

# Kaffeefreuden im Zug

Temperatur gleichbleibend: Was geschieht, wenn winzige Teilchen in Fahrt geraten

Seit rund einem Jahrhundert diskutieren Physiker darüber, ob sich die Temperatur von Teilchen ändert, wenn man sie in Bewegung setzt. Wissenschaftlern aus Augsburg und Sevilla ist jetzt mithilfe eines geeigneten Thermometers der Nachweis gelungen, dass die Geschwindigkeit keinerlei Einfluss hat auf Hitze oder Kälte eines Gases oder einer Flüssigkeit.

Verbrennt man sich an einem Kaffee, der im TGV serviert wird, eher die Zunge als an einem ebenso heißen Kaffee im langsameren IC? Ändert sich also die Temperatur einer Flüssigkeit, wenn sie in Tempo gerät? Augsburger Physiker haben sich gemeinsam mit spanischen Kollegen dieser Frage angenommen. Die Antwort: Der Kaffee ist immer gleich heiß.

Den Forschern ist damit gelungen, ein offenes und viel diskutiertes Problem der Thermodynamik und der Einstein'schen Relativitätstheorie zu klären. Mittels molekular-dynamischer Simulationen konnten sie zeigen, dass bei Wahl eines geeigneten Thermometers die Temperatur eines Körpers nicht von dessen Bewegungszustand abhängt. Egal also, wie schnell sich die Teilchen in der Flüssigkeit auch bewegen: Die Temperatur des Getränks bleibt dieselbe.

Thermodynamik und Einstein'sche Relativitätstheorie sind neben der Quantenmechanik die Eckpfeiler der modernen Physik. Anders als spezielle Teilgebiete wie Akustik oder Optik bilden sie ein allgemeines Rahmenwerk, das sämtliche Aspekte der Physik umfasst und beeinflusst. Die Vereinigung von Thermodynamik und Relativitätstheorie wird seit Beginn des vorigen Jahrhunderts intensiv diskutiert. Vor Bekanntwerden der Speziellen Relativitätstheorie im Jahre 1905 wurde angenommen, dass sich die Teilchengeschwindigkeiten in einem Gas gemäß einer Gauß'schen Statistik verteilen. Letztere erlaubt prinzipiell auch Geschwindigkeitswerte, die die Lichtgeschwindigkeit überschreiten. Wie bereits Max Planck erkannte, steht dies jedoch im Widerspruch zur Einstein'schen Relativitätstheorie, derzufolge massenbehaftete Teilchen sich nicht schneller als Licht bewegen dürfen. Die Gauß'sche Geschwindigkeitsverteilung ist also im Rahmen

der Relativitätstheorie so zu ersetzen, dass keine Überlichtgeschwindigkeiten mehr auftreten können. Doch wie sieht die tatsächlich richtige relativistische Geschwindigkeitsverteilung aus?

Um hier Klarheit zu schaffen, haben die Physiker Jörn Dunkel, Peter Talkner und Peter Hänggi am Lehrstuhl für Theoretische Physik I der Universität Augsburg in Zusammenarbeit mit Kollegen von der Universität Sevilla Simulationen zur Molekulardynamik relativistischer Gase durchgeführt und dabei mit hoher Genauigkeit eine Verteilung bestätigt, die bereits im Jahre 1911 von Ferencz Jüttner postuliert wurde. Darüber hinaus klären die Computer-Experimente der bayerisch-spanischen Forschergruppe in anschaulicher Weise, wie sich das Konzept der Temperatur in die Relativitätstheorie einbetten lässt.

Sie zeigen, wie man anhand statistischer Daten ein Thermometer konstruieren kann, das die Temperatur schnell

relativistischer Teilchen zu bestimmen vermag. Die Spezielle Relativitätstheorie besagt unter anderem, dass sich die Länge eines bewegten Stabes vom ruhenden Beobachter aus gesehen verringert. Im Jahre 1907 schlugen Planck und Einstein vor, dass sich auch die absolute Temperatur eines bewegten Körpers verringere. Andere große Physiker argumentierten dagegen für eine Temperaturerhöhung, während einige Autoren die Auffassung vertraten, dass sich die Temperatur nicht ändere. „Diese Verwirrung“, so Peter Hänggi, „geistert bis zum heutigen Tag in der Physik herum. Unsere Simulationen geben diesbezüglich zumindest für Systeme in einer Dimension eine klare Antwort: Bei Verwendung eines geeigneten statistischen Thermometers hängt die Temperatur eines Gases nicht von seiner Bewegung relativ zum Beobachter ab, ein mit konstanter Geschwindigkeit bewegtes Gas erscheint also weder erhitzt noch abgekühlt.“ ◊

Wenn heißer Kaffee auf Reisen geht: Komplizierte Formeln weisen nach, dass die absolute Temperatur eines bewegten Körpers gleich bleibt.

Das Diagramm zeigt einen Zug, der sich von links nach rechts bewegt. Im Inneren des Zuges sind ein Thermometer und eine Uhr zu sehen. Die Temperatur im Zug ist als  $T(u)$  bezeichnet, die Zeit als  $t(u)$  und die Länge als  $l(u)$ . Die entsprechenden Werte im Ruhesystem sind  $T_0$ ,  $t_0$  und  $l_0$ . Die Formeln sind:

$$l(u) = l_0 \gamma^{-1} \quad t(u) = t_0 \gamma^{+1} \quad T(u) = T_0 \gamma^\alpha$$

Wobei  $\alpha = ?$