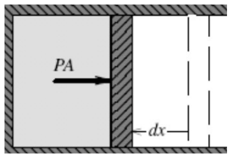
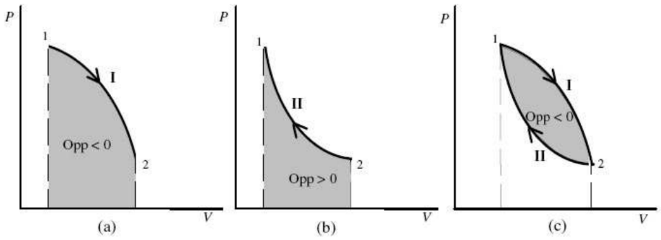
H4: Arbeid

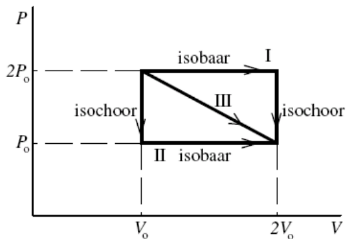
4.1 het begrip arbeid

arbeid	W = F.l > inproduct van kracht en verplaatsing, is dus een scalaire grootheid
tekenconventie W	Positieve arbeid: arbeid verricht op het systeem -> verplaatsing en uitwendige kracht zelfde zin Negatieve arbeid: arbeid verricht door het systeem -> verpl. en uitw. kracht in tegengestelde zin

4.2 arbeid bij volumeverandering

differentiaal van arbeid in thermodyn.	Beschouw een fluïdum in een cilinder met beweegbare zuiger met doorsnede A > het gas oefent een kracht PA uit op de zuiger > stel dat we een kracht iets groter dan PA vanbuiten uitoefenen op de zuiger, dan: $đW = Fdx = -PAdx,$ of dus, met Adx = dV: $đW = -PdV.$ 
arbeid ve systeem	In een eindig quasistatisch proces van volume V_i naar V_f wordt de arbeid gegeven door: $$W = -\int_{V_i}^{V_f} PdV.$$ >> aangezien we een quasistatisch proces hebben, kan P uitgedrukt worden ifv T en V Als we eenzelfde pad doorlopen geldt: $W_{if} = -W_{fi},$
kringproces / cyclus	In wijzerzin wordt er negatieve arbeid verricht, in tegenw.zin wordt er pos. arbeid verricht > herhaal het proces in cycli Figuur 4.2: *PV-diagram voor (a) een expansie, (b) een compressie en (c) een cyclus.*

4.3 afhankelijkheid van de arbeid van de afgelegde weg

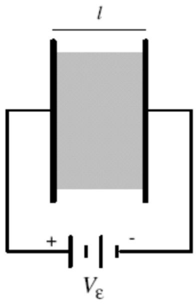
afhankelijkheid vd weg	Bekijk de netto arbeid in de cyclus: $$W_{cyclus} = W_{12}(I) + W_{21}(II) = -\|W_{12}(I)\| + \|W_{21}(II)\| < 0,$$ waaruit: $\|W_{12}(I)\| > \|W_{21}(II)\|.$ als we nu proces II van 1 naar 2 voorlopen geldt: $$W_{12}(II) = -W_{21}(II) < 0,$$ of: $\|W_{12}(II)\| = \|W_{21}(II)\|.$ waarbij we nu hebben: $\|W_{12}(I)\| > \|W_{12}(II)\|,$ dus we vinden, aangezien beide negatief zijn: $W_{12}(I) < W_{12}(II),$ >> de arbeid hangt af van de afgelegde weg
vb: arbeid afh v proces	bekijk verschillende manieren om van toestand 1 naar toestand 2 te gaan I: eerst isobaar, dan isochoor > isochoor wordt geen arbeid verricht dus we hebben gewoon: $W_{12}(I) = -2P_0V_0.$ II: eerst isochoor, dan isobaar: $W_{12}(II) = -P_0V_0.$ III: rechte lijn van 1 naar 2: $W_{12}(III) = -\frac{3}{2}P_0V_0.$ 
dW als differentiaal	Uit vorige besluiten we dus dat dW geen totale differentiaal is nl: ze is geen functie van thermodynamische coords > als we de arbeid willen berekenen, moeten we ook het proces kennen

4.3.1 isobare compressie of expansie van een gas	
isobare compr/expansie	P is constant, dus we hebben: $W = -P(V_f - V_i).$
4.3.2 isotherme compressie of expansie van een ideaal gas	
isotherme compressie	Voor een ideaal gas geldt PV = nRT, dus: $W = -\int_{V_i}^{V_f} \frac{nRT}{V} dV,$ met T cte in een isotherm proces dus: $W = -nRT \ln \frac{V_f}{V_i}.$
4.3.3 isotherme toename van de druk op een vaste stof	
druk op vaste stof	Voor infin. volumeverandering geldt: $dV = \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T dP + \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dT.$ en dus bij cte T: $dV = -\kappa V dP,$ wat ons geeft: $W = \int_{P_i}^{P_f} \kappa V P dP.$ aangezien vaste stoffen niet echt samendrukbaar zijn, kunnen we V en κ cte nemen: $W \approx \frac{\kappa V}{2}(P_f^2 - P_i^2),$
4.3.4 lengteverandering van een gespannen snaar	
arbeid in snaar	Als een snaar onder spanning F veranderd van L naar L+dL dan is de infin. arbeid: $đW = F dL.$ als de krachten op elk ogenblik weinig verschillen van de spanning > dan is het proces quasistatisch en kan men een toestandsvgl gebruiken > in het elastisch gebied geldt: $W = \int_{L_i}^{L_f} const.(L - L_o) dL,$ dus: $W = \frac{const.}{2}\left[(L_f - L_o)^2 - (L_i - L_o)^2\right].$
4.3.5 verandering van de oppervlakte van een oppervlaktefilm	
oppervlaktefilm	Beschouw een vloeistoffilm in een U-vormig raam met beweegbare draad van lengte l > als we de draad bewegen over een afstand dx hebben we: $đW = F dx = 2 f l dx,$ nu geldt er: dA = 2ldx, dus: $đW = f\, dA.$ voor een eindige oppervlakteverandering van A_i naar A_f hebben we: $W = \int_{A_i}^{A_f} f\, dA.$
4.3.6 verandering van de lading van een omkeerbare elektrische cel	
Arbeid in Daniellcel	We hebben een omkeerbare Daniellcel aangesloten met een potentiometer > schakel een extern potentiaalverschil infinitesimaal kleiner dan de ems V_ε > er zal een hoeveelheid lading dZ overgedragen worden > arbeid wordt geleverd door de cel de arbeid is dan: $đW = V_\varepsilon\, dZ.$ of dus: $W = \int_{Z_i}^{Z_f} V_\varepsilon dZ.$

4.3.7 verandering van de polarisatie van een diëlektricum

diëlektricum

voor een diëlektrisch materiaal tss 2 parallelle condensatorplaten met opp A en afstand l
> potentiaal V_ε geleverd door een batterij
> elektrisch veld met veldsterkte E gegeven door: $E = \frac{V_\varepsilon}{l}$.



er is een lading +Z aanwezig op de ene plaat en -Z op de andere
> verander deze nu met een infin. hoeveelheid dZ
> de verandering in arbeid is: $\text{đ}W = V_\varepsilon dZ = EldZ.$

de lading op de platen is gegeven door Z=DA met D=diëlektrische verplaatsing:

$$\begin{aligned} \text{đ}W &= AlEdD \\ &= VEdD, \end{aligned}$$

met V de volumeverandering vh diëlektrisch materiaal
> beschouw V als constant, dan: $dD = \varepsilon_0 dE + \frac{d\Pi}{V}.$

dus nu is de weerstand: $\text{đ}W = V\varepsilon_0 EdE + Ed\Pi.$

Nu: - de eerste term is de arbeid nodig om de elektrische veldsterkte te vergroten met dE
> zou ook nodig zijn moest er een vacuum tss de platen zitten
> ie: is onafh van het diëlektrisch materiaal

- de tweede term is de arbeid verricht door het diëlektricum
> we vinden dus: $\text{đ}W = Ed\Pi.$

4.3.8 verandering van de magnetisatie van een magnetisch materiaal

arbeid in magn. materiaal

beschouw een magnetisch materiaal in een toroïde
> deze heeft doorsnede A, omtrek L en N windingen
> de stroom in de toroïde induceert een magnetisch veld:

$$V_\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} = -NA\frac{dB}{dt}.$$

gedurende een tijd dt zal een hoeveelheid lading dZ in het circuit gebracht worden:

$$\begin{aligned} \text{đ}W &= -V_\varepsilon dZ = NA\frac{dB}{dt}dZ \\ &= NA\frac{dZ}{dt}dB = NAidB, \end{aligned}$$

de magnetische veldsterkte teweeggebracht door de stroom is:

$$H = \frac{Ni}{L} = \frac{NAi}{AL} = \frac{NAi}{V},$$

dus we hebben: $NAi = VH,$

waarvoor we een uitdrukking voor dW hebben: $\text{đ}W = VHdB.$

als we B differentiëren bekomen we:

$$dB = \mu_o dH + \mu_0 \frac{dM}{V},$$

voor zelfde reden als bij E is de arbeid geleverd door het magnetisch materiaal dus gegeven door:

$$\text{đ}W = \mu_0 HdM.$$

overzicht

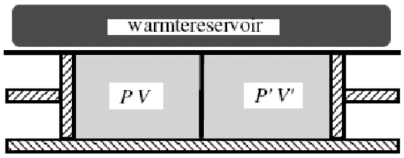
Eenvoudig systeem	Intensieve grootheid (veralg. kracht)	Extensieve grootheid (veralg. verplaatsing)	Arbeid (in J)
Hydrostat. systeem	P (in Pa)	V (in m^3)	$-P\ dV$
Gespannen draad	F (in N)	L (in m)	$F\ dL$
Oppervlaktefilm	f (in N/m)	A (in m^2)	$f\ dA$
Omkeerbare cel	V_ε (in V)	Z (in C)	$V_\varepsilon\ dZ$
Diëlektricum	E (in V/m)	Π (in C.m)	$E\ d\Pi$
Magnetische stof	H (in A/m)	M (in A.m^2)	$\mu_o H\ dM$

<table>
<tr><th colspan="2">4.4 samengestelde systemen</th></tr>
<tr><td>arbeid in samengesteld systeem</td><td>

In de figuur hebben we twee fluïda gescheiden door een diathermische wand

> zijn op eenzelfde temperatuur, door aanbrenging warmtereservoir

> 5 coords: P, V, P', V', T en 2 toestandsvergelijkingen

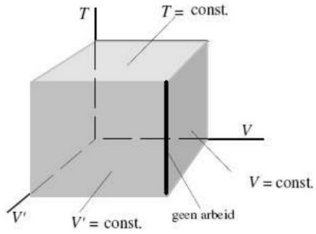


Nu is de arbeid:

$$đW = -PdV - P'dV'.$$

>> bij elke temp T zijn er twee onafh variabelen

> stel deze voor in een 3D figuur:



We bsluiten: dW kunnen we optellen om de samengestelde te vinden

</td></tr>
</table>