

## Temperatur

Die physikalische Größe „Temperatur“ wird verwendet, um thermodynamische Systeme in Hinblick auf ein thermodynamisches Gleichgewicht zu charakterisieren: *Wenn zwei thermodynamische Systeme im Gleichgewicht sind, dann ist ihre Temperatur gleich.* Die Schlussfolgerung kann allerdings nicht uneingeschränkt in der umgekehrten Richtung verwendet werden, da bei gleicher Temperatur der Systeme z.B. Konzentrationsunterschiede existieren können, die beim Ausgleich zu einer weiteren Entropieerhöhung führen. Gleiche Temperatur ist daher eine notwendige aber nicht hinreichende Voraussetzung zur Feststellung von thermodynamischen Gleichgewichten. Die Temperatur ist eine intensive Größe.

Damit ist die Bedeutung von „gleichen Temperaturen“ klar, aber es ist noch keine Temperaturskala eingeführt. Hierzu kann man die kinetische Gastheorie heranziehen. Man definiert, dass die mittlere kinetische Energie eines Gasatoms (Punktmass ohne innere Freiheitsgrade) im thermodynamischen Gleichgewicht gegeben ist durch

$$\langle E_{kin} \rangle = \frac{3}{2} k_B T$$

mit der Boltzmannkonstanten  $k_B$ . Anders ausgedrückt ist die kinetische Energie der Teilchen in einem Mol eines idealen Gases

$$E_{kin} = \frac{3}{2} R T$$

mit der Gaskonstanten  $R = N_A k_B$  und der Avogadrozahl  $N_A$ . In jedem Fall muss die kinetische Energie im Schwerpunktsystem verwendet werden.

Damit ist die Temperaturskala festgelegt. Es ergibt sich weiterhin, dass es einen absoluten Nullpunkt der Temperatur gibt, bei dem die kinetische Energie der Teilchen null wird. Negative Temperaturen sind unmöglich, da negative kinetische Energien unmöglich sind.

Durch die Eigenschaften des idealen Gases kann die Temperaturskala auf die Messung des Druckes bei konstantem Volumen oder auf die Messung des Volumens bei konstantem Druck zurückgeführt werden. In beiden Fällen wird die Temperaturmessung auf eine Messung rein mechanischer Größen zurückgeführt. Da der Druck eines idealen Gases bei konstantem Volumen proportional zur Temperatur ist, kann mit dem Gasthermometer eine lineare Temperaturskala dargestellt werden. Daher ist das Gasthermometer das primäre Thermometer.

Die Einheit Kelvin wird definiert durch die Festlegung, dass der Tripelpunkt von Wasser bei einer Temperatur von 273,16 K liegt. Zur Darstellung des Tripelpunkts verwendet man einen evakuierten Glaskolben der zum Teil mit hochreinem Wasser gefüllt wird. Der Tripelpunkt liegt vor, wenn in dem Glaskolben die Phasen fest und flüssig gleichzeitig beobachtet werden. Der Dampfdruck stellt sich von selbst ein, so dass tatsächlich alle drei Phasen gleichzeitig vorliegen.

Jede Temperaturmessung funktioniert grundsätzlich so, dass man zwei thermodynamische Systeme (1.) *Thermometer* (2.) *System dessen Temperatur gemessen werden soll* ins thermodynamische Gleichgewicht miteinander bringt. Das Thermometer hat gewisse ablesbare Eigenschaften (mechanische, elektrische, etc.) die von der Temperatur abhängen. Daher sind für jede Temperaturmessung zwei Voraussetzungen erforderlich, um möglichst kleine Messfehler zu erhalten. Erstens muss die Wärmekapazität des Thermometers klein sein gegen die des zu messenden Systems, damit der Einfluss durch die zur Herstellung des thermodynamischen Gleichgewichts auf das

Thermometer übertragene Wärmemenge klein ist. Zweitens muss ausreichend lange gewartet werden, bis sich das thermodynamische Gleichgewicht zwischen Thermometer und System eingestellt hat.

Praktische Thermometer nutzen verschiedene physikalische Größen, die von der Temperatur abhängen. Voraussetzung ist eine streng monotone Abhängigkeit. Bei nichtlinearen Abhängigkeiten kann durch Anpassung der Skala oder Umrechnung eine lineare Temperaturskala erzeugt werden. Häufige Thermometer verwenden die Temperaturabhängigkeit des (1.) Volumens von Flüssigkeiten (2.) elektrischer Widerstand von Platin (3.) elektrischer Widerstand von dotierten Halbleitern. Bei sehr tiefen Temperaturen verwendet man den Dampfdruck von Helium.

Bei hohen Temperaturen geht man von den Eigenschaften des idealen Gases über zu der Annahme, dass das Plancksche Strahlungsgesetz uneingeschränkt gilt. Das von einem schwarzen Körper emittierte Strahlungsfeld steht im thermodynamischen Gleichgewicht mit dem Körper und kann daher als Thermometer dienen. Zeigt es die erwartete spektrale Verteilung für eine bestimmte Temperatur, kann diese Temperatur auch dem Körper zugeordnet werden.