

## **Zustandsgrößen**

### *Gegenstand:*

Im Zusammenhang mit der Einführung des ersten Hauptsatzes der Wärmelehre wird oft betont, dass die innere Energie eine Zustandsgröße ist. Falls die Entropie eingeführt wird, wird auch herausgestellt, dass diese eine Zustandsgröße ist. Neuerdings ist der Name Zustandsgröße noch im Zusammenhang mit dem Druck in Gebrauch gekommen, besonders in der Schulbuchliteratur.

### *Mängel:*

Der Name Zustandsgröße wurde eingeführt, um zum Ausdruck zu bringen, dass eine Größe in einem Zustand einen bestimmten Wert hat. Nun ist das allerdings für alle physikalischen Größen der Fall, mit nur zwei Ausnahmen: der Arbeit und der Wärme. Wenn man aber bei nur einigen wenigen Größen betont, sie seien Zustandsgrößen, so entsteht der Eindruck, Zustandsgrößen seien nicht der Normalfall, sondern die Ausnahme. Dass eine Größe in einem Zustand einen bestimmten Wert hat, ist ohnehin eine Eigenschaft, die man erwartet. Wenn man etwas hervorheben will, so sollte man also eher betonen, dass es zwei Größen gibt, die der vernünftigen Erwartung nicht entsprechen.

### *Herkunft:*

Die Gründe sind bei innerer Energie, Entropie und Druck etwas verschieden.

Die erste Formulierung der Energieerhaltung geschah in Form des ersten Hauptsatzes der Wärmelehre. In ihm tritt neben den beiden Nicht-Zustandsgrößen Arbeit und Wärme die innere Energie auf. Wenn man in diesem Zusammenhang darauf hinwies, dass die innere Energie eine Zustandsgröße ist, so wollte man wohl betonen, dass immerhin einer der Terme eine Größe mit normalen Eigenschaften ist. Es erschien bemerkenswert, dass die Summe aus zwei Nicht-Zustandsgrößen eine Zustandsgröße ergibt.

Nun zur Entropie. Seit den Anfängen der Wärmelehre bemühte man sich, ein Mengenmaß für das einzuführen, was man umgangssprachlich als Wärme bezeichnet, eine Zustandsgröße selbstverständlich. Ende des 18. Jahrhunderts führte Joseph Black eine (Zustands-) Größe Wärme (auf englisch 'quantity of heat') ein, die man aus heutiger Sicht am besten mit der Entropie identifiziert. Seit Mitte des 19. Jahrhunderts wurde aber der Name Wärme für eine so genannte Energieform, d. h. eine Nicht-Zustandsgröße, verwendet. Das alte Mengenmaß für die Wärme verschwand damit zunächst wieder aus der Physik, bis es durch Clausius unter dem Namen Entropie neu eingeführt wurde. Da Clausius die Entropie über die Nicht-Zustandsgröße Wärme definierte, erschien es betonenswert, dass die Entropie selbst wieder eine Zustandsgröße ist. Dass die neu eingeführte Entropie im Wesentlichen identisch ist mit dem Wärmebegriff aus der Zeit von Black und Carnot, wurde erst viel später erkannt /1, 2/.

Dass der Druck als Zustandsgröße bezeichnet wird, hat wieder einen anderen Grund. Man führt den Druck fast ausnahmslos über die Kraft ein. Eine Kraft wird immer von einem Körper auf einen anderen ausgeübt, sie ist eine Begriffsbildung aus der Zeit, in der man mechanische Wechselwirkungen als Fernwirkungen deutete. Es ist natürlich, dass der Lernende auch beim Druck nach einem Körper sucht, der den Druck ausübt und einem, auf den er ausgeübt wird. Um ihn von dieser falschen Erwartung abzubringen, betont man, der Druck sei eine Zustandsgröße. Der Erklärungsbedarf, entsteht also erst dadurch, dass man den Druck ungeschickt einführt /3/.

### *Entsorgung:*

Kleine Lösung: Man sage nicht, dass innere Energie und Entropie Zustandsgrößen sind – das sollte auf Grund des Unterrichts sowieso klar werden –, sondern man betone, dass Arbeit und Wärme zwei ungewöhnliche Konstruktionen sind, die gar nicht so recht ins sonstige Schema hineinpassen.

Große Lösung: Man verzichte ganz und gar auf die Einführung eigener Symbole und eigener Namen für die Ausdrücke, die man gewöhnlich als Arbeit und Wärme bezeichnet. Als Lehrer wird man vielleicht zunächst das Gefühl haben, es fehle etwas wichtiges. Man wird aber bald entdecken, dass nichts fehlt, und dass man sich und den Schülern gleichzeitig einige begriffliche Probleme vom Halse schafft.

Die Bezeichnung Zustandsgröße im Zusammenhang mit dem Druck kann man auch getrost weglassen. Statt die einfache Größe Druck auf die schwierige Größe Kraft zurückzuführen, führt man den Druck als eigenständige Größe ein, etwa über Druckdifferenzen: Eine Druckdifferenz ist die Ursache für einen Wasser- oder Luftstrom. Dass der Druck eine ganz normale Größe – eine “Zustandsgröße” – ist, braucht man dann nicht mehr zu erwähnen. Der Verdacht, dass es anders wäre, kommt gar nicht mehr auf.

/1/ Callender, H. L.: The caloric Theory of Heat and Carnot's Principle. – Proc. Phys. Soc. London 23 (1911). – S. 153: “Finally, in 1865 when its importance [the importance of caloric] was more fully recognised, Clausius gave it the name of 'entropy', and defined it as the integral of  $dQ/T$ . Such a definition appeals to the mathematician only. In justice to Carnot, it should be called caloric, and defined directly by his equation..., which any schoolboy could understand. Even the mathematician would gain by thinking of a caloric as a fluid, like electricity, capable of being generated by friction or other irreversible processes.”

/2/ Job, G.: Neudarstellung der Wärmelehre – Die Entropie als Wärme. – Akademische Verlagsgesellschaft, Frankfurt am Main 1972.

/3/ Herrmann, F.: Einige Vorschläge zur Einführung des Drucks. – In: Praxis der Naturwissenschaften 5 (1997). – S. 37

*F. H.*