein H-Atom eines anderen Moleküls an (in [84.3](#) durch gestrichelte Linien angedeutet). Diese Bindung zwischen Molekülen ist schwächer als die Bindung innerhalb der Moleküle, sie bewirkt den Zusammenhalt von Eis und flüssigem Wasser. Dabei führt die gewinkelte Form der Moleküle zur charakteristischen Kristallform von Eis, die sich in der regelmäßigen Gestalt der Schneeflocken zeigt. Zwischen den einzelnen Molekülen bleibt dabei viel Zwischenraum, so dass die Dichte von Eis um ca. 10% geringer ist als die Dichte von Wasser. Eis schwimmt daher im Wasser, wobei etwa 10% des Volumens über die Wasseroberfläche ragen.

Beim Schmelzen geht die Orientierung der Wassermoleküle nicht sofort verloren. Wassermoleküle dringen in die Hohlräume der Eisstruktur ein. Dadurch nimmt das Volumen ab und erreicht bei 4°C seinen kleinsten Wert. Bei weiterer Erwärmung steigt der Raumbedarf der Wassermoleküle infolge der zunehmenden thermischen Bewegung wieder an, so dass das Wasservolumen wieder größer wird.



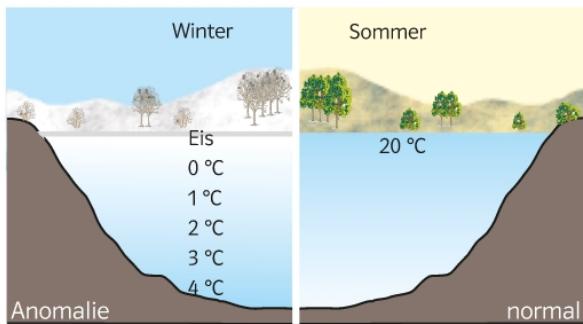
Video

[Temperaturschichtung in natürlichen Gewässern](#)



Video

Die Anomalie des Wassers ist für die Lebewesen im Wasser von großer Bedeutung. Sie verhindert, dass Seen im Winter bis zum Grund zufrieren ([84.4](#))



84.4 Die Temperaturschichtung in einem See im Winter und im Sommer. Der See gefriert im Winter an der Oberfläche. Die Temperatur am Grunde des Sees beträgt 4°C. Im Sommer ist es an der Oberfläche wärmer als in der Tiefe.

Untersuche, überlege, forsche: Seen im Lauf der Jahreszeiten

84.1 W1 a) Wie ändert sich die Wassertemperatur eines Sees an der Oberfläche, bzw. in der Tiefe im Lauf der Jahreszeiten? Berücksichtige dabei, dass Wasser ein schlechterer Wärmeleiter ist.

S2 b) Welche äußeren Einflüsse könnten wichtig sein? Wodurch durchmischt sich ein See und welche Folgen könnte eine mangelhafte Durchmischung haben?

Sprengwirkung des Wassers

Kühlt Wasser von 4°C auf 0°C ab bzw. nähert es sich dem Gefrierpunkt, so steigt sein Volumen. Ist es dabei eingeschlossen, entwickeln sich gewaltige Druckkräfte.

[Sprengwirkung des Wassers.mp4](#)

From:
<http://elearn.bgamstetten.ac.at/wiki/> - **Wiki**

Permanent link:
<http://elearn.bgamstetten.ac.at/wiki/doku.php?id=ph:volumsveraenderung>



Last update: **2022/01/17 21:15**