



Was ist kälter als kalt?

Sara: Hallo, da bin ich wieder! Und ich habe schon wieder ein neues Problem: Bisher dachte ich, der Temperaturbegriff sei mir so ziemlich vertraut, denn mit diesem Thema hat man ja ständig zu tun! Aber jetzt fällt mir auf, dass ich mir noch nie Gedanken darüber gemacht habe, wie kalt ein Objekt sein kann.

Anja: Jetzt wollen wir dem mal auf den Grund gehen. Was ist denn die kälteste Temperatur, die du dir vorstellen kannst ? Was fällt dir dazu ein ?

Sara: Also, unser Gefrierschrank zu Hause ist schon sehr kalt, ungefähr $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, aber das ist noch nichts gegen den Winter 1996 / 97, da hatte es ja bis zu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$! Doch da fällt mir ein, dass es in Russland noch kältere Winter gibt....Es gibt ja auch noch den Nordpol – sind die Temperaturen da nicht noch extremer ?

Anja: Da hast du ganz Recht, da kann es bis zu $-66\text{ }^{\circ}\text{C}$ werden, also wirklich kein Vergleich mit dem Gefrierschrank. Jetzt wollen wir das mal zusammen fassen: die kälteste Temperatur, die dir bekannt ist, ist gerundet höchstens $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nun stellt sich ja die Frage, wie kalt es maximal werden kann. Was glaubst du denn ?

Sara: Also sehr viel kälter als $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ halte ich für sehr unwahrscheinlich, allerdings habe ich das Gefühl, dass ich mich da auf meine Vorstellung nicht verlassen kann...

Anja: Ob du es glaubst oder nicht: die niedrigste mögliche Temperatur in der Celsiusskala ist $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$! Man muss allerdings noch dazu sagen, dass sie für unendlich viele Teilchen praktisch nicht zu erreichen ist.

Sara: Jetzt mal bitte langsam: Einerseits ist es die niedrigste Temperatur, aber andererseits ist sie nicht erreichbar. Das ist ja schon ein Widerspruch in sich! Wie soll ich denn das nun wieder verstehen ?

Anja: Ich glaube, wir sollten zuerst einmal den Temperaturbegriff klären. Dazu benötigen wir die thermische Energie, die in jedem Körper enthalten ist, im brennenden Holzsplit wie im kalten Schüßelchen. Berühren sich die beiden Körper, tauschen sie thermische Energie aus: eigentlich kann man sagen, sie werden zu einem großen Körper und die thermische Energie, die zuvor die einzelnen Atome jedes Körpers hatten, ist jetzt in der Gesamtheit enthalten. Da jeder Körper eine bestimmte Menge thermischer Energie mitbringt, bewegt sich diese in beide Richtungen, aber es gibt dennoch eine Richtung des Nettoflusses. Um diese Flussrichtung vorher sagen zu können definieren wir eine Temperatur für jeden Körper.

Sara: Aha, das habe ich, glaub´ich, so halb verstanden; mit dem Nettofluss ist das wohl so wie mit dem Geld: Schulde ich meiner Freundin 5DM und sie mir 8DM,



dann ist der ``Nettofluss`` 3DM, die 5DM heben sich ja weg. Nur wie wird dann Temperatur in diesem Zusammenhang definiert? Was hat denn sie mit der thermischen Energie zu tun?

Anja: Dazu wollte ich gerade kommen. Die Definition lautet so:

Temperatur ist das Maß, das angibt, in welche Richtung, wenn überhaupt, thermische Energie zwischen den Körpern fließt. Fließt diese Energie vom ersten zum zweiten Körper, dann ist die Temperatur des Ersten höher als die des Zweiten. Tritt jedoch kein Energiefluss auf, sind die beiden Körper im sogenannten thermischen Gleichgewicht und ihre Temperaturen sind gleich.

Eine Temperaturskala klassifiziert somit Körper bezüglich der Richtung des thermischen Energieflusses. Wir sagen also, der brennende Holzsplit ist heiß, da er dazu tendiert, thermische Energie an die meisten Körper zu

übertragen, während das Schmelzeis kalt ist, da auf es thermische Energie übergeht.

Sara: Gut, das kann ich schon so weit akzeptieren, aber ich kann mir so wenig unter dieser Energie vorstellen. Gibt es denn kein anschaulicheres Bild für Temperatur? Was würde ich denn sehen, wenn ich in ein sehr heißes Gas hineinsehen könnte, im Unterschied zu einem sehr kalten?



Anja: Dein Problem kann ich gut verstehen und ich denke, ich kann dir weiterhelfen. Wir betrachten jetzt ein Gas. Du weißt ja, dass dieses aus winzigen Bausteinen wie Atomen oder Molekülen besteht. Ist das Gas nun sehr heiß, bewegen sich diese Teilchen sehr, sehr schnell. Je kälter es ist, desto langsamer ist ihre Bewegung, das heißt desto geringer ist ihre kinetische Energie, die ja im Zusammenhang mit ihrer Geschwindigkeit steht. Könntest du also in ein kaltes Gas hinein sehen, würdest du also ganz langsame Atome sehen.

Sara: Das gefällt mir jetzt schon viel besser. Man kann also sagen, im heißen Gas geht die Post ab und alle Teilchen flitzen wie wahnsinnig herum, im kalten dagegen, sind alle fast am Einschlafen, so träge ist ihre Bewegung.

Anja: Nun wollen wir den Kreis noch schließen und den Zusammenhang zur thermischen Energie herstellen. Sie bewirkt, dass die Bausteine hin und her gerüttelt werden in einer endlosen Hast von Aktivität, steht also im Zusammenhang mit der kinetischen Energie. Die thermische Energie ist uns nur deswegen bewußt, da sie die Temperatur bestimmt. Je mehr thermische Energie ein Körper hat, desto höher ist seine Temperatur. Wenn wir also nochmal an unsere ganz tiefen Temperaturen denken...

Sara: ...dann heißt das, dass die Atome ganz langsam sind, oder?

Anja: Gut gefolgert! Und so kommen wir auch zu dem Grund, warum es eine

untere Grenze für die Temperatur gibt: bei -273°C sind die Atome in einem Gas vollkommen in Ruhe, sie bewegen sich nicht mehr. Ihre Geschwindigkeit kann also nicht mehr reduziert werden, ruhiger als in Ruhe geht nicht mehr. Also ist dies das untere Limit für die Temperatur. Jetzt hat man aufgrund dieser unteren Grenze eine neue Temperaturskala definiert: die Kelvin-Skala. Sie beginnt bei der niedrigsten möglichen Temperatur, in diesem Fall 0 K , was -273°C entspricht. Bei gleicher Gradgröße liegt der Nullpunkt der Celsius-Skala beim Erstarrungspunkt von Wasser. Die beiden Skalen sind also lediglich

verschoben. Es gilt folgende Umrechnungsformel:

$$T = t + T_0 \text{ oder}$$

$$t = T - T_0$$

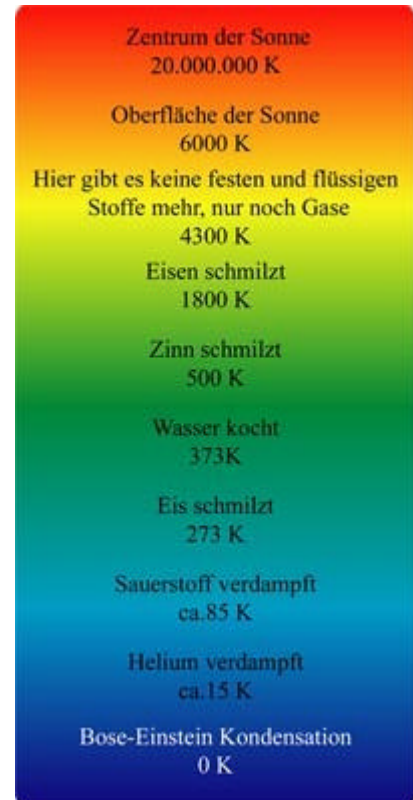
mit

- T Temperatur in Kelvin
- t Temperatur in Grad Celsius
- T_0 Nullpunkt der Celsius- Skala = $273,15\text{K}$

Sara: Das leuchtet mir jetzt immer mehr ein. Aber mich würde noch interessieren, wie langsam die Atome denn nun bei tiefen Temperaturen sind. Wenn ich da an die Anzahl der Teilchen im Vakuum denke, da hast du auch gesagt, dass es nur wenige sind, aber das war alles außerhalb meines Vorstellungsvermögens.

Anja: Keine Angst, diesmal kannst du schon nach deinem Vorstellungsvermögen gehen. Folgende Tabelle gibt dir die Geschwindigkeiten der Atome bei verschiedenen Temperaturen an:

t in $^{\circ}\text{C}$	-273	-270	20
T in K	$300 \cdot 10^{-9}$	3	293
$\langle v \rangle_{\text{Rb}}$ in m/s	$0,0085$	27	266
$\langle v \rangle_{\text{He}}$ in m/s	$0,040$	126	1240



Sara: Bei den für mich vorstellbaren

Temperaturen sind die Teilchen immer noch sehr schnell, aber ich bin schon beeindruckt, wie langsam sie bei ganz wenigen Kelvin ,oder wie das heißt, sind. Das sind ja bei Rubidium nur noch... Moment mal... $8,5\text{mm/s}$, bei Helium aber 40 mm/s . Man sieht wirklich einen deutlichen Unterschied zwischen Helium und

Rubidium. Welches Element wird denn nun bei der Bose-Einstein-Kondensation verwendet?

Anja: Bei uns geht es um Rubidium, da seine große Masse den Kühlungsprozess unterstützt, da die Atome ja wesentlich langsamer sind. Das ist auch hier eine ganz wichtige Voraussetzung, denn dieses Phänomen tritt nur bei sehr, sehr niedrigen Temperaturen auf. Aber für dieses Kapitel ist es nur wichtig, dass du über tiefere Temperaturen Bescheid weißt

Sara: Nun gut, das habe ich so weit begriffen; wenn nicht, kann ich dich ja jederzeit fragen. Ich werde immer neugieriger, was es mit dieser Bose-Einstein Kondensation auf sich hat.

[\[BEC-Home\]](#) [\[Bose\]](#) [\[Einstein\]](#) [\[1924-Story\]](#) [\[1995-Story\]](#) [\[Kondensat\]](#)