

Die Stabilität der Sonne

(Teil 1)

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

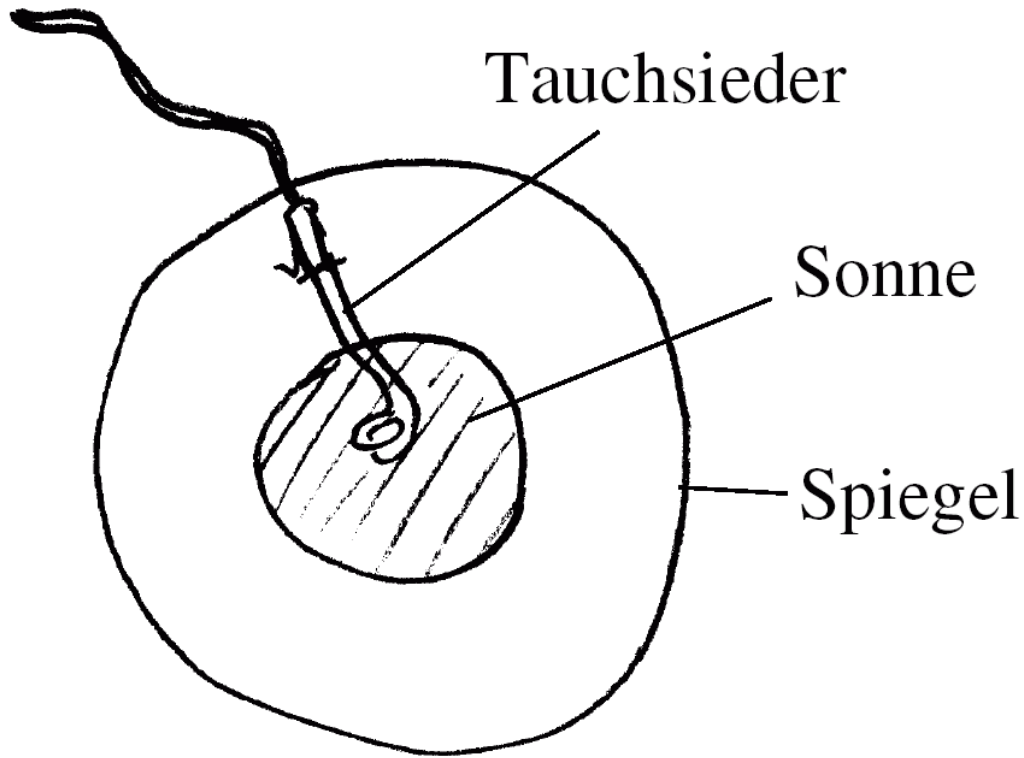


Temperatur \downarrow



Umsatzrate der Kernreaktion \downarrow

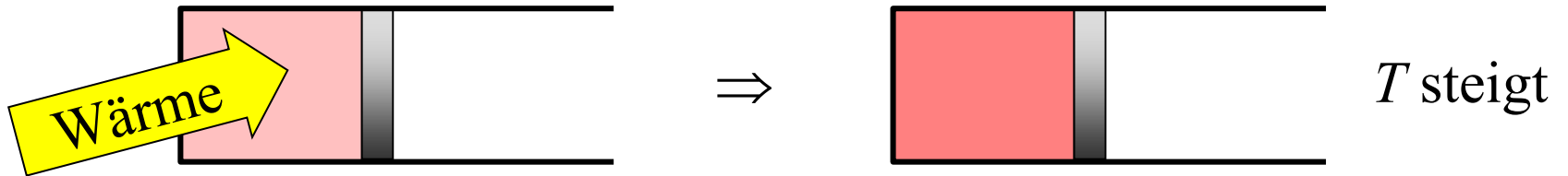
Gedankenexperiment



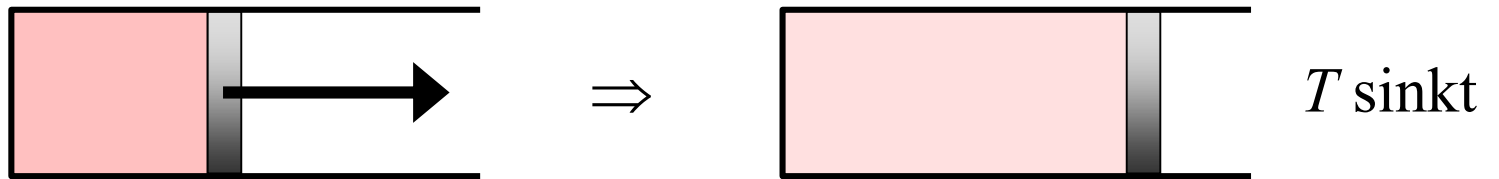
bei Wärmezufuhr	Temperatur ↓	Volumen ↑
bei Wärmeabgabe	Temperatur ↑	Volumen ↓

Experimente mit Gas

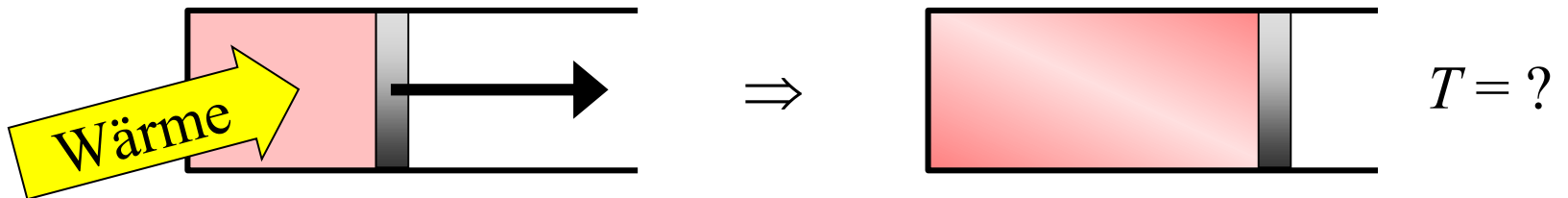
1. Wärmezufuhr:



2. Volumenzunahme:

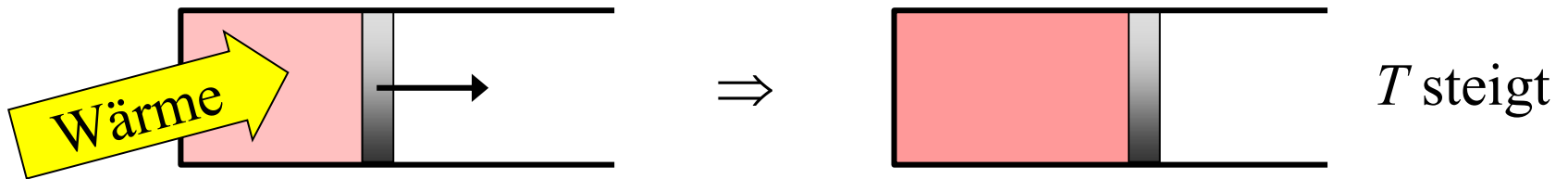


3. Wärmezufuhr und Volumenzunahme:

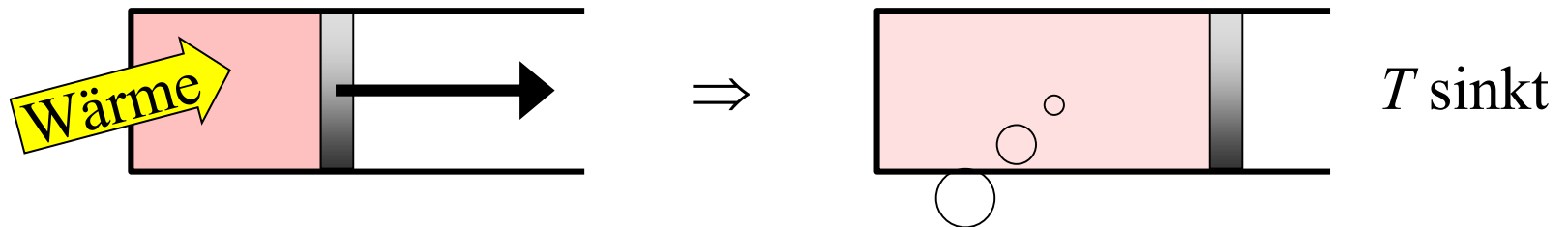


Experimente mit Gas

4. Wärmezufuhr überwiegt Volumenzunahme:

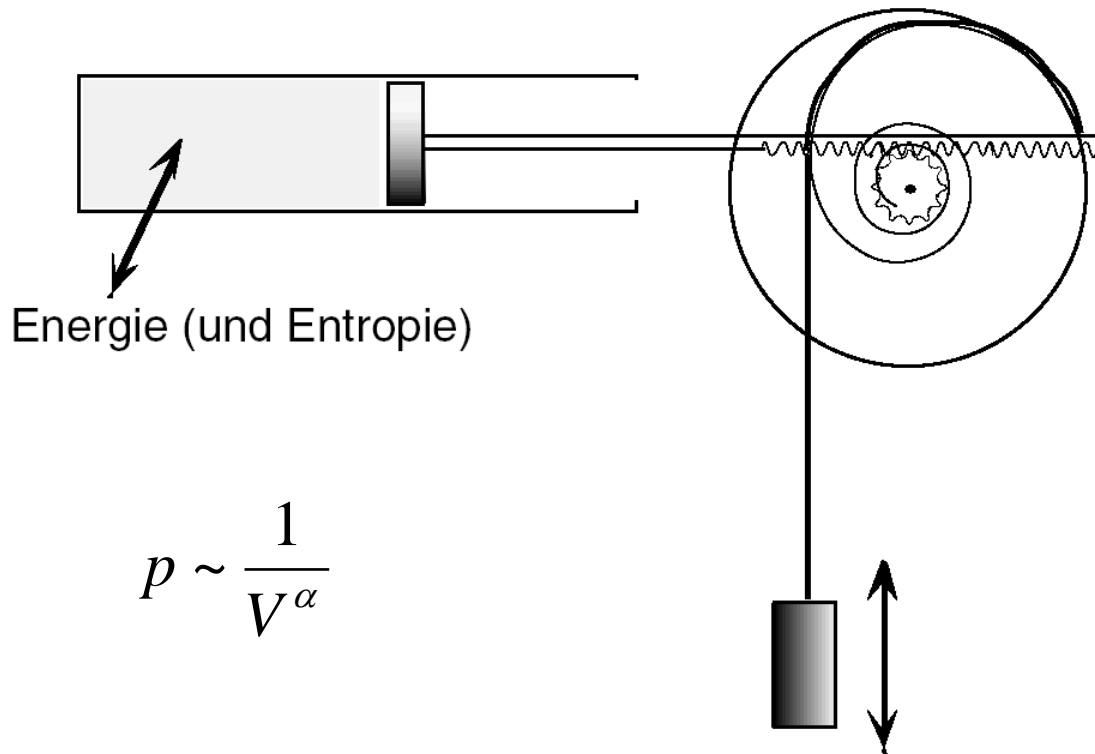


5. Volumenzunahme überwiegt Wärmezufuhr:



Temperaturabnahme trotz
Wärmezufuhr: negative
Wärmekapazität

Ein mechanisches Sternmodell



$$p \sim \frac{1}{V^\alpha}$$

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

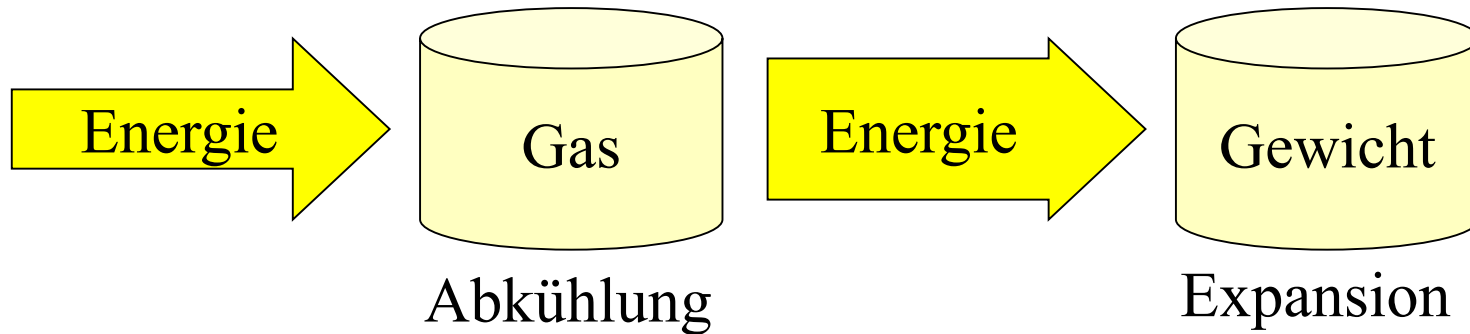
$\alpha < 1$ T wächst bei Wärmezufuhr

$\alpha > 1$ T nimmt ab bei Wärmezufuhr

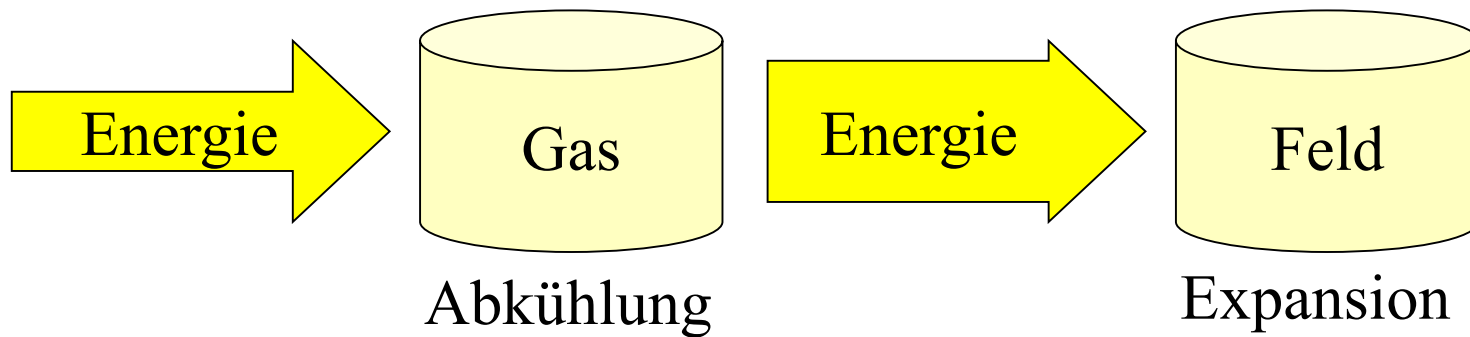
$\alpha < \gamma$ für mechanische Stabilität

Energiebilanz

1. Modell:



2. Stern:



Energieaustausch

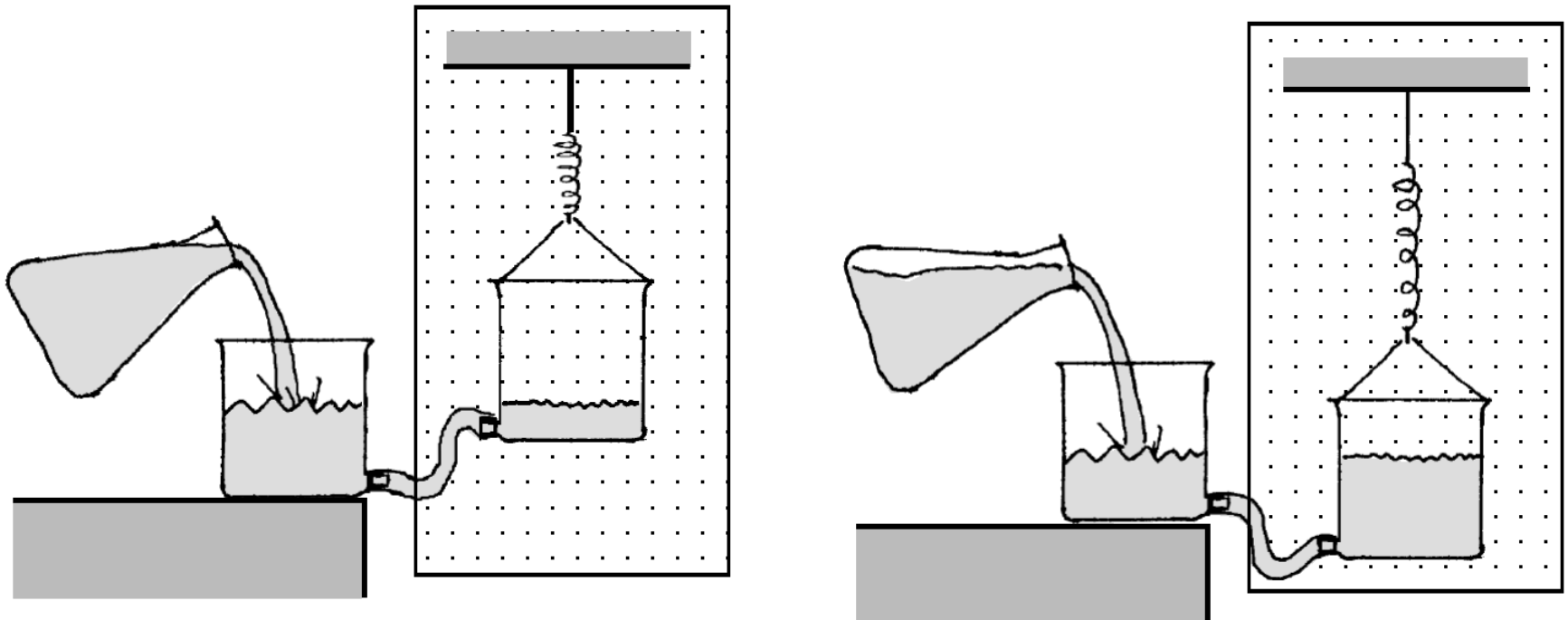
$$dE_{Feld} = -2 \cdot dE_{Gas}$$

Virialtheorem

Ein Wassermodell

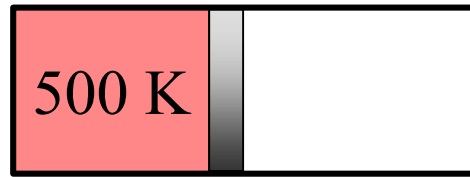
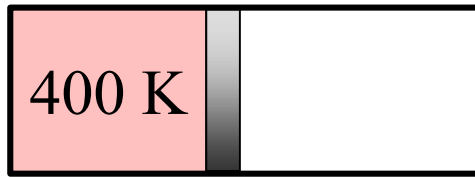
Ein Eimer kann beim füllen leerer werden, ...

... wenn ein 2. Eimer mit dem Ersten verbunden ist!



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

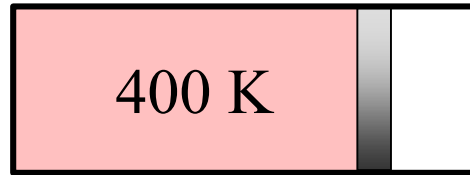
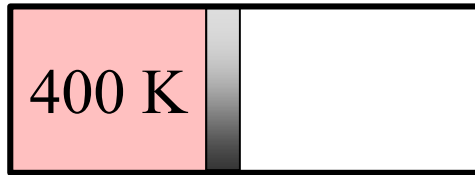
Entropiebilanz



$$V_1 = V_2$$

$$T_1 < T_2$$

$$S_1 < S_2$$



$$V_1 < V_2$$

$$T_1 = T_2$$

$$S_1 < S_2$$

Fläche nimmt zu

Der Übergang zum Roten Riesen

(Teil 2)

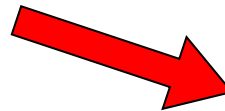
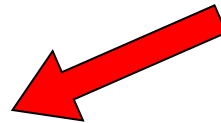
Sternentwicklung

Kosmische Gaswolke



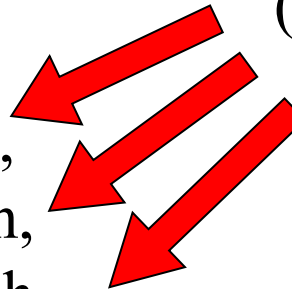
Wasserstoff-Fusionsphase
(Hauptreihe)

Helium-Fusionsphase
(Roter Riese)

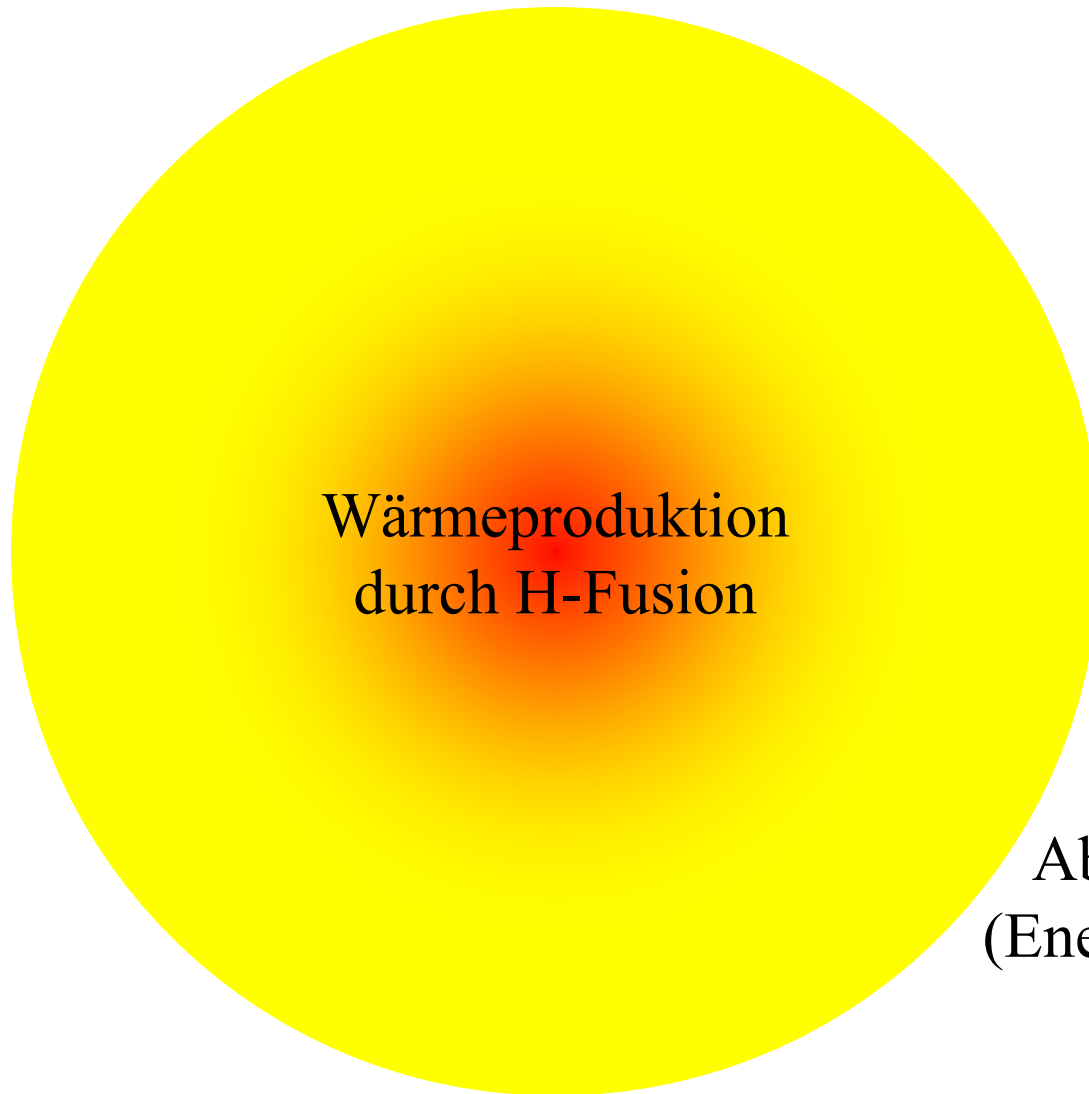


Evtl. weitere Fusionsphase
(C-, O-, Si-Brennen)

weißer Zwerg,
Neutronenstern,
schwarzes Loch



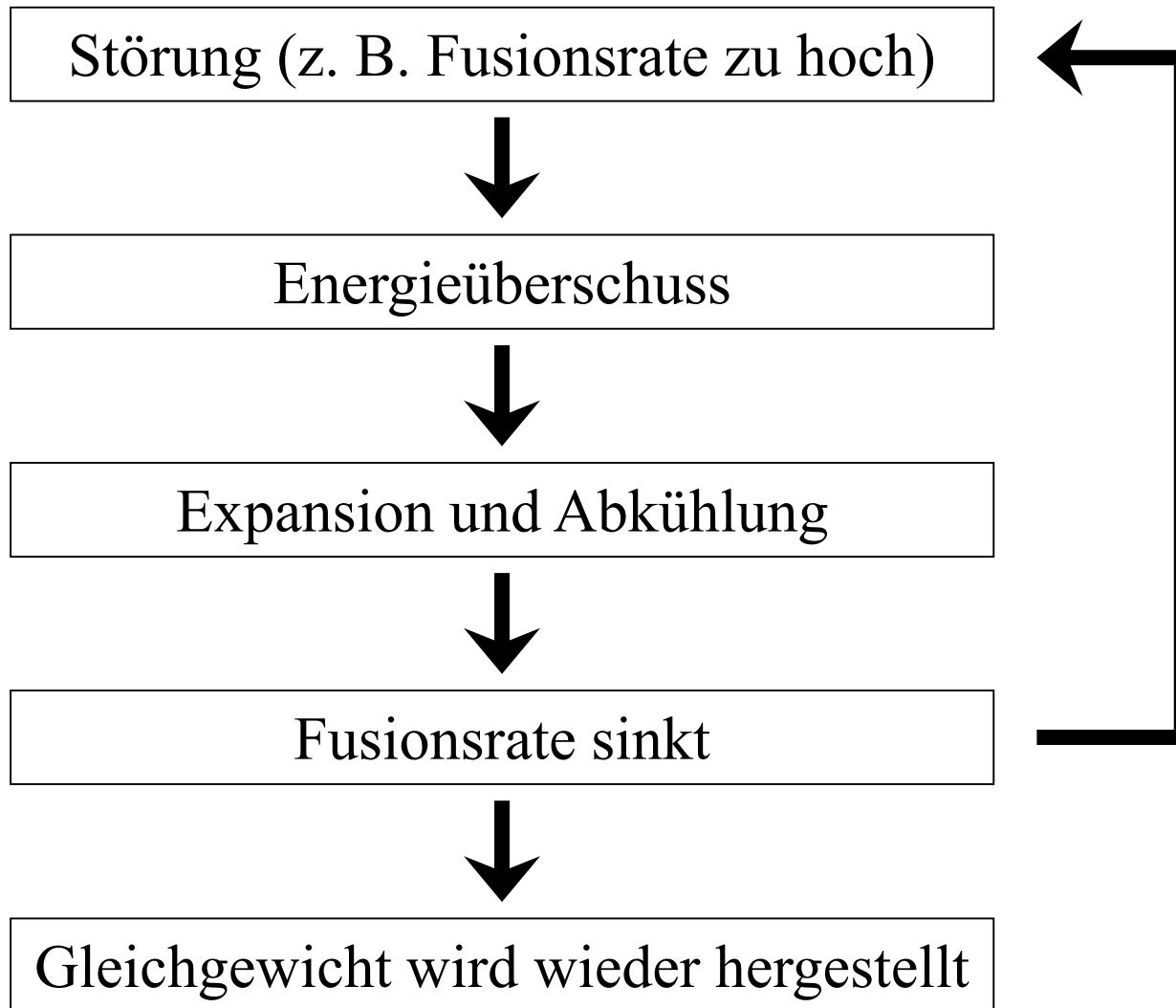
Hauptreihenstern im Fließgleichgewicht



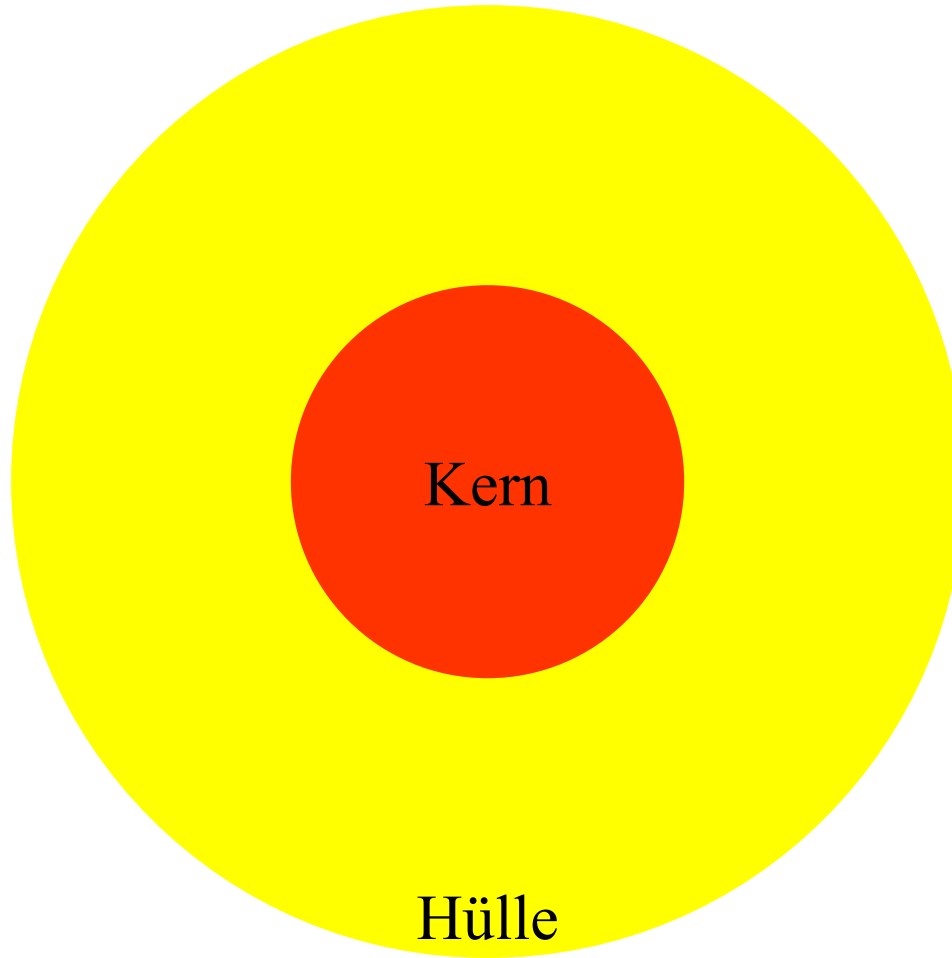
Wärmeproduktion
durch H-Fusion

Abstrahlung
(Energieverlust)

Störung

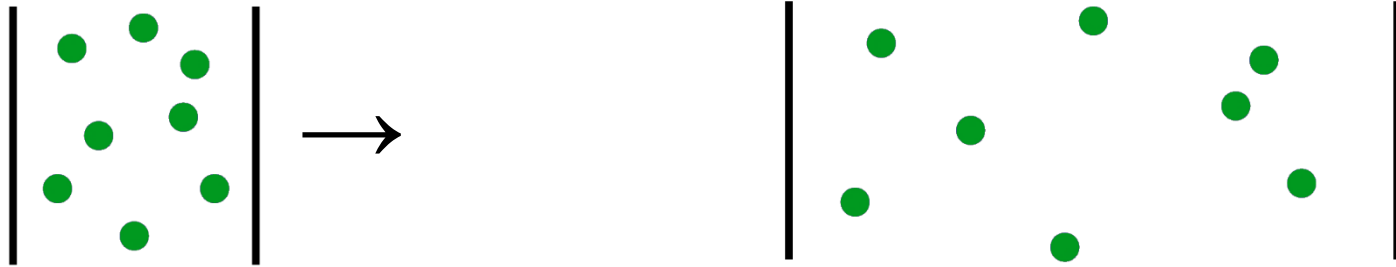


Zerlegung in 2 Teilsysteme: Kern und Hülle

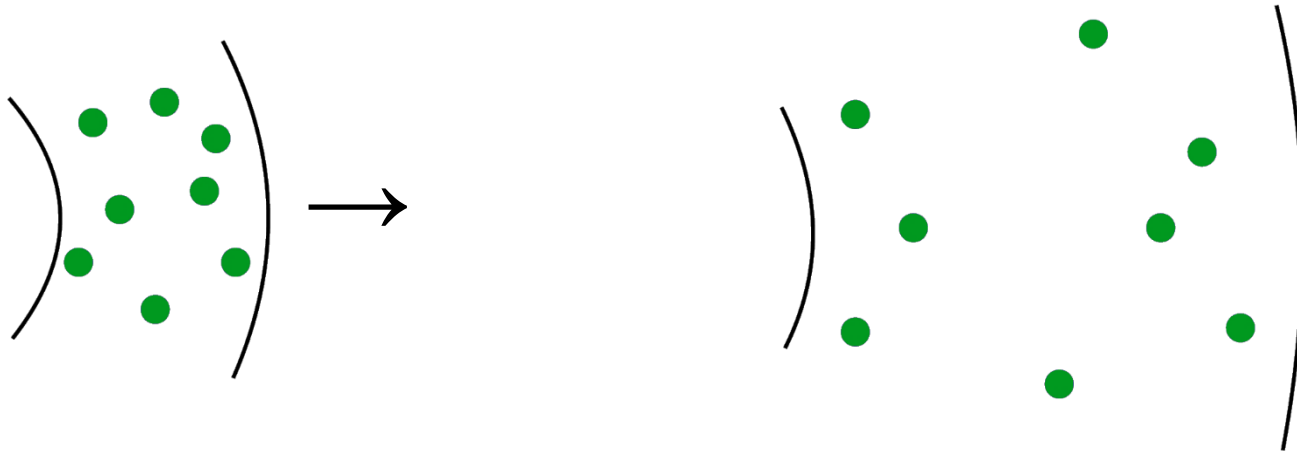


Geometrische Überlegung

Eindimensionale Expansion



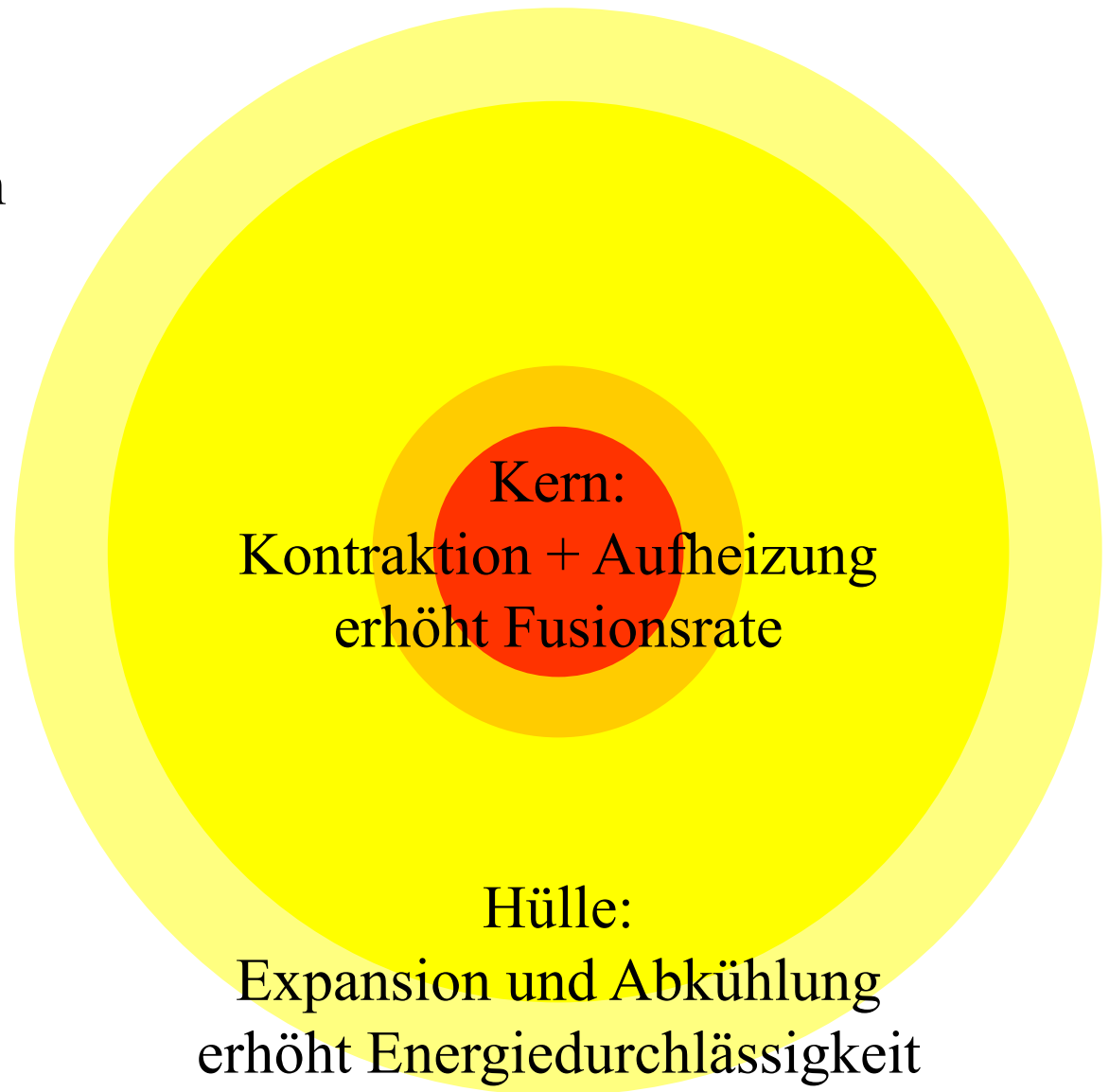
Dreidimensionale Expansion



⇒ Die Hülle wird durchsichtiger

Fazit

2 Rückkopplungen
durch negative
Wärmekapazität



Überblick: Übergang zum Roten Riesen

Kern

Fusionsrate zu niedrig



Energienmangel



Kontraktion + Aufheizung



Beginn He-Fusion



Hülle

Wärmezufuhr steigt



Expansion + Abkühlung



Hülle wird durchsichtiger



Wärmestransfer steigt



Gleichgewicht wieder hergestellt

