



Thermodynamikübungsstunde 6

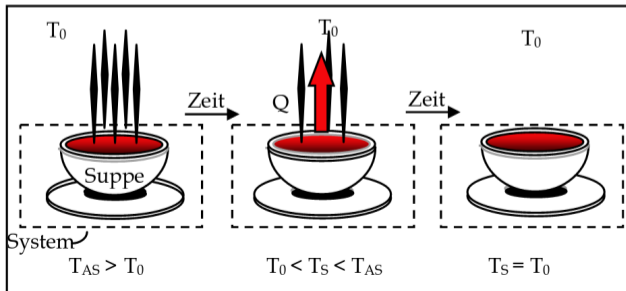
Zweiter Hauptsatz, Reversibilität, Entropie

Folien von Dominic Landolf, angepasst durch Pascal Hodel und Auf der Maur

Pascal Auf der Maur

Zweiter Hauptsatz

- Prozesse laufen **spontan** nur in eine vorgegebene Richtung ab
- Der zweite Hauptsatz erlaubt uns eine Aussage über folgende zwei Dinge zu machen:
 - Richtung in welche der Prozess ablaufen wird
 - Anteil der vorhandenen Energie, die in Arbeit umgewandelt werden kann

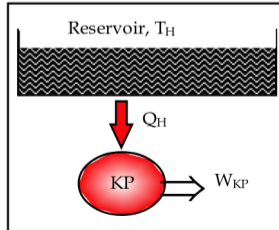


Zweiter Hauptsatz

- Zwei Formulierungen des zweiten Hauptsatzes
 - **Formulierung nach Clausius**
Wärme kann nicht von selbst (spontan) von einem Körper mit tieferer Temperatur auf einen Körper mit höheren Temperatur übertragen werden.
 - **Formulierung nach Kelvin-Planck**
Es ist unmöglich eine Maschine zu bauen, welche in einem thermischen Kreisprozess kontinuierlich Arbeit an die Umgebung abgibt und dabei nur in Kontakt mit einem einzigen Wärmereservoir steht, aus welchem diese Wärme bezieht.

Zweiter Hauptsatz

- Der erste Hauptsatz würde verlangen dass bei dieser Situation die gesamte Energie zu Arbeit wird
- Diese könnten wir zu Wärme machen und zurückleiten (Perpetuum Mobile zweiter Art)
- **Wir können nur Arbeit aus dem Fluss zwischen zwei Reservoirs gewinnen.**

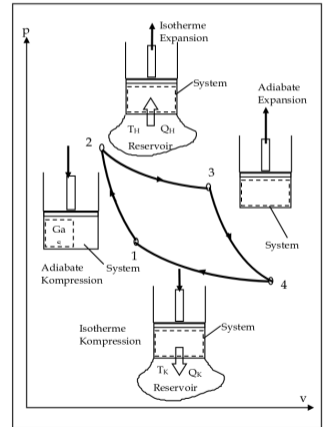


Reversibilität

- Ein Prozess ist reversibel resp. umkehrbar wenn der Ausgangszustand im System und allen Teilen der Umgebung wieder hergestellt werden kann.
- Bei einem reversiblen Prozess wird genau die abgeführte und verlustlos gespeicherte Energie benötigt um das System wieder in den Ausgangszustand zurückzuführen
- Reale Prozesse sind immer irreversibel

Kreisprozess nach Carnot

- Der Carnotprozess beschreibt einen idealisierten Kreisprozess, welcher aus 4 reversiblen Teilprozessen besteht:
 - 1-2: Adiabate Kompression
 - 2-3: Isotherme Expansion
 - 3-4: Adiabate Expansion
 - 4-1: Isotherme Kompression
- Für die Temperaturen gilt also:
 - $T_1 = T_4 = T_C$
 - $T_2 = T_3 = T_H$



Kreisprozess nach Carnot

- Der Kreisprozess kann im Uhrzeigersinn oder Gegenuhrzeigersinn betrieben werden
- Je nach Richtung des Prozesses ...
 - leistet die Maschine Arbeit (Uhrzeigersinn, Wärme-Kraftmaschine)
 - nimmt die Maschine Arbeit auf (Gegenuhrzeigersinn, Wärmepumpe)

Kreisprozess nach Carnot - Thermischer Wirkungsgrad

- Der thermische Wirkungsgrad für einen Kreisprozess gibt das Verhältnis zwischen geleisteter Arbeit und zugeführter Wärme wieder:

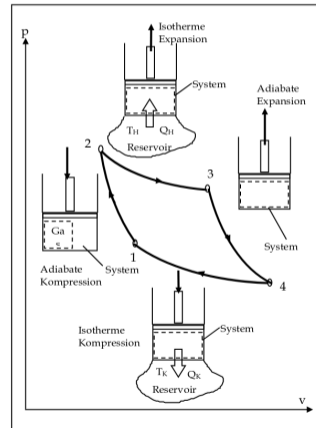
$$\eta_{th} = \frac{W_{KP}}{Q_{zu}} = 1 - \frac{Q_{ab}}{Q_{zu}}$$

- Laut erstem Hauptsatz gilt lediglich $\eta_{th} \leq 1$
- Der zweite Hauptsatz verschärft den Grenzwert auf $\eta_{th} < 1$
- Der Wirkungsgrad macht also eine Aussage darüber, wieviel Wärme in Arbeit umgewandelt wird

Kreisprozess nach Carnot - Thermischer Wirkungsgrad

- In einem Carnot Prozess gilt:
 - $Q_{23} = Q_{zu} = Q_H$ bzw. $Q_{41} = Q_{ab} = Q_C$
 - $\frac{Q_C}{Q_H} = \frac{T_C}{T_H}$ (Beweis Kap. 6.6)
- Damit folgt für den thermischen Wirkungsgrad von einem Carnot Prozess

$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{Q_C}{Q_H} = 1 - \frac{T_C}{T_H} = \frac{T_H - T_C}{T_H}$$



Kreisprozess nach Carnot - Schlussfolgerungen

- Der thermische Wirkungsgrad gibt uns an wie viel des Wärmestromes zwischen zwei Reservoirs wir in Arbeit umwandeln können.
- Alle reversiblen Prozesse zwischen identischen Reservoirs besitzen denselben thermischen Wirkungsgrad
- Thermische Wirkungsgrade von irreversiblen Kreisprozessen sind kleiner als von reversiblen Kreisprozessen aufgrund von Verlusten
- Der Carnot Prozess gibt uns an was wir als Ingenieure anstreben sollen.

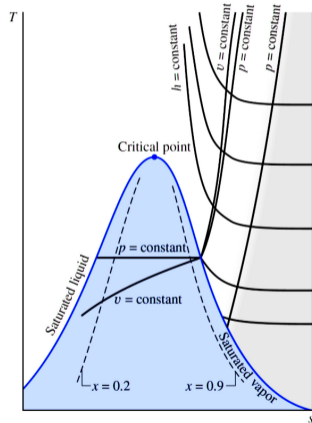
Entropie

- Die Entropie beschreibt zwei Dinge:
 - Die Richtung in welche ein Prozess spontan abläuft
 - Mass für Irreversibilität eines Prozessablaufs
(Chemie: Mass der Unordnung)
- Die Entropie ist eine **Zustandsgrösse** und hat die Einheit $\frac{J}{K}$
- Erzeugte Entropie S_{erz} ist jedoch **keine Erhaltungsgrösse** (Entropie wird bei irreversiblen Prozessen produziert, kann jedoch nicht vernichtet werden)
- Ein Prozess wird spontan immer in **Richtung der zunehmenden Entropie** verlaufen

Entropie - Isentrope Prozesse

- **Isentrope Prozesse:** Prozess bei konstanter Entropie (Zustandsgrösse!)
- Wichtig für heutige Übung:
Ein reversibler adiabater Prozess ist gleichzeitig ein isentroper Prozess
- Mehr dazu in der nächsten Übung

Entropie - T,s-Diagramm



Entropie - Isentrope Prozesse

- Verhältnis der spezifischen Wärmekapazitäten: $\kappa = \frac{c_p}{c_v}$
- Für c_p und c_v konstant (also auch κ konstant) kann für einen isentropen Prozess folgendes geschrieben werden:

$$p \cdot v^\kappa = \text{konst.}$$

- Ein isentroper Prozess ist ein polytroper Prozess mit Polytropenkoeffizient $n = \kappa$