

Kretsprosesser. 2. hovedsetning

Reversible og irreversible prosesser (20.1)

Adiabatisk prosess (19.8)

Kretsprosesser:

varmekraftmaskiner (20.2+3)

kjølemaskiner (20.4)

Carnotsyklusen (20.6)

Eks: Ottosyklus (20.3)

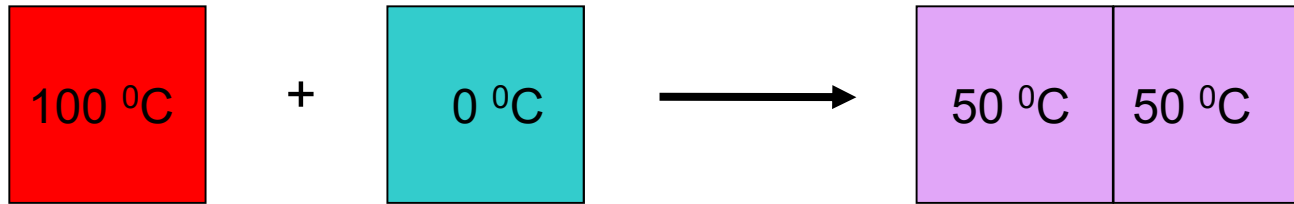
2. hovedsetning (20.5)

Carnots teorem og Carnots (u)likhet

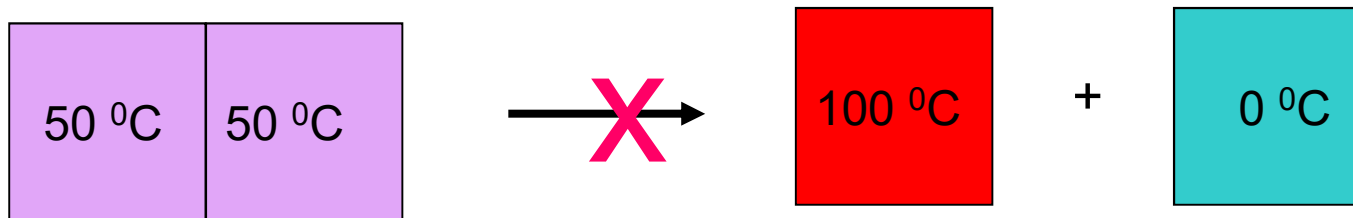
Entropi (20.7)

Entropien mikroskopisk forklart (20.8)

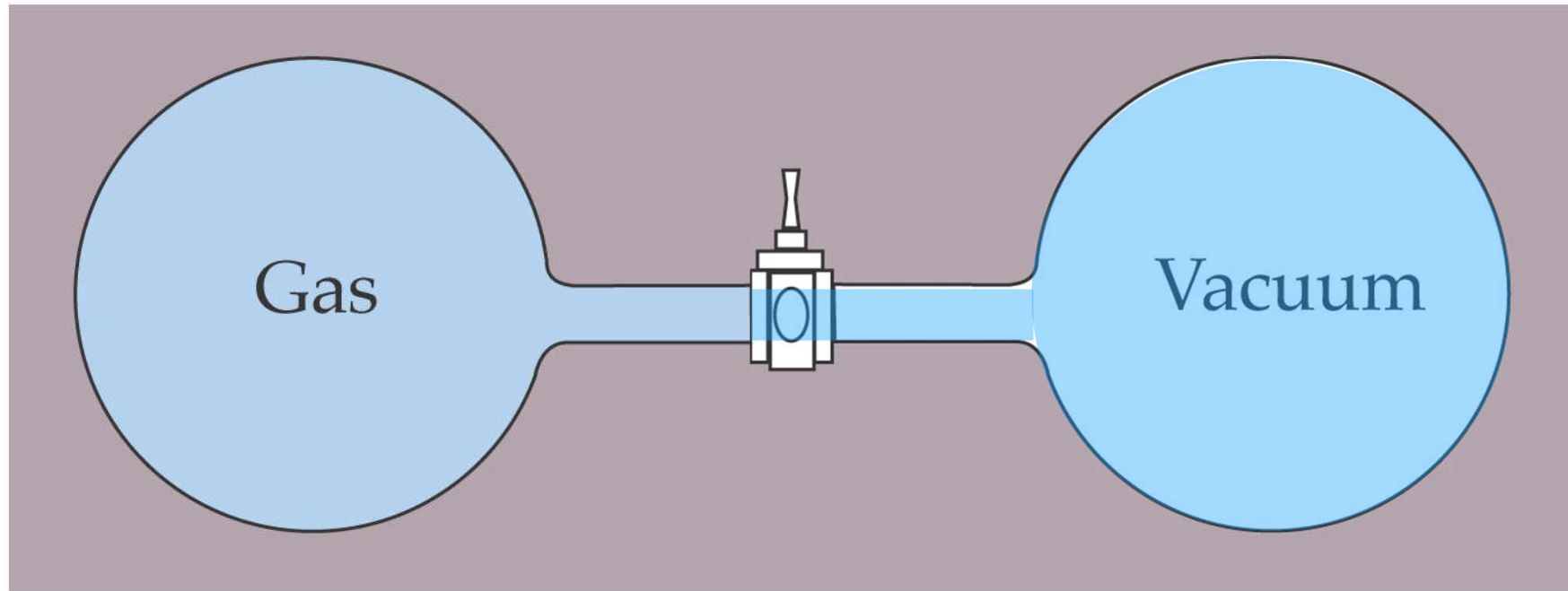
Irreversibel prosess:



Kan ikke reverseres:

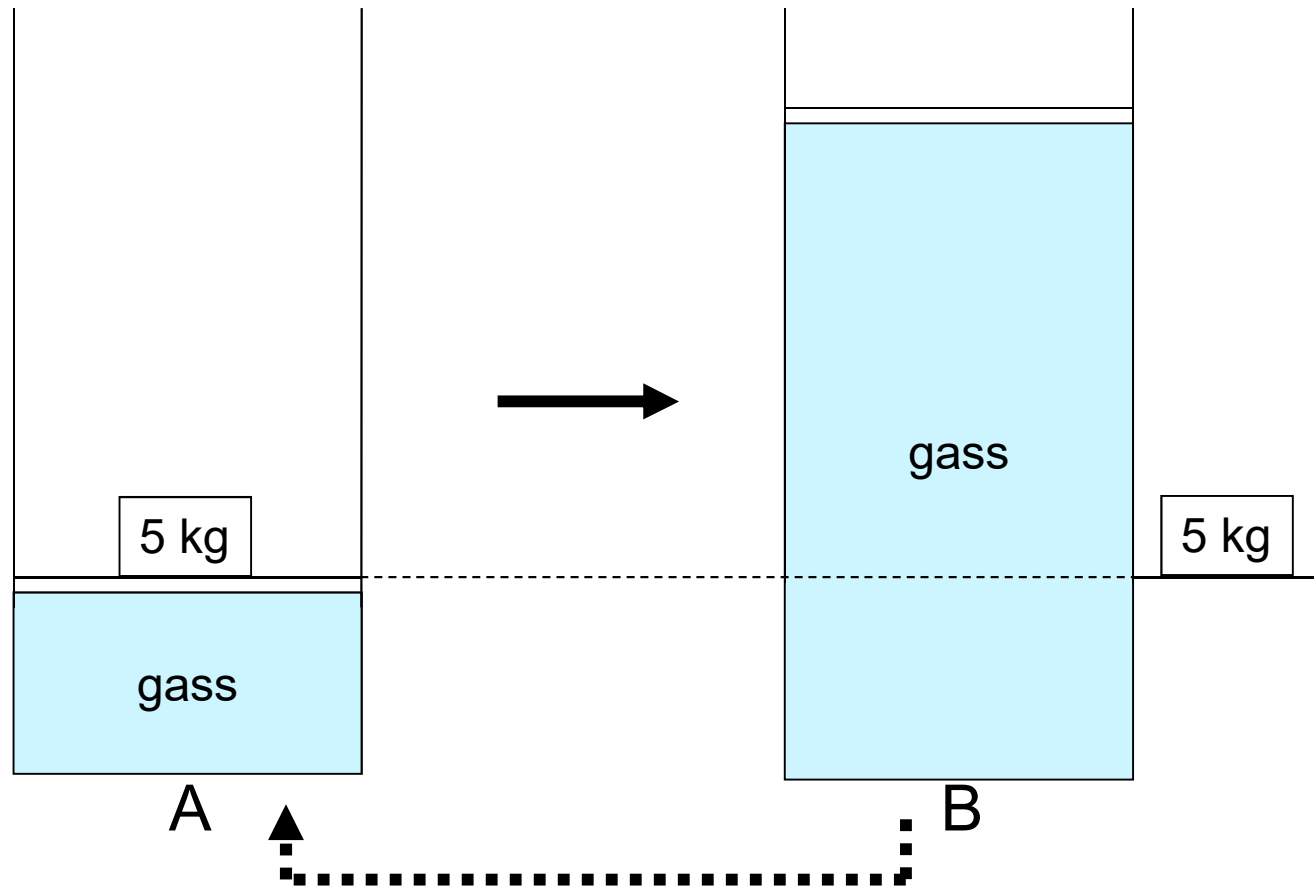


Åpne krana => irreversibel prosess.



**Mulig å få til en mer
kontrollert gassutvidelse?**

Irreversibel prosess.

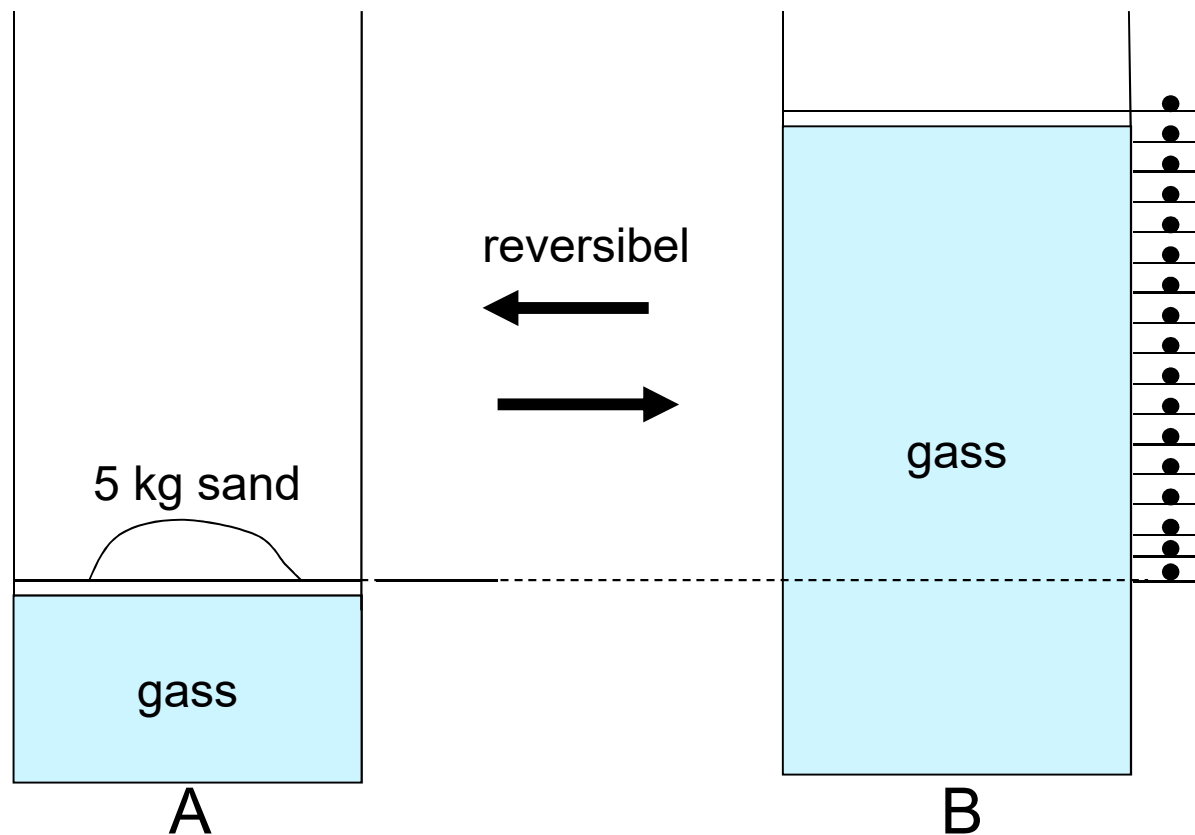


A -> B: Skyve av lodd

Retur til A kun ved å påføre arbeid (løfte opp 5kg-loddet)

Reversibel prosess:

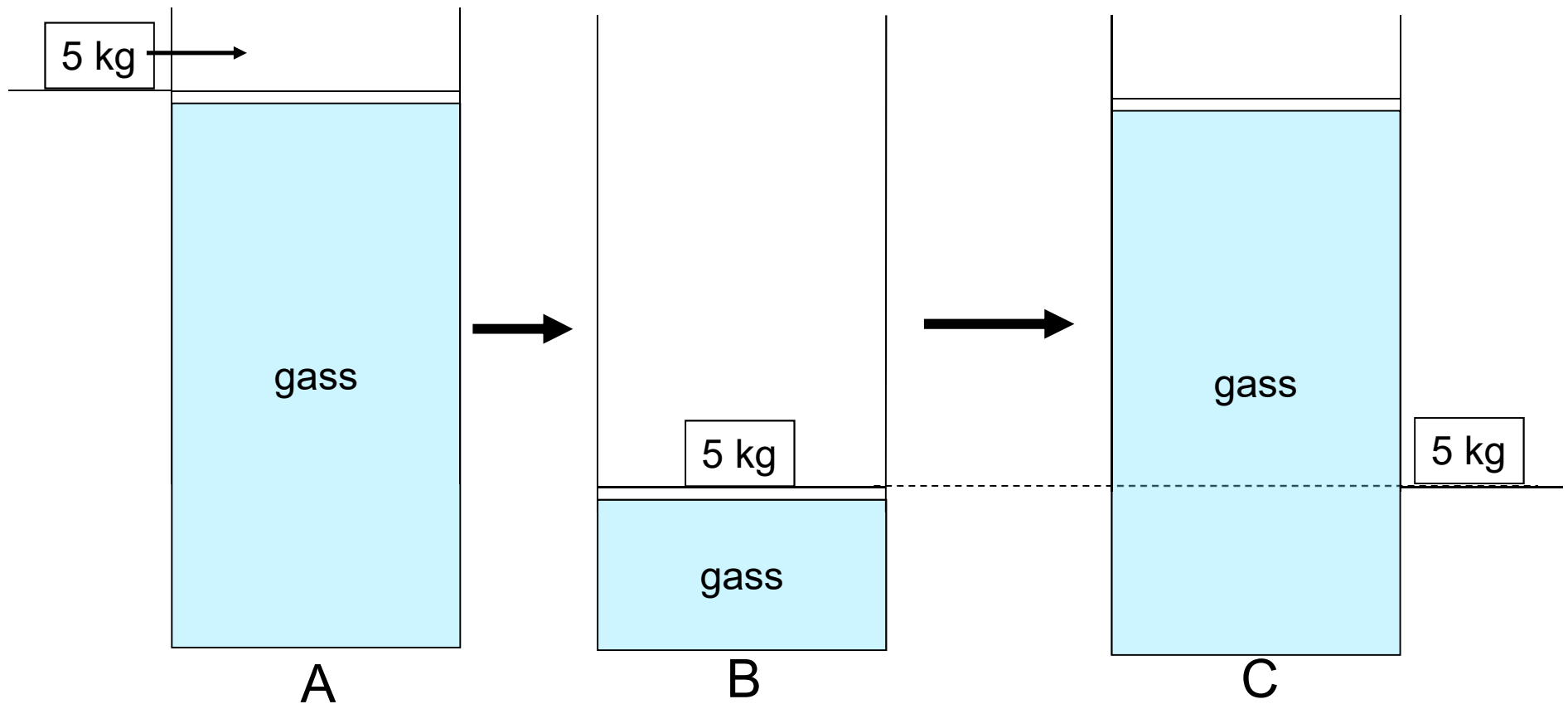
∞ mange hyller med infinitesimale sandkorn



A \rightarrow B: Skyve av ett og ett sandkorn (uten å løfte, null arbeid)

B \rightarrow A ved å skyve sandkornene tilbake, ett for ett (null arbeid)

Irreversibel prosess



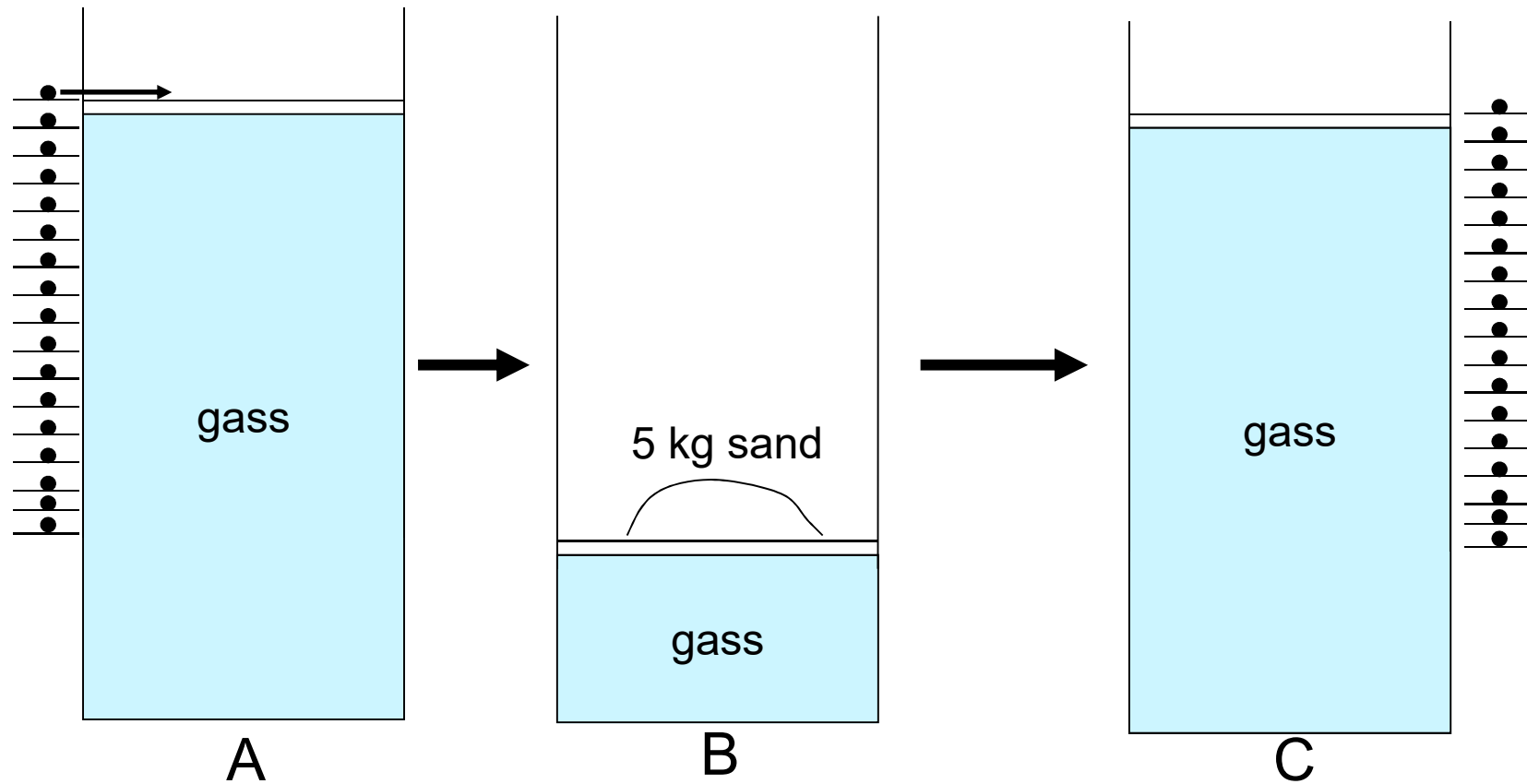
A -> B: Skyve inn lodd

B -> C: Skyve av lodd

Tilstand C \neq tilstand A!

Retur til A kun ved å påføre arbeid (løfte opp 5kg-loddet)

Reversibel prosess



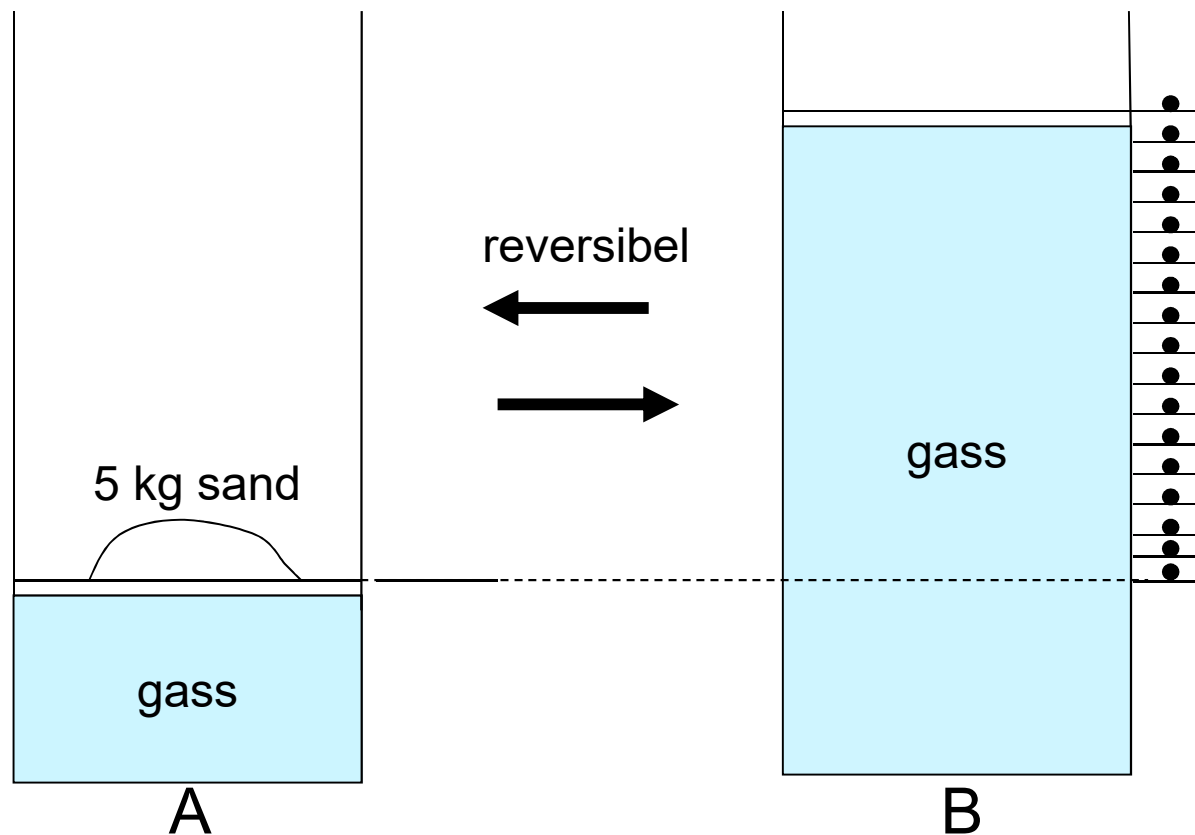
A → B: Skyve sandkorn inn, ett for ett

B → C: Skyve sandkorn ut, ett for ett

Tilstand C = tilstand A!

Reversibel prosess:

∞ mange hyller med infinitesimale sandkorn



A \rightarrow B: Skyve av ett og ett sandkorn (uten å løfte, null arbeid)

B \rightarrow A ved å skyve sandkornene tilbake, ett for ett (null arbeid)

Reversibel prosess:

= Prosess som kan reverseres slik at system og omgivelser er tilbake til starttilstanden.

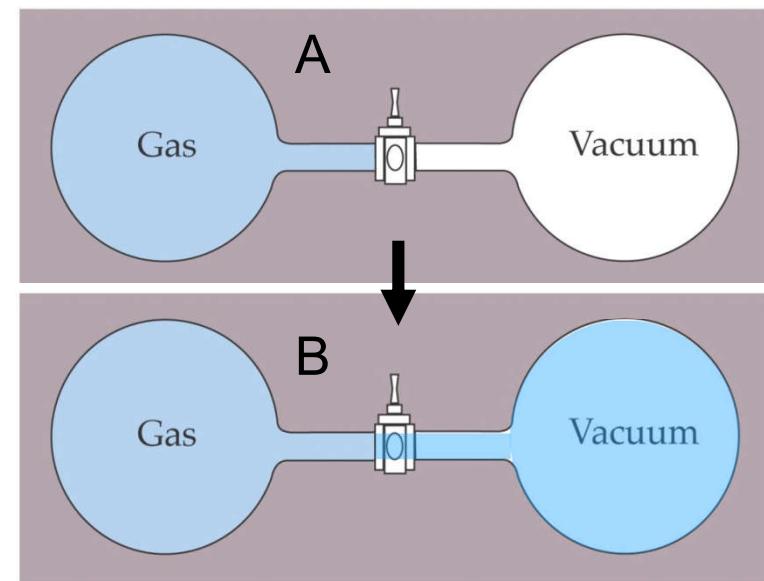
Termodynamiske krav:

- Termisk likevekt under hele prosessen
- (Uendelig) langsomt
- Varme overføres over infinitesimale dT

100 % rev. pros. praktisk umulig, likevel er analyse av rev. pros. svært viktig!

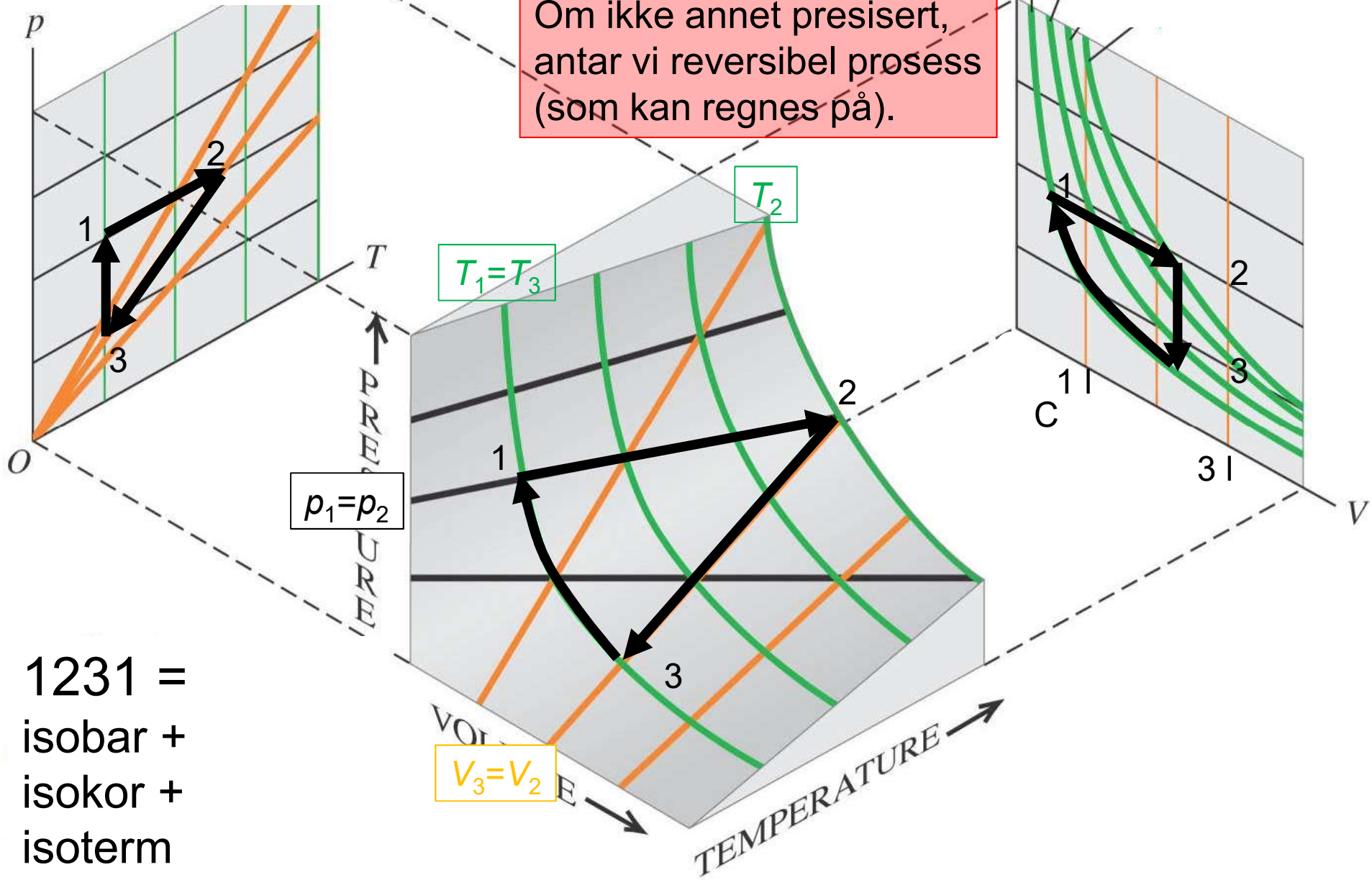
Irreversibel prosess:

- Ikke termisk likevekt under prosessen
- Raskt og "spontant", eksempel:



Kretsprosess:

Om ikke annet presisert, antar vi reversibel prosess (som kan regnes på).



1231 =
isobar +
isokor +
isoterm

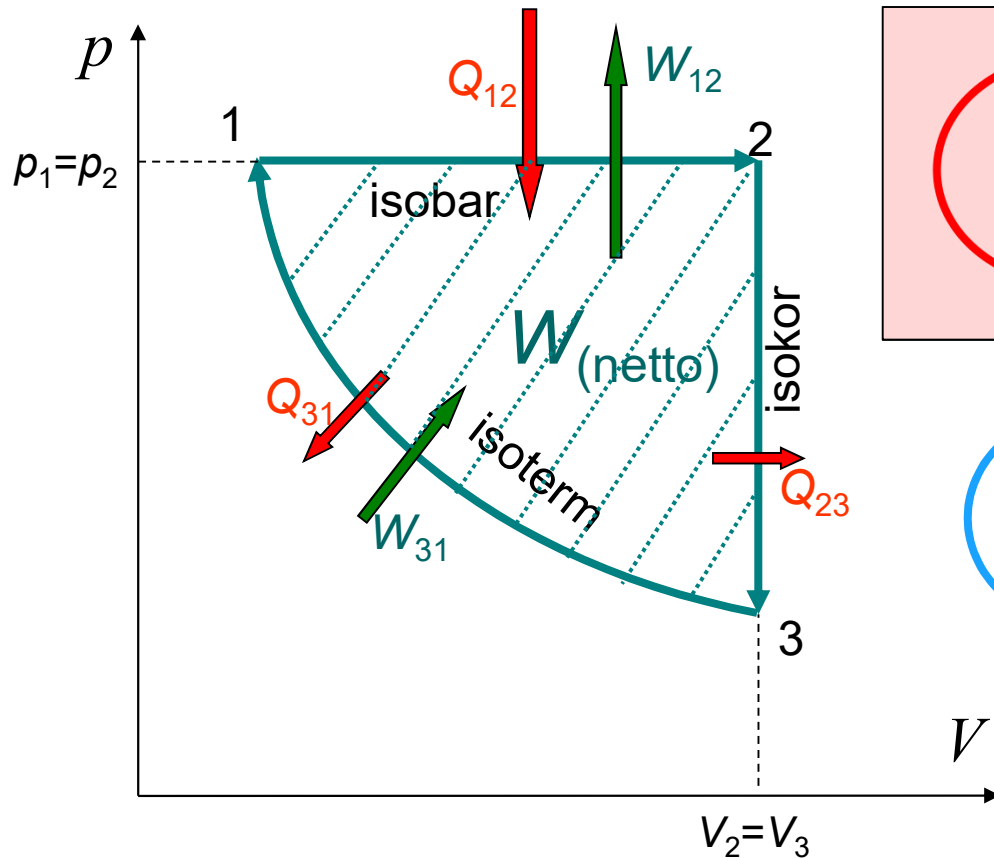
Kretsprosess: Start = Slutt

$$U_1 = U_1$$

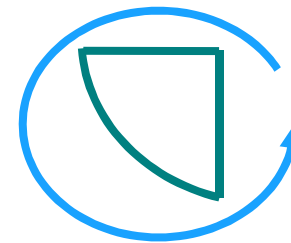
$$\Delta U = 0$$

$$Q_{(\text{netto})} = W_{(\text{netto})}$$

Eks. 1:

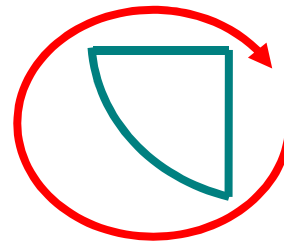
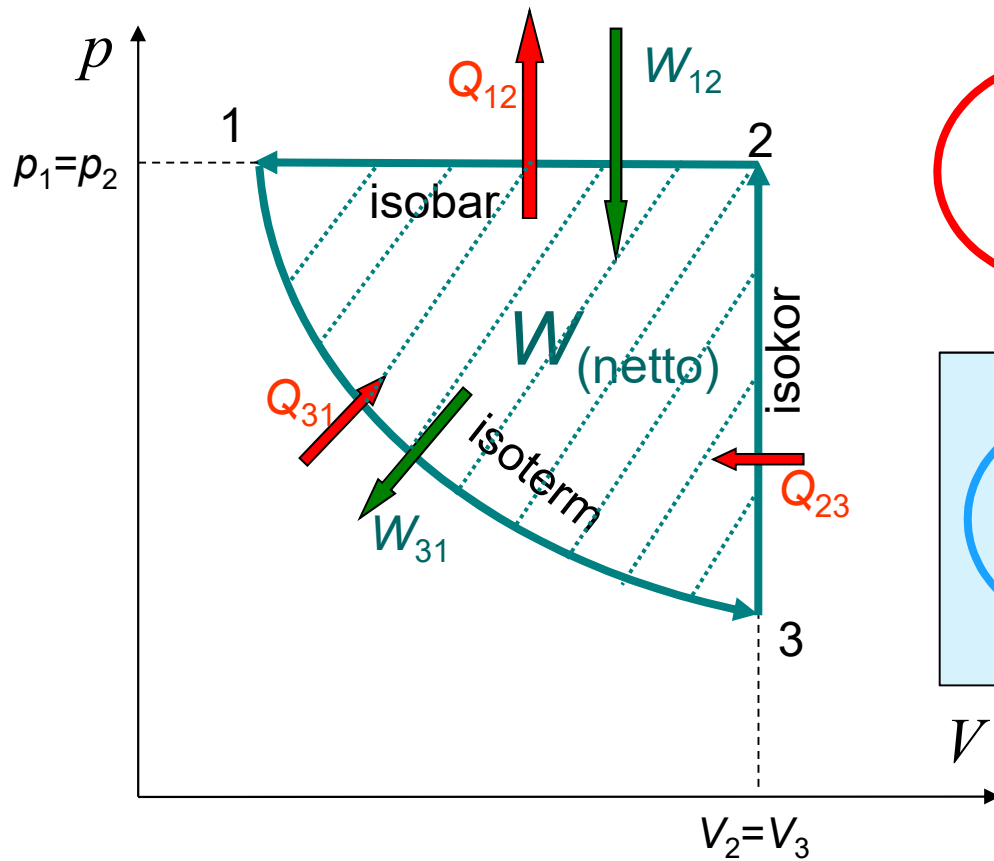


Varmekraftmaskin
varme: $Q_{(\text{netto})} > 0$ (inn)
arbeid: $W_{(\text{netto})} > 0$ (ut)



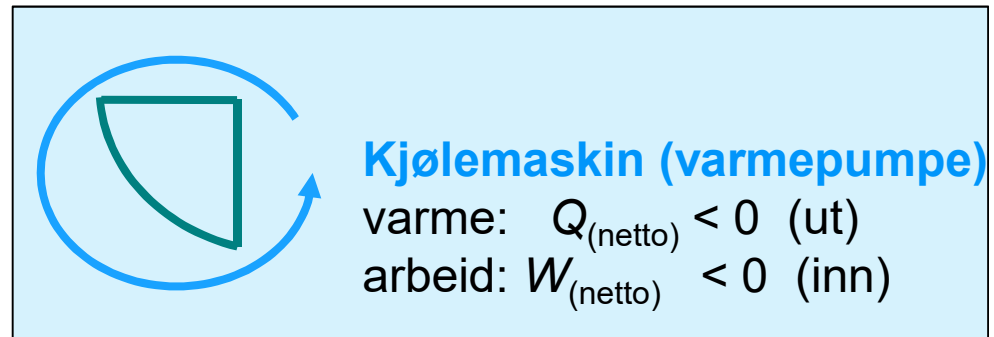
Kjølemaskin (varmepumpe)
varme: $Q_{(\text{netto})} < 0$ (ut)
arbeid: $W_{(\text{netto})} < 0$ (inn)

Eks. 1B: Kjølemaskin/varmepumpe



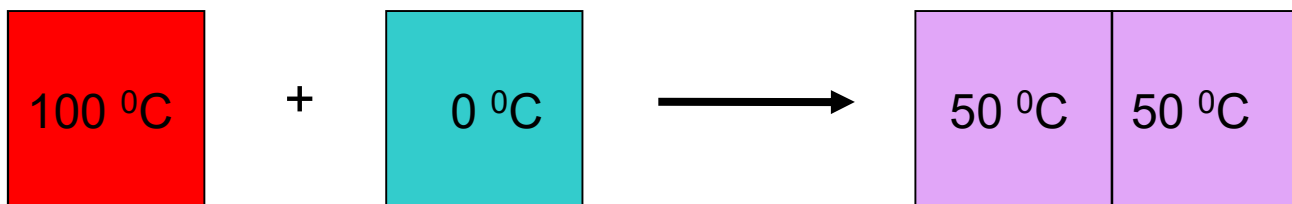
Varmekraftmaskin

varme: $Q_{(netto)} > 0$ (inn)
 arbeid: $W_{(netto)} > 0$ (ut)

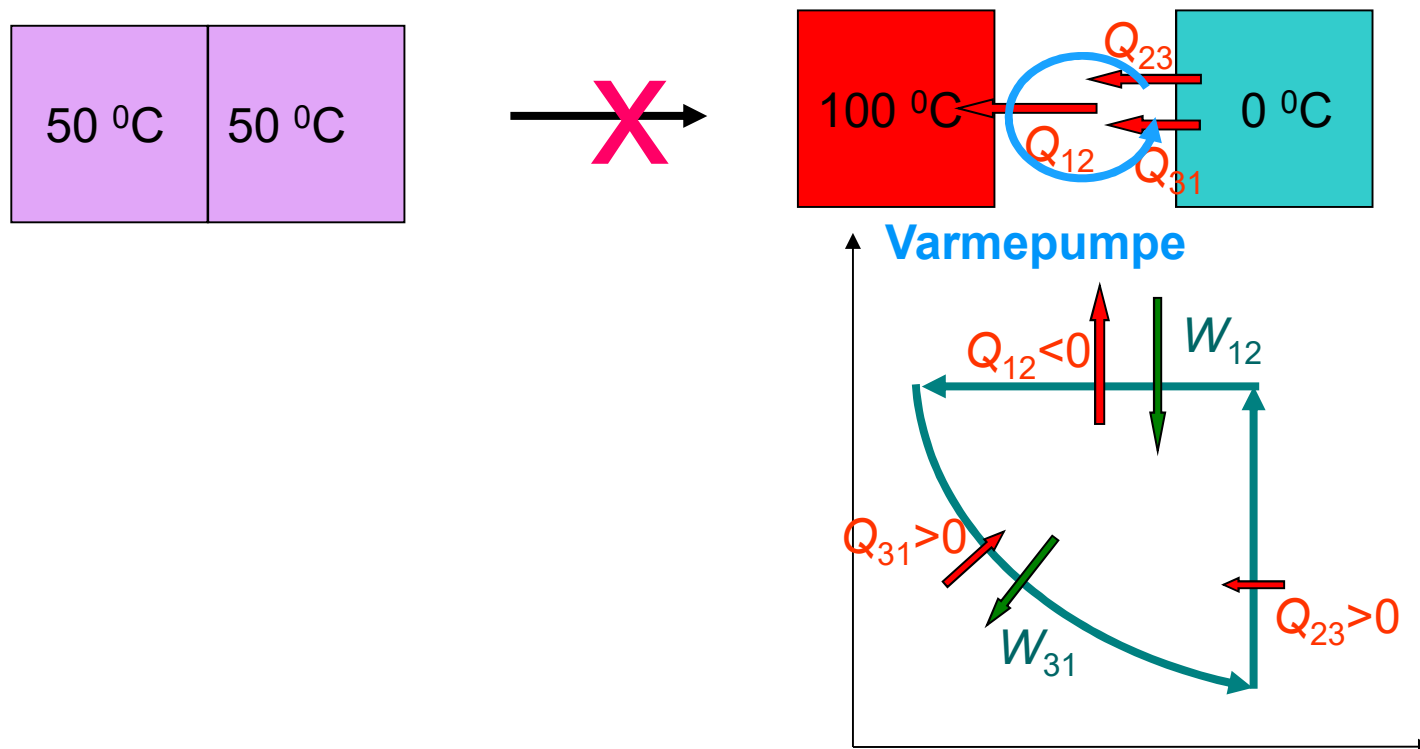


Kjølemaskin (varmepumpe)

varme: $Q_{(netto)} < 0$ (ut)
 arbeid: $W_{(netto)} < 0$ (inn)



Mulig ved bruk av varmepumpe,
dvs. tilført energi $W = W_{12} + W_{31}$:



Adiabatiske prosesser [Y&F 19.8, H&S 11.6 L&H&L 15.3]

- Ingen varmeutveksling med omgivelser: $Q = 0$

1. lov: $\Delta U = Q - W = -W$

Dvs. alt arbeid gjøres på bekostning av indre energi

- Reversibel, adiabatisk prosess: alltid likevekt

- Adiabatlikningen ideell gass:

$$pV^\gamma = \text{konstant}$$

$$\gamma = C_p / C_V$$

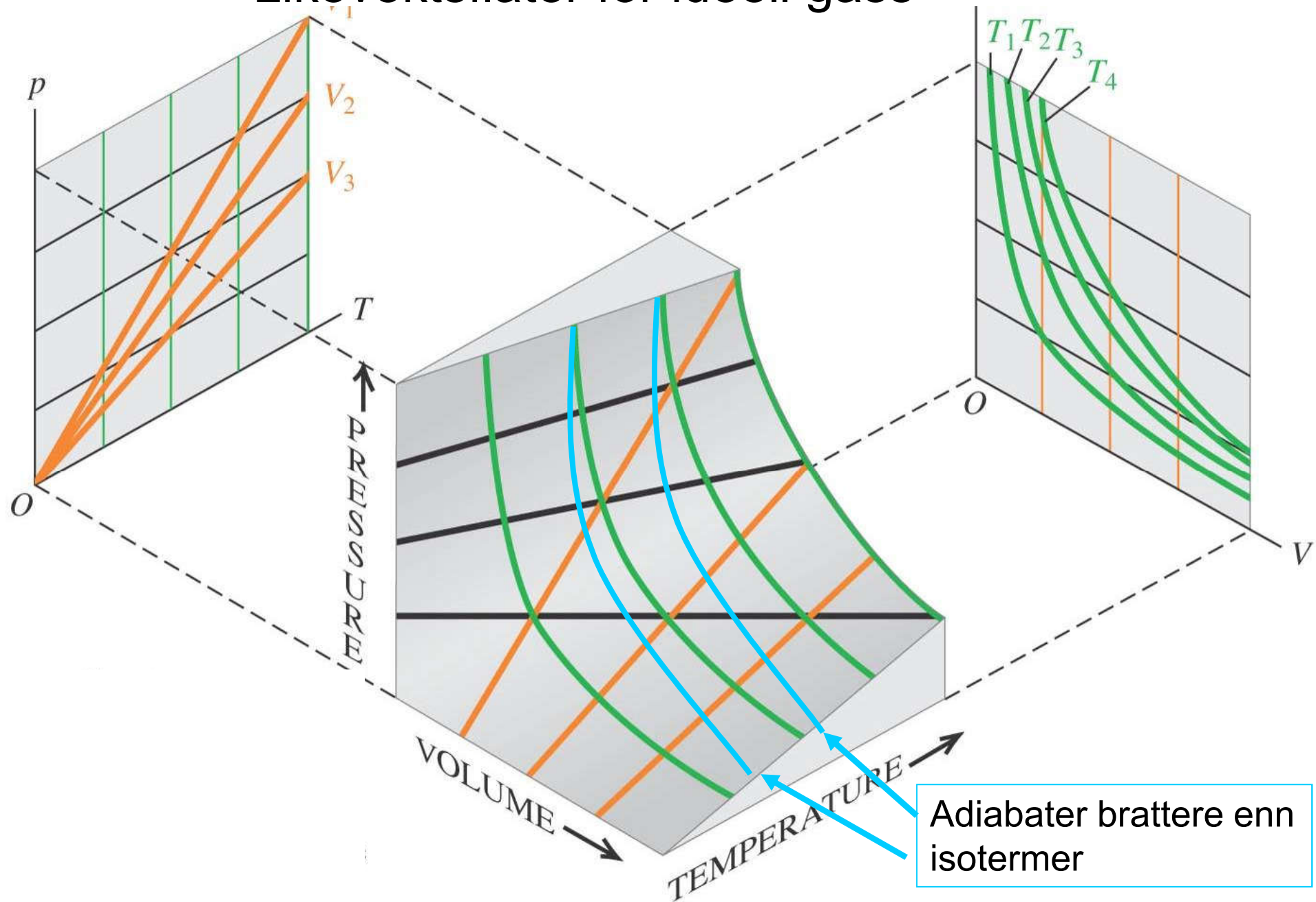
$$TV^{\gamma-1} = \text{konstant}$$

$$T^\gamma p^{1-\gamma} = \text{konstant}$$

Se formelark.

Utledes fra $pV = nRT$
i Øving 10, opg 7.

Likevektsflater for ideell gass



Eks. 2. Kretsprosess med adiabat, enatomig gass

$$\Delta U = 0$$

$$Q_{(\text{netto})} = W_{(\text{netto})}$$

$$T_2 = 2T_1$$

$$T_3 = T_1 \left(\frac{1}{2}\right)^{2/3} = T_1 \cdot 0,630$$

$$W_{12} = p_1 V_1 = nRT_1$$

$$W_{23} = 0$$

$$W_{31} = -\Delta U_{13} = -C_V n(T_1 - T_3) = -\frac{3}{2} nRT_1 \left(1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{2/3}\right)$$

$$W = W_{12} + W_{31} = nRT_1 \frac{1}{2} \left(3 \left(\frac{1}{2}\right)^{2/3} - 1\right) = nRT_1 \cdot 0,445$$

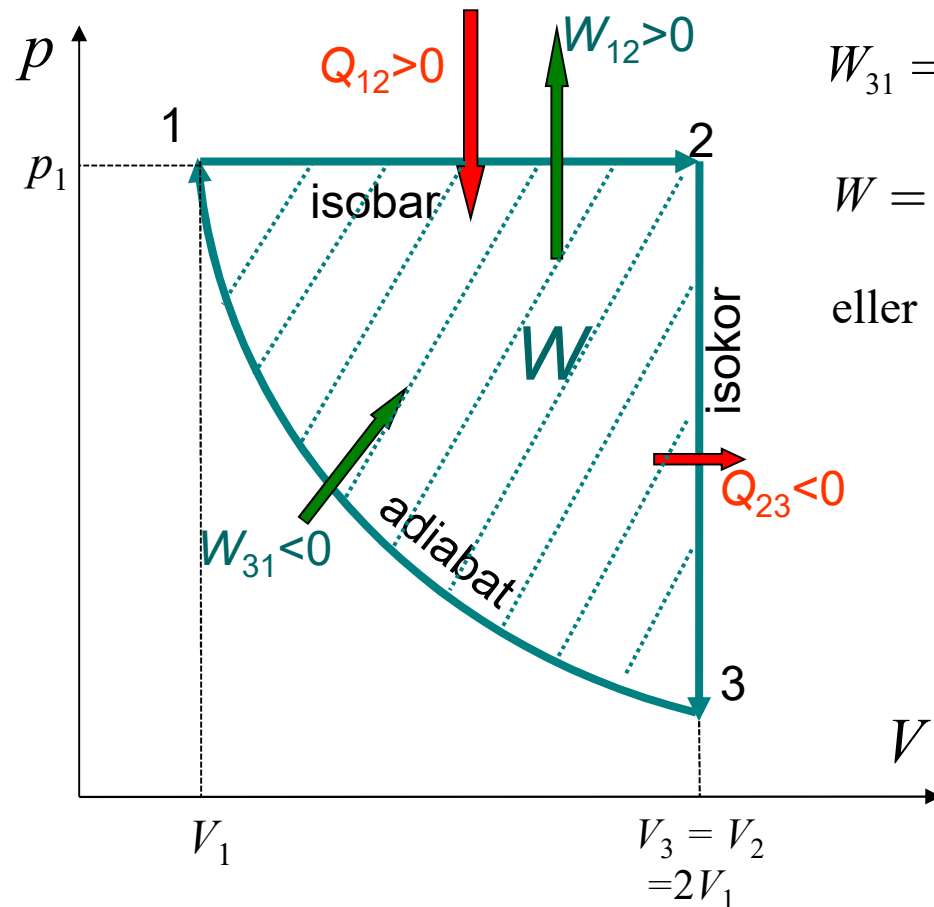
eller W_{31} mer arbeidssomt fra $pV^\gamma = \text{konst} = p_1 V_1^\gamma$:

$$W_{31} = \int_3^1 p dV = p_1 V_1^\gamma \int_3^1 V^{-\gamma} dV$$

$$= p_1 V_1^\gamma \frac{1}{1-\gamma} [V_1^{1-\gamma} - V_3^{1-\gamma}]$$

$$= p_1 V_1 \frac{1}{1-\gamma} \left[1 - \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^{1-\gamma}\right]$$

$$= -\frac{3}{2} nRT_1 \left(1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{2/3}\right)$$



Eks. 2. Kretsprosess med adiabat, enatomig gass

$$\Delta U = 0$$

$$Q_{(\text{netto})} = W_{(\text{netto})}$$

$$T_2 = 2T_1$$

$$T_3 = T_1 \left(\frac{1}{2}\right)^{2/3} = T_1 \cdot 0,630$$

$$W_{12} = p_1 V_1 = nRT_1$$

$$W_{23} = 0$$

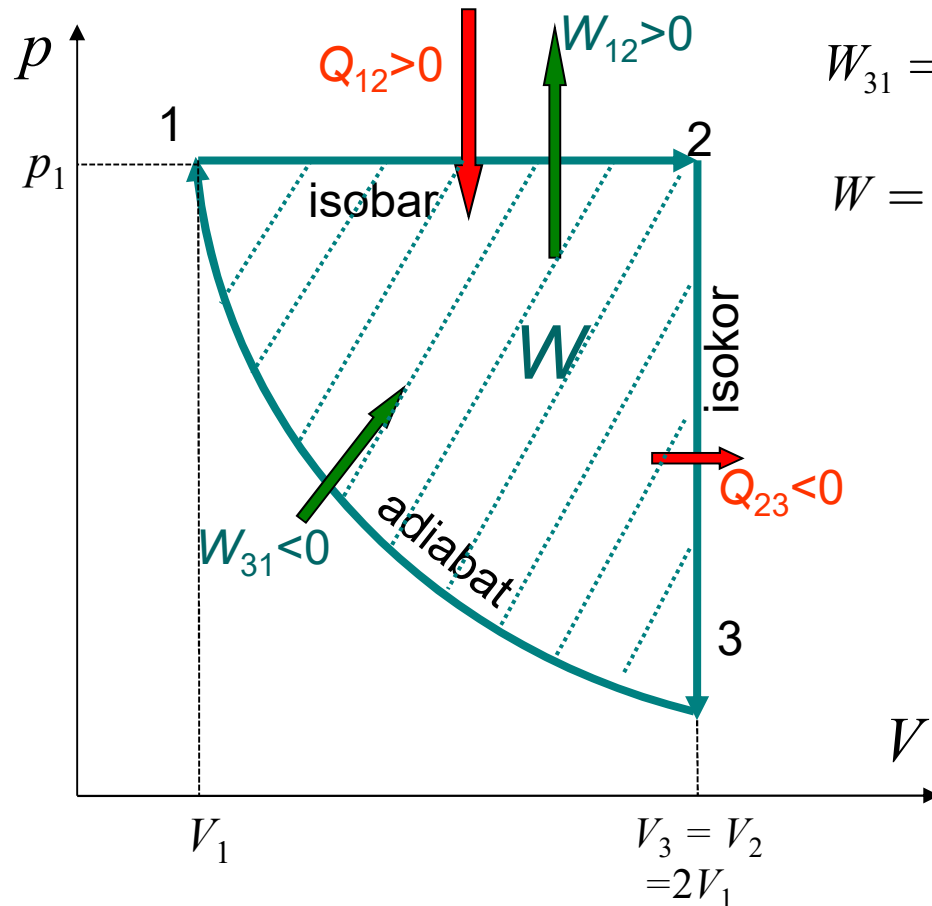
$$W_{31} = -\Delta U_{13} = -C_V n(T_1 - T_3) = -\frac{3}{2} nRT_1 \left(1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{2/3}\right)$$

$$W = W_{12} + W_{31} = nRT_1 \frac{1}{2} \left(3 \left(\frac{1}{2}\right)^{2/3} - 1\right) = nRT_1 \cdot 0,445$$

$$Q_{12} = C_p n(T_2 - T_1) = \frac{5}{2} nRT_1$$

$$Q_{23} = C_V n(T_3 - T_2) = -\frac{3}{2} nRT_1 \left(2 - \left(\frac{1}{2}\right)^{2/3}\right)$$

$$Q = Q_{12} + Q_{23} = nRT_1 \frac{1}{2} \left(3 \left(\frac{1}{2}\right)^{2/3} - 1\right) = W$$



Q=W for alle sykliske prosesser

Eks. 3. Adiabatligning i atmosfæren = Øving 10, opg. 5

Luft stiger 100 m og utvider seg adiabatisk.

Hvor mye synker tempen?

Oppgitt: $T_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$

$p_0 = 1,00 \text{ atm} = 1013 \text{ hPa}$

$\Delta p = -0,013 \text{ atm} = -13 \text{ hPa per } 100 \text{ m opp}$

Toatomig gass: $\gamma = 7/5$

$$T^\gamma p^{1-\gamma} = T_0^\gamma p_0^{1-\gamma}$$

$$T p^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_0 p_0^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

$$T = T_0 \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 273,0 \text{ K} \cdot \left(\frac{1000}{1013} \right)^{\frac{2}{7}} = 272,0 \text{ K}$$

Dvs. $\Delta T = -1 \text{ K per } 100 \text{ m høyde}$

Dette gjelder i tørr luft. I 100 % fuktig luft -1 K per ca. 200 m høyde