

Altlasten der Physik (90): Die Namen der Gasgleichung

F. Herrmann

Gegenstand

Die Gleichung $pV = nRT$ wird unter verschiedenen Namen eingeführt: Gasgleichung, allgemeine Gasgleichung, universelle Gasgleichung, thermische Zustandsgleichung des idealen Gases und andere. Da es eine Beziehung zwischen mehr als nur zwei Größen ist, kann man auch den Zusammenhang zwischen nur zwei Variablen, bei Konstanthalten der beiden anderen, betrachten. Die entsprechenden Beziehungen sind auch unter bestimmten Namen bekannt. So heißt der Zusammenhang zwischen p und V das *Boyle-Mariotte'sche* Gesetz, der V - T -Zusammenhang ist das *Gay-Lussac'sche* Gesetz, die p - T -Proportionalität das Gesetz von *Amontons*, die V - n -Beziehung ist das Gesetz von *Avogadro*. In der englischsprachigen Literatur heißt das *Boyle-Mariotte'sche* Gesetz nur *Boyle's law*, und das *Gay-Lussac'sche* Gesetz heißt *Charles's law*.

Mängel

1. Durch einen Namen wird die Wichtigkeit einer Gleichung betont. Man kann sich mit Hilfe des Namens auch bequem auf die Gleichung beziehen. Die Gasgleichung (wir wollen sie hier so nennen) ist wichtig. Ihre Gültigkeit ist unabhängig von der Natur des Gases. Sie gilt für Materie in einem sehr weiten Sinn, vorausgesetzt der Stoff ist hinreichend verdünnt und/oder die Temperatur hinreichend hoch. So gilt sie nicht nur für Gase im üblichen Sinn, also etwa die uns umgebende Luft, sondern auch für das Gelöste in verdünnten Lösungen oder für das verdichtete Plasma im Innern der Sonne. Also hat die Gleichung einen Namen verdient. Eine andere Frage ist es, ob Zusätze wie „allgemein“ oder „universell“ im Gleichungsnamen angebracht sind. Die Formel spielt dann natürlich in einer höheren Liga. Das Qualifikativ „universell“ ist wohl kaum noch zu überbieten, und eine ganze Reihe anderer Gesetze könnten Forderungen nach Höherstufung geltend machen.
2. Es ist sicher ein schöner Brauch, Gleichungen nach Forscherpersönlichkeiten zu benennen. Wie die Gasgleichung zeigt, kann das allerdings auch übertrieben werden. Wir haben hier den Fall, dass mit einer einzigen Gleichung sechs Forscher geehrt werden. Eine Schwierigkeit beim Benennen einer Gleichung nach einem Forscher kennt man von der Benennung von Straßen her. Jemand kommt nachträglich zu unerwarteten Ehren, weil die zunächst als kleines Nebensträßchen angelegte Straße später zu einer Hauptverkehrsader wird. Andererseits haben es manche großen Forscher nie zum Patron einer wichtigen Gleichung gebracht. Es sei erinnert etwa an *Leibniz* oder *Descartes*. Wieder andere werden mit etwas geehrt, was in ihrem Schaffen eher unbedeutend war, wie etwa *Huygens* mit den Elemen-

tarwellen und *Faraday* mit dem etwas mickrigen *Faraday*-Effekt oder dem kuriosen *Faraday*-Becher.

3. Zurück zur Gasgleichung. Sie ist äquivalent zu etlichen anderen Beziehungen, die scheinbar eine ganz andere Aussage machen als die Gasgleichung selbst:

a)

$$E(V) - E(V_0) = 0 \text{ bei } T = \text{const},$$

in Worten: bei konstant gehaltener Temperatur ist die Energie eines Gases unabhängig vom Volumen.

b)

$$S(V) - S(V_0) = nR \ln \frac{V}{V_0}, \text{ bei } T = \text{const},$$

in Worten: bei konstant gehaltener Temperatur hängt die Entropie logarithmisch vom Volumen ab. (Die Gleichung hängt eng mit der statistischen Gleichung $S = k \cdot \ln W$ zusammen.)

c)

$$\mu(p) - \mu(p_0) = RT \ln \frac{p}{p_0}, \text{ bei } T = \text{const},$$

in Worten: bei konstant gehaltener Temperatur hängt das chemische Potenzial logarithmisch vom Druck ab. (Aus der Gleichung folgen unmittelbar das Massenwirkungsgesetz und die barometrische Höhenformel.)

Alle drei Beziehungen können ohne weitere physikalische Annahmen aus der „Gasgleichung“ hergeleitet werden, und aus jeder von ihnen kann man die Gasgleichung herleiten. Man könnte also auch sie als „Gasgleichungen“ bezeichnen. Das tut man aber nicht.

4. Ein Gas wird durch die Gasgleichung, bzw. durch die zu ihr äquivalenten Gleichungen nicht vollständig beschrieben. Sie ist nur eine von mehreren Zustandsgleichungen, die man zur vollständigen Charakterisierung eines bestimmten Gases braucht. So beschreibt sie nicht die calorischen Eigenschaften eines idealen Gases: Wie hängt die Temperatur des Gases vom Wärmehalt (Entropieinhalt) ab? Das leistet die so genannte calorische Zustandsgleichung (sie hat nur einen einzigen Namen). Die Effekte, die sie beschreibt, sind ebenso auffällig, wie die durch die Gasgleichung beschriebenen. Sie wird traditionell als weniger wichtig betrachtet, was dazu führt, dass im Unterricht viele interessante Prozesse einfach ausgeklammert werden: Die isentrope Expansion in Dampfmaschine und Verbrennungsmotor oder die Abnahme der Temperatur mit der Höhe [1].

Herkunft

1. In der üblichen Behandlung der Gasgleichung bzw. der Teilproportionalitäten erkennt man die „Ablagerungen“

aus den verschiedenen Epochen ihrer Entstehungsgeschichte. Man sieht auch, dass die Sicht der Geschichte in verschiedenen Ländern verschieden sein kann.

2. Dass die thermische Zustandsgleichung mit den leicht messbaren Variablen p , V und T überbewertet wird, liegt daran, dass die für viele Zwecke wichtigeren, und fast genau so leicht messbaren Größen Entropie und chemisches Potenzial nie eine große Akzeptanz gefunden haben.

Entsorgung

1. Mit Namen für Gleichungen gehe man sparsam um. Im Fall der Gasgleichung schlagen wir vor, den Einzelproportionalitäten keine eigenen Namen zu geben. Besondere Zurückhaltung empfehlen wir bei der Vergabe von Prädikaten wie „allgemein“ und „universell“.
2. Falls der Logarithmus zur Verfügung steht, behandle man auch die Volumenabhängigkeit der Entropie, und

die Druck- (und Konzentrations-)Abhängigkeit des chemischen Potentials. Auf jeden Fall behandle man auch die „calorischen“ Eigenschaften der Gase, etwa den Zusammenhang zwischen Temperatur und Volumen bei konstantem Wärme- (Entropie-)Inhalt, denn er gestattet zu verstehen, wie eine Wärmekraftmaschine funktioniert und wie die Temperaturschichtung der Atmosphäre zustande kommt.

Literatur

[1] G. Job: Die Temperaturschichtung der Atmosphäre, in: Atlanten der Physik, Aulis Verlag, Köln 2002, S. 117

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. *Friedrich Herrmann*, Didaktik der Physik, Universität Karlsruhe, 76128 Karlsruhe
