

Was ist die Temperatur eines Gases?

Von Dr. Heinrich Brandenberger, Zürich

Die im Titel gestellte Frage lässt sich mit den bisherigen Anschauungen nicht beantworten. Man kann wohl die Temperatur eines Gases mit Hilfe eines Thermometers messen; aber wo sie enthalten ist, weiss man nicht. Man kennt weiter den atomaren Aufbau eines Körpers und weiss, dass die kleinsten Teilchen zu Molekülen zusammengeschlossen sind und aus elektrisch positiv geladenen Protonen, elektrisch neutralen Neutronen und negativen geladenen Elektronen bestehen, aber diese weisen an und für sich keine Temperaturen auf. Man kennt die elektrische Ladung der Elektronen und Protonen ($e = 4,81 \cdot 10^{-10}$ elektrostatische Einheiten), ferner die Masse des Protons und des Neutrons ($m_{p,r} = m_{N,e} = 1,6723 \cdot 10^{-24}$ g), wie auch die Masse des Elektrons ($m_E = 9,1083 \cdot 10^{-28}$ g, diese ist also 1840 mal kleiner als die Masse eines Protons). Aber auch diese Kenntnisse beantworten nicht die Frage nach dem Wesen der Temperatur.

Bei der Temperaturskala nach Celsius hat man festgelegt, dass 0° die Temperatur des schmelzenden Eises (H_2O) und 100° die Verdampfungstemperatur des Wassers bei 760 mm Quecksilbersäule ($= 10\,332 \text{ kg/m}^2$) sein sollen, womit sich der absolute Nullpunkt der Temperatur zu $-273,15^\circ \text{C}$ ergibt. Bei festen und flüssigen Körpern macht man sich die Vorstellung, dass die Moleküle um Gleichgewichtslagen schwingen, und man sieht in der Brownschen Bewegung eine experimentelle Bestätigung. Man weiss ferner, dass alle Gase bei 0°C und 760 mm QS Mengen mit dem jeweiligen Molekulargewicht M in kg das gleiche Volumen (das Molvolumen $22,4 \text{ m}^3$) aufweisen, und weiter die Anzahl der Moleküle dabei für alle Gase gleich der Loschmidtschen Zahl $N = 6,0236 \cdot 10^{26}$ ist. Ein gleicher Druck bei gleicher Temperatur kann bei allen Gasen nur dadurch entstehen, dass alle Gasmoleküle gleiche Bewegungsenergie $m \cdot c^2/2$ besitzen, woraus sich für ein Gas die jeweilige mittlere Geschwindigkeit der Moleküle berechnen lässt.

Man weiss ferner, dass der Gasdruck p , die absolute Temperatur T und das Volumen v einer Gasmenge in der Beziehung zueinanderstehen $p \cdot v = R \cdot T$, mit R als Konstante. Bei gleichbleibenden Volumen v steigt also mit der Temperatur T der Druck p im linearen Verhältnis. Um ein gewisses Gasvolumen v zu erwärmen, das heisst die Temperatur T des Gases zu erhöhen, braucht es eine gewisse Wärmemenge Q , und man spricht bei Beibehaltung des Volumens für das Molgewicht von einer spezifischen Wärme C_v . Man weiss auch, dass Wärme aus Arbeit erzeugbar ist und umgekehrt Wärme in Arbeit umgewandelt werden kann, und man kennt das Wärmeäquivalent mit $1 \text{ kcal} = 427 \text{ mkg}$.

Wenn man nun ein Molgewicht eines Gases mit der spezifischen Wärme C_v bei gleichbleibendem Volumen erwärmt, so nimmt die Temperatur um 1° zu. Der Gasdruck steigt entsprechend der Gleichung $p \cdot v = R \cdot T$; daraus lässt sich die Zunahme der kinetischen Energie der Gasteilchen aus der Erhöhung des Druckes berechnen. Diese Berechnung zeigt nun, dass die hierbei zugeführte Wärmemenge C_v bedeutend grösser ist, als die Zunahme der kinetischen Energie der Gasteilchen gemäss $m \cdot c^2/2$. Wo steckt dieser zusätzliche Energiewert?

Die Beantwortung dieser Frage ergibt sich daraus, dass ein Molekül nicht nur aus Atomkernen (Alphateilchen) und Elektronen (Betateilchen) aufgebaut ist, sondern, wie die Uranspaltung zeigt, auch «Gammateilchen» hinzukommen,

das sind unmagnetische und unelektrische Strahlungsteilchen. Sie umgeben die Moleküle als Wolken. Ihre Bewegungsenergie stellt den fehlenden Teil des Wärmeinhaltes des Körpers und die Grösse ihrer Bewegung die Temperatur dar. Diese Teilchen werden von den um die Atomkerne rotierenden Elektronen als Wärme- und Lichtstrahlen emittiert. Je höher die Temperatur eines Körpers ist, um so grösser ist auch der Bewegungszustand der Strahlungsteilchen um die Moleküle, in um so stärkerer Masse kommen sie in die Bahnen der Elektronen, und um so grösser wird die Wärmestrahlung. Wie die Berechnung zeigt, werden sie erst bei einem Abstand von $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ bei einer Menge von 10^3 von einer Schlochoffnung von $0,1 \text{ cm}^2$ als Licht gesehen. Sie sind auch die Ursache des elektrischen Widerstandes. Wenn nämlich Elektronen durch einen Leiter hindurchgehen, stellen sie sich diesen in den Weg. Dabei werden sie von den Elektronen in grössere Bewegung versetzt, wodurch Joulesche Wärme entsteht. Damit ist auch erklärt, warum der elektrische Widerstand mit steigender Temperatur steigt, und warum nahe dem absoluten Nullpunkt eine Supraleitfähigkeit auftritt. Bei dieser Temperatur führen nämlich die Strahlungsteilchen keine Bewegung mehr aus, sondern legen sich infolge der Anziehungskraft der Massen eng an die Atomkerne an, weshalb sie nicht mehr in den Weg der Elektronen kommen.

Die Strahlungsteilchen, welche die Moleküle als Wolke umgeben, sind auch die Ursache der Aggregatzustände fest, flüssig und gasförmig. Unterhalb der Schmelztemperatur eines Körpers ist die Bewegung der Strahlungsteilchen, welche die Moleküle als Wolke umgeben, so klein, dass sie den festen Zusammenhang der Körpermoleküle nicht zu trennen vermögen. Beim Erreichen der Schmelztemperatur steigt die Bewegung der Strahlungsteilchen so stark, dass sie den Zusammenhang der Moleküle zerreißen und die Moleküle sich gegenseitig frei bewegen. Sie stossen sich schwimmend gleichwohl gegenseitig ab, wodurch die beobachtete Brownsche Bewegung erklärt ist. Bei der Verdampfungstemperatur erreicht die Bewegung der Strahlungsteilchen eine derartige Grösse, dass die Moleküle aus der Flüssigkeit austreten und sich in den Raum hinausbewegen, wobei natürlich die Verdampfungstemperatur und der auf der Flüssigkeit lastende Druck voneinander abhängen.

Dass bei steigender Temperatur eines Gases die Moleküle schnellere Bewegungen ausführen und dadurch ein höherer Gasdruck entsteht, kann somit dadurch erklärt werden, dass zunächst die Strahlungsteilchen bei höherer Temperatur eine grössere Bewegung ausführen, und da sie die Moleküle als Wolke umgeben, sie auch die Moleküle stärker voneinander abstossen.

Aus der Differenz der spezifischen Wärme bei konstantem Volumen und der Wärmemenge, welche notwendig ist, um den Molekülen die für den höheren Druck notwendige Bewegungsenergie zu geben, ergibt sich der Wärmeanteil, der bei der Erhöhung der Temperatur eines Gases für die grössere Bewegung der Strahlungsteilchen aufgebracht werden muss. Gehen wir vom Molvolumen von $22,4 \text{ m}^3$ aus, das jedes Gas bei 0°C und 760 mm QS einnimmt, so erhalten wir bei der Form eines Würfels eine Seitenlänge von

$a = \sqrt[3]{22,4} \text{ m}$. Die Anzahl der Moleküle ist dabei für alle Gase dieselbe, nämlich $N = 6,0236 \cdot 10^{26}$. Bezeichnet m die Masse

eines Moleküls, so erhalten wir die Masse des Molekulargewichtes $M = mN$. Ist c die Geschwindigkeit eines Gasmoleküls, so kann man annehmen, dass sich in einem Würfel parallel zu den Richtungen der Seitenkanten x, y, z je $1/3$ der Moleküle bewegen.

Die Bewegungsgrösse, die bei einem Stoss an die Wand von einem Molekül mit der Masse m abgegeben wird, ist wegen der Aenderung der Geschwindigkeit von $+c$ auf $-c$ gleich $2mc$. Die Zeit zum Zurückkommen auf eine Wand beträgt für Hin- und Rückgang $2a/c$. Die Fläche einer Wand ist a^2 und die Anzahl der sekundlichen Stösse auf die Wand $N/3 \cdot c/2a$. Die Bewegungsgrösse pro Sekunde ist somit

$$(1) \quad B = \frac{N}{3} \cdot \frac{c}{2a} \cdot 2mc = \frac{Nmc^2}{3a}$$

Nachdem eine Kraft P gleich ist der Masse m mal der Beschleunigung b ($P = m \cdot b$) und eine Beschleunigung gleich ist der auf eine Sekunde bezogenen Geschwindigkeitsänderung $b = dv/dt$, so ist eine Kraft gleich der auf eine Sekunde bezogenen Aenderung der Bewegungsgrösse, also $P = m \cdot dv/dt$ und somit ist in unserem Falle die auf die Wand wirkende Kraft $P = N \cdot m \cdot c^2/3a$. Daraus ergibt sich der spezifische Druck des Gases zu

$$(2) \quad p = \frac{P}{a^2} = \frac{N \cdot m \cdot c^2}{3a^3} = \frac{M \cdot c^2}{3a^3}$$

und

$$c = \sqrt{\frac{3 \cdot p \cdot a^3}{M}}$$

Die kinetische Energie der Moleküle in mkg beträgt somit

$$(3) \quad M c^2/2 = 3/2 \cdot a^3 p$$

Diese Energie entspricht dem Zustand des Gases bei der absoluten Temperatur von $T = 273^\circ$. Für 1° Temperaturerhöhung ergibt sich eine Zunahme der kinetischen Energie um den $1/273$ Teil. Entsprechend dem Wärmeäquivalent von $1 \text{ kcal} = 427 \text{ mkg}$ erhält man die für 1 Mol notwendige Wärmemenge (mit $a^3 = 22,4 \text{ m}^3$, $p = 10\,332 \text{ kg/m}^2$) zu

$$(4) \quad Q = \frac{3 a^3 p}{2 \cdot 273 \cdot 427} = \frac{3 \cdot 22,4 \cdot 10332}{2 \cdot 273 \cdot 427} = 2,91 \text{ kcal/kMol}$$

Nun ist jedoch die spezifische Wärme für konstantes Volumen C_v der verschiedenen Gase höher als dieser Wert (siehe Tabelle 1). Dies kommt daher, dass bei der Erhöhung der Temperatur nicht nur die kinetische Energie der Moleküle zu erhöhen ist, sondern auch die kinetische Energie der Strahlungsteilchen, welche die Moleküle als Wolke umgeben.

Dass tatsächlich die einzelnen Moleküle ihre Geschwindigkeit von der Bewegung der Strahlungsteilchen erhalten, welche die Moleküle als Wolke umgeben, deren Bewegungsenergie die Wärme eines Körpers und deren Grösse der Bewegung die Temperatur darstellt, lässt sich nun wie folgt nachweisen: Setzt man in der Gleichung (3) für $M = N \cdot m$, so erhält man für die Energie eines Moleküls

$$(5) \quad \frac{m \cdot c^2}{2} = \frac{3 \cdot a^3 \cdot p}{2N}$$

Nun ist $a^3 = v$ das Molvolumen und wegen $v \cdot p = R \cdot T$ erhält man

$$(6) \quad \frac{m \cdot c^2}{2} = \frac{3 \cdot v \cdot p}{2N} = \frac{3 \cdot R \cdot T}{2N}$$

woraus feststeht, dass tat-

sächlich die kinetische Energie der Moleküle von der absoluten Temperatur T abhängt, welche die Grösse des Bewegungszustandes der Strahlungsteilchen um die Atomkerne angibt, d. h. die Bewegung der Moleküle durch die gegenseitige Abstossung der um sie bewegten Strahlungsteilchen zustande kommt.

Ferner ergibt sich daraus noch folgendes: Obwohl die kinetische Energie eines Gasmoleküls $m c^2/2$ nur von der absoluten Temperatur abhängt und eine Grösse ist, welche für alle Gasmoleküle untereinander gleich ist, kann diese Grösse bei der Temperaturmessung keine Rolle spielen, da ihre Wirkung z. B. auf ein Thermometer nur nach elastischen Gesetzen (wie beim Gasdruck) vor sich geht. Dagegen sind es die Strahlungsteilchen, die bei einer Wandberührung einen Wärmeübergang ermöglichen und ihrerseits bei einer Erhöhung ihrer Temperatur, d. h. ihres Bewegungszustandes, den Molekülen selbst dann eine grössere Bewegung geben, und damit einen höheren Gasdruck verursachen.

Eine weitere Erkenntnis ist folgende: Stösst das Molekül eines Gases mit der Temperatur T_1 auf eine feste Wand mit der Temperatur T_2 , so wird ausser dem elastischen Stoss noch eine Wärmeübertragung stattfinden, und zwar kann dies nur über die Strahlungsteilchen beider Teile gehen. Fand dabei eine Erwärmung des Gases statt, dann bewegt sich das Gasmolekül von der Wand weg mit einem grösseren Bewegungszustand seiner Strahlungsteilchen, wobei dieses Gasmolekül gewissermassen seine höhere Temperatur auch auf andere Gasmoleküle übertragen wird. Entsprechend der höheren Temperatur findet ein stärkeres Abstossen statt, d. h. die Gasmoleküle kommen in einen grösseren Bewegungszustand entsprechend Gl. (5), und damit steigt der Druck des Gases.

Ein ähnlicher Vorgang tritt ein, wenn das Gas durch die Wand hindurch von Wärmestrahlen getroffen wird. Die durch die Wärmestrahlung eintreffenden Strahlungsteilchen versetzen die Strahlungsteilchen der Gasmoleküle in grössere Bewegung, diese stossen einander stärker ab, wodurch sowohl die Temperatur als auch der Druck des Gases zunimmt.

Zusammenfassend kann folgendes gesagt werden:

1. Was als Temperatur eines Gases wahrgenommen wird, hat seine Ursache im Bewegungszustand der Strahlungsteilchen, welche die Moleküle als Wolke umgeben.
2. Die einem Gase zugeführte Wärme wird nicht nur zur Erhöhung der kinetischen Energie der Strahlungsteilchen, d. h. der Temperatur des Gases verwendet, sondern auch für die Erhöhung der kinetischen Energie der Moleküle $\frac{1}{2} \cdot N \cdot m \cdot c^2$ und, falls man das Volumen sich aus-

Tabelle 1 Spezifische Wärmen verschiedener Gase

Gas	Chem. Zeichen	Molukular-Gewicht M	Spezifische Wärme			
			in kcal / kg grd		in kcal / kmol grd	
			c_p	c_v	C_p	C_v
Helium	He	4,003	1,251	0,755	5,00	3,01
Argon	Ar	39,944	0,125	0,076	5,00	3,01
Wasserstoff	H ₂	2,016	3,403	2,417	6,84	4,85
Stickstoff	N ₂	28,016	0,248	0,177	6,96	4,97
Sauerstoff	O ₂	32,000	0,218	0,156	6,99	5,00
Luft	—	28,964	0,240	0,171	6,95	4,96
Kohlenoxyd	CO	28,01	0,249	0,177	6,96	4,97
Chlorwasserstoff	HCl	36,465	0,191	0,136	6,96	4,97
Kohlendioxyd	CO ₂	44,01	0,196	0,150	8,62	6,63
Stickoxydul	N ₂ O	44,016	0,213	0,168	9,36	7,47
Schwefelsäure	SO ₂	64,06	0,145	0,114	9,29	7,30
Ammoniak	NH ₃	17,032	0,491	0,374	8,36	6,37
Azetylen	C ₂ H ₂	26,036	0,361	0,290	10,13	8,14
Methan	CH ₄	16,042	0,515	0,390	8,27	6,28
Methylchlorid	CH ₃ Cl	50,491	0,176	0,137	8,87	6,88
Aethylen	C ₂ H ₄	28,052	0,385	0,308	10,02	8,03
Aethan	C ₂ H ₆	30,068	0,413	0,345	12,41	10,34
Aethylchlorid	C ₂ H ₅ Cl	64,511	0,32	0,276	20,3	17,8
Stickoxyd	NO	30,008	0,238	0,172	7,16	5,17

dehnen lässt, auch für die Ueberwindung des äusseren Druckes ($\Delta v \cdot p$).

3. Die kinetische Energie eines Gasmoleküls ist wegen Gl. (6) eine reine Funktion der Temperatur, und bei gleicher absoluter Temperatur für die Moleküle aller Gase gleich, indem R als Gaskonstante und N als Loschmidtsche Zahl für alle Gase gleiche Werte besitzen.

4. Die Wärmeleitung und Wärmestrahlung findet über die Strahlungsteilchen statt, die ihrerseits die Geschwindigkeit der Gasmoleküle beeinflussen.

5. Bei einer Verminderung der kinetischen Energie der Moleküle, z. B. bei Leistung einer äusseren Arbeit, verringert sich die Bewegungsenergie der Strahlungsteilchen, weshalb die Temperatur des Gases sinkt.

Wie sich aus der Tabelle der spezifischen Wärme von Gasen ergibt, ist die spezifische Wärme C_p für Helium (3,01) und Argon (3,01) nicht viel grösser als die für die Erhöhung der Bewegungsenergie der Moleküle notwendige Wärmemenge von $Q = 2,91$ kcal/kmol grad. Dies zeigt an, dass diese beiden Gase nur geringe Mengen von Strahlungsteilchen, welche die Moleküle als Wolke umgeben, besitzen. Helium wird als Erdgas gewonnen. Es entsteht auch bei der Uranspaltung, wo die Heliumatomkerne als Alphateilchen austreten, d. h. als doppelt positiv elektrisch geladene Teilchen. Nach Rutherford verlassen sie den Atomverband mit einer Geschwindigkeit von 19 000 km/s. Dabei entweichen die Elektronen als negativ elektrisch geladene Betateilchen und ferner die Strahlungsteilchen als Gammastrahlen. Die Heliumatomkerne haben bei der Uranspaltung die Strahlungsteilchen abgeworfen, weshalb gleich nachher die doppelt positiv elektrisch geladenen Heliumatomkerne radioaktiv, d. h. elektrisch zersetzend sind: Sie entziehen der Umgebung die Elektronen. Aber sie können diese nicht behalten, weil sie dazu Strahlungsteilchen zum Abbremsen benötigen würden, die ihnen aber unmittelbar nach der Spaltung noch fehlen. Erst wenn sich die Heliumatomkerne mittlerweile mit Strahlungsteilchen wieder versehen haben, können sie auch Elektronen als Satelliten durch Abbremsen an sich ziehen. Die Menge dieser Strahlungsteilchen bleibt aber sehr gering, was sich darin äussert, dass die spezifische Wärme nur wenig grösser ist als die für die Erhöhung der Bewegungsenergie der Moleküle notwendige Wärme.

Nachsatz

Es sei noch vermerkt, dass diese Strahlungsteilchen, welche die Moleküle als Wolke umgeben, deren Bewegungsenergie die Wärme eines Körpers vorstellt und deren Grösse der Bewegung die Temperatur, eine Ergänzung des Atommodells sind, mit welcher ein neues Weltbild der physikalischen Vorgänge der Natur gegeben wird. Ohne dieses Wissen ist das Weltgeschehen bezüglich Wärme, Temperatur, Licht, Radiostrahlung, Atomenergie, Radioaktivität, elektrischer Widerstand, Körperfarbe, und die verschiedenen astronomischen Erscheinungen wie Dopplereffekt, Aberration, Licht grosser Sterne, Licht weit entfernter Sternhaufen, die veränderlichen Sterne, ja selbst die Aggregatzustände fest, flüssig und gasförmig ein Geheimnis. Dieser Forschung liegt, nach einer vierzigjährigen Betätigung auf dem Gebiete der technischen Wissenschaften eine jetzt sechsjährige Erforschung der Strahlungsphysik zugrunde. Das gesamte physikalische und astronomische Wissen, das in dieser Richtung besteht, wurde untersucht, und die bisher ungelösten Probleme nun am Ende als ganz einfach erklärbar erkannt. Mit diesen neuen Erkenntnissen wird die Relativitätstheorie, die Quantentheorie, die Wellentheorie und die Feldtheorie durch neue Anschauungen ersetzt, so dass die Physik, wie es von einem ersten Physiker ausgesprochen wurde, von vorne beginnen kann. Die Physik, in der man, wie von allen Physikern zugegeben wurde, sich nichts mehr vorstellen und nur begrifflich denken konnte, und bei der in den Laboratorien die Experimente mit den Rechnungen nicht mehr übereinstimmten, wird durch die Ergänzung des Atommodells und den neuen Erkenntnissen zur exakten Wissenschaft.

Bisherige Veröffentlichungen des Verfassers auf diesem Gebiete:

- [1] Neue Erkenntnisse in Physik und Astronomie. «Schweizer Maschinenmarkt», Goldach SG (SMM) 1962, Nr. 15, Seite 25-35
- [2] Das Licht und seine Geschwindigkeit. SMM 1962, Nr. 16, Seite 35-37
- [3] Die Masse und die Ursache der Strahlung. SMM 1962, Nr. 17, Seite 37-39
- [4] Die Ursache der Radioaktivität. SMM 1962, Nr. 18, Seite 47-49
- [5] Die Ursache der Atomenergie. SMM 1962, Nr. 19, Seite 31-33
- [6] Die biologische Bedeutung der Strahlung. SMM 1962, Nr. 20, Seite 39-41
- [7] Die Elektronen als Empfänger von Strahlungsteilchen. SMM 1962, Nr. 21, Seite 45-49
- [8] Die Ursache des Einflusses der Temperatur auf die Grösse der Strahlung und der elektrischen Leitfähigkeit. SMM 1962, Nr. 22, Seite 35 bis 39.
- [9] Mittel zur Behebung der Radioaktivität. SMM 1962, Nr. 23, Seite 47-49
- [10] Zusammenstellung der wichtigsten Ergebnisse. SMM 1962, Nr. 31, Seite 31-33
- [11] Die endliche Gravitationsgeschwindigkeit und die endliche Geschwindigkeit der elektrischen Kräfte. SMM 1963, Nr. 5, Seite 41-43
- [12] Die Rotverschiebung der Spektrallinien des Lichtes weit entfernter Sternhaufen. SMM 1963, Nr. 6, Seite 43-47
- [13] Ueber die minimale Sichtbarkeit des Lichtes. SMM 1963, Nr. 7 Seite 45-47
- [14] Der Stand der bisherigen Forschung: Die Plancksche Konstante h . Die Supraleitfähigkeit. Die Quantentheorie. SMM 1963, Nr. 9, Seite 53-55
- [15] Die Strahlungsteilchen und die Molekulargewichte. SMM 1963, Nr. 10, Seite 49
- [16] Wärme und Temperatur. SMM 1963, Nr. 10, Seite 51
- [17] Ueber den Wärmetod. SMM 1963, Nr. 24, Seite 73
- [18] Die Ursache der Zwergsterne. SMM 1963, Nr. 26, Seite 45-47
- [19] Die Reibung und die atomare Mechanik. SMM 1963, Nr. 27, Seite 51
- [20] Die Strahlungsteilchen und die Thermodynamik der Gase. SMM 1963, Nr. 28, Seite 37
- [21] Die Spiegelung und die Körperfarbe. SMM 1963, Nr. 31, Seite 29
- [22] Erkenntnisse über Wärmeleitung und Wärmestrahlung. SMM 1963, Nr. 46, Seite 51

Die Abhandlungen [1] bis [10] sind in einem Sonderdruck «Neue Erkenntnisse in Physik und Astronomie» erschienen und zu beziehen durch Akademische Buchhandlung H. Böniger, Tannenstrasse, Zürich, zum Preise von Fr. 1.50.

Adresse des Verfassers: Dr. Heinrich Brandenberger, Rebbergstrasse 1, Zürich 10/37.