

Altlasten der Physik (144): Der nullte Hauptsatz

F. Herrmann

Zwei Systeme, die sich im thermischen Gleichgewicht mit einem dritten befinden, sind auch miteinander im thermischen Gleichgewicht sind. Dies ist der nullte Hauptsatz der Thermodynamik. Man kann analoge Sätze für alle anderen Gleichgewichte formulieren. Wie beim nullten Hauptsatz handelt es sich dabei um Selbstverständlichkeiten, denen kaum jemand den Status von Lehrsätzen zuerkennen würde.

Gegenstand

„Befinden sich zwei Systeme A und B im thermischen Gleichgewicht mit einem dritten System C, so sind auch A und B miteinander im thermischen Gleichgewicht.“ Diese Aussage bezeichnet man als den nullten Hauptsatz der Thermodynamik, siehe zum Beispiel [1].

Mängel

Zwei Systeme, die wärmeleitend miteinander verbunden sind, d.h. die Entropie austauschen können, ändern ihren Zustand so lange bis ihre Temperaturen gleich sind. Der Zustand, den sie schließlich erreichen, und aus dem sie von selbst nicht wieder herauslaufen, nennt man thermisches Gleichgewicht.

Wenn sich zwei Systeme im thermischen Gleichgewicht befinden, sind ihre Temperaturen gleich und wenn ihre Temperaturen gleich sind, befinden sie sich im thermischen Gleichgewicht. Aus dieser Tatsache folgt der Satz, den man den nullten Hauptsatz nennt. Die Aussage ist zwar richtig. Sie stellt aber eine so simple Folgerung dar, dass man nicht versteht, wie sie den Status eines Hauptsatzes erlangen konnte.

Die Bezeichnung „Hauptsätze“ und die Nummerierung von eins bis drei, bzw. null bis drei in der Thermodynamik legt nahe, es handele sich um eine vollständige Grundlage der Thermodynamik, etwas wie ein Axiomensystem. Das trifft aber nicht zu.

Wer glaubt, dass hinter dem „Nullten Hauptsatz“ doch etwas Tiefsinnigeres steckt, sei daran erinnert, dass mehrere analoge Sätze über andere Gleichgewichte gelten, die aber nicht, und schon gar nicht als Hauptsätze, formuliert werden, weil ihre Aussage selbstverständlich ist.

Da der nullte Hauptsatz besonders gern im Kontext der statistischen Thermodynamik formuliert wird, wollen wir zum Vergleich zunächst das chemische Gleichgewicht betrachten. Das chemische Potenzial spielt in der statistischen Thermodynamik eine ähnliche Rolle wie die Temperatur: Es ist zusammen mit der Temperatur einer der beiden Parameter in der Wahrscheinlichkeitsverteilung über der Energie. Man könnte also einen zum nullten Hauptsatz analogen Satz für chemische Gleichgewichte formulieren: „Befinden sich zwei Systeme A und B im chemischen Gleichgewicht mit einem dritten System C, so sind auch A und B miteinander im chemischen Gleichgewicht.“

Die phänomenologische Thermodynamik zeigt uns, dass man noch mehrere weitere „nullte Hauptsätze“ formulieren kann: Einen zu jedem Term in der Gibbs'schen Fundamentalgleichung:

$$dE = TdS - pdV + \mu dn + vdp + Fds + \omega dL + \psi dm + \phi dQ + Id\Phi \dots$$

(Hier sind: T = absolute Temperatur, S = Entropie, p = Druck, V = Volumen, μ = chemisches Potenzial, n = Stoffmenge, v = Geschwindigkeit, p = Impuls, F = Impulsstrom, s = Verschiebung, ω = Winkelgeschwindigkeit, L = Drehimpuls, ψ = Gravitationspotenzial, m = Masse, ϕ = elektrisches Potenzial, Q = elektrische Ladung, I = elektrische Stromstärke, Φ = magnetischer Fluss)

So könnte man für drei Körper, zwischen denen inelastische Stöße stattgefunden haben, sodass sie sich alle drei mit derselben Geschwindigkeit bewegen, formulieren: „Befinden sich zwei Körper A und B im Geschwindigkeitsgleichgewicht mit einem dritten Körper C, so sind auch A und B miteinander im Geschwindigkeitsgleichgewicht.“

Herkunft

Das Bedürfnis nach einer Aussage wie sie der nullte Hauptsatz macht, scheint aufzutreten, wenn man absolute Temperatur, chemisches Potenzial und Entropie über die Statistik einführt. Es muss dann gezeigt werden, dass der eine der beiden Parameter in einer Wahrscheinlichkeitsverteilung die Eigenschaften derjenigen Größe hat, die man als Temperatur kennt. Allerdings ist auch im Rahmen dieser Herleitungen der nullte Hauptsatz nichts anderes als Ausdruck der Transitivität einer physikalischen Größe.

Entsorgung

Den nullten Hauptsatz behandeln wir in der Schule nicht. Was hat das Thema dann überhaupt mit der Schulphysik zu tun? Es hilft zu verstehen, warum die Thermodynamik an Hochschule und Schule so unbeliebt ist. Mit keiner intensiven Größe werden so viele Umstände gemacht, wie mit der Temperatur; mit keiner extensiven Größe werden so viele Umstände gemacht, wie mit der Entropie. Die Thermodynamik lässt manchmal an die Geschichte von des Kaisers neuen Kleidern denken.

Speziell um die Entsorgung der Erblast „nullter Hauptsatz“ müssen wir unsere Kollegen von der Hochschule bitten. Den Studierenden empfehlen wir: Lassen Sie sich kein Problem aufschwätzen wo keins ist. ■

Literatur

[1] F. Reif: *Physikalische Statistik und Physik der Wärme*, de Gruyter, Berlin 1976, S. 119.

Anschrift des Verfassers

Prof. Dr. Friedrich Herrmann, Institut für Theoretische Festkörperphysik, KIT, 76128 Karlsruhe, E-Mail: f.herrmann@kit.edu