

## Letzte Stunde

- Bei der Volumenänderung eines idealen Gases wird mechanische Arbeit aufgenommen, bzw. abgegeben:  
 $dW = - p dV$
- Erster Hauptsatz der Thermodynamik
  - Die Vergrößerung der inneren Energie  $dU$  eines abgeschlossenen Systems ist gleich der Summe aus der von außen zugeführten Wärmemenge  $dQ$  und der am System verrichteten Arbeit  $dW$ .
  - In einem abgeschlossenen System ist die Summe aller Energien konstant.
  - Es gibt kein Perpetuum mobile erster Art.
- Isotherme ( $T=\text{const.}$ ), Isochore ( $V=\text{const.}$ ) Zustandsänderungen

## Heute

- 13.3.3. Isobare und adiabatische Zustandsänderungen

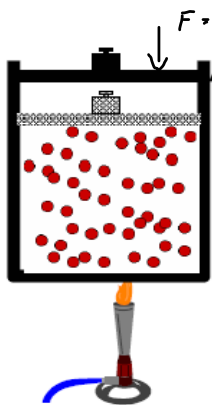
<http://www.ep1.rub.de/lehre/veranstaltungen/ws0910/physikcbg/>

Physik I (Biochemie, Chemie und Geowissenschaften) WS 09/10

F.-H. Heinsius

1

## 13.3.3. Isobare Zustandsänderung



$$p = \frac{F}{A} = \text{const.}$$

Druck  $p = \text{const.}$

→ Änderung des Volumen

$$1) dQ = c_p \cdot m \cdot dT$$

↑  
spez. Wärmekapazität bei konst. Druck

$$Q_{12} = c_p m (T_2 - T_1)$$

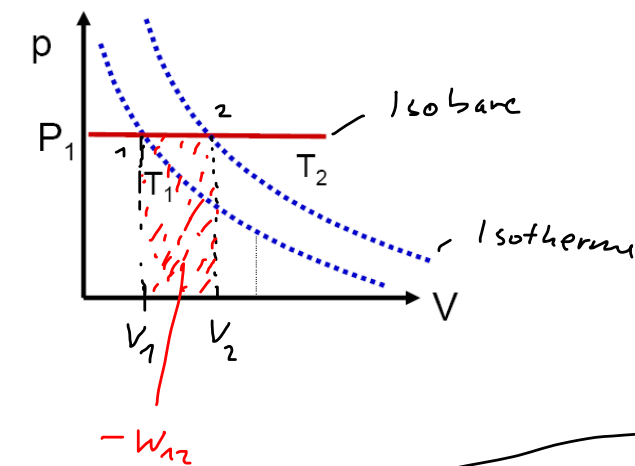
$$2) -W_{12} = p \cdot (V_2 - V_1)$$

innere Energie  $U_{12} = Q_{12} + W_{12}$

Expansion → Arbeit wird frei

Kompression → Arbeit wird benötigt

$$-W_{12} = p (V_2 - V_1)$$



allg. Zustands-  
gleichung

$$dQ = dU + p dV$$

$$\downarrow$$

$$c_p \cdot m \cdot dt = c_v \cdot m \cdot dt + p dV$$

Integration

$$\int (c_p - c_v) m dt = \int p dV$$

$$m \cdot (c_p - c_v) \cdot T = p \cdot V$$

$$m R_s \cdot T = p \cdot V$$

$$\boxed{c_p - c_v = R_s} \quad \left[ R_s = \frac{R}{M} \right]$$

$$dQ = dU + p dV$$

$$dQ = d(U + p \cdot V)$$

bei konst. p

Enthalpie  $H = U + pV$

↑  $\leftarrow$  Verdrängungsarbeit  
innere Energie

Bsp.: Verdampfungsenthalpie von Wasser

1 kg Wasser  $\rightarrow$  verdampfen in 1671 l Volumen

a) Volumenänderungsarbeit  
b) Zunahme der inneren Energie  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Verdampfungswärme} \\ = 2257 \text{ kJ} \end{array} \right.$

a)  $W = -p (V_2 - V_1) = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot (1671 - 1) \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$   
 $W = -169 \text{ kJ}$

b)  $U = Q + W = 2257 \text{ kJ} + (-169 \text{ kJ}) = 2088 \text{ kJ}$

## Bsp. zu isothermer Zustandsänderung

$$Q_{12} = -W_{12} = nRT \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Aufpumpen Luftreifen mit 5l Fassungsvermögen

a) Welche Arbeit ist aufzuwenden ~~von~~ vom Normaldruck auf 0,3 MPa Überdruck aufzupumpen (isotherm)?

b) Welche Wärmemenge gibt die komprimierte Luft ab?

a)  $P_1 = 101,3 \text{ kPa}$      $P_2 = 401,3 \text{ kPa}$      $V_2 = 0,005 \text{ m}^3$

Boyle-Mariotte  $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = n \cdot RT$      $V_1$  unbekannt.

$$W_{12} = -P_2 \cdot V_2 \ln \frac{P_1}{P_2} = 2,8 \text{ kJ} \quad (\text{Arbeit aufwenden})$$

b)  $Q_{12} = -W_{12} = -2,8 \text{ kJ}$     (Wärmemenge wird abgegeben)

## 13.3.4. Adiabatische Zustandsänderung

• Kein Wärmeaustausch mit der Umgebung

$$\Delta Q = 0$$

- gute Isolation oder schnelle Prozessführung

$$dU = dW = -p dV$$

Temperatur ändert sich

$$dU = c_v \cdot m dT$$

$$p = \frac{m \cdot R_s T}{V}$$

$$-c_v m dT = m R_s T \cdot \frac{dV}{V}$$

Integral und  $R_s = c_p - c_v$

$$-c_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = (c_p - c_v) \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

$$-c_v \ln \frac{T_2}{T_1} = (c_p - c_v) \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (\text{Exp})$$

$$\left( \frac{T_1}{T_2} \right)^{c_v} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{c_p - c_v}$$

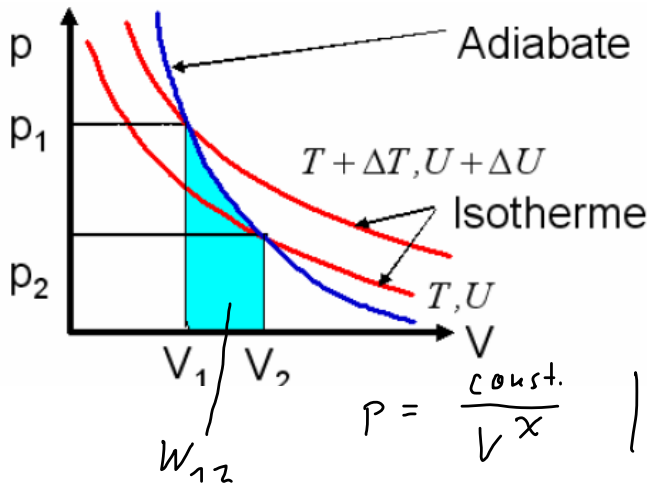
Zustandsgl.  $\frac{T_1}{T_2} = \frac{P_1 \cdot V_1}{P_2 \cdot V_2}$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2^{c_p/c_v}}{V_1^{c_p/c_v}}$$

## Adiabatlengleichung

$$p V^\chi = \text{const.}$$

Adiabatenexponent  $\chi = \frac{c_p}{c_v}$



Expansion  $T_2 < T_1$  Arbeit wird frei

$$T \cdot V^{\chi-1} = \text{const.}$$

$$T \cdot p^{\frac{1-\chi}{\chi}} = \text{const.}$$

Poissonsche Gleichungen

### Bsp. Diesel motor

- schnelle Kompression von Kraftstoff - Luftgemisch
- nahezu adiabatische Prozessführung

•  $V_2 = \frac{1}{20} V_1$  welche  $T_2$  ?

$$T_1 \cdot V_1^{\chi-1} = T_2 \cdot V_2^{\chi-1} \quad \text{Luft } \chi = 1,4$$

$$T_1 = 293 \text{ K}$$

$$T_2 = T_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\chi-1} = 293 \text{ K} \cdot 20^{0,4} = 970 \text{ K}$$

Selbstentzündung ist möglich.

# Zusammenfassung

- Isobare Zustandsänderungen (konst. Druck)
  - Enthalpie  $H=U + p V$
- Adiabatische Zustandsänderungen
  - kein Wärmeaustausch mit der Umgebung ( $dQ=0$ )
  - bei guter Isolation oder sehr schneller Prozessführung
  - Temperaturänderungen bei Kompression/Expansion
  - $p V^\kappa = \text{const.}$  mit Adiabatenexponent  $\kappa=c_p/c_v$