Der absolute Nullpunkt: Warum es nicht kälter als −273,15 °C geht

THERMODYNAMIK

Im Fallturm der Universität Bremen ließen Physiker eine Wolke aus 100.000 Rubidiumatomen 120 Meter tief fallen. Während des freien Falls kühlten sie das Gas auf 38 Pikokelvin, also 38 Billionstel Grad über dem absoluten Nullpunkt [1],[2]. Kälter hat bis dahin niemand etwas gemessen. Den Nullpunkt selbst erreichten sie trotzdem nicht. Das wird auch niemand jemals schaffen, und der Grund dafür gehört zu den tiefsten Aussagen der Physik.

Was Temperatur eigentlich ist

Temperatur misst, wie heftig sich die Atome und Moleküle eines Stoffes im Mittel bewegen. Je wärmer etwas ist, desto mehr Bewegungsenergie steckt in seinen Teilchen [3]. Kühlt man ab, werden sie langsamer. Irgendwann muss es also eine unterste Grenze geben, an der nichts mehr herauszuholen ist. Genau dort beginnt die Kelvin-Skala, die Physiker deshalb absolut nennen [3].

Ein Kelvin ist gleich groß wie ein Grad Celsius, nur der Startpunkt ist verschoben. Null Kelvin entsprechen −273,15 °C, eine Zimmertemperatur von 21 °C entspricht 294 Kelvin [3]. Umrechnen lässt sich das so:

$$T / \mathrm{K} = \vartheta / {}^{\circ}\mathrm{C} + 273{,}15 \tag{1}$$

Seit der Reform der SI-Einheiten hängt das Kelvin an einer Naturkonstanten. Die Boltzmann-Konstante, die Temperatur und Teilchenenergie verbindet, hat seither den festen Wert 1,380649 · 10^{-23} Joule pro Kelvin [4]. Vorher war das Kelvin an den Tripelpunkt von Wasser gebunden und hing damit an den Eigenschaften eines bestimmten Stoffes. Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt hat die Konstante dafür mit einem sogenannten Dielektrizitätskonstanten-Gasthermometer mitbestimmt [5].

Steht am Nullpunkt alles still?

So stellte man sich das im 19. Jahrhundert vor. Die Quantenphysik sagt etwas anderes: Auch am absoluten Nullpunkt bleibt eine kleine Restbewegung, die Nullpunktsbewegung[3]. Der Grund ist die Heisenbergsche Unschärferelation. Ein Teilchen, das völlig still an einem festen Ort säße, hätte zugleich einen genau bekannten Ort und einen genau bekannten Impuls. Das verbietet die Quantenmechanik. Diese Restbewegung zählt aber nicht als Wärme, sie geht in die Temperatur nicht ein[3].

Warum man den Nullpunkt nie erreicht

Der dritte Hauptsatz der Thermodynamik sagt in seiner bekanntesten Form: Kein Verfahren kann ein System in endlich vielen Schritten und in endlicher Zeit auf den absoluten Nullpunkt kühlen. 2017 haben Lluís Masanes und Jonathan Oppenheim gezeigt, dass das für jede denkbare Kühlmethode gilt, auch für solche, die Quanteneffekte ausnutzen[6].

Anschaulich kann man es sich so vorstellen: Jeder Kühlschritt holt einen Teil der restlichen Wärme heraus, aber nie alles. Je kälter das System schon ist, desto weniger lässt sich pro Schritt noch abziehen. Man kommt dem Ziel immer näher, ohne es zu berühren, wie in Abbildung 1 zu sehen, wo der Nullpunkt unendlich weit unter dem unteren Rand läge.

Wie kalt ist das Weltall?

Selbst der leere Raum zwischen den Galaxien ist nicht am Nullpunkt. Er ist erfüllt vom Nachglühen des Urknalls, der kosmischen Hintergrundstrahlung, mit einer Temperatur von 2,72548 Kelvin[7]. Mehr über diese frühe Phase steht im Artikel über den Urknall.

Der kälteste natürliche Ort, den man kennt, ist sogar noch kälter: der Bumerangnebel im Sternbild Zentaur, rund 5000 Lichtjahre entfernt. Sein Gas hat etwa 1 Kelvin[8]. Ein Stern am Ende seines Lebens schleudert dort Gas mit hoher Geschwindigkeit ins All, und dieser Ausfluss hat sich bis unter die Temperatur der Hintergrundstrahlung abgekühlt[9].

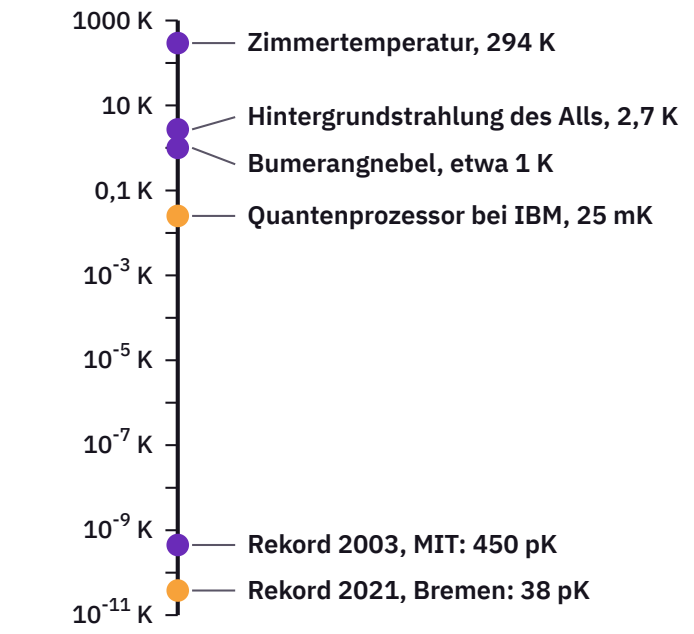

Abb. 1: Temperaturen im Vergleich, auf einer logarithmischen Skala. Jeder Teilstrich bedeutet einen Faktor zehn. Werte nach [3],[7],[8],[10],[11],[2].

Kälter als das All: Rekorde im Labor

Die tiefsten Temperaturen der Welt entstehen auf der Erde. Der Trick heißt Laserkühlung: Atome werden mit Laserlicht so beschossen, dass sie bei jedem Stoß ein wenig Schwung verlieren. Für diese Methode gab es 1997 den Nobelpreis [12]. Mit weiteren Tricks wie dem Verdampfungskühlen, bei dem man gezielt die schnellsten Atome entkommen lässt, gelang schließlich das Bose-Einstein-Kondensat, ein Zustand, in dem viele Atome sich wie ein einziges Quantenobjekt verhalten. Das brachte 2001 den nächsten Nobelpreis [13]. Warum das nur mit Bosonen funktioniert, erklärt der Artikel über Fermionen und Bosonen.

2003 kühlte ein Team um Wolfgang Ketterle am MIT ein solches Kondensat auf 450 Pikokelvin [11]. Den heutigen Rekord halten die Forscher aus Bremen mit 38 Pikokelvin. Ihr Trick: Im freien Fall stört die Schwerkraft nicht, und die Atomwolke ließ sich bis zu zwei Sekunden so kalt halten [1],[2]. Das ist rund 70 Milliarden Mal kälter als das Weltall.

Was	Temperatur	in °C
Zimmertemperatur	294 K	21 °C
Kosmische Hintergrundstrahlung	2,725 K	−270,42 °C
Bumerangnebel	etwa 1 K	etwa −272 °C
Quantenprozessor im IBM-Kühlsystem Goldeneye	etwa 25 mK	−273,125 °C
Bose-Einstein-Kondensat, MIT 2003	450 pK	−273,14999999955 °C
Rekord Bremen 2021	38 pK	−273,149999999962 °C
Absoluter Nullpunkt	0 K	−273,15 °C

Temperaturen von warm bis extrem kalt. Die Celsius-Werte sind umgerechnet. Quellen: [3],[7],[8],[10],[11],[2].

Warum Quantencomputer so viel Kälte brauchen

Die Kälteforschung ist längst kein Selbstzweck mehr. Quantencomputer mit supraleitenden Qubits arbeiten nur wenige Tausendstel Grad über dem Nullpunkt. Wärme würde die empfindlichen Quantenzustände sofort zerstören. IBM hat dafür mit Goldeneye ein besonders großes Kühlsystem gebaut, das einen Quantenprozessor auf etwa 25 Millikelvin herunterkühlt. Es arbeitet als Mischungskühler mit den beiden Heliumsorten Helium-3 und Helium-4 und wiegt 6,7 Tonnen [10].

Wie solche Rechner funktionieren und wo die Technik heute steht, beschreibt der Artikel über Quantencomputer. Was in Metallen passiert, wenn sie so kalt werden, dass der elektrische Widerstand verschwindet, steht im Artikel über Supraleitung.

Fragen zum absoluten Nullpunkt

Wie viel Grad ist der absolute Nullpunkt?

Der absolute Nullpunkt liegt bei 0 Kelvin, das sind −273,15 Grad Celsius oder −459,67 Grad Fahrenheit.

Kann man den absoluten Nullpunkt erreichen?

Nein. Nach dem dritten Hauptsatz der Thermodynamik lässt er sich mit keinem Verfahren in endlicher Zeit erreichen. Man kann ihm nur beliebig nahe kommen.

Was ist die kälteste jemals gemessene Temperatur?

Forscher der Universität Bremen erreichten 2021 im Fallturm 38 Pikokelvin, also 38 Billionstel Kelvin über dem absoluten Nullpunkt.

Wie kalt ist es im Weltall?

Die kosmische Hintergrundstrahlung hat 2,725 Kelvin, rund −270 °C. Der Bumerangnebel ist mit etwa 1 Kelvin der kälteste bekannte natürliche Ort.

Bewegen sich Atome am absoluten Nullpunkt nicht mehr?

Doch, ein wenig. Wegen der Unschärferelation bleibt eine quantenmechanische Nullpunktsbewegung, die aber nicht als Wärme zählt.

Quellen

1. M. Irving: *Coldest temperature ever recorded is a fraction above absolute zero.* New Atlas, 9. September 2021, newatlas.com.
2. D. Deppner u. a.: *Collective-Mode Enhanced Matter-Wave Optics.* In: Physical Review Letters 127 (2021), 100401, doi:10.1103/PhysRevLett.127.100401.
3. NIST: *Kelvin: Introduction.* nist.gov.
4. BIPM: *SI base unit: kelvin (K).* bipm.org.
5. PTB: *The kelvin – the Boltzmann project.* ptb.de.
6. L. Masanes, J. Oppenheim: *A general derivation and quantification of the third law of thermodynamics.* In: Nature Communications 8 (2017), 14538, doi:10.1038/ncomms14538.
7. D. J. Fixsen: *The Temperature of the Cosmic Microwave Background.* In: The Astrophysical Journal 707 (2009), S. 916–920, doi:10.1088/0004-637X/707/2/916.
8. NASA JPL: *Ghostly Specter Haunts the Coldest Place in the Universe.* 25. Oktober 2013, jpl.nasa.gov.
9. R. Sahai u. a.: *ALMA Observations of the Coldest Place in the Universe: The Boomerang Nebula.* In: The Astrophysical Journal 777 (2013), 92, doi:10.1088/0004-637X/777/2/92.
10. IBM Research: *Project Goldeneye: a cryogenic concept system.* IBM Research Blog, 2022, research.ibm.com.
11. A. E. Leanhardt u. a.: *Cooling Bose-Einstein Condensates Below 500 Picokelvin.* In: Science 301 (2003), S. 1513–1515, doi:10.1126/science.1088827.
12. Nobel Prize Outreach: *The Nobel Prize in Physics 1997.* nobelprize.org.
13. Nobel Prize Outreach: *The Nobel Prize in Physics 2001.* nobelprize.org.

Zitiervorschlag

quanten.de: *Der absolute Nullpunkt: Warum es nicht kälter als −273,15 °C geht.* Stand: November 2026. URL: https://quanten.de/absoluter_nullpunkt.html

Texte und Abbildungen © 2026 quanten.de. Nutzung mit Quellenangabe und Link gern, kommerzielle Nutzung nach Absprache: info@quanten.de

Weiterlesen: Unschärferelation · Quantencomputer · Supraleitung · Fermionen und Bosonen