

## Einleitung in die Wärmelehre

Im ersten Teil der Experimentalphysik, Mechanik, haben wir die Grundlagen geschaffen, Bewegung von einzelnen Massepunkten und später von starren Körpern zu berechnen. Wir hatten festgestellt, dass die Ursache dieser Bewegungen Kräfte sind. Diese Kräfte konnten wir untersuchen und die funktionalen Beziehungen zwischen den Kräften und verschiedenen Bewegungsformen der Körper analysieren. Bei diesen Untersuchungen mussten wir weder den Aufbau der Körper noch die Struktur seiner Materie kennen. Unter diesen Voraussetzungen konnten wir mit Hilfe derselben Bewegungsgesetze, die wir für feste Körper entwickelt hatten, die Kinematik und Dynamik von Flüssigkeiten oder Gasen betrachten.

In den nun folgenden Teilen der Experimentalphysik wollen wir auf den Aufbau, die Erscheinungsformen von Materie und deren Änderungen genauer eingehen. Wichtig sind hier vor allem die Abhängigkeit von der Temperatur und umgekehrt die Temperaturänderung in Abhängigkeit von der Zustandsänderung der Stoffe.

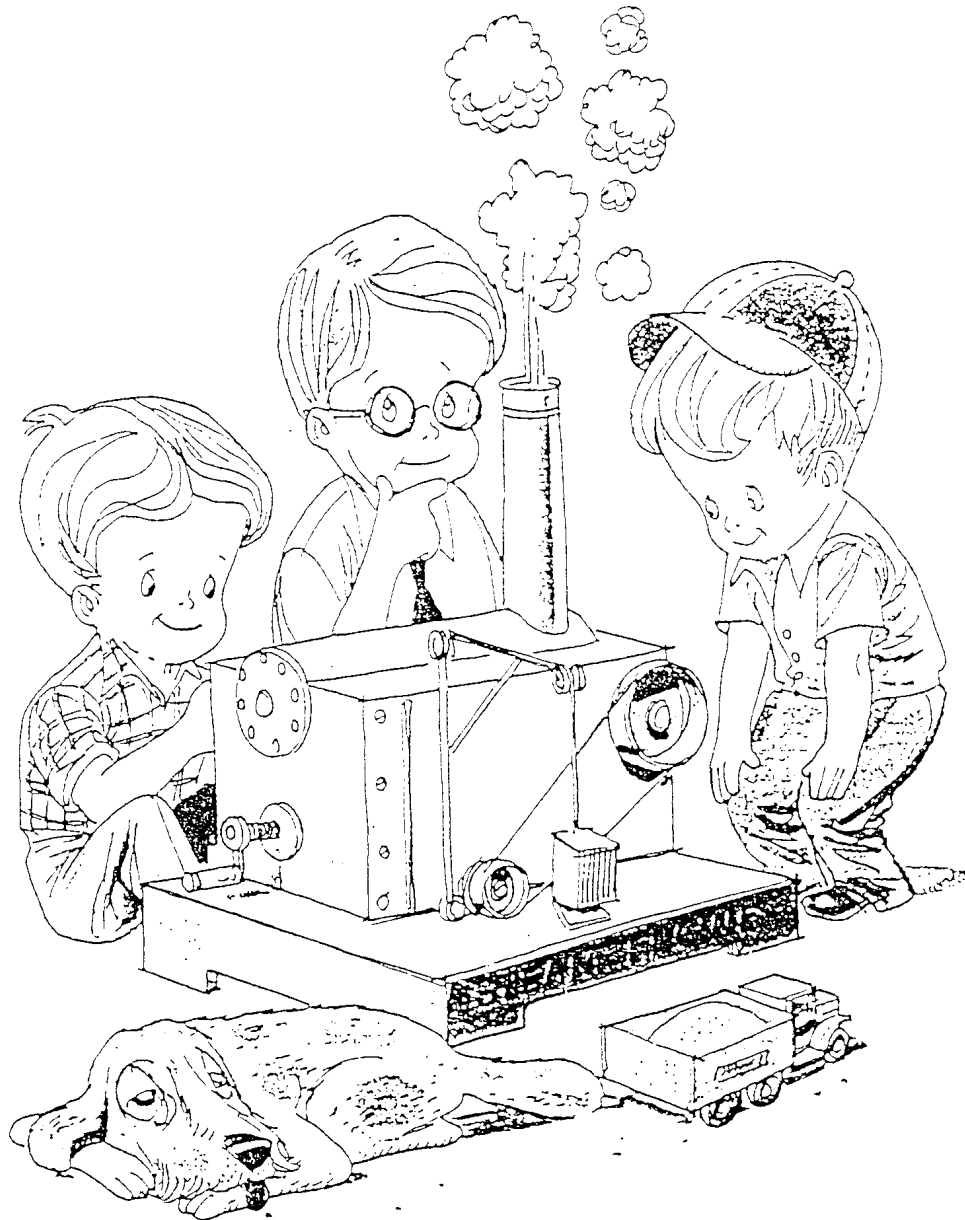
Um die Erscheinungsformen der Materie und deren Änderungen zu untersuchen, gibt es zwei unterschiedliche Methoden:



1) Die **Statistische Mechanik** betrachtet den Aufbau der Stoffe aus Atomen und Molekülen und erfasst die **makroskopischen** Veränderungen beim Energieaustausch in thermodynamischen Systemen mit Hilfe der Statistik. Die bereits formal bekannten Größen Temperatur und Wärmemenge werden als statistische Größen anschaulich deutbar über das Verhalten der Mikroteilchen. Die fundierte Anwendung dieser Methode setzt größere Kenntnisse der mathematischen Statistik voraus.

2) Die **thermodynamische Methode** beruht auf der **mikroskopischen** Betrachtung experimenteller Größen bei der Veränderung eines Systems in Folge von Energieumwandlung. Im Gegensatz zur Mechanik werden nun Temperaturänderungen oder Wärme als wichtigste Energieform berücksichtigt. Im Gegensatz zur statistischen Mechanik werden keine speziellen Vorstellungen über die Natur der Wärme entwickelt. Auch die Vorgänge im Inneren der Stoffe werden nicht mehr betrachtet. Die Thermodynamik beobachtet vor allem die sogenannten Zustandsparameter, z.B. Temperatur und Entropie.

Wie in dieser Erklärung bereits deutlich wurde, sind die beiden zentralen Begriffe der Wärmelehre die Begriffe **Wärmemenge** und **Temperatur**. Die Wärmemenge ist eine Form der Energie, die sich in der ungeordneten Bewegung der Moleküle auch im einzelnen deuten lässt als mittlere mechanische Energie dieser Moleküle. Im Gegensatz dazu beschreibt die Temperatur den thermischen Zustand, das heißt den Wärmezustand, eines makroskopischen Körpers. Die Temperatur ist dabei eine neue Basisgröße, für die zuerst eine Einheit und eine Skala festgelegt werden muss, um Messungen durchführen zu können. In Kapitel II, Wärmelehre, wollen wir deshalb damit beginnen, zumal die Beobachtung der Temperatur sowohl die Grundlage zur Untersuchung der thermischen Stoffeigenschaften ist als auch wichtige Unterlagen liefert, um Gesetzmäßigkeiten der Wärmebewegung, also letztlich das



‘Wesen der Wärme’ zu erkennen.

## **X. Grundlagen der Wärmelehre**

In diesem Kapitel wollen wir, wie angekündigt, zunächst auf die Begriffe Temperatur und Wärme eingehen. Dabei müssen wir uns fragen, was Temperatur ist, wie man sie messen kann und welche Einheit und Skala der Temperatur zugeordnet wird. Nach einer kurzen Definition der Wärme und der Stoffmenge, betrachten wir abschließend die drei möglichen Aggregatzustände eines Körpers und deren Übergänge.

### **X.1 Temperatur**

Was ist Temperatur?

Mittels Nerven, die an bestimmten Stellen unserer Haut, dem Warm- und Kaltpunkten, die auf Wärme reagieren, empfinden wir die Temperatur eines Körpers. Um diese Empfindungen zur Beurteilung oder gar zur Messung einer Temperatur zu nutzen, reagieren unsere Nerven zu stark auf die Abkühlungs- oder Erwärmungsgeschwindigkeit. Deshalb empfinden wir denselben Gegenstand einmal kalt und einmal warm, je nachdem, ob die Hand vorher in kälterer oder in wärmerer Umgebung war. Zudem fühlt sich ein Körper aus Metall kälter an als ein Körper aus Holz, wenn beide dieselbe Temperatur haben. Der Grund hierfür liegt in der besseren Wärmeleitung des Metalls, welches der Hand die Wärme rascher entzieht. Schließlich kann ein brennend heißer Körper die selben Empfindungen auslösen wie ein besonders kalter Körper. Die Temperaturdefinition über unser Sinnesorgan ist deshalb ungeschickt. Man muss ein davon unabhängiges Messverfahren für die Temperatur eines Körpers finden.

#### **Wie misst man eine Temperatur?**

Bei einer Festlegung eines geschickten Messverfahrens gibt es drei wesentliche Schwierigkeiten:

Die erste Schwierigkeit ist es, eine geeignete **Wahl der Fixpunkte** der Temperaturskala zu schaffen. Dazu müssen Substanzen ausgewählt werden, die unter vorgegebenen Bedingungen stets dieselbe Temperatur, denselben thermischen Zustand haben.

Die zweite Schwierigkeit liegt darin, die **Reproduzierbarkeit der Fixpunkte** zu gewährleisten. Die Temperatureinheit Fahrenheit wählt als einen der Fixpunkte die Körpertemperatur eines Menschen. Dieser Fixpunkt entspricht sicherlich nicht dem Kriterium, exakt reproduzierbar zu sein.

Die dritte Schwierigkeit stellt die **Skaleneinteilung** dar. Der Versuch, die Temperaturdifferenz zwischen zwei Fixpunkten durch die Ausdehnung zu definieren, ist nicht unproblematisch. Verschiedenen Flüssigkeiten dehnen sich unterschiedlich aus. Bei einer linearen Skaleneinteilung entsprechen 60 Grad Celsius von Quecksilber 61,9 Grad Celsius, legt man die Ausdehnung von Alkohol zugrunde.

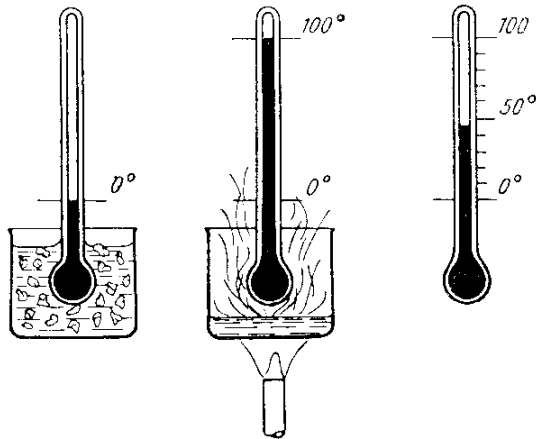


Abbildung X.1: Fixpunkte der Celsius-Skala:

- 1)  $0^{\circ}\text{C}$  bei Koexistenz von Eis und Wasser
- 2)  $100^{\circ}\text{C}$  beim Siedepunkt
- 3) zeigt die lineare Aufteilung der Skala

**Skala** fest. Ein Grad Celsius entspricht dann einem Hundertstel der Temperaturdifferenz zwischen Schmelz- und Siedepunkt.

Zur **Skaleneinteilung** zwischen diesen Fixpunkten wird oft die Wärmeausdehnung von Quecksilber benutzt. Dazu muss nur die Standhöhe einer Quecksilbersäule in einer Kapillaren, die an eine mit Quecksilber gefüllte Thermometerkugel anschließt, im thermischen Gleichgewicht mit Wasser der beiden Fixpunkttemperaturen notiert werden. Die so entstandene Strecke wird in hundert gleiche Teile geteilt. Diese Teilung kann man nach oben und unten im gleichen Maßstab fortsetzen. Die so geschaffene Temperaturskala setzt dann einen linearen Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Wärmeausdehnung von Quecksilber voraus. Im Laufe der weiteren Entwicklung zeigte sich, dass einige Verbesserungen und Änderungen angebracht sind.

Zur Interpolation zwischen den Fixpunkten und zur Extrapolation nach beiden Seiten benutzt man den Druck von Helium, das heißt den Druck eines idealen Gases, bei konstantem Volumen. Dieses ändert sich gegenüber der Ausdehnung von Quecksilber zwischen null Grad Celsius und hundert Grad Celsius praktisch nicht.

Im Prinzip lassen sich diese drei Schwierigkeiten durch eine internationale Einigung umgehen: Man wählt den ersten Fixpunkt, den Eispunkt, als die Temperatur des unter dem normalen Luftdruck von 1013 mbar schmelzenden reinen Eises, das heißt die Temperatur einer Mischung von Eis mit Wasser im thermischen Gleichgewicht. Dieser Punkt ist leicht reproduzierbar. Als zweiter Fixpunkt dient die Temperatur des bei 1013 mbar siedenden reinen Wassers, der Siedepunkt des Wassers. Diese beiden Fixpunkte legen die weit verbreitete **Celsius-**

Ein weiteres Problem bei der Definition der Celsius Skala ist die willkürliche Definition des Nullpunktes. Deshalb müssen wir uns fragen, ob es nicht eine **natürliche Skala** gibt, die wir verwenden können.

Um eine solche natürliche Skala zu finden, betrachten wir nun **temperaturabhängige Effekte**: Im Allgemeinen dehnen sich alle Körper aus, wenn sie warm werden. Die Längenänderung des Festkörpers kann mit einer einfachen Formel berechnet werden:

Der Körper besitzt bei  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  die Länge  $l_0$ , er wird erwärmt um  $\Delta t = t$ . Dann berechne man seine neue Länge über die Beziehung

$$l(t) = l_0(1 + \alpha t)$$

$\alpha$  ist der lineare Wärmeausdehnungskoeffizient.

Merke: Ein Körper der Länge  $l_0$  bei  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  erfährt bei Erwärmung um  $\Delta t = t$  eine **Längenänderung** von  $l(t) = l_0(1 + \alpha t)$ .

Folglich gilt für die Änderung des Volumens eines Quaders aus festem Material mit den Kantenlängen  $a$ ,  $b$  und  $c$

$$V(t) = a \cdot b \cdot c(1 + \alpha t)^3$$

mit  $V_0 = abc$  folgt

$$V(t) = V_0(1 + \alpha t)^3$$

Wenn  $\alpha t$  sehr klein ist gegen eins, folgt

$$V(t) = V_0(1 + 3\alpha t)$$

mit  $\gamma = 3\alpha$  folgt

$$V(t) = V_0(1 + \gamma t)$$

Dabei ist  $V_0$  das Volumen des Quaders bei null Grad Celsius.

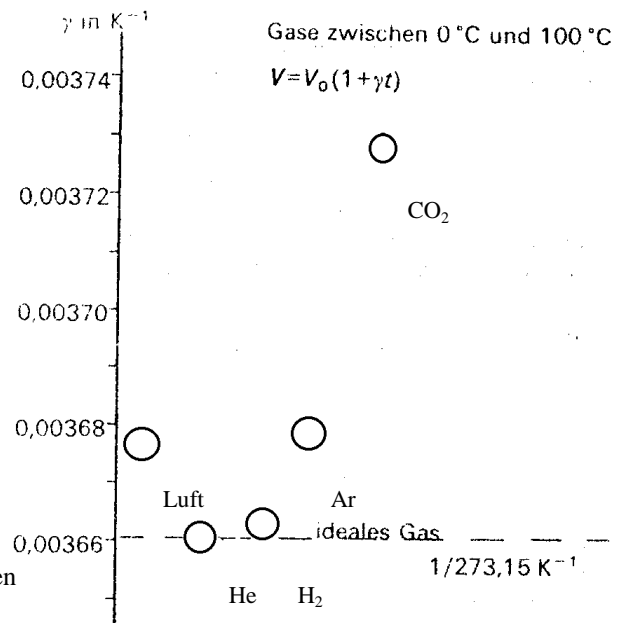
$\gamma$  wird Volumenausdehnungskoeffizient genannt.

Merke: Ein Körper des Volumens  $V_0$  bei  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  erfährt bei Erwärmung um  $\Delta t = t$  eine **Volumenänderung** von  $V(t) = V_0(1 + \gamma t)$ .

Da Flüssigkeiten und Gase keine feste Form haben, ist bei Ihnen nur der Volumenausdehnungskoeffizient von Bedeutung. Bei Flüssigkeiten und erst recht bei Gasen ist dieser erheblich höher als bei festen Körpern. Bei der experimentellen Überprüfung dieses Gesetzes zeigt sich ein interessantes Phänomen:

Hält man den Druck konstant, während ein Gas aufgrund von Wärme ausgedehnt wird, so gilt das oben hergeleitete Gesetz. Erstaunlich ist dabei, dass der Koeffizient für alle idealen Gase unabhängig von ihrer chemischen Zusammensetzung denselben Wert ergibt. Dieses Phänomen lässt sich

Abbildung X.2: Volumenausdehnungskoeffizienten verschiedener Gase  
um so genauer beobachten, je kleiner der



Gasdruck ist. Offenbart setzt dieses Verhalten idealer Gase einen natürlichen Nullpunkt bei einer Temperatur von minus 273 Grad Celsius.

Diese Eigenschaft wurde im Jahre 1802 von Gay-Lussac in einem Gesetz formuliert:

Merke: Ein Gas des Volumens  $V_0$  bei  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  erfährt bei konstantem Druck bei Erwärmung um  $\Delta t = t$  eine **Volumenänderung** von  $V(t) = V_0(1 + \frac{1}{273} t)$ .

**Gesetz von Gay-Lussac**

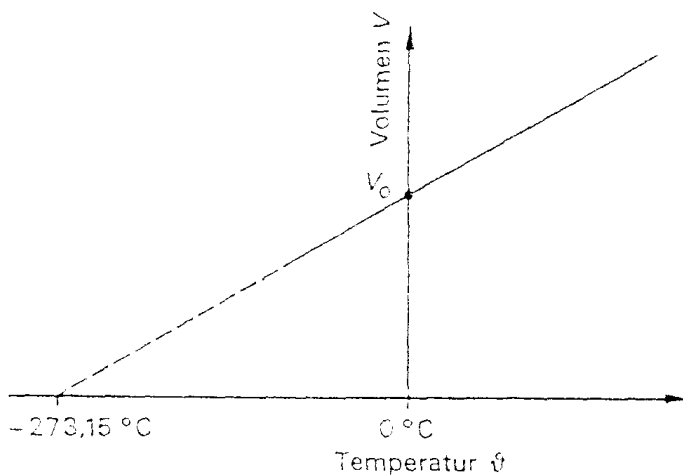


Abbildung X.3: Die Messung von  $V(t)$  wird nach  $V = 0$  extrapoliert.

Um die Willkür bei der Wahl des Nullpunktes in der Celsius-Skala zu beseitigen, richtet man den Nullpunkt der Skala nach dem natürlichen, dem sogenannten

**absoluten Nullpunkt**

$t = -273,15 \text{ }^\circ\text{C}$

aus. Dabei verschiebt man nur den Nullpunkt, lässt aber das Intervall von

einem Grad. Praktisch ist dieser Punkt nicht zu erreichen, denn das

Volumen des Gases wäre bei dieser Temperatur null. Diese Skala wird als absolute oder **Kelvin-Temperaturskala** bezeichnet.

Im folgenden wollen wir die Verschiebung des Nullpunktes gerundet mit  $-273^{\circ}\text{C}$  angeben. Um Missverständnisse zu vermeiden, in welcher der beiden gebräuchlichen Skalen die Temperatur angegeben wird, bezeichnen wir im Folgenden:

Notation X.1: Temperaturen in der **Celsius-Skala** werden mit **t** bezeichnet und in  $^{\circ}\text{C}$  gemessen. Temperaturen in der **Kelvin-Skala** werden mit **T** bezeichnet und in **K** gemessen.

Merke: Die Skalen können umgerechnet werden über  $T = t + 273,15$

Jetzt haben wir zuzüglich zu den SI-Basiseinheiten der Mechanik eine weitere Basiseinheit kennen gelernt:

Die SI-Basiseinheit der Temperatur ist ein Kelvin. Dieses ist definiert als:

**Definition X.1: Die SI-Basiseinheit 1K(elvin) ist definiert als der 273,16te Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes des Wassers.**

Weil der Tripelpunkt des Wassers bei  $0,01^{\circ}\text{C}$  liegt, beträgt die Schmelztemperatur des Eises  $0^{\circ}\text{C}$  oder 273,15 K.

Die Wärmeausdehnung findet im praktischen Leben viele Anwendungen. Ein Beispiel hierfür ist ein Thermoschalter: Lötet man zwei flache Metallstäbe, z.B. aus Eisen und Kupfer, der Länge nach aneinander, so dehnt sich beim Erwärmen der Kupferstab stärker aus. Deshalb biegt sich der Metallstab. Dieses Prinzip wird bei Bimetallthermometern und Temperaturregler vielfach praktisch angewandt.

Bisher haben wir Werkzeug erlernt, die Zustandsänderung eines Körpers, einer Flüssigkeit oder eines Gases zu betrachten und zu beschreiben, welche sich bei einer Temperaturänderungen einstellen. Jetzt geht es um die Ursache der Temperaturänderungen. Damit wenden wir uns dem zweiten Grundbegriff in der Wärmelehre zu: dem Begriff der Wärme.

## **X.2 Wärme und Wärmemenge**

Bis Ende des 18. Jahrhunderts herrschte die Meinung vor, Wärme sei ein unwägbarer, nichtzusehender Stoff. Dieser wurde „Calorium“ genannt.

1789 stellte Graf Rumford fest, dass Wärmeentwicklung zum Beispiel durch Reibung bei mechanischer Arbeit entsteht.

Erst um 1850 wurde der eigentliche Charakter von Wärme endgültig erkannt:

**Wärme ist eine Form von Energie.**

Experimentell findet man den Zusammenhang zwischen Temperatur und Wärme: Die Wärme ist proportional zur Temperatur und der Masse des erwärmten Körpers. Das zeigt ein einfaches Gedankenexperiment: Um einen Becher Glas mit einem Kilogramm Wasser mittels eines Tauchsieders mit bekannter Leistung auf eine vorgegebene Temperatur zu erwärmen, braucht man die doppelte Zeit wie zur Erwärmung eines halben Liters Wasser. Darüber hinaus ist die Zeit zur Erwärmung auf eine bestimmte Temperatur der Temperaturerhöhung selbst annähernd proportional.

Aus diesem Gedankenexperiment gewinnt man die Vorstellung, dass der Tauchsieder in einer Zeit eine bestimmte **Wärmemenge Q** abgibt, die in Wasser zugeführt wird. Zur Erwärmung ist dann eine Wärmemenge erforderlich, die nicht nur die Temperaturerhöhung, sondern auch der Wassermenge proportional ist.

Nach dieser Überlegung müssen wir den in der Mechanik hergeleiteten Begriff der Energie um die Wärmemenge als eine besondere Energieform erweitern. Wärme kann als Energieform weder aus Nichts entstehen noch ohne Ersatz verloren gehen. Die Energieerhaltung besagt, dass sie sich nur in eine andere Energieform, z.B. mechanische Energie, umwandeln kann. Umgekehrt besteht, wie wir wissen, die Möglichkeit, mechanische Energie z.B. durch Reibung in Wärme umzuwandeln.

Die Einheit der Wärmemenge ist entsprechend dieselbe Einheit wie die der Arbeit oder der Energie ganz allgemein:

$$[Q] = J = Nm$$

Man definiert eine neue Einheit, die Calorie als:

**Definition X.2: Eine Calorie ist die Wärmemenge, die man braucht, um ein Gramm Wasser von 14,5°C auf 15,5°C zu erhitzen.**

Merke: **1 cal = 4,1868 J**

Die Proportionalitätskonstante zwischen Wärmemenge  $\Delta Q$  und Temperaturänderung  $\Delta T$  einer Masse  $m$  wird spezifische Wärme genannt:



Merke: Der Quotient aus Wärmemenge  $\Delta Q$  und dem Produkt aus Temperaturänderung  $\Delta T$  und der Masse  $m$  des erwärmten Körpers wird **spezifische Wärme  $c$**  genannt:

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

Die benötigte Wärmemenge pro veränderter Temperatur gibt dann das Produkt aus spezifischer Wärme und der Masse des Körpers an. Diese Materialeigenschaft des zu erwärmenden Körpers wird Wärmekapazität genannt.

Merke: Die **Wärmekapazität** gibt die benötigte Wärmemenge pro veränderter Temperatur an:

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

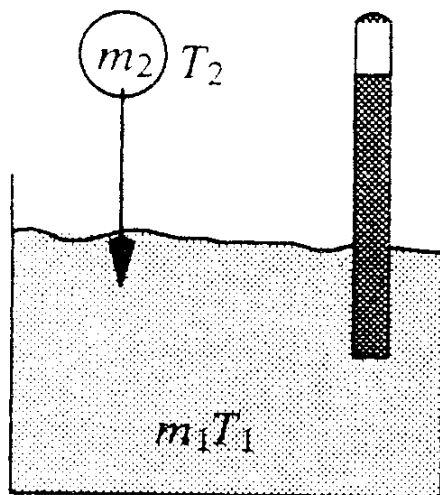


Abbildung X.4: Messung der spezifischen Wärmekapazität eines Körpers mit Hilfe eines Kalorimeters

Gedankenexperiment:

Die spezifische Wärmekapazität eines Stoffes kann man am einfachsten mit Hilfe der Mischungsmethode bestimmen. Dazu bringt man einen Körper der Masse  $m_2$  und der Temperatur  $T_2$  in einen Behälter mit Wasser der Masse  $m_1$  und der niedrigeren Temperatur  $T_1$ . Nach einiger Zeit kann man die Mischtemperatur  $T$  des Wassers messen. Aufgrund der Energieerhaltung muss diese vom Metall bei der Abkühlung auf die gemeinsame Temperatur abgegebene Wärmemenge gleich mit der vom Wasser aufgenommenen Wärmemenge sein.

Damit gilt die Gleichung:

$$\begin{aligned} \Delta Q_1 &= \Delta Q_2 \\ \Leftrightarrow c_1 m_1 (T_1 - T) &= c_2 m_2 (T - T_2) \end{aligned}$$

Da alle Größen außer  $c_2$  messbar sind und die spezifische Wärme von Wasser laut Definition bekannt ist, kann mit dieser Methode die Wärmekapazität verschiedener Körper gemessen werden.

Die spezifische Wärmekapazität von Wasser ist besonders groß. Deshalb erwärmen sich Meere und Seen sehr viel langsamer als das sie umgebende Land. Dadurch werden die Unterschiede von Land- und Seeklima bedingt.

### **X.3 Aggregatzustände**

Wir hatten in der Mechanik bereits grob die drei verschiedenen Aggregatzustände besprochen und den ihnen zugrunde liegenden molekularen Aufbau der Stoffe charakterisiert. In diesem Kapitel wollen wir deshalb hauptsächlich auf die Änderung der Aggregatzustände eingehen. Die Umwandlung zwischen den drei Aggregatzuständen findet dabei durch Änderung der Wärmemenge statt. Man kann drei mögliche Übergänge betrachten:

1. der Übergang vom festen zum flüssigen Körper und umgekehrt:

#### **Schmelzen und Erstarren**

Wie wir bereits bei der Betrachtung der Reproduzierbarkeit eines Fixpunkts, der Temperatur, bei der Wasser und Eis koexistieren, voraus gesetzt hatten, tritt das Schmelzen bei kristallinen Stoffen stets bei der gleichen Temperatur ein. Diese Temperatur ist eine Materialkonstante und heißt Schmelztemperatur oder Schmelzpunkt.

Führt man bei der Schmelztemperatur dem Körper durch Arbeit oder Wärme Energie zu, während der Druck konstant gehalten wird, so wird diese Energie zur Auflösung des Kristallgitters verwendet. Erst wenn der ganze Körper geschmolzen ist, erhöht sich bei weiterer Energiezufuhr die Temperatur der Flüssigkeit.

Entzieht man der Flüssigkeit hingegen die Energie, so erstarrt sie bei der Schmelztemperatur wieder.

2. den Übergang vom flüssigen zum gasförmigen Aggregatzustand:

#### **Verdampfen und Kondensieren**

Führt man bei der Siedetemperatur einer Flüssigkeit Energie bei konstantem Druck zu, so wird dieser dazu verwendet, die Moleküle aus dem Flüssigkeitsverband zu lösen. Das Volumen des Dampfes gegenüber der Flüssigkeit wird stark vergrößert. Erst wenn die ganze Flüssigkeit verdampft ist, erhöht sich bei weiterer Energiezufuhr die Temperatur des Dampfes. Der Entzug von Energie hat zur Folge, dass der Dampf kondensiert.

Die Abhängigkeit der Temperatur eines Körpers von der zugeführten Wärme lässt sich für verschiedene Körper messen. Aufgetragen in einem Q/T-Diagramm sieht man die Grade, also die konstanten Temperaturen, bei denen die zugeführte Energie keine Temperaturerhöhung, sondern eine Änderung des Aggregatzustandes bewirkt. Diese Diagramme lassen sich für verschiedene Stoffe aufnehmen. Bei dem Diagramm für Eis-Wasser-Dampf können die Fixpunkte der Celsius-Skala abgelesen werden.

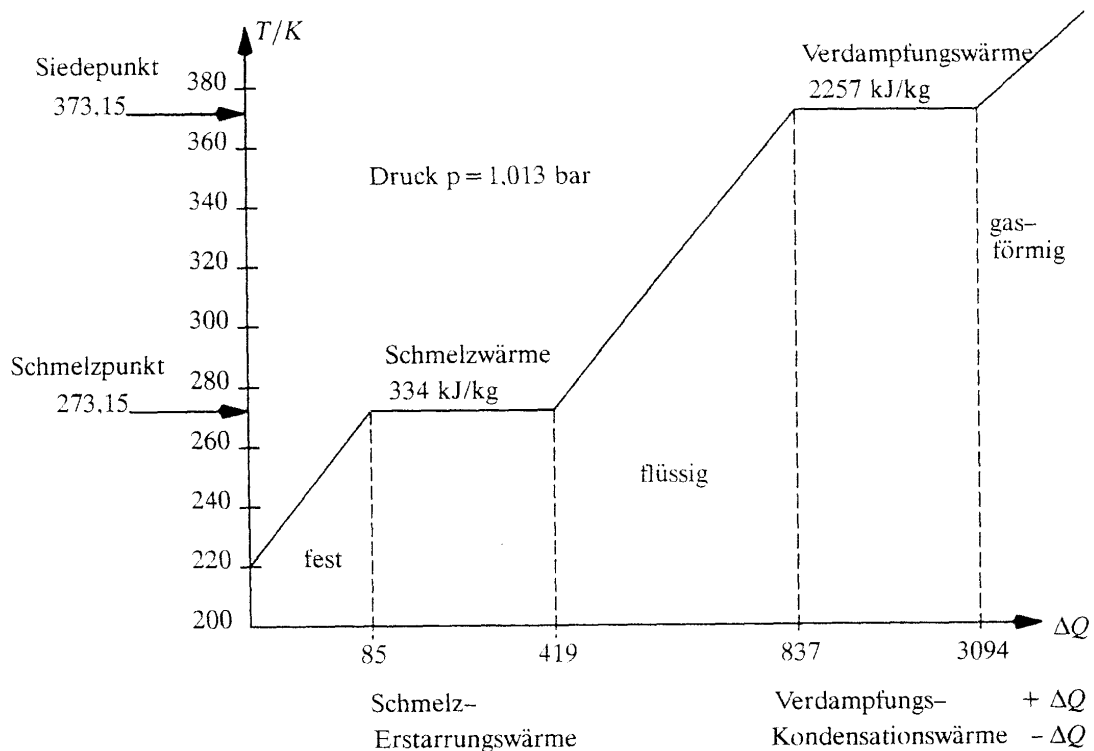


Abbildung X.5: Q/T -Diagramm von  $\text{H}_2\text{O}$

Aus diesen Diagrammen lässt sich der Zusammenhang von Druck  $p$  und Temperatur  $T$  mit den Grenzen zwischen den Aggregatzuständen konstruieren. Dabei tritt noch ein Übergang zwischen den Phasen auf:

### 3. Übergang vom Festkörper zum Gas

#### Sublimation

Im  $p,T$  Diagramm hat die Dampfdruckkurve eine viel geringere Steigung als die Schmelzkurve: Die beiden müssen sich also irgendwo treffen. Dieser Punkt wird Tripelpunkt genannt. An dieser Stelle können gasförmige, flüssige und feste Körper nebeneinander bestehen. Unterhalb und links dieses Punktes gibt es keinen flüssigen Zustand.

Merke: Nur im Tripelpunkt existieren alle drei Aggregatzustände gleichzeitig

Der Tripelpunkt liegt für  $\text{H}_2\text{O}$  bei einem Druck von  $6,1 \text{ mbar}$  und  $0,0075^\circ\text{C}$  und für  $\text{CO}_2$  bei  $5,1 \text{ mbar}$  und  $-56^\circ\text{C}$ .

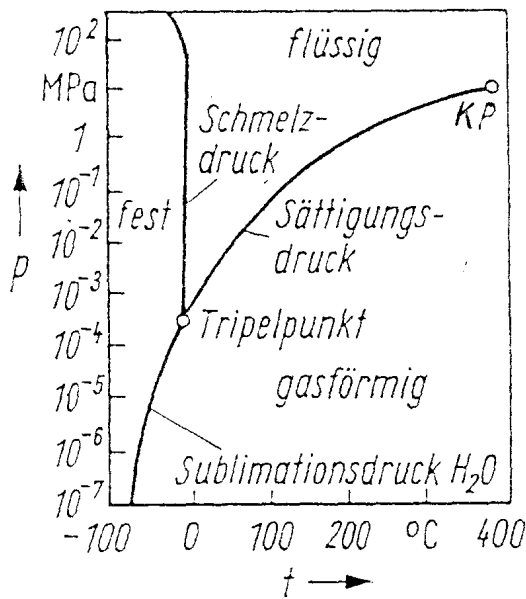


Abbildung X.6: Zustandsdiagramm von  $H_2O$

Merke: Oberhalb der **kritischen Temperatur** kann ein Stoff auch mit beliebiger Druckerhöhung nicht verflüssigt werden.

Die Betrachtung dieser Zustandsdiagramme zeigt, dass es noch einen weiteren, wichtigen Punkt gibt: den kritischen Punkt. Steigt die Temperatur über die kritische Temperatur  $t_k$ , so kann der Stoff trotz Druckveränderung nicht mehr verflüssigt werden. Unterhalb der Temperatur  $t_k$  kann mittels Druckerhöhung immer der Übergang in die flüssige Phase erzwungen werden. Oberhalb aber ist die Dichte des 'Gases' so groß, dass man nicht sagen kann, ob der Stoff gasförmig oder flüssig ist.

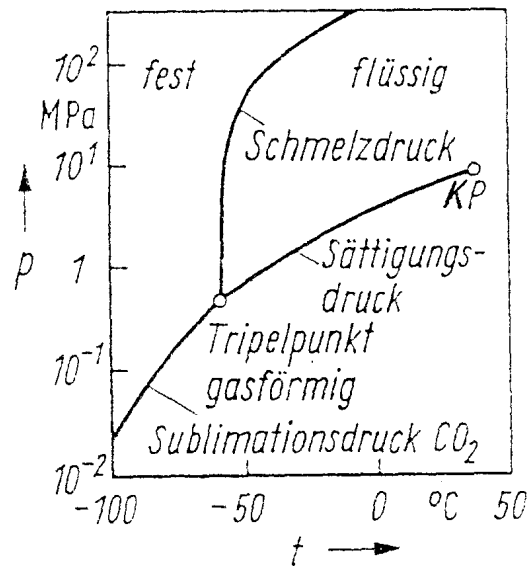


Abbildung X.7: Zustandsdiagramm von  $CO_2$

Zu den Phasenübergängen wollen wir nun einen Versuch betrachten:

### Versuch X.1: Kritischer Punkt

Bei diesem Versuchsaufbau ist in einem abgeschlossenen Zylinder zur Hälfte Freon 115 eingeschlossen bei einem festen Druck von 30,8 bar. Über ein Wasserbad, welches mit einem Tauchsieder erhitzt wird, kann die Temperatur dieses Stoffes variiert werden. Der Zylinder besteht teilweise aus Glas und wird mit einer Lampe durchleuchtet, so dass man die Vorgänge im Inneren betrachten kann.

Zunächst ist die Temperatur des Wasserbades (und damit der Freon 115) unter 80°C. Man beobachtet unten im Zylinder eine Flüssigkeit und oberhalb Gas. Die Phasen sind klar exakt in der Mitte des Zylinders getrennt. Nun wird der Stoff erhitzt. Ab einer Temperatur von knapp 80°C steigt die flüssige Phase an und füllt immer mehr Raum aus. Ab der kritischen Temperatur

von 80°C kann nur noch eine homogene Substanz beobachtet werden, die den ganzen Zylinder ausfüllt. Man kann nicht sagen, ob dieser Stoff flüssig oder gasförmig ist. Senkt man die Temperatur wieder, so bilden sich erneut zwei Phasen aus.