

21 Messung der Entropie

Thema

Die Entropie gilt als schwierige, und wohl auch als etwas geheimnisvolle Größe. Man kann den Ruf der Entropie dadurch verbessern, dass man zeigt, wie leicht man sie messen kann. Wenn man mit der Stellung der Messaufgabe nicht zu anspruchsvoll ist, kann man Entropiewerte mit recht guter Genauigkeit mit Hilfe von Geräten bestimmen, die man in jeder Küche findet.

Zunächst wie es nicht gut geht. Gewöhnlich wird der Wert einer extensiven Größe X so gemessen, dass man X auf das Messgerät überträgt. Das Gerät reagiert auf die Menge, mit der man es beladen hat. Um die Masse eines Körpers zu messen, legt man den Körper auf eine Waage, und die reagiert auf seine Masse. Oder man bringt die elektrische Ladung (eigentlich die Ladungsträger mitsamt ihrer Ladung) auf das Elektrometer, und dieses reagiert auf die Ladung. Entsprechend, so könnte man denken, müsste man die Entropie auf das Entropiemessgerät übertragen, und dieses würde darauf reagieren. Tatsächlich gibt es solche Messgeräte: etwa das Eiskalorimeter von Lavoisier. Man führt die zu messende Entropie einer Eis-Wasser-Mischung zu und misst die Menge des neu entstandenen flüssigen Wassers, oder die Menge des verschwundenen Eises.

Das Verfahren hat einen Nachteil, der auf einer besonderen Eigenschaft der Entropie beruht: Entropie kann erzeugt werden, und es ist oft schwer, die Erzeugung zu vermeiden. Das bedeutet, dass es schwierig ist, die zu messende Entropiemenge auf das Messgerät zu übertragen, ohne dass dabei Entropie erzeugt und damit die Messung verfälscht wird. Man könnte also denken: die Entropie gehört zu den schwer messbaren Größen, weil sie die ungewöhnliche Eigenschaft hat, erzeugbar zu sein.

Nun kann man aber aus der Not eine Tugend machen und diese besondere Eigenschaft ausnutzen, um ein noch einfacheres Messverfahren anzuwenden.

Hier die Messaufgabe: Wir wollen wissen, um wie viel die Entropie von 10 Litern Wasser zunimmt, wenn man es von 20 °C auf 80 °C erhitzt, oder: Wie viel mehr Entropie enthalten 10 Liter Wasser von 80 °C als 10 Liter Wasser von 20 °C?

Das Gerät

Man braucht: 1. einen Eimer, 2. einen Tauchsieder, 3. ein Thermometer und 4. eine Stoppuhr, und natürlich Wasser, Abb. 1.

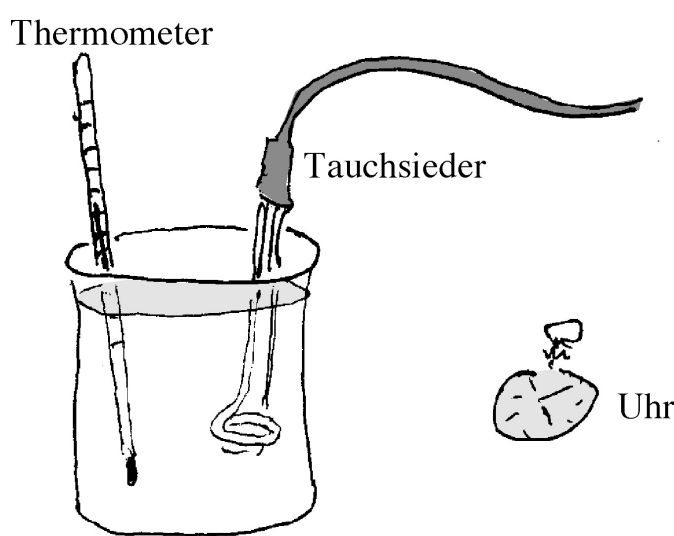


Abb. 1. Die Geräte, die man zur Messung der Entropie braucht, finden man in jedem Haushalt.

Der Versuch

Man füllt 10 Liter Wasser von 20 °C in den Eimer, erhitzt es mit Hilfe des 800-W-Tauchsieders und misst die Temperatur als Funktion der Zeit bis das Wasser 80 °C hat. Mit

$$P = T \cdot I_S$$

berechnet man in Abständen von, sagen wir, 3 Minuten, den jeweiligen Entropiestrom. Als Temperatur nimmt man jeweils den Mittelwert innerhalb des Dreiminutenintervalls (natürlich in Kelvin). Multipliziert mit 3 Minuten = 180 Sekunden ergibt sich die innerhalb der 3 Minuten dem Wasser zugeführte Entropie. Man summiert über aller Beiträge und erhält die insgesamt zugeführte Entropie, und damit den Unterschied des Entropieinhalts zwischen Wasser von 80 °C und Wasser von 20 °C.

Je kleiner man die Intervalle wählt, desto genauer, aber desto aufwändiger wird die Messung.

Nun wird man den Eimer aber nicht besonders gut wärmeisoliert haben; die Messgenauigkeit ist also ohnehin nicht sehr gut. Man kann daher das Verfahren auch gleich viel einfacher gestalten – und so mache ich es auch im Schulunterricht: Man verwendet von vornherein nur den über das ganze Zeitintervall gemittelten Entropiestrom, und den bekommt man, indem man die 800 W des Tauchsieders durch die mittlere Temperatur, also 50°C = 323 K dividiert.

Die aufgenommene Entropie bekommt man dann einfach, indem man diesen Entropiestrom mit der gesamten Heizzeit multipliziert.

Was man daraus lernen kann

Es geht hier nicht darum, einen Wert zu bekommen, der mit den Tabellenwerten konkurrieren oder mithalten kann. Aber das ist bei Messungen im Demonstrationsversuch oder im Praktikum ohnehin nie der Fall. Was man lernt ist vor allem, wie einfach es ist, einen Wert für die Entropie zu bekommen. Wer die Entropie nur über die statistische Physik kennen gelernt hat, wird ja nicht einmal eine Vorstellung von der Größenordnung ihrer Werte haben.

Im Prinzip kann man so auch den Absolutwert der Entropie messen (und das wird tatsächlich auch gemacht). Man muss dann den Körper, dessen Entropieinhalt gemessen werden soll, zunächst auf 0 K abkühlen und ihn dann aufheizen, wobei man immer den Heizenergiestrom, die Temperatur und die Zeit misst. Das erfordert natürlich einen viel größeren technischen Aufwand.