

# 7.

## DE TWEEDE HOOFDWET

### 7.1 Inleiding

Energie gaat nooit verloren. (1<sup>ste</sup> hoofdwet)

Maar het nut ervan kan wel verminderen. Van de toegevoerde warmte bij 1000K kan als de omgevingstemperatuur 300K is, maximaal

$$\frac{1000 - 300}{1000} = 70\% \text{ omgezet worden in arbeid.}$$

Van de toegevoerde warmte bij 400K kan  $\frac{400 - 300}{400} = 25\%$  worden omgezet

in arbeid. Toegevoerde warmte bij lage temperatuur kan eigenlijk alleen voor verwarming gebruikt worden. Aan de toegevoerde warmte bij omgevingstemperatuur hebben we niets. De waarde van de toegevoerde warmte hangt sterk af van de temperatuur waarbij die warmte wordt toegevoerd. Om warmte en temperatuur waarbij die warmte is geleverd te koppelen, is "gereduceerde warmte" ingevoerd.

### 7.2 Gereduceerde warmte

Gereduceerde warmte:

$\frac{\Delta Q}{T}$
----------------------

Tijdens een proces kunnen we de som van de gereduceerde warmtes bepalen:

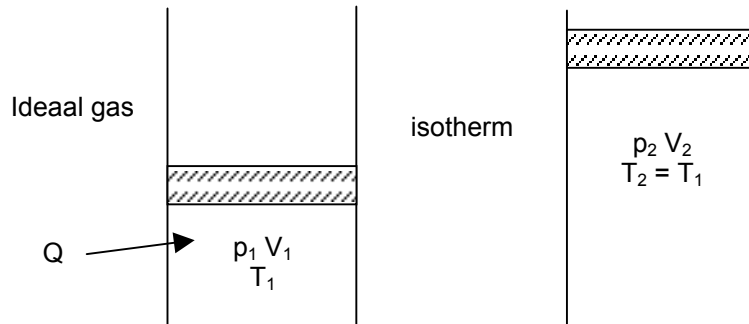
$$\sum \frac{\Delta Q}{T}$$

De som van de gereduceerde warmtes is een procesgrootte.

7.2.1 Bepalen van de som van de gereduceerde warmtes

Voorbeeld 1

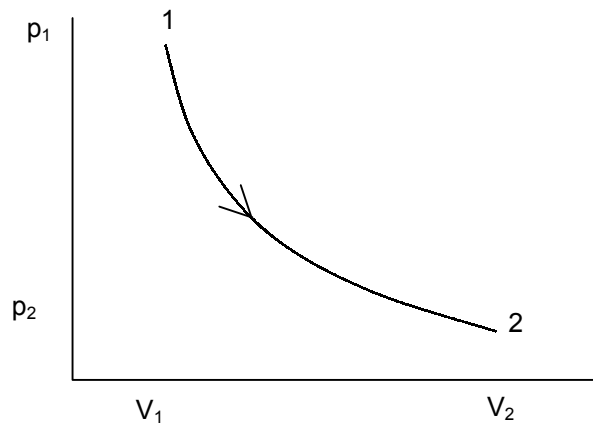
Isotherm.



$$Q_{toe} = mR_s T \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (T = \text{const})$$

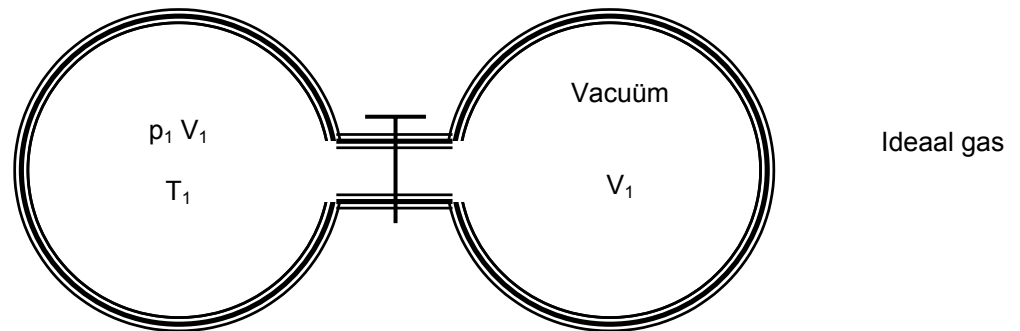
$$\sum \frac{\Delta Q}{T} = \frac{Q}{T} = \frac{mR_s T \ln \frac{V_2}{V_1}}{T} = mR_s \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\sum = \frac{\Delta Q}{T} = m \cdot R_s \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$$



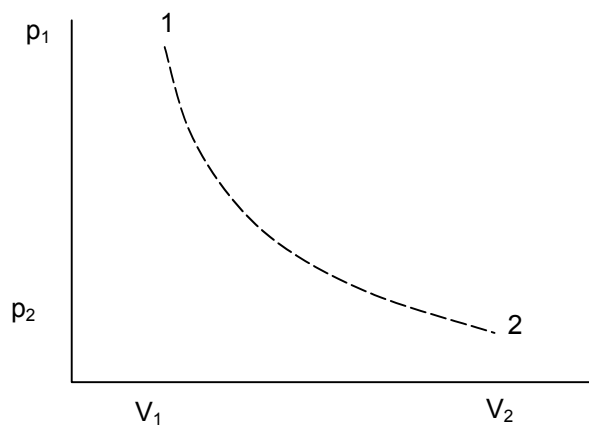
**Voorbeeld 2.**

Ander proces tussen 1 en 2.  
Adiabatische niet omkeerbare expansie.



Proef van Joule.

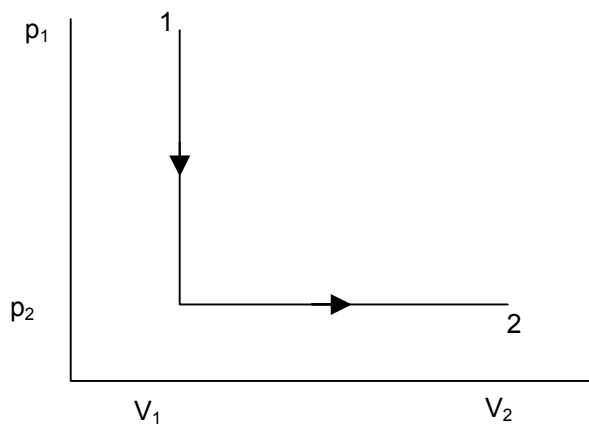
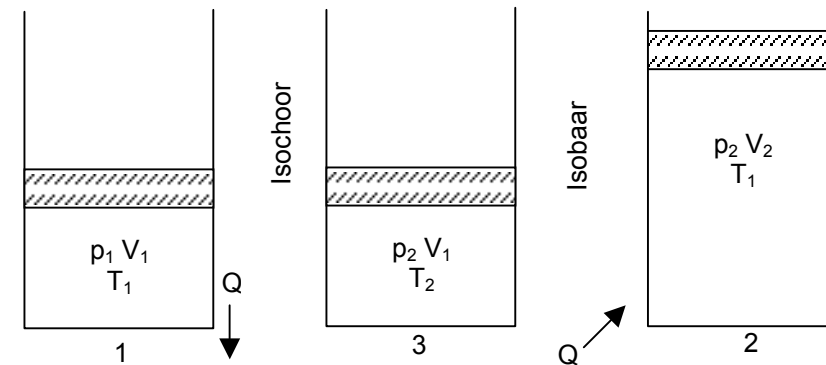
$$Q = 0 \quad W = 0 \quad \Delta U_k = 0$$



$$\sum \frac{Q}{T} = 0$$

Want tijdens elk stukje van het proces geldt  $\Delta Q = 0$ .

**Voorbeeld 3.** Van 1 → 2 via isochoor en isobaar.



Van 1→3 isochoor afkoelen.

$$\Delta Q = mc_v \Delta T$$

$$\sum \frac{\Delta Q}{T} = \sum \frac{mc_v \Delta T}{T}$$

Omdat het een omkeerbaar proces is, kunnen we het aantal tussentoestanden oneindig groot maken.

$$\sum \frac{\Delta Q}{T} = \int \frac{mc_v \Delta T}{T} = mc_v \int \frac{1}{T} dT =$$

$$mc_v (\ln T_{\text{eind}} - \ln T_{\text{begin}}) =$$

$$mc_v \ln \frac{T_{\text{eind}}}{T_{\text{begin}}} =$$

$$mc_v \ln \frac{T_2}{T_1} = mc_v \ln \frac{p_2}{p_1}$$

3→2 isobaar

$$\sum \frac{\Delta Q}{T} = \int \frac{mc_p dT}{T} =$$

$$mc_p \ln \frac{T_1}{T_2} = mc_p \ln \frac{V_2}{V_1}$$

De som van de gereduceerde warmte 1→2

$$= mc_v \ln \frac{p_2}{p_1} + mc_p \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Tijdens het proces geldt:  $\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_1}{V_2}$

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \ln \frac{V_1}{V_2} = -\ln \frac{V_2}{V_1}$$

invullen: 
$$\sum \frac{\Delta Q}{T} = -mc_v \ln \frac{V_2}{V_1} + mc_p \ln \frac{V_2}{V_1} = mR_s \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\sum \frac{\Delta Q}{T} = m \cdot R_s \cdot \frac{V_2}{V_1}$$

Dit is hetzelfde als bij de isotherm.

De som van de gereduceerde warmtes bij elk omkeerbaar proces tussen hetzelfde begin en eindpunt is gelijk.

### 7.3 Entropieverschil

Bij omkeerbare processen is de som van de gereduceerde warmte geen procesgrootte maar een toestandsgrootte.

Deze toestandsgrootte geven we een andere naam "**Entropie verschil**".

$$\Delta s = \sum \frac{Q}{T}$$

Als het een omkeerbaar proces betreft.

**Voorbeeld 1**

Hoe groot is de entropie van water bij 100 °C als de entropie bij 0 °C nul gesteld wordt?

Het verwarmen van water bij 0 °C → 100 °C is omkeerbaar uit te voeren.

$$c = 4,18 \text{ kJ/kgK}$$

$$\Delta s = \sum \frac{\Delta Q}{T} \Rightarrow \text{bij een omkeerbaar proces uit een stuk:}$$

$$\Delta s = \int \frac{dQ}{T} = \int \frac{mcdT}{T} =$$

$$= mc \int \frac{1}{T} dT$$

$$= mc \ln \frac{T_{\text{eind}}}{T_{\text{begin}}}$$

Voor 1 kg:

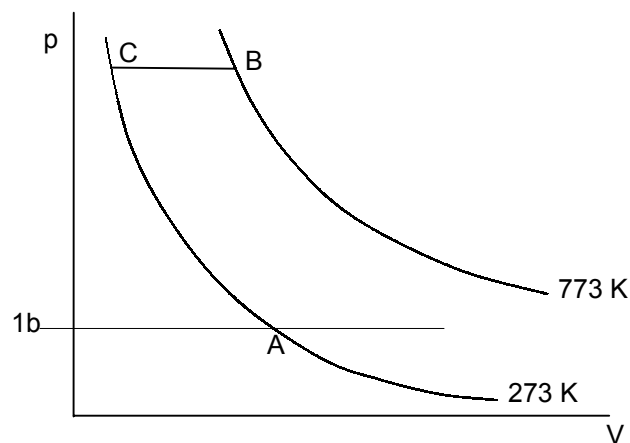
$$s_{100} - s_0 = 1 \times 4,18 \times \ln(373/273)$$

$$= 1,30 \text{ kJ/K}$$

$$\Delta S = m \cdot c \cdot \ln \frac{T_{\text{eind}}}{T_{\text{begin}}}$$

**Voorbeeld 2**

Hoe groot is de entropie van 2 kg lucht bij 500°C en 10 bar als de entropie bij 1 bar en 0 °C nul wordt gesteld.



Gevraagd:  $s_b - s_a = ?$

Een omkeerbare weg tussen A en B is bijvoorbeeld ACB.

$$s_b - s_a = s_b - s_c + (s_c - s_a)$$

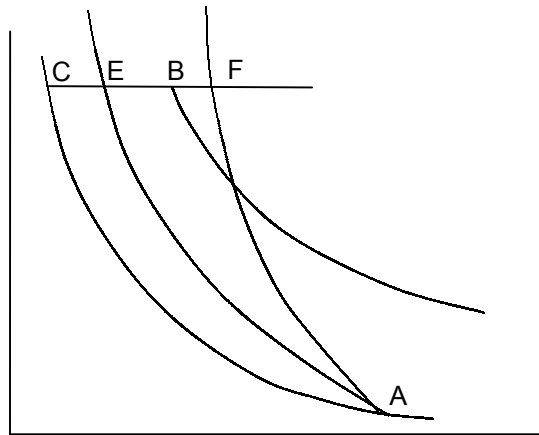
isobaar isotherm

$$s_b - s_a = mc_p \ln \frac{T_b}{T_c} + mR_s \ln \frac{V_c}{V_a} + mR_s \ln \frac{p_a}{p_c}$$

Voor lucht  $R_s = 287$  J/kgK  
 $C_v = 7,16$  J/kgK

$$S_b - S_a = 2 \cdot 1003 \cdot \ln \frac{773}{273} + 2 \cdot 287 \cdot \ln \frac{1}{10}$$

$$s_b - s_a = 766 \text{ J/K}$$



Welke is de ware isentroop AE of AF?

Van A→B neemt de entropie toe. Langs een isentroop blijft de entropie gelijk.

Dus als AF de isentroop is, moet gelden  $s_F = s_A$ . Van F→B zou de entropie

afnemen (isobaar proces  $T_B < T_F$ )  $\Rightarrow s_B$  zou kleiner zijn dan  $s_F$  dus  $s_B < s_A$ .

$s_B$  is groter dan  $s_A$  dus bovenstaande klopt niet.

AE kan wel.

Tijdens een polytropisch proces geldt:

$$\Delta s = mc \ln \frac{T_{eind}}{T_{begin}}$$
$$s_2 - s_1 = mc \ln \frac{T_2}{T_1}$$

Alleen bij isotherm:

$$s_2 - s_1 = mR_s \ln \frac{V_2}{V_1}$$
$$s_2 - s_1 = mR_s \ln \frac{p_1}{p_2}$$

In een pV diagram geldt  $dW = pdV \Rightarrow$

Het oppervlak stelt arbeid voor.

Een klein stukje entropie verschil

$$ds = \frac{dQ}{T}$$

(Alleen als het proces omkeerbaar is).