10. *Bemerkungen über die absolute Temperatur; von F. Auerbach.*

In einer Abhandlung über die absolute Temperatur vergleicht Hr. Schreiber¹⁾ die vier typischen Temperaturscalen, nämlich die beiden empirischen von Galilei und Dalton und die beiden theoretischen von Lord Kelvin kritisch miteinander und kommt zu dem Schlusse, dass man von diesen Scalen nur die ältere Lord Kelvin'sche, welche gegenwärtig in Vergessenheit gerathen ist, nicht aber die jetzt verbreitete zweite Lord Kelvin'sche als eine absolute Temperaturscala und die nach ihr angegebenen Zahlen als absolute Temperaturen bezeichnen dürfe.

Dieser Auffassung darf trotz der ausführlichen und an sich sehr interessanten Begründung, welche der Verfasser ihr giebt, nicht beigetreten werden, und zwar aus folgenden Gründen, bei deren Entwicklung man sich vollkommen an den Gedanken- gang des Verfassers anschliessen kann.

Die erste Lord Kelvin'sche Definition lautet: „Die charakteristische Eigenschaft der Scala, welche ich jetzt vorschlage, ist die, dass alle Grade denselben Werth haben, d. h. dass wenn die Wärmeeinheit von einem Körper A mit der Temperatur T dieser Scala übergeht auf einen Körper B mit der Temperatur $T - 1$, sie stets dieselbe mechanische Arbeit liefert, welches auch die Zahl T sei.“ Die Definition ist, wie Hr. Schreiber selbst hervorhebt, in der vorliegenden Form heute nicht brauchbar, weil sie noch auf dem Boden der Stofftheorie der Wärme steht. Will man sie auf den Boden der Arbeitstheorie der Wärme verpflanzen, so sieht man sofort ein, dass sie gleichzeitig zwei Verfügungen trifft, welche sich nicht vereinigen lassen. Diese Verfügungen betreffen nämlich:

1. die Grösse der aufgenommenen Wärme bez. der abgegebenen Wärme bez. der geleisteten Arbeit, also eine Quantitätsgrösse;

1) K. Schreiber, Wied. Ann. 64. p. 163. 1898.

2. das Verhältniss der abgegebenen Wärme bez. der geleisteten Arbeit zur aufgenommenen Wärme, also eine Verhältnisszahl, und zwar das, was man gewöhnlich den Zerstreuungsgrad bez. den Wirkungsgrad des Processes nennt.

Man muss sich also nun entscheiden, ob man als Fundament für die neue, thermodynamische Temperaturdefinition die Quantitätsgrösse oder die Verhältnissgrösse benutzen will. Hr. Schreiber entscheidet sich für das Letztere und gelangt so zu einer Definition, die man kurz so aussprechen kann:

Die Differenz der Temperaturen zweier Körper soll 1° betragen, unabhängig in welchem Theile der Scala diese Differenz liegt, wenn der Zerstreuungsgrad (also auch der Wirkungsgrad) eines umkehrbaren Processes zwischen ihnen gerade $\frac{1}{2}$ ist. Daraus folgt dann weiter, dass wenn der Zerstreuungsgrad eines Processes $(\frac{1}{2})^n$ ist, die Temperaturdifferenz der beiden für den Process als Kessel und Kühler dienenden Körper n° beträgt.

Das Charakteristische dieser Definition ist, dass sie allgemein nur die Differenz zweier Temperaturen liefert, aber keinen Nullpunkt und folglich auch keine absoluten Zahlenwerthe, die man doch in jedem einzelnen Falle braucht. Um dies zu erreichen, muss man einen Vorgang, der sich an einem bestimmten Stoff abspielt, hinzunehmen, etwa das Schmelzen des Eises, und erhält dann zwischen Θ (Celsius) und dem Schreiber'schen T' die Beziehung:

$$T' = \frac{\log(\Theta + 273) - \log 273}{\log 2}.$$

also z. B. für 0°C. : 0° , für 273°C. : 1° , für 3 mal $273 = 819^{\circ}\text{C.}$: 2° , für 7 mal $273 = 1911^{\circ}\text{C.}$: 3° , andererseits für $-\frac{1}{2}$ mal $273 = -136,5^{\circ}\text{C.}$: -1° etc. Ich will diese Scala der Celsius'schen gegenüber als geometrische Scala (weil sie vom Charakter einer geometrischen Reihe ist) und der Dalton'schen gegenüber (die auch geometrisch ist) als *geometrische absolute Temperaturscala* bezeichnen.

Gerade entgegengesetzt ist der andere Weg, den man einschlagen kann. Man erhält zunächst rein thermodynamisch einen Nullpunkt aus der Erwägung, dass der Zerstreuungsgrad nicht kleiner als Null werden kann, und gelangt dann (wie z. B. Maxwell ganz elementar zeigt) zu der Proportion:

Temperatur des Kühlers zu der des Kessels wie die abgegebene zur aufgenommenen Wärmemenge, d. h. gleich dem Zerstreuungsgrade. Indem man somit den Nullpunkt und das Verhältniss zweier Temperaturen festlegt, kann (oder muss) man zugleich angeben, was für einen Temperaturgrad (also die Temperaturdifferenz) in verschiedenen Scalengegenden constant sein soll: die Arbeitsgrösse. Um freilich die Grösse eines solchen, in allen Scalengegenden gleichen Grades festzulegen, muss man nun eine specielle Wahl treffen. Gewöhnlich trifft man sie, indem man den Schmelzpunkt des Eises mit der Zahl 273 versieht — gerade wie Hr. Schreiber für die geometrische Scala mit der Zahl 0. Man kann aber auch ganz anders vorgehen, indem man zwar auch einen individuellen Stoff, das Wasser, benutzt, *aber ohne dieses in anderer Weise heranzuziehen, als dies schon in einer früheren Phase der Entwicklung des absoluten Maasssystems geschehen war (nämlich bei der Feststellung der Masseneinheit)*, indem man festsetzt: *1° soll diejenige Temperatursteigerung sein, welche 1 g Wasser erfährt, wenn ihm die Arbeitseinheit zugeführt (und, wie man hinzufügen muss, ganz in Wärme umgesetzt) wird.* Da die specifische Wärme von der Temperatur abhängt, ist das Verhältniss eines solchen Grades zum Celsiusgrad in den verschiedenen Scalengegenden etwas verschieden, bei gewöhnlicher Temperatur ist es 1:42 000 000, und die Beziehung zwischen T und Θ wird

$$T = j(\Theta + 273),$$

wo j eben die obige Joule'sche Zahl ist. In der Praxis müsste man dann, weil diese Grade zu klein sind (einen ähnlichen Vorschlag macht Hr. Schreiber für seine zu grossen Grade), das Millionfache einführen und als „absolute Mega-grade“ bezeichnen, deren einer alsdann $\frac{1}{42}$ Celsiusgrad sein würde, eine für feinere Messungen sehr geeignete Einheit. Das Arbeitsäquivalent der Wärmeeinheit wird dann gleich 1, gerade wie das der absoluten electrischen etc. Energieeinheit. Ich pflege diese Festlegung des Grades in der Vorlesung seit Jahren zu bringen und vermthe, dass dies auch anderwärts geschieht; auch in Veröffentlichungen dürfte der Gedanke sich schon ausgesprochen finden. Ich will diese Scala die *arithmetische absolute Temperaturscala* nennen.

Wir können nun die beiden Scalen miteinander vergleichen. Wie die Beziehung

$$T' = \frac{\log T - \log j - \log 273}{\log 2}$$

lehrt, ist die geometrische Temperatur, von constanten oder nur schwach veränderlichen Grössen abgesehen, der Logarithmus der arithmetischen; Hr. Schreiber gesteht also den Logarithmen das Prädicat „absolut“ zu, das er den Zahlen verweigert.

Gehen wir näher auf die beiden Scalen ein, so kommen wir zu dem Ergebnisse, dass die geometrische die absolute Gradgrösse, die arithmetische den Nullpunkt, das Temperaturverhältniss und die relative Gradgrösse allgemein bestimmt, dass dagegen jene zur Erlangung eines Nullpunktes, diese zur Erlangung einer absoluten Gradgrösse, beide also zur Erlangung wirklicher Temperaturzahlen, eine specielle Wahl treffen müssen; hierzu *kann* beide Male der Schmelzpunkt des Eises dienen, bei der arithmetischen Scala *kann* aber auch die Wirkung der Arbeitseinheit auf Wasser oder, wie man sagen kann, die Wärmecapacität des Wassers zu Grunde gelegt werden. Wirklich absolut, wenn man darunter die Unabhängigkeit von der Natur eines Stoffes verstehen will, ist also keine der beiden Scalen und kann es auch gar nicht sein, weil zwischen den Begriffen Temperatur und Wärme, deren letzterer ein Arbeitsbegriff ist, ein Capacitätsfactor steht. Nennt man aber das mechanische Maasssystem, bei welchem doch auch nur das *Verhältniss* zweier Massen allgemein, die Masseneinheit aber nur mit Hülfe des Capacitätsfactors des Wassers für bewegende Kraft festgelegt wird, absolut, so darf man auch die arithmetische Temperaturscala als eine absolute bezeichnen. Schliesslich kann man, in gewissem Sinne mit gleichem Recht, auch der geometrischen Scala dies Prädicat geben, indem man sagt, dass der Eispunkt für sie die analoge Nebenbedeutung (im Interesse eindeutiger Ausdrucksweise) habe, wie die Gradeinheit für die arithmetische.

Die geometrische Scala in der Schreiber'schen oder Dalton'schen Form hat etwas Verführerisches gegenüber der arithmetischen oder Galilei'schen: sie besagt, dass sich für eine

bestimmte Temperaturänderung eine gewisse Eigenschaft (Volumen, Spannung etc.) um den und den Bruchtheil ihres augenblicklichen Werthes ändere, und es wird kaum jemand zu allen Zeiten von dem Gefühl frei gewesen sein, dass eine solche Vorstellung mehr befriedige. Aber begründet ist sie durch nichts, und es muss geradezu als ein Vorzug der arithmetischen Scala bezeichnet werden, dass sie solchen Vorstellungen keinen Einfluss verstattet. Auch Hr. Schreiber scheint (worin er übrigens, wie Mach in seinem Buche zeigt, sehr berühmte Genossen hat) von vorgefassten Anschauungen nicht völlig frei zu sein. Sonst würde er nicht p. 172 sagen: „Die zweite Definition gestattet nun eine solche Erweiterung nicht, da ja die Länge eines Grades in verschiedenen Gegenden der Scala verschieden ist“ (die Länge eines Grades soll erst definiert werden!). Sonst würde wohl auch die Bemerkung p. 168 und 169 eine andere Fassung erhalten haben; die Länge eines Grades zwischen Eis- und Siedepunkt muss doch dieselbe sein, ob man diese Punkte 0 und 100 oder -100 und 0 nennt, und thatsächlich ist auch das maassgebende Product, einmal p, α , das andere Mal p, α' in beiden Fällen dasselbe.

Zum Hauptthema zurückkehrend glaube ich nicht, dass die geometrische Scala der den Namen einer absoluten *mindestens* ebenso gut verdienenden arithmetischen gegenüber grössere Vorzüge als Nachtheile besitzt, und dass jedenfalls, wenn eine Umwälzung auf diesem Gebiete überhaupt möglich ist, der Uebergang zu arithmetischen Megagraden, welche die Wärmeeinheit der Arbeitseinheit (Megaerg) gleich machen, dem Uebergange zu geometrischen Mikrograden vorzuziehen ist.

Jena, 29. Januar 1898.

(Eingegangen 14. Januar 1898.)