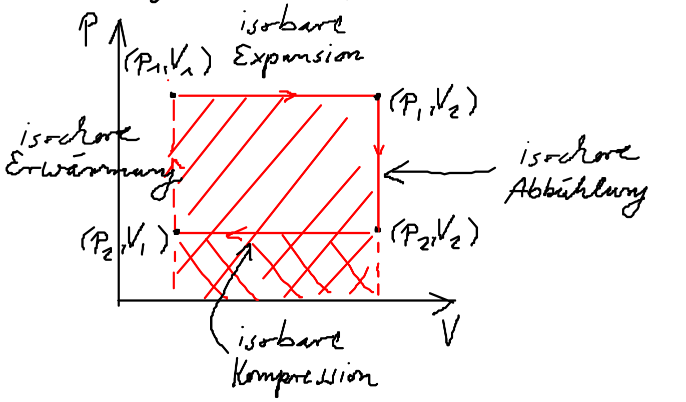
Volumenarbeit beim Zyklischen Prozess
(Wärmekraftmaschine)

zB Weg A hin, Weg B zurück



abgegebene Arbeit

zugeführte Arbeit

mehr verrichtete Volumenarbeit

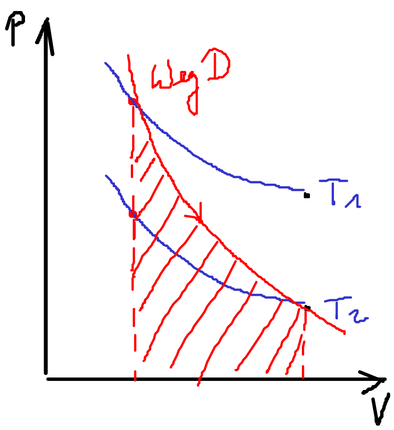
$$W_p = (p_1 - p_2)(V_2 - V_1)$$

Adiabatische Expansion eines id. Gases (bei therm. Isolation $\to \Delta Q = 0$)

da 1. HS $\Delta U - \Delta W = \Delta Q = 0$

$$\Rightarrow \Delta U + p\,dV = 0$$

$\Rightarrow$ Expansionsarbeit wird der inneren Energie entnommen.
$T_1 \longrightarrow T_2$ (Gasabkühlung)



$$W_{12} = -\int_{V_1}^{V_2} p\,dV$$

da

$$p\,dV = -dU = -n c_v\,dT$$

$$\Rightarrow W_{12} = n c_v \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$= -n c_v (T_1 - T_2)$$

NR $c_p - c_v = R$

$$c_v = c_p - R$$
$$= \frac{c_p}{c_v} c_v - R$$
$$= \kappa c_v - R$$
$$c_v - \kappa c_v = -R$$
$$c_v = \frac{R}{\kappa - 1}$$
$$\Rightarrow \frac{R}{c_v} = \kappa - 1$$

(mit $\kappa = \frac{c_p}{c_v}$ Adiabatenexponent)

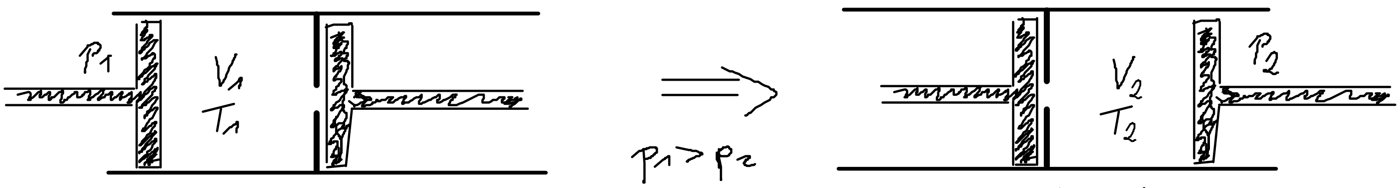
$$\Rightarrow W_{12} = -n \frac{R}{\kappa - 1}(T_1 - T_2) = -\frac{p_1 V_1}{\kappa - 1} \frac{1}{T_1}(T_1 - T_2)$$

$$= -\frac{p_1 V_1}{\kappa - 1}\left(\frac{T_1}{T_1} - \frac{T_2}{T_1}\right) = -\frac{p_1 V_1}{\kappa - 1}\left\{1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\kappa - 1}\right\}$$

Übungsaufgabe

Joule Thomson Effekt

Adiabatische Expansion eines Gases über eine Drossel bei thermischer Isolierung ($\Delta Q = 0$)



$p_1 > p_2$

$p_1, V_1, T_1, \; V_2 = 0$ $\qquad$ $p_2, V_2, T_2, \; V_1 = 0$

Volumenarbeit

$$W_1 = -p_1 \cdot \int_{V_1}^{0} dV = p_1 V_1$$

Arbeit vor der Drossel

$$W_2 = -p_2 \cdot \int_{0}^{V_2} dV = -p_2 V_2$$

Arbeit hinter der Drossel

Gesamtarbeit

$$W = W_1 + W_2 = p_1 V_1 - p_2 V_2$$

(adiabatisch: $\Delta U = \Delta W$ da $\Delta U = \Delta W + \Delta Q$ mit $\Delta Q = 0$)

$$\Rightarrow \Delta U = U_2 - U_1 = p_1 V_1 - p_2 V_2$$

$$\Rightarrow \underbrace{U_1 + p_1 V_1}_{H_1} = \underbrace{U_2 + p_2 V_2}_{H_2}$$

$$\rightarrow H_1 = H_2 \Rightarrow dH = 0$$

$\Rightarrow$ isenthalpische Expansion

Wie groß ist die T-Änderung bei diesem Prozess?

Meßgröße: T Änderung pro Druckeinheit

→ Abkühlung: technische Gasverflüssigung "Linde Verfahren"

$$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_H = -\left(\frac{\partial T}{\partial H}\right)_p \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T = -\frac{\overbrace{\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T}^{\varepsilon\ (\text{isothermer Drosseleffekt})}}{\underbrace{\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p}_{c_p}} = -\frac{1}{C_p}\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T = \underline{\underline{\mu}}$$

Joule Thomson Koeffizient

"Wedler"

$$\mu = \ldots = -\frac{1}{C_p}\left\{T\left(\frac{\partial V_m}{\partial T}\right)_p - V_m\right\}$$

Ausdruck mit leicht meßbaren Größen

id Gas: $V_m = \frac{RT}{p} \Rightarrow \mu = 0$

T abhängigkeit der Enthalpie bei konst p

p abhängigkeit der Enthalpie bei konst T

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p \gg \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T$$

wird oft vernachlässigt, aber nur wenn $\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T \neq 0$ funktioniert Kühlschrank + Gasverflüssigung

Eigenschaften von μ

- T abhängig
- kann < 0 oder > 0 sein!

  dh: Erwärmung oder Abkühlung bei Expansion des realen Gases

} für $\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_H = 0$ Inversionstemperatur