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)

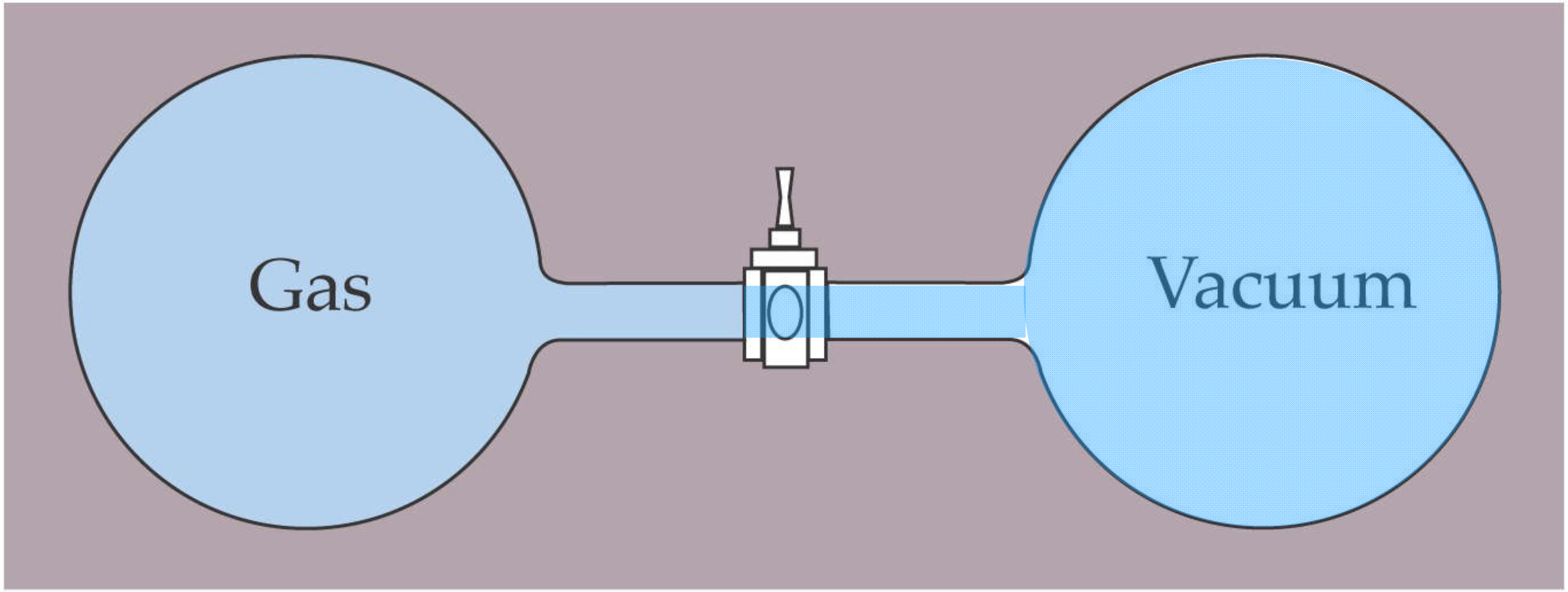
Irreversibel prosess:

$$100\ {}^0C \quad + \quad 0\ {}^0C \quad \longrightarrow \quad 50\ {}^0C \quad 50\ {}^0C$$

Kan ikke reverseres:

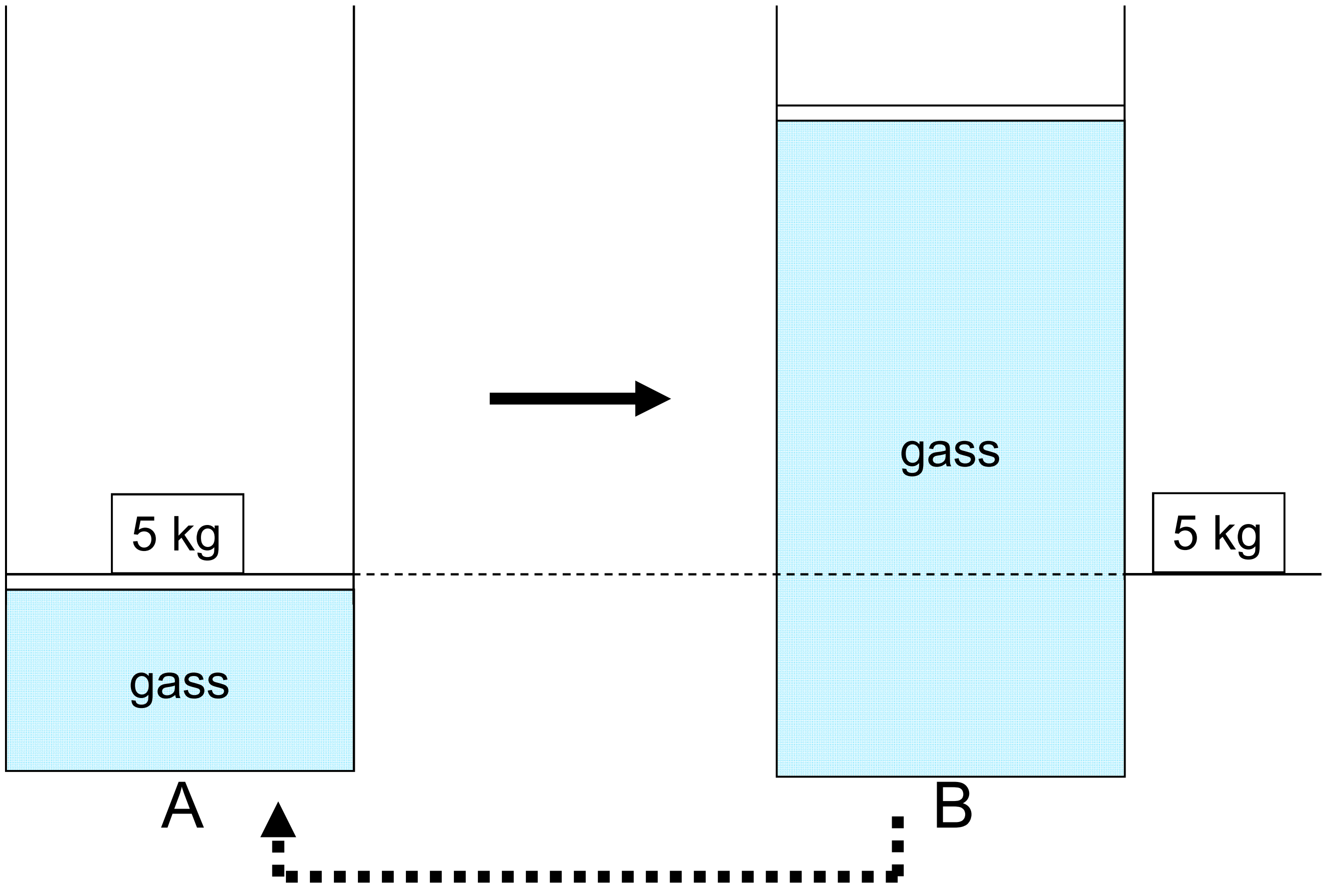
$$50\ {}^0C \quad 50\ {}^0C \quad \not\longrightarrow \quad 100\ {}^0C \quad + \quad 0\ {}^0C$$

Åpne krana => irreversibel prosess.



Mulig å få til en mer kontrollert gassutvidelse?

Irreversibel prosess.

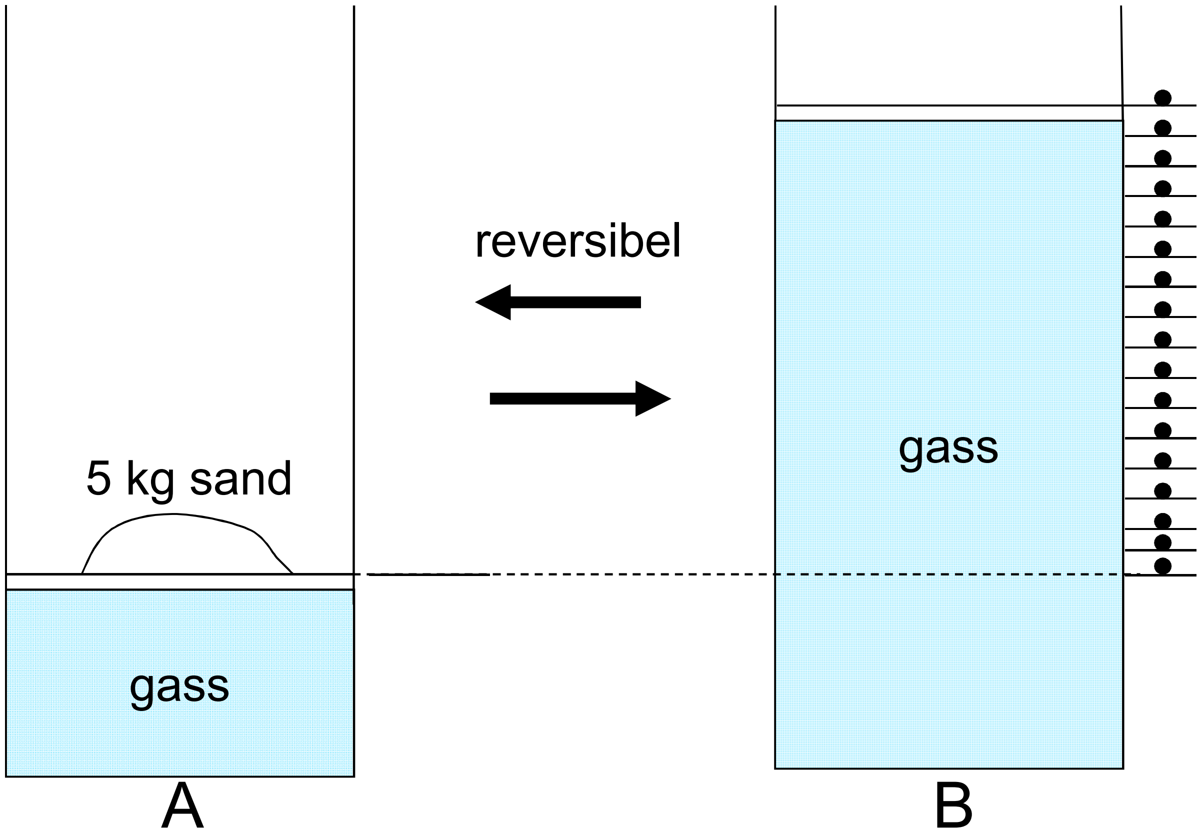


A -> B: Skyve av lodd

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

Reversibel prosess:

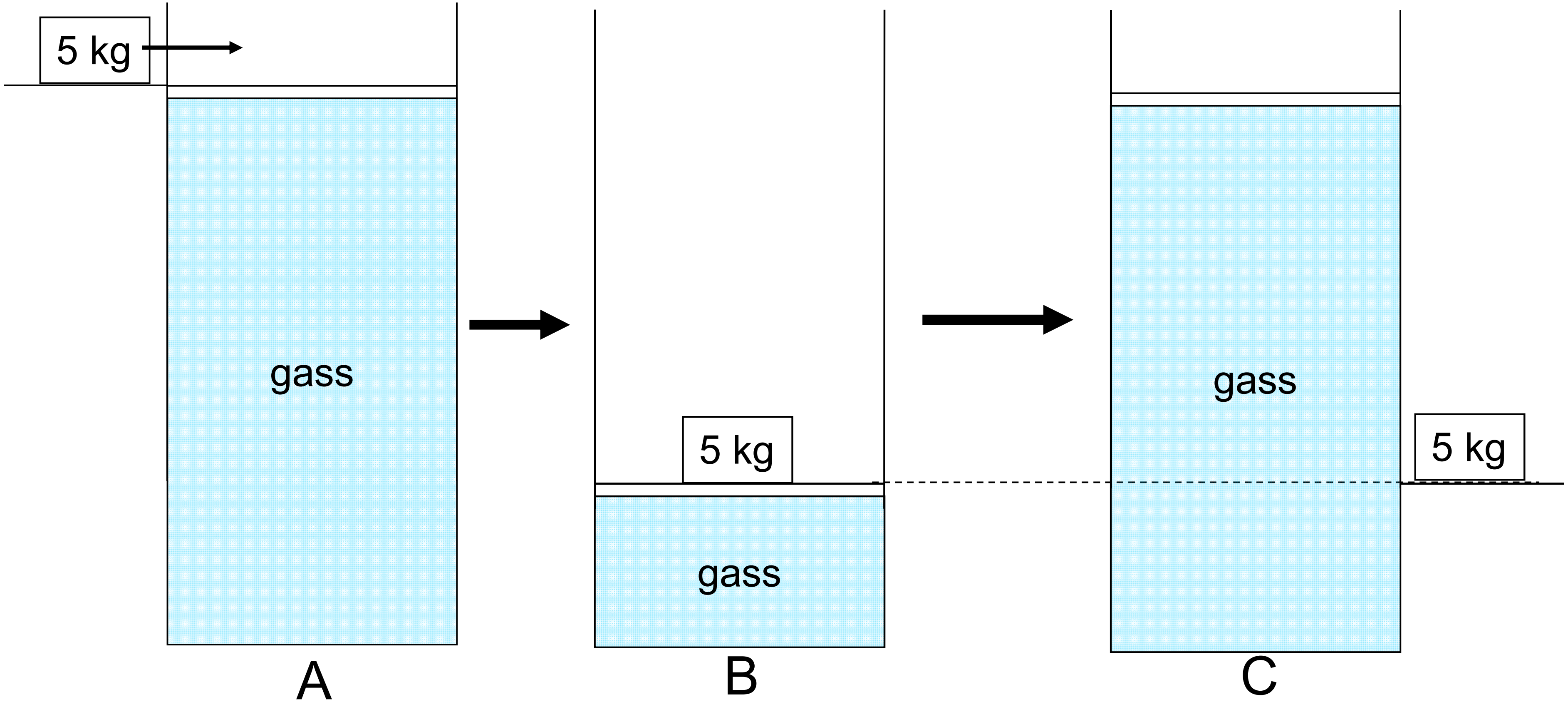
∞ mange hyller med infinitesimale sandkorn



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

B -> A ved å skyve sandkornene tilbake, ett for ett (null arbeid)

Irreversibel prosess



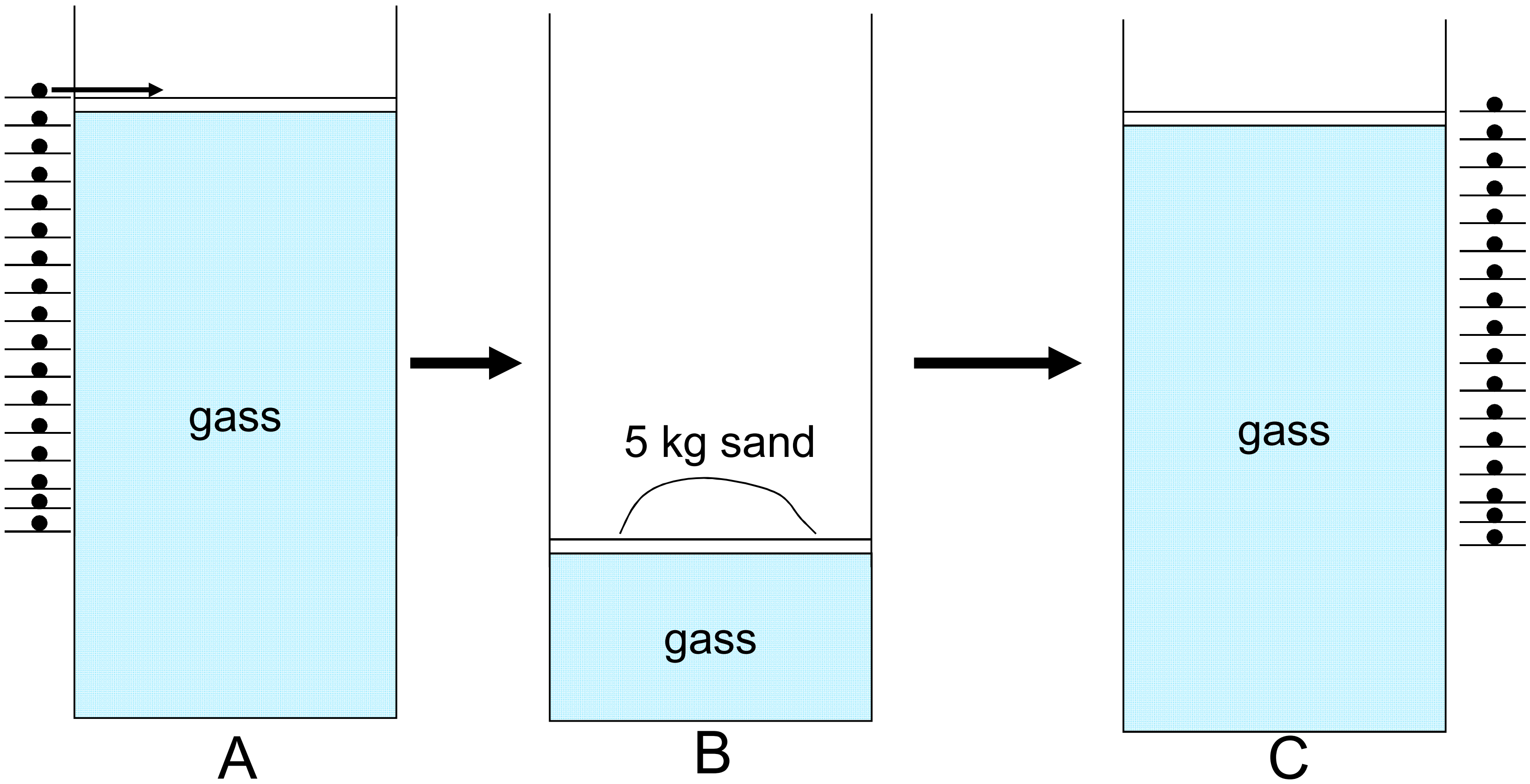
A -> B: Skyve inn lodd

B -> C: Skyve av lodd

Tilstand C ≠ 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:

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

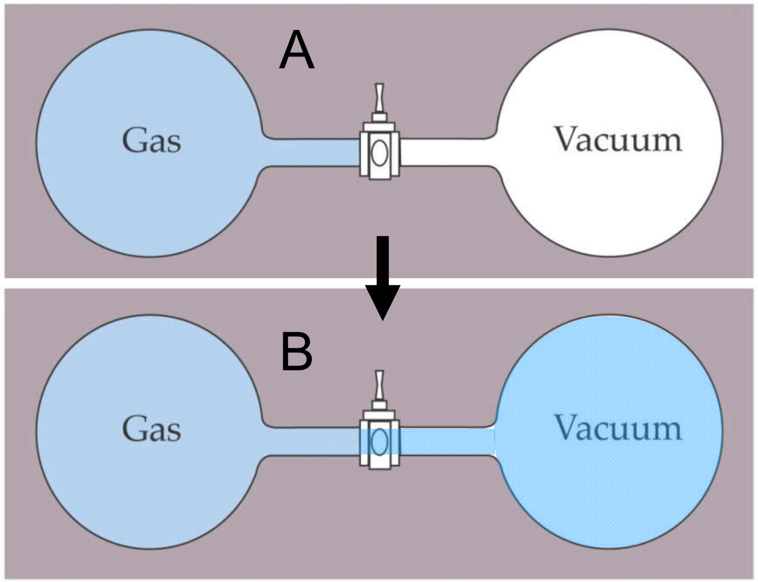
Termodynamiske krav:

- Termisk likevekt under hele prosessen
- Langsomt og kontrollert
- Varme overføres over infinitesimale dT

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

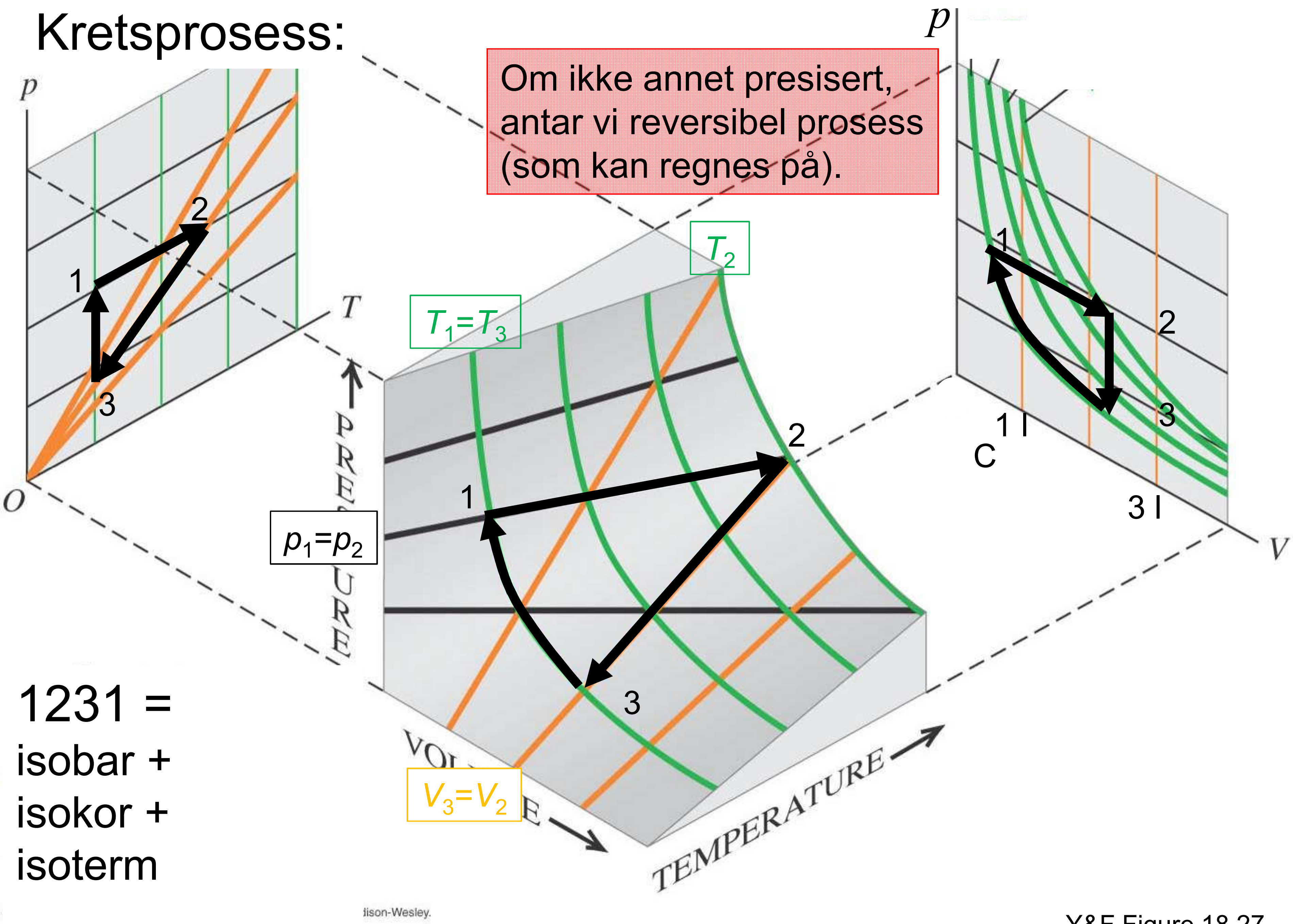
Irreversibel prosess:

- 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

Y&F Figure 18.27

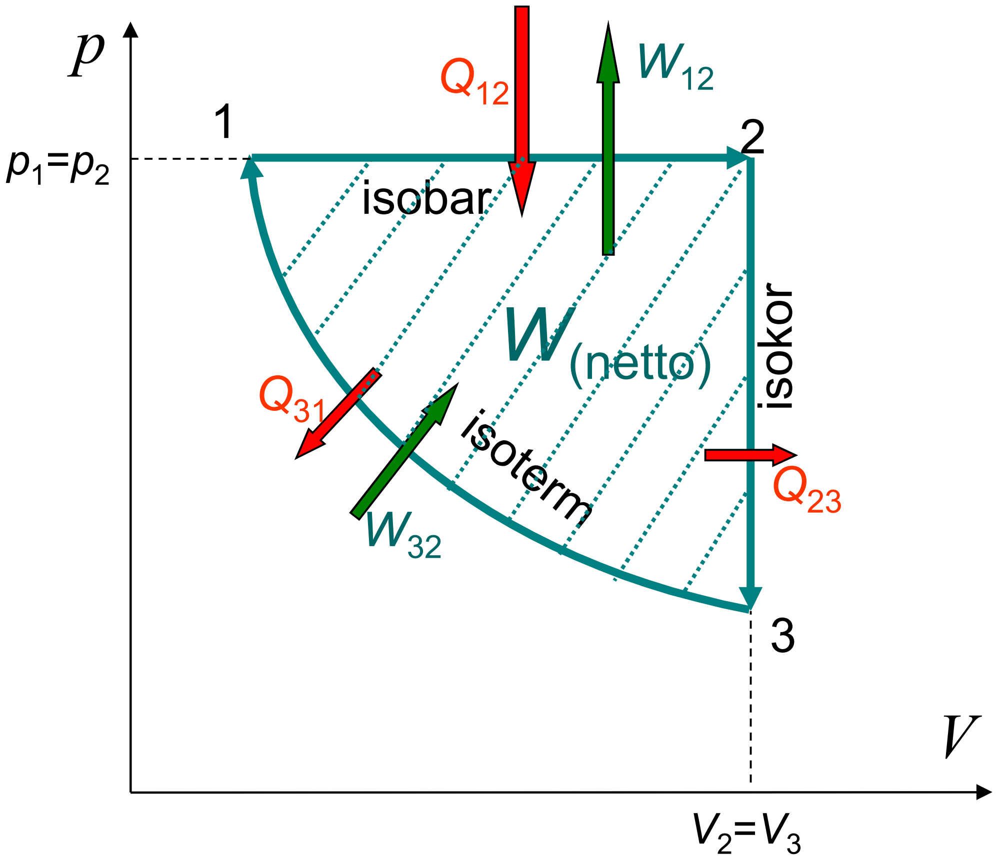
Kretsprosess: Start = Slutt

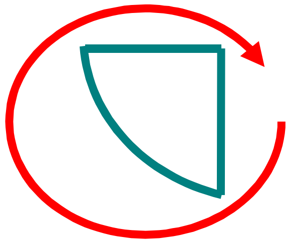
$$U_1 = U_1$$

$$\Delta U = 0$$

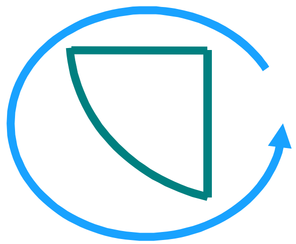
$$Q_{(netto)} = W_{(netto)}$$

Eks. 1:





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



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

Adiabatiske prosesser ideell gass

- Adiabatlikningen $pV^{\gamma} = \boxed{\text{konstant}}$
  bevises v.h.a:

- 1. hovedsetning: $\mathrm{d}Q = \mathrm{d}U + p\mathrm{d}V = 0$

- Varmekapasiteter ideell gass:
  - Konst. volum: $C_V = (\mathrm{d}Q/\mathrm{d}T)_V \ 1/n = \mathrm{d}U/\mathrm{d}T \ 1/n$
  - Konst. trykk: $C_p = (\mathrm{d}Q/\mathrm{d}T)_p \ 1/n = (\mathrm{d}U + p\,\mathrm{d}V)/\mathrm{d}T \ 1/n = C_V + R$

- Gassloven $pV = nRT$

- Definerer adiabatkonstanten $\gamma = C_p/C_V$

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

- Ingen varmeutveksling med omgivelser: $Q = 0$

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

  Dvs. alt arbeid gjøres på bekostning av indre energi

- Reversibel, adiabatisk prosess: alltid likevekt

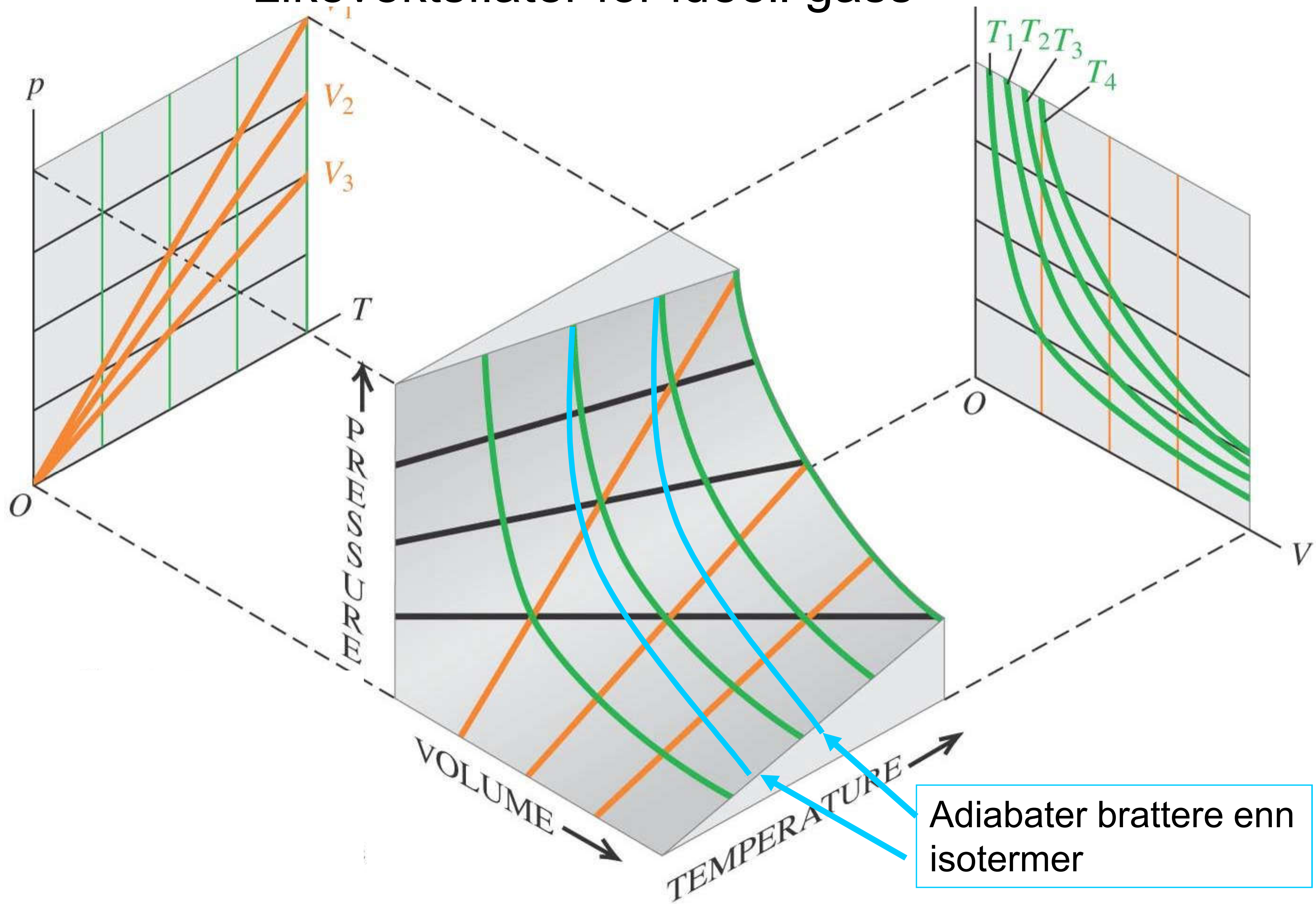
- Adiabatlikningen ideell gass:

  $\boxed{pV^{\gamma} = \text{konstant}}$ $\qquad \gamma = C_p / C_V$

  $\boxed{\begin{array}{l} TV^{\gamma-1} = \text{konstant} \\ T^{\gamma} p^{1-\gamma} = \text{konstant} \end{array}}$

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

Likevektsflater for ideell gass

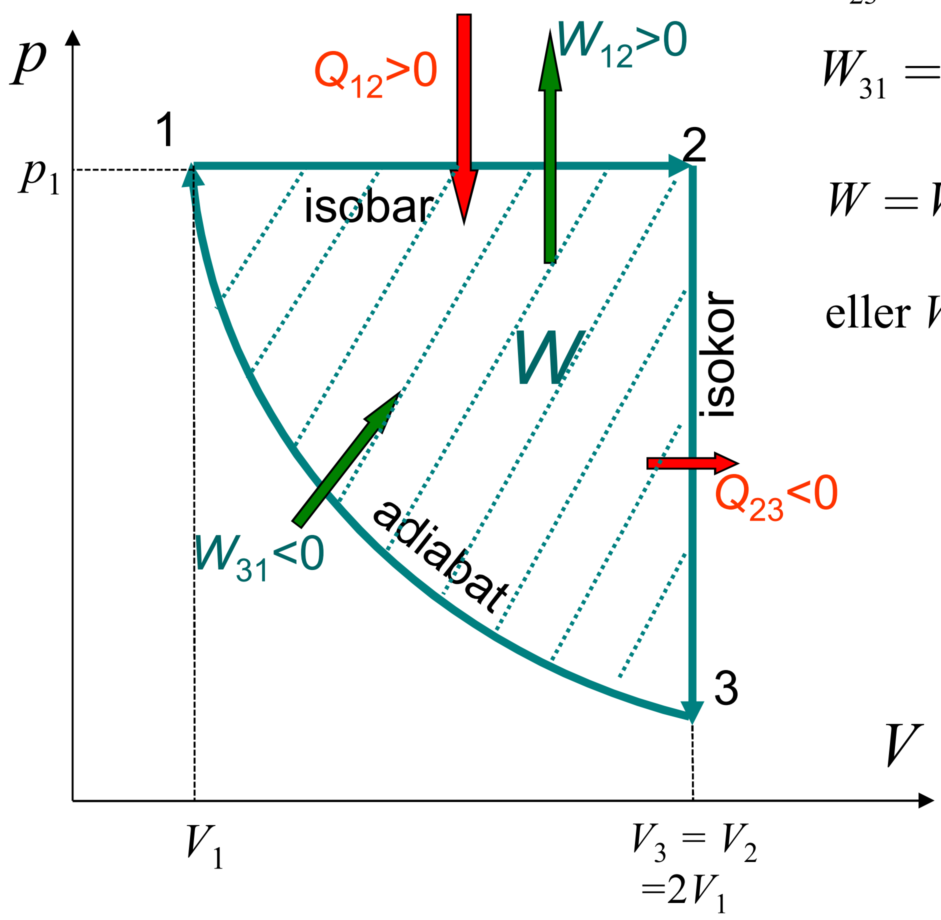


Y&F Figure 18.27

Eks. 2. Kretsprosess med adiabat, enatomig gass

$\Delta U = 0$

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



$$T_2 = 2T_1$$

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

$$W_{12} = p_1V_1 = nRT_1$$

$$W_{23} = 0$$

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

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

eller W_{31} mer arbeidssomt fra $pV^\gamma = \text{konst} = p_1V_1^\gamma$:

$$W_{31} = \int_3^1 p\,\mathrm{d}V = p_1V_1^\gamma \int_3^1 V^{-\gamma}\mathrm{d}V$$

$$= p_1V_1^\gamma \frac{1}{1-\gamma}\left[V_1^{1-\gamma} - V_3^{1-\gamma}\right]$$

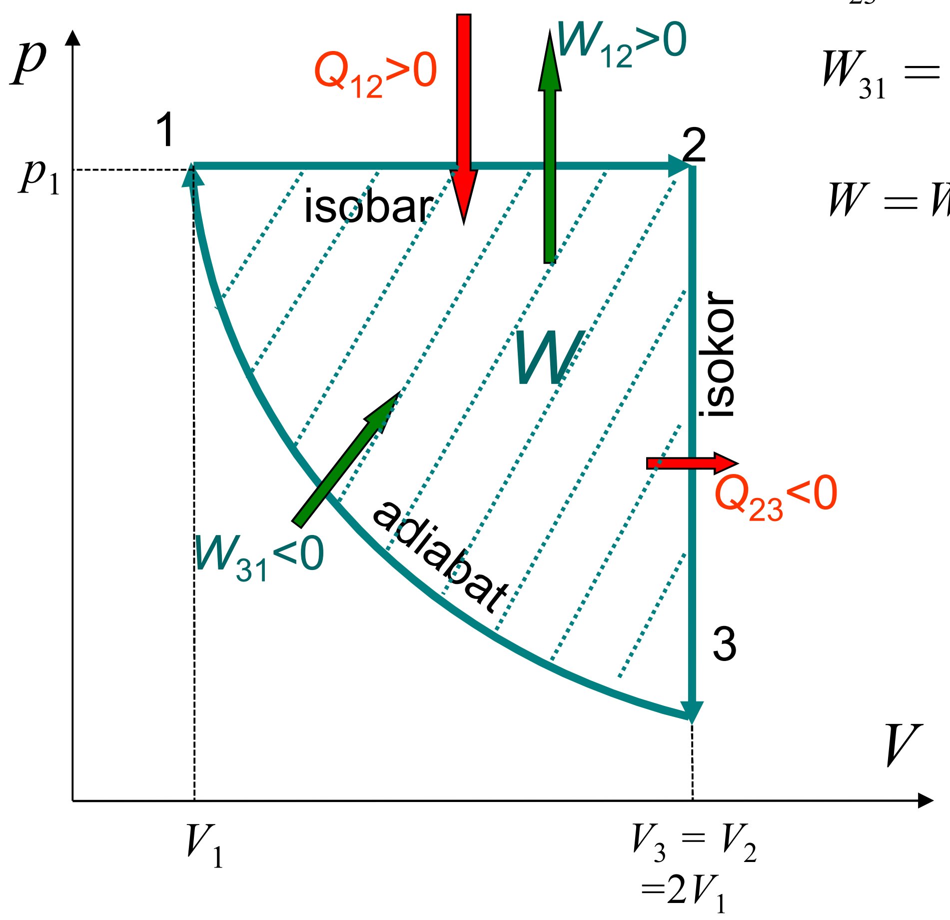
$$= p_1V_1\frac{1}{1-\gamma}\left[1-\left(\frac{V_3}{V_1}\right)^{1-\gamma}\right]$$

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

Eks. 2. Kretsprosess med adiabat, enatomig gass

$\Delta U = 0$

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



$$T_2 = 2T_1$$

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

$$W_{12} = p_1V_1 = nRT_1$$

$$W_{23} = 0$$

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

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

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

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

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

Q=*W* for alle sykliske prosesser

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

Luft stiger 100 m og utvider seg adiabatisk.
Hvor mye synker tempen?
Oppgitt: $T_0 = 0\ ^{o}\mathrm{C} = 273\ \mathrm{K}$
$p_0 = 1{,}00\ \mathrm{atm} = 1013\ \mathrm{hPa}$
$\Delta p = -0{,}013\ \mathrm{atm} = -13\ \mathrm{hPa}$ per 100 m opp
Toatomig gass: $\gamma = 7/5$

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

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

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

Dvs. ΔT = - 1 K per 100 m høyde
Mer realistisk:
ΔT = - 1 K per 150 m høyde