**XII. Die Definition des Temperaturgrades und der absolute Nullpunkt;
von K. L. Bauer in Karlsruhe.**

Im laufenden Jahrgange dieser Annalen, viertes Heft S. 642, stellt Hr. Prof. Koppe die sonderbare Behauptung auf „daß das in der practischen Physik in Anwendung kommende Gay-Lussac'sche Ausdehnungsgesetz für die theoretische Physik keine Gültigkeit habe, *da dieser Satz mit sich selbst im Widerspruch stehe.*“ Zum Beweise dessen wird das genannte Gesetz zunächst in zwei nicht wesentlich von einander verschiedenen Formen angeführt:

$$1) \quad v = v_0 (1 + \alpha t); \quad v' = v_0 (1 + \alpha t').$$

$$2) \quad v' = v \cdot \frac{1 + \alpha t'}{1 + \alpha t}.$$

Wenn jetzt der Nullpunkt um τ Grade tiefer oder höher angenommen werde, so folge die weitere Beziehung:

$$3) \quad v' = v \cdot \frac{1 + \alpha (t' \pm \tau)}{1 + \alpha (t \pm \tau)};$$

und die zwei letzten Relationen lieferten die Bedingungsgleichung:

$$4) \quad \alpha^2 \tau (t' - t) = 0.$$

Hieraus sey zu schliessen, daß, da ja τ von Null verschieden, entweder $\alpha = 0$, oder $t = t'$ seyn müsse, d. h. daß dem Gay-Lussac'schen Gesetze zufolge *eine Ausdehnung der Gase unter constantem Drucke überhaupt nicht eintreten könne!*

Nach des Verfassers Dafürhalten ist die reproducirte Argumentation durchaus unzulässig, weil das durch die Gleichungen 1) und 2) ausgedrückte Gesetz zur gleichzeitigen Aufstellung der Formel 3) überhaupt nicht berechtigt, womit dann selbstverständlich auch die Bedingungsgleichung 4) und der daraus zu ziehende Schluß

hinfällig werden. Zur Begründung dieses Urtheils soll das Volum der betreffenden Gasmenge bei 0° mit V_0 , dasjenige bei gleichem Drucke und der Temperatur t mit V , bezeichnet werden; dann erhält Gay-Lussac's Gesetz die Form:

$$1) \quad V_t = V_0(1 + \alpha t); \quad V_{t'} = V_0(1 + \alpha t');$$

$$2) \quad V_{t'} = V_t \cdot \frac{1 + \alpha t'}{1 + \alpha t}.$$

Die Form 2), obschon unerheblich von der vorausgehenden verschieden, ist gleichwohl insofern die allgemeinere, als sie die Form 1) als besondern Fall in sich begreift. Läßt man in diesen Gleichungen $t + \tau$ an die Stelle von t , und $t' + \tau$ an die Stelle von t' treten, so folgt:

$$V_{t+\tau} = V_0[1 + \alpha(t + \tau)]; \quad V_{t'+\tau} = V_0[1 + \alpha(t' + \tau)];$$

$$3) \quad V_{t'+\tau} = V_{t+\tau} \cdot \frac{1 + \alpha(t' + \tau)}{1 + \alpha(t + \tau)}.$$

Zur Aufstellung *dieser* Beziehung 3), deren Sinn übrigens mit demjenigen der Relation 2) völlig identisch ist, berechtigt das Gesetz 1), nicht aber zu der abweichenden Formel Koppe's. Meines Hrn. Collegen Verfahren besteht in Wahrheit darin, aus der Relation

$$2) \quad V_{t'} = V_t \cdot \frac{1 + \alpha t'}{1 + \alpha t}$$

auf das gleichzeitige Bestehen einer andern zu schließen:

$$3) \quad V_{t'} = V_t \cdot \frac{1 + \alpha(t' + \tau)}{1 + \alpha(t + \tau)},$$

welche unmöglich ein Ausfluß der vorausgehenden seyn kann, *eben weil sie derselben, wofern nicht $\tau = 0$, augenscheinlich widerspricht.*

Auch die Bemerkungen, welche Hr. Koppe an die vermeintliche Aufdeckung eines, wie man sieht, factisch nicht vorhandenen Widerspruchs knüpft, dürften sich schwerlich mit dem derzeitigen Stande der Wissenschaft in Einklang bringen lassen. Durch eine gewisse, genau besehen aber verfehlte, Betrachtung kann man allerdings dahin geführt werden, das Gay-Lussac'sche Gesetz,

wonach bei constantem Drucke die Volumänderung eines Gases der Temperaturänderung proportional ist, für naturwidrig zu halten. Wenn nämlich das Volum V_0 durch Erwärmung zu $V_0(1+\alpha)$ geworden, und man alsdann die Temperatur mit 1° bezeichnet, so ist das ursprüngliche Volum V_0 um $V_0\alpha$ gewachsen; da nun aber in Bezug auf eine weitere Erwärmung das größere Volum $V_0(1+\alpha)$ das Anfangsvolum vorstellt, so hält es Hr. Koppe für unangemessen, die Temperatur 2° für vorhanden zu erklären, wenn eine neue Volumzunahme von wiederum bloß $V_0\alpha$ eintritt und demnach das Volum $V_0(1+2\alpha)$ entsteht; dagegen soll $V_0(1+\alpha)^2$ das der Temperatur 2° wirklich entsprechende Volum seyn. Durch diese Reflexion läßt sich Hr. Koppe verleiten, das Ausdehnungsgesetz der Gase also zu fassen: *Für gleiche Temperaturzuwächse vergrößert sich bei ungeändertem Druck das Gasvolum stets in demselben Verhältnisse:*

$$V_t = V_0(1 + \alpha)^t.$$

Hierbei verschweigt H. Koppe indessen, ob in dieser Formel α den gewöhnlichen Ausdehnungs-Coëfficienten 0,00367 der permanenten Gase bedeuten soll oder nicht. Im *Behauptungs-falle* dürfte man keineswegs, wie H. Koppe glaubt, näherungsweise auch $V_t = V_0(1 + \alpha t)$ setzen, da beispielsweise:

$$(1 + \alpha)^{100} = 1,4424; \quad 1 + \alpha \cdot 100 = 1,3670;$$

nach Koppe's Formel würde dann 100° eine entschieden höhere Temperatur als die des siedenden Wassers bedeuten, weil nach unbestreitbaren Versuchen in diesem Wärmezustande das ursprüngliche Volum erst zu $1,367 V_0$ angewachsen ist. Im *Verneinungs-falle* aber wäre die Verschiedenheit der Ausdehnungscoëfficienten dadurch hervorzuheben, daß man etwa

$$V_t = V_0(1 + \beta)^t$$

setzte und β durch die Bedingung bestimmte, daß

$$(1 + \beta)^{100} = (1 + \alpha \cdot 100), \text{ woraus } \beta = 0,003131;$$

dann hätte wenigstens, außer 0° , auch die Temperatur 100° in Koppe's Formel die in der Physik allgemein übliche

Bedeutung. Während aber beispielsweise zur Verdoppelung des Volums V_0 nach Gay-Lussac eine Temperaturerhöhung von 0° bis etwa 273° erforderlich ist, wäre dann nach Koppe eine solche von beiläufig 222° genügend; liefse man jedoch dem Ausdehnungscoefficienten den üblichen Werth 0,00367, so würde gar eine Erwärmung um etwa 190° zum genannten Zwecke hinreichen; der Wärmezustand wäre natürlich bei jeder der drei Angaben genau der gleiche.

Angesichts dieses Thatbestandes nimmt es sich sonderbar genug aus, wenn Hr. Koppe hinsichtlich der Gay-Lussac'schen Gleichung zum Schlusse bemerkt: „Nur diese näherungsweise richtige, also eigentlich *fehlerhafte* Gleichung führt auf einen Nullpunkt der Wärme, was in keiner Weise bei der *richtigen* Gleichung $V_t = V_0(1 + \alpha)$ der Fall ist“.

Nach der letzteren, allein genau richtig seyn sollenden Formel führt die Bedingung $V_t = 0$ allerdings auf die Temperatur $t = -\infty$; aber die Erwägung, welche Hrn. Koppe zur Aufstellung dieser Formel bewog, ist, wie schon oben bemerkt, eine ganz verfehlte. Um nämlich dem Begriffe *Temperatur* eine wirklich naturgemäße Bedeutung zu verleihen, wird man schwerlich einen andern Gedankengang einschlagen dürfen, als folgenden. Wenn das Volum V_0 in $V_0(1 + \alpha)$ übergeht, und wenn man die durch das neue Volum angezeigte Temperatur mit 1° bezeichnet, so wurde behufs Temperaturerhöhung von 0° auf 1° der *Wärmeinhalt* Q_0 des Volums V_0 um einen gewissen Betrag q erhöht; die Temperatur 2° wird daher erreicht seyn, *wenn der neue Wärmeinhalt $Q_0 + q$ genau wieder um den gleichen Betrag gewachsen, also zu $Q_0 + 2q$ geworden ist*, usw.

Nach der mechanischen Wärmetheorie beruht die Vermehrung des Wärmeinhalts einer Gasmasse auf der Vermehrung der offenen und verborgenen lebendigen Kraft der Theilchen, auf der Zunahme der Energie der fortschreitenden und der Atombewegung. Nun hat man aber alle Ursache anzunehmen, daß die Zunahme des Wärmeinhalts

der Zunahme des Druckes bei constantem Volum, sowie der Zunahme des Volums bei constantem Druck proportional sey; den in einerlei Gasmasse nacheinander enthaltenen Wärmemengen $Q_0, Q_0 + q, Q_0 + 2q, \dots$ entsprechen bei constantem Volum die Spannkräfte $P_0, P_0 + p, P_0 + 2p, \dots$ oder bei constantem Drucke die Volumina $V_0, V_0 + v, V_0 + 2v, \dots$ und dieß ist der Grund, warum an der allgemein üblichen Gay-Lussac'schen Formel und der durch sie gegebenen Temperaturdefinition festzuhalten ist:

$$P_t = P_0(1 + \alpha t); \quad V_t = V_0(1 + \alpha' t);$$

$$t = \frac{P_t : P_0 - 1}{\alpha} = \frac{V_t : V_0 - 1}{\alpha'}.$$

Setzt man hier $\alpha = 0,003665$ und $\alpha' = 0,003670$, so stimmen die Angaben des Luftthermometers überdiß ziemlich gut mit denjenigen eines Quecksilberthermometers überein; das Maß der Harmonie hängt indessen von der Natur des Glases und der Gestalt des Quecksilberbehälters ab. Ein Verzicht auf die Formel Gay-Lussac's zu Gunsten der von Hrn. Koppe gewollten würde nach dem gegenwärtigen Stande der Wissenschaft zweifelsohne einen entschiedenen Rückschritt bedeuten.

Zum Schlusse erlaube ich mir noch, bei dieser Gelegenheit im Interesse unserer Schulen an zahlreiche Verfasser physikalischer Lehrbücher die dringende Bitte zu richten, in dem besprochenen Artikel zukünftig etwas mehr Klarheit, statt Unklarheit, walten zu lassen; als wirklich leuchtendes Vorbild ist eine unlängst erschienene Arbeit zu empfehlen: *Compendium der Experimentalphysik*, nach Jamin's *petit traité de physique*, deutsch bearbeitet von Dr. G. Recknagel, II. Abtheilung, Lehre von der Wärme, Stuttgart 1874.

Karlsruhe, 12. Juli 1874.