

# *Zur Stabilität der Sonne*

Dr. Holger Hauptmann  
Europa-Gymnasium Würth  
hauptmann@egwoerth.de

## Frage

- Warum explodiert die Sonne nicht wie eine Wasserstoff-Bombe?

## Zitat

*Die Sonne befindet sich zur Zeit in einem Gleichgewichtszustand. Expandierende Kräfte als Folge hoher Gastemperatur und kontrahierende Gravitationskräfte gleichen sich aus. Wenn in einigen Millionen Jahren der Wasserstoff als Fusionsbrennstoff verbraucht ist, werden Temperatur und Druck im Innern zunächst abnehmen, die Gravitationskräfte überwiegen, und mit einer Kontraktion beginnt ein neuer Abschnitt in der Geschichte der Sonne.*

# Fehlschluss

Brennstoffvorrat erschöpft sich

⇒ Energieproduktion nimmt ab

⇒ Temperatur nimmt ab

⇒ Stern kontrahiert

⇒ Temperatur nimmt zu

⇒ nächste Brennphase beginnt

**Dadurch, dass die Temperatur abnimmt,  
nimmt die Temperatur zu.**

# Negative spezifische Wärme

Wärme- bzw. Entropiezufuhr



Temperaturabnahme

# Regelkreis

Umsatzrate der Kernreaktion  $\uparrow$



Wärmeproduktion  $\uparrow$

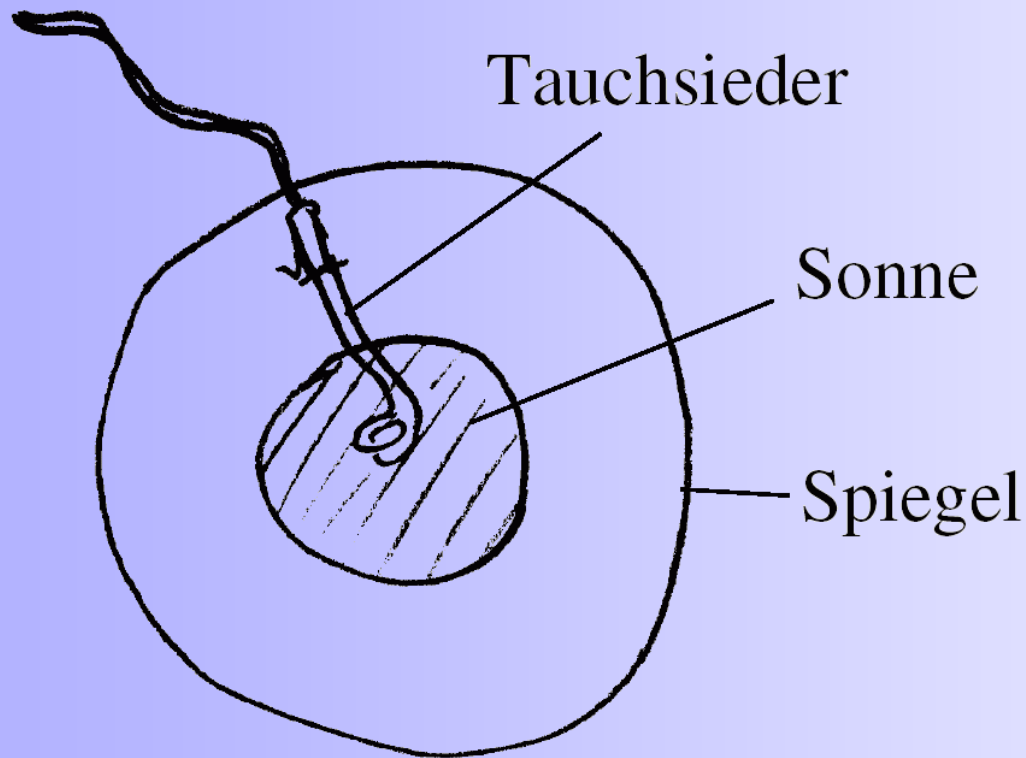


Temperatur  $\downarrow$



Umsatzrate der Kernreaktion  $\downarrow$

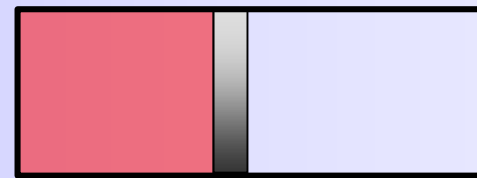
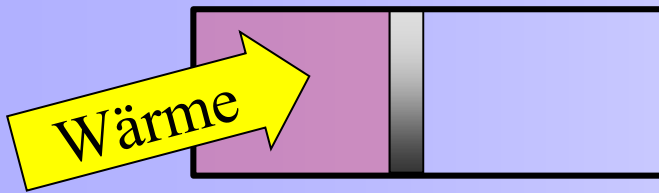
# Gedankenexperiment



bei Wärmezufuhr	Temperatur ↓	Volumen ↑
bei Wärmeabgabe	Temperatur ↑	Volumen ↓

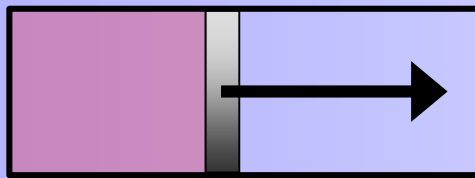
# Experimente mit Gas

1. Wärmezufuhr:



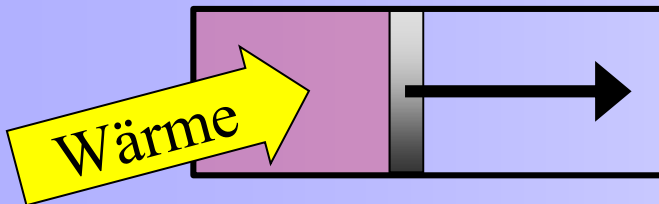
$T$  steigt

2. Volumenzunahme:



$T$  sinkt

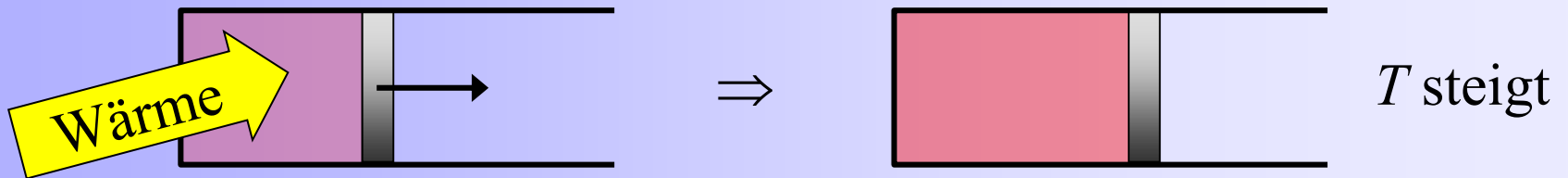
3. Wärmezufuhr und Volumenzunahme:



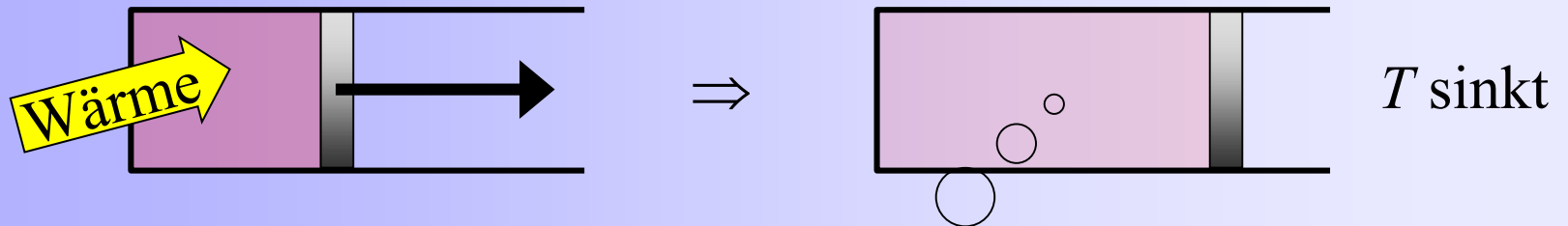
$T = ?$

# Experimente mit Gas

4. Wärmezufuhr überwiegt Volumenzunahme:



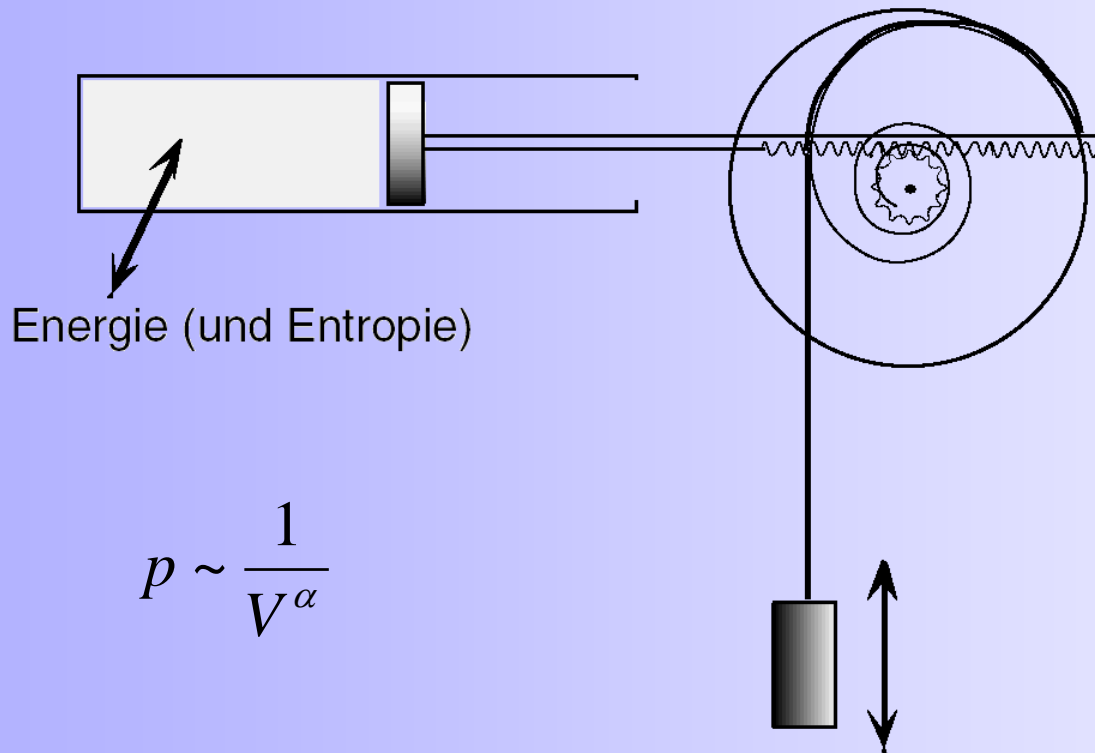
5. Volumenzunahme überwiegt Wärmezufuhr:



Temperaturabnahme trotz  
Wärmezufuhr: negative  
Wärmekapazität



# Ein mechanisches Sternmodell



$\alpha = 1$   $T = \text{const}$  bei Wärmezufuhr

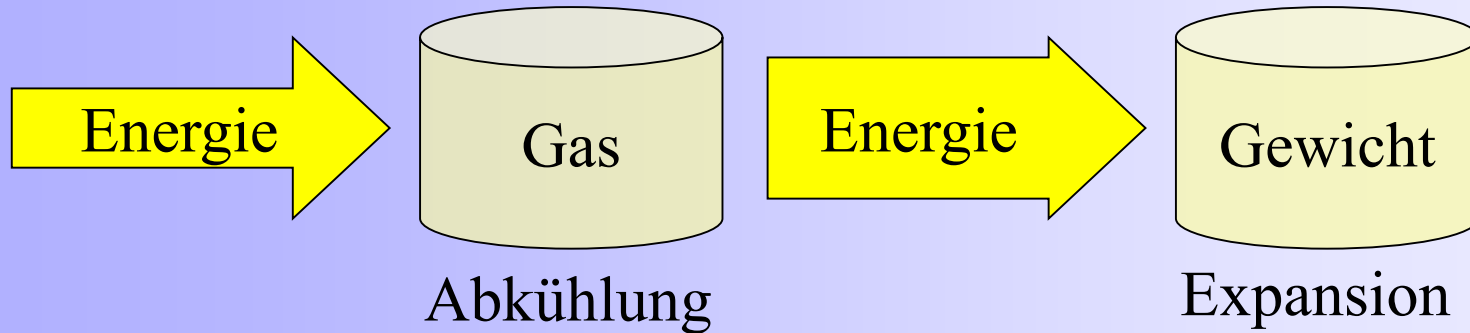
$\alpha < 1$   $T$  wächst bei Wärmezufuhr

$\alpha > 1$   $T$  nimmt ab bei Wärmezufuhr

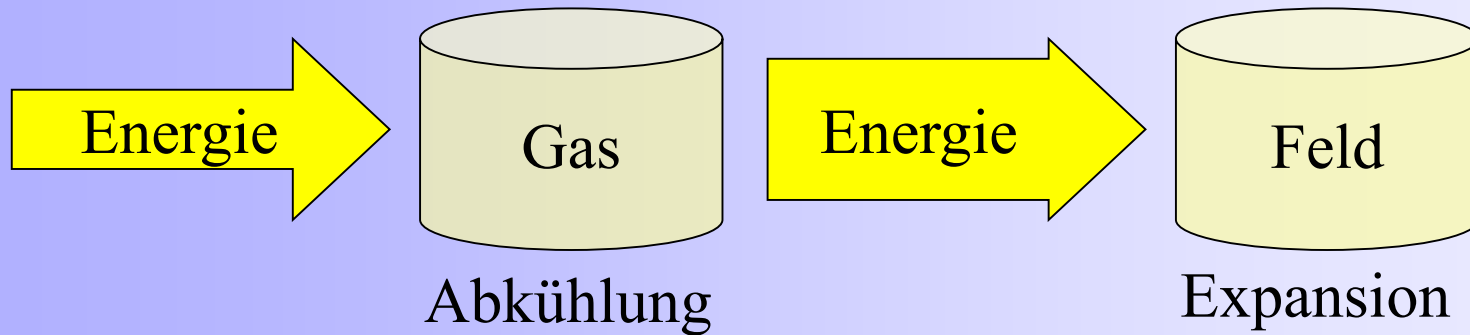
$\alpha < \gamma$  für mechanische Stabilität

# Energiebilanz

1. Modell:



2. Stern:



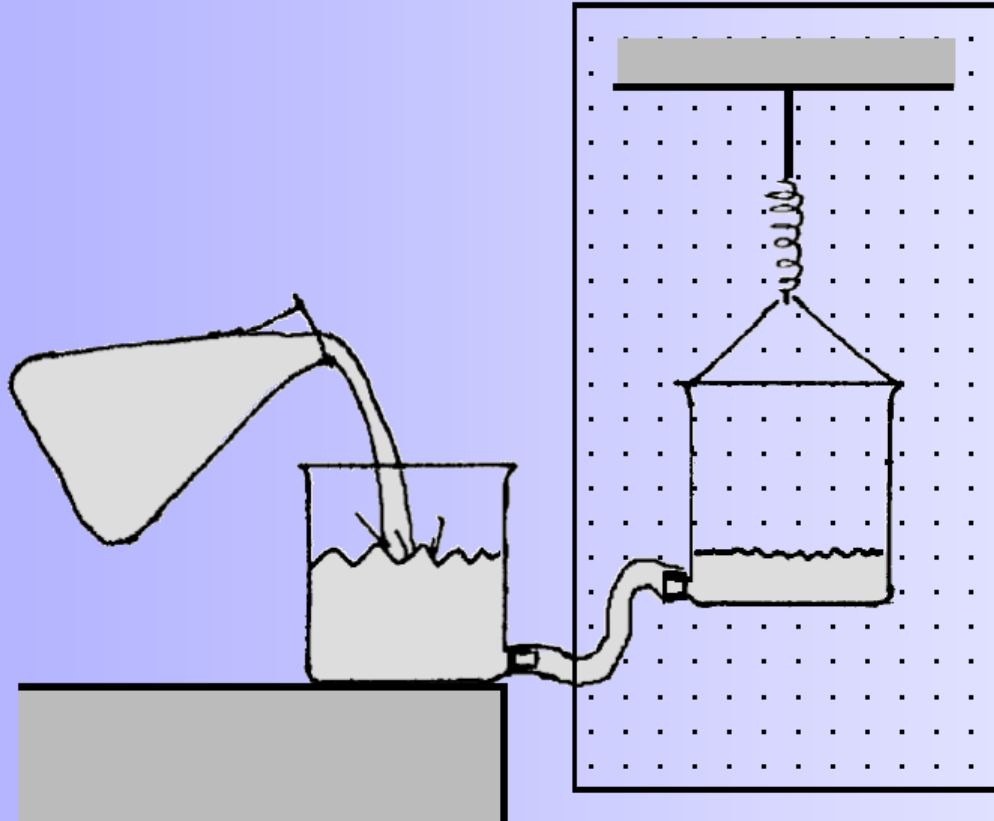
# Energieaustausch

$$dE_{Feld} = -2 \cdot dE_{Gas}$$

Virialtheorem

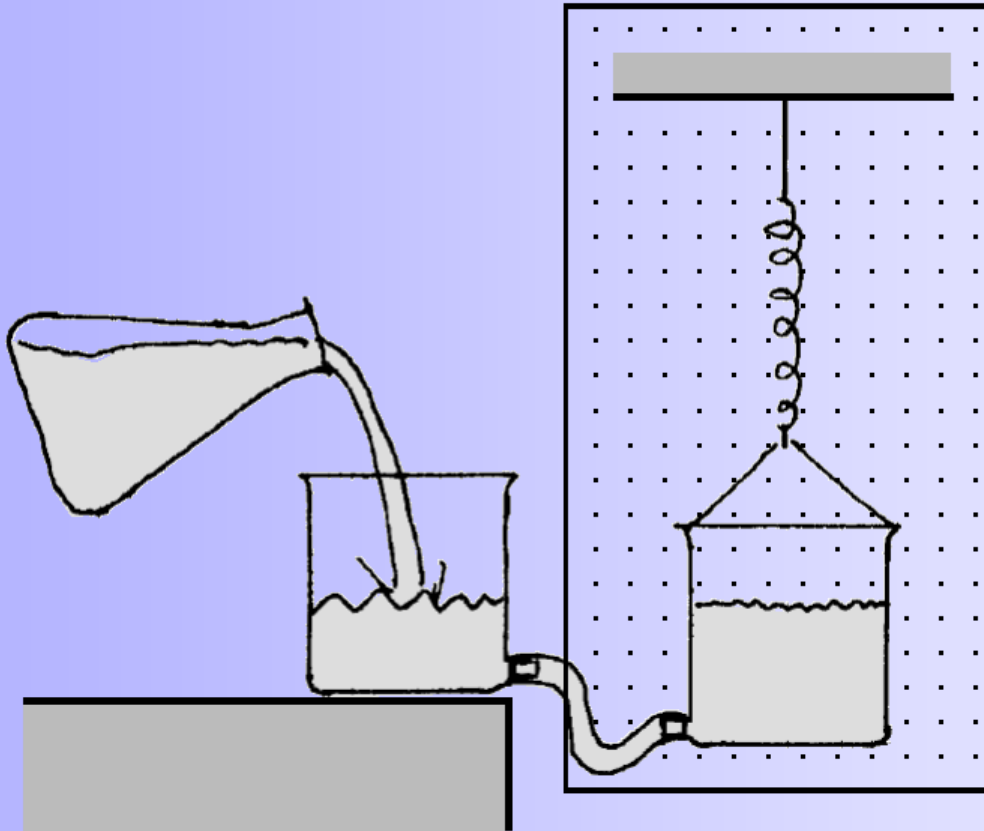
# Ein Wassermodell

Ein Eimer kann beim füllen leerer werden, ...



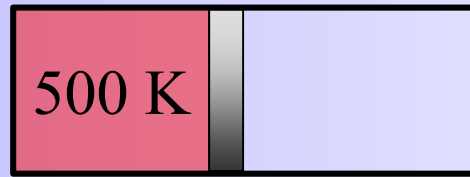
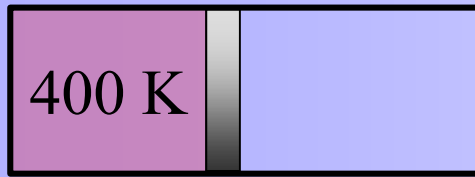
# Ein Wassermodell

Ein Eimer kann beim füllen leerer werden, ...  
... wenn ein 2. Eimer mit dem Ersten verbunden ist!



Bedingung:  $\frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot g < D < A \cdot \rho \cdot g$

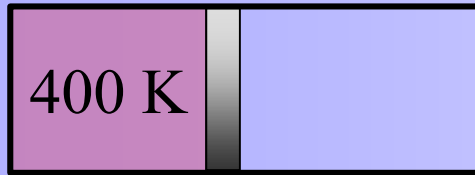
# Entropiebilanz



$$V_1 = V_2$$

$$T_1 < T_2$$

$$S_1 < S_2$$



$$V_1 < V_2$$

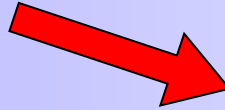
$$T_1 = T_2$$

$$S_1 < S_2$$

Fläche nimmt zu

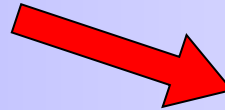
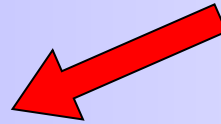
# Sternentwicklung

Kosmische Gaswolke



Wasserstoff-Fusionsphase  
(Hauptreihe)

Helium-Fusionsphase  
(Roter Riese)



Evtl. weitere Fusionsphase  
(C-, O-, Si-Brennen)

weißer Zwerg,  
Neutronenstern,  
schwarzes Loch

