

## 2. Entropie und Temperatur

### 2.1 Die Entropie als Wärmemaß

Die Entropie  $S$  ist eine Größe, für die Nichtphysiker eine sehr gute Anschauung haben und mit der sie intuitiv richtig operieren. Es gibt wahrscheinlich keine andere Größe, bei der der physikalische Begriff mit einem umgangssprachlichen Begriff so gut übereinstimmt: Die meisten umgangssprachlichen Aussagen, in denen das Wort "Wärme" oder "Wärmemenge" vorkommt, bleiben physikalisch korrekt, wenn man diese Wörter durch das Wort "Entropie" ersetzt.

Das Wort "Wärme" hat allerdings heute in der Physik eine andere Bedeutung, nämlich  $Wärme = TdS$ , und diese stimmt mit der umgangssprachlichen Bedeutung schlecht überein. Wir werden daher das Wort Wärme nicht in diesem Sinn benutzen.

Im Folgenden sind einige Sätze wiedergegeben, in denen der umgangssprachliche Wärmebegriff vorkommt. Diese Sätze bleiben richtig, wenn man das Wort Wärme durch das Wort Entropie ersetzt. Wir bekommen auf diese Weise ein qualitatives Verständnis für den Entropiebegriff:

Hält man einen Gegenstand, z.B. ein Stück Eisen, über eine Gasflamme, so wird er wärmer, seine Temperatur steigt. In den Gegenstand strömt Wärme (= Entropie) hinein. Je mehr Wärme man in das Eisenstück hineinfließen läßt, desto höher wird seine Temperatur. Nimmt man den Gegenstand von der Flamme weg und packt ihn in Styropor ein, so bleibt die Wärme (= Entropie) in ihm drin. Teilt man ihn in zwei gleich große Teile, so steckt in jedem Teil die Hälfte der Wärme (= Entropie), die im Gegenstand insgesamt enthalten war. Die Wärme (= Entropie) ist also mengenartig. Es gibt eine Wärmedichte (= Entropiedichte).

Bringt man einen warmen Gegenstand in Kontakt mit einem kalten, so fließt Wärme (= Entropie) vom warmen zum kalten, d.h. vom Gegenstand höherer zu dem niedrigerer Temperatur. Die Wärme (= Entropie) fließt umso besser, je größer die Temperaturdifferenz ist. Ob sie gut von einem warmen zu einem kalten Gegenstand fließt, hängt aber auch noch von der Art des Kontakts, der Verbindung, ab. Sind die Gegenstände durch Holz verbunden, so fließt die Wärme (= Entropie) schlechter als wenn sie durch ein Metall verbunden sind. Es gibt also gute und schlechte Wärmeleiter (= Entropieleiter).

Hält man einmal einen Behälter mit Luft und einmal einen gleichgroßen Behälter mit Wasser über eine Flamme, so stellt man fest, daß sich die Luft schneller erwärmt, d.h. schneller eine bestimmte Temperatur erreicht als das Wasser. Man muß also in das Wasser mehr Wärme (= Entropie) hineinstecken, um diese Temperatur zu erreichen. Wasser hat eine größere Wärmekapazität (= Entropiekapazität) als Luft.

Man kann einem "System" auch Wärme (= Entropie) zuführen, ohne daß es sich erwärmt. Läßt man kochendes Wasser auf der Flamme stehen, so fließt dauernd Wärme (= Entropie) in das Wasser hinein. Seine Temperatur erhöht sich nicht mehr, aber dafür wird ständig Wasser verdampft. Der Dampf muß also die Wärme (= Entropie) forttragen. Ein Gramm Dampf enthält also (viel) mehr Wärme (= Entropie) als ein Gramm flüssiges Wasser.

Läßt man einen Gegenstand, den man vorher erwärmt hat, eine Weile stehen (ohne weiter zu heizen), so fließt die Wärme

(=□Entropie) aus ihm heraus, sie verteilt sich in der Umgebung. Dabei verdünnt sie sich so stark, daß man nicht mehr erkennt, wo sie sich genau befindet. Trotzdem ist sie irgendwo, sie ist nicht verschwunden im Sinn von “vernichtet”, sondern nur verschwunden im Sinn von “versteckt” oder “verstreut”.

Man kann Wärme (= Entropie) nicht vernichten, aber man kann sie erzeugen, z.□B. in einer Flamme, in einem elektrischen Widerstand oder durch “Reibung”.

Um Wärme (= Entropie) zu erzeugen, braucht man Energie. Da wir an die Erhaltung der Energie glauben, schließen wir, daß mit der Wärme (= Entropie), die von einem elektrischen Widerstand wegfießt, auch Energie wegfießt.

## 2.2 Die Festlegung der Entropieskala

Um eine physikalische Größe zu definieren, muß die Skala der Größe festgelegt werden. Eine solche Festlegung soll es gestatten, Werte der Größe zu bestimmen. Zur Festlegung einer Skala gehört 1. die Angabe der Einheit und 2. ein Vorschrift für die Konstruktion der Vielfachen der Einheit.

Die Definition der Einheit ist im Wesentlichen ein technisches Problem.

Die Festlegung der Vielfachen dagegen berührt die Substanz der Größe. Tatsächlich ist für viele Größen die Definition der Vielfachen ein delikates Problem. Es gibt Fälle, bei denen diese Definition im Laufe der Geschichte der Physik geändert wurde. Die Skala wurde im Laufe der Zeit also verzerrt, oder besser: entzerrt. Ein Beispiel hierfür ist die Temperaturskala.

Wir wollen uns überlegen, wie man Einheit und Skala der Entropie festlegen könnte. Wir beginnen mit der Einheit.

Die Maßeinheit der Entropie ist das Carnot, abgekürzt Ct. Wir wissen, daß man Entropie braucht, um Eis zu schmelzen. Mit 1 Ct schmilzt man bei Normaldruck gerade 0,893□cm<sup>3</sup>Eis. Man hätte also gesetzlich festlegen können:

“1 Carnot ist diejenige Entropiemenge, mit der man bei Normaldruck 0,893 cm<sup>3</sup> Eis schmilzt.”

Tatsächlich hat man als gesetzliche Definition ein anderes Verfahren vorgezogen. Dieses Verfahren ist begrifflich etwas komplizierter, gestattet aber eine genauere Festlegung der Einheit. Wir kommen später darauf zurück.

Nun zur Bildung von Vielfachen von Entropiewerten. Für mengenartige Größen ist die Bildung von Vielfachen trivial. Wenn ein System eine Einheit einer mengenartigen Größe enthält, so erhält man zwei Einheiten, indem man einfach ein gleiches System neben das erste setzt.

Zu unterscheiden vom Verfahren zur Festlegung von Einheit und Vielfachen der Werte einer physikalischen Größe sind die praktischen Meßverfahren. Um die Werte einer Größe praktisch zu bestimmen, braucht man ein Verfahren, das nicht zu umständlich ist. So könnte man Entropiemengen zwar im Prinzip dadurch messen, daß man Eis schmilzt und dessen Volumen mißt. Nur ist dieses Verfahren sehr unpraktisch. Warum? Die zu messende Entropie befindet sich in irgendeinem System: einem Behälter oder einem Körper. Von diesem muß man sie in das zu schmelzende Eis übertragen. Es ist aber technisch sehr schwierig, Entropie von einem Körper auf einen anderen zu bringen, ohne dabei zusätzlich neue Entropie zu erzeugen. Es