

Entropie und Wärme im Karlsruher Physikkurs

Beitrag zum Treffen am 10. Jan. 2014 in Frankfurt

Jörg Hüfner, Universität Heidelberg

Temperatur, Wärme und Entropie sind Größen, die in die Physik eingeführt wurden, um die vielfältigen Vorgänge, die mit der Erwärmung, der Expansion und der Mischung von Stoffen verbunden sind, beschreiben zu können. Indem der Karlsruher Physikkurs (KPK) auf die Wärme als eigenständige Größe verzichtet, geht er einen anderen Weg. Das wird schon in der Einleitung des Schulbuches „Thermodynamik“ verkündet:

„Auch die [neben der Temperatur] zweite Größe, die wir brauchen, müsstest du kennen, allerdings unter einem anderen Namen als dem in der Physik gebräuchlichen. Es handelt sich bei ihr um das, was man umgangssprachlich »Wärmemenge« nennt, oder auch einfach »Wärme«. Ihr physikalischer Name ist Entropie, ihr Symbol S und ihre Maßeinheit Carnot, abgekürzt Ct.“ ([1], S.6)

Dieser für den KPK programmatische Satz hat viel Widerspruch hervorgerufen - auch bei den Gutachtern [2]. Sicherlich ist der Begriff Wärme bei vielen Schülern, an die sich das Buch wendet, noch nicht klar definiert ist. Die meisten werden ihn vermutlich mit Temperatur verwechseln, während andere an das Heizen und damit an Energie denken, zumal Energie bereits behandelt ist. An welche Alltagsphänomene Herrmann bei seiner Gleichsetzung von Wärme mit Entropie gedacht hat ist nicht klar. Weder seine Entgegnung [3] auf das Gutachten noch die von Strunk et al. [4] geben darüber Auskunft. Selbst die Einschränkung „umgangssprachlich“ ist inzwischen gefallen, wie ein Lehrfilm von Prof. Laukenmann von der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg zeigt. Dort heißt es: Den Wärmehalt in einem Behälter mit bestimmter Temperatur könnte man einfach Wärme nennen. Das wäre das Beste. Aber die Physiker nennen sie Entropie, und die Einheit dieser Größe heißt Carnot.

Zwar war in den Anfängen der Wärmelehre die physikalische Natur der Wärme unklar, wie Falk, Herrmanns Vorgänger in Karlsruhe, betont [5]. Aber heute ist nach internationaler Übereinkunft in Wissenschaft und Technik Wärme eine Form der Energie. Deshalb ist die Identifikation von Wärme mit Entropie falsch.

Die Klärung von Begriffen ist eine der Aufgaben eines Physikunterrichtes. Üblicherweise werden die Schüler während der Behandlung von Naturphänomenen mit den genauen Begriffen von Wissenschaft und Technik vertraut gemacht. Aber es darf nicht die Aufgabe eines Schulbuchautors sein, den Schülern Begriffe beizubringen, die in Wissenschaft und Technik unüblich sind, selbst wenn der Autor dafür didaktische Gründe anführt. Auch darf er keine neuen Einheiten (z.B. die Einheit Carnot) erfinden. Anschlussfähigkeit muss immer gewährleistet sein. Hiergegen verstößt der KPK mehrfach, auch in der Darstellung der Thermodynamik, um die es hier geht.

In der Physik, wie sie üblicherweise gelehrt wird, steht die Wärmemenge δQ für eine Form der Energie, die einem System zugeführt wird. Dabei ändert sich die Entropie (allerdings nur bei reversibler Prozessführung) um die Größe dS nach

$$dS = (1/T) \cdot \delta Q. \quad (1)$$

Im KPK kommt Wärme als eigene physikalische Größe nicht mehr vor. Die Relation Gl. (1) zwischen den infinitesimalen Größen dS und δQ wird im KPK zu einer Relation zwischen Strömen [1, S. 18]:

$$P = T \cdot I_S. \quad (2)$$

Hier bezeichnet I_S die Stärke des Entropiestroms dS/dt und P die Stärke des Energiestroms dE/dt . Gl. (2) wird im KPK wie folgt gelesen: „Ein Entropiestrom der Stärke I_S trägt einen Energiestrom der Stärke $T \cdot I_S$.“ [1, S. 18]. In dem Buch von Falk und Ruppel heißt es stattdessen: "Ein Wärmestrom ist ein mit einem Entropiestrom verknüpfter Energiestrom.“[6]

Gl. (2) ist nicht zu beanstanden, die Formulierung mithilfe von Strömen macht sogar den Prozesscharakter der Wärmezufuhr, die durch Gl. (1) beschrieben wird, klarer. Allerdings ziehen wir die Lesart von Falk et al. vor.

Die beiden Ströme, die in Gl. (2) in Beziehung gesetzt werden, unterscheiden sich in einem wichtigen Aspekt: Der Energiestrom ist im Rahmen des 1. Hauptsatzes immer erhalten. Für den Entropiestrom gilt das wegen des 2. Hauptsatzes nicht, er ist nicht quellenfrei. Dieser grundlegende Unterschied wird im KPK behandelt, wobei allerdings die Hauptsätze nicht erwähnt werden.

Auch wenn in der allgemeinen Gl. (2) Energie und Entropie gleich wichtig erscheinen – nicht umsonst lautet der Titel des Buches von Falk und Ruppel „Energie und Entropie“- kommt in dem Schulbuch des KPK die Energie häufig zu kurz. Ein Beispiel: Wenn der Temperatúrausgleich zwischen zwei Körpern, die im Wärmekontakt stehen, besprochen wird, dann wird nur der Entropiestrom behandelt, nicht aber der zugehörige Energieaustausch. Auf diese Weise entsteht ein völlig schiefes Bild der physikalischen Vorgänge. Ähnliches findet man bei der Behandlung der Leitfähigkeit.

Für den KPK sind Ströme ein Konzept, das sich durch die ganze Physik zieht. Wenn Ströme in Materie fließen, wird der Begriff der Leitfähigkeit wichtig. Das ist von elektrischen Strömen wohlbekannt. Auch in der Thermodynamik ist ein analoges Phänomen bekannt: die Wärmeleitung, d.h. die Ausbreitung von thermischer Energie in Materie. Der Koeffizient der Wärmeleitfähigkeit ist z.B. bei der Wärmeisolierung von Gebäuden wichtig. Obwohl der KPK einen Energiestrom eingeführt hat (siehe Gl. (2)), diskutiert er nur die Leitfähigkeit für den Entropiestrom. Das führt zu unnötigen Schwierigkeiten: Eine Leitfähigkeit lässt sich ohne Probleme für erhaltene Ströme, wie den der Ladung oder der thermischen Energie definieren. Es ist unklar, wie eine Leitfähigkeit für nicht erhaltene Ströme, wie den der Entropie, definiert werden kann. Auf dieses Bedenken geht Herrmann in seiner Erwiderung [3] nicht ein. Strunk et al. [4] verwerfen die grundsätzlichen Bedenken, indem sie darauf hinweisen, dass bei der Messung eines Koeffizienten für die Entropieleitfähigkeit die Effekte der Entropieproduktion von zweiter Ordnung in der Temperaturdifferenz sind. Nach Auskunft der Autoren Herrmann [3], Strunk und Rincke [4] wird der Koeffizient der Entropieleitfähigkeit dadurch erhalten, dass man den gemessenen Koeffizienten der Wärmeleitfähigkeit durch die Temperatur teilt, bei der die Messung ausgeführt worden ist. Wenn das so ist, dann muss man sich fragen, warum der

KPK in seinem Schulbuch nicht einfach den Koeffizienten der Wärmeleitfähigkeit behandelt. Von Wärmeisolierung und von der Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen wird heutzutage häufig gesprochen. Der Schulunterricht sollte die Schüler darauf vorbereiten, hier kompetent mitreden zu können. Die vermittelten Kenntnisse zur Entropieleitfähigkeit werden eher Verwirrung stiften.

Die spontane und irreversible Expansion eines Gases ins Vakuum ist ein Phänomen, das sich ohne Entropie nicht verstehen lässt. Allerdings spielt hier die Wärme keine, oder zumindest keine dominante Rolle. Deswegen war es für uns interessant, wie der KPK dieses Phänomen behandelt. Der entsprechende Abschnitt im KPK enthält nur qualitative Argumente. Die Grundaussage „Bei der Expansion eines Gases ins Vakuum entsteht Entropie“ [1, S.41] ist richtig, aber es werden im Buch keine Methoden, nicht einmal anschauliche Hinweise bereitgestellt, mithilfe derer die Schüler dieses Phänomen verstehen könnten. Dem aus der üblichen Physik bekannten Zusammenhang zwischen Entropieänderung dS und Volumenänderung dV

$$dS = (p/T) \cdot dV \quad (3)$$

stellt der KPK keine Relation zwischen Strömen (analog zu Gl.(2)) zur Seite. Der Grund liegt wohl darin, dass es keinen „Volumenstrom“ gibt. Stattdessen wird in einem Gedankenexperiment versucht, die Entropieerhöhung bei der freien Expansion als Abfolge zweier Prozesse, einer adiabatischen Expansion und einer isochoren Wärmezufuhr, zu verstehen. Über das Ergebnis dieser Überlegungen heißt es: „Bei der Expansion ins Vakuum ändert sich die Temperatur eines Gases nicht. Man kann das als einen Zufall betrachten.“ [1, S.41] Ein solcher Satz darf in einem Schulbuch nicht stehen! Es gibt immer Gründe, hier sogar ganz einfache, nämlich die Abwesenheit von Kräften zwischen den Molekülen des Gases. Wie wird dieser Prozess in anderen Schulbüchern behandelt? Dorn-Bader [7] beschreiben die Expansion eines idealen Gases als eine reversible isotherme Expansion und erhalten als Ergebnis $\Delta S = R \cdot \ln V/V_0$ für ein Mol eines idealen Gases.

Wegen der oben aufgeführten fachlichen und didaktischen Fehler und Mängel halten die Gutachter, ein Gremium aus Gymnasial- und Universitätslehrern, den Karlsruher Physikkurs für die Schule nicht geeignet.

Referenzen:

- [1] F. Herrmann: Der Karlsruher Physikkurs, ein Lehrbuch für den Unterricht der Sekundarstufe II. Thermodynamik, 5. Auflage, Aulis Verlag 2010
- [2] M. Bartelmann et al.: Gutachten über den Karlsruher Physikkurs, 28. Feb. 2013
- [3] F. Herrmann: Entgegnung zum Gutachten der DPG über den Karlsruher Physikkurs, 25. Feb. 2013
- [4] C. Strunk und K. Rincke: Zum Gutachten der Deutschen Physikalischen Gesellschaft über den Karlsruher Physikkurs, 19.4. 2013
- [5] G. Falk: Zahl und Realität, Birkhäuser Verlag, Basel, 1990, S. 196
- [6] G. Falk und W. Ruppel: Energie und Entropie, Springer, 1976, p. 93
- [7] Dorn·Bader: Physik Sektion II, Schroedel Verlag, 2000, S. 160