

## Letzte Stunde

- Vergleichsprozesse für technische Wärmekraftmaschinen (Otto- und Dieselmotor)
- Umgekehrter Umlaufsinn bei Wärmekraftmaschinen ergibt Kältemaschinen bzw. Wärmepumpen (Charakterisierung durch Leistungszahl)
- Unterschiedliche Formulierungen des *zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik*:
  - Es gibt keine periodisch arbeitende Maschine, die nichts anderes bewirkt als die Abkühlung eines einzigen Wärmebades und die Erzeugung von Arbeitsleistung.
  - Ein höherer Wirkungsgrad als der des (reversiblen) Carnot-Prozesses ist nicht erreichbar.
  - Es gibt kein Perpetuum mobile zweiter Art.

## Heute

- 14.6: Entropie

<http://www.ep1.rub.de/lehre/veranstaltungen/ws0910/physikcbg/>

- **Gewinner Evaluation**
- **Veranstaltungen für Nicht-Physikerinnen und Nicht-Physiker**

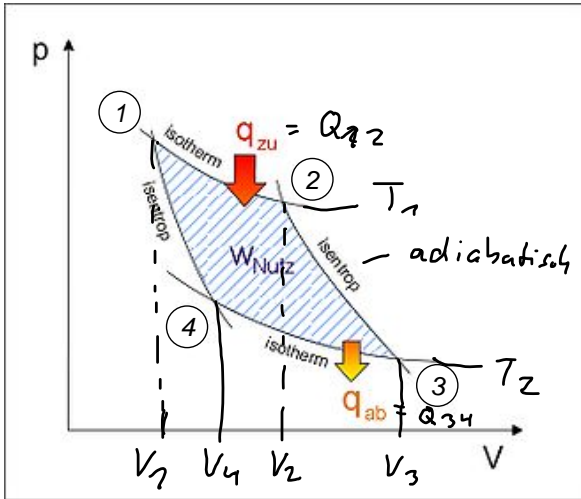
**1. ws0994420**

**2. ws092468**

**3. ws0970315**

**Hinweis an die Gewinner:** Da die Evaluation anonym ist, gibt es keine Möglichkeit, die Namen zu ermitteln. Bitte melden Sie sich bei **Dr. Ivonne Möller** (NB 02/172).

# 14.6. Entropie



reversibel ausgetauschte  
Wärmemengen.

$$Q_{12} \propto T_1$$

$$-Q_{34} \propto T_2$$

$$\frac{Q_{12}}{-Q_{34}} = \frac{T_1}{T_2} \Leftrightarrow \frac{Q_{12}}{T_1} = \frac{Q_{34}}{T_2}$$

Carnot'scher Kreisprozess

## Definition Änderung der Entropie S

$$\Delta S = \frac{Q_{\text{rev}}}{T}$$

$Q_{\text{rev}}$  = reversibel  
ausgetauschte  
Wärmemenge

$T$  = Temperatur  
(isotherm)

Bsp. Carnot:

$$\Delta S = \frac{Q_{12}}{T_1} + \frac{Q_{34}}{T_2} = 0$$

neue Formulierung vom 2. Hauptsatz

Bei reversiblen Kreisprozessen bleibt  
die Entropie unverändert.

Bsp. Entropie

Mischung 1l Wasser bei 0°C  
 und 1l Wasser bei 100°C  
 Mischtemperatur 50°C

$\Delta S$  definiert für isotherme Zustandsänderungen.

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ_{rev}}{T}$$

$$dQ = c \cdot m \cdot dT$$

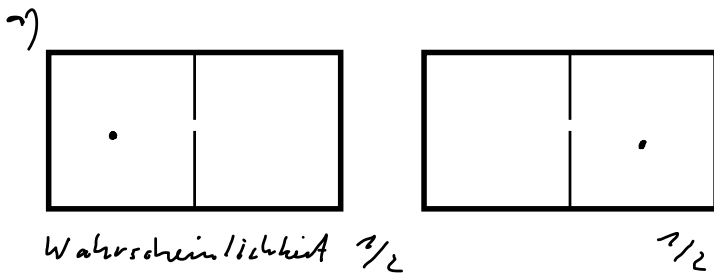
↑  
spez. Wärmekapazität

$$\Delta S = c \cdot m \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$$

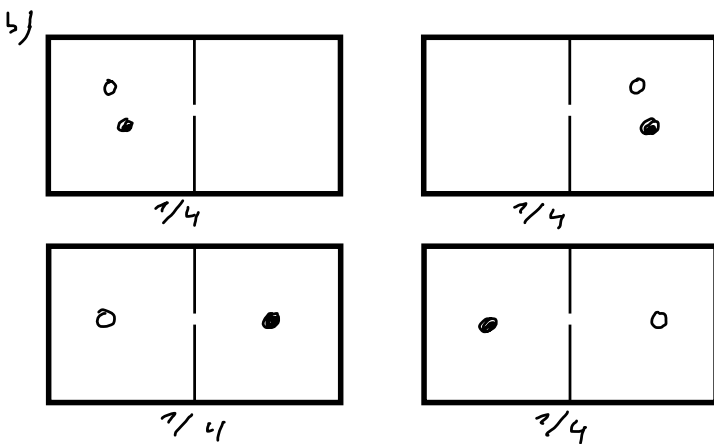
1l 0° → 50°C      $\Delta S_1 = 4182 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 1kg \cdot \ln \frac{323K}{273K} = 703 \frac{J}{K}$

1l 100° → 50°C      $\Delta S_2 = 4182 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 1kg \cdot \ln \frac{323K}{373K} = -602 \frac{J}{K}$

$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 101 \frac{J}{K} > 0$  Entropie nimmt zu  
 irreversibler Vorgang



Wahrscheinlichkeit  
 alle Teilchen in der  
 linken Hälfte?  
 $(\frac{1}{2})^1$



$$(\frac{1}{2})^2$$

allgemein

c) 8 Fälle  
 3 Teilchen      $(\frac{1}{2})^3$

$$W = (\frac{1}{2})^n$$

n-Teilchen

Versuch

Bsp.  $\left(\frac{1}{2}\right)^{10^0} = 10^{-30}$

Bsp. Beobachtung in jeder Sekunde 1 mal

$\rightarrow 10^{30} \text{ s} = 10^{22} \text{ Jahre}$

Alter des Universums =  $10^{10}$  Jahre

Es besteht ein Zusammenhang zwischen Entropie  $S$  und Wahrscheinlichkeit  $W$  für einen Zustand.

$S = f(W)$  Betrachte zwei unabhängige Einzelsysteme:

Es gilt:  $S = S_1 + S_2 = f(W_1) + f(W_2)$

und  $W = W_1 \cdot W_2$  (Wahrscheinlichkeit für unabhängige Ereignisse)

$f(W) = f(W_1 \cdot W_2) = f(W_1) + f(W_2)$

Welche Funktion erfüllt das?  $\ln(W_1 \cdot W_2) = \ln(W_1) + \ln(W_2)$

Boltzmann Gleichung

$S = k \cdot \ln W$

Wahrscheinlichkeit für Zustand

Entropie  $\rightarrow$

Proportionalitätsfaktor

Boltzmann-Konstante

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$

Entropieänderungen  $\rightarrow$  Verhältnis von Wahrscheinlichkeiten

$\Delta S = S_2 - S_1 = k \cdot \ln W_2 - k \cdot \ln W_1 = k \cdot \ln \frac{W_2}{W_1}$

Zustand mit größerer Wahrscheinlichkeit wird angenommen.  $\rightarrow$  d.h. Entropiezunahme.

## 2. Hauptsatz

$$\boxed{\Delta S \geq 0}$$

Die Entropie eines geschlossenen Systems nimmt bei realen Prozessen stets zu. Im Grenzfall eines reversiblen Vorgangs bleibt die Entropie konstant.

## Zusammenfassung

- Die Entropie ist ein Maß für die Reversibilität eines Vorganges.
- Änderung der Entropie S:  $\Delta S = \frac{Q_{rev}}{T}$ 
  - $Q_{rev}$  reversibel ausgetauschte Wärme bei Temperatur  $T$
- Wahrscheinlichkeitsinterpretation:
  - Ein geschlossenes System nimmt den Zustand mit höherer Wahrscheinlichkeit und damit mit größerer Entropie ein.
- Zweiter Hauptsatz:  $\Delta S \geq 0$ 
  - Die Entropie eines geschlossenen Systems kann niemals abnehmen.