Toegepaste thermodynamica

# Hoofdstuk 1: Basisbegrippen

## Systeem en omgeving:

* A picture containing whiteboard

  Description automatically generatedSysteem: Hoeveelheid materie of een bepaald volume, duidelijk begrensd in de ruimte.
* Omgeving: Alles buiten het systeem.
* Systeemgrens: oppervlakte dat het systeem scheidt van de omgeving (reëel of imaginair). Deze kan vast of beweegbaar zijn.

Een systeem kan open of gesloten zijn:

* Controlemassa (=gesloten systeem): Systeemgrens ondoorlaatbaar voor MASSA

A picture containing diagram

Description automatically generated

2 speciale gevallen:

* + Geïsoleerd systeem:

Diagram

Description automatically generated

* + Adiabatisch systeem:

Diagram

Description automatically generated

* Controlevolume (=open systeem): Systeemgrens doorlaatbaar voor massa

Diagram

Description automatically generatedDiagram, text, whiteboard

Description automatically generated

Een voorbeeld hiervan zijn stromingssystemen zoals een turbine, compressor of mondstuk. Het volume blijft

## Eigenschappen van systemen

Een systeem wordt gekenmerkt door zijn eigenschappen (=variabelen)

* Intensief: Onafhankelijk van massa of grootte van het systeem (temperatuur, druk, dichtheid)
* Extensief: Afhankelijk van de grootte van het systeem (massa, volume, inwendige energie)
* Specifieke grootheden: Worden verkregen als we een extensieve grootheid delen door de massa -> intensieve grootheden. (specifiek volume, specifieke inwendige energie).

= toestandsgrootheden/toestandsvariabelen

## Toestand, thermodynamisch evenwicht

Een systeem bevindt zich in een toestand bepaald door zijn eigenschappen. Als er hier een van verandert, verandert ook de toestand tot een nieuwe toestand. De weg naar deze nieuwe toestand heet het proces.

Text, whiteboard

Description automatically generated

≠ soorten evenwichten:

* Thermisch evenwicht: Geen T-gradiënten
* Mechanisch evenwicht: ∑F=0
* Fasenevenwicht: De massa van elke fase heeft een evenwicht bereikt.
* Chemisch evenwicht: de netto snelheid van alle reacties is 0.
* Een systeem in evenwicht ondergaat geen veranderingen wanneer het geïsoleerd wordt van zijn omgeving.
* De thermodynamica bestudeert enkel evenwichtstoestanden.

**Het postulaat van de toestand:**

De toestand van een eenvoudig, samendrukbaar systeem is volledig bepaald door twee onafhankelijke, intensieve eigenschappen.

* Eenvoudige, samendrukbaar systeem: Een systeem waar geen externe krachten op werken.
* Onafhankelijke eigenschappen:De ene kan veranderen terwijl de andere constant blijft. (vb: temperatuur en volume)

## Processen en cycli

Thermodynamisch proces: De verandering van toestand 1 -> toestand 2

Procesweg: De opeenvolging van toestanden die een systeem ondergaat om van t1 naar t2 te gaan.

Diagram

Description automatically generated

Quasi-statisch of quasi-evenwichtsproces: proces dat voldoende traag verloopt zodat men kan aannemen dat het systeem stapsgewijs evenwichtstoestanden doorloopt. Het evenwicht blijft voortdurend behouden. Zo’n proces kan zijn:

* Reversibel: Het systeem kan terug naar toestand 1 worden gebracht door een omgekeerde stapsgewijze verandering. Ook mag er niets veranderen aan het systeem noch aan de omgeving.
* Irreversibel: Niet reversibele processen

Vb:

Diagram

Description automatically generated with low confidence

In feite zal er tijdens het bewegen van de zuiger wrijving ontstaan tussen de zuiger en de metalen wand, waardoor warmte vrijkomt in de omgeving. Zowel de omgeving als het systeem veranderen dus! In de praktijk verwaarlozen we dit en beschouwen we dit wel degelijk als een reversibel proces.

Bijzondere thermodynamische processen:

* Isotherm proces: cte T
* Isobaar proces: cte p
* Isochoor proces: cte V
* Kringprocessen/cycli: begintoestand=eindtoestand. Een reversibel kringproces kan als een gesloten kromme in een toestandsdiagram worden weergeven.

Stationaire stromingsprocessen: processen waarbij een fluïdum doorheen een controlevolume stroomt op stationaire wijze.

Diagram

Description automatically generatedStationaire stromingssystemen: installaties die gedurende lange periodes opereren onder dezelfde omstandigheden. (turbines, koelsystemen, warmtewisselaars in krachtcentrales, …)

Er mag een gradiënt zijn van een toestandsgrootheid, maar deze moet dan constant zijn!

=

volume, massa, en totale energie-inhoud van het controlevolume blijven constant tijdens een stationair stromingsproces

## Temperatuur, de nulde wet

**Nulde hoofdwet:** Wanneer twee systemen A en B elk in thermisch evenwicht zijn met een systeem C, zijn ze ook met elkaar in thermisch evenwicht.

Dit is eigenlijk een definitie voor de temperatuur.

Er bestaan ook ≠ temperatuurschalen:

* Celciusschaal (°C): gebaseerd op vriespunt en kookpunt van water.
* Kelvinschaal (K): laagste temperatuur (0K) komt overeen met absolute nulpunt. Dit werd bepaalt via interpolatie.
* Ideale gas temperatuurschaal: , bij lage druk en constant volume.

## Druk

* Normaalkracht die door fluïdum wordt uitgeoefend per eenheid oppervlakte.
* Absolute druk: Gemeten ten opzichte van het absolute nulpunt van de druk (het vacuüm)
* Relatieve druk: Gemeten ten opzichte van de plaatselijke atmosfeerdruk
* Overdruk is groter dan de atmosfeerdruk
* Onderdruk is kleiner dan de atmosfeerdruk
* Prel=Pabs-Patm
* Scalaire grootheid: voor fluïda in rust => hangt niet af oriëntatie beschoude opp.

P2Δx − P1Δx − ρgΔxΔz = 0

ΔP = P2- P1 = ρgΔz

ρgh is in di geval een voorbeeld van relatieve druk: de hydrostatische druk.

Chart, histogram

Description automatically generated

Samendrukbaarheid:

* Vloeistoffen: onsamendrukbaar => ρ=cte
* Gassen: samendrukbaar => ρ=variabele:

Voorbeelden van toestellen die werken met drukgradiënten:

* Manometer

Diagram

Description automatically generated

* De differentiële manometer

Diagram

Description automatically generated



Indien het fluïdum een gas is, is ρ1 <<< ρ2 en wordt de vergelijking:

P1 − P2 ≅ ρ2gh.

* De Barometer: Buisje gevuld met een zwaar, vloeibaar fluïdum (kwik). De atmosfeerdruk zal een kracht uitoefenen op het opp en de kwik in de kolom doen stijgen => hoogte is een maat voor de atmosferische druk.

Chart

Description automatically generated

## Wetten

1ste: Energie kan niet gecreëerd noch vernietigd worden tijdens een proces. Ze kan enkel van de ene vorm naar de andere worden gebracht.

2de: Hoewel de totale hoeveelheid energie bij elk proces behouden moet blijven, verandert de verdeling van die energie irreversibel. (Pijl van de tijd).

3de: Deeltjes bij het absolute nulpunt in een kristallijne stof verkeren in een staat van minimale energie en maximale orde.

# Hoofdstuk 2: Energie

## Vormen van energie

De totale energie van een systeem is som van de verschillende vormen van energie die in dat systeem vervat zitten, aangeduid met hoofdletter ‘E’.

Graphical user interface, text, application, chat or text message

Description automatically generated

Logo

Description automatically generated with low confidenceDe specifieke energie is de totale energie gedeeld door de massa, aangeduid met een kleine letter ‘e’.

We maken het onderscheid in:

* Macroscopische kunnen we zien/meten, georganiseerd: Kin, Pot, elek, magn.
* Microscopische energievormen, chaotisch: Inwendige of specifieke energie.

Energieoverdracht in systemen:

* In stationaire systemen is de enige verandering in energie de verandering van interne energie.
* Stromingssysteem: massadebiet, energiedebiet.

Text

Description automatically generated

* Stationair stromingssysteem: Ook alleen interne energie veranderingen

## Diagram Description automatically generatedInwendige energie

= Voelbare energie veroorzaakt door energie opgeslagen in moleculen.

= temperatuur!

* Voelbare energie: deel van de inwendige energie van materie geassocieerd met beweging of kinetische energie
* Latente energie: inwendige energie geassocieerd met bindingskrachten tussen moleculen (fasenveranderingen)
* Chemische energie: energie geassocieerd met de chemische binding van de atomen in een molecule
* Kernenergie: energie geassocieerd met de krachten waarmee de kerndeeltjes aan elkaar gebonden zijn
* Thermische energie = voelbare + latente
* Inwendige energie = som van alle genoemde energieën.

*De thermodynamica bestudeert het omzetten van niet-georganiseerde energie (warmte) in georganiseerde energie (arbeid) op een zo efficiënt mogelijke wijze.*

Een voorbeeld: Kinetische energie kan in de macroscopische vorm arbeid verrichten aangezien dit een georganiseerd vorm is. De microscopische vorm is niet rendabel aangezien dit alle kanten opgaat en netto gezien geen specifieke richting op gaat.

Diagram

Description automatically generated



## Mechanische energie

= Kin + pot energie

= De enige vorm van energie die volledig kan worden omgezet in mechanische arbeid vermits er gebruik wordt gemaakt van een ideale machine.

* wordt vaak gebruikt in stromingssystemen. Zowel die energie genereren als verbruiken. De mechanische energie van een stromend medium wordt gegeven door:

Diagram, schematic

Description automatically generated

Waaruit de wet van Bernouilli kan worden gehaald. De omcirkelde component is de druk-term welke de stromingsenergie weergeeft. De andere 2 componenten zijn kin + pot energie.

* Druk is een vorm van energie.

In termen van debiet wordt dit dan:

Diagram

Description automatically generated

* De verandering in mechanische energie van een *onsamendrukbaar* fluïdum wordt gegeven door:

A picture containing text, clock, watch, gauge

Description automatically generated

Ook dit kan worden uitgedrukt in termen van debiet

A picture containing text, object, clock, watch

Description automatically generated

Voorbeeldje:

Diagram

Description automatically generated

Om de hoeveelheid energie die wordt gegenereerd te berekenen kan bovenstaande formule worden gebruikt.

Vereenvoudigingen:

* Hoogte turbine verwaarlozen => g(z2-z1) valt weg
* Doorsnede buizen gelijk => snelheden overal gelijk => 2de term ook verwaarlozen
* We houden alleen de drukterm over => druk is een vorm van energie!

## Warmte

= Energie die wordt uitgewisseld tussen een systeem en zijn omgeving ten gevolge van een temperatuurverschil.

= Geen eigenschap van een voorwerp of systeem, maar een vorm van energieoverdracht.

* Adiabatisch systeem: Een systeem dat geen warmte kan uitwisselen met zijn omgeving
* Adiabatisch proces: Een proces waarbij geen warmteoverdracht plaatsvindt tussen systeem en omgeving.

Diagram

Description automatically generated

Energieoverdracht door warmte:

A picture containing text

Description automatically generated



De mechanismen die hiervoor verantwoordelijk zijn, zijn:

Diagram

Description automatically generated

## Arbeid

= Energie die wordt uitgewisseld tussen een systeem en zijn omgeving ten gevolge van een kracht die werkt op een afstand. Uitgedrukt in vermogen (Watt)

Of arbeid + of – mag worden geacht, wordt bepaald door conventie:

* +: systeem oefent arbeid uit of krijgt warmte.
* -: systeem verliest warmte of ondervindt arbeid
* Of via subscripten Qin, Qout, Win, Wout.

Een paar eigenschappen van warmte en arbeid:

* Beide zijn grensfenomenen, ze treden op aan de systeemgrenzen.
* Systemen bezitten energie, maar geen warmte of arbeid.
* Beide zijn geassocieerd met een proces, niet met een toestand.
* Beide zijn afhankelijk van de afgelegde weg tijdens het proces, en van de begin- en eindtoestand van het proces. (lijnfuncties).
* **Eigenschappen** zijn enkel afhankelijk van de toestand van het systeem, niet van de manier waarop het systeem die toestand bereikt. Ze hebben exacte differentialen aangeduid door d.

A picture containing text, clock, watch, gauge

Description automatically generated

* **Warmte en arbeid** zijn afhankelijk van de gevolgde weg en hebben geen exacte differentialen, aangeduid door δ.

Logo

Description automatically generated with medium confidence

Voorbeeld:

Diagram

Description automatically generated

## Eerste wet van de thermodynamica

= Voor alle adiabatische processen tussen twee gespecificeerde toestanden van een gesloten systeem, is de netto uitgeoefende arbeid dezelfde, onafhankelijk van het proces (de gevolgde weg).

= **Behoud van energie**

**De energiebalans** = De netto verandering van de totale energie van een systeem tijdens een proces is gelijk aan het verschil tussen de totale energie die het systeem binnentreedt en de totale energie die het systeem verlaat.

Text

Description automatically generated

Voorbeeldjes:

Diagram

Description automatically generated

**Energieverandering**:

Text

Description automatically generated

Graphical user interface, text

Description automatically generated

Speciaal geval: **stationaire systemen**



**Snelheid van energieoverdracht**

Graphical user interface, text, application

Description automatically generated

# H3: Eigenschappen van zuivere stoffen

## Zuivere stof

We beschouwen een stof zuiver als de samenstelling van de verschillende fasen identiek is.

Vb: zuiver water zal in vaste, vloeibare en gastoestand enkel H2O bevatten. Bij lucht zullen verschillende fasen uit andere stoffen betsaan.

**Fase** = Een duidelijk afgescheiden deel van een stof met een specifieke, homogene moleculaire structuur en met duidelijk identificeerbare grenzen.

## Faseovergang

1. Samengedrukte en verzadigde vloeistof

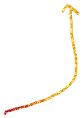
Timeline

Description automatically generated

1. Verzadigde en onverzadigde damp

A picture containing timeline

Description automatically generated

Diagram

Description automatically generated

Eens het verdampingsproces begint, zal de temperatuur bij verder toevoegen van warmte niet toenemen, tot de vloeistof volledig verdampt is. Wanneer de druk constant gehouden wordt, blijft de temperatuur dus constant tijdens het volledige verdampingsproces. De enige verandering die wordt waargenomen is een sterke toename van het volume onder de zuiger, en een daling van het vloeistofniveau ten gevolge van verdamping.

1. Verzadigingstemperatuur en verzadigingsdruk
   * Het kookpunt van water is afhankelijk van de druk
   * **Verzadigingstemperatuur Tsat** = De temperatuur waarbij een zuivere stof een faseovergang ondergaat bij een bepaalde druk.
   * **Verzadigingsdruk Psat** = De druk waarbij een zuivere stof een faseovergang ondergaat bij een bepaalde temperatuur.
   * **Latente warmte**: hoeveelheid energie die nodig is om een stof een faseovergang te doen ondergaan bij constante temperatuur en druk.
   * **Latente smeltwarmte**: hoeveelheid warmte opgenomen tijdens een smeltproces.
   * **Latente verdampingswarmte**: hoeveelheid warmte opgenomen tijdens een verdampingsproces.

## Toestandsdiagrammen (kunnen schetsen + bespreken!)

1. Het T-V diagram

Chart

Description automatically generated

Diagram

Description automatically generated

* + Dit diagram wordt waargenomen bij een constante druk.
  + **Kritisch punt**: verzadigde vloeistoftoestand = verzadigde damptoestand. Het kritisch punt is afkomstig van de verzadigingslijn, maar dan bij een zeer hoge temperatuur!
  + Bij **drukken hoger dan de kritische druk** kan geen duidelijke faseovergang onderscheiden worden.

1. Het P-V diagram

Diagram

Description automatically generated

Aangezien de druk afneemt, zal het volume van de vloeistof toenemen. Wanneer de druk de waarde van de verzadigingsdruk Psat bereikt bij de heersende temperatuur, zal het water beginnen te verdampen. Tijdens dit verdampingsproces blijven zowel de temperatuur als de druk constant, maar het specifiek volume neemt toe. Nadat alle vloeistof verdampt is, zal een verdere verlaging van de druk leiden tot een verdere toename van het specifiek volume. Merk op dat we tijdens de faseovergang het gewicht van de zuiger niet verder verlaagden. Indien we dit wel zouden doen, zou de druk en bijgevolg ook de temperatuur verlagen (aangezien Tsat = f(Psat)), en zou het proces niet isotherm verlopen. Wanneer we het proces herhalen bij andere temperaturen bekomen we gelijkaardige P-v curves voor de faseovergang. Door de verzadigde vloeistoftoestanden en de verzadigde damptoestanden te verbinden bekomen we uiteindelijk het P-v diagram voor een zuivere stof.

P-V(of T)-diagram van de **vaste fase**:

Chart

Description automatically generated

De linkse figuur beschrijft de toestanden van zuivere stoffen die krimpen tijden het vriesproces terwijl de rechtse figuur stoffen zoals water beschrijft. De vloeistoffen komen alle 3 voor bij waarden die op de triple line liggen. Indien we een P-T-diagram zouden beschouwen, valt het specifieke volume weg en krijgen we een **triple point**. Het P-T diagram wordt ook wel eens het **fasediagram** genoemd.

A picture containing diagram

Description automatically generated



1. Het P-V-T-oppervlak

Deze vorm van diagrammen wordt vaak niet gebruikt aangezien ze onoverzichtelijk zijn.

Diagram

Description automatically generated

## Toestandstabellen (vooral voor oefeningen)

* Sommige thermodynamische eigenschappen kunnen eenvoudig gemeten worden, andere moeten worden berekend uit de meetbare grootheden.
* Zowel de meetbare als de berekenbare grootheden worden voorgesteld in toestandstabellen. Vaak zijn ze zelfs te complex om ze uit te drukken in een toestandsvereglijking
* **belangrijke examenvraag**: Je krijgt een toestandstabel en moet daaruit de eigenschappen van die stof bepalen. deze toestandstabellen staan in het handboek.

**Enthalpie**: **H =U + PV [kJ]** of h=u + Pv [kJ/kg]

1. Verzadigde vloeistof/verzadigde damp

A picture containing text, receipt, screenshot

Description automatically generated

**vf** = specifiek volume van de verzadigde vloeistof

**vg** = specifiek volume van de verzadigde damp

**vfg** = verschil tussen vg en vf

**hfg** = verdampingsenthalpie = De hoeveelheid energie die nodig is om een hoeveelheid verzadigde vloeistof met eenheidsmassa te verdampen, bij een bepaalde temperatuur of druk.

Tabel **A4** en **A5**

1. Verzadigde vloeistof-dampmengsel (verzadigde mengsels)

**Kwaliteit X**: Verhouding van de massa damp op de totale massa van het mengsel.

Diagram

Description automatically generated

Alles onder de curve geeft aanleiding tot mengsels!

Een verzadigd mengsel kan worden behandeld als:

* Een combinatie van twee subsystemen: de verzadigde vloeistof en de verzadigde damp.
* Een perfect gemengd en homogeen systeem.

Graphical user interface, application

Description automatically generated



Diagram

Description automatically generated

Kwaliteit is met andere woorden gerelateerd aan de horizontale afstanden in het P-v of T-v diagram. In de vergelijking is de teller de horizontale afstand tussen de actuele toestand en de toestand van de verzadigde vloeistof, bij een gegeven temperatuur of druk. De noemer is de lengte van de horizontale lijn die de verzadigde vloeistof en de verzadigde damptoestand verbindt. **De X kan ook berekend worden via de andere eigenschappen! Entahlpie, u.**

De analyse kan herhaald worden voor de inwendige energie en enthalpie:

Text, letter

Description automatically generated: Algemeen



1. Oververhitte damp

* Ligt steeds rechts van de verzadigde dampcurve
* Bij T>Tkritisch
* T en P zijn **onafhankelijke** eigenschappen
* Tabel **A6**
* **= zuivere vloeistof**

In vergelijking met verzadigde damp, wordt de oververhitte damptoestand gekenmerkt door:

* Lagere drukken (P < Psat bij een gegeven T)
* Hogere temperaturen (T > Tsat bij een gegeven P)
* Hogere specifieke volumes (v > bij een gegeven P of T)
* Hogere inwendige energieën (u > ug bij een gegeven P of T)
* Hogere enthalpieën (h > hg bij een gegeven P of T)

1. Samengedrukte vloeistof

* links van de verzadigde vloeistofcurve
* Bij T<Tkritisch
* Tabel **A7**

Eigenschappen van water in de vloeibare toestand zijn slechts in beperkte mate afhankelijk van de druk waaruit volgt dat:

* Een samengedrukte vloeistof wordt vaak benaderd als een verzadigde vloeistof bij de gegeven temperatuur.



* Om de fout te beperken kan de enthalpie bij lage tot middelmatige drukken ook berekend worden als:



Een samengedrukte vloeistof wordt gekenmerkt door:

* Hogere drukken (P > Psat bij een gegeven T)
* Lagere temperaturen (T < Tsat bij een gegeven P)
* Lagere specifieke volumes (v < vg bij een gegeven P of T)
* Lagere inwendige energieën (u < ug bij een gegeven P of T)
* Lagere enthalpieën (h < hg bij een gegeven P of T)

1. Referentietoestand en -waarden

* Waarden van u, h en s: niet rechtstreeks te meten, maar dienen te worden berekend mbv thermodynamische relaties.
* De relaties geven echter de **verandering** van de eigenschappen, niet de absolute waarde bij een bepaalde toestand 🡺 **referentietoestand definiëren en een waarde nul toekennen** aan één van de eigenschappen (of meerdere eigenschappen) bij deze toestand.
* Sommige eigenschappen kunnen een negatieve waarde aannemen.
* In de **thermodynamica zijn we geïnteresseerd in** **veranderingen van eigenschappen** en niet in absolute waarden. De keuze van de referentietoestand heeft geen enkel effect op het resultaat van de berekeningen in thermodynamische analyses

## De ideale gaswet

Graphical user interface, text, application

Description automatically generated

* De ieale gaswet beschrijft het P-v-T gedrag van reële gassen goed bij lage dichtheden: lage drukken en hoge temperaturen.
* lucht, stikstof, zuurstof, helium, argon, krypton en ook zwaardere gassen zoals koolstofdioxide kunnen behandeld worden als ideale gassen met een geringe fout.
* zware gassen zoals waterdamp in stoomgeneratoren en koelvloeistoffen in koelmachines kunnen niet behandeld worden als ideale gassen; voor deze stoffen dienen de toestandsdiagrammen te worden gebruikt.

Diagram

Description automatically generated

De procentuele fout die resulteert wanneer waterdamp als een ideaal gas behandeld. Uit de figuur blijkt dat bij drukken lager dan 10 kPa waterdamp kan worden beschouwd als een ideaal gas, bij alle temperaturen, met een verwaarloosbare fout (< 0,1%). Bij hogere drukken bekomen we onaanvaardbare fouten in de buurt van de verzadigde dampcurve en vooral in de buurt van het kritisch punt (> 100%). In toepassingen van luchtbehandeling (airconditioning) kan waterdamp met andere woorden behandeld worden als een ideaal gas vermits de drukken in deze toepassingen laag zijn. In het geval van stoomgeneratoren (vb. energiecentrales), waarbij de drukken aanzienlijk kunnen zijn, kan de ideale gaswet niet gebruikt worden.

## De compressibiliteitsfactor

= Een maat voor de afwijking ten opzichte van het ideaal gasgedrag (**correctiefactor**).

Chart, diagram, bubble chart

Description automatically generated

**Principe van de overeenkomstige toestanden:**

Gassen gedragen zich verschillend bij een gegeven temperatuur en druk, maar heel gelijkaardig bij temperaturen en drukken die genormaliseerd zijn ten opzichte van hun respectievelijke kritische temperaturen en kritische drukken

Om de druk en temperatuur te normaliseren gebruiken we volgende formules.

Graphical user interface, text, application

Description automatically generated

1. Bij zeer lage drukken (PR << 1) gedragen alle gassen zich als ideale gassen onafhankelijk van de temperatuur.
2. Bij hoge temperaturen (TR > 2) gedragen alle gassen zich als ideale gassen onafhankelijk van de druk (behalve wanneer PR >> 1).
3. De afwijking ten opzichte van het ideale gasgedrag is het grootst in de nabijheid van het kritisch punt.

Diagram

Description automatically generated A picture containing diagram

Description automatically generated

Wanneer P en v of T en v gegeven zijn in plaats van P en T, kan de algemene compressibiliteitsgrafiek nog steeds gebruikt worden om de derde grootheid te bepalen via:

* Trial and error
* pseudo-gereduceerd specifiek volume vR

Graphical user interface, text

Description automatically generated with medium confidence

# H4: Energieanalyse van gesloten systemen

## Verplaatsingsarbeid of PdV-arbeid

= Wb = grensarbeid = Arbeid geleverd of uitgeoefend door expansie of compressie van een gas in een zuiger-cilindersysteem **waardoor een systeemgrens verplaatst wordt.**

A picture containing text, toiletry, cosmetic

Description automatically generated

Voor een quasi-statisch- of quasi-evenwichtsproces geldt het volgende m.b.t. de grensarbeid:

Diagram

Description automatically generated

totale verplaatsingsarbeid geleverd door systeem tijdens een volledig proces:

Text

Description automatically generated

= oppervlakte onder PV-curve. Hiervoor hebben we dus de **druk als functie van het volume nodig**.

Diagram

Description automatically generatedDiagram

Description automatically generatedA picture containing text, music

Description automatically generated

Deze integraal gaat alleen op voor quasi-evenwichtsprocessen aangezien dit de enige zijn waarvoor een PV-diagram kan worden opgesteld.

Deze arbeid is afhankelijk van de gevolgde weg tijdens een proces, en van de begin- en eindtoestand van het proces EN voor een kringproces is de **netto** arbeid de oppervlakte binnen de kring.

Voorbeeldjes:

Proces bij constant volume:

De verplaatsingsarbeid = 0 aangezien er geen oppervlakte is.

Chart

Description automatically generated with low confidence

Diagram

Description automatically generated with medium confidence

Proces bij constante druk:

De verplaatsingsarbeid is Wb en is niet 0.

**Bij het samendrukken/expanderen van een gas zal de temperatuur stijgen/dalen indien deze niet cte wordt gehouden.**

Chart

Description automatically generated

Isotherm compressieproces van een ideaal gas:

De verplaatsingsarbeid is Wb en is niet 0.

Dit laatste voorbeeld is een voorbeeld van een **polytropisch proces:**

* PVn = C ⬄ **P=CV-n**
* Met n,C constanten
* Deze vergelijking geeft typische reële compressie- en expansieverschijnselen weer.
* A picture containing graphical user interface

  Description automatically generatedDe verplaatsingsarbeid wordt kan dan als volgt worden berekend:

Voor een ideaal gas wordt dit dan:

Text, letter

Description automatically generated

De ideale gaswet is dus een bijzonder geval van de polytropische vergelijking.

## Energiebalans voor gesloten systemen

De snelheid van verandering van energie in een gesloten systeem kan als volgt worden uitgedrukt.

Graphical user interface, text

Description automatically generated

Voor een constante energieoverdracht kunnen we de totale energieoverdrachten gedurende een tijdsinterval Δt berekenen als:



Voor een kringproces geldt natuurlijk dat . Dit betekent dat:



Voor niet-krinprocessen is de tekenconventie belangrijk! Warmte wordt overgedragen naar het systeem (in) en arbeid wordt verricht door het systeem (out):

Text

Description automatically generated with medium confidence

## Enthalpie: “gecombineerde grootheid”

Bij een constante druk is de warmteoverdracht met andere woorden gelijk aan de verandering van enthalpie.

A picture containing text, indoor

Description automatically generated

## Specifieke warmte

= De hoeveelheid energie die nodig is om de temperatuur van een stof met eenheidsmassa (1 kg) te doen toenemen met 1°C.

Een heel belangrijk gegeven is dat de **specifieke warmte afhankelijk is van hoe het proces wordt uitgevoerd** **en kan verschillen bij verschillende temperaturen en drukken!**

* Specifieke warmte bij constant volume cv
* Specifieke warmte bij constante druk cp

Bij constante druk zal er ook grensarbeid worden verricht. Hierdoor is cv < cp.

Diagram

Description automatically generated

Specifieke warmte bij constant volume:

* Afhankelijk van de inwendige energie.
* = De verandering van de inwendige energie van een stof per graad temperatuursverandering, bij constant volume.
* Chart

  Description automatically generated with medium confidence

Specifieke warmte bij constante druk:

* Afhankelijk van de enthalpie
* = De verandering van de enthalpie van een stof per graad temperatuursverandering, bij constante druk.
* Chart

  Description automatically generated with medium confidence

## Inwendige energie, enthalpie en specifieke warmte voor ideale gassen

Experiment van Joule: **voor een ideaal gas** is de inwendige energie enkel afhankelijk van de temperatuur.

Diagram

Description automatically generated

2 tanks in een waterbad. kraan open: Geen warmteoverdracht van lucht naar water tijdens de drukwijziging en specifiek volumewijziging. Uiteraard ook geen arbeid verricht 🡺 inwendige energie van de lucht blijft dus ongewijzigd ook al veranderen druk en volume! U is daarom enkel afhankelijk van de T.

* u = u(T)

Nu is het zo dat h afhankelijk is van u en T en u dus ook van T => h=h(t)

Text

Description automatically generated

* Voor een **ideaal gas** zijn u,h,cv, cp**, enkel afhankelijk van de temperatuur**.

Nu is het zo dat bij lage druk benaderen reële gassen het ideale gasgedrag. In die omstandigheden zijn de u,h,cv, cp voor die gassen ook enkel afhankelijk van de temperatuur. (Tabel A-2c)

**Chart

Description automatically generated**

* gassen met complexere moleculen hebben grotere specifieke warmte.
* de ideale gas-specifieke warmte voor mono-atomische gassen zoals argon, neon en helium is constant over het hele temperatuurgebied.
* binnen kleinere temperatuursintervallen: lineaire variatie

**Chart, diagram

Description automatically generated**

ΔU en ΔH kunnen op volgende manieren worden berekend:

* getabelleerde u en h gegevens. (eenvoudigste en meest nauwkeurige methode wanneer de gegevens beschikbaar zijn)
* cv en cp relaties in functie van de temperatuur en integreren (de aangewezen methode voor computerberekening)
* gemiddelde waarden (wanneer geen tabellen beschikbaar zijn)

## Specifieke warmterelaties voor ideale gassen

h = u +RT

dh = du +RdT

dh = cpdT en du = cvdT en cp = cv + R

Text

Description automatically generated with low confidence

## U, h en c voor vaste stoffen en vloeistoffen

du = cv(T)dT = c(T)dT

Δu = u2 – u1 =

Δu ≡ cavg (T2 – T1)

# H5: Massa- en energieanalyse van open systemen

## Behoud van massa

* Gesloten systemen: massa constant.
* Open systemen: massa kan ook in en uit het systeem stromen.
* Massa en energie in elkaar omzetten volgens E=mc^2 🡺 echter verwaarlozen.

## Massa- en volumedebiet

Massadebiet:

* hoeveelheid massa die per tijdseenheid door een doorsnede dwars op de stroming passeert

Text

Description automatically generated

* Voor onsamendrukbare fluïda geldt:



* De gemiddelde fluïdumsnelheid kan als volgt gevonden worden:

A picture containing text, watch

Description automatically generatedDiagram

Description automatically generatedDiagram

Description automatically generated with low confidence

Volumedebiet

* A picture containing diagram

  Description automatically generatedvolume fluïdum dat per tijdseenheid door een doorsnede dwars op de stroming passeert.

A picture containing text, watch, gauge

Description automatically generated

## Het principe van behoud van massa

Graphical user interface, timeline

Description automatically generated

Om te kijken hoe massa varieert in een systeem wordt er gebruik gemaakt van een controlevolume. Dit is een stukje uit het systeem waaruit conclusies uit kunnen worden getrokken.

Diagram

Description automatically generatedGraphical user interface, text, application

Description automatically generated

De snelheid waarmee de massa van het controlevolume verandert kan worden genoteerd als:



Het massadebiet door het differentieel oppervlak dA:

Graphical user interface, text

Description automatically generated

Om dan het netto massadebiet in of uit het gehele volume te weten, nemen we een oppervlakte-integraal.



Text

Description automatically generatedGraphical user interface, text

Description automatically generatedEen korte samenvatting, hoe zijn al deze massastromingen nu aan elkaar gerelateerd?

## Stationaire stromingsprocessen

Tijdens een stationair stromingsproces verandert de totale hoeveelheid massa van het controlevolume niet met de tijd (mcv = constante). Maw: Totale hoeveelheid massa die CV binnentreedt per tijdseenheid = hoeveelheid die het controlevolume verlaat

Diagram

Description automatically generated voor systemen met meerdere in- en uitlaten.

 voor systemen met 1 in- en uitlaat.

**Speciaal geval: Onsamendrukbare stromingen (vloeistoffen)**

A picture containing text, watch

Description automatically generated

Hier geldt GEEN behoud van volume, WEL massadebiet.

## Stromingsarbeid

stromingsarbeid of stromingsenergie = arbeid of energie nodig om massa in of uit een controlevolume te duwen.

F=PA

Graphical user interface, diagram

Description automatically generated with medium confidence

Het druk elementje zal verplaatst worden in het controlevolume door de zuiger (=vloeistof). Deze verplaatsing van kracht is een arbeid (=stromingsarbeid=stromingsenergie).

## Totale energie van een stromend fluïdum

* Voor een NIET-STROMEND fluïdum:



* Voor een STROMEND fluïdum:

Schematic

Description automatically generated with medium confidence

Een stromend fluïdum heeft dus maar 1 extra term: De stromingsenergie!

## Energieoverdracht door massa

Totale hoeveelheid energie getransporteerd door een stromend fluïdum met massa m:

Schematic

Description automatically generated with medium confidence

Snelheid waarmee energie wordt getransporteerd door een stromend fluïdum met massadebiet :

Diagram

Description automatically generated with low confidence

Diagram

Description automatically generated with medium confidence

Bij verwaarloosbare kinetische en potentiële energie van het stromend fluïdum:

Text

Description automatically generated

**HEEL DE REST VAN DIT HOOFDSTUK IS NIET TE REPRODUCEREN, WEL BEGRIJPEN.**