



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.**



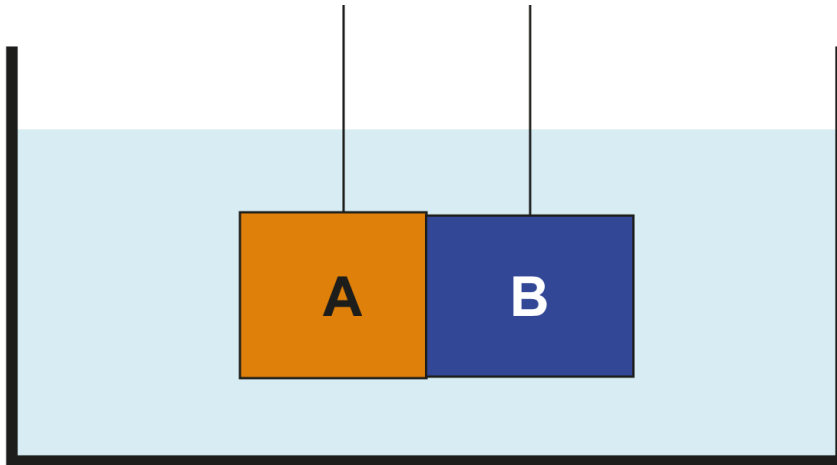
**Jedem makroskopischen System
(oder seinen Teilbereichen)
kann eine Temperatur zugeordnet werden.**

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

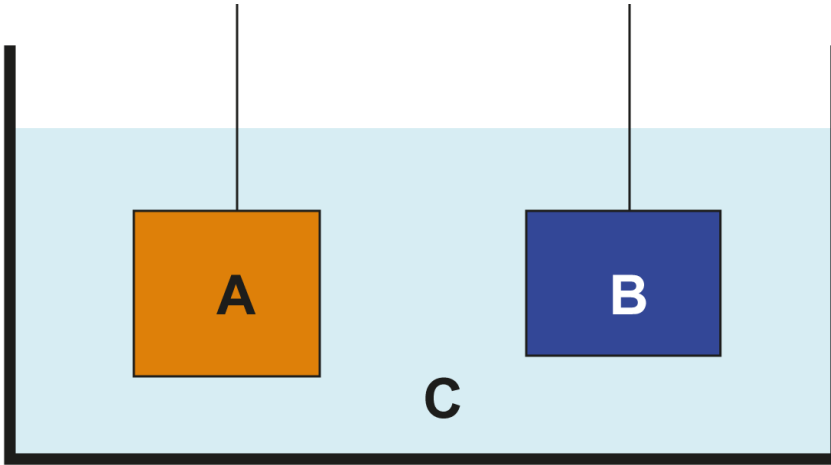
Die Temperatur ist eine Zustandsgröße.



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.

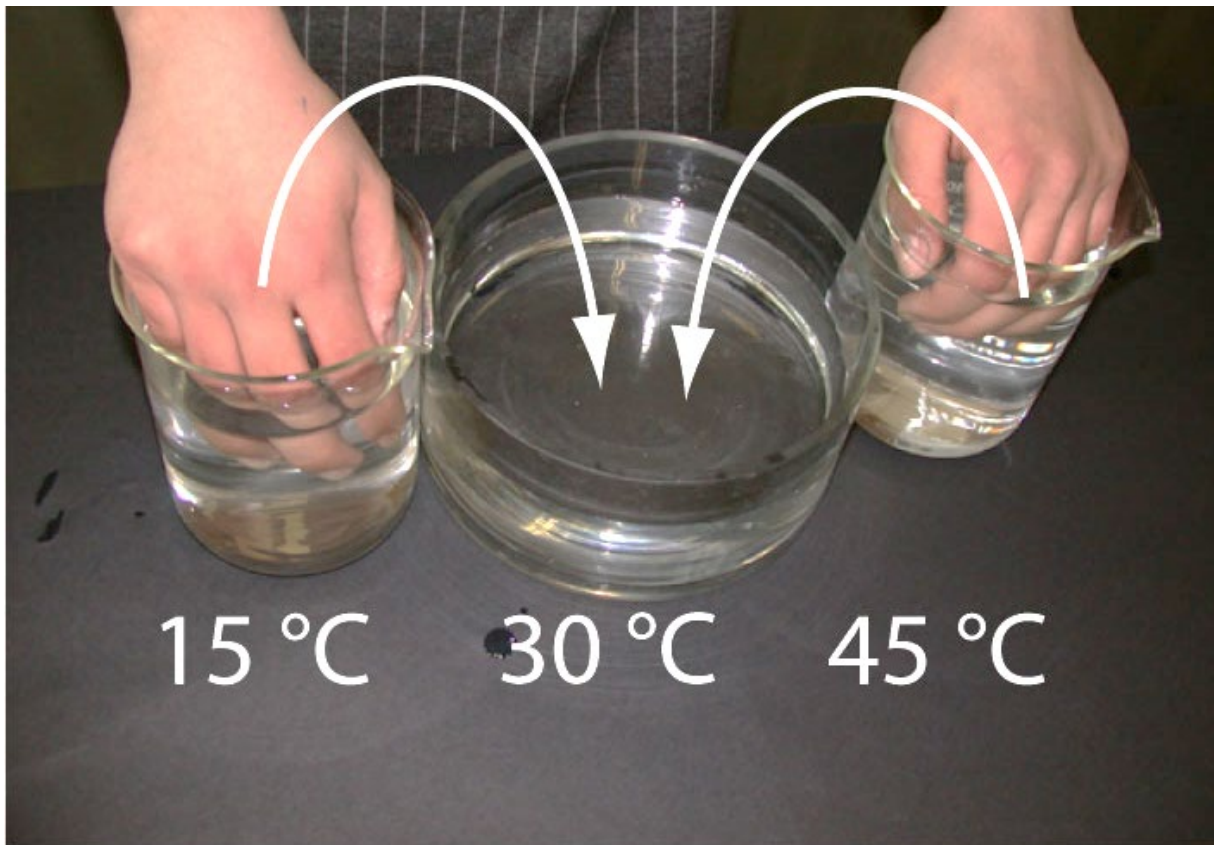
(Sie haben dann alle die gleiche Temperatur.)



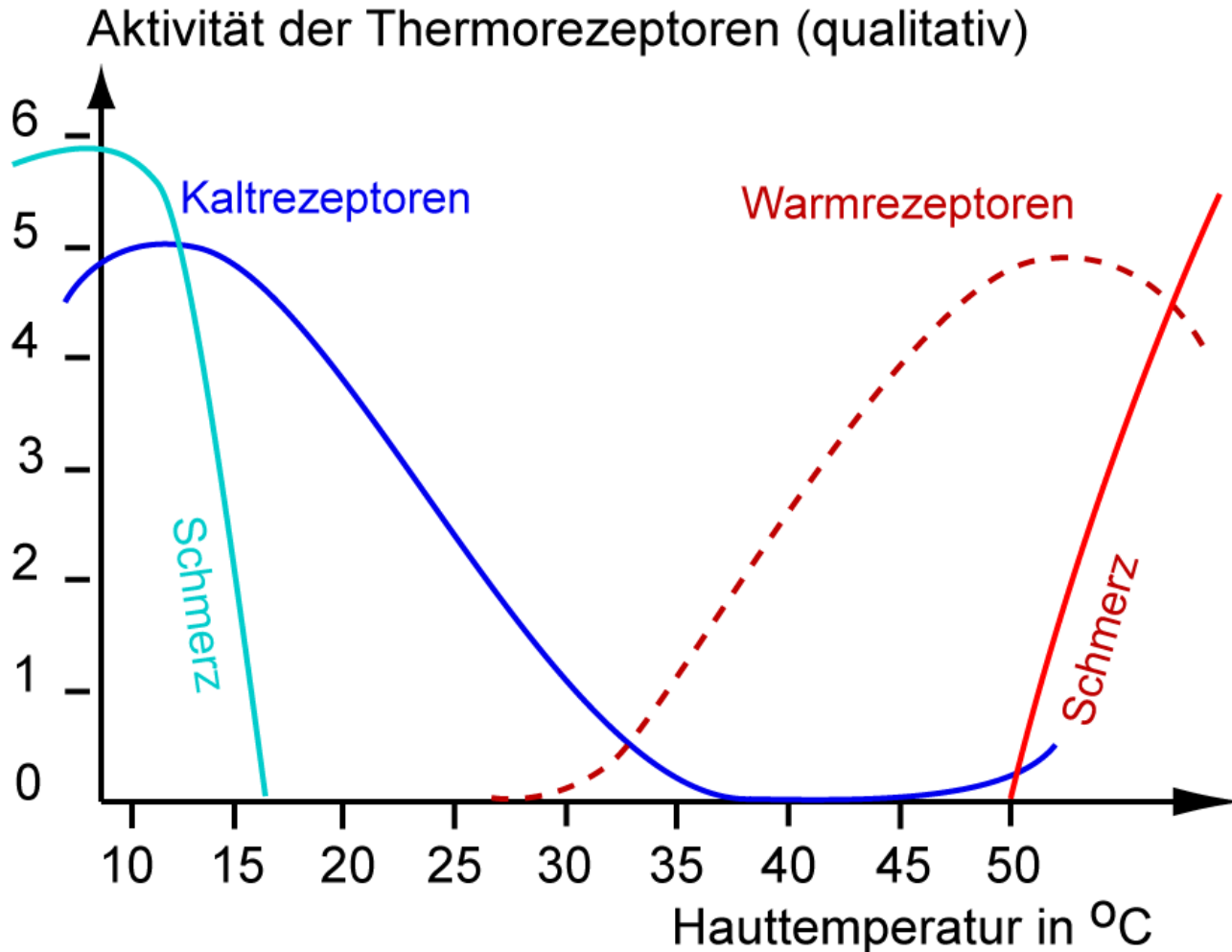
1.3 Temperaturmessgeräte – verschieden Verfahren

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

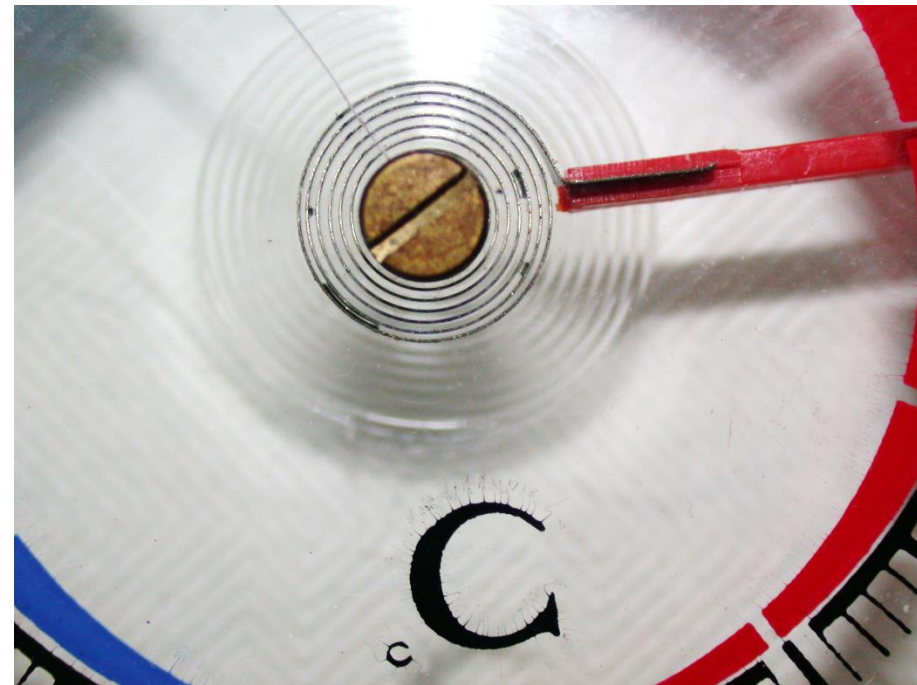
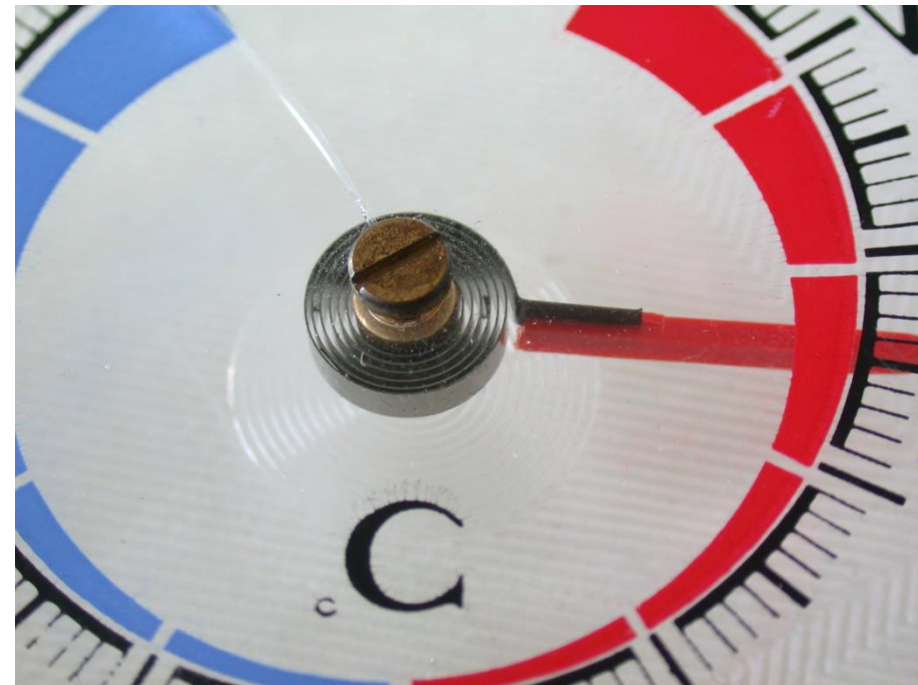


Temperaturmessung

Verschiedene Messverfahren nutzen

physikalisch eindeutig temperaturabhängige Größen

a) Bimetall-Thermometer (Ausdehnung von Metallen)





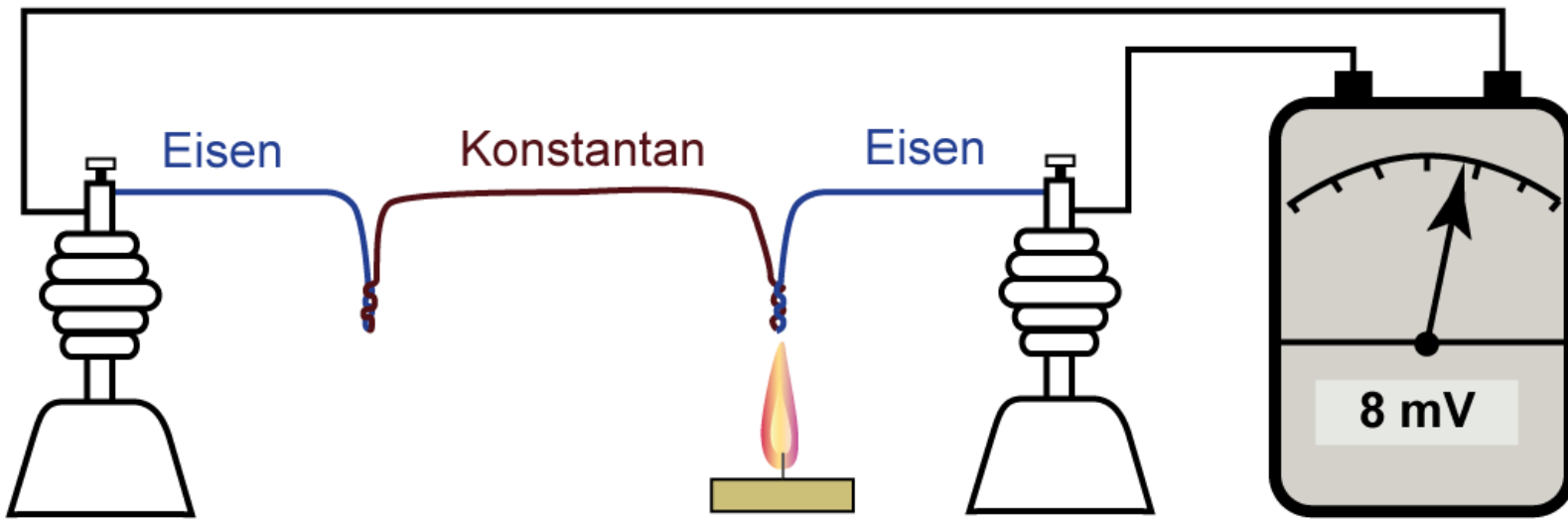
a) Bimetall-Thermometer (Ausdehnung von Metallen)



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



b) Elektrisches Thermometer (Seebeck-Effekt)

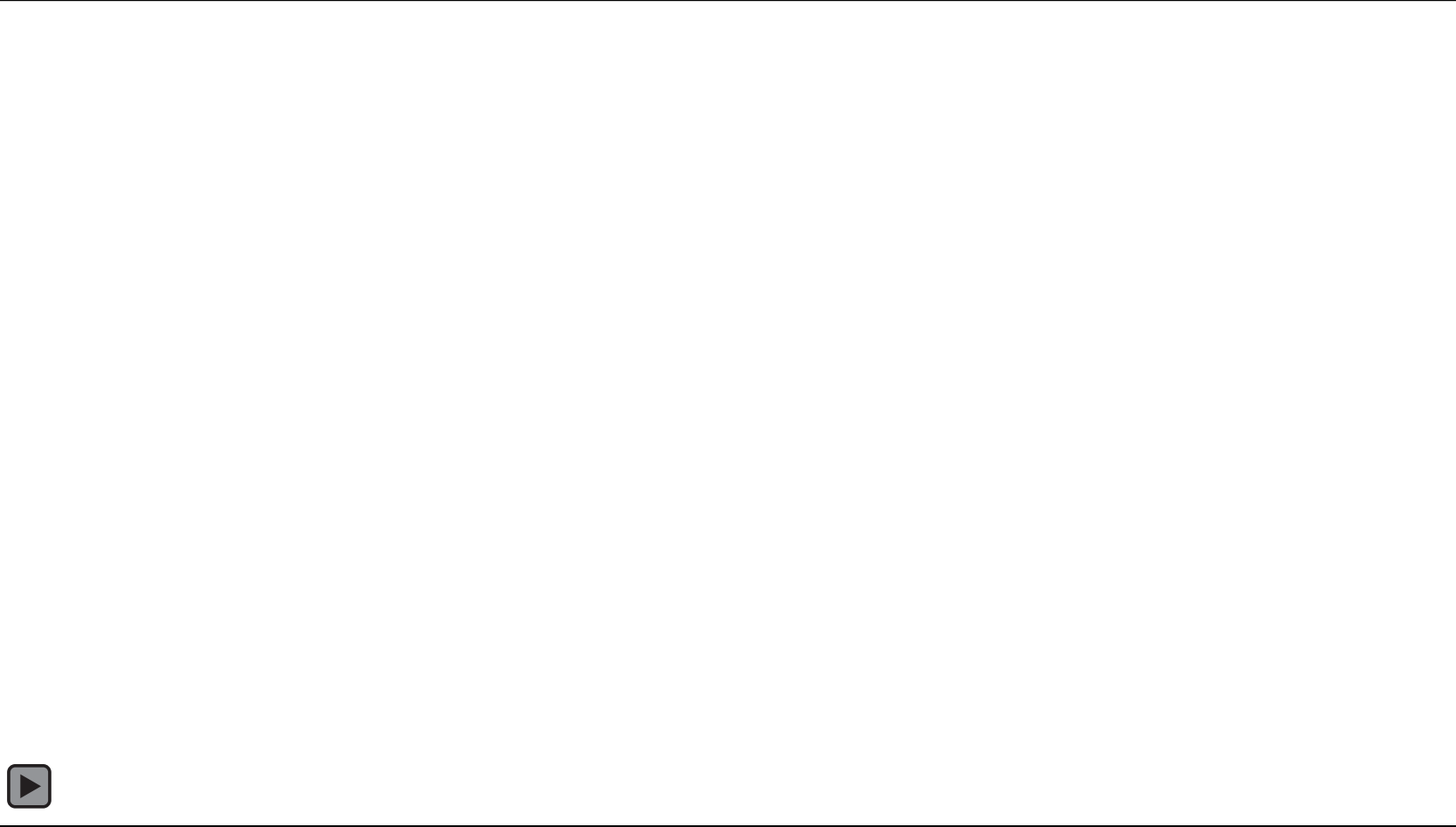


Thermoelement
Eisen-Konstantan

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



b) Elektrisches Thermometer (Seebeck-Effekt)



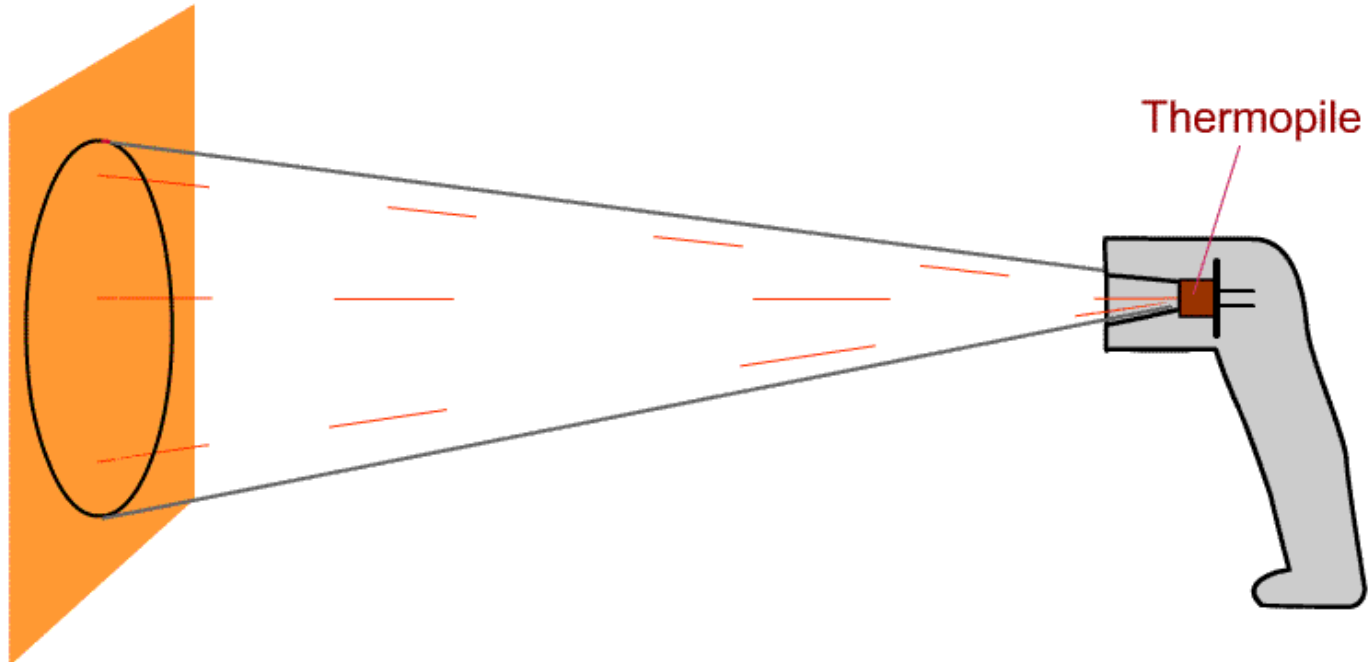
[Link zum Experiment:](https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/1-2-Thermoelement.m4v)

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

c) Strahlungsthermometer / Infrarotthermometer

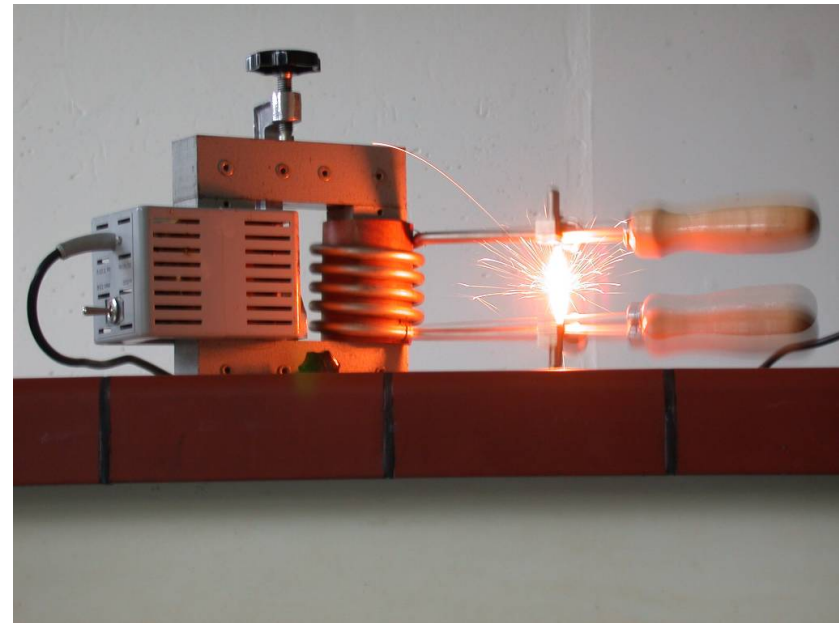


c) Strahlungsthermometer / Infrarotthermometer



c) Strahlungsthermometer / Infrarotthermometer

Jeder Körper gibt elektromagnetische Wellen ab (strahlt)



Bei sehr heißen Körpern ist die Strahlung sichtbar.

c) Strahlungsthermometer / Infrarotthermometer

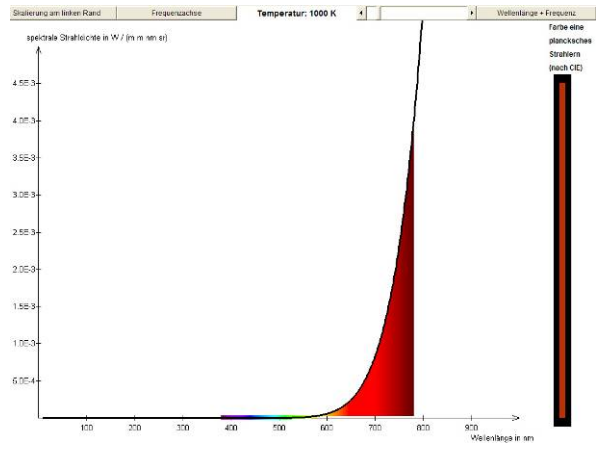
Jeder Körper gibt elektromagnetische Wellen ab (strahlt)

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

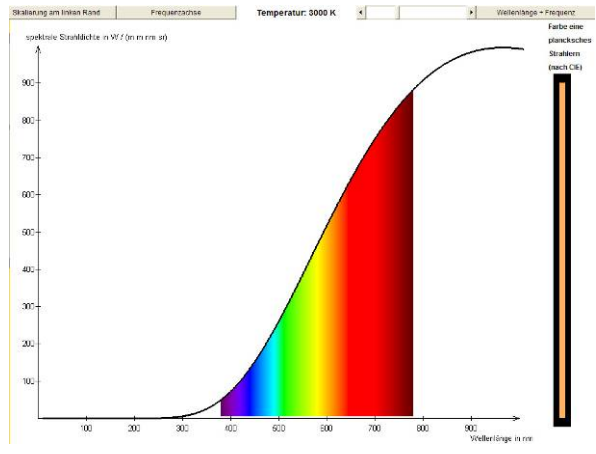
**Man kann sie aber
dennoch fühlen.**



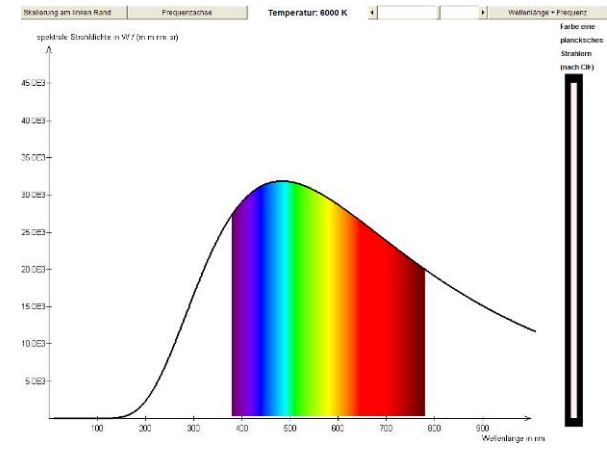
c) Strahlungsthermometer / Infrarotthermometer



1000 K
Intensität * 1000000

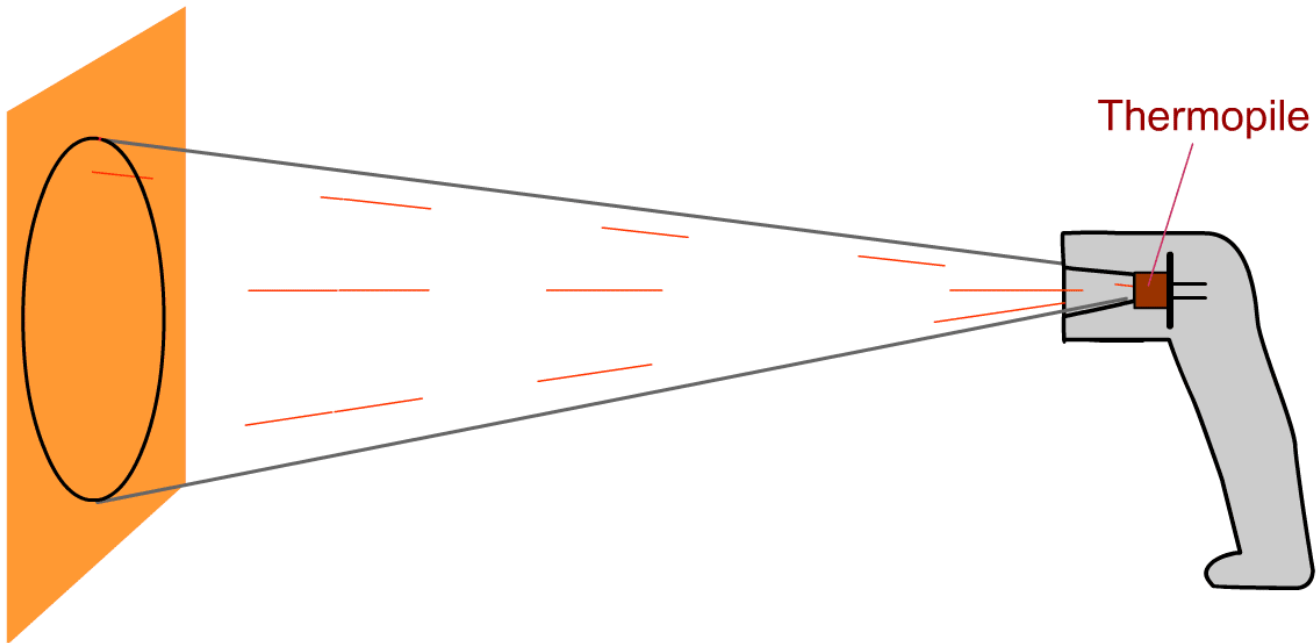


3000 K
Intensität * 1000

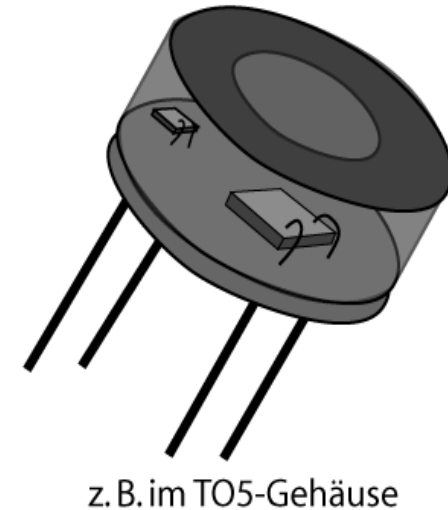
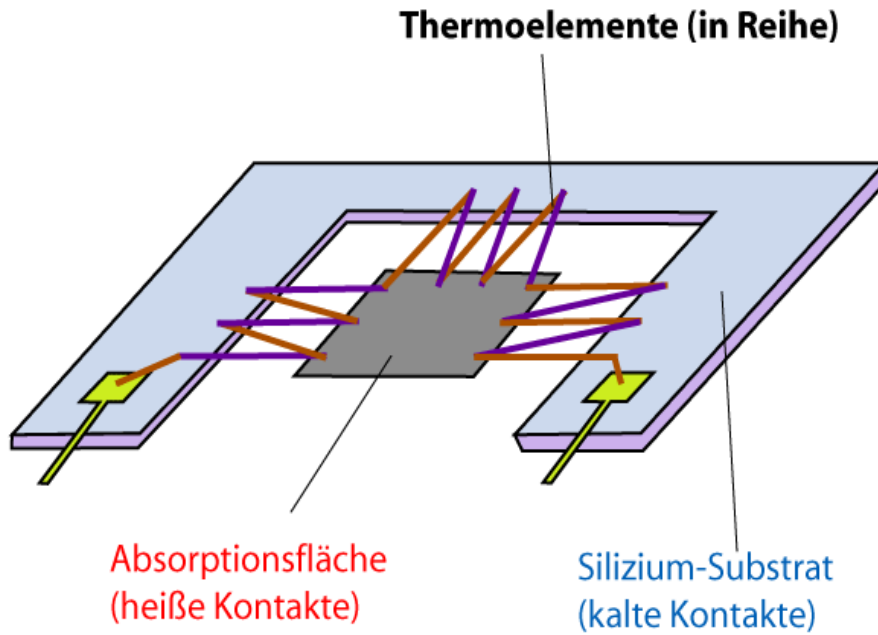


6000 K
Intensität * 1

c) Strahlungsthermometer / Infrarotthermometer



c) Strahlungsthermometer / Infrarotthermometer

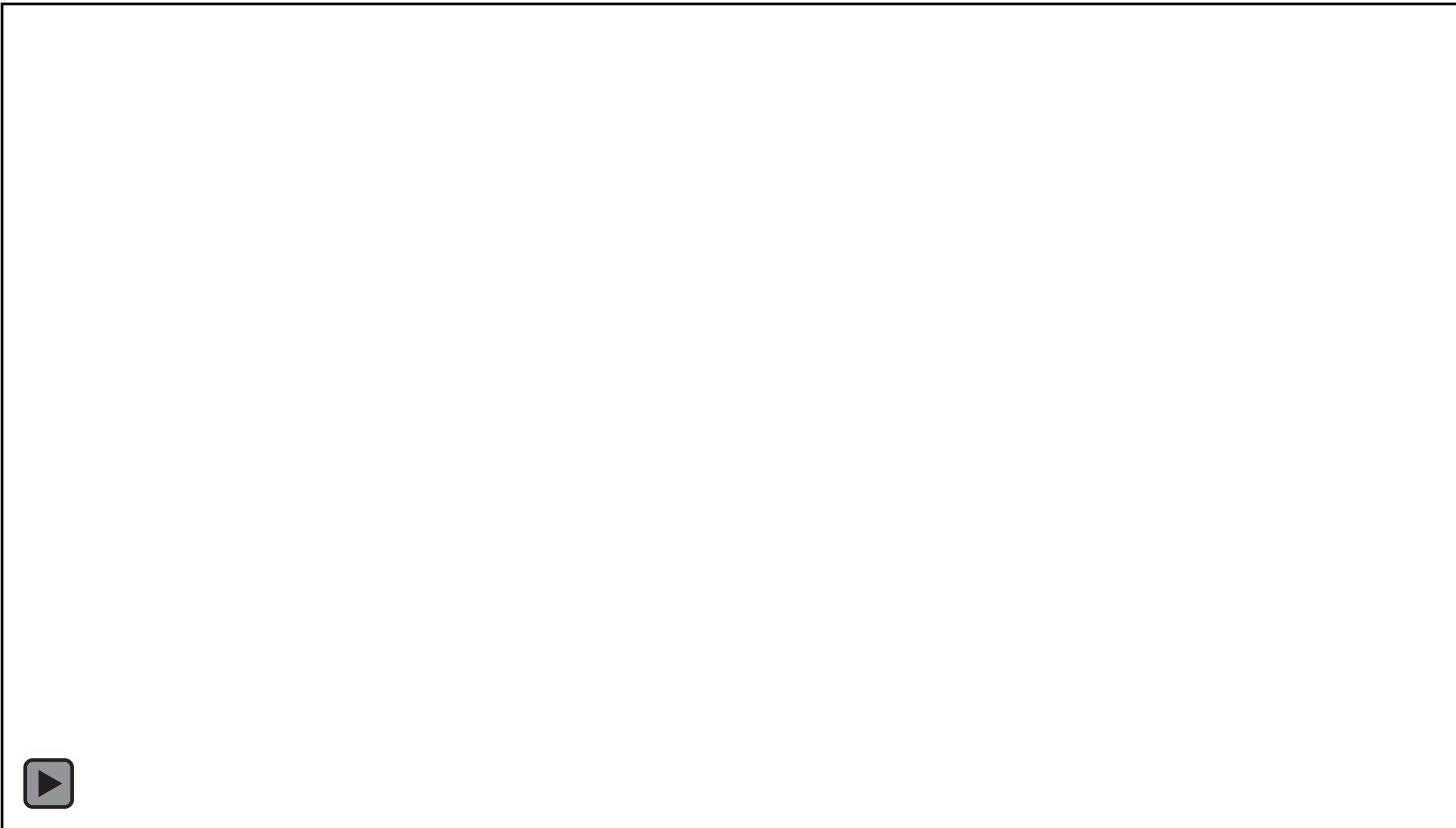


c) Strahlungsthermometer / Infrarotthermometer





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

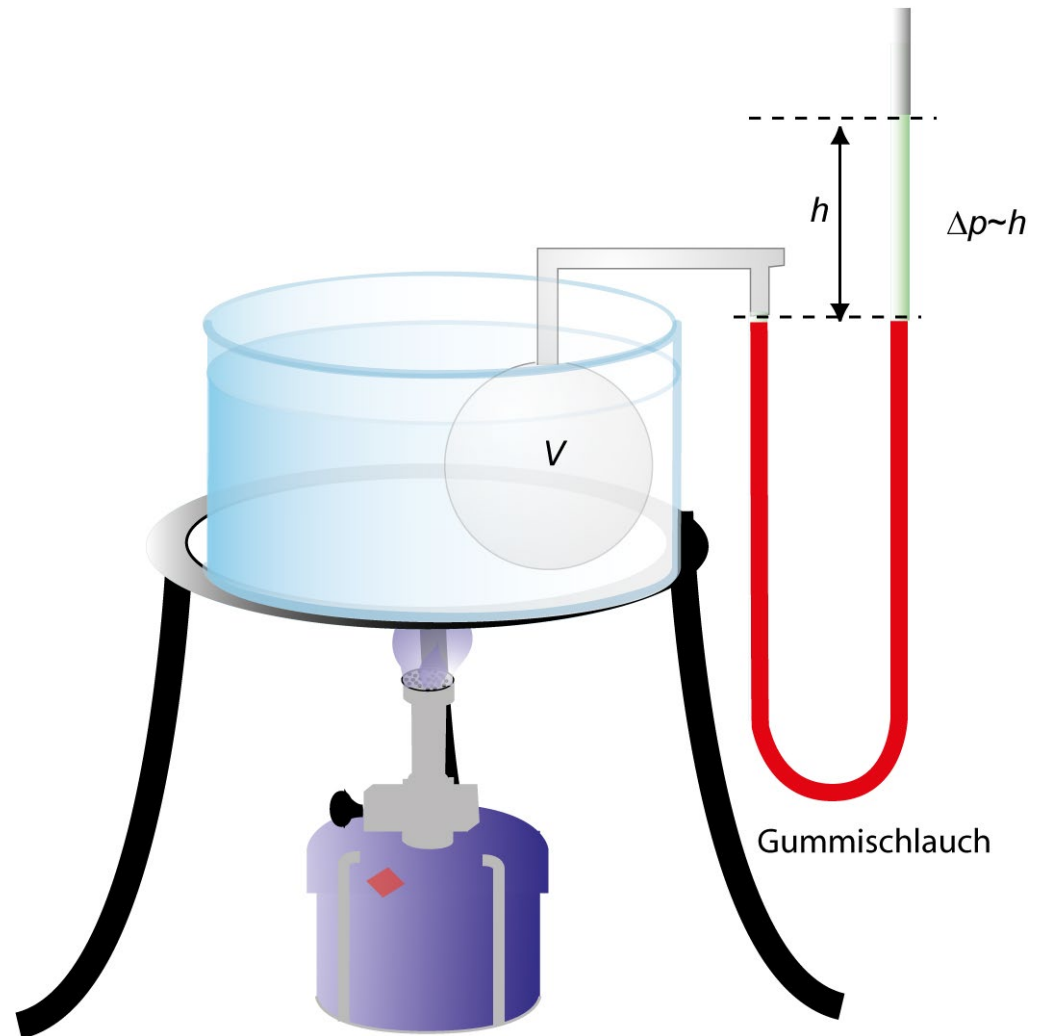
d) Thermographie



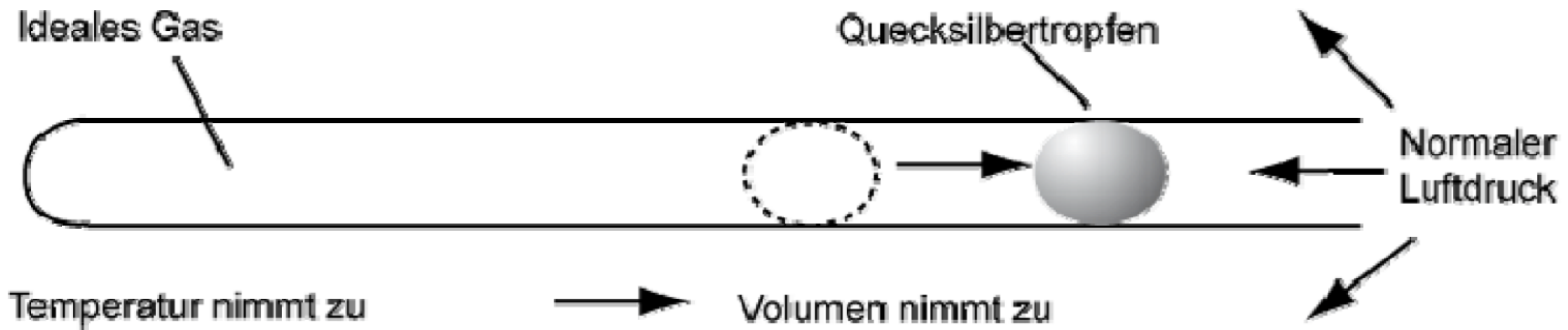
Pixel aus IR-Sensoren



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

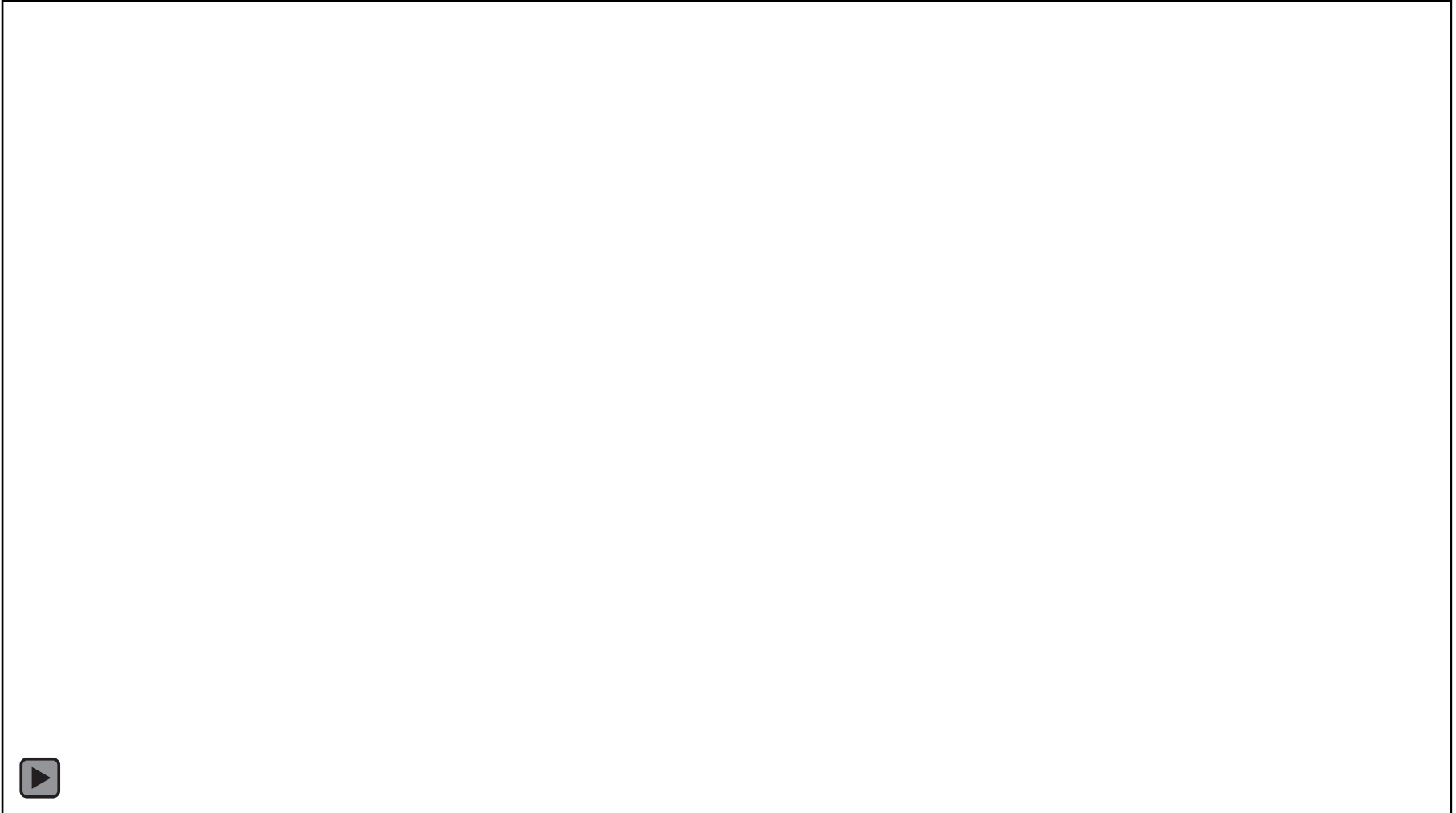
Längenausdehnung





Thermische Ausdehnung

Längenausdehnung

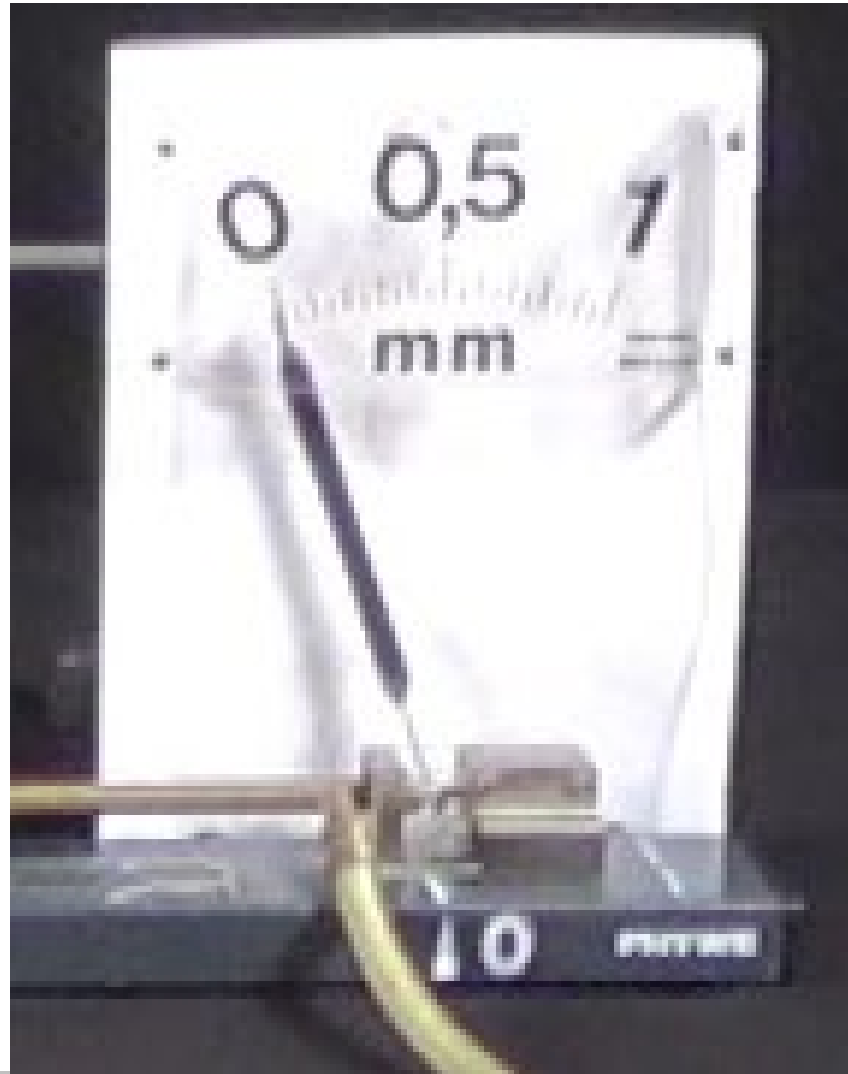


[Link zum Experiment:](https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/1-3-Laengenausdehnung-1.m4v)

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

Thermische Ausdehnung

Längenausdehnung





Thermische Ausdehnung enorme Kräfte

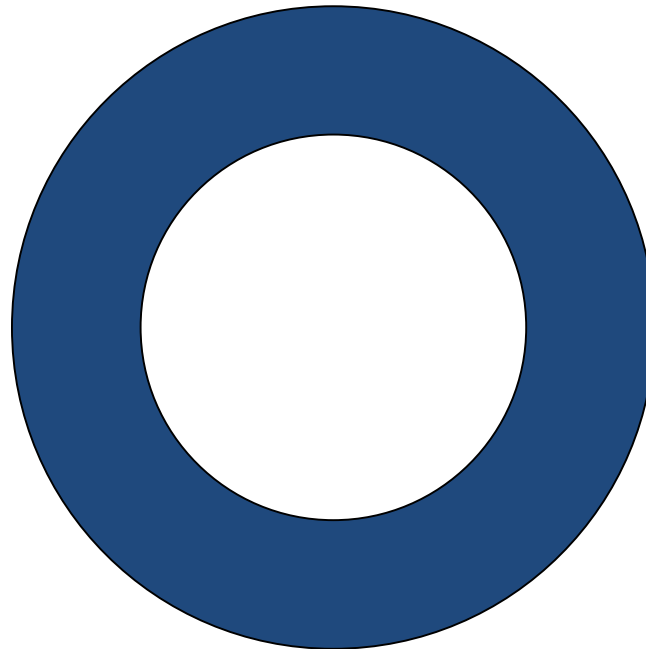


[Link zum Experiment:](https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/1-3-Bolzen_K-1-1.m4v)

[https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/1-3-Bolzen K-1-1.m4v](https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/1-3-Bolzen_K-1-1.m4v)

Thermische Ausdehnung

Flächenausdehnung



Thermische Ausdehnung

Flächenausdehnung



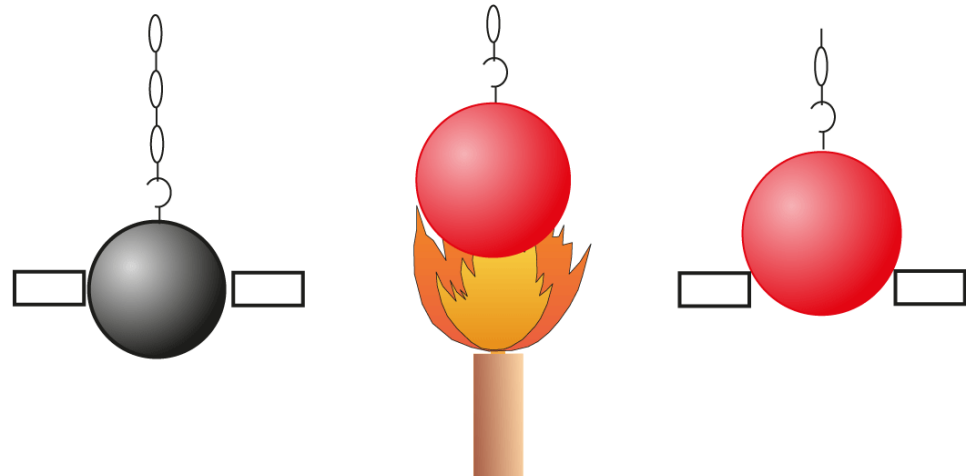
Thermische Ausdehnung

Volumenausdehnung



Thermische Ausdehnung

Volumenausdehnung



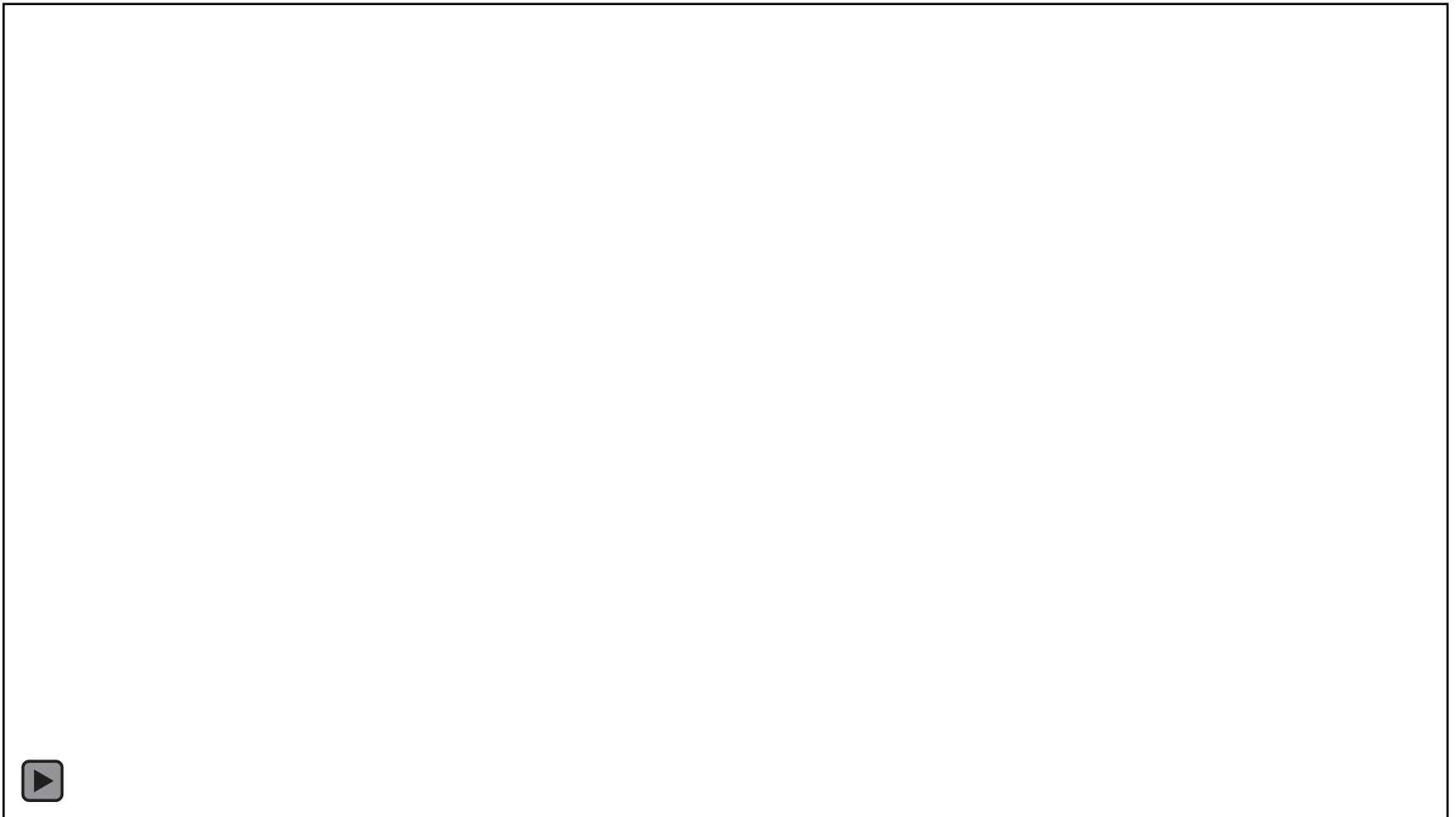
[Link zum Experiment:](https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/1-3-Metallkugel-2-1.m4v)

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



Thermische Ausdehnung

Volumenausdehnung





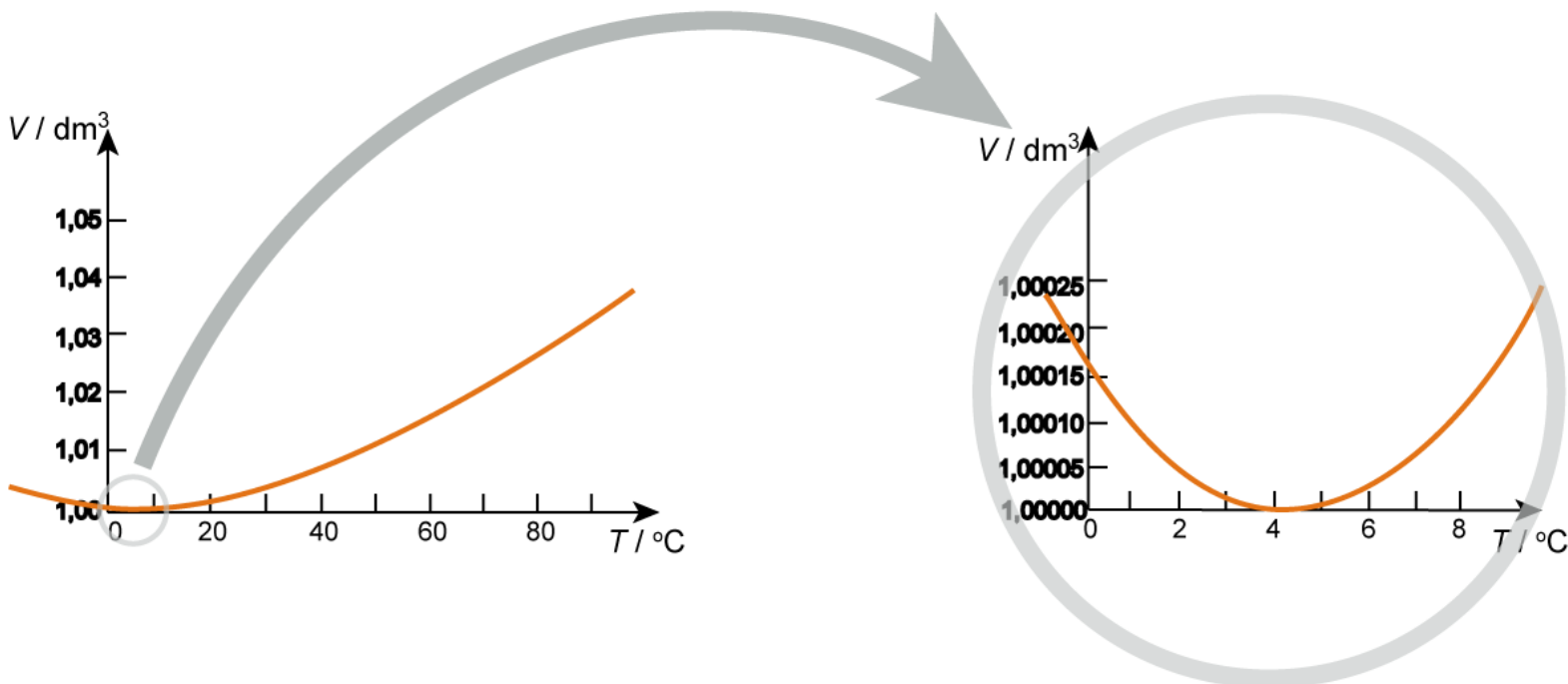
Thermische Ausdehnung

Volumenausdehnung



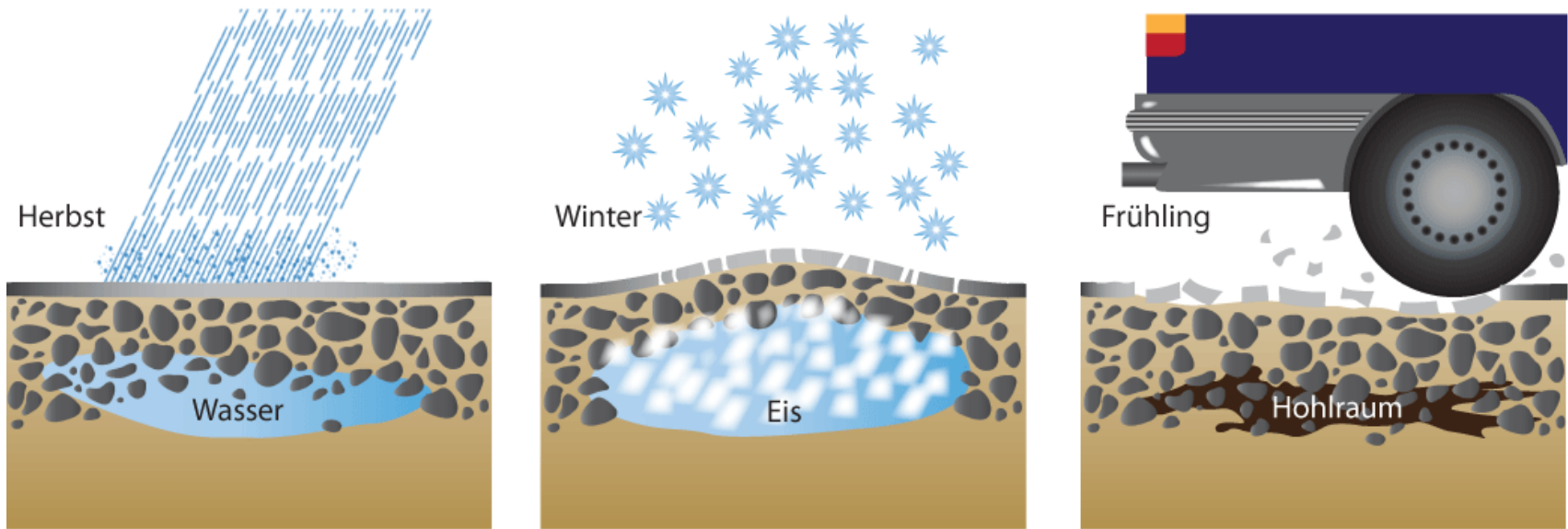
Thermische Ausdehnung

Volumenausdehnung – Anomalie des Wassers

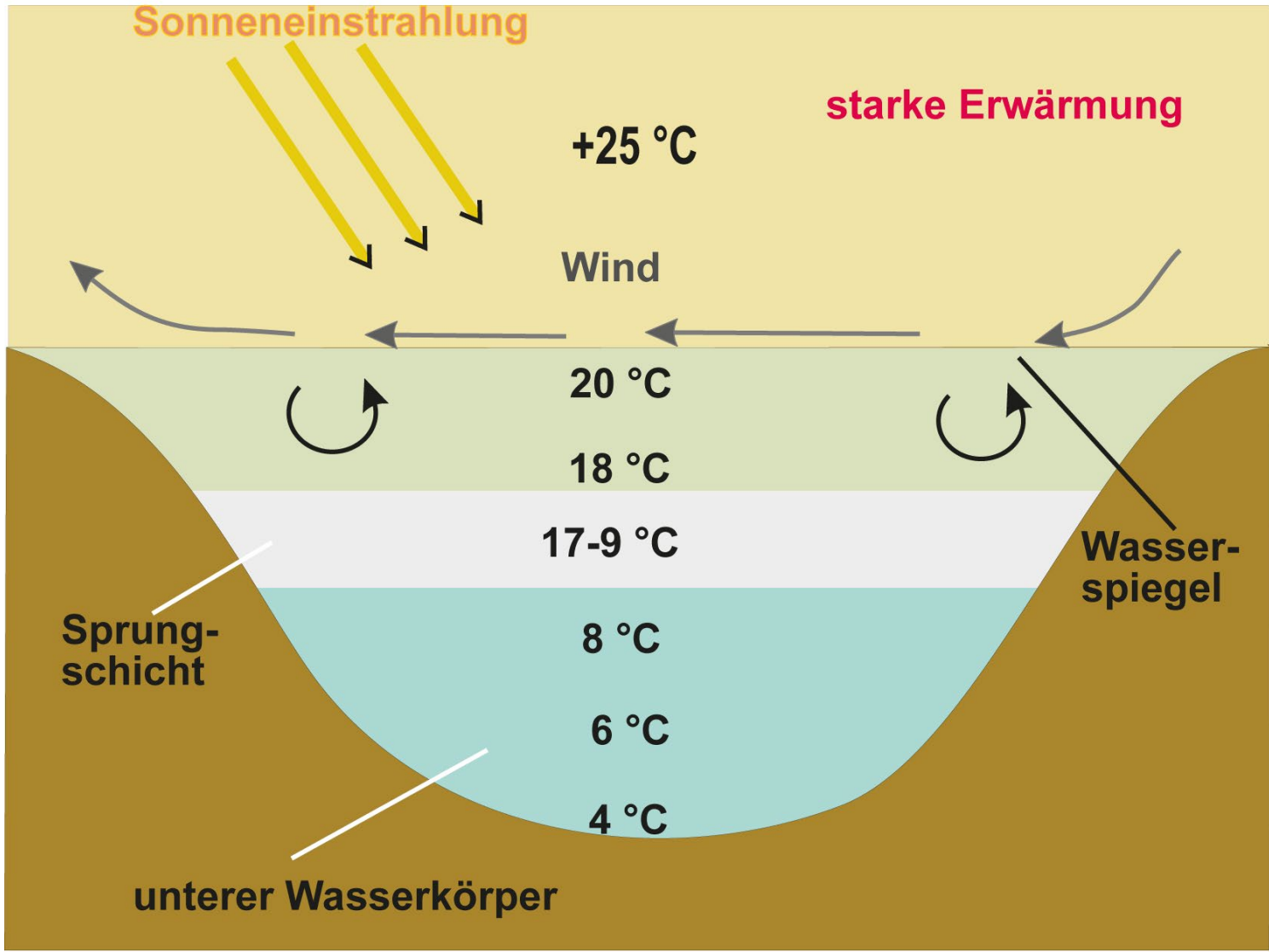


Thermische Ausdehnung

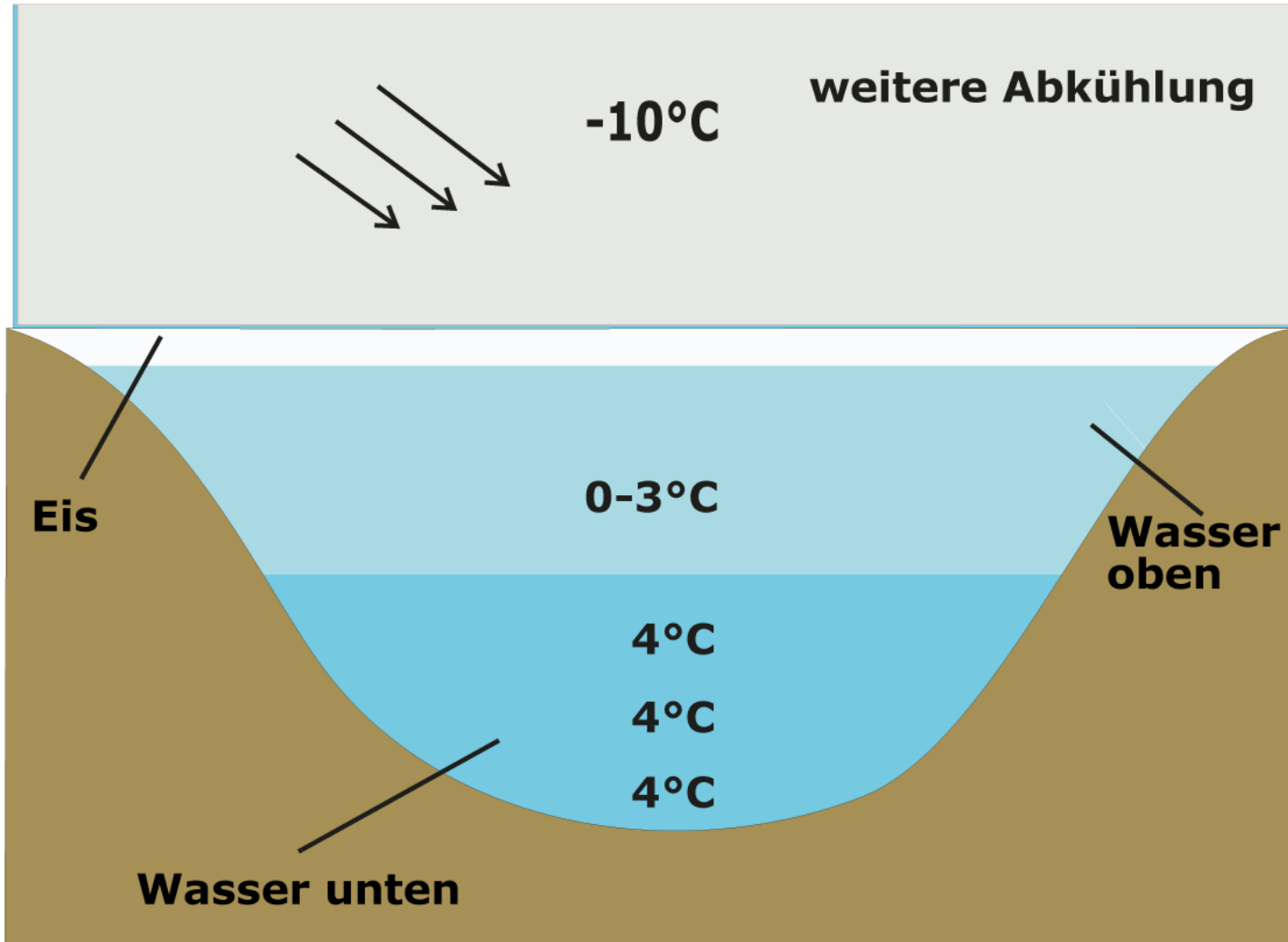
Volumenausdehnung – Anomalie des Wassers



Thermische Ausdehnung – Temperaturschichtung im Wasser



Thermische Ausdehnung – Temperaturschichtung im Wasser



Thermische Ausdehnung

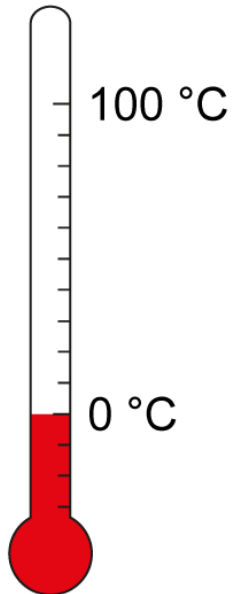
Anomalie des Wassers



Ergänzung Thermometerskalen

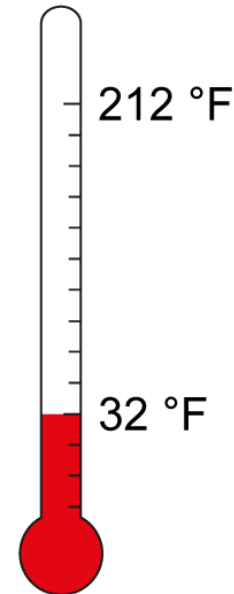
(1742)

Celsius-
skala

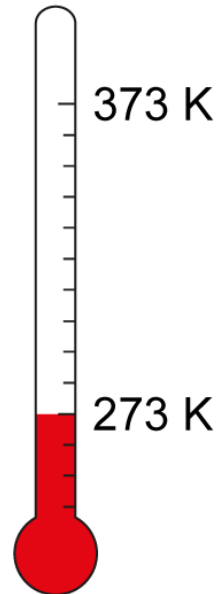


(1714)

Fahrenheit-
skala



Kelvin-
skala

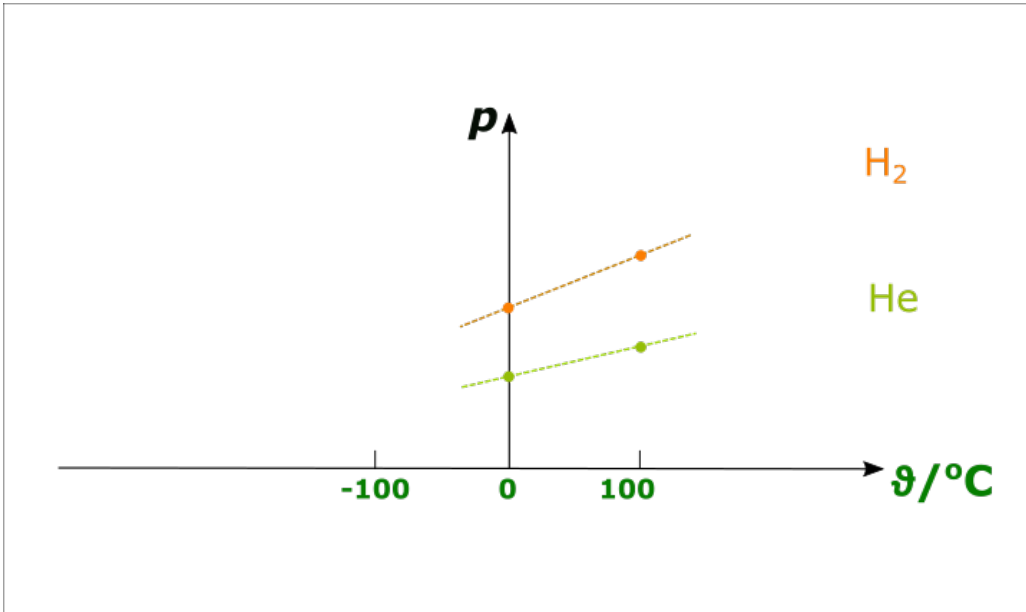


$$T_C = \frac{5}{9} \left(\frac{T_F}{^\circ\text{F}} - 32 \right) ^\circ\text{C}$$

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



Zusammenhang zwischen Celsius- und Kelvinskala

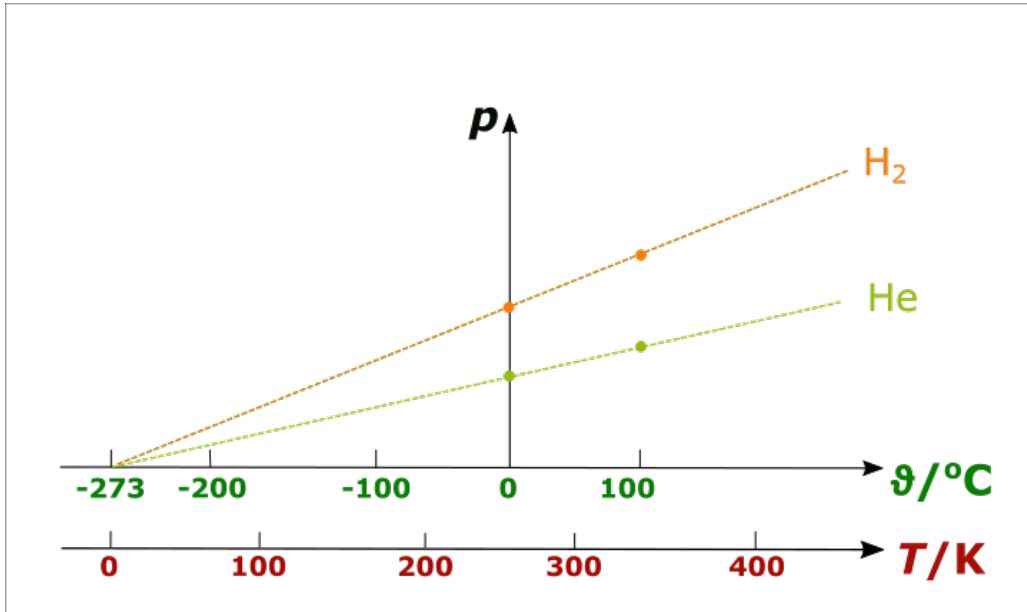


Messungen zum Gasdruck
verschiedener Gase bei
konstantem Volumen
führen zu dem Ergebnis:

$$p \sim \vartheta$$

(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:

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