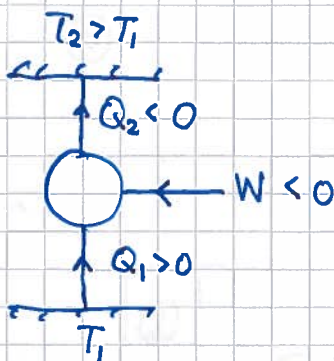
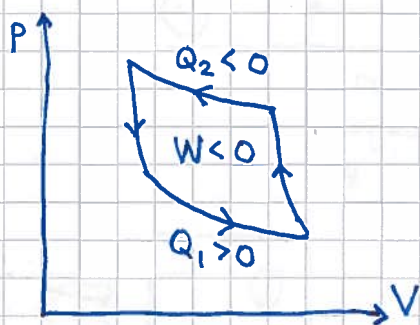


Kjøleskap / varmpumpe:

126



Kostnad: $|W|$

Nytte: Varme Q_1 ut av kjøleskapet (T_1) eller varme $|Q_2|$ inn i stua (T_2) (når varmpumpe)

System: Sirkulerende kjølevæske som vekselvis fordampes og kondenserer i kretsprosessen

Effektfaktor: [COP: Coefficient of Performance]

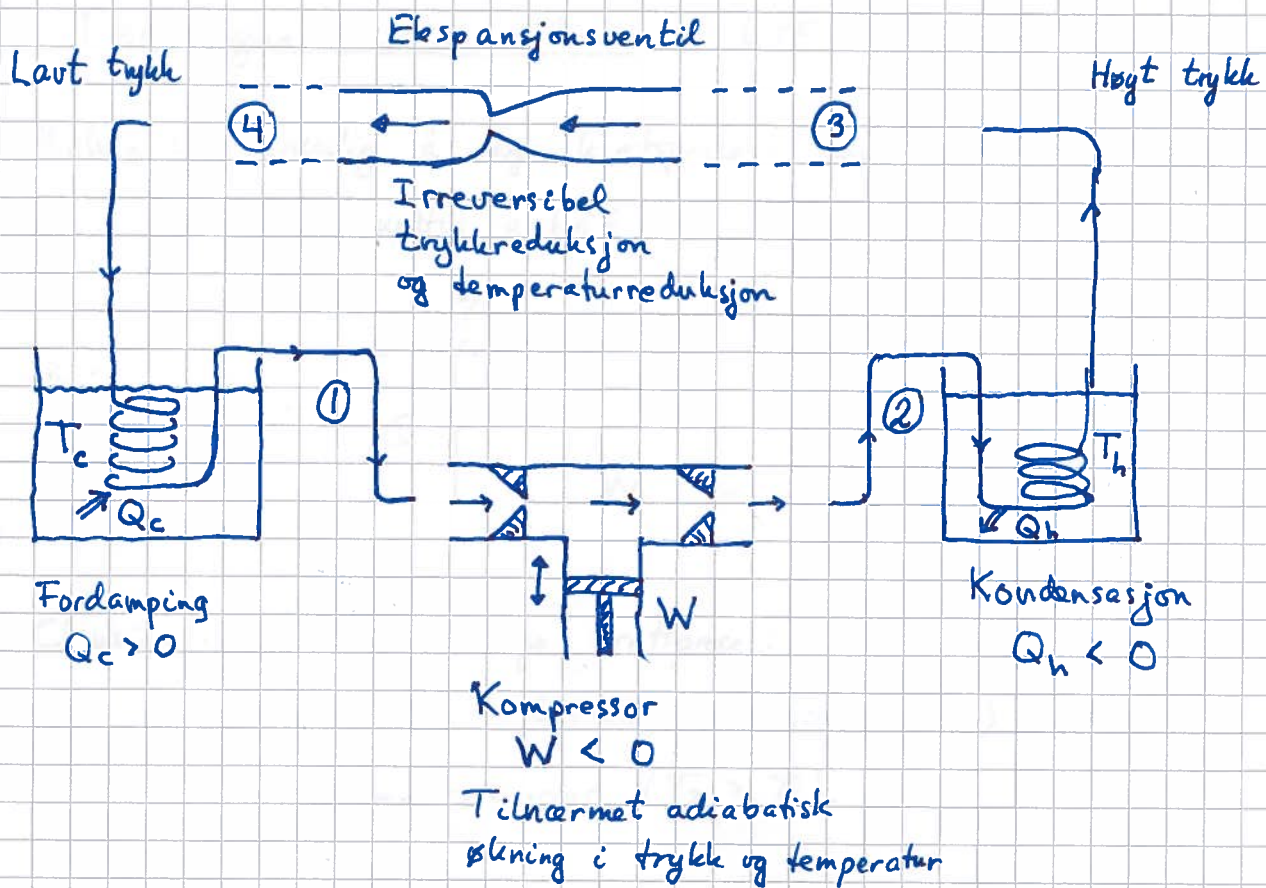
$$\text{Kjøleskap: } \epsilon_K = |Q_1/W|$$

$$\text{Varmpumpe: } \epsilon_V = |Q_2/W|$$

Teoretiske max-verdier oppnås med reversibel Carnotprosess:

$$\epsilon_K^c = \left| \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} \right| = \left| 1 + \frac{Q_2}{Q_1} \right|^{-1} = \left| 1 - \frac{T_2}{T_1} \right|^{-1} = \frac{T_1}{T_2 - T_1} > 0$$

$$\epsilon_V^c = \left| \frac{Q_2}{Q_1 + Q_2} \right| = \dots = \frac{T_2}{T_2 - T_1} > 1$$



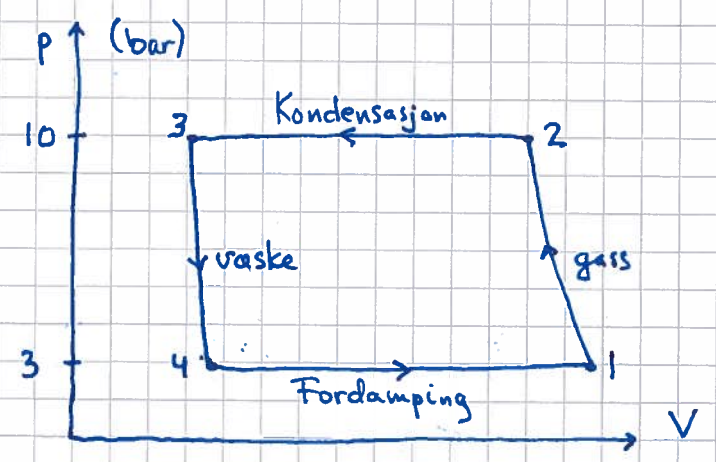
Typiske fallverdier (°C):

$T_1 = 3, T_2 = 40, T_3 = 26, T_4 = -1$

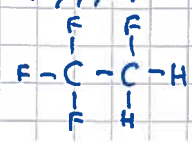
$T_c = 4$ ("kjøleskapet"), $T_h = 23$ ("stua")

$p_2 = p_3 \approx 10 \text{ bar}, p_1 = p_4 \approx 3 \text{ bar}$

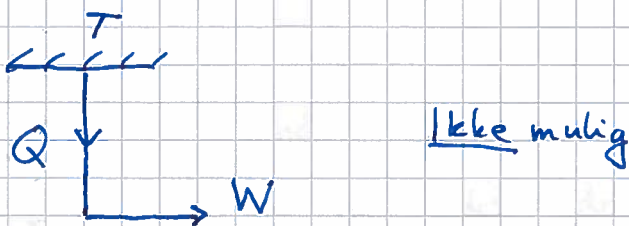
Prosessen i et pV-diagram:



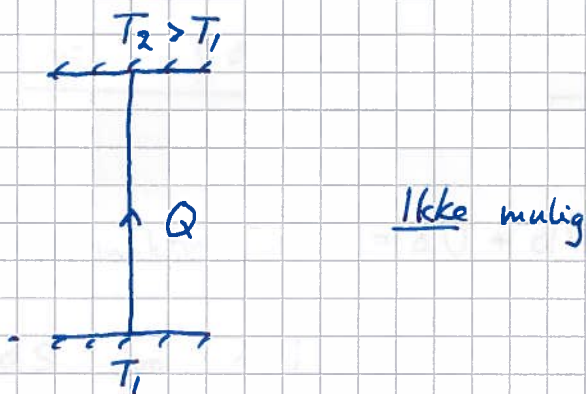
Kjølemedium: R134a $\hat{=}$ $C_2H_2F_4$, (1,1,1,2) - tetrafluoretan



Kelvin : Umulig å lage kretsprosess som omsetter all tilført varme Q i nyttig arbeid W .



Clausius : Umulig å lage kretsprosess som kun overfører varme Q fra Lavtemp. reservoar (T_1) til høyttemp. reservoar ($T_2 > T_1$).

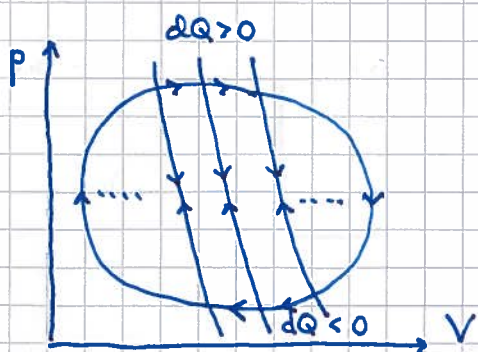


Entropi [YF 20.7 ; LHL 17.1]

(129)

Vi fant, for reversibel Carnot-prosess : $\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0$

Vilkårlig reversibel kretsprosess = sum av mange små Carnotprosesser :



Indre adiabat kjøres både opp og ned
og gir intet bidrag

$$\Rightarrow \oint \frac{dQ}{T} = 0 \quad \text{for den vilkårlige (ytre) kretsprosessen}$$

$\Rightarrow \frac{dQ}{T}$ er endringen i en tilstandsfunksjon ; kalles entropien S :

$$dS = \frac{dQ}{T} ; \quad \oint dS = 0 ; \quad [S] = \text{J/K}$$

1. lov er i utgangspunktet $dQ = dU + dW$.

Med $dQ = T dS$ og $dW = p dV$ fås

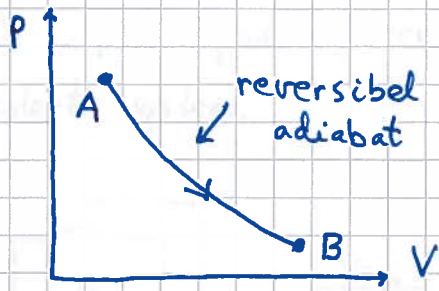
$$T dS = dU + p dV$$

som er 1. lov uttrykt kun med tilstandsfunksjoner ;

kalles den termodynamiske identitet.

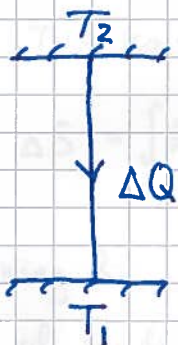
I sentropisk prosess:

I reversibel adiabatisk prosess er $dQ=0$; da er også $dS=0$ og $S = \text{konstant}$



$$\Delta S = S_B - S_A = 0$$

I spontane prosesser, der varme ΔQ overføres fra system med temp. T_2 til system med temp. $T_1 < T_2$, vil total entropi alltid øke:



$$\Delta S_2 = - \frac{\Delta Q}{T_2} , \quad \Delta S_1 = \frac{\Delta Q}{T_1}$$

$$\Rightarrow \Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = \Delta Q \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) > 0$$

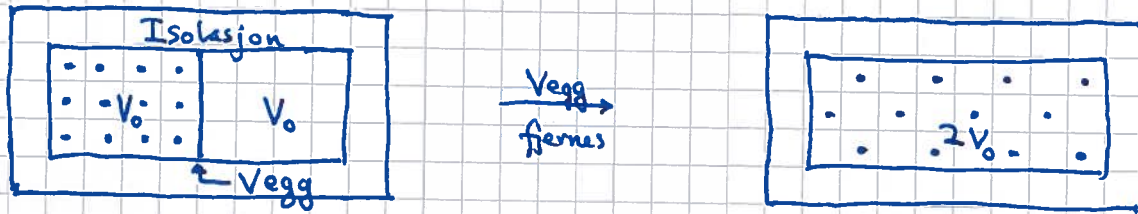
Boltzmanns mikroskopiske definisjon av entropi: [YF 20.8 ; LHL 17.11]

$$S = k_B \ln \Omega$$

Ω = antall ulike mikrotilstander som alle er konsistente med den gitte makrotilstand

Vi avslutter med et klassisk, enkelt eksempel som illustrerer at $dS = dQ/T$ og $S = k_B \ln \Omega$ er to sider av samme sak:

Bestem ΔS for spontan, irreversibel utvidelse av ideell gass i et varmeisolerert system.



Løsning 1: $\Delta Q = 0$, men $\Delta S \neq \Delta Q/T$ fordi prosessen er irreversibel.

Beregner ΔS ved å se på reversibel prosess fra gitt starttilstand til gitt slutt-tilstand. Gassen gjør ikke arbeid, $\Delta W = 0$, slik at $\Delta U = 0$ (1. lov) og $T = \text{konstant}$. Dermed: $TdS = p dV \Rightarrow dS = p dV/T = Nk_B dV/V$
 $\Rightarrow \Delta S = \int dS = Nk_B \int_{V_0}^{2V_0} \frac{dV}{V} = Nk_B \ln \frac{2V_0}{V_0} = \underline{\underline{Nk_B \ln 2}}$

Løsning 2: Tenk oss V_0 inndelt i M meget små delvolum ΔV og $2V_0$ dermed inndelt i $2M$ like store delvolum. Hver av de N partiklene har da hhv M og $2M$ mulige posisjoner før og etter utvidelsen, og det er dermed hhv $\Omega_{\text{før}} = M^N$ og $\Omega_{\text{etter}} = (2M)^N$ ulike mikrotilstander før og etter utvidelsen

$$\Rightarrow \Delta S = S_{\text{etter}} - S_{\text{før}} = k_B \ln (2M)^N - k_B \ln M^N = k_B \ln 2^N = \underline{\underline{Nk_B \ln 2}}$$

Oppsummering:

- Økt "uorden" gir økt entropi
- Spontane prosesser går i en bestemt retning, og da alltid en retning som tilsværer økt entropi
- $\Delta S \geq 0$ for alle prosesser i et termisk isolert system ;
 $\Delta S = 0$ for alle reversible prosesser i et termisk isolert system
- 1. og 2. lov: Energien er bevart. Entropien øker.