



- Kennt der Weltraum Grenzen?
- Kommt man beim fortgesetzten Zerkleinern von Materie irgendwann zu etwas Unteilbarem, also zu Atomen?
- Hatten Raum und Zeit einen Beginn?
- Kann die Temperatur beliebig sinken oder steigen?

Es sind **extrapolierende Fragen**, also über die Grenzen des Bekannten hinaus gehende, die die Menschen seit der Antike beschäftigen. Wo man technisch und durch Beobachtung nicht mehr weiterkommt, versucht man die Frage durch Logik und philosophische Überlegungen zu beantworten. Man versucht durch *gedankliches Fortspinnen* von bekannten Sachverhalten eine Antwort zu finden.

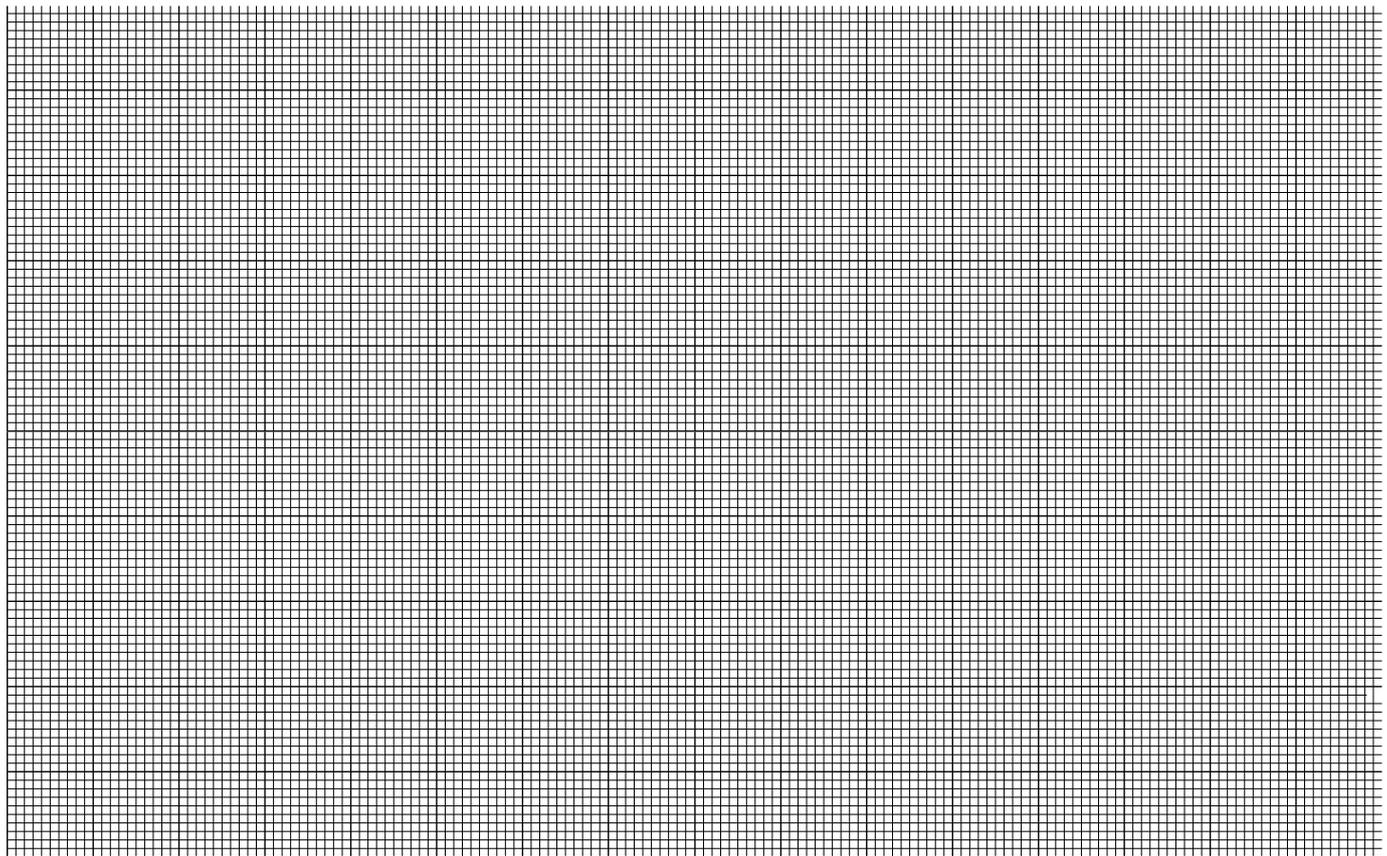
1. Der absolute Nullpunkt kann durch eine lineare Extrapolation bestimmt werden

GUILLAUME AMONTONS (1663 – 1705) erkannte an seinem Thermometer, bei dem man die Temperatur über die Ausdehnung der Luft maß, dass mit steigender Temperatur das Luftvolumen linear zunahm. Er nutzte allerdings damals noch nicht die uns üblichen Einheiten von °C und Liter.

1. Welchen absoluten Nullpunkt für die Temperatur konnte er **extrapolieren**, bei der das Volumen auf 0 sinkt?

Temperatur (umgerechnet in °C):	-20	0	10	20	30	40	100
Volumen in AMONTONS Einheiten:	48	51,5	54,5	56	58	61,5	73

1.1 Tragen Sie die Wertepaare (x-Achse: Temperatur, y-Achse: Volumen) auf und **extrapolieren** Sie AMONTONS absoluten Nullpunkt . **Skalierung:** ganz links unten **-250/0**. $\Delta x: 1 \text{ cm} \hat{=} 25 \text{ }^\circ\text{C}$. $\Delta y: 1 \text{ cm} \hat{=} 10 \text{ Vol-Einheiten}$.



1.2 Für PC und Smartphone:

<https://www.arndt-bruenner.de/mathe/scripts/regr.htm>

Wertepaare eingeben (x und y durch Leerzeichen getrennt), Bei „Terme wählen“ „Gerade“ auswählen. Geradengleichung (f(x) =) abschreiben .



LINK



Lösung (Geradengl.)

Ergebnis: Geradengleichung: $y =$

extrapolierter absoluter Nullpunkt (nach AMONTONS): $x =$

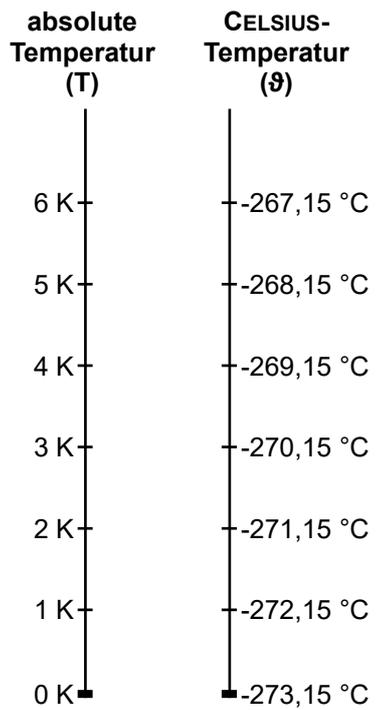
2. Der absolute Nullpunkt ist unerreichbar aber Ausgangspunkt der Kelvinskala

Heute weiß man durch genauere Extrapolationen, dass der absolute Nullpunkt bei ca. $-273,15\text{ °C}$ liegt. Man wird auch in Zukunft auf eine Extrapolation angewiesen sein, denn nach dem **dritten Hauptsatz der Thermodynamik (NERNST'sches Wärmetheorem)** wird der absolute Nullpunkt niemals erreichbar sein. Die Entropie eines Systems, also das Maß der Unordnung, darf in einem idealen Festkörper niemals Null werden. Ein Zustand vollkommener Ordnung, z.B. indem sämtliche Bewegung von Teilchen zum absoluten Erliegen kommt, ist theoretisch nicht möglich. Das wäre beim absoluten Nullpunkt aber gerade der Fall. Man kann sich dem Nullpunkt mit zunehmendem Aufwand asymptotisch annähern, heute hat man sich auf unter ein Milliardstel °C angenähert, erreichen wird man ihn nie.

Naturwissenschaftlich ist es sinnvoll, die Temperaturskala beim absoluten Nullpunkt beginnen zu lassen. Aufgrund internationaler Übereinkunft wurde er auf $-273,15\text{ °C}$ festgelegt. Dort beginnt die **KELVIN-Skala (=Absolute Temperatur)** mit $T = 0\text{ K(ELVIN)}$.

Um das Umrechnen zu Erleichtern, hat man dieselbe Schrittweite gewählt, wie bei der CELSIUS-Skala.

Auch nach oben ist die Temperatur beschränkt: Aus theoretischen Überlegungen folgt, dass sie im Universum bei maximal ca. $1,4 \cdot 10^{32}\text{ K}$ liegen muss, der sogenannten PLANCK-Temperatur.



2.1 Die beiden Skalen rechts zeigen die ersten 6 Grad auf der KELVIN- und der CELSIUS-Skala. Geben Sie Umrechnungsformeln an, um T in ϑ umzurechnen und umgekehrt.

2.2 Rechnen Sie in die jeweils andere Temperatureinheit um.

- | | | |
|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------|
| a) $T = 298\text{ K}$ | b) $T = 250\text{ K}$ | c) Temperaturdifferenz $\Delta T = 250\text{ K}$ |
| d) $\vartheta = 0\text{ °C}$ | e) $\vartheta = 150\text{ °C}$ | f) Temperaturdifferenz $\Delta \vartheta = 0\text{ °C}$ |

3. Das sonderbare Verhalten von Helium nahe dem Nullpunkt

Nahe dem absoluten Nullpunkt zeigt Helium **superflüssiges Verhalten (Superfluidität, Suprafluidität)**:

- Das Wirrwarr der Heliumatome (z.B. voneinander unabhängige Bewegung) kommt zum Erliegen. Die Heliumatome werden Eins. Der Heliumkörper lässt sich bindungstheoretisch nur als Gesamtheit beschreiben. Und das, obwohl He-Atome als Edelgas nicht mal Bindungen eingehen sollten.
- Es ist in der Lage geschlossene Gefäße zu verlassen: Es diffundiert durch die Wände hindurch.

- Es kriecht gegen die Schwerkraft Gefäßwände nach oben.
- Es hat einen elektrischen Widerstand von praktisch 0 Ohm, es ist supraleitend. Als Nichtmetall, sollte es eigentlich nicht mal den Strom leiten.

Sehenswertes 4 Minuten-Video zur Suprafluidität von Helium: <https://youtu.be/9FudzqfpLLs>:

