

Was ist Temperatur?

geschrieben von Chris Frey | 12. August 2026

[Andy May](#)

Ich hätte nie gedacht, dass ich mich einmal an einer ernsthaften Debatte über die Definition von „Temperatur“ beteiligen würde. Aber genau das ist auf Twitter passiert – und zwar mit Leuten, die einen Abschluss in Physik und anderen Naturwissenschaften haben! Da ich 42 Jahre lang als Petrophysiker mit Schätzungen der kinetischen und effektiven Temperatur gearbeitet habe, kannte ich diese Themen in- und auswendig und habe mir darüber nie weitere Gedanken gemacht. Es war daher ein Schock für mich zu hören, wie Leute (frei übersetzt) sagten, dass es sich dabei nicht wirklich um Temperaturen handele. Die von ihnen vorgeschlagene einzige Definition von „Temperatur“ ist die thermodynamisch-statistische Definition:

Gleichung 1:

$$T = \left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_{N,V}$$

Dabei ist T die Temperatur, U die innere Energie, S die Entropie, $\partial U / \partial S$ die partielle Ableitung der inneren Energie nach der Entropie, N die Teilchenzahl und V das Volumen. Die Ableitung erfolgt unter Beibehaltung des Volumens und der Teilchenzahl; es handelt sich also um eine Gleichgewichtstemperatur, die außerhalb des Labors keine Bedeutung hat. Außerdem ist die Entropie nur in der Gleichgewichts-Thermodynamik eine genau definierte Zustandsfunktion; außerhalb des Gleichgewichts kann die Entropie statistisch definiert werden (siehe Boltzmann), ist jedoch nicht eindeutig und erfüllt nicht die gleiche Rolle.

Gleichung 1 kann als Definition der „Gleichgewichtstemperatur“ bezeichnet werden, und wenn sich ein System im Gleichgewicht befindet, ist dies eine exakte Definition. Sie folgt unmittelbar aus dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik. Der erste Hauptsatz besagt, dass Energie weder erzeugt noch vernichtet, sondern nur von einer Form in eine andere umgewandelt werden kann. Allerdings ist der erste Hauptsatz nicht die einzige Definition von Temperatur, wie der Begriff heute verwendet wird. Es gibt viele andere Temperaturdefinitionen, die sowohl im allgemeinen Sprachgebrauch als auch in der Wissenschaft gebräuchlich sind. Betrachten wir einige davon:

Kinetische Temperatur

Man kann die momentane Temperatur von Molekülen in einer Stoßwelle, einem Plasma, einer turbulenten Strömung oder einem mittels Laser erwärmten Gas messen. Sie ist eine Funktion der mittleren kinetischen Energie der Moleküle im Gas (oder einem anderen Fluid) (Reif, 2009). Diese Temperatur findet breite Anwendung in der Stoßwellenphysik, der Plasmaphysik, der Petrophysik (meinem früheren Berufsfeld) sowie in Simulationen der Molekulardynamik. Es handelt sich um eine gültige Temperatur, die kein thermodynamisches Gleichgewicht voraussetzt.

Effektive Temperatur

Es gibt einige Systeme, die überhaupt keine Gleichgewichtstemperatur aufweisen. Dennoch definieren wir für diese Systeme routinemäßig eine effektive Temperatur (Herzberg, 1950). Dazu gehören Turbulenzen, körnige Materialien, aktive Materie, sich bewegende dissipative Systeme usw. Diese Temperaturen sind legitim und nützlich.

Nichtgleichgewichtssysteme besitzen eine Temperatur, manchmal sogar mehr als eine, je nach den verwendeten Parametern. Beispielsweise kann ein Molekularstrahl eine Schwingungs- oder Rotationstemperatur aufweisen, wobei diese voneinander abweichen können. Plasmen können eine Elektronentemperatur oder eine Ionentemperatur haben. NMR-Systeme weisen eine Spintemperatur auf. Elektronische Schaltungen haben eine Rauschtemperatur. Diese Temperaturen sind aussagekräftig und wichtig, insbesondere wenn sich das System weit vom Gleichgewichtszustand entfernt befindet.

Lokale Temperatur

Dies ist die Temperatur, die in klimawissenschaftlichen und meteorologischen Untersuchungen verwendet wird. Sie bildet die Grundlage für die Wärmeleitung und die Hydrodynamik. Man geht von einem lokalen thermodynamischen Gleichgewicht über ein bestimmtes Volumen aus und misst oder nimmt eine lokale Temperatur für dieses Volumen an. Dies ist die Logik, die den berühmten Navier-Stokes-Gleichungen zugrunde liegt. Dieses angenommene „lokale Gleichgewicht“ gilt für kleine Volumina (zum Beispiel ein „Luftpaket“) über kurze Zeiträume. Das Problem bei einigen Klimamodellen besteht darin, dass sie ein „lokales Gleichgewicht“ für Volumina und Zeiträume annehmen, die viel zu groß und zu lang sind.

Diskussion

Die Temperatur ist keine primitive mechanische Eigenschaft wie die Masse; sie ist eine emergente statistische Eigenschaft, welche die Verteilung der Energie auf die Freiheitsgrade charakterisiert (Landau & Lifshitz, 1980). Die Masse kann unabhängig vom Rest des Universums oder des Systems gemessen werden und ändert sich nicht, wenn sich das umgebende System verändert. Die Temperatur folgt aus dem 0. Hauptsatz

der Thermodynamik, der besagt:

Befindet sich System A im thermischen Gleichgewicht mit System B,
und befindet sich System B im thermischen Gleichgewicht mit System C,
dann befindet sich A im thermischen Gleichgewicht mit C.

Der 0. Hauptsatz besagt, dass „Temperatur“ eine aussagekräftige physikalische Größe ist, weil das thermische Gleichgewicht transitiv ist. Er definiert die Temperatur zwar nicht, garantiert jedoch, dass sie aussagekräftig und messbar ist. Oft hört man, dass die Temperatur transitiv sei, doch dies trifft nur unter Laborbedingungen oder im Gleichgewicht zu. Außerhalb des Gleichgewichts kann die Temperatur ihre Transitivität verlieren, und unterschiedliche Freiheitsgrade können zu unterschiedlichen Temperaturen führen. Die Transitivität ist die Grundlage der Gleichgewichtstemperatur, jedoch nicht aller Temperaturmessungen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die thermodynamische Definition der Temperatur nur für Gleichgewichtszustände gilt, die Physik jedoch viele andere Temperaturkonzepte wie die kinetische, die effektive, die lokale und die verallgemeinerte Temperatur verwendet, die für die Beschreibung realer Systeme fernab vom Gleichgewicht unerlässlich sind. Die Beschränkung des Begriffs „Temperatur“ auf seine Gleichgewichtsdefinition lässt das breite Spektrum physikalischer Systeme außer Acht, in denen die Temperatur klar definiert und unverzichtbar ist.

Bibliography

Herzberg, G. (1950). *Molecular Spectra and Molecular Structure. Volume I: Spectra of Diatomic Molecules. Second Edition.* D. Van Nostrand.

Landau, L. D., & Lifshitz, E. M. (1980). *Statistical Physics, Third Edition.* Butterworth-Heinemann.

Reif, F. (2009). *Fundamentals of Statistical and Thermal Physics.* Waveland Press, Inc.

Link: <https://andymaypetrophysicist.com/2026/08/08/defining-temperature/>

Übersetzt von Christian Freuer für das EIKE