

14. Grundbegriffe der Wärmelehre

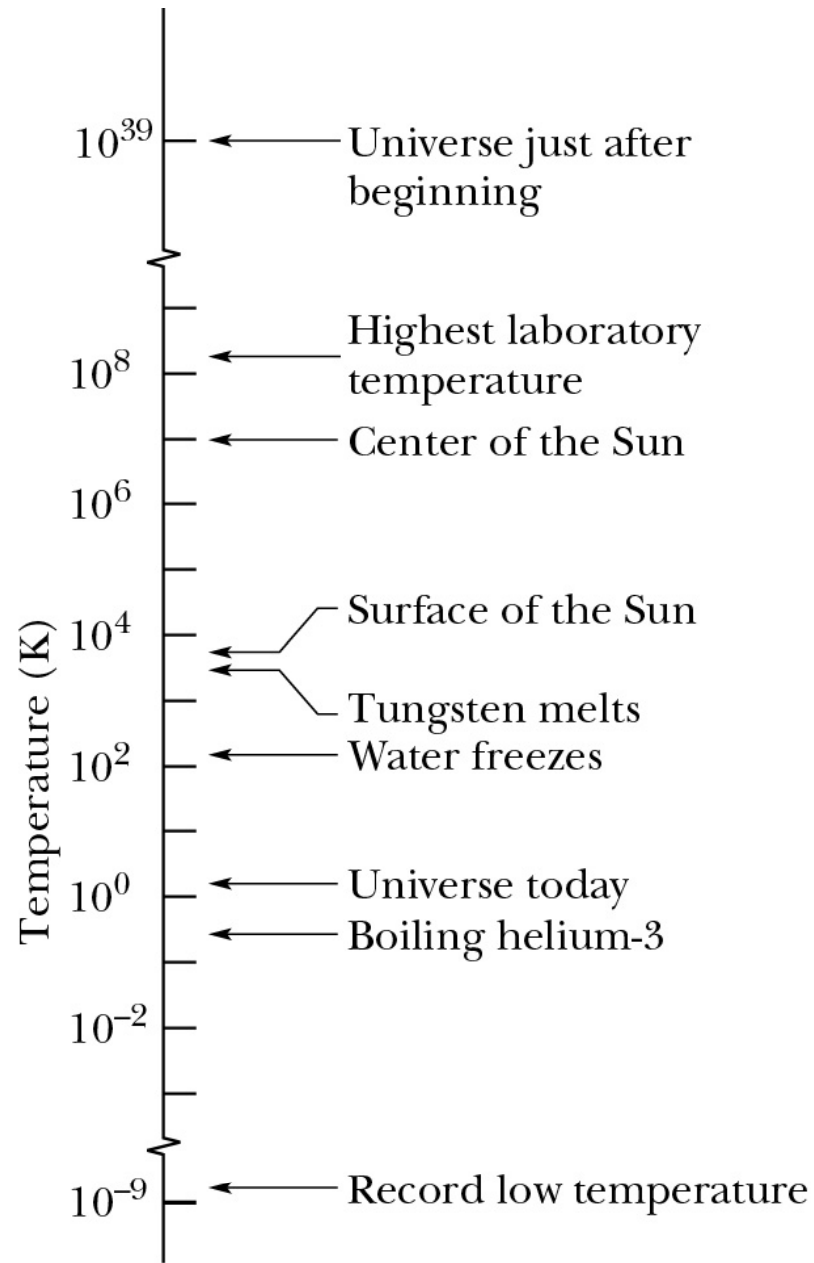
14.1 Temperatur

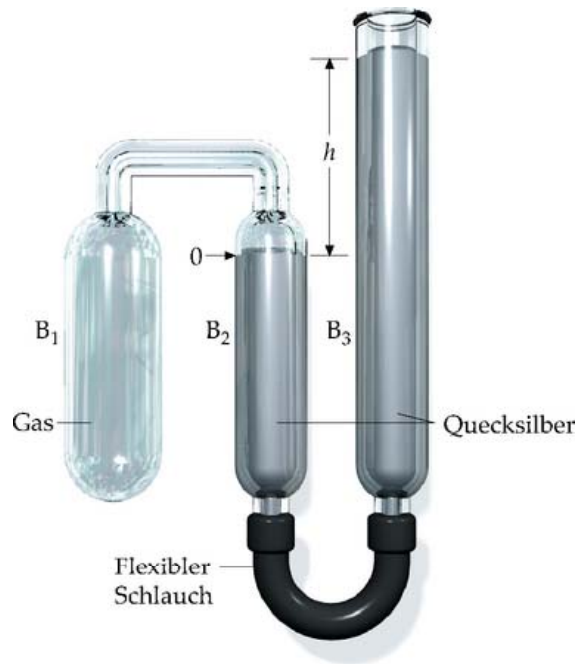
14.2 Wärmeausdehnung von Stoffen

14.3 Der erste Hauptsatz der Wärmelehre

14.4 Wärmekapazität und spezifische Wärme

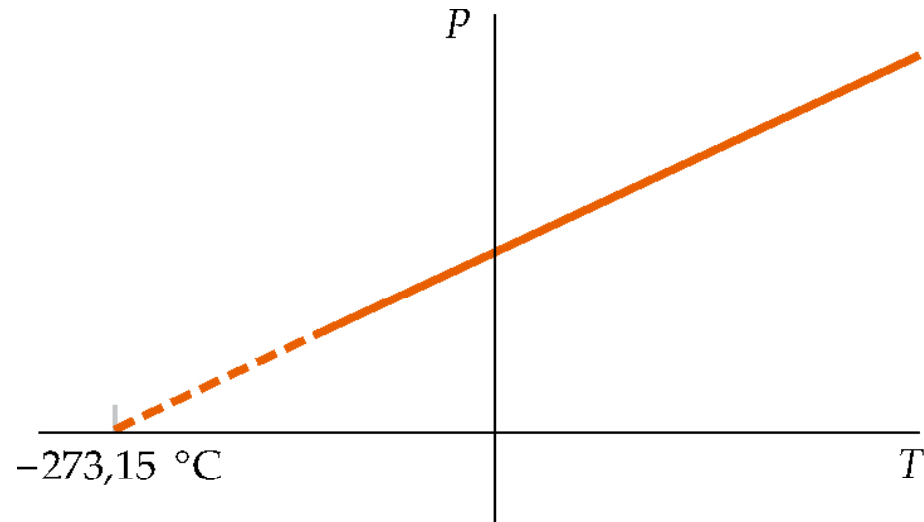
14.5 Wärmetransport





Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

Ein Gasthermometer mit konstantem Volumen. Das Gasvolumen im Gefäß B_1 wird durch Anheben oder Absenken des Gefäßes B_3 konstant gehalten, sodass der Quecksilbermeniskus im Gefäß B_2 stets auf gleicher Höhe (an der Nullmarke) steht. Die Temperatur ist proportional zum Gasdruck im Gefäß B_1 . Dieser Druck wird durch die Höhe h der Quecksilbersäule im Gefäß B_3 angezeigt.

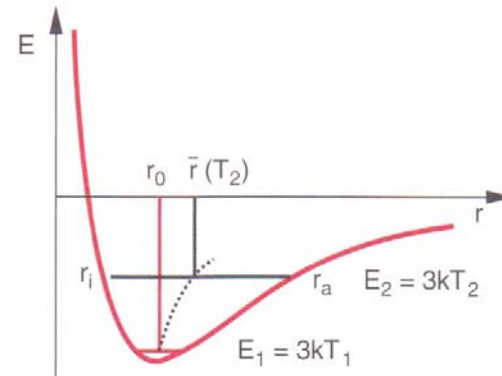


Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

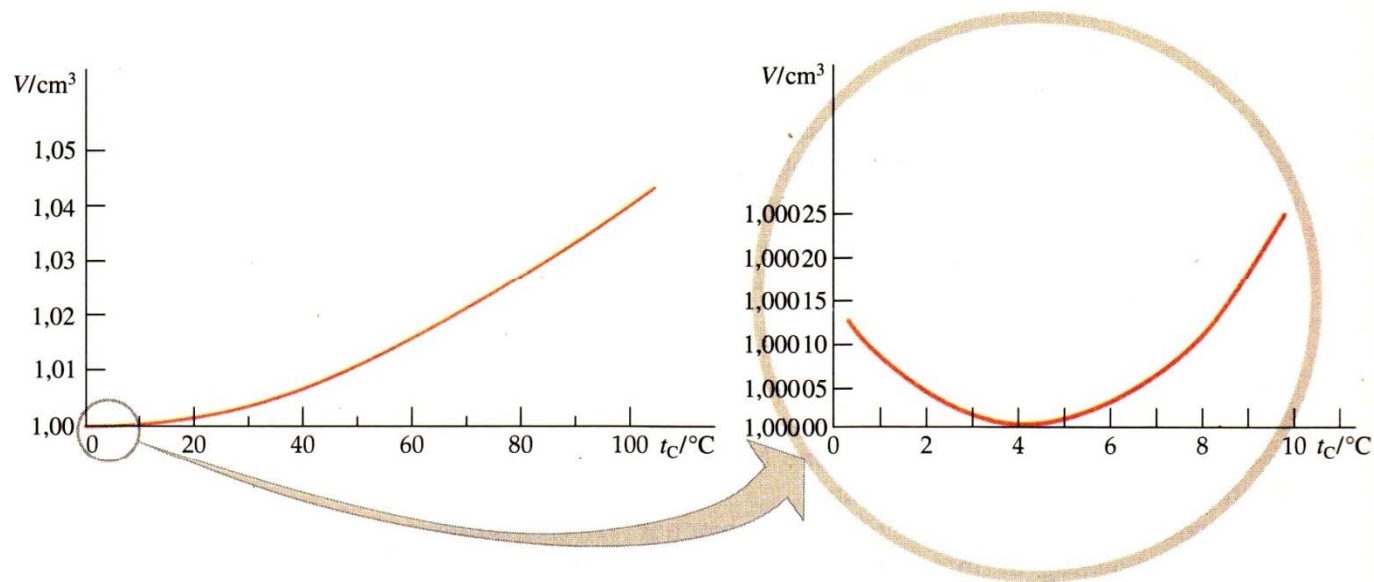
Druck-Temperatur-Diagramm für ein Gas in einem Gasthermometer konstanten Volumens. Bei der Extrapolation auf den Druck null schneidet die Gerade die Temperaturachse stets bei $-273,15^\circ \text{C}$.

Tabelle Näherungswerte des Längenausdehnungskoeffizienten α und des Volumenausdehnungskoeffizienten γ einiger Materialien

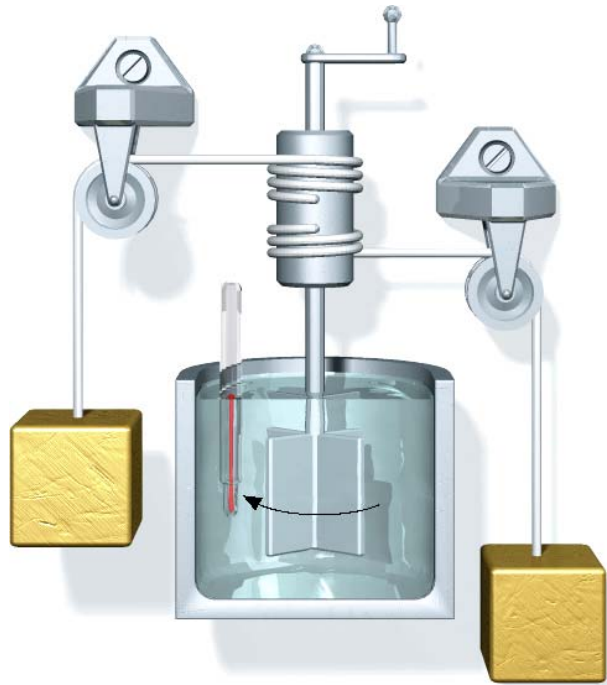
Material	α/K^{-1}
Aluminium	$24 \cdot 10^{-6}$
Eis	$51 \cdot 10^{-6}$
Glas	
Fensterglas	$9 \cdot 10^{-6}$
Pyrex	$3,2 \cdot 10^{-6}$
Invar-Legierung	$1 \cdot 10^{-6}$
Kohlenstoff	
Diamant	$1,2 \cdot 10^{-6}$
Graphit	$7,9 \cdot 10^{-6}$
Kupfer	$17 \cdot 10^{-6}$
Messing	$19 \cdot 10^{-6}$
Stahl	$11 \cdot 10^{-6}$
Material	γ/K^{-1}
Aceton	$1,5 \cdot 10^{-3}$
Ethanol (Alkohol)	$1,1 \cdot 10^{-3}$
Luft	$3,67 \cdot 10^{-3}$
Quecksilber	$0,18 \cdot 10^{-3}$
Wasser (20 °C)	$0,207 \cdot 10^{-3}$



Atomares Modell der thermischen Ausdehnung infolge des anharmonischen Wechselwirkungspotentials

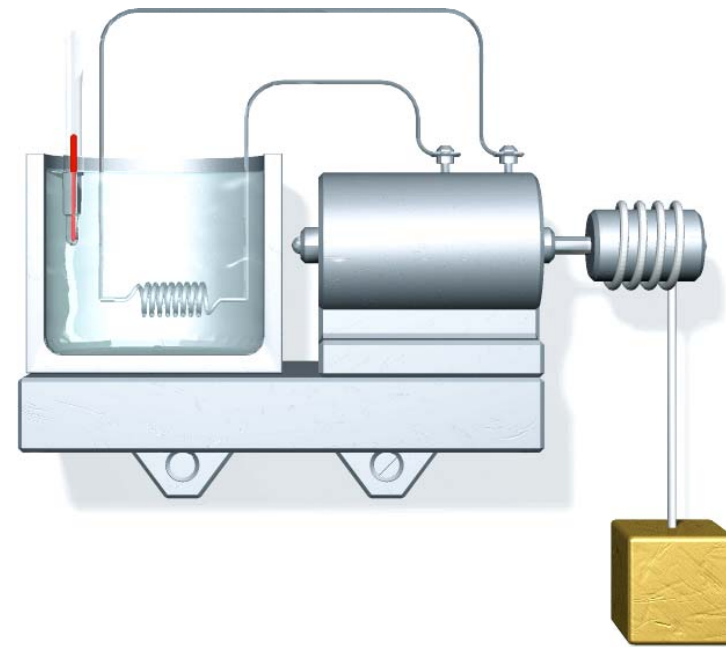


Temperaturabhängigkeit des Volumens von 1 g Wasser (bei Atmosphärendruck). Bei 4 °C ist das Volumen am geringsten und demnach die Dichte am höchsten. Die Dichteabnahme unterhalb von 4 °C nennt man die Anomalie des Wassers.



Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

Schema der Apparatur von Joules Experiment. Das Wasser ist von einer thermisch isolierenden Wandung umgeben, sodass keine Wärme übertragen werden kann. Während die Gewichtsstücke mit konstanter Geschwindigkeit herabfallen, drehen sie über die Seile und die Walze das Schaufelrad im Wasser. Dieses verrichtet dadurch Arbeit am Wasser. Vernachlässigt man die Reibung, dann ist die vom Schaufelrad auf das Wasser übertragene Arbeit gleich der Abnahme der potenziellen Energie der Gewichtsstücke. Sie ist aus ihren Massen und der Höhendifferenz leicht zu berechnen.



Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

Eine andere Methode, einem thermisch isolierten, mit Wasser gefüllten Behälter Arbeit bzw. Energie zuzuführen. Hier wird dem System elektrische Energie zugeführt. Diese wird von einem Generator abgegeben, der vom herabfallenden Gewichtsstück angetrieben wird.

Tabelle Spezifische Wärme c_P und molare Wärmekapazität $C_{P,m}$ einiger Flüssigkeiten und Festkörper bei 20 °C und konstantem Druck (1 atm). (Der Index P steht für konstanten Druck.)

Substanz	$c_P /$ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$c_P /$ $\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$C_{P,m} /$ $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Aluminium	0,900	0,215	24,3
Bismut	0,123	0,0294	25,7
Blei	0,128	0,0305	26,4
Eis (−10 °C)	2,05	0,49	36,9
Ethanol	2,4	0,58	111
Gold	0,126	0,0301	25,6
Kupfer	0,386	0,0923	24,5
Quecksilber	0,140	0,033	28,3
Silber	0,233	0,0558	24,9
Wasser	4,18	1,00	75,2
Wolfram	0,134	0,0321	24,8
Zink	0,387	0,0925	25,2

Wärmeleitfähigkeit λ einiger Festkörper bei 20 °C

Festkörper	λ in W/(m·K)
Diamant	2000
Kupfer (reinst)	395
Eisen (reinst)	80
Contrazid	10.5
Bismut	8.1
Quarzkristall <i>c</i> -Achse	13.6
Quarzglas	1.36
Glas	1.02
Porzellan	1.42
Styropor	0.035

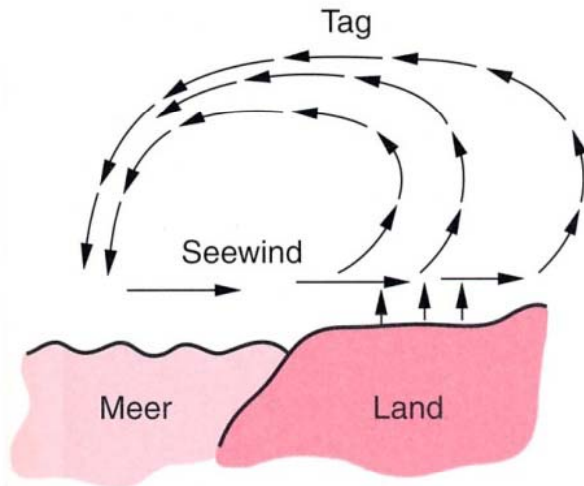
Wärmeleitfähigkeit λ einiger Flüssigkeiten bei 20 °C

Flüssigkeit	λ in W/(m·K)
Wasser	0.6
Glyzerin	0.29
Äthylalkohol	0.17
Benzol	0.15
Quecksilber	8.2

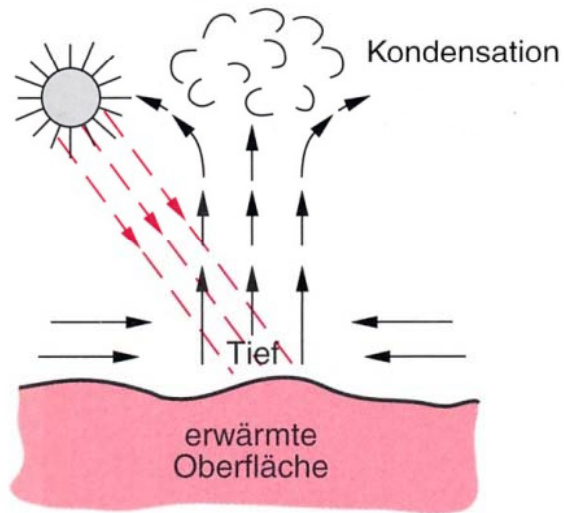
Wärmeleitfähigkeit einiger Gase bei 0 °C und Atmosphärendruck

($M_n = m/n$, molare Masse)

Gas		M_n in g/mol	λ in W/(m·K)
Wasserstoff	H ₂	2	0.1733
Helium	He	4	0.1436
Neon	Ne	20	0.0461
Stickstoff	N ₂	28	0.0243
Kohlendioxid	CO ₂	44	0.0142
Tetrachlorkohlenstoff	CCl ₄	152	0.0059

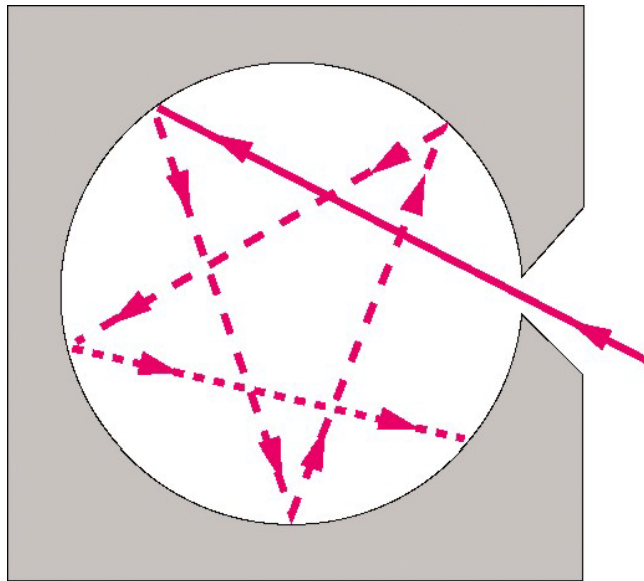


a)



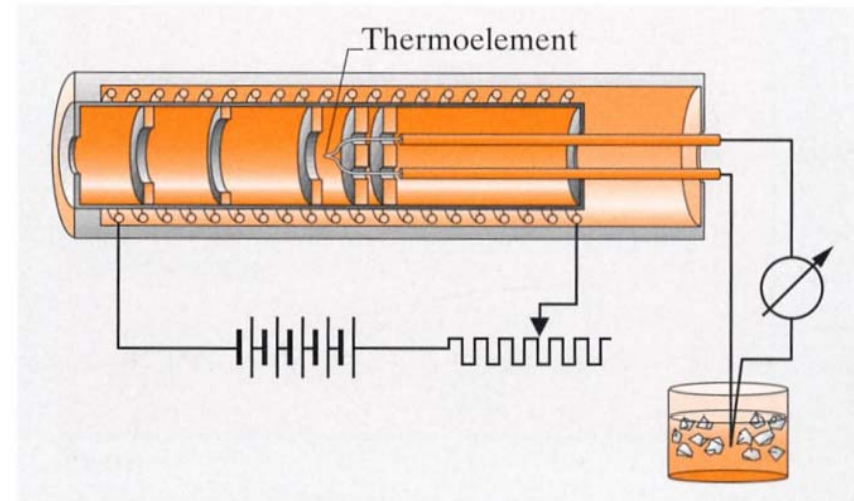
b)

Konvektion in der Erdatmosphäre: **(a)** Seewind während des Tages, wenn die Meeresoberfläche kälter ist als die Landoberfläche; **(b)** Windströmung in ein Tief, das durch senkrecht aufsteigende Luft (Thermik) entsteht

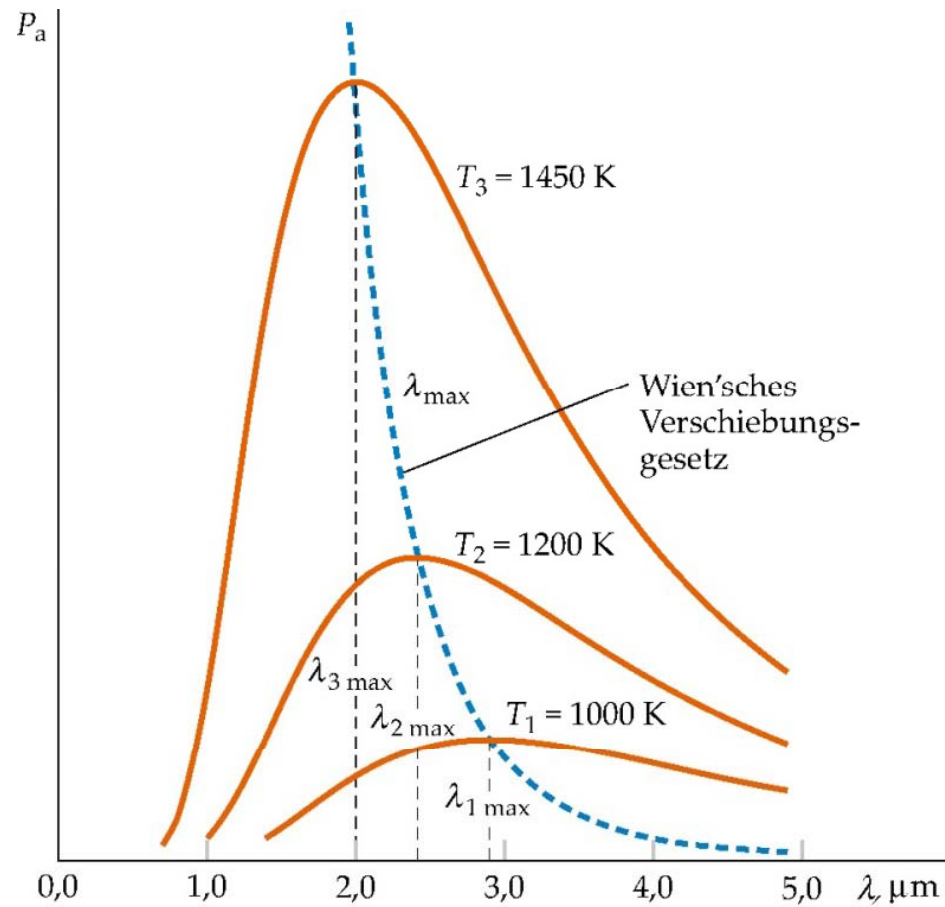


Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

Mit einem Hohlraum, der eine kleine Öffnung nach außen hat, kann ein schwarzer Körper sehr gut angenähert werden. Durch die Öffnung einfallende Strahlung wird im Inneren so oft absorbiert und wieder emittiert, dass sie mit großer Wahrscheinlichkeit vollständig absorbiert wird, bevor sie wieder austreten kann. Dadurch steht sie mit den Wänden in thermischem Gleichgewicht. Die durch die Öffnung emittierte Strahlung (hier nicht gezeigt) ist deswegen charakteristisch für die Temperatur der Wände des Hohlraums.

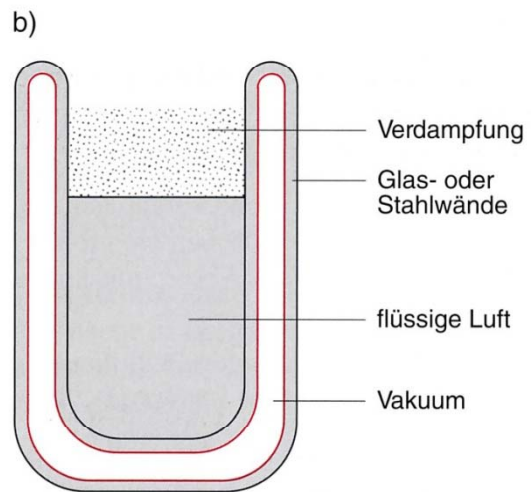
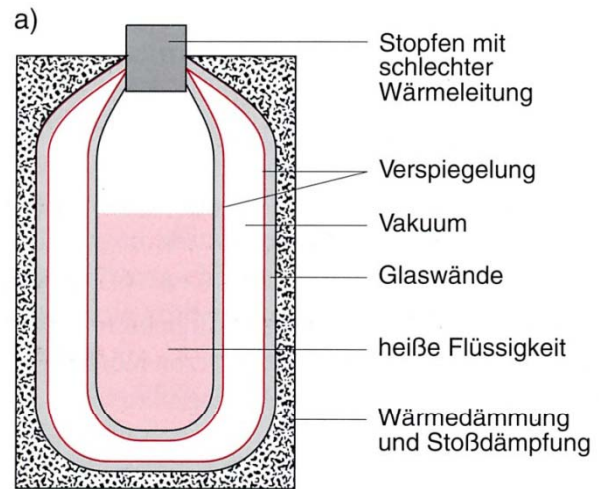


Der Hohlraumstrahler als "schwarzer Körper"



Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

Die Strahlungsleistung eines schwarzen Körpers in Abhängigkeit von der Wellenlänge bei drei verschiedenen Temperaturen. Die Wellenlänge λ_{max} , bei der die maximale Leistung emittiert wird, ist umgekehrt proportional zur absoluten Temperatur T des schwarzen Körpers (gestrichelte Kurve).



(a) Thermosflasche. **(b)** Dewar zur Aufbewahrung von flüssigem Stickstoff bei $T \approx 77 \text{ K}$