

## **Inhalt:**

- 1 Temperatur als Objektivierung unseres Empfindens für 'warm-kalt'
- 2 Thermometer und Temperaturskalen
- 3 Temperatur und Teilchenvorstellung
- 4 Das Prinzip des Temperaturangleichs
- 5 Wärme
- 6 Wärmeleitung
- 7 Zustandsarten – Zustandsänderungen
- 8 Spezifische Wärmekapazität

---

## **1 Temperatur als Objektivierung unseres Empfindens für 'warm-kalt'**

Berührt ein Gegenstand unsere Haut, wird eine Empfindung 'warm-kalt' ausgelöst. Verantwortlich dafür sind in unsere Haut eingelagerte Sinnesrezeptoren, und zwar jeweils eine Sorte für die Empfindung 'warm' und eine für die Empfindung 'kalt' (dies lässt sich in Schülerversuchen nachweisen, siehe Unterrichtseinheit 1).

Diese Signale sind für die Physiologie unseres Körpers wichtig. Sie verweisen auf Gefahren (z.B. Unterkühlung, Erfrieren, Verbrennung, u.ä.) und lösen Gegenmaßnahmen aus. Besonders heftige Reize werden bei starken Temperaturänderungen ausgelöst (z.B. beim Springen in kaltes Wasser an einem heißen Sommertag, beim Berühren einer heißen Herdplatte, etc.). Nach dem Übergang von 'warm' nach 'kalt' bzw. von 'kalt' nach 'warm' stellt sich i.d.R. nach kurzer Zeit ein Gewöhnungseffekt ein: Heißes bzw. kühles Badewasser wird nicht mehr als unangenehm empfunden.

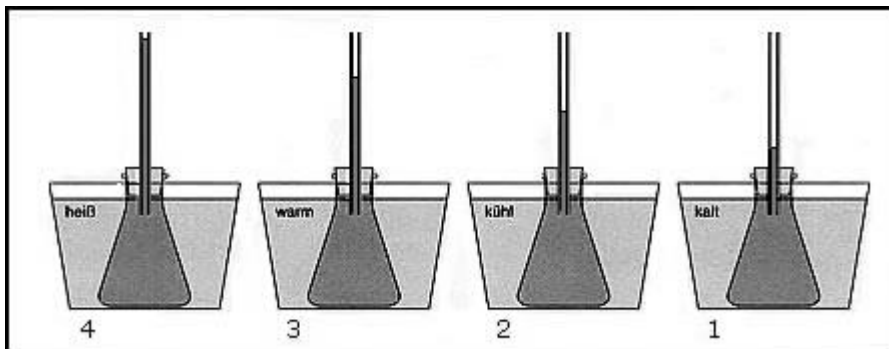
Die Rezeptoren für 'warm' und 'kalt' (auch Warm- und Kaltpunkte genannt) sind unterschiedlich dicht in die Haut eingelagert. Ihre Dichte hängt von der jeweiligen Hautpartie ab. In den Handflächen gibt es z.B. 1 bis 5 Kaltpunkte pro cm<sup>2</sup> sowie durchschnittlich 2 Warmpunkte auf 5 cm<sup>2</sup>. Im Gesicht, dem temperaturempfindlichsten Bereich, sind 16 bis 19 Kaltpunkte pro cm<sup>2</sup> vorhanden. Die Warmpunkte liegen hier so dicht, dass praktisch jeder Punkt wärmempfindlich ist.

Die Abhängigkeit des Empfindens 'warm-kalt' von der jeweils unmittelbar zeitlich vorangegangenen Situation oder der jeweiligen Umgebung zeigen Erfahrungen der folgenden Art: Kommt man im Hochsommer von draußen in den Keller, wird er als kühl bezeichnet, im Winter dagegen als relativ warm, obwohl er in beiden Jahreszeiten in etwa gleich temperiert ist. Eine Beschreibung des Zustandes ohne zeitlichen Kontext wäre völlig unzuverlässig. Der klassische 3-Schüsselversuch (siehe Unterrichtseinheit 1) ist ein verbreiteter Versuch, um die „Unzuverlässigkeit“ unseres Empfindens in der Schule zu demonstrieren.

Eine weitere Unzulänglichkeit ergibt sich aus der individuell unterschiedlichen Einschätzung: Für die eine Person ist es in einem Zimmer unangenehm warm, für eine andere ist es zu kühl. Besonders deutlich ist die unterschiedliche Bewertung eines Metallgegenstandes und eines Stückes Styropor, die beide eine Zeit lang im gleichen Raum gelegen haben. Metall fühlt sich kälter an als das Styroporstück, obgleich ein Thermometer für beide die gleiche Temperatur anzeigt (Ausführliches dazu siehe Abschnitt 6).

In vielen Situationen in unserem Alltag reicht unser Empfinden für 'warm-kalt' zur Orientierung und zum Auslösen von Schutzmaßnahmen aus. In einigen Fällen ist es aber nützlich und bedeutsam, ein zuverlässiges Maß für den Zustand 'warm-kalt' zu haben. So kann z.B. die Information über die Höhe des Fiebers lebensrettend, die Backtemperatur entscheidend für das Gelingen eines Gerichts, das Fühlen an der Babyflasche nicht exakt genug und das Heraushalten des Kopfes aus dem Fenster nicht ausreichend für die Entscheidung für eine angemessene Bekleidung sein.

Ein mit dem menschlichen Empfinden für 'warm' und 'kalt' im zuträglichen Bereich korreliertes, aber trotzdem davon unabhängiges Maß für 'warm-kalt' erhält man auf folgende Weise: Mehrere Schüsseln werden mit unterschiedlich warmem Wasser gefüllt. Mit unserem Empfinden für 'warm' und 'kalt' können wir diese in eine Rangfolge gemäß der Beziehung „ist wärmer als“ bringen. Diese Rangfolge ist intersubjektiv und kann mit einer objektiven Größe, z.B. dem Volumen, in Zusammenhang gebracht werden. In eine dünnwandige kleine, flüssigkeitsgefüllte Flasche wird ein dünnes Röhrchen eingeklebt. Die Flüssigkeit ist im Röhrchen etwas hochgestiegen. Wird die Flasche nacheinander in das unterschiedlich temperierte Wasser in den Schüsseln eingetaucht, stellt sich nach kurzer Zeit jeweils eine ganz bestimmte Höhe der Wassersäule ein, welche vom kältesten zum wärmsten Wasser zunimmt.



*Abb. 1: Das Wasser in Schüssel 4 fühlt sich wärmer an als das in Schüssel 3 usw.  
Die Höhe des Tropfens nimmt von Schüssel 1 nach Schüssel 4 monoton zu.*

Die Steighöhe der Wassersäule ist ein direktes Maß für die Volumenzunahme der Flüssigkeit in der Flasche und kann als objektives Maß für den Wärmegrad des Wassers genommen werden. Die nach Festlegung einer Skala auf dem Röhrchen (siehe Abschnitt 2) ablesbare Temperatur gibt objektiv an, wie warm oder kalt ein Gegenstand ist. Geräte zur Anzeige der Temperatur nennt man Thermometer.

Die Volumenänderung von Flüssigkeiten oder Gasen ist eine Möglichkeit, eine sich mit der Temperatur monoton ändernde physikalische Größe zur Anzeige zu nutzen. Die nach diesem Prinzip arbeitenden *Ausdehnungsthermometer* (Gas- bzw. Flüssigkeitsthermometer) werden durch die Entwicklung der modernen Elektronik zunehmend von *elektrischen Thermometern* verdrängt, bei denen der Umstand genutzt wird, dass sich der elektrische Widerstand mit der Temperatur verändert. Eine andere, ebenfalls zunehmend an Bedeutung gewinnende Thermometerart beruht darauf, dass Gegenstände in Abhängigkeit von der Temperatur unterschiedliche Mengen an elektromagnetischer Strahlung emittieren. Dieser Umstand wird z.B. von *Ohr-Fieberthermometern* genutzt.

## 2 Thermometertypen und Temperaturskalen

### Thermometertypen

Messgeräte zur Bestimmung der Temperatur eines Körpers werden als Thermometer bezeichnet. Die oben beschriebenen *Gasthermometer* sind empfindlich und deshalb für einen robusten Alltagsbetrieb wenig geeignet. Bis vor kurzem dominierten *Flüssigkeitsthermometer*, in denen die Volumenausdehnung von Flüssigkeiten anstelle von Gasen zur Anzeige benutzt wurde. Das sehr gut geeignete Quecksilber wurde wegen seiner Giftigkeit durch Alkohol ersetzt, der bei 0° Celsius noch nicht gefriert. Gelegentlich werden auch *Bimetallthermometer* verwendet (Außenthermometer, Backthermometer). Hier krümmen sich bei Erwärmung zwei aufeinander genietete Metallstreifen mit unterschiedlichem Ausdehnungsvermögen und drehen dabei einen Zeiger. Heute gewinnen die oben beschriebenen *elektrischen Thermometer* und die berührungslos funktionierenden *Strahlungsthermometer* zunehmend an Bedeutung.



Abb. 2: Verschiedene Thermometertypen

### Temperaturskalen

Schmelzen und Sieden eines Festkörpers sind durch bestimmte Temperaturen (Fixpunkte) gekennzeichnet. Der Schwede *Anders Celsius* (1701-1744) verwendete als Erster diese Fixpunkte des Wassers, indem er der Temperatur des schmelzenden Eises den Wert 0° C (Grad Celsius) und der Temperatur des siedenden Wassers den Wert 100° C zuordnete und damit eine Temperaturskala eindeutig festlegte. Um Zwischenstufen zu erhalten, teilte er den Bereich zwischen der 0° C-Marke und der 100° C-Marke in 100 gleiche Teile ein. Die Einteilung setzte er mit gleicher Schrittfolge weiter nach oben und nach unten fort. Voraussetzung hierfür war allerdings, dass die Ausdehnung des zur Temperaturmessung verwendeten Stoffes proportional zur Temperatur ansteigt (bei Luft und Quecksilber ist dies der Fall, bei Wasser nur bedingt).

Der deutsche Physiker *Daniel Gabriel Fahrenheit* (1686-1736) wählte als Nullpunkt die Temperatur eines Salz-Eis-Gemisches und als 100 Grad die Körpertemperatur eines gesunden Menschen. Später legte auch er die Siedetemperatur des Wassers zugrunde. Auf der nach ihm benannten Fahrenheit-Skala liegt der Gefrierpunkt bei 32° F (Grad Fahrenheit) und der Siedepunkt bei 212° F.

In der Physik und in der Technik wird meist eine auf *Lord Kelvin* (1824-1907) zurückgehende Temperaturskala verwendet. Sie beruht auf der Tatsache, dass kein Körper eine Temperatur annehmen kann, die niedriger als  $-273,16^{\circ}\text{C}$  ist. Bei der Kelvin-Skala wird der Nullpunkt ( $0^{\circ}\text{K}$ ) in diesen Punkt verlegt, während die Schrittweite der Celsius-Skala erhalten bleibt. Der Gefrierpunkt liegt hier also bei  $+273,16^{\circ}\text{K}$ , der Siedepunkt bei  $+373,16^{\circ}\text{K}$ .

### **3 Temperatur und Teilchenvorstellung**

Zwischen der Temperatur eines gewöhnlichen Gegenstandes und der Bewegungsintensität der Atome bzw. Moleküle, aus denen der Gegenstand aufgebaut ist, gibt es einen Zusammenhang: Je heftiger die Bewegung der Teilchen ist, desto höher ist die Temperatur, und umgekehrt. In einem festen Körper (z.B. in einem Kupferdraht) schwingen bei Temperaturerhöhung die Gitterbausteine (Kupferionen) heftiger um ihre Ruhelage, in Gasen fliegen die Teilchen schneller umher. Der Zusammenhang zwischen der Temperatur eines Körpers und der Bewegungsintensität seiner Teilchen lässt sich theoretisch herleiten und experimentell bestätigen.

### **4 Das Prinzip des Temperaturangleichs**

Sowohl in physikalischer wie auch in didaktischer Hinsicht ist das „*Prinzip des Temperaturangleichs*“ von großer Bedeutung für den Sachunterricht.

Berühren sich zwei unterschiedlich warme Gegenstände, dann gleichen sich die Temperaturen einander an, d.h. nach einer gewissen Zeit haben beide Gegenstände die gleiche Temperatur. Der kältere Gegenstand wird wärmer und der wärmere Gegenstand kälter, bis beide Gegenstände die gleiche Temperatur aufweisen. Die gemeinsame Endtemperatur liegt je nach Material und Größe der beteiligten Körper irgendwo zwischen den beiden Anfangstemperaturen. Eine wichtige Voraussetzung für den Ablauf dieses Vorgangs ist, dass kein dritter Körper den Temperaturangleich stört.

Das Prinzip des Temperaturangleichs gilt universell, auch wenn es manchmal nicht deutlich wird. Wird z.B. ein heißes Getränk auf den Tisch gestellt, sinkt dessen Temperatur. Gleichzeitig erhöht sich die Zimmertemperatur, was aber aufgrund des großen Luftvolumens kaum bemerkbar wird. Befinden sich viele Personen in einem anfangs kühlen Zimmer, erwärmt sich die Luft darin im Laufe der Zeit spürbar. Im Prinzip werden die Personen im Zimmer gleichzeitig abgekühlt. Die Stoffwechselprozesse im menschlichen Körper sorgen jedoch dafür, dass die Körpertemperatur weitgehend erhalten bleibt (es wird – wie bei einer Warmwasserheizung - ständig „nachgeheizt“).

### **5 Wärme**

In den didaktischen Überlegungen (siehe „Fachdidaktische Informationen“) war der Standpunkt begründet worden, den physikalischen Begriff 'Wärme' (im Sinne einer Energiemenge) in der Grundschule nicht einzuführen. Es gibt in der Wärmelehre eine Reihe von Phänomenen, bei denen es nicht nur auf die Temperatur ankommt, sondern in denen auch eine zweite Größe mit Mengencharakter eine Rolle spielt. Dies lässt sich z.B. durch den folgenden Versuch veranschaulichen: Zwei ungleich große Stahlkugeln werden in kochendes Wasser gelegt. Nach einer Weile haben beide eine Temperatur von  $100^{\circ}\text{C}$ . In zwei Becher werden jeweils gleichen Mengen Wasser gefüllt (jeweils mit Zimmertemperatur) und die beiden Kugeln in je einen der Becher gelegt. Die erreichten Endtemperaturen sind unterschiedlich. Im Becher mit der größeren Kugel sind sowohl die Wasser- wie auch die Stahlkugeltemperatur höher als im Becher mit der kleineren Kugel. Dies lässt sich

folgendermaßen deuten: Die größere Kugel hat in kochendem Wasser mehr von "Etwas" aufgenommen als die kleinere Kugel und konnte deshalb von diesem "Etwas" im kalten Wasser mehr abgeben, was sich in der höheren Endtemperatur zeigte. Dieses "Etwas" nennt man '*innere Energie*' (oft etwas unglücklich vereinfachend '*Wärme*' genannt). Die Menge der gespeicherten inneren Energie hängt ab von der Temperatur, der Stoffmenge und der Stoffart, aus dem der Gegenstand besteht. Berühren sich zwei Körper mit unterschiedlicher Temperatur strömt innere Energie von dem wärmeren zum kälteren Körper, bis beide die gleiche Temperatur haben. Die Temperatur des Körpers, der Energie abgibt, sinkt i.d.R., die des aufnehmenden steigt.

## **6 Wärmeleitung**

Der Temperaturangleich erfolgt je nach Art des Stoffes, aus dem die beteiligten Körper bestehen, unterschiedlich schnell. Bei Metallen geht es relativ schnell, bei Wolle, Styropor u.ä. dauert es dagegen sehr lange. Bei ersteren spricht man von guten Wärmeleitern, bei letzteren von schlechten Wärmeleitern. Ist ein rascher Angleich erwünscht, verwendet man gute Wärmeleiter (Kochtöpfe, Heizkörper aus Metall), will man ihn möglichst verhindern, verwendet man schlechte Wärmeleiter (Bekleidung aus Wolle oder mit Daunen, Bettdecken, Fenster mit zwei Scheiben, zwischen denen sich ein Gas befindet, Kochlöffel aus Holz oder Plastik, Wandisolierungen mit Dämmplatten, etc.).

Die Wärmeleitung lässt sich mit Hilfe des *Teilchenmodells* erklären: Wird ein Ende eines Metallstabes erhitzt, bewegen sich dort die Teilchen heftiger. Diese heftige Bewegung beeinflusst benachbarte Teilchen, die sich nun ebenfalls heftiger bewegen und wiederum ihre benachbarten Teilchen beeinflussen. Dieses Anregen pflanzt sich durch den Körper hindurch fort, so dass sich auch in entfernteren Teilen des Stabes die Temperatur erhöht.

Luft ist ein sehr schlechter Wärmeleiter. Weshalb benötigen wir dann schon in Sommernächten eine Bekleidung um nicht zu frieren? Eine dünne Luftschicht unmittelbar an unserer Haut erwärmt sich und im Gegenzug kühlt sich die Haut geringfügig ab. Bliebe die dünne, erwärmte Luftschicht an unserer Haut haften, wären wir nahezu perfekt isoliert. Nun ist es aber so, dass erwärmte Luft in umgebender kälterer Luft nach oben steigt. Dies bedeutet, dass die in der Nähe der Haut sich erwärmende Luft nach oben steigt und damit kältere Luft an unsere Haut gelangt. Diese Luft kühlt unsere Haut ab. Da dies ununterbrochen geschieht, beginnen wir zu frieren. Wind begünstigt den Abtransport der erwärmten Luft und lässt uns die kühle Sommerluft noch deutlicher spüren. Die Bekleidung sorgt nun im Wesentlichen dafür, dass die erwärmte Luftschicht nicht wegströmt, sondern nahe der Haut verbleibt.

### **Abhängigkeit des Wärmeempfindens vom Material**

Die Abhängigkeit des Wärmeempfindens (bei Zimmertemperatur fühlt sich Eisen deutlich kälter an als Styropor oder Wolle) lässt sich mithilfe der unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeit der Materialien erklären. Dazu lösen wir den an sich kontinuierlich ablaufenden Vorgang gedanklich in einzelne Phasen auf: Berühren wir das Metall, wird unsere Haut abgekühlt und zunächst nur die äußerste Schicht des Metalls gleichzeitig etwas erwärmt. Diese erwärmte Metallschicht berührt die darunter liegende, zunächst noch kalte Metallschicht. Auf Grund der guten Wärmeleitfähigkeit des Metalls wird sehr rasch die zweite, kalte Schicht von der erwärmten äußeren Schicht ebenfalls etwas erwärmt und gleichzeitig die äußere abgekühlt. Damit ist die äußere Metallschicht wieder kälter geworden (aber geringfügig wärmer als zu Beginn des Kontaktes mit der warmen Haut). Damit geht der Vorgang im Prinzip von Neuem los: Die Haut wird abgekühlt, die äußere Metallschicht erwärmt. Wir spüren ein deutliches 'kalt'-Gefühl.

Bei Styropor geschieht anfangs das Gleiche: die Hauttemperatur wird etwas gesenkt, die Temperatur des Styropors geringfügig erhöht. Weil Styropor jedoch ein sehr schlechter Wärmeleiter ist, bleibt die erhöhte Temperatur erhalten und die Hauttemperatur wird nicht weiter erniedrigt. Nach kurzer Zeit haben wir den Eindruck, dass das Styropor warm ist, ja sogar unsere Hand wärmt. Der Grund dafür liegt darin, dass unser Körper darauf eingestellt ist, stets durch die Umgebung etwas abgekühlt zu werden, da unsere Hauttemperatur i.d.R. etwas höher als die Temperatur der Umgebung ist, so dass wir ständig eine geringe Wärmestrahlung abgeben. Durch unseren Stoffwechsel und die Muskeltätigkeit wird ständig „nachgeheizt“, so dass im Körperinneren eine konstante Temperatur von etwa 37° C herrscht. Der geringfügige normale Abkühlungsvorgang löst keine Sinnesreize aus. Wird er - wie beim Kontakt mit dem schlechten Wärmeleiter Styropor - unterbunden, erwärmt sich die Haut über das gewohnte Maß und wir spüren den Erwärmungseffekt der Haut. Ähnliches spüren wir, wenn wir in einem kalten Zimmer ins Bett steigen. Die anfängliche Empfindung von 'kühl' wird durch einen Sinnesreiz 'warm' abgelöst, weil die normale Abkühlung durch die sehr schlechte Wärmeleitfähigkeit der Daunendecke behindert wird. Wir wärmen die Decke und spüren zunehmend, dass die Decke warm wird.

### **Temperaturänderung beziehungsweise Temperaturgleich durch Wärmestrahlung**

Jeder Körper strahlt ständig elektromagnetische Wellen ab. Ein Teil dieser Strahlung ist sichtbares Licht. (Fällt dieses Licht in unser Auge, wird der Wahrnehmungsreiz ausgelöst, wir sehen den Gegenstand.) Ein anderer Teil der elektromagnetischen Strahlung ist die so genannte UV-Strahlung, ein weiterer Teil wird als infrarote Strahlung, manchmal auch als Wärmestrahlung bezeichnet. Wird unsere Haut von dieser Strahlung getroffen, dann erwärmt sie sich: Durch Aufnahme (Absorption) von elektromagnetischer Strahlung durch einen Gegenstand erhöht sich dessen Temperatur. Sehr deutlich ist dies bei der (so genannten) Wärmestrahlung zu spüren, die einen hohen Anteil an Infrarotstrahlen hat. Durch das Abstrahlen der elektromagnetischen Wellen verringert sich der Energiegehalt des abstrahlenden Körpers und seine Temperatur sinkt.

In der Regel strahlen Körper ständig ab und nehmen gleichzeitig ständig Strahlung von anderen Körpern auf.

Für das Temperaturgleichgewicht unseres Körpers ist es von großer Bedeutung, dass wir den potentiellen Temperaturanstieg auf Grund unseres Stoffwechsels und der Muskeltätigkeit durch Abstrahlung kompensieren und damit eine konstante Temperatur im Körperkern haben. Ein einfacher Versuch demonstriert die Wärmestrahlung, die wir aussenden: Stecken wir unsere Hand in eine Metalldose, dann empfinden wir nach kurzer Zeit ein Wärmegefühl. Die von der Haut der Hand ausgesendete Wärmestrahlung wird an der Dosenwand analog wie beim Spiegel (vergleichbar mit der Reflexion von Licht bei einem Spiegel) reflektiert, trifft wieder auf die Haut und wird von dieser aufgenommen.

Die elektromagnetische Welle übt auf die Teilchen in der Oberfläche des bestrahlten Körpers Kräfte aus und zwingt diese zu raschen Hin- und Herbewegungen. Heftigere Teilchenbewegung zeigt sich durch eine höhere Temperatur.

## **7 Zustandsarten – Zustandsänderungen**

Von Wasser ist den Schülerinnen und Schülern der Grundschule bekannt, dass es in den drei Zustandsarten 'fest', 'flüssig' und 'gasförmig' vorkommt. Die Vorstellung ist, dass bei einer Temperaturerhöhung bei Eis am Schmelzpunkt die gerichteten Bindungen im Eiskristall aufbrechen und die Wassermoleküle frei beweglich werden.

Zwischen den Wassermolekülen gibt es aber noch immer anziehende Kräfte, die verhindern, dass die Moleküle einfach das flüssige Wasser verlassen. Mit steigender Temperatur gelingt es jedoch einzelnen Wassermolekülen, weil sie sich zunehmend schneller bewegen, die Wasseroberfläche zu verlassen und sich als Wasserdampf mit den Luftteilchen zu vermischen. (In der Umgangssprache bezeichnet man als Wasserdampf die über siedendem Wasser sichtbaren Dampfschwaden. Diese bestehen aber aus kleinen Wassertröpfchen, sind also flüssiges und nicht dampfförmiges Wasser!).

Besonders interessant am Übergang von flüssigem Wasser zu Wasserdampf ist, dass die Temperatur des siedenden Wassers bei 100° C stehen bleibt. Erst wenn das gesamte Wasser in Wasserdampf übergegangen ist, kann dessen Temperatur über 100° C hinaus erhöht werden. Die ständig zugeführte Energie ist erforderlich, um die Wasserteilchen so schnell werden zu lassen, dass sie sich trotz der anziehenden Kräfte voneinander trennen können.

Aus jeder Flüssigkeit können einige Teilchen entweichen (das sind vorzugsweise die Teilchen, die sich besonders schnell bewegen). Diesen Vorgang nennt man Verdunsten. Lagern sich Wasserteilchen zusammen und bilden ein Wassertröpfchen, spricht man von 'Kondensation'. Dies geschieht, wenn die Temperatur erniedrigt wird und es so genannte Kondensationskeime (winzige Staubteilchen oder Salzkristalle) in der Luft gibt. Nebel und Wolken sind dafür besonders bekannte Beispiele.

## **8 Spezifische Wärmekapazität**

*Dieses Kapitel wird noch ergänzt.*