



Willkommen

EP2



- 1 Temperatur, nullter Hauptsatz, Thermometer**
- 2 kinetische Gastheorie**
- 3 erster Hauptsatz der Thermodynamik**
- 4 zweiter Hauptsatz**
- 5 Entropie, dritter Hauptsatz**
- 6 Wärmeaustausch**



- 1.1 Temperatur eine Zustandsgröße**
- 1.2 Nullter Hauptsatz der Thermodynamik**
- 1.3 Temperaturmessungen (Verfahren)**
- 1.4 Thermische Ausdehnung (quantitativ)**



1.1 Die Temperatur eine Zustandsgröße





**Die physikalischen Eigenschaften von
Objekten ändern sich mit der Temperatur.**



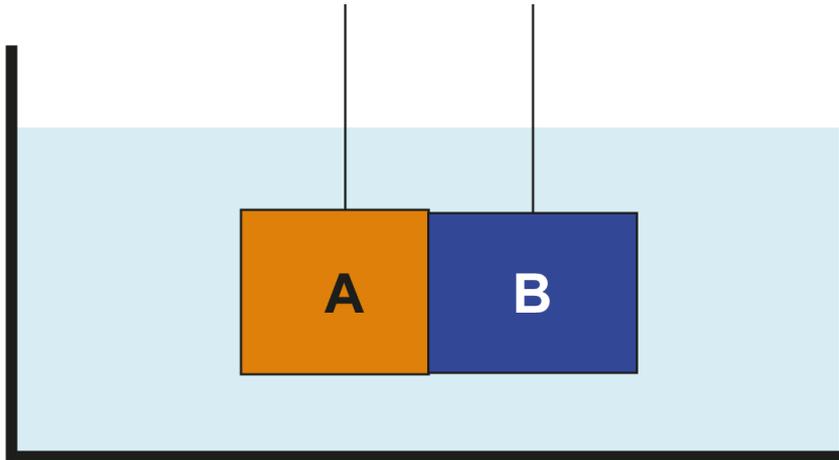
**Jedem makroskopischen System
(oder seinen Teilbereichen)
kann eine Temperatur zugeordnet werden.**

**Diese Temperatur ist für den Zustand
charakteristisch.**

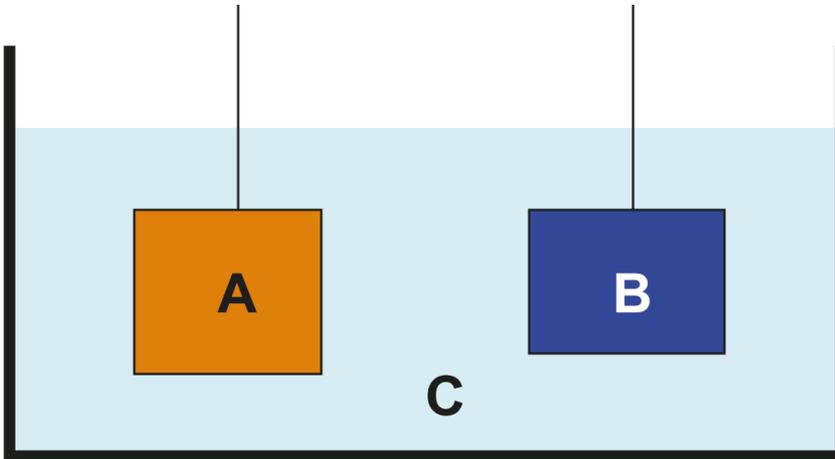
Die Temperatur ist eine Zustandsgröße.



1.2 Der nullte Hauptsatz der Thermodynamik



**Stehen zwei Körper in thermischem Kontakt
führt dies zu Ausgleichsprozessen
(Energieübertragung in Form von Wärme)
bis sich ein Gleichgewichtszustand einstellt
– dann haben beide Körper dieselbe Temperatur.**



Nullter Hauptsatz der Thermodynamik:

Stehen zwei Systeme mit einem Dritten in thermischem Gleichgewicht, so stehen sie auch untereinander im thermischen Gleichgewicht.

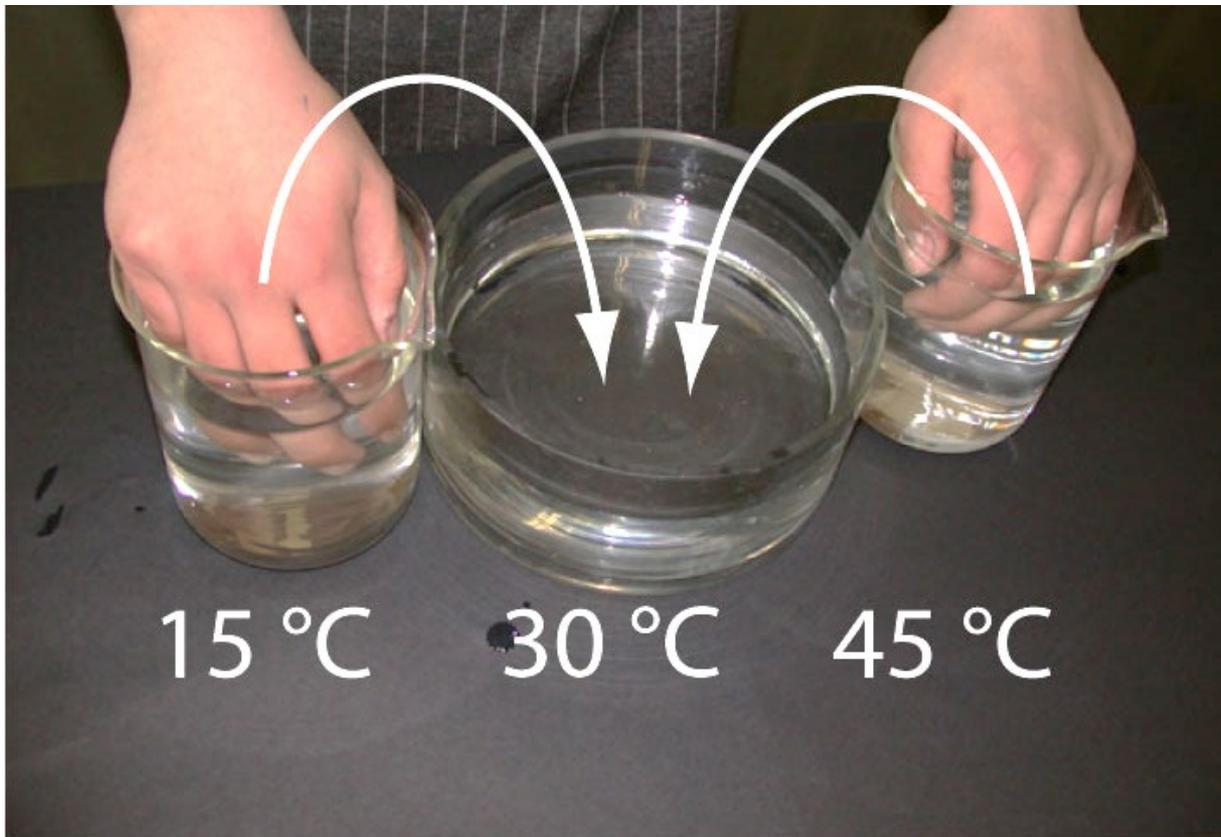
(Sie haben dann alle die gleiche Temperatur.)



1.3 Temperaturmessgeräte – verschieden Verfahren

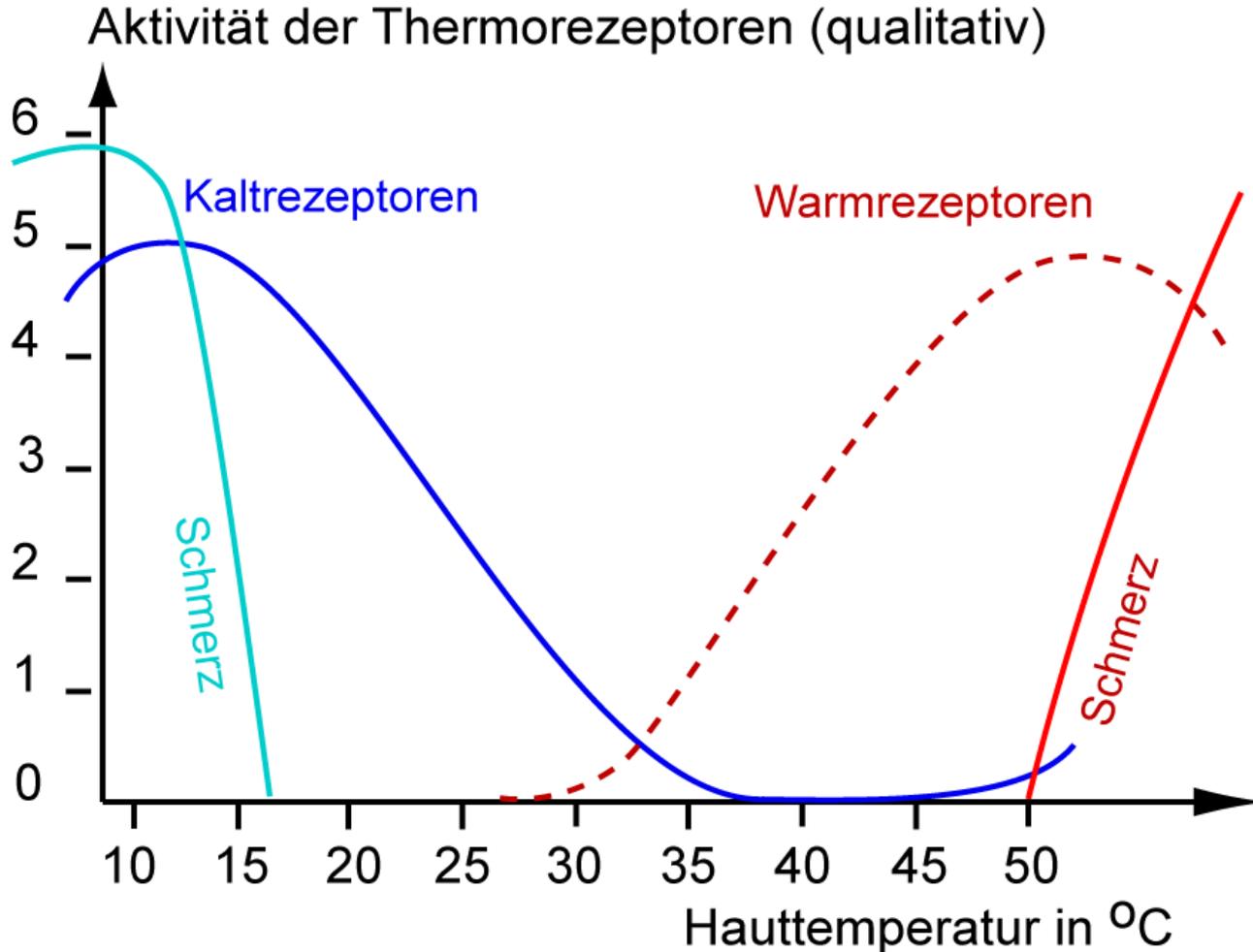
Temperaturmessung

Temperaturempfinden des Menschen





Temperaturempfinden des Menschen





Temperaturmessung

Das Temperaturempfinden des Menschen ist "ungenügend" für physikalische Messungen

– nicht erfüllt sind:

- Objektivität ("heiß, kalt, warm")
- eindeutige Zuordnung von Temperaturwerten (Fahrenheit, 1714; Celsius, 1742)
- Skalierung
- Reproduzierbarkeit (ohne Störgrößen)
- Genauigkeit, Feinheit, Präzision

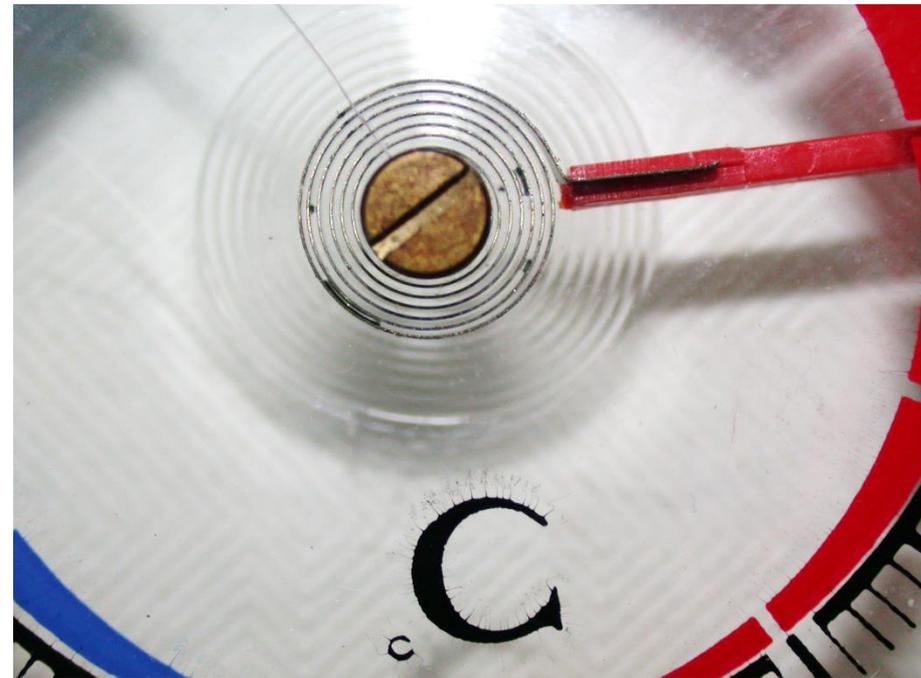
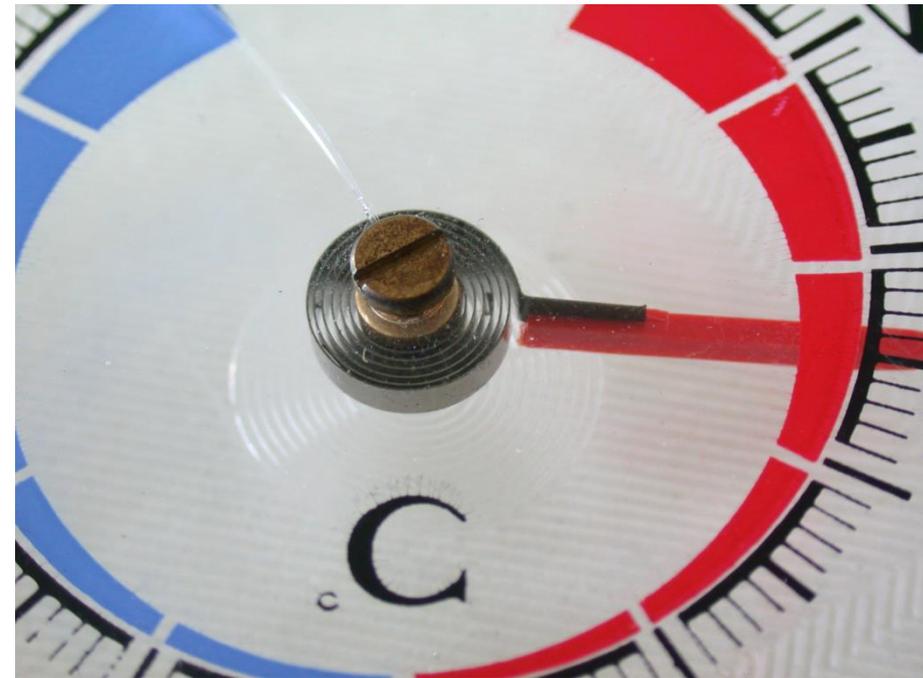


Temperaturmessung

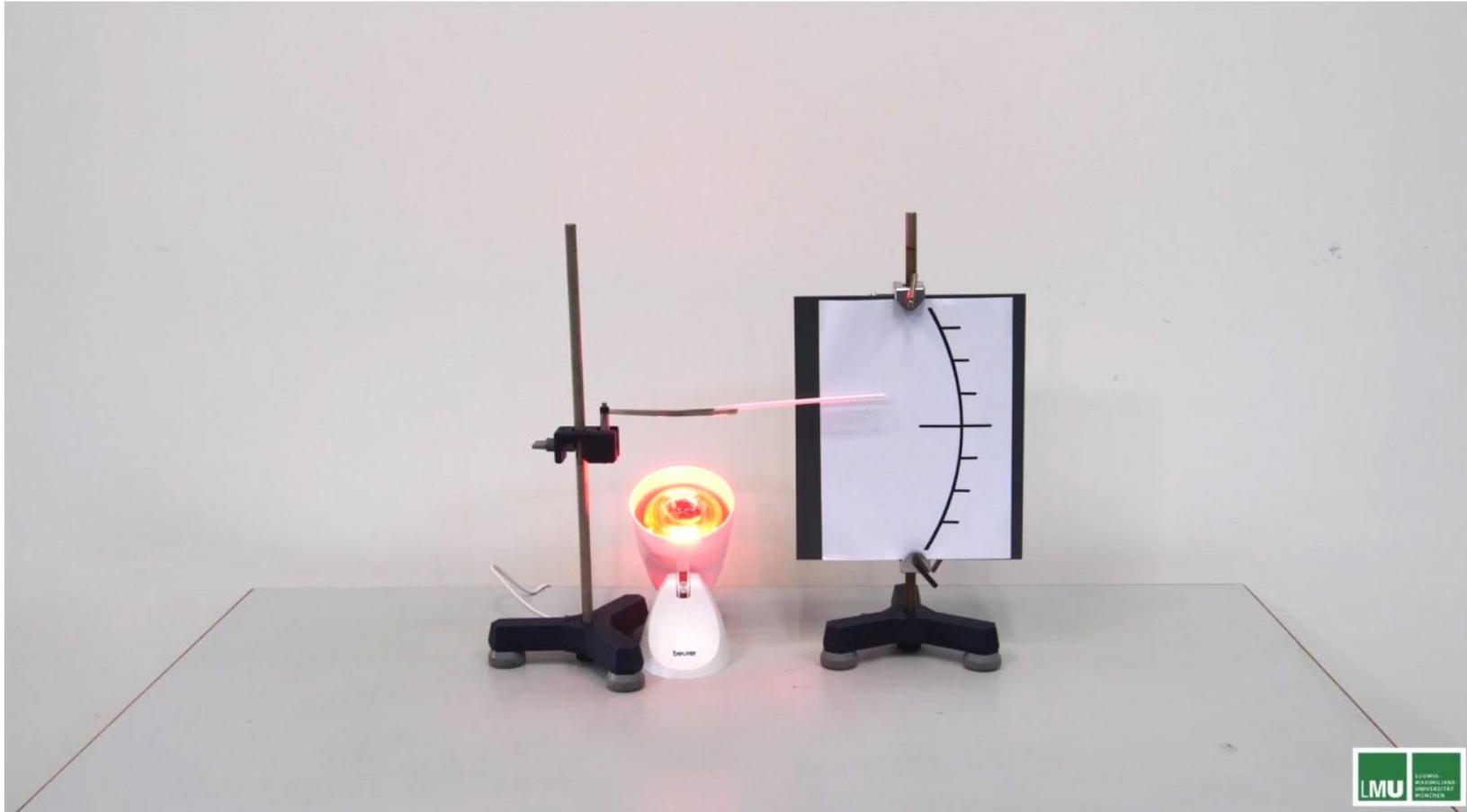
Verschiedene Messverfahren nutzen

physikalisch eindeutig temperaturabhängige Größen

a) Bimetall-Thermometer (Ausdehnung von Metallen)



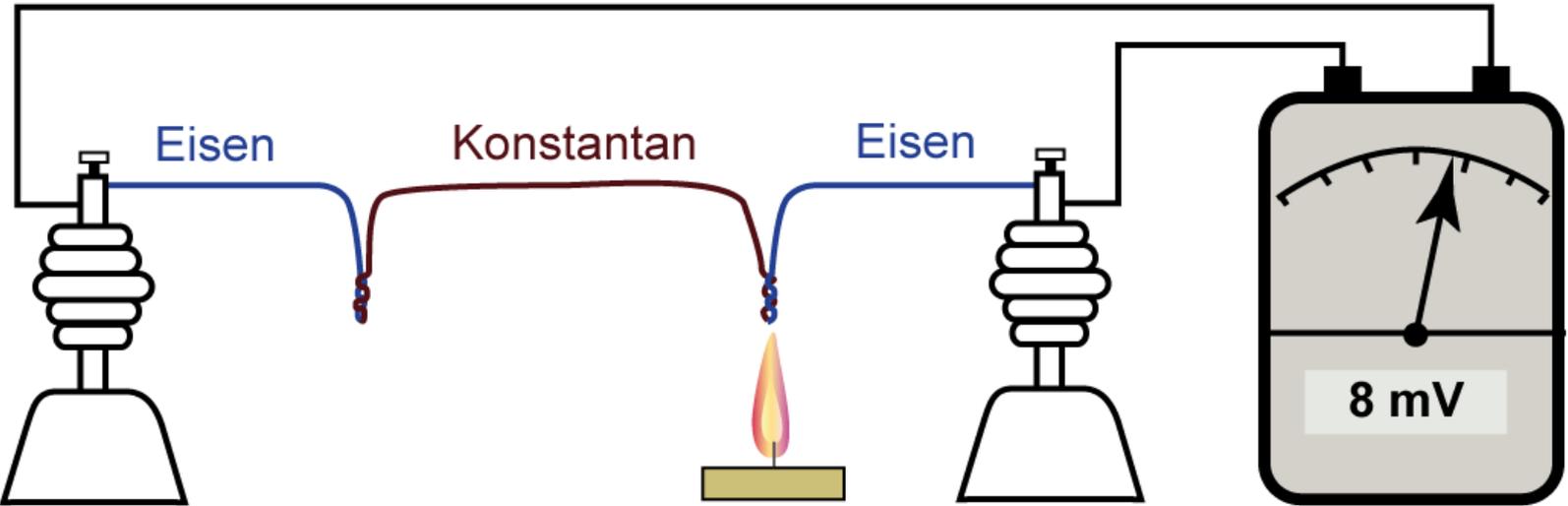
a) Bimetall-Thermometer (Ausdehnung von Metallen)



b) Elektrisches Thermometer (Seebeck-Effekt oder el. Widerstand)



b) Elektrisches Thermometer (Seebeck-Effekt)



Thermoelement
Eisen-Konstantan

Die Kontaktspannung zwischen zwei verschiedenen, sich berührenden Metallen hängt von der Temperatur ab.

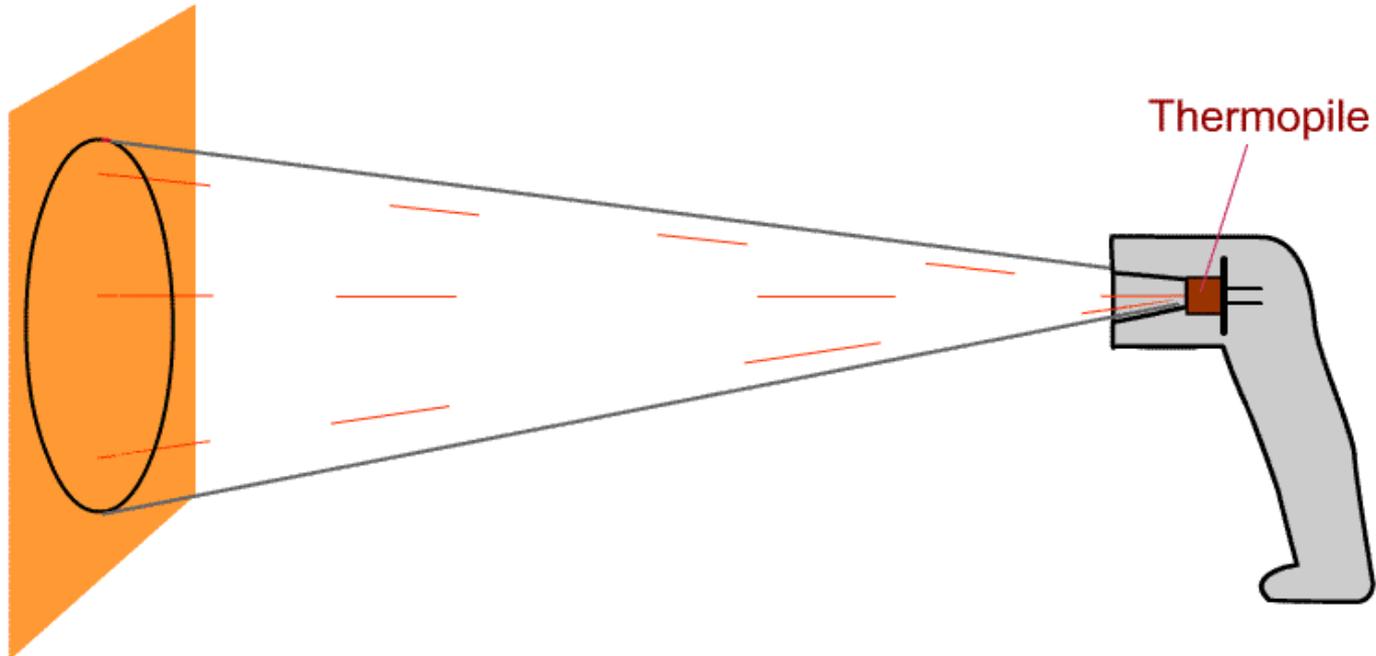
b) Elektrisches Thermometer (Seebeck-Effekt)



c) Strahlungsthermometer / Infrarotthermometer

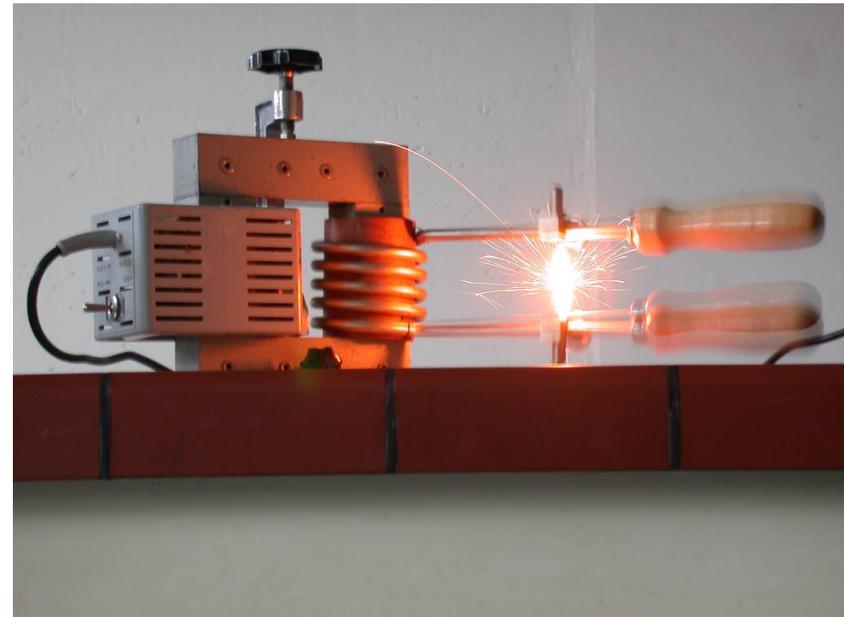


c) Strahlungsthermometer / Infrarotthermometer



c) Strahlungsthermometer / Infrarotthermometer

Jeder Körper gibt elektromagnetische Wellen ab (strahlt)



Bei sehr heißen Körpern ist die Strahlung sichtbar.

c) Strahlungsthermometer / Infrarotthermometer

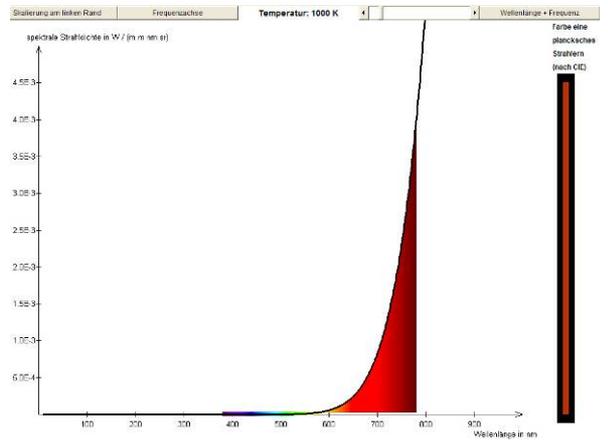
Jeder Körper gibt elektromagnetische Wellen ab (strahlt)

**Doch normalerweise
ist die Strahlung nicht
sichtbar.**

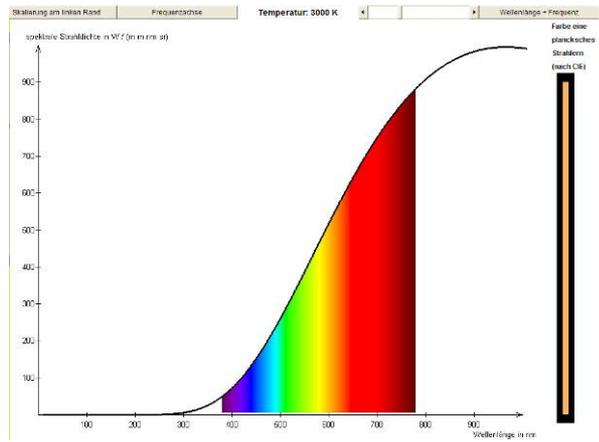
**Man kann sie aber
dennoch fühlen.**



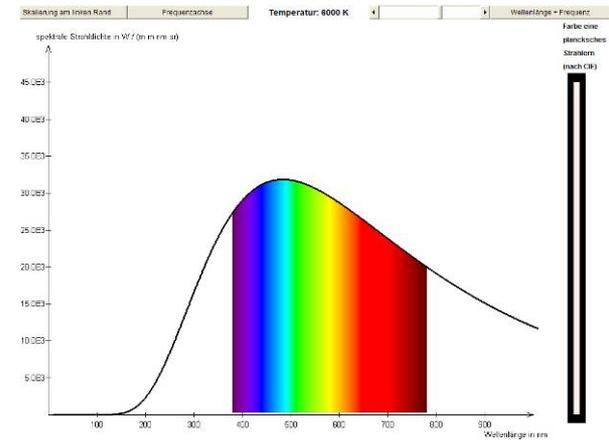
c) Strahlungsthermometer / Infrarotthermometer



1000 K
Intensität * 1000000

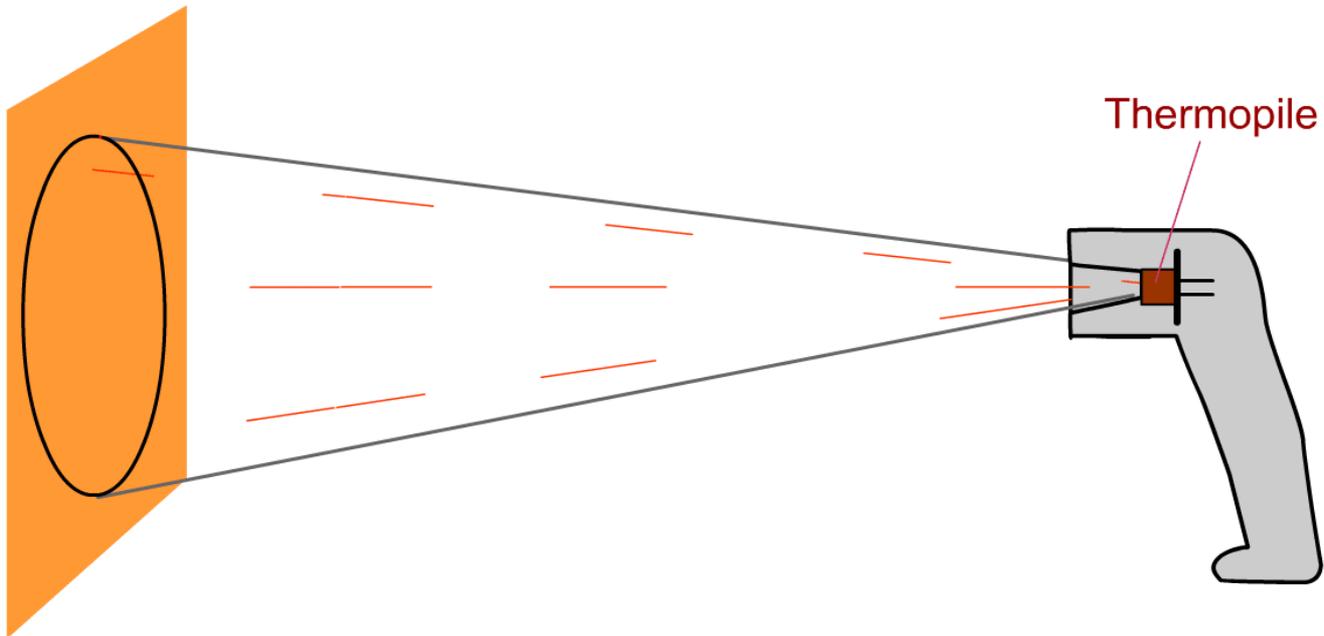


3000 K
Intensität * 1000

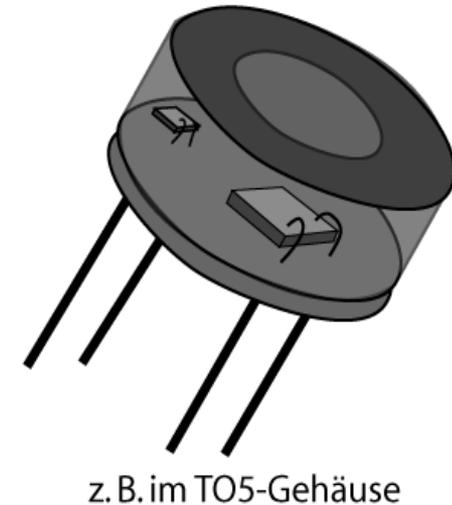
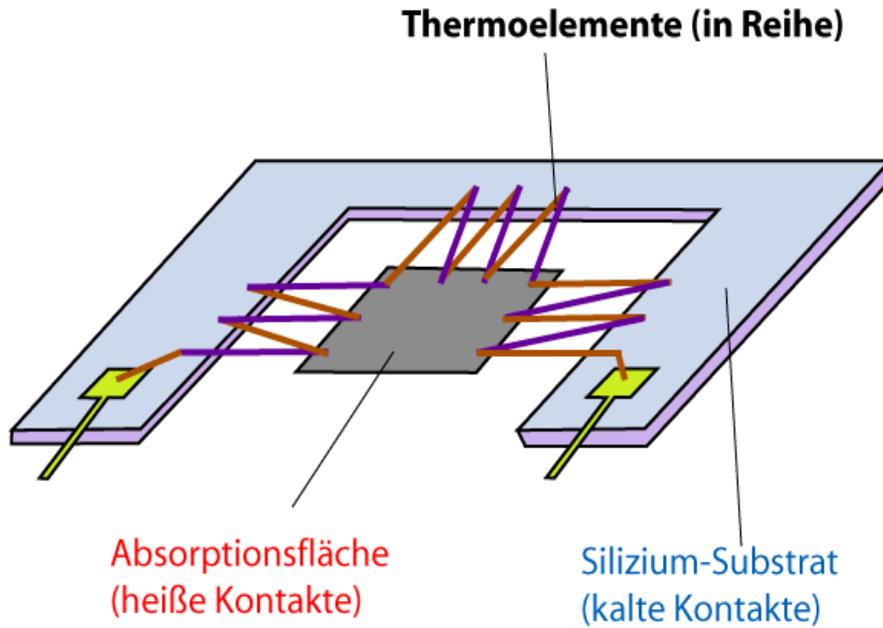


6000 K
Intensität * 1

c) Strahlungsthermometer / Infrarotthermometer



c) Strahlungsthermometer / Infrarotthermometer



c) Strahlungsthermometer / Infrarotthermometer



c) Strahlungsthermometer - Thermosäule



[Link zum Experiment:](https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/1-2-Thermosaeule.m4v)

https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/1-2-Thermosaeule.m4v

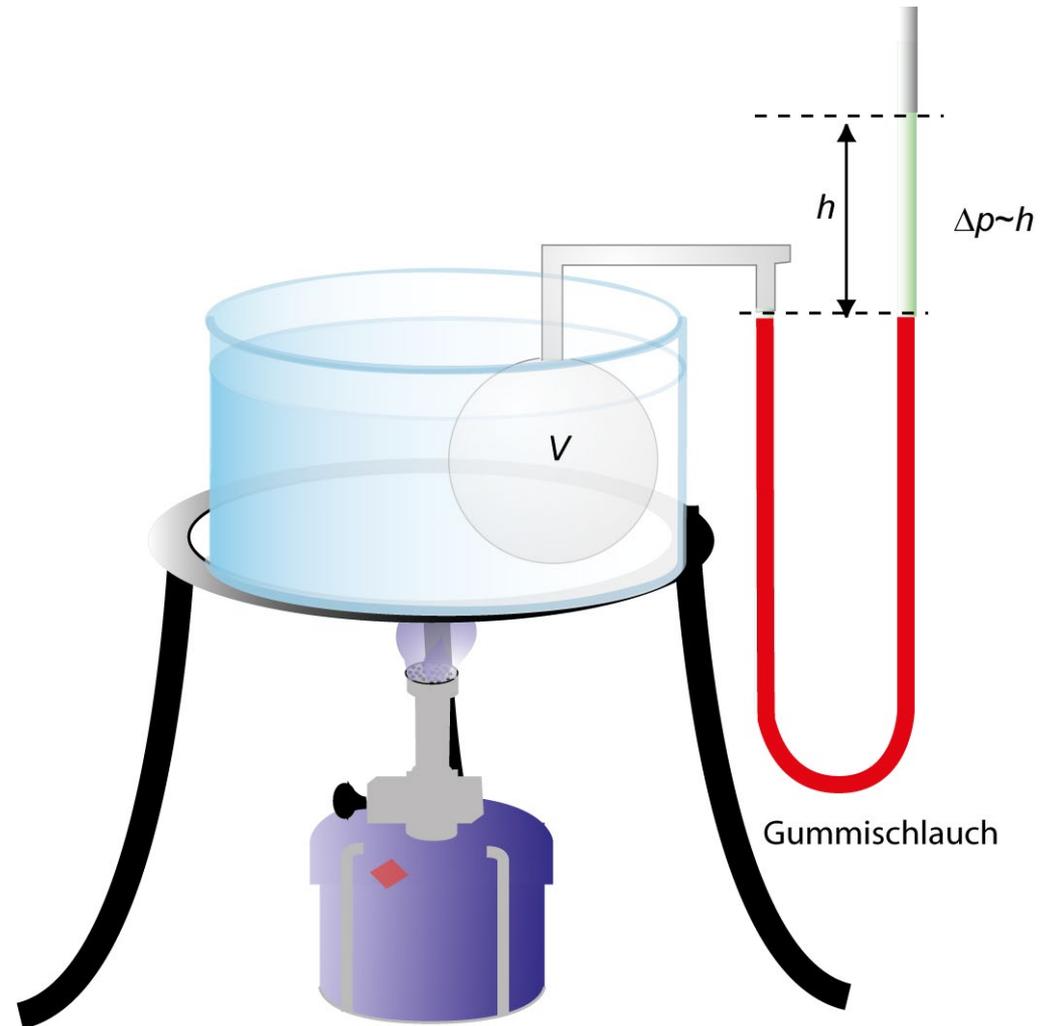
d) Thermographie



Pixel aus IR-Sensoren

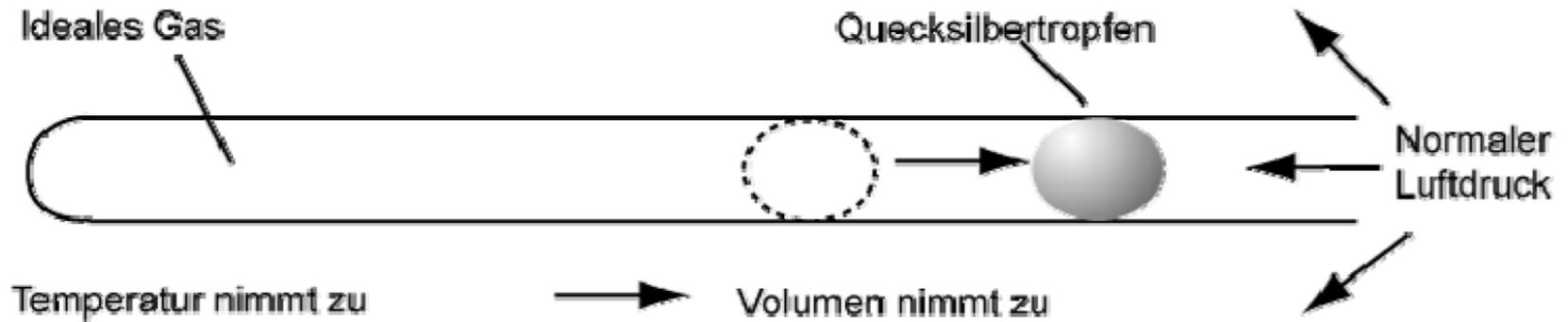


e) Gasthermometer





e) Gasthermometer



Temperaturmessung

Markante Temperaturen



ca. 10^{-10} K			1808 K	
ca. 10^{-3} K			ca. 5770 K	
4,2 K			ca. 10^6 K	
77,35 K			10^8 K	
273,15 K			$> 10^9$ K	



1.4 Thermische Ausdehnung (quantitativ)

Thermische Ausdehnung

Längenausdehnung



R.G.

Thermische Ausdehnung

Längenausdehnung



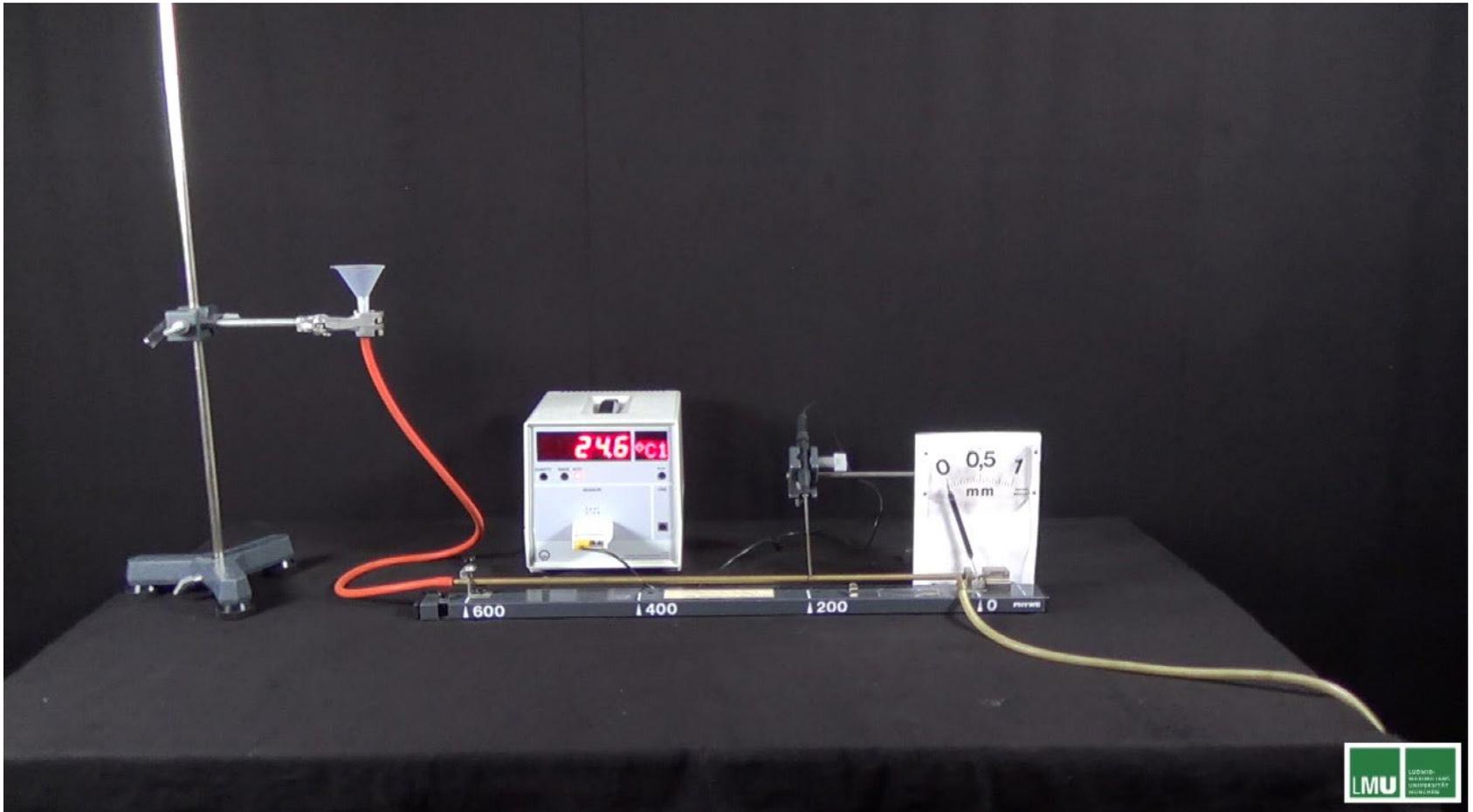


Thermische Ausdehnung

Längenausdehnung

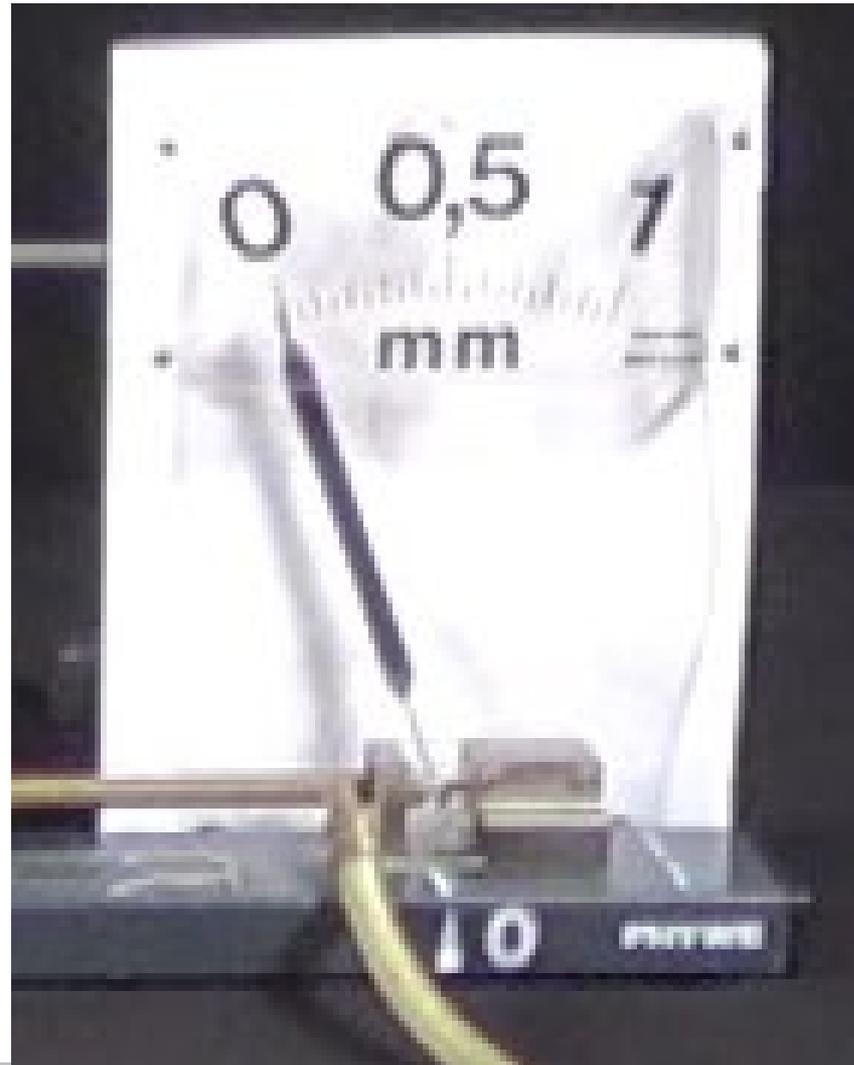


Thermische Ausdehnung Längenausdehnung

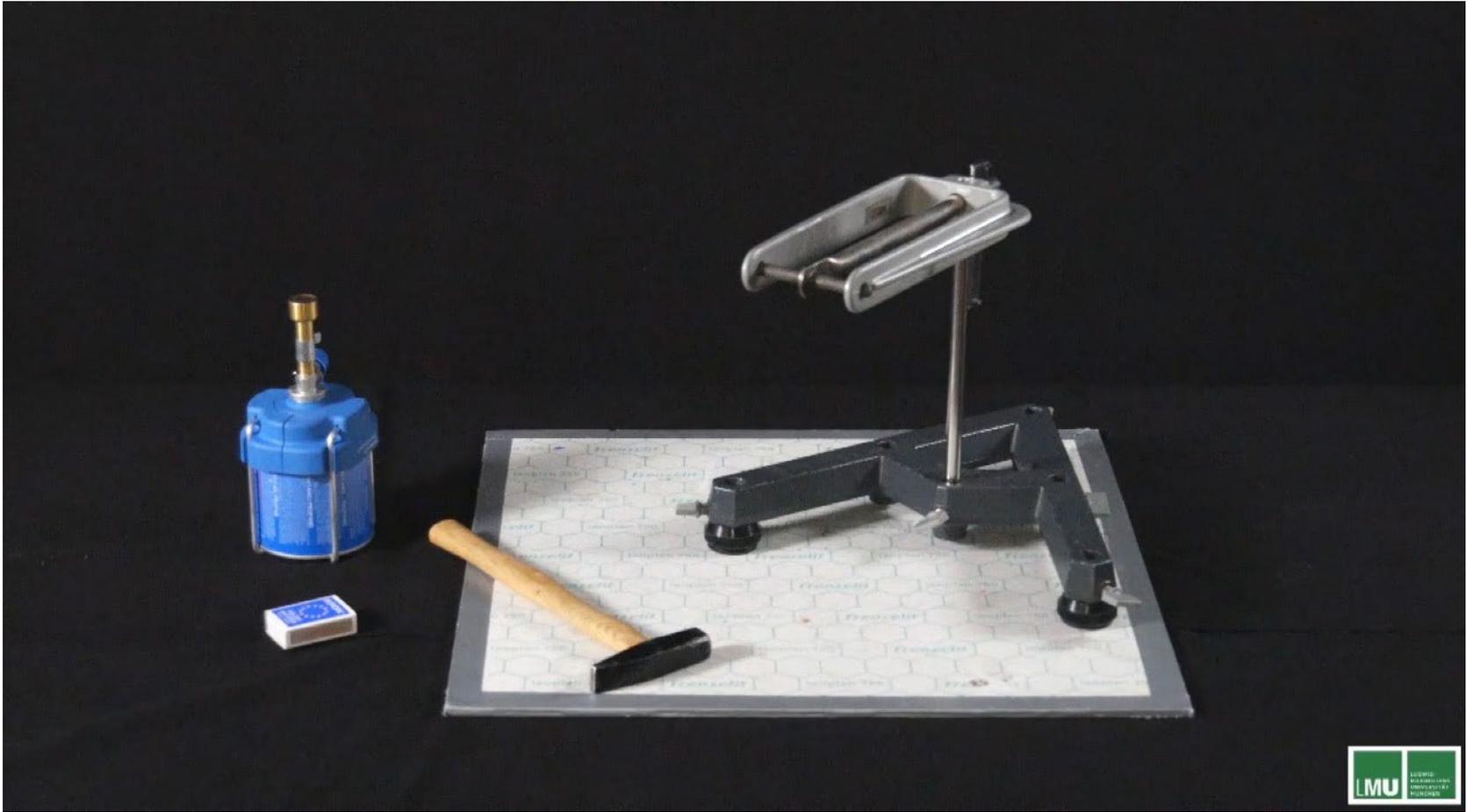


Thermische Ausdehnung

Längenausdehnung

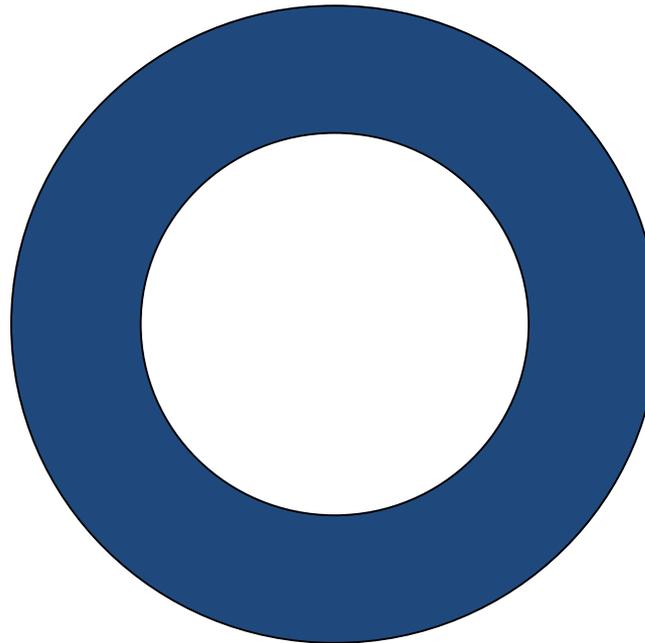


Thermische Ausdehnung enorme Kräfte



Thermische Ausdehnung

Flächenausdehnung



Thermische Ausdehnung

Flächenausdehnung



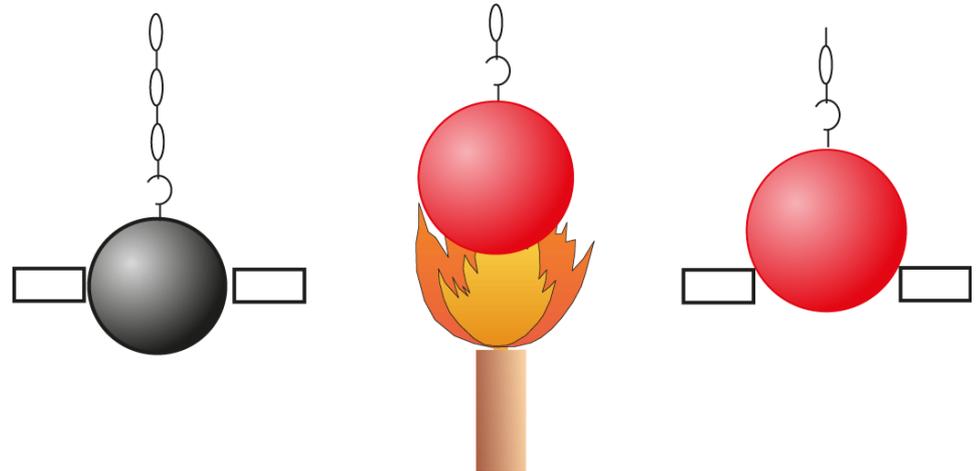
Thermische Ausdehnung

Volumenausdehnung



Thermische Ausdehnung

Volumenausdehnung



[Link zum Experiment:](https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/1-3-Metallkugel-2-1.m4v)

https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/1-3-Metallkugel-2-1.m4v

Thermische Ausdehnung

Volumenausdehnung





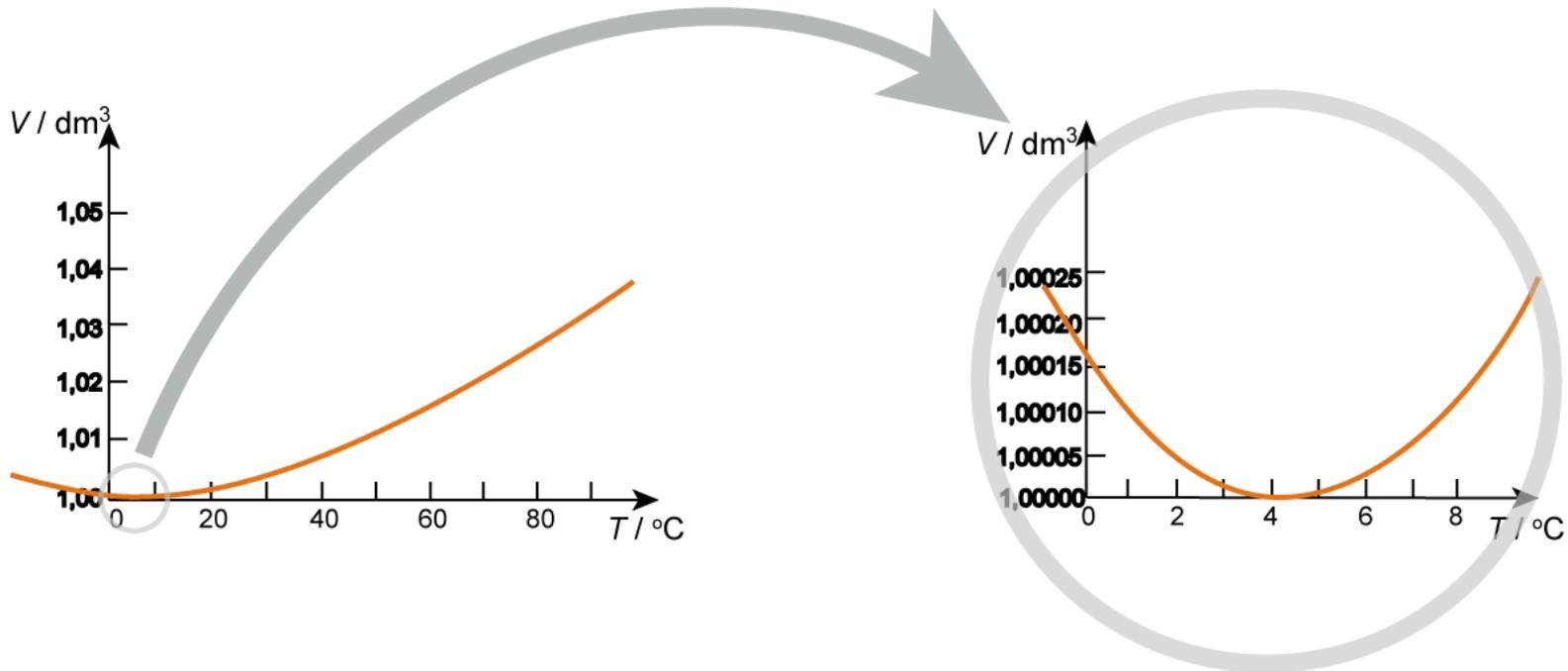
Thermische Ausdehnung

Volumenausdehnung



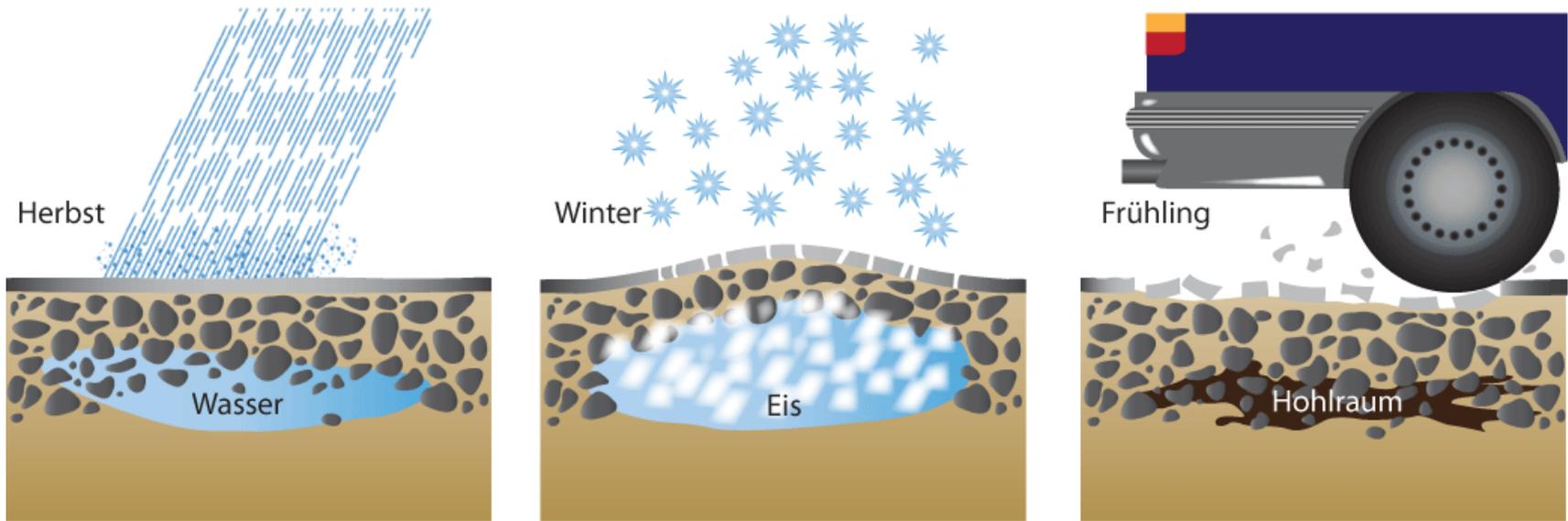
Thermische Ausdehnung

Volumenausdehnung – Anomalie des Wassers

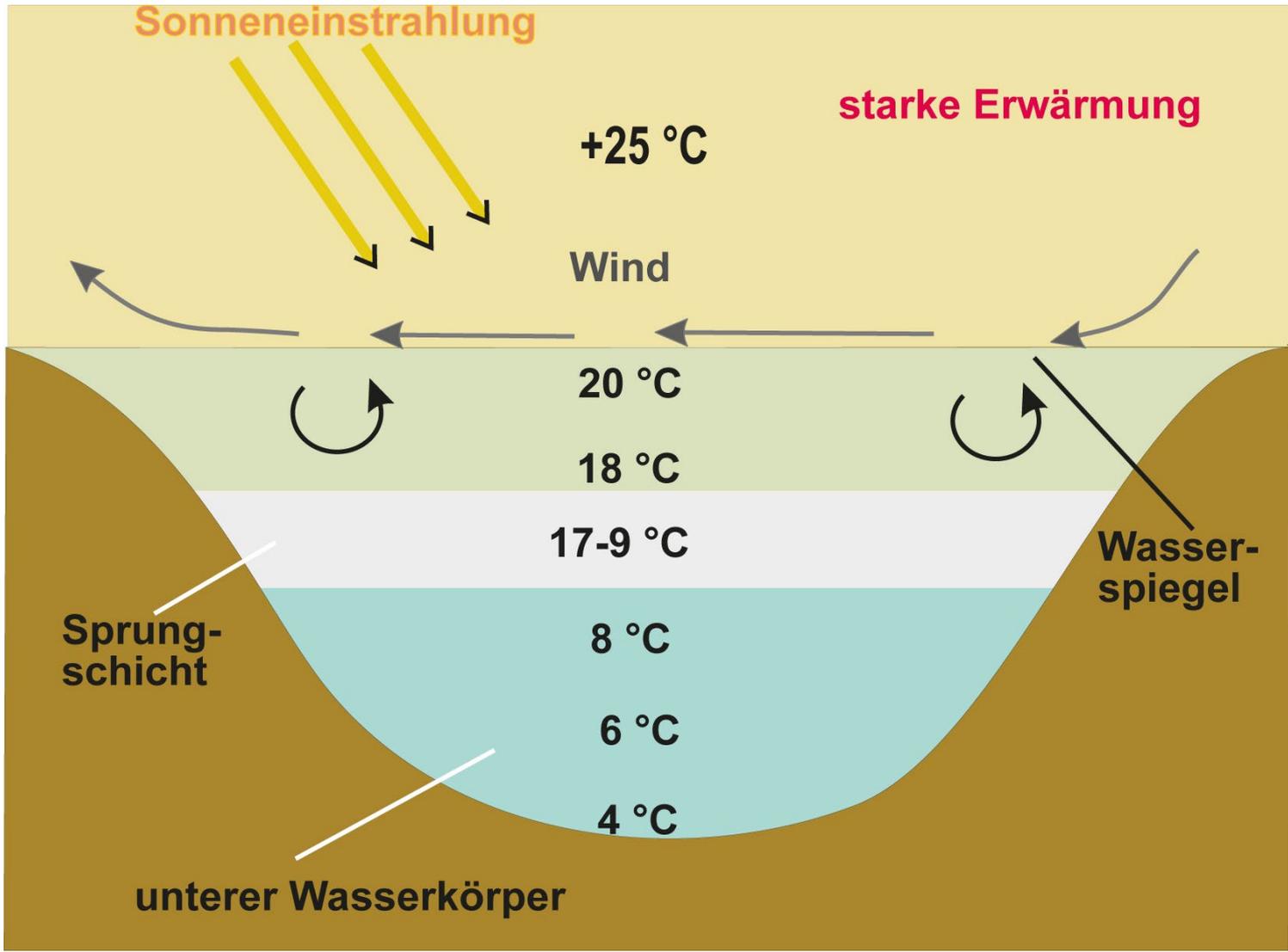


Thermische Ausdehnung

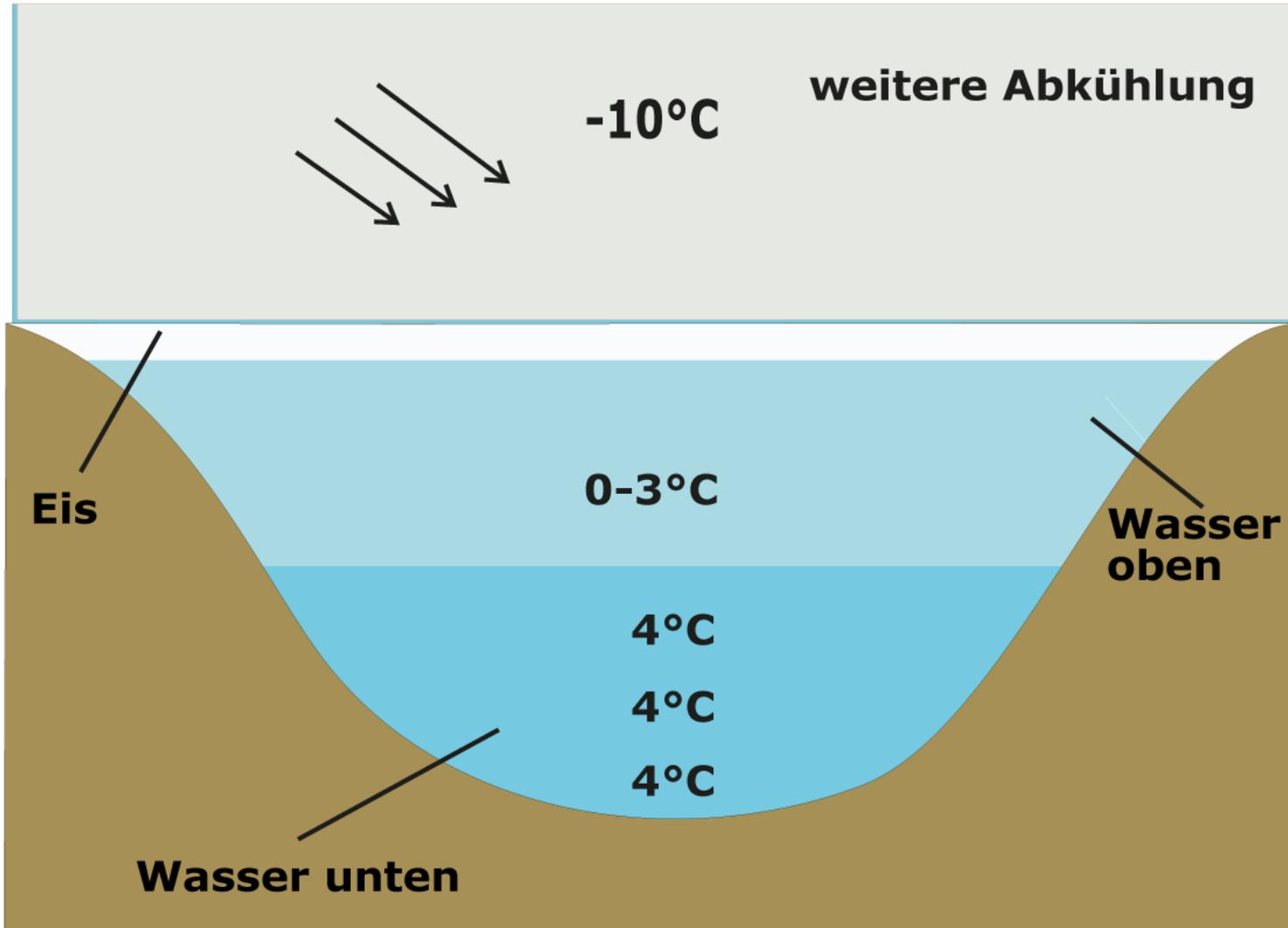
Volumenausdehnung – Anomalie des Wassers



Thermische Ausdehnung – Temperaturschichtung im Wasser



Thermische Ausdehnung – Temperaturschichtung im Wasser



Thermische Ausdehnung

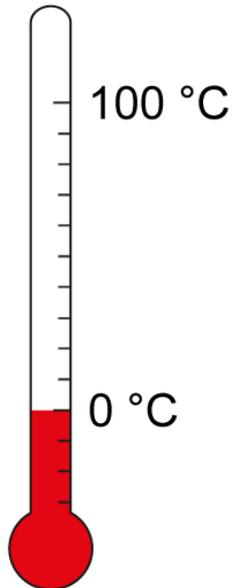
Anomalie des Wassers



Ergänzung Thermometerskalen

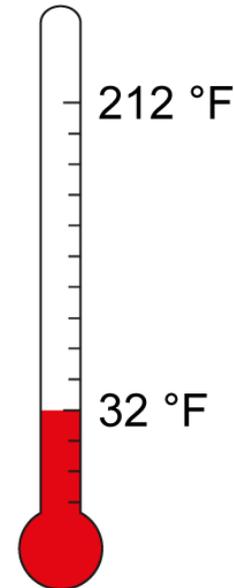
(1742)

Celsius-
skala

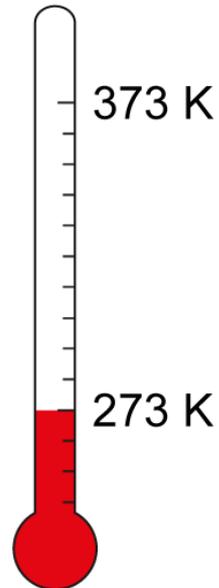


(1714)

Fahrenheit-
skala



Kelvin-
skala

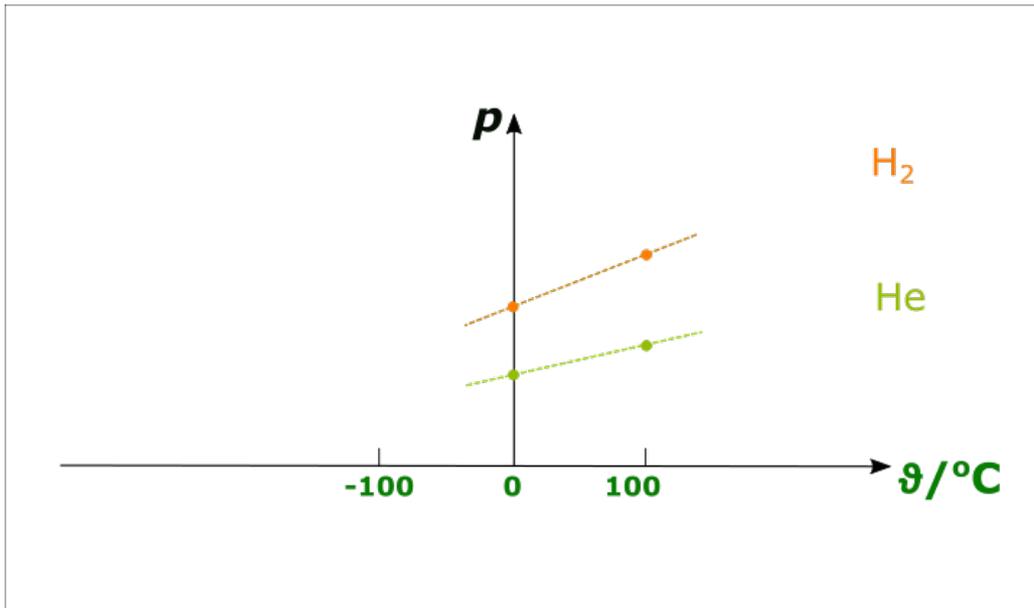


$$T_C = \frac{5}{9} \left(\frac{T_F}{^\circ\text{F}} - 32 \right) ^\circ\text{C}$$

$$T_F = \left(\frac{T_C}{^\circ\text{C}} \cdot \frac{9}{5} + 32 \right) ^\circ\text{F}$$



Zusammenhang zwischen Celsius- und Kelvinskala

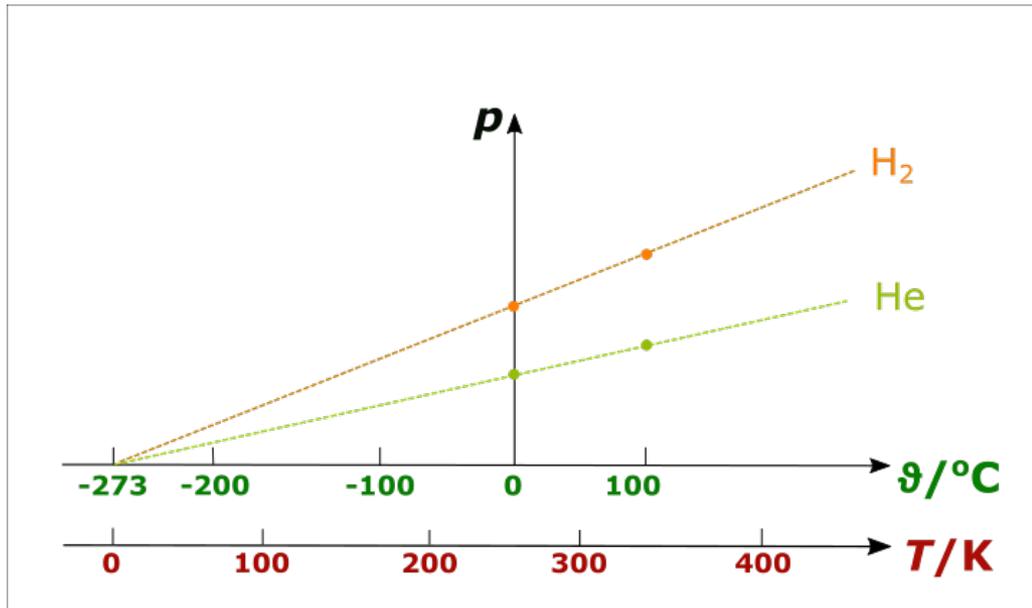


Messungen zum Gasdruck
verschiedener Gase bei
konstantem Volumen
führen zu dem Ergebnis:

$$p \sim \vartheta$$

(Gesetz von Amontons)

Zusammenhang zwischen Celsius- und Kelvinskala



Die Extrapolation zum Druck Null führt bei beiden Gasen zur Temperatur $-273,15^{\circ}\text{C}$. Dies ist der Nullpunkt der absoluten Temperaturskala (Kelvinskala).

Damit gilt:

$$\frac{\vartheta}{^{\circ}\text{C}} = \frac{T}{\text{K}} - 273,15$$