



# Industriële Wetenschappen

## “De airco”

Mentoren

D. Vansteenlandt  
K. Werbrouck  
K. Geeraert  
D. Goethals  
T. Vandenbulcke

Naam leerlingen

Nikolai Hallaert  
Lennert Maenhout  
Brecht Mille  
Michiel Vanheede

DOSSIER GEINTEGREERDE PROEF 2022-2023

Vrij Technisch Instituut St. Aloysius | Papebrugstraat 8A | 8820 TORHOUT  
e-mail: [vti@sint-rembert.be](mailto:vti@sint-rembert.be) | website: <http://www.sint-rembert.be/vti>

## Voorwoord

In onze geïntegreerde proef bespreken we de airco ook wel lucht-lucht warmtepomp genoemd. Hierbij komt heel veel fysica aan bod, omdat het hier over een negatief koelproces gaat. We hebben dit onderwerp gekozen omdat we de voorbije jaren in de warmere periodes ervaren dat het te warm was in het labo en dat we daardoor minder goed konden opletten tijdens de les. Vandaar ons idee om een proefopstelling te maken om het werkingsprincipe van een airco aan te tonen en een airco te plaatsen in het lokaal om te koelen en te verwarmen.

Deze GIP was onmogelijk te realiseren zonder hulp van onze leerkrachten, meneer Verhaeghe en het bedrijf JTK dat de airco voor ons geplaatst heeft.

---

## Inhoudstafel

Voorwoord .....	2
Inhoudstafel .....	3
1. Inleiding.....	7
2. Geschiedenis airco .....	8
2.1. Eerste koeling .....	8
2.2. Opkomst kunstmatige koeling.....	9
2.3. Ontwikkeling airconditioning .....	10
2.4. Hedendaagse toepassingen .....	11
3. Voorstudie .....	11
3.1. Brainstormen .....	11
3.2. Bedrijfsbezoeken .....	12
3.2.1. Bedrijf .....	12
3.2.2. Onze airco .....	12
3.2.3. Verdere uitleg .....	12
4. Airco algemeen.....	13
4.1. Wat is een airco .....	13
4.2. Voordelen van airco .....	13
4.3. Type airco's.....	13
4.3.1. Mobiele airco .....	14
4.3.2. Vaste airco .....	14
5. Basisbegrippen .....	15
5.1. Kringproces .....	15
5.2. Eerste hoofdwet in een kringproces.....	16
5.3. Tweede hoofdwet kringproces.....	16
5.4. Thermodynamische systeem.....	16
5.5. Inwendige energie (U).....	16
5.6. Vermogen (P).....	17
5.7. Lambda ( $\lambda$ ) .....	17

---

5.8. Arbeid (W) .....	17
5.9. Temperatuur (T).....	18
5.10. Entropie (S) .....	18
5.11. Enthalpie (H) .....	19
5.12. Latente warmte.....	19
5.13. Thermische behaaglijkheid.....	20
5.14. Toestandsveranderingen.....	20
5.14.1. Isobaar .....	20
5.14.2. Isochoor .....	20
5.14.3. Isotherm.....	20
5.14.4. Adiabaat.....	20
5.15. Warmteoverdracht .....	21
5.16. Aggregatietoestand.....	22
5.17. Oververhitting.....	24
5.18. Onderkoeling .....	24
6. Hoofdwetten van de thermodynamica .....	25
6.1. Nulde hoofdwet van de thermodynamica .....	25
6.2. Eerste hoofdwet van de thermodynamica.....	26
6.3. Tweede hoofdwet van de thermodynamica .....	26
6.4. Derde hoofdwet van de thermodynamica .....	27
7. Carnot-proces .....	27
8. Brayton-Joule proces .....	28
9. Proefopstelling .....	29
9.1. Idee ontwerp .....	29
9.2. Ons ontwerp .....	29
9.3. Onderdelen.....	30
9.4. Vermogensmeter houder.....	34
10. Werking koelinstallatie .....	34
11. Circuit proefopstelling .....	36
12. Warmtepomp .....	37

---

13. Compressor .....	38
13.1. Zuigercompressor .....	39
13.2. Scrolcompressor of Spiraalcompressor.....	39
14. Condensor .....	40
15. Expansieventiel.....	41
17. Verdamp(er).....	42
16. Kijkglasje.....	43
17. Vloeistof droger-filter .....	43
18. Vloeistofvat .....	44
19. P, V diagram .....	44
20. Log p, H diagram .....	46
21. T, s diagram .....	48
22. COP-waarde.....	50
23. Koelvloeistof.....	52
23.1. Evolutie koelvloeistoffen .....	52
23.2. Gevaren van koelvloeistoffen.....	52
23.3. Onze koelvloeistoffen .....	53
23.4. Keuze koelvloeistof .....	53
24. Veiligheid.....	54
25. Elektrische studie.....	54
25.1. Voeding.....	54
25.2. Vermogens en stuurkring .....	55
25.3. Ventilatoren.....	55
25.4. Vermogensmeter .....	56
25.5. Compressor en beveiliging .....	57
26. Elektronische studie.....	58
26.1. Temperatuur sensor.....	58
26.2. Arduino Uno.....	58
26.3. Vermogensmeter .....	59
27. Wetenschappelijke studie.....	59

---

27.1.	Berekening warmtestroom .....	59
27.1.1.	Lokaal .....	59
27.1.2.	Proefopstelling .....	64
27.2.	Log p, H uitgewerkt .....	64
28.	ICT-studie .....	73
28.1.	Blokschema .....	73
28.2.	Programma .....	73
29.	Meeting proefopstelling .....	76
30.	Meting lokaal .....	78
31.	Handleiding proefopstelling .....	78
32.	Evaluatie – Besluit .....	81

## 1. Inleiding

Ons project bestaat uit 2 delen: de proefopstelling en de airco zelf. Elk deel heeft een andere functie waar het uiteindelijk voor gebruikt zal worden.

De proefopstelling zal gebruikt worden voor educatieve doelstellingen. In het 4de en het 5de jaar staan toestandsveranderingen en thermodynamica op het programma, in het 6de jaar andere delen van de thermodynamica en kringprocessen. Met behulp van onze proefopstelling kunnen wij aantonen wat een vloeistof doet bij een hoge druk en bij een lage druk, wat perfect aansluit bij de lessen. We zullen de opstelling ook gebruiken om via Excel waardes mee te kunnen lezen om die dan om te zetten in grafieken.

Onze airco wordt vooral gebruikt om het lokaal te koelen en te verwarmen en het warmteverlies van het lokaal te bepalen en zo de berekeningen van bouwfysica te controleren.

## 2. Geschiedenis airco

Al duizenden jaren maakt de mens gebruik van koude. In het begin gebruikt de mens het vooral om voedingswaarden en andere producten te bewaren. De laatste honderd jaar is dit veranderd en begonnen mensen dit te gebruiken om ruimtes te koelen voor een comfortabel binnenklimaat.

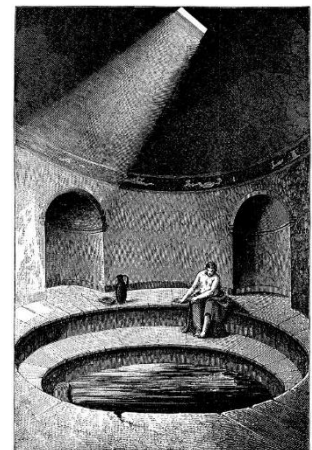
### 2.1. Eerste koeling

Terwijl nu nog altijd mensen moeite hebben om zichzelf koel te houden zijn er veel lessen die we kunnen leren doorheen de geschiedenis. De eerste mensen die gebruik maakten van koeling waren technisch gezien al 10.000 v.C. de jager-verzamelaars die doorhadden dat ze hun huizen in de grotten maakten zodat ze aan de hitte konden ontsnappen. De Ziggoerats (daktuinen) van Mesopotamië zorgden dat mensen van koudere schaduwplekken konden genieten om de Babylonische zon te laten ontsnappen.



Afb 1: Ziggoerats

De eersten die echt doelbewust begonnen te koelen waren de Egyptenaren die nat riet aan hun ramen hingen om de inkomende wind te koelen. Dit was de eerste watergekoelde airconditioning. Grieken en Romeinen hebben het idee van de centrale verwarming en koeling gecreëerd. De Grieken deden dit met gebruik van water uit aquaducten, de Romeinen verbeterden dit met hun thermen. Hun thermen bestonden uit een frigidarium wat een groot koud bad was om af te koelen, en een warm bad dat ze maakten doordat er onder de vloer een ruimte met verwarmde lucht was. In het Midden-Oosten hebben ze als eerste gebruik gemaakt van koeltorens, dit zijn torens die over ondergrondse gangen van koude lucht werden gebouwd. Deze torens waren ontworpen zodat deze koude lucht konden vangen om te laten circuleren. Ze trokken de koude lucht naar boven uit de gangen en in tussentijd werd de warme lucht weggeduwd. Nu gebruikt men deze koeltorens nog steeds in grotere gebouwen.



Afb 2: Aquaduct

In de victoriaanse tijd waren de mensen meesters van creatief, maar ook praktisch design. Ze hadden heel veel kennis over de luchtstroming wat het comfort veel verbetert. Hun gebouwen waren gebouwd met hoge plafonds, ze hadden overdekte veranda's om de zon buiten te



houden en grote verzonken ramen die zorgden voor veel (dwars)ventilatie. Nu is de luchtstroming in de hedendaagse aircosystemen nog altijd één van de belangrijkste dingen om een koude en comfortabele ruimte te hebben.

In ons land kennen we de ijskelders uit de voorbije eeuwen, waarin tijdens de winter ijs werd opgeslagen dat tot in de zomermaanden kon worden gebruikt door de mensen. Ook werd er in grote mate ijs geïmporteerd uit Scandinavië. Welstellende mensen hadden een ijskast ter beschikking, dat is een meubel meestal geïsoleerd door kurk, met een ruimte waarin ijs werd gelegd zodat de onderliggende vakken tot bijna nul graden konden worden gekoeld. Hiervoor moest er elke week een ijsleverancier langskomen die het gesmolten ijs verving en aanvulde met nieuw ijs. De koelwagens op rails passen dit principe nog toe, maar met droogijs.



Afb 3: Mensen die ijsblokken naar binnen brengen

## 2.2. Opkomst kunstmatige koeling

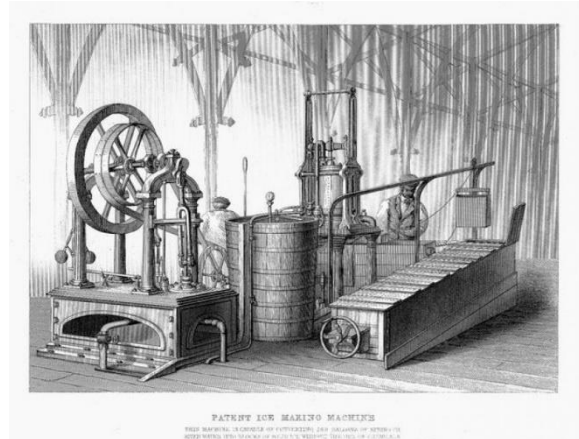
In Europa en Noord-Amerika ontstond een steeds grotere behoefte aan koeling. Aanvankelijk kwam die vraag vooral uit de behoefte aan het brouwen van bier, het bewaren van levensmiddelen, banketbakkersproducten en de vervaardiging van consumptie-ijs. De natuurlijke manier: het importeren van ijs was echter te duur of schoot te kort (bewaren in ijskelders tot aan de zomermaanden). De vraag van brouwerijen was heel groot door de toenemende populariteit van het brouwsysteem met ondergisting, voor dit proces is er constante koeling nodig. Op die schaal was er zeker kunstmatige koeling nodig zodat de import van ijs niet meer nodig is.



Afb 4: Brouwerij

In de 19e eeuw werd voor het eerst een serieuze poging ondernomen om kunstmatige koeling tot stand te brengen. In 1820 ontdekte de Engelse wetenschapper Michael Faraday dat door het comprimeren van ammoniak in vloeistofvorm het de lucht kon koelen wanneer je het terug laat evaporeren. In 1842 gebruikte de fysicus John Gorrie deze compressietechnologie om ijs te creëren. In 1851 creëerde James Harrison de eerst mechanische ijs producerende machine. Meer innovaties volgden, zoals apparaten die perslucht gebruikten als koelmiddel.

Er ontstonden koel- en vrieshuizen waarin levensmiddelen langere tijd konden worden bewaard. Transport van vlees uit Zuid-Amerika kon nu plaatsvinden in koel- en vriesschepen. Vanaf de jaren dertig (in de VS) tot na Wereldoorlog II (in Europa) kwam de koelkast in opkomst als algemeen gebruikt apparaat voor het bewaren van voedsel in winkels en woningen. Dit had een enorm effect op de wijze waarop levensmiddelen werden gedistribueerd voor de bevolking van de steeds grotere steden.



Afb 5: Oude koelmachine

### 2.3. Ontwikkeling airconditioning

De airco is een systeem uitgevonden door de ingenieur Willis Carrier. Hij werkte voor de Buffalo Forge Company, een bedrijf dat verwarmings- en ventilatiesystemen produceert. Carriers eerste klant was een drukkerij in Brooklyn, Sackett-Wilhelms Lithographing and Publishing genaamd. Veranderingen in temperatuur en vochtigheid brachten de inktspuitmonden uit lijn, waardoor kleurendruk problematisch werd. Carrier kreeg de opdracht een oplossing te vinden voor dit probleem. Op 17 juli 1902 kwam hij met een oplossing in de vorm van wat nu algemeen erkend wordt als 's werelds eerste moderne airconditioningssysteem. Met sproeikoppen om de lucht af te koelen en er water aan te onttrekken slaagde Carrier erin om niet alleen de temperatuur te regelen, maar ook de luchtvochtigheid. Op 2 januari 1906, na enkele jaren van verbeteringen, kreeg Carrier een Amerikaans patent voor zijn "Apparatus for Treating Air".

In 1914 werd de eerste airconditioning geïnstalleerd in Minneapolis. Dit deden ze in het huis van Charles Gilbert Gates. In 1931 zouden H.H. Schultz en J.Q. Sherman de airco ontwikkelen dat het meest gebruikte type van een individuele kamerairco zou worden. Dit ontwerp stond op een vensterbank en werd verkocht in 1932. Een jaar later werd de eerste airconditioning voor auto's verkocht. Packard werd de eerste autoproducent die een airconditioning integreerde in zijn auto's in 1939. Innovaties in de latere helft van de 20e eeuw zijn verantwoordelijk voor meer alomtegenwoordig gebruik van airconditioning.

In onze streken werd airconditioning eerst vooral ervaren als luxe. De voorlopers hier waren de kantoorgebouwen waar het een noodzaak was om dit te hebben om het binnenklimaat dragelijk te houden. Twintig jaar geleden heeft de auto-industrie airconditioning onder het

grote publiek gebracht. Toen men daardoor het effect ervan ondervond groeide de behoefte enorm. Terwijl de wereld meer ontwikkeld werd, werd het globale gebruik van airconditioners groter. Het is geschat dat in 2018 1,6 miljard airco's zijn geïnstalleerd over de hele wereld. Het International Energy Agency verwacht dat dit nummer in 2050 zal groeien tot 5,6 miljard.

## 2.4. Hedendaagse toepassingen

Een airco die uitgerust is met een vierweg regelklep kan naast koelen ook verwarmen. Veel airco's zijn ook uitgerust met bijkomende functies zoals bij het koelen automatisch ontvochtigen of zelf bij matige vorst verwarming mogelijk maken. Een airco is natuurlijk het meest bekend voor de koeling van temperatuur in huizen en in kantoren, maar er zijn nog veel meer toepassingen waarin men een airco gebruikt. Hierover zie je in het hoofdstuk *type airco's* meer.

## 3. Voorstudie

### 3.1. Brainstormen

Ons eerste idee was om de nulwoning (een GIP van vorige jaren) aan te passen, maar toen we zagen dat het te moeilijk ging zijn hebben we dit idee weggelaten. Dit was omdat we maar een beperkte ruimte hadden die we moeilijk konden aanpassen. Ook had het ruiten van plexiglas waardoor het niet mogelijk was om het goed te isoleren. Daardoor besloten we om helemaal te veranderen van concept. Het idee was om een stuk bij het Low Energie House (een GIP van vorige jaren) te bouwen, maar dan zagen we dat het niet praktisch haalbaar was om dit te realiseren. Uiteindelijk hebben we beslist om van nul te beginnen en het koelingsstelsel van de nulwoning te behouden, maar de rest af te breken. Dus uiteindelijk het idee om een opstelling te bouwen, die demonstratief de leerstof van negatieve kringprocessen zou aanbrengen in de volgende jaren.

## 3.2. Bedrijfsbezoeken

In de projectweek hebben wij een bezoek gebracht aan JTK in Diksmuide. De bedrijfsleider Jasper Timmerman heeft ons veel uitgelegd en bijgeleerd voor de GIP betreffende koeling.

### 3.2.1. Bedrijf

JTK is een bedrijf dat zich bezighoudt met het plaatsen van grootkeukens op maat en koelsystemen. Hun bedrijf is gesitueerd in Diksmuide. Ze zijn met twaalf werknemers en bestaan al negen jaar. Ze hebben een showroom waar ze uiteenlopende dingen tentoonstellen, zoals: een ijsmachine, een barbecue, een steamer, een vaatwasser en inox keukens zowel modulair als op maat. Ze zijn met drie monteurs en negen werknemers op het bureau.

### 3.2.2. Onze airco

De airco die wij gebruiken is gemaakt door Daikin Plzen Tsjechië in 2020. Omdat het een warmtepomp lucht-lucht is, kan het warmen en koelen. Dat kan door een bypass via kleppen. Het bestaat uit een binnenunit die een wandmodel is en een buitenunit, het is een mono splitsysteem. De airco heeft ook draadloze besturing. Het koelmiddel dat in de airco wordt gebruikt is R32. Deze meer technische zaken worden nog uitgelegd in dit dossier.

### 3.2.3. Verdere uitleg

Ook heeft Jasper nog uitleg gegeven om ons verder te helpen met onze GIP. Hij heeft ons het programma Scelte getoond, dat is een programma om koelvermogens te berekenen. Ook heeft hij ons iets verteld over de berekeningen die nodig zijn om het nodige vermogen te berekenen van de airco. We hebben ook een app gekregen om bij een bepaalde koelvloeistof en een gekende temperatuur de overeenkomende druk te krijgen en omgekeerd, de app heet pT-slider van Climalife.

## 4. Airco algemeen

### 4.1. Wat is een airco?

Door de klimaatopwarming wordt het buiten steeds warmer. Het is dan ook logisch dat het binnen ook warmer wordt. Daarom zoeken veel mensen verfrissing door middel van allerlei oplossingen en een van de beste hiervoor is de airco. Een airco is in technische termen eigenlijk een warmtepomp lucht-lucht. Een warmtepomp is een elektrisch apparaat dat warmte uit een natuurlijke omgeving kan verplaatsen naar de woning door middel van een koudemiddel. Het warmtereservoir (waar de warmte vandaan komt en wordt afgegeven) hier is twee keer lucht. De airco onttrekt warmte aan de binnenlucht en geeft het af aan de buitenlucht bij het koelen. Dit proces wordt omgekeerd bij het verwarmen van een ruimte. Een airco is een voorbeeld van een negatief kringproces. In je huis is een koelkast ook een voorbeeld van een negatief koelproces. Het verschil tussen een koelkast en een airco (in koelstand) is dat een koelkast nooit de ruimte kan afkoelen wanneer je de deur openlaat want de koelkast geeft zijn warmte binnen weer af en een airco geeft de onttrokken warmte buiten af waardoor het binnen afkoelt. Als de koelkast gesloten is, warmt hij de ruimte logischerwijs op.

### 4.2. Voordelen van airco

Een airco heeft natuurlijk veel voordelen:

- een airco kan verkoelen in de zomer en verwarmen in de winter;
- zij helpt de lucht te ontvochtigen;
- zij werkt alleen op elektriciteit dus je kunt ze goed combineren met zonnepanelen;
- duurzaam wanneer goed onderhouden.

### 4.3. Type airco's

Er zijn natuurlijk verschillende type airco's. Hieronder de types warmtepompen lucht-lucht. De split airco: dit heeft een afzonderlijke eenheid aan de buitenzijde van de gevel waar het koudemiddel afkoelt. Een multi-split airco heeft meerdere eenheden binnen voor een enkele buitenunit aan de buitenzijde van de gevel waar het koudemiddel afkoelt.

### 4.3.1. Mobiele airco

Draagbare systemen, deze airco's zijn vooral praktisch, omdat ze makkelijk te verplaatsen zijn. Het gewicht van een mobiele airco is laag en dankzij de wieltjes onderaan kun je die snel verplaatsen van ruimte naar ruimte. Dit type airco is vooral geschikt voor kleinere ruimtes. Je hebt geen installatie- of onderhoudskosten en is zij erg makkelijk om op te bergen in de winter door zijn kleinere formaat. Het apparaat heeft echter wel een relatief hoog energieverbruik in vergelijking tot de andere soorten airco's. Sommige draagbare systemen hebben een binnenunit op wielen verbonden met een buitenunit via flexibele pijpen.



Afb 6: Mobiele airco

### 4.3.2. Vaste airco

Vaste systemen, dit is de gekendste soort airco, deze wordt op een vaste plaats in een ruimte gehangen. Bij een vaste (split) airco kan gekozen worden uit: wand, cassette, plafond, vloer, satelliet of VRF-modellen.

Het is ten eerste afhankelijk van de ruimte die gekoeld moet worden voor welk model gekozen wordt. Vloer, plafond en multi-split modellen zijn naast veelvuldig gebruik in kantoren en winkels, ook prima thuis te gebruiken. Het cassette-model wordt vooral toegepast in ruimtes zoals winkels, kantoren en restaurants. VRF-airco's worden in (grote) gebouwen gebruikt om meer dan 5 ruimtes tegelijkertijd te koelen of te verwarmen.



Afb 7: Vaste airco

### Wandairconditioning

Een wandairco is verreweg het populairste verkoelingsstelsel in woningen en kantoren. De reden hiervoor is dat het een veelzijdige optie is. Deze airco wordt hoog aan de wand gemonteerd en is daardoor in vrijwel elke ruimte te gebruiken.

### Cassette-airco

Als je op zoek bent naar een aircosysteem waarbij je weinig ruimte ter beschikking hebt, is de casset-airco ideaal. Bij dit systeem wordt de airco in een verlaagd plafond geïnstalleerd. Het enige wat je van de airco ziet, is een rooster in het plafond. Voorwaarde voor deze airco is echter wel dat er een verlaagd plafond is.

### Plafondairco

Wil je airco in het plafond, maar heb je geen verlaagd plafond om het in te kunnen installeren? Dan kun je ook kiezen voor een plafondairco. Uiteraard zie je het apparaat hierbij wel goed zitten, maar blijven de wanden en de vloer vrij om anders in te richten.

### Vloer/console-aircosysteem

Soms is het niet mogelijk om een wand of cassette-airco te plaatsen vanwege de situatie. Je kunt dan kiezen voor een vloer of console-airco. Dit apparaat kan op de vloer of laag aan de wand worden geplaatst.

### Satelliet airconditioning

Wil je een zeer groot kantoor voorzien van airconditioning? Dan kun je het beste gaan voor satellietairconditioning. Het enige wat je in het plafond ziet, is een klein roostertje. Het grote voordeel van dit systeem is dat het subtiel aanwezig is, bijna geen geluid maakt en je geen last hebt van een tochtstroom.

### VRF airco's

Wil je in een (groot) gebouw meer dan 5 ruimtes tegelijkertijd koelen of verwarmen? Dan kun je kiezen voor een VRF systeem. In zo een systeem varieert de capaciteit op elk gegeven moment omdat de behoeftes van de ruimtes continu veranderen. Daardoor heeft dit systeem ook meerdere binnen- en buitenunits. Een VRF een must in grote gebouwen.

## 5. Basisbegrippen

### 5.1. Kringproces

Een belangrijk begrip voor onze airco is het kringproces, want een airco is een negatief kringproces. Je hebt een kringproces wanneer je een energiedrager verschillende toestandsveranderingen laat ondergaan zodanig dat de energiedrager naar zijn begintoestand terugkeert. Met behulp van een kringproces kan men warmte omzetten in arbeid of arbeid omzetten in warmte. Dit laatste noemt men een negatief kringproces. In een p, V-diagram draait een positief kringproces met de klok mee en een negatief kringproces tegen de klok in.

## 5.2. Eerste hoofdwet in een kringproces

De eerste hoofdwet toegepast in een kringproces is: de som van de warmtes is gelijk aan de som van de veranderingen in inwendige energie plus de som van de arbeiden.

$$\sum Q = \sum \Delta U + \sum W$$

Aangezien dat bij een kringproces de begin- en eindtoestand dezelfde is, is  $\Delta U = 0$  en wordt de formule:  $\sum Q = \sum W$

Je zal er altijd voor zorgen dat er een zo groot mogelijke hoeveelheid toegevoerde warmte wordt omgezet in arbeid. Hieruit volgt dat  $\eta = Wt/Q_{toe} = (Q_{toe} - Q_{af})/Q_{toe} = 1 - Q_{af}/Q_{toe}$ .

De eerste hoofdwet stelt dat een toestel niet meer energie levert dan dat er wordt toegevoegd wat conform is met de wet van behoud van energie.

## 5.3. Tweede hoofdwet kringproces

De tweede hoofdwet is een beperking op de eerste hoofdwet voor kringprocessen. De eerste hoofdwet legt geen beperking op de afgevoerde warmte  $Q_2$  waardoor je een rendement van 100% kan krijgen. De tweede hoofdwet zegt dat  $Q_2$  altijd groter is dan nul. Dit is volgens de uitspraak van Kelvin die zegt: 'Het is onmogelijk om warmte in een (periodiek) werkende machine volledig in arbeid om te zetten.'

## 5.4. Thermodynamische systeem

Er bestaan vier hoofdklassen van systemen waar processen in doorgaan.

- Open systeem: materie en energie passeren door de systeemgrenzen.
- Gesloten systeem: alleen energie passeert door de systeemgrenzen.
- Adiabatisch systeem: er passeert geen warmte door de systeemgrenzen, maar wel arbeid en andere energie.
- Geïsoleerd systeem: er passeert geen energie en geen materie aan de systeemgrenzen.

## 5.5. Inwendige energie (U)

Inwendige energie is de som van alle vormen van energie die in het systeem aanwezig zijn. De totale inwendige energie is lastig te bepalen in een systeem, maar een verschil in totale inwendige energie niet. Dit vind je in de eerste hoofdwet van de thermodynamica:



$$\Delta U = Q - W$$

Deze formule wordt nog verder uitgelegd in het hoofdstuk wetten van de thermodynamica. De inwendige energie is een toestandsgrrootheid. Een toestandsgrrootheid wil zeggen dat het niet afhankelijk is van de gevolgde weg, maar enkel van begin- en eindtoestand.

## 5.6. Vermogen (P)

Het vermogen van een aircosysteem wordt uitgedrukt in kilowatt (kW). Het vermogen dat nodig is voor een aircosysteem hangt af van verschillende factoren, waaronder de grootte van de ruimte die moet worden gekoeld, de warmtelast van de ruimte (d.w.z. de hoeveelheid warmte die de ruimte binnenkomt), de isolatie van de ruimte en het aantal personen dat zich in de ruimte bevindt.

Het is echter belangrijk om te onthouden dat het vermogen van het aircosysteem niet het enige criterium is bij het kiezen van een geschikt systeem. Andere factoren, zoals energie-efficiëntie, geluidsniveau en de kwaliteit van de lucht die het systeem produceert, moeten ook worden overwogen bij het maken van een keuze.

## 5.7. Lambda ( $\lambda$ )

De lambda-waarde ( $\lambda$ ) is de mate van warmtegeleiding van een materiaal. Het geeft aan hoeveel watt energie er door één vierkante meter materiaal van één meter dik gaat bij een temperatuurverschil van één graad Kelvin (K) tussen beide buitenzijdes.

Hoe hoger de waarde, hoe beter de warmte geleid wordt. Bij een betere geleiding van de warmte isoleert het materiaal minder goed. Voor isolatie van de woning is een lage waarde dus beter, want dan gaat er weinig warmte verloren.

## 5.8. Arbeid (W)

Arbeid  $W = F \cdot \Delta s$ ,  $W$  in joule is de maat voor de inspanning die de kracht levert tegenover een voorwerp over een afstandsverschil  $s$ . Bij het uitoefenen van arbeid ontstaan meestal warmteverliezen.

## 5.9. Temperatuur (T)

Onze tastzin kan het verschil in temperatuur tussen twee voorwerpen gemakkelijk waarnemen. We gebruiken hierbij de vage uitdrukkingen als warm, lauw of koud.

Een preciezere waarneming krijg je door het gebruik van een thermometer, met gas, vloeistof of een bimetaal. Een graadmeter voor warmte of koude is de temperatuur. De temperatuur is de gemeten waarde van een bepaald lichaam.

Om de temperatuur in °C aan te duiden gebruik je het symbool  $\theta$  ( de Griekse letter thêta). Als die wordt uitgedrukt in Kelvin gebruik je grote letter T. Temperatuurverschillen geef je aan met het symbool  $\Delta\theta$  of  $\Delta T$ . Temperatuurverschillen zijn uiteraard dezelfde, ongeacht of ze uitgedrukt zijn in graden Celsius of in Kelvin. ( $\Delta\theta = \Delta T = 1^\circ\text{C} = 1\text{K}$ ). Temperatuur is een maat voor de snelheid van de deeltjes.

Bij graden Celsius wordt  $0^\circ\text{C}$  als het smeltpunt van water en  $100^\circ\text{C}$  als het kookpunt van water gedefinieerd. Bij Kelvin wordt 0 Kelvin gedefinieerd als het absolute nulpunt en 1K is het  $1/(273.16)$ de deel van de temperatuur van het tripelpunt van water (waar alle drie de aggregatietoestanden van water voorkomen) die gedefinieerd is als  $0.01^\circ\text{C}$ . Daarom moet je om van graden Celsius naar Kelvin te gaan 273.15 erbij tellen.

## 5.10. Entropie (S)

Entropie is een belangrijke term in de thermodynamica. Daarom eerst hier een woordje uitleg, want dit begrip zal een belangrijke rol spelen bij de werking van een airco.

Entropie kun je omschrijven als 'de mate van wanorde' of hoe deeltjes verdeeld zijn in een systeem.

Hoewel entropie, net als veel andere grootheden uit de thermodynamica, geen tastbaar begrip is, kan het gevisualiseerd worden door de ordening van atomen voor te stellen. Hoe meer de atomen over een systeem verdeeld zijn, des te groter de entropie. Bij kristallen betekent dit dat hoe meer imperfecties (dislocaties, puntfouten, enzovoorts) over het kristal verspreid zijn, des te groter de entropie is.

De entropieverandering geeft aan in hoeverre een thermodynamisch proces de maximale omzetting van warmte in arbeid of omgekeerd benadert.

### 5.11. Enthalpie (H)

Enthalpie, aangeduid met het symbool H, is een grootheid uit de thermodynamica, een toestandsfunctie die afgeleid kan worden uit de inwendige energie U door daaraan het product van druk en volume pV als term toe te voegen. De enthalpie is zo gedefinieerd dat het enthalpieverschil tussen twee toestanden bij constante druk gelijk is aan de totale opgenomen of afgestane hoeveelheid warmte. Bij een stijgende temperatuur zal de inwendige energie toenemen, dus zal de enthalpie verhogen.

Het begrip warmte Q is geen toestands grootheid. Het begrip enthalpie daarentegen wel en aangezien enthalpieverschil en warmte tussen twee toestanden gelijk zijn bij een constante druk is het begrip enthalpie dus zeer makkelijk om te gebruiken in de uitleg en diagrammen van koeltechniek.

$$H = U + pV$$

Daarin is

H de enthalpie in J

U de inwendige energie in J

p de druk in pascal of N/m<sup>2</sup>

V het volume in m<sup>3</sup>

### 5.12. Latente warmte

In de fysica beschrijft de latente warmte de hoeveelheid energie in de vorm van warmte die nodig is om een stof een faseovergang te doen ondergaan bij constante temperatuur en druk. Soorten latente warmtes worden typisch beschreven: latente smeltwarmte, latente verdampingswaarde en latente warmte bij sublimatie.

In onze airco hebben we ook een verdamping in ons circuit. Daardoor zullen we latente verdampingswarmte hebben en de formule hiervan is  $Q = L_v \times m$  waarin  $L_v$  staat voor de latente verdampingscoëfficiënt [ $J \div kg$ ] en m massa in [ $kg$ ].

### 5.13. Thermische behaaglijkheid

Thermische behaaglijkheid verwijst naar de mate van comfort die een persoon ondergaat in relatie tot de temperatuur van zijn omgeving. Het is een subjectieve ervaring die afhankelijk is van verschillende factoren, zoals de luchttemperatuur,

luchtsnelheid, stralingswarmte, kleding en lichamelijke activiteit.

Thermische behaaglijkheid is een belangrijk concept in de architectuur, bouwkunde, HVAC-technologie (verwarming, ventilatie en airconditioning), en ergonomie, omdat het een belangrijke rol speelt bij het ontwerpen van comfortabele en gezonde binnenomgevingen. Het bereiken van mogelijke isolatie kan bijvoorbeeld worden verbeterd door het optimaliseren van het ventilatiesysteem, het gebruik van isolatiematerialen, het minimaliseren van de temperatuur, en het bieden van individuele controle over de omgevingstemperatuur.

### 5.14. Toestandsveranderingen

Een toestandsverandering is een verandering van druk, volume, temperatuur of het aantal deeltjes van een gas. Aangezien het aantal deeltjes in ons systeem (de airco) constant blijft, hoeven we hier geen rekening mee te houden.

#### 5.14.1. Isobaar

Een isobare toestandsverandering is een toestandsverandering bij een constante druk. Dit kan bijvoorbeeld door warmte toe te voegen aan een cilinder die dan uitzet qua volume maar constant blijft in druk.

#### 5.14.2. Isochoor

Een isochore toestandsverandering is een toestandsverandering bij een constant volume.

#### 5.14.3. Isotherm

Een isotherme toestandsverandering is een toestandsverandering bij een constante temperatuur. Dit kan door een extern warmtereservoir aan je systeem toe te voegen waardoor er steeds een thermisch evenwicht is.

#### 5.14.4. Adiabaat

Een adiabatistische toestandsverandering is een proces waarbij er geen warmte wordt uitgewisseld met de omgeving. Meestal kun je een proces bij benadering adiabatistisch noemen als het zo snel gaat dat er geen tijd is om warmte uit te wisselen met de omgeving.

## 5.15. Warmteoverdracht

Warmteoverdracht is een transmissie van warmte. Warmte is een energievorm en kan ontstaan door wrijving, samenpersing van gassen, verbranding (chemische reactie) of omzetting van elektrische energie (weerstand). In de verbrandingstechniek wordt de warmte uitsluitend opgewekt door een chemische reactie. Namelijk de verbranding van vaste, vloeibare of gasvormige brandstoffen. Warmte stroomt altijd van een hoge temperatuur naar een lage temperatuur. De warmtehoeveelheid hangt af van de massa, de soort stof en het temperatuurverschil tussen de stoffen. Hieruit leiden we de belangrijke formule:  $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$  (of  $\Delta T$ ) af. Hierin is  $Q$  de warmtehoeveelheid in  $J/(kg \cdot K)$ ,  $m$  de massa van de stof in  $kg$ ,  $c$  de soortelijke warmte afhankelijk van de stof en  $\Delta\theta$  of  $\Delta T$  het temperatuurverschil.

Warmteoverdracht gebeurt op 3 verschillende manieren:

- straling;
- conductie;
- convectie.

Elk lichaam, waarvan de temperatuur hoger ligt dan het absolute nulpunt ( $0\text{ K}$  of  $-273^\circ\text{C}$ ), zendt stralen uit waarvan je de samenstelling met alle andere elektromagnetische stralen (lichtstralen) kunt vergelijken. Deze stralen zijn gekenmerkt door een groeiende golflengte naarmate de temperatuur van het uitstralende lichaam oploopt. De warmte-uitwisseling door straling vindt voornamelijk plaats in het golflengtegebied van  $0,5$  tot  $10\ \mu\text{m}$ .

De warmteoverdracht ontstaat uiteindelijk door het temperatuurverschil tussen beide stralingen. Er is hierbij geen sprake van beweging of contact en gebeurt, in tegenstelling met de vorige overdrachtmogelijkheden, zelfs in het vacuüm.

Het verschijnsel beperkt zich hoofdzakelijk tot vaste stoffen en vloeistoffen aan de oppervlakte. De hoeveelheid warmte die door straling wordt afgegeven is niet alleen afhankelijk van de temperatuurgrootte, maar ook van de materiaalsoort (geleidend, terugkaatsend, absorberend) en de hoedanigheid van het stralende vlak (ruw, glad, gepolijst).

De warmteoverdracht door geleiding (conductie) gaat van molecule (deeltje) tot molecule. De moleculen kunnen deel uitmaken van hetzelfde lichaam of verschillende lichamen. Warmteoverdracht door geleiding bestaat ook in de vloeistoffen en gassen, op het ogenblik dat de deeltjes van het fluïdum met elkaar in aanraking komen.

Er zijn goede geleiders b.v. de metalen (koper, staal, aluminium).

Er zijn slechte geleiders, ook isolatoren genaamd. Zoals hout, steen, porselein, droge lucht, isolatie.

Warmteoverdracht door geleiding vraagt nooit beweging. Het is een typische warmteoverdracht bij vaste stoffen.

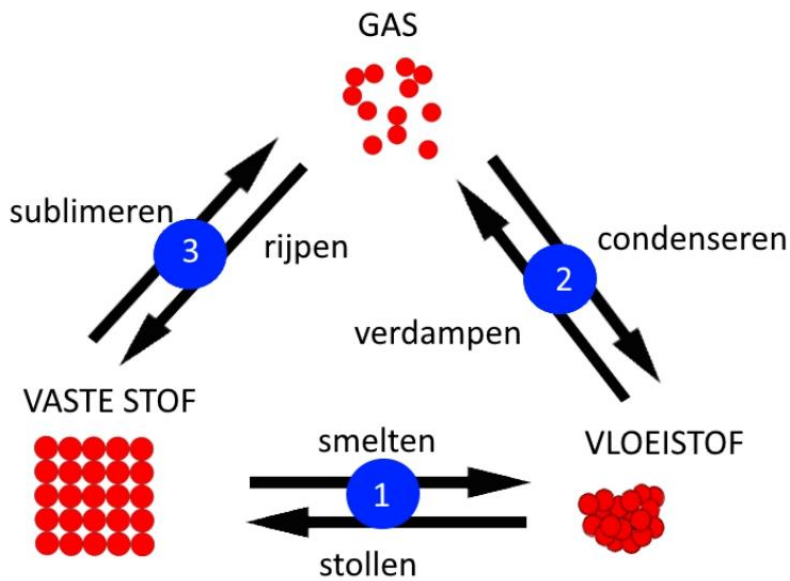
Warmteoverdracht via geleiding: als je een hoeveelheid lucht bij constante druk opwarmt, neemt het volume toe. De massadichtheid ( $\rho = \text{massa} / \text{volume}$ ) daalt naarmate de temperatuur stijgt. De warme lucht stijgt en wordt aangevuld met koudere lucht, waardoor stroming of natuurlijke circulatie ontstaat. Lucht dient als warmtedrager, als tussenstof. De luchtmoleculen nemen de warmte op en transporteren ze. Zo komen ze in contact met koudere moleculen en geven ze hun warmte af.

De warmteoverdracht is groter naarmate de snelheid van de tussenstof toeneemt. Bij winderig weer is de warmteafvoer groter dan bij windstilte. De warmteafvoer vergroot als er stroming is, met het kwadraat van de snelheid. In de verwarmingstechniek houden we met deze factor rekening door o.a. wanden, die in ongunstige windrichtingen liggen, een oriënteringsfactor toe te kennen.

Het begrip warmteoverdracht is zeer belangrijk om de capaciteit van een airco te berekenen. Deze is wel bij benadering terug te vinden in tabellen voor een particulier.

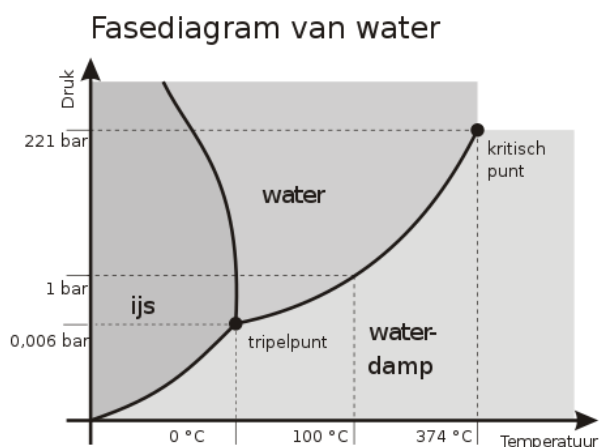
## 5.16. Aggregatietoestand

De aggregatietoestand van een stof is de verschijningsvorm waarin het voorkomt. Een stof kan onder invloed van temperatuur en druk een andere aggregatietoestand aannemen. De 3 meest gekende aggregatietoestanden zijn: gasvormig, vloeibaar en vast. Daarnaast heb je ook minder gekende aggregatietoestanden zoals onder andere plasma en Bose – Einsteincondensaat, maar deze komen niet voor in onze GIP, dus hier zullen we niet verder op ingaan. De overgang van aggregatietoestand 1 naar aggregatietoestand 2 noem je een faseovergang. Het is soms mogelijk voor bepaalde stoffen bij bepaalde omstandigheden om een faseovergang over te slaan. Bij de faseovergang sublimeren wordt de vloeistoffase overgeslagen. Door gebruik te maken van faseovergangen kun je efficiënt veel energie overzetten. Het verdampen van een vloeistof kost veel energie, maar deze energie komt weer vrij bij het condenseren van dit gas. Dit is het basisprincipe van een airco omdat je op die manier gemakkelijk energie kunt omzetten.



Afb 8: Aggregatietoestanden

In een fasediagram kun je op de temperatuur- en druk-assen aflezen vanaf welke druk en temperatuur een stof zal overgaan naar een andere aggregatietoestand of waar ze allemaal tegelijk voorkomen (tripelpunt). Bij het tripelpunt bestaan alle 3 de aggregatietoestanden tegelijk.



Afb 9: Fasediagram van water

Een faseovergang is niet te verwarren met een toestandsverandering. Een toestandsverandering is een verandering van druk, temperatuur, volume of het aantal deeltjes in de stof. In een gesloten systeem zoals de airco is het aantal deeltjes constant.

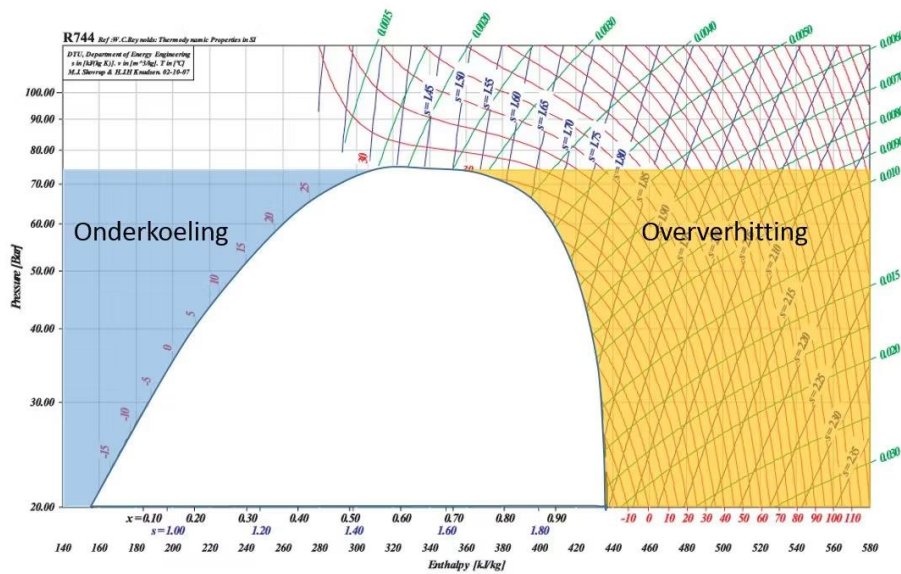
### 5.17. Oververhitting

Het doel van oververhitting is zorgen dat er geen vloeistof meer toekomt in de compressor. Wanneer er vloeistof in de compressor terecht komt, dan kan dat negatieve gevolgen hebben voor de compressor. Dit wordt 'nat draaien' genoemd. Dit nat draaien zorgt voor overmatige slijtage. Daarom wordt koelmiddel eerst oververhit zodat er alleen maar gas in de compressor komt. Het nadeel van oververhitting is dat het volume van het gas groter wordt en dat er daarom minder kilogram koelmiddel kan verpompt worden. Een te grote oververhitting is nadelig voor het systeemrendement, maar een te kleine oververhitting geeft te weinig zekerheid dat er geen vloeistof in de compressor komt. Oververhitting is het verschil tussen de persgastemperatuur en de condensatietemperatuur. Dit meet je door de temperatuur aan de verdamper te meten met een thermometer of een infraroodcamera en deze te verminderen met de afgelezen temperatuur op de manometer die de druk aangeeft bij uitgang van de verdamper.

### 5.18. Onderkoeling

Onderkoeling gebeurt bij de condensor. Het is nog meer koelen van het koelmiddel in vloeistoffase bij een gelijkblijvende druk. Het wordt gebruikt om gasvormig koelmiddel te voorkomen in de condensor. Dit is nadelig voor het expansieorgaan. Gasvormig koelmiddel is het fenomeen dat er door de lange leidingen in een condensor een drukval ontstaat waardoor het koelmiddel in vloeistoffase kan beginnen koken. De temperatuur is wel dezelfde, maar de druk is lager door drukval. Door het grotere volume gas ten opzichte van de vloeistof moet het expansieorgaan verder openen. Dit gasvormige koelmiddel is nooit constant waardoor het lastig is om het expansieorgaan stabiel te houden. Door onderkoeling zal er ondanks de drukval geen gas ontstaan. Onderkoeling zou bij een ideaal werkende condensor niet aanwezig mogen zijn. Het is gunstiger om het condensoroppervlak te gebruiken om de condensatiedruk te verlagen dan om onderkoeling te creëren. Hierbij geldt dus dat een kleine onderkoeling niet zo nadelig is voor het systeem en zelfs kan toedragen aan een betere werking. Onderkoeling is dus belangrijk om ervoor te zorgen dat er alleen gecondenseerd koelmiddel in het expansieventiel vloeit, je zou het dus kunnen voorstellen als het omgekeerde van oververhitting. De onderkoeling kan je berekenen door de afgelezen temperatuur aan de manometer van de condensator te verminderen met de gemeten temperatuur aan de uitgang van de condensor door middel van een thermometer of infraroodcamera.





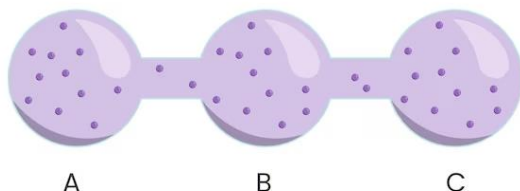
Afb 10: Log p-h diagram

## 6. Hoofdwetten van de thermodynamica

### 6.1. Nulde hoofdwet van de thermodynamica

De nulde hoofdwet van de thermodynamica is een van de vier fundamentele wetten van de thermodynamica. Deze wet stelt dat als A in thermisch evenwicht is met B, en B met C, A ook in thermisch evenwicht is met C. De wet stelt dus dat er een thermisch evenwicht is tussen verschillende gesloten systemen.

If  $A \rightleftharpoons B$  and  $B \rightleftharpoons C$  then  $A \rightleftharpoons C$



Afb 11: voorstelling nulde hoofdwet

Deze wet werd pas geformuleerd nadat de eerste, tweede en derde wet van de thermodynamica waren geformuleerd en daarom heet deze wet de nulde.

De nulde wet is belangrijk voor de wiskundige formulering van de thermodynamica. Wiskundig gezien maakt het de relatie van thermisch evenwicht tussen systemen tot een equivalentierelatie, die gelijkheid van een bepaalde hoeveelheid geassocieerd met elk systeem kan vertegenwoordigen. Een grootte die voor twee systemen gelijk is, als ze met elkaar in thermisch evenwicht kunnen worden gebracht, is een temperatuurschaal. De nulde wet is nodig voor het bestaan van dergelijke schalen. De voorwaarde rechtvaardigt het gebruik van praktische thermometers.

## 6.2. Eerste hoofdwet van de thermodynamica

De eerste hoofdwet is de 'tweede' wet van de 4 hoofdwetten van de thermodynamica. Deze wet stelt dat energie nooit kan verloren gaan, maar alleen kan omgezet worden van de ene in de andere vorm. Het is dus de wet van behoud van energie.

Hieruit volgt ook de formule voor de eerste hoofdwet:  $Q_{1 \rightarrow 2} = \Delta U_{1 \rightarrow 2} + W_{1 \rightarrow 2}$ .  $Q$  en  $W$  zijn geen toestandsgrootheden, maar  $U$  is wel een toestandsgrootheid. Een toestandsgrootheid wil zeggen dat het niet afhankelijk is van de gevolgde weg, maar enkel van begin- en eindtoestand.

Wel meetbare toestandsgrootheden zoals druk en volume kunnen gebruikt worden om indirect meetbare toestandsgrootheden zoals entropie, enthalpie en inwendige energie te berekenen.

## 6.3. Tweede hoofdwet van de thermodynamica

De tweede wet van de thermodynamica, ook wel Tweede Hoofdwet genoemd, stelt dat warmte altijd van warme naar koude gebieden stroomt en nooit uit zichzelf van koud naar warm zonder gebruik te maken van een vorm van arbeid. Het stelt ook dat arbeid volledig in warmte kan worden omgezet, maar dat warmte nooit volledig in arbeid kan worden omgezet. Entropie is nauw verbonden met deze wet, aangezien alles streeft naar een zo laag mogelijke entropie en een koudere stof een lagere entropie heeft dan een warmere stof. Een voorbeeld van dit is omdat warmte altijd automatisch naar koude stoffen gaat. Als stoffen warm worden, gaan de deeltjes meer bewegen en is de entropie groter.

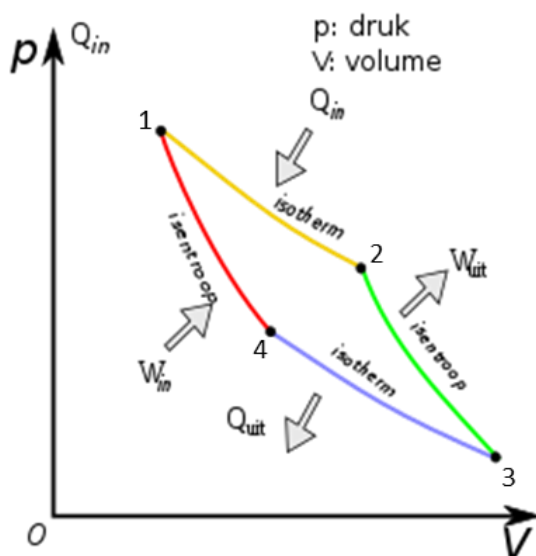
## 6.4. Derde hoofdwet van de thermodynamica

De derde hoofdwet van de thermodynamica is de laatste hoofdwet van de thermodynamica. Deze wet stelt dat bij het absolute nulpunt ( $-273.15^{\circ}\text{C}$  of  $0\text{K}$ ) alle processen tot stilstand komen en dat de entropie een minimale waarde bereikt.

## 7. Carnot-proces

Het Carnot-proces is een theoretisch idee van een ideaal thermodynamisch proces dat is ontwikkeld door de Franse natuurkundige Nicolas Léonard Sadi Carnot in 1824. Het Carnot-proces beschrijft een ideale cyclus van een thermodynamisch systeem dat werkt tussen twee warmtereservoirs, waarbij alle warmte wordt toegevoerd bij een hoge temperatuur  $T_1$  en wordt afgevoerd bij een lage temperatuur  $T_2$ . Het proces bestaat uit 4 stappen

1. Isotherme expansie: het gas in het systeem krijgt warmte toegevoerd bij constante temperatuur door het warmtereservoir met de hogere temperatuur en het gas zet daarbij uit.
2. Isentrope expansie: het gas blijft uitzetten zonder warmte uit te wisselen met de omgeving.
3. Isotherme compressie: het gas geeft warmte af bij constante temperatuur aan de koudere warmtebron en krimpt.
4. Isentrope compressie: het gas wordt gecomprimeerd zonder warmte uit te wisselen met de omgeving.

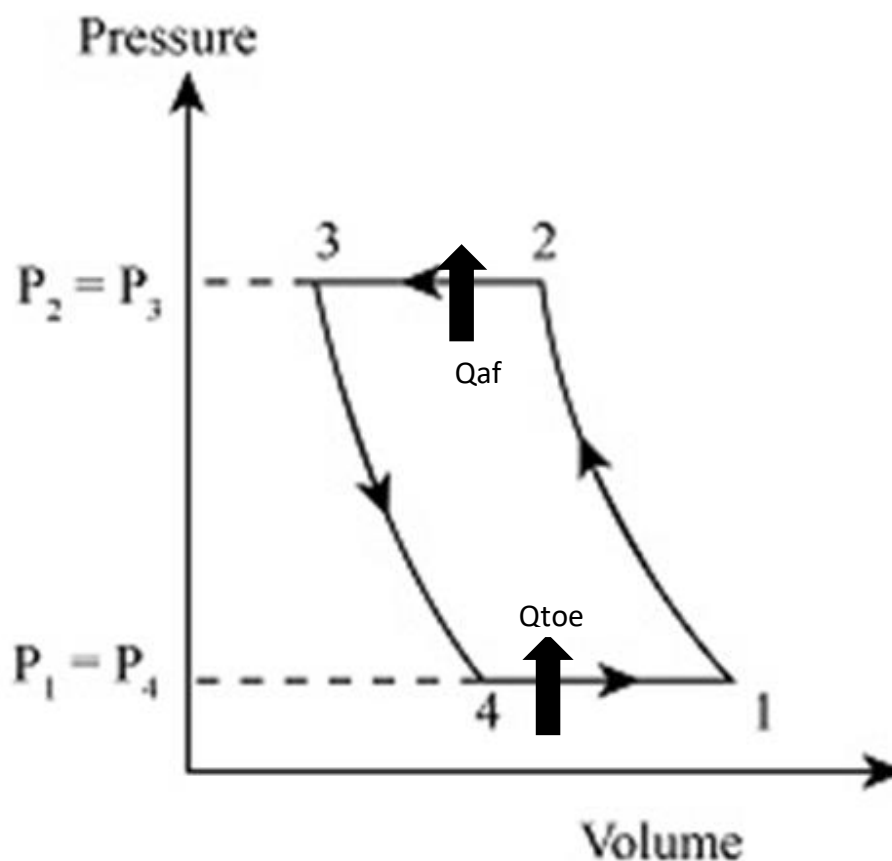


Afb 12: PV diagram van het Carnot-proces

Het Carnot-proces is een ideaal proces en kan in de praktijk niet perfect worden uitgevoerd vanwege energieverliezen als gevolg van wrijving, glijdende geleiding en andere factoren. Het is verder praktisch onmogelijk om in korte tijd zoveel warmte af te voeren dat bij een compressie de temperatuur van het medium constant blijft. Toch is het Carnot-proces van groot belang voor de thermodynamica, omdat het de theoretische basis vormt voor de berekening van het maximaal haalbare rendement.

## 8. Brayton-Joule proces

Het Brayton-Joule proces is een praktisch voorbeeld van een negatief kringproces. Dit is ook het p,V-diagram van onze opstelling. Op de grafiek kun je aflezen dat de warmte wordt toegevoerd en afgevoerd bij een constante druk en dat de expansie en het comprimeren via een adiabatisch verloop gebeurt.



Afb 13 : PV Diagram van het Brayton-joule

Dit diagram wordt in het hoofdstuk over de verschillende soorten diagrammen verder uitgewerkt.

## **9. Proefopstelling**

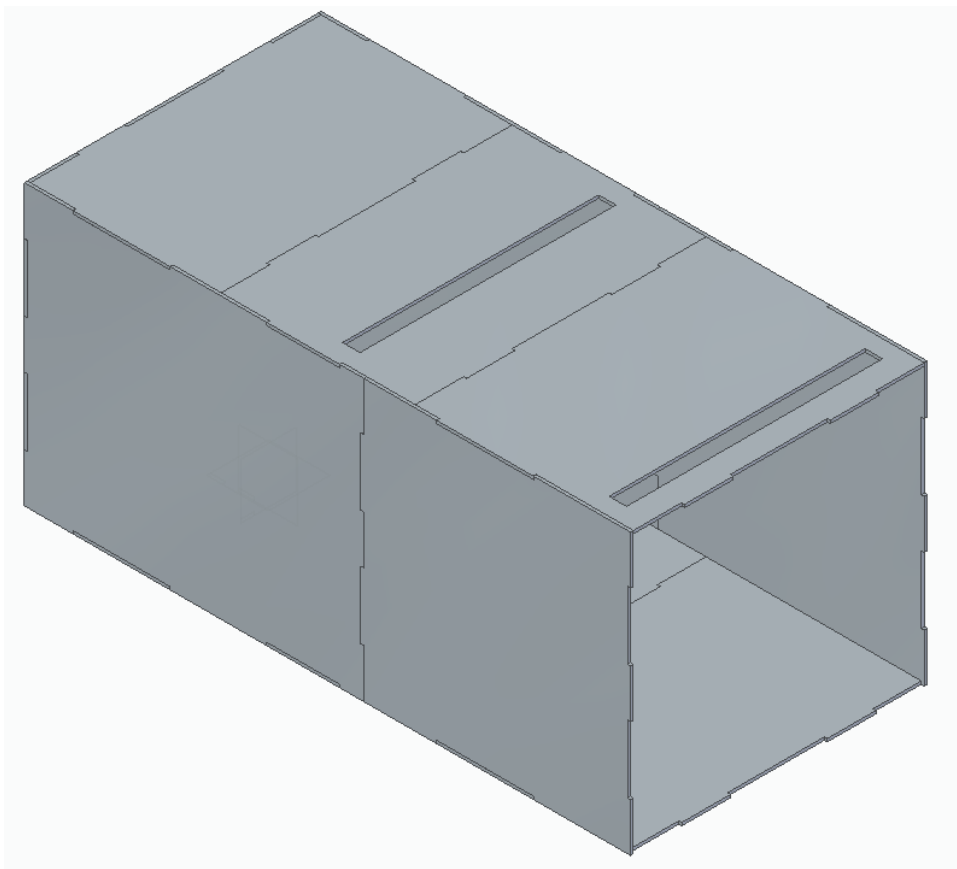
### **9.1. Idee ontwerp**

Oorspronkelijk was het de bedoeling dat we de nulwoning zouden gebruiken om van te starten. Maar we gaven reeds aan waarom we dat uiteindelijk niet gedaan hebben. Eerst gingen we een normale box maken zodat we er de temperatuur in konden meten. Maar wij vonden het beter nu we nu toch eens iets nieuw ontworpen om er meteen een nieuw concept van te maken. We waren aan het twijfelen tussen een box waarvan we de ruimtes groter konden maken en een box waarvan we de dikte van de isolatie konden laten variëren. We hebben uiteindelijk gekozen voor deze waarvan we de ruimtes groter konden maken omdat dit praktisch gezien meer haalbaar was. Eerst was het idee om de ruimte te vergroten door er een nieuwe box bij te schuiven en vast te zetten ertegen. Maar al vlug kwamen we met een ander idee om met een grote box te werken en via een schuif de ruimte te verkleinen. Dit werd ons uiteindelijke ontwerp.

### **9.2. Ons ontwerp**

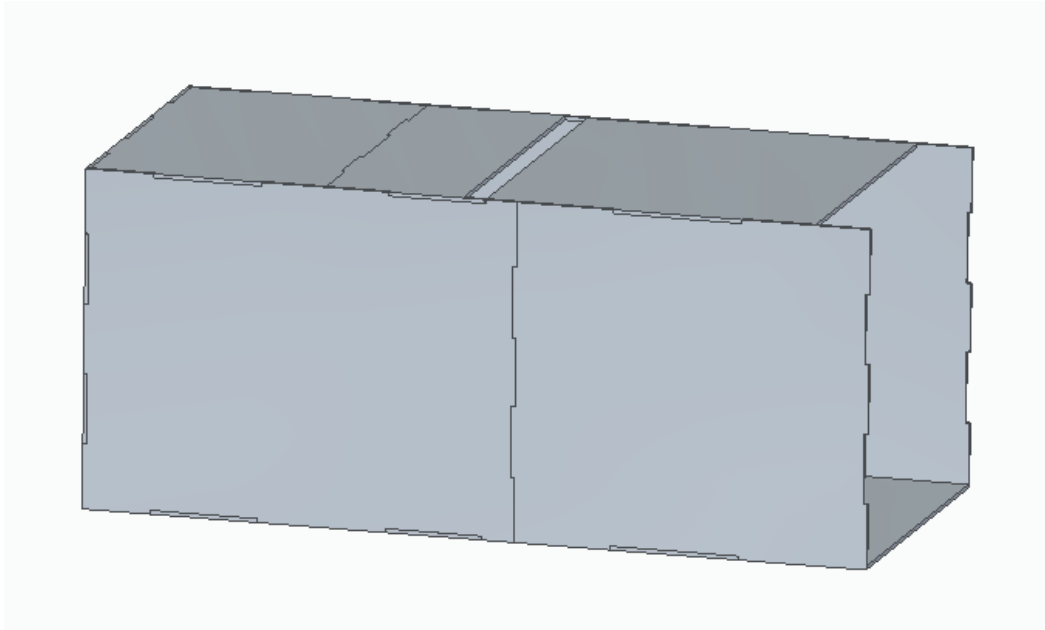
We hebben, na een paar keer aanpassen, gekozen voor een ruimte waarvan we de grootte kunnen aanpassen door gebruik te maken van tussenschuiven. De voordelen hiervan zijn dat we heel onze box vast kunnen maken en dat zo alles veel stabiel is en dat je ook snel je ruimte van volume kan laten veranderen. Eerst gingen we werken met maar één tussenschuif maar omwille van praktische redenen werken we nu met 2 tussenschuiven zodat we nu gemakkelijk aan onze binnenunit kunnen. Dit is heel erg handig om de temperatuur te meten en ook om indien nodig het expansieventiel aan te passen.

### 9.3. Onderdelen



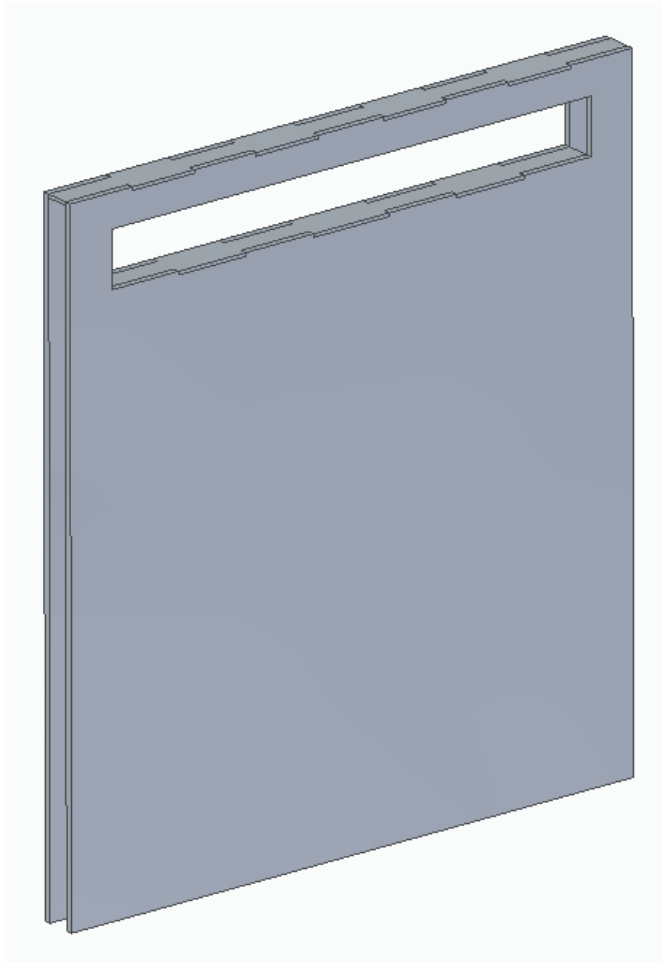
Afb 14: 3D tekening van de buitenbox

Dit is de buitenbox, het is de box die zichtbaar is van buitenaf. Het bestaat uit 11 verschillende platen van 6 mm dik die allemaal in elkaar passen via tand en groef. Hij is 1250x612x578 mm groot. Er zit geen voorkant op omdat deze niet nodig is, want we gebruiken daar een schuif om het af te sluiten. De schuiven gaan in de 2 gleuven aan de bovenkant.



*Afb 15: 3D tekening van de binnenbox*

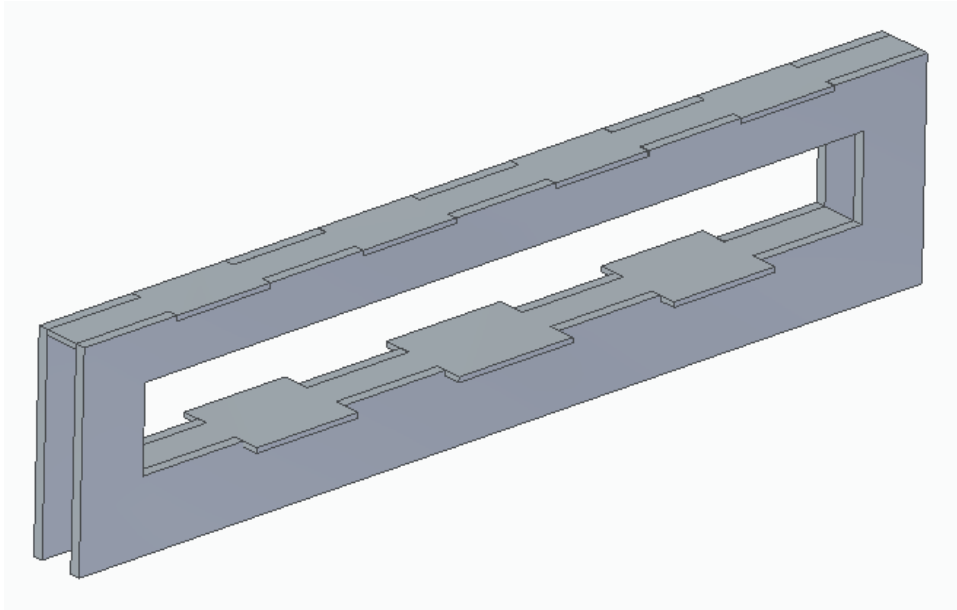
Dit is hier de binnenbox, deze is niet zichtbaar van buitenaf omdat deze in de buitenbox zit. Tussen de buiten- en binnenbox zit er een laag isolatie van 20 mm dik. Deze zorgt voor een thermische isolatie van de box. De binnenbox bestaat ook uit 11 verschillende platen van 6 mm dik die in elkaar zitten via tand en groef. Hij is 1224x556x524 mm groot. Hier zie je ook de gleuven die zijn doorgetrokken voor de schuif. Deze zal perfect langs de binnenmuur gaan van de box om hem zo ook zo goed mogelijk af te sluiten.



*Afb 16: Schuif proefopstelling*

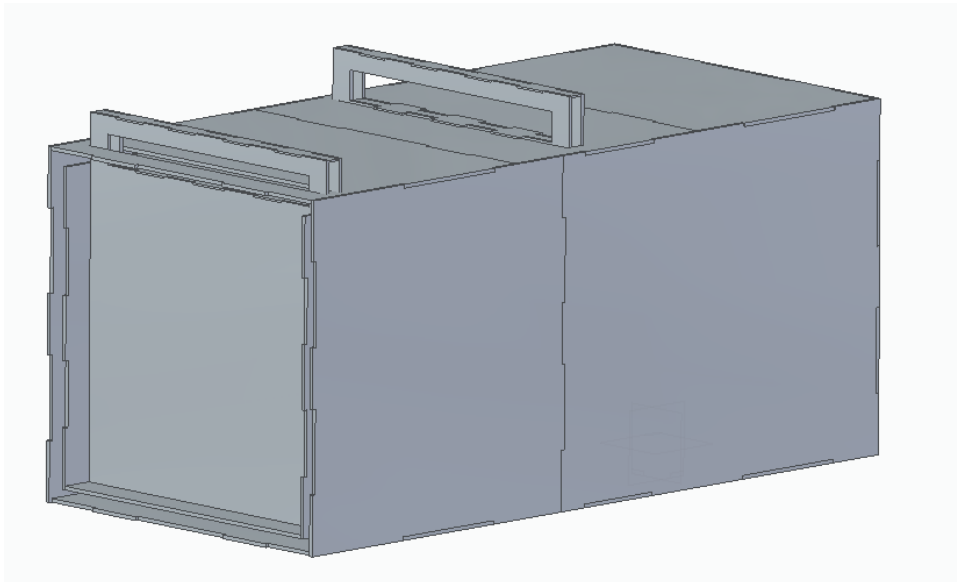
Dit is de schuif die we gebruiken. Je zal één van de twee vooraan zien zitten en de andere zal in het midden zitten als we een test doen in het kleine volume. De schuif bestaat uit 4 platen: 2 platen van 6 mm en 2 platen van 2 mm dik. We hebben ook hier weer tand en groef gebruikt en hij is 544x600x33 mm groot. Deze schuiven zullen zoals eerder gezegd in de gleuven gaan waar ze goed aansluiten op de box. De bovenkant van de schuif zal boven de box uitsteken waar er een handvat is dat je gebruikt om de schuif er weer uit te halen. Er zit tussen de twee grote platen isolatie. De twee kleine platen zijn er zodat als je de schuif uittrekt, je de lijm die de isolatie vastkleeft aan de platen niet kapottrekt.





*Afb 17: Stopper proefopstelling*

Dit is de stopper, het is hetzelfde model zoals de schuif, maar dan zonder de lange onderkant. We gebruiken deze om als de tweede schuif er niet inzit, om met het volume van de grote box te werken, de sleuf te dichteren in de box. Het bestaat ook uit 4 platen: 2 platen van 6 mm en 2 platen van 2 mm dik. We hebben weer tand en groef gebruikt en hij is 544x123x33 mm groot. Er zit nog een beetje isolatie aan de onderkant om de box zo goed mogelijk te isoleren.

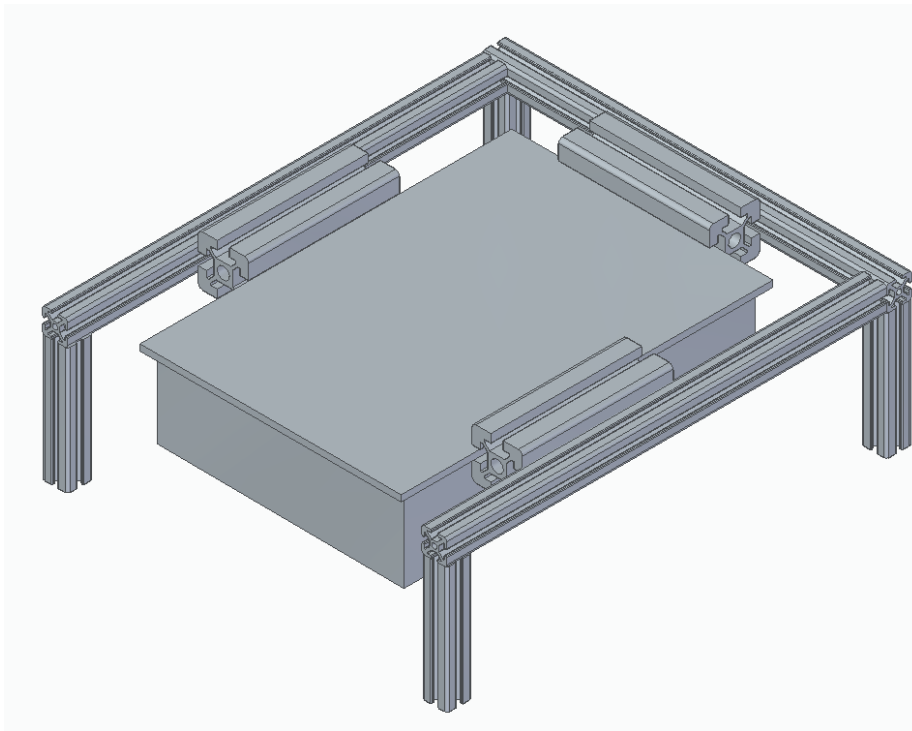


*Afb 18: Volledige proefopstelling*

Dit is het uiteindelijke resultaat als je alle delen in elkaar zet. Hier zie je nu de grote box, kleine box, de schuif en de stopper. In deze afbeelding zit de stopper in de tweede gleuf.

## 9.4. Vermogensmeterhouder

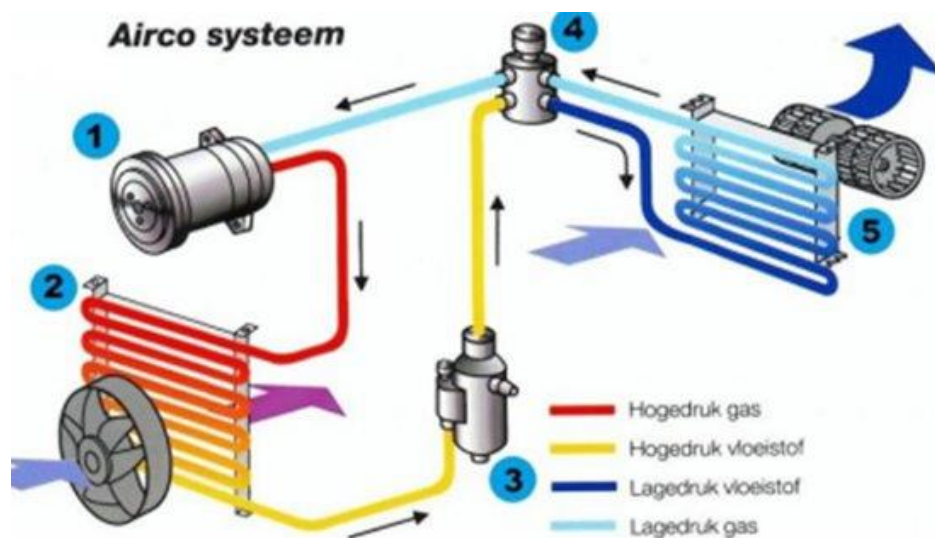
We hebben ook een constructie gemaakt om onze vermogensmeter vast te zetten. Dit doen we zodat zij niet zomaar op onze kar staat, waar deze dure vermogensmeter zomaar beschadigd kan worden. We hebben dus een constructie ontworpen rond de vermogensmeter en dit hebben we gedaan met hergebruikte Rexroth-profielen die de andere groepen over hadden. Onze constructie bestaat uit een kleinere soort Rexroth-profielen die het aan de buitenkant omringen en grotere Rexroth-profielen waarbij je de gleuven erin gebruikt om de vermogensmeter erin te laten rusten.



Afb 19: Vermogensmeterhouder

## 10. Werking koelinstallatie

Om de werking van een warmtepomp lucht-lucht uit te leggen zullen we het eerst hebben over het basisprincipe namelijk een koelinstallatie. Deze kan alleen maar koelen. Als het dus het doel is om warmte te onttrekken aan de ruimte en af te geven aan de buitenlucht zodat de ruimte afkoelt is het een koelinstallatie. Wanneer de ruimte ook kan opgewarmd worden dan spreek je over een airco of dus warmtepomp lucht-lucht.



Afb 20: Airco systeem

(1 Compressor, 2 Condensor en fan, 3 Filterdroger, 4 Expansieventiel, 5 Verdamer en blower)

Een koelinstallatie bestaat altijd uit 4 basiscomponenten die het systeem doen werken: een compressor, een condensor, een expansieventiel en een verdamer. In de koelinstallatie zit een koelvloeistof met een laag kookpunt. Zie volgend hoofdstuk voor verdere uitleg over het koelmiddel (=koelvloeistof). Secundaire elementen die ook belangrijk zijn voor de werking van een airco, maar niet bij de echte basis horen, zijn het vloeistofvat, de vloeistofdroger-filter en het kijkglasje.

De compressor zal het koelmiddel samenpersen en vooruitduwen. Het is eigenlijk de drijfveer van de installatie. De druk wordt dus veel groter door het samenpersen van de koelvloeistof die op dat moment in oververhitte (maar met lagere temperatuur dan bij de uitgang van de compressor) gasvormige toestand met lage druk uit de verdamer in de compressor binnenkomt. Het koelmiddel verlaat de compressor als een gas met hoge druk en hogere temperatuur. Door compressie-arbeid is de temperatuur veel hoger geworden.

Het koelmiddel gaat naar de condensor die altijd buiten staat. Daar geeft het koelmiddel zijn warmte af aan de buitenlucht. Zoals je weet van de tweede hoofdwet van de thermodynamica moet de buitentemperatuur dus kouder zijn dan de condensortemperatuur. Alleen dan zal de condensor zijn temperatuur afgeven. Door middel van een ventilator kan dit proces gestimuleerd worden en zal de afkoeling van het koelmiddel sneller gaan. Het koelmiddel zal condenseren tot een warme vloeistof met hoge druk. Het koelmiddel condenseert dus. Na de condensor zal het koelmiddel naar het expansieventiel vloeien.

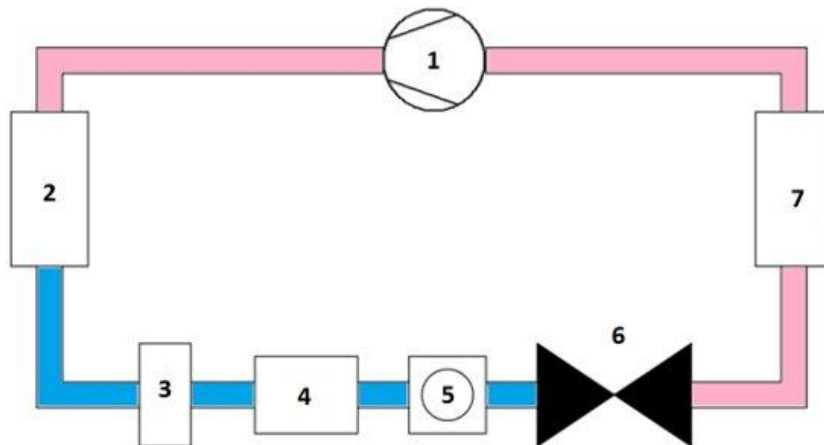
In het expansieventiel zal de vloeistof een drukvermindering krijgen. Het koudemiddel is nu een vloeistof met lage druk en lage temperatuur.

Het koelmiddel komt nu in de verdamper. Het zal door de leidingen vloeien en nu zijn warmte afgeven aan de temperatuur en door convectie in de ruimte (warme temperatuur gaat naar boven) de warmte van de ruimte weer opnemen. De temperatuur van het koelmiddel dat in de verdamper binnengaat, zit dicht bij zijn kookpunt. Dit is voordelig want door de extra warmte die het opneemt vanuit de ruimte zal het koelmiddel dat uit de verdamper gaat nu boven zijn kookpunt zitten (oververhit) waardoor het koelmiddel nu weer een lagedruk gas met lage temperatuur is en zo weer naar de compressor kan gaan. Het koelmiddel verdampt dus.

Zo blijft het proces voortgaan en zoals je kan zien zal dit zo blijven doorgaan tot de gewenste binnentemperatuur bereikt is. Dit proces kun je dus ook bestempelen als een kringproces. Dit wordt in een volgend punt besproken.

## 11. Circuit proefopstelling

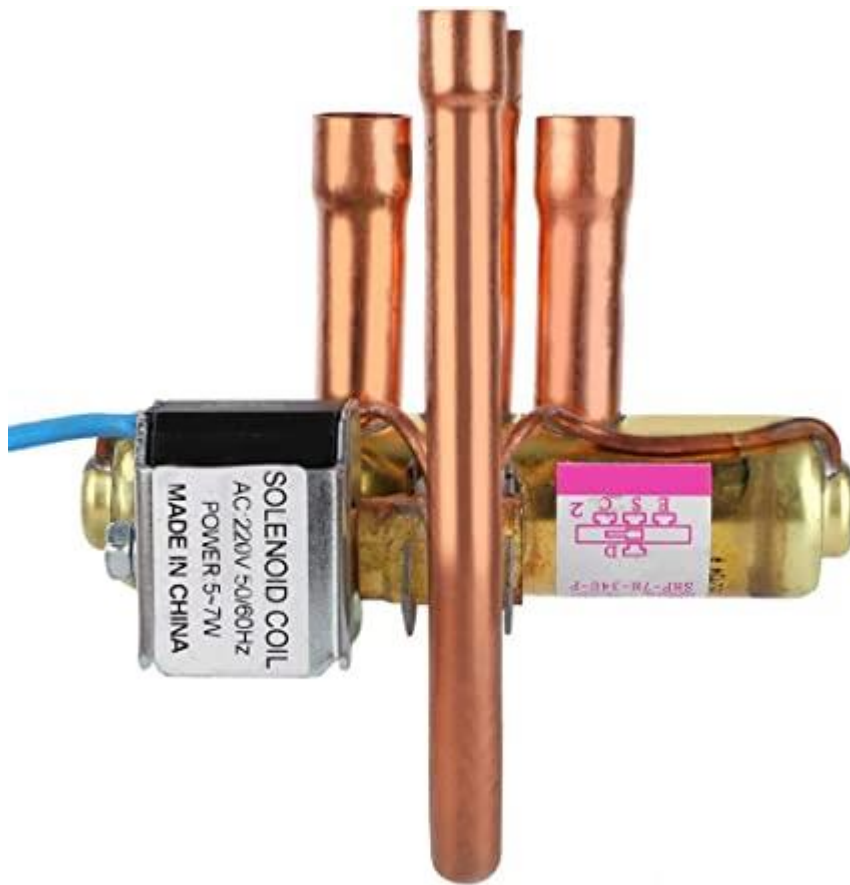
Voor we alle aparte onderdelen van onze proefopstelling bespreken, zullen we eerst de baan van het koelmiddel aflopen. We vertrekken vanuit de compressor (1): hier wordt de druk opgevoerd, zo komt het kookpunt hoger te liggen. Van daaruit gaan we naar de condensor (2): hier komt het koelmiddel aan in gasvorm. Het koelmiddel geeft warmte af aan de omgeving en gaat over in een vloeistof. Het koelmiddel gaat vervolgens door een vloeistofvat (3), waar het kan worden opgeslagen. Hierna vloeit het koelmiddel door de droger-filter (4), waar alle onreinheden zoals water uit het koelmiddel worden gehaald. Direct erna volgt het kijkglasje (5), waar je de toestand van je koelmiddel kan zien en ook kunt vaststellen of er vocht in het koelmiddel zit. Daarna gaat het koelmiddel naar het expansieventiel (6): hier verlaagt de druk en zal het kookpunt ook dalen. Dan loopt het koelmiddel naar de verdamper (7) waar alle vloeistof verdampt tot een gas en zo warmte opneemt van in de kamer. Hierna vloeit het koelmiddel terug naar de compressor (1). Op deze afbeelding is roze een gas en blauw een vloeistof.



Afb 21: Circuit proefopstelling

## 12. Warmtepomp

Een koelinstallatie kan alleen maar gebruikt worden om te koelen. Wanneer je ook wilt verwarmen dan spreek je over een warmtepomp, in ons geval met lucht-lucht. Bij een lucht-lucht warmtepomp, ook wel bekend als airco, wordt de warmte gehaald uit de buitenlucht. Het rendement is dus afhankelijk van de buitenlucht. In de buitenunit van de warmtepomp zit een elektromagnetisch vierwegventiel, wat zorgt voor de omschakeling tussen koeling of verwarming. Dit ventiel zorgt dat de rol van de verdamper en condensor omgedraaid wordt. Het is alsof je figuurlijk de binnenunit van de airco buiten zou zetten en de buitenunit binnen zodat het binnen opwarmt. Dan kun je natuurlijk wel denken dat wanneer de buitentemperatuur koud is, de verdamper (die dan buiten staat) op zich ook heel koud kan worden. Dit kan tot ijsvorming leiden en dit verlaagt het rendement en de efficiëntie van de installatie. Daarom is er altijd een ontdooier ingebouwd. De omkeerklep is vlak voor/na de compressor geplaatst om zo de weg naar de condensor of de verdamper te verbinden.



Afb 22: Warmtepomp

### 13. Compressor

De compressor doet niets anders dan het gasvormige koelmiddel rondpompen. Aan de perszijde van het systeem wordt het koelmiddel samengeperst en wordt het persgas in de condensor omgevormd naar een vloeistof door middel van warmteafgifte aan de omgeving. Er zijn verschillende soorten compressoren. Zuigercompressoren en scrollcompressoren of spiraalcompressoren. Zuigercompressoren worden vooral gebruikt in koelkasten en vriezers en scrollcompressoren of spiraalcompressoren worden vooral in moderne airco's en zwaardere systemen gebruikt.

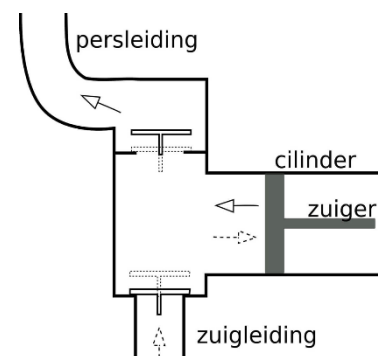
### 13.1. Zuigercompressor

De zuigercompressor is een van de oudste type industriële compressoren en wordt het meeste gebruikt voor het comprimeren van lucht. De zuigercompressor is in enkelwerkende of dubbelwerkende uitvoering mogelijk (wordt voornamelijk gebruikt voor hogedrukken tot 300 bar) en in oliegesmeerde of olievrije uitvoering. Wat betreft het energieverbruik is dit type compressor nog altijd één van de zuinigste, op voorwaarde dat hij langzaam loopt en goed gekoeld wordt.

Wij gebruiken in onze proefopstelling een zuigercompressor van het model AE4425Y-FZ1A. Onze compressor heeft een CSIR, CondensatorStart - InductieRun (CSIR). In onze airco gebruiken we ook een zuigercompressor, deze heeft het model AE4425Y-FZ1A\_FR en gebruikt ook een CSIR. De CSIR-motor is vergelijkbaar met RSIR, behalve dat een startcondensator in serie is opgenomen met startwikkeling om een hoger startkoppel te produceren. Dit wordt vaak gebruikt op commerciële koelsystemen tot 3/4 PK.

Het werkingsprincipe van een zuigercompressor laat zich het beste vergelijken met een fietspomp. Een plunjer (zuiger) wordt naar beneden bewogen en zuigt lucht uit de omgeving aan. De beweging wordt 'aanzuigslag' genoemd. Wanneer de uiterste positie is bereikt, beweegt de plunjer weer de andere kant op en drukt de lucht in elkaar, tot die hoger wordt dan de druk in de leiding achter de compressor. Deze beweging wordt de 'persslag' genoemd.

Om de lucht van de aanzuigzijde naar de perszijde te laten stromen, zijn er kleppen nodig (zuigklep en persklep) die de perszijde afsluiten bij de aanzuigslag en de aanzuigzijde afsluiten bij de persslag. De heen- en weergaande beweging wordt verkregen door een drijfstand die meestal door een elektromotor wordt aangedreven.



Afb 23: Werking zuigercompressor

### 13.2. Scrollcompressor of spiraalcompressor

Een scrollcompressor, ook wel een spiraalcompressor genoemd is een type compressor dat vaak wordt gebruikt in airconditioningsystemen. Hij bestaat uit twee spiraalvormige rollen -

een vast en een bewegend - die in elkaar grijpen en roteren om het gas, dat door het systeem stroomt, samen te persen.

Bij een airconditioning systeem comprimeert de scrollcompressor het koudemiddel, dat een gas is in de verdamper en vervolgens wordt dat koudemiddel omgezet in een vloeistof in de condensor. Het comprimeren van het koudemiddel verhoogt de druk en temperatuur ervan, waardoor het gemakkelijker wordt om warmte uit de lucht te absorberen en af te voeren uit de ruimte die wordt gekoeld.



Afb 24: Scrollcompressor

Het voordeel van een scrollcompressor is dat die efficiënter werkt dan traditionele zuigercompressoren. De spiraalvormige rollen zorgen voor een gelijkmatige en continue stroom van koudemiddel, waardoor er minder drukverlies en trillingen zijn en het systeem dus stiller en duurzamer is. Bovendien zijn scrollcompressoren minder gevoelig voor slijtage en vereisen ze minder onderhoud dan zuigercompressoren.

Kortom, de scrollcompressor is een belangrijk onderdeel van airconditioningsystemen en draagt bij aan de effectieve werking en energie-efficiëntie ervan.

## 14. Condensor

Een condensor is een onderdeel van een airconditioningsysteem dat warmte afvoert uit de koude lucht die door de verdamper is gepasseerd. Het werkt door het koudemiddel dat door het systeem circuleert te koelen en te condenseren, waardoor het van gasvorm terug in vloeistofvorm verandert.

In een airconditioningsysteem wordt het koudemiddel eerst naar de verdamper gevoerd, waar het wordt verdampt door warmte op te nemen uit de lucht die wordt gekoeld. Het koudemiddel in gasvorm stroomt vervolgens naar de condensor, waar het afgekoeld en gecondenseerd wordt door middel van warmteafvoer. De condensor bestaat meestal uit metalen buizen met een groot oppervlak om de warmte van het koudemiddel af te voeren en het af te koelen tot vloeistofvorm. De warmte die door de condensor wordt afgevoerd, wordt



meestal afgevoerd naar de buitenlucht door middel van een ventilator die lucht door de spoelen blaast.

Het goed functioneren van de condensor is noodzakelijk voor de werking van het airconditioningsysteem. Als de condensor verstopt raakt door vuil, kan de warmteafvoer worden belemmerd, waardoor het systeem minder efficiënt wordt.



*Afb 25: Condensor*

Er bestaan ook watergekoelde condensoren. Dit systeem wordt soms gebruikt omdat water makkelijk warmte opneemt en afgeeft.

De soortelijke warmte van water ligt rond de

4200 kJ/kg. Dit is aanzienlijk meer dan die van lucht, namelijk 1kJ/kg. Deze worden voornamelijk in de scheepsbouw gebruikt omdat water daar onbeperkt beschikbaar is.

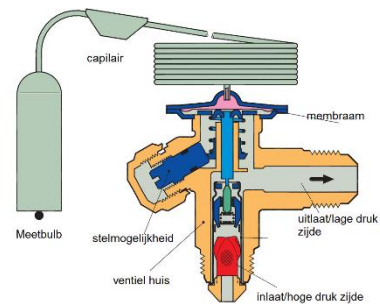
## 15. Expansieventiel

Een expansieventiel is een apparaat dat in koel- en airconditioningsystemen wordt gebruikt om de stroom koelmiddel naar de verdamper te regelen. Het ventiel bevindt zich tussen de hoge- en lagedrukzijde van het systeem en is ontworpen om een drukval in het koelmiddel teweeg te brengen terwijl het daar passeert.

Het expansieventiel heeft een kleine opening die de doorstroming van het koelmiddel naar de verdamper regelt. De door de opening gecreëerde drukval zorgt ervoor dat het koelmiddel uitzet en verdampt, waardoor de verdamper afkoelt en warmte aan de omgeving onttrekt.

Er zijn verschillende soorten expansieventielen, waaronder thermische expansieventielen, elektronische expansieventielen en handmatige expansieventielen. Thermische

expansieventielen zijn het meest voorkomende type en maken gebruik van een temperatuursensor om de stroom koelmiddel aan te passen op basis van de temperatuur van de verdamper. Thermische expansieventielen worden meer gebruikt omdat ze goedkoper zijn en gemakkelijker om mee te werken.



Afb 26: Werking expansieventiel

In het algemeen is het expansieventiel een essentieel onderdeel van koel- en airconditioningsystemen, omdat het helpt de koelmiddelstroom te regelen en de efficiëntie en prestaties van het systeem te handhaven.

## 17. Verdamper

Een verdamper is een belangrijk onderdeel van een airco, die verantwoordelijk is voor het verwijderen van warmte en vocht uit de lucht in een gebouw.

De verdamper bevindt zich in de binnenunit en is via koelmiddelleidingen verbonden met de buitenunit van de airco. Hij bestaat uit een netwerk van koperen of aluminium buizen. De buizen zijn gevuld met koelmiddel, een vloeistof die de warmte van de omringende lucht kan opnemen.

Wanneer de airco wordt ingeschakeld, neemt het koelmiddel warmte en vocht op, waardoor het koelmiddel verdampt en in een gas verandert. Terwijl het gas door de verdamper stroomt, koelt het af en geeft het de uit de lucht opgenomen warmte af aan de buitenomgeving via de buitenunit van de airco.



Afb 27: Verdamper

De gekoelde en ontvochtigde lucht wordt vervolgens via de kanalen en ventilatieopeningen terug in de omgeving geblazen en zorgt voor een comfortabele temperatuur. De verdamper speelt een cruciale rol in het aircoproces en de goede werking van de verdamper is essentieel voor een efficiënte en effectieve werking van het systeem.

## 16. Kijkglasje

Het kijkglasje is een klein, meestal cilindrisch of rechthoekig venster dat op bepaalde soorten aircosystemen wordt geïnstalleerd om zo de gebruiker het koelmiddelniveau visueel te laten controleren.

Het kijkglas bevindt zich meestal op de vloeistofleiding van het aircosysteem, dat is de leiding die het vloeibare koelmiddel van de condensor naar de verdamper voert. Als het systeem normaal werkt, moet het koelmiddel in het kijkglas helder en vrij van bellen zijn. Als het koelmiddel troebel is of bellen bevat, kan dit erop wijzen dat het koelmiddelniveau laag is, er water in het systeem zit of dat er een probleem is met het systeem zoals een slechte werking van de compressor. Het staat altijd achter de filterdroger.



Afb 28: Kijkglasje

Sommige systemen die geen kijkglasje hebben, maken gebruik van elektronische sensoren of drukmeters om het koelmiddelniveau te controleren.

## 17. Vloeistof droger-filter

Een vloeistof droger-filter in een airco is een onderdeel dat bedoeld is om vocht en verontreinigingen uit het koelmiddel in het aircosysteem te verwijderen.

Wanneer de airco in gebruik is, vloeit het koelmiddel in het systeem voortdurend en wisselt het tussen de vloeibare en gasfase. Terwijl het koelmiddel door het systeem beweegt, kan het vocht en andere verontreinigingen opnemen, wat schade aan het systeem kan veroorzaken en het rendement ervan kan verminderen.



Afb 29: Vloeistof droger-filter

De vloeistofdroger-filter bevindt zich gewoonlijk in de vloeistofleiding van het aircosysteem en is gemaakt om deze verontreinigingen en vocht uit het koelmiddel te verwijderen. Het bestaat uit een filterelement en een droogmiddel, zoals silicagel of geactiveerd aluminiumoxide, dat vocht uit het koelmiddel absorbeert. Het is ook belangrijk om bij het reguliere onderhoud van het aircosysteem de droogfilter periodiek te vervangen.

## 18. Vloeistofvat

Een vloeistofvat is een reservoir voor de koelvloeistof. Het wordt vooral gebruikt op het ogenblik dat je de leidingen van de airco wilt openen en dat je niet alle vloeistof wil aftappen. Je verplaatst namelijk de vloeistof op dat moment naar het vloeistofvat.



*Afb 30: Vloeistofvat*

## 19. P, V-diagram

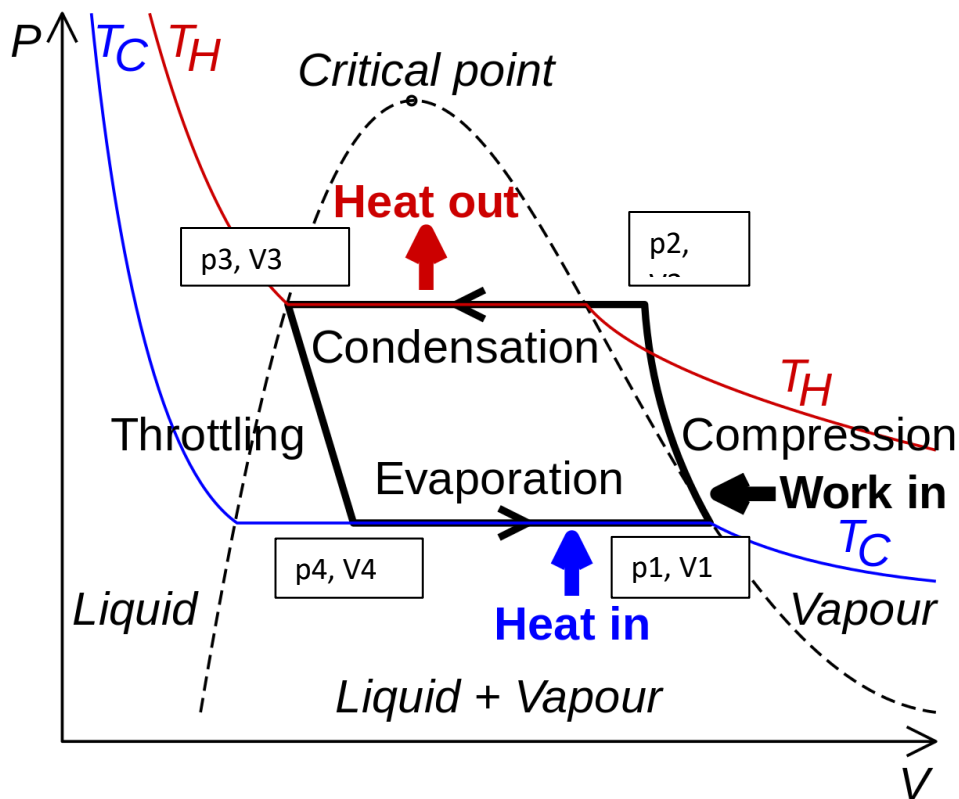
Een kringproces kan je voorstellen door verschillende diagrammen. Elk van deze diagrammen heeft zijn eigen voordelen. In een p, V-diagram kan je gemakkelijk zonder moeilijkere termen zoals enthalpie of entropie te gebruiken een positief of negatief kringproces uitzetten.

Een airco of koelproces is een negatief kringproces en daarom is het linksdraaiend. Het draait links omdat de energiedrager van de compressor naar het element om warmte af te voeren stroomt en zo naar het expansieventiel waarna het naar het element om warmte op te nemen stroomt.

Bij een positief kringproces zal de energiedrager omgekeerd stromen, want het moet eerst warmte opnemen om daarna arbeid op te wekken om daarna zijn warmte weer af te geven aan een andere stof. Een  $p, V$ -diagram is handig in theorie om een proces voor te stellen, maar niet om in de praktijk te gebruiken, want het volume van de energiedrager is lastig te meten.

Van een koelinstallatie kun je simpel een  $p, V$ -diagram opstellen. We starten bij de compressor. Dit is het meest rechtse punt onderaan op de grafiek. Hier komt het koelmiddel net uit de verdamper. In een compressor is er een drukverhoging door een volumeverkleining en dit gebeurt via een adiabaat omdat het zo snel gaat dat er geen tijd is om warmte uit te wisselen met de omgeving. Het koelmiddel gaat van  $p_1$  naar  $p_2$ . De volgende stap is het afgeven van warmte bij een constante druk in de condensor. Dit is de bovenste lijn in de grafiek. Daarna komt het koelmiddel bij het expansieventiel waar de druk zal verlagen en het volume zal vergroten. Dit gebeurt ook bij een adiabaat omdat er niet genoeg tijd is om warmte af te geven aan de omgeving. Hierna komt het koelmiddel bij de laatste stap en dat is de verdamper waar er warmte wordt opgenomen bij een constante druk. Dit is de onderste lijn op de grafiek. Zo is het kringproces compleet en kan je een proces dus makkelijk schetsen en kan je in bepaalde toestanden de wetten voor ideale gassen gebruiken om berekeningen uit te voeren.

Zoals eerder gezegd is dit theoretisch een makkelijke grafiek voor in de les, maar kan je het volume moeilijk meten van een niet ideaal gas in een systeem. De oppervlakte in het  $pV$ -diagram afgebakend door alle toestandsovergangen in dit negatief kringproces is gelijk aan de totale arbeid die een energiedrager doormaakt tijdens het proces.



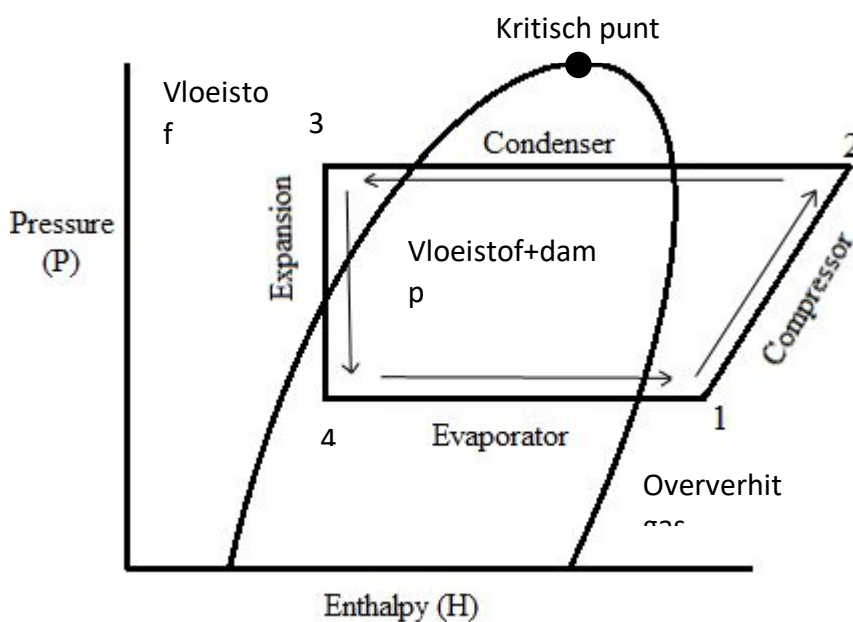
Afb 31: PV-diagram

## 20. Log p,H-diagram

Het log p,H-diagram (ook wel Mollier-diagram genoemd) is het meest gebruikte diagram in de koeltechniek. Warmte, arbeid en arbeidsverliezen zijn vaak uit te drukken in enthalpieverschillen, die in dit diagram grafisch worden weergegeven als lijnstukken. Dit diagram bestaat voor alle soorten koelmiddelen die er op de markt te vinden zijn. Op de y-as staat de druk in bar in logaritmische schaal en op de x-as staat de enthalpie in kJ/kg. De toegevoerde of afgevoerde warmte is zoals eerder vermeld geen toestandsgrrootheid. Enthalpie is dit wel, dus het enthalpieverschil op de x-as is gelijk aan de toegevoerde of afgevoerde warmte. Van links naar rechts wordt er warmte toegevoegd, dus het is logisch dat er op de horizontale lijn onderaan warmte wordt toegevoerd en op de horizontale lijn bovenaan wordt er warmte afgevoerd aangezien een negatief kringproces linksdraaiend is. Deze respectievelijk verdampings- en condensatielijn zijn isobaren. Via de geïnstalleerde drukmeters kunnen we zo makkelijk een log p,H-diagram opstellen waardoor dit het makkelijkste diagram is voor ons om te maken en je kunt er veel uithalen.

Alleen in de oppervlakte waar dampfase en vloeistof (het tweefasengebied) samen voorkomen is er een verband tussen druk en temperatuur, dit is een belangrijk detail om

straks het log p,H-diagram van onze koelinstallatie te maken. Dit tweefasengebied kan je zien onder de boog in de onderstaande afbeelding. De oppervlakte wordt afgebakend door aan de linkerkant de vloeistoflijn en aan de rechterkant de verzadigde damplijn en deze komen samen in het kritisch punt. Het kritisch punt is een punt waar twee toestanden van een stof voorkomen zonder dat er fysisch een onderscheid kan gemaakt worden tussen deze twee aggregatietoestanden. Dit punt halen we zeker niet in ons koelsysteem. Links van de vloeistoflijn komt er alleen vloeistof voor. Rechts van de verzadigde damplijn komt er alleen gas voor en in de oppervlakte ingesloten door deze twee lijnen komen vloeistof en damp samen voor.



Afb 32: Log p-H-diagram

Van 1=>2: Compressie, de druk zal verhogen en de temperatuur zal stijgen, maar niet meer evenredig met de druk.

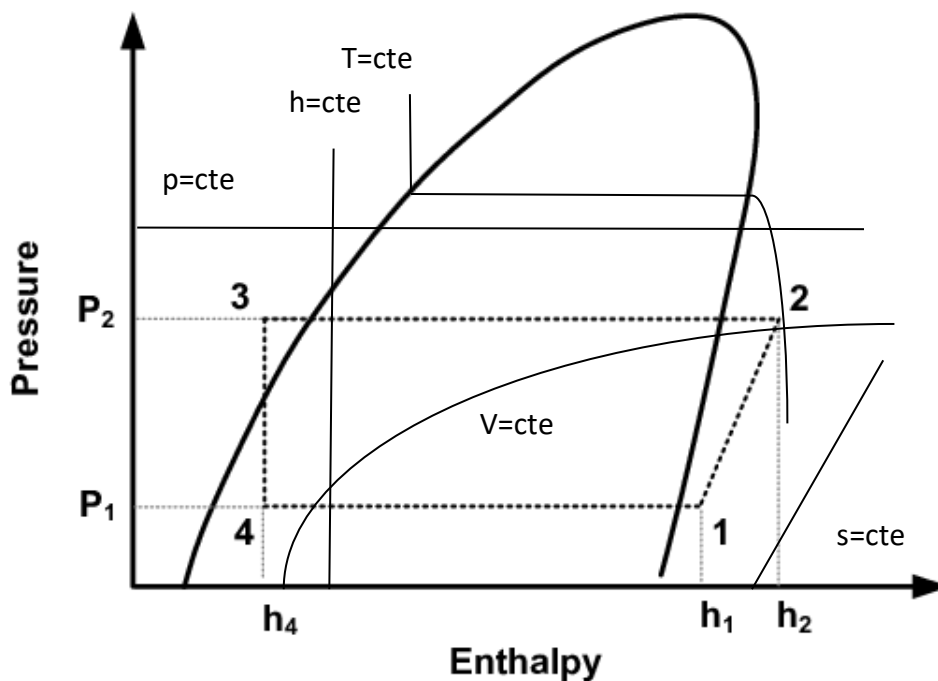
Van 2=>3: Condensatie, de temperatuur zal verlagen in de stukken buiten het tweefasengebied, maar in het tweefasengebied zal het geen temperatuurverschil ondergaan door de overgang van gas naar vloeistof en de druk blijft gelijk over de hele lijn tussen 2 en 3.

Van 3=>4: Expansie, de druk en temperatuur zakken.

Van 4=>1: Verdamping, de temperatuur van het koelmiddel neemt toe buiten het tweefasengebied en erbinen blijft het gelijk bij een gelijkblijvende druk.

Merk op dat er bij het expansieventiel geen enthalpieverschil is terwijl er wel een verandering is van temperatuur. De reden hiervoor is dat het proces van een expansieventiel isentropisch gebeurt. Dit wil zeggen dat er geen warmte-uitwisseling met de omgeving plaatsgrijpt door de snelheid van het proces en dat de entropie dus constant blijft. Dit komt omdat er geen energie verloren gaat of wordt bijgevoerd. Bij een compressor daarentegen heb je wel een enthalpiestijging die als oorzaak de toegevoegde compressorenergie heeft om het gas te comprimeren. De compressie gebeurt wel nog steeds via een adiabaat.

In een logaritmisches  $p,h$ -diagram kan je de volgende lijnen aflezen: isotherm ( $T=cte$ ), isobaar ( $p=cte$ ), isochoor ( $V=cte$ ), ...



Afb 33: Log  $ph$ -diagram

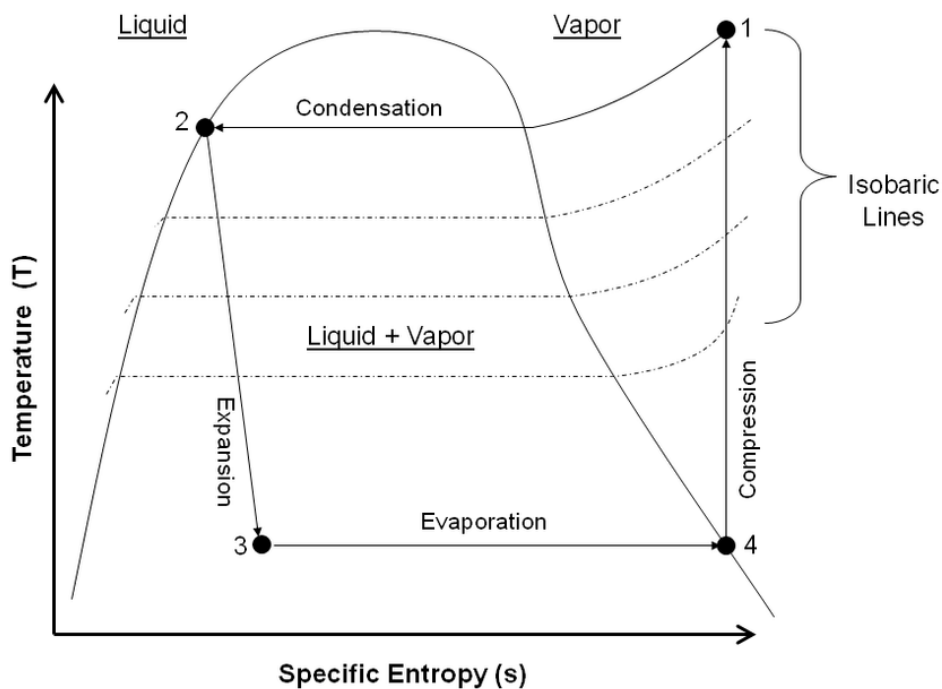
Zoals je kan zien zijn er dus veel verschillende lijnen die we kunnen aflezen in een  $p,h$ -diagram waardoor het dus handig is om te gebruiken.

## 21. $T,s$ -diagram



In de thermodynamica is een temperatuur-entropie (T-s)-diagram een thermodynamisch diagram dat wordt gebruikt om veranderingen in temperatuur (T) en specifieke entropie (s) tijdens een thermodynamisch proces of cyclus te visualiseren. Het is een handig en veelgebruikt hulpmiddel, vooral omdat het helpt om de warmteoverdracht tijdens een proces te visualiseren. Volgens de definitie van entropie (entropie = kringintegraal over het hele proces van een warmtehoeveelheid gedeeld door de temperatuur) kun je stellen dat de oppervlakte onder de grafiek gelijk is aan de volledige toegevoerde of afgevoerde warmte.

Het is een gemakkelijk diagram om de warmteoverdrachten van een cyclus te analyseren, maar het vereist berekeningen in tegenstelling tot een log p,h-diagram dat men gemakkelijk kan gebruiken door meetwaarden.



Afb 34: Ts-diagram

Zoals je op bovenstaande afbeelding ziet heb je ook een tweefasengebied onder de curve net zoals bij een log p,h-diagram. Een isentropisch proces wordt weergegeven als een verticale lijn op een T-s-diagram, terwijl een isotherm proces een horizontale lijn is. De constante enthalpielijns loopt volgens een ietwat schuine lijn zoals je ziet van 2=>3.

## 22. COP-waarde

De COP-waarde is het rendement van je koelinstallatie. 'COP' staat voor Coëfficiënt Of Performance. Het is dus een getal dat aangeeft hoe 'goed' je koelinstallatie werkt. Het hangt af van je koelinstallatie, maar ook van de buitentemperatuur en de uitblaastemperatuur binnen. De berekening van de COP-waarde van de proefopstelling was moeilijk, aangezien er niet voldoende koelmiddel op het systeem zat. Hierdoor wijken de waardes af, ook kunnen we de ideale toestanden niet bereiken, waarin de opstelling getest is. De formule voor de COP-waarde =  $\frac{\text{koelvermogen}}{\text{elektrisch vermogen}}$  en heeft geen eenheid. De theoretische COP-waarde bij een buitentemperatuur van 32 graden Celsius en een uitblaastemperatuur van 15 graden Celsius is 2,41. Bij een uitblaastemperatuur van 10 graden Celsius is het 2,27. Bij een uitblaastemperatuur van 5 graden Celsius is het 2,10.

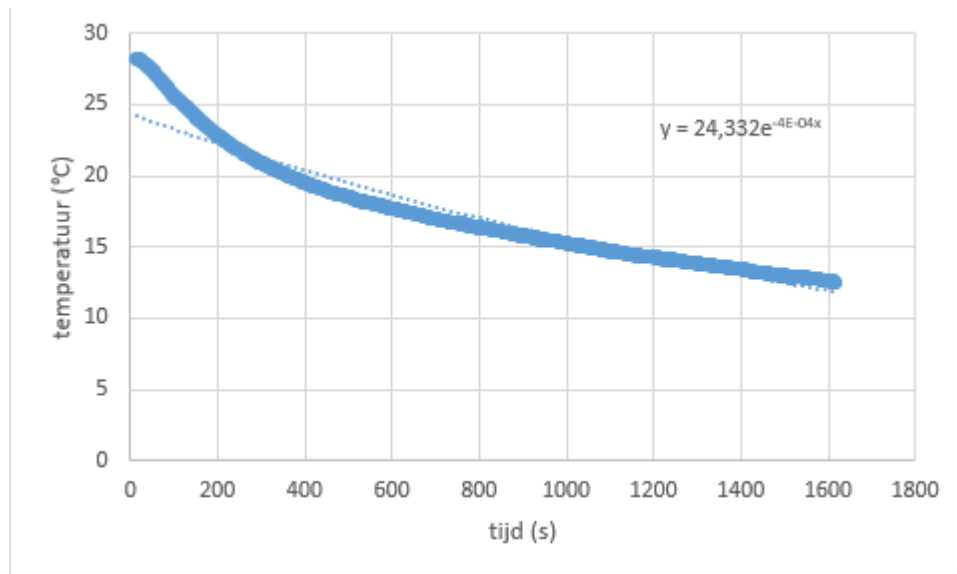
50 Hz R134a											
5   T <sub>ambiance</sub>	6   T <sub>évaporation</sub>	(°C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
<b>32</b>	1   P <sub>frigorifique</sub>	(W)		176	243	319	402	493	<b>591</b>	693	800
	2   P <sub>absorbée</sub>	(W)			192	205	221	239	259	<b>281</b>	305
	3   I <sub>absorbée</sub>	(A)			1.57	1.58	1.6	1.64	1.7	<b>1.77</b>	1.86
	4   T <sub>c</sub>	(°C)			38	39.4	41.1	42.9	45.1	<b>47.5</b>	50.1
<b>43</b>	1   P <sub>frigorifique</sub>	(W)			200	267	339	417	498	582	668
	2   P <sub>absorbée</sub>	(W)			212	233	256	281	309	339	371
	3   I <sub>absorbée</sub>	(A)				1.59	1.64	1.7	1.78	1.87	1.98
	4   T <sub>c</sub>	(°C)				49.6	51.1	52.9	54.9	57.2	59.8
<b>46</b>	1   P <sub>frigorifique</sub>	(W)			187	252	322	395	472	552	
	2   P <sub>absorbée</sub>	(W)			214	236	261	287	316	348	
	3   I <sub>absorbée</sub>	(A)				1.59	1.65	1.71	1.8	1.89	2.01
	4   T <sub>c</sub>	(°C)				52.3	53.9	55.6	57.6	59.9	62.4

1 = refrigerating capacity 2 = watt input 3 = current 4 = condensating temperature 5 = ambient temperature 6 = evaporating temperature

Afb 35: Tabel

We hebben deze omstandigheden zo goed mogelijk proberen na te bootsen, maar het is nooit perfect gelukt om deze omstandigheden na te bootsen. Het koelvermogen berekenen we met

behelp van de grafiek die we krijgen als we een meting uitvoeren.



Afb 36: Curve meting in de gang

Als we op deze grafiek een exponentiële regressie doen, krijgen we volgend functievoorschrift  $f(x) = 24,332e^{-0,0004x}$ . Hieruit kunnen we  $\tau = \frac{-1}{-0,0004} = 2500s$  halen. De temperatuur is constant na  $5\tau$  dus  $f(12500) = 24,332e^{-0,0004 \cdot 12500} = 0,16 \text{ } ^\circ C$  en  $T_0 = 28,34 \text{ } ^\circ C$  zorgt voor een  $\Delta T = 28,18 \text{ } ^\circ C$ . Nu moeten we alleen nog weten hoeveel W/°C er door de muren van de proefopstelling gaan en dit vermenigvuldigen met  $\Delta T$ .

					[(m²*K)/W]		[(m²*K)/W]	
					R <sub>si</sub>	0,04	R <sub>t</sub>	0,672982456
	[m]		[W/(m*K)]		R <sub>se</sub>	0,04		
d <sub>1</sub>	0,012	λ <sub>1</sub>	0,18		R <sub>1</sub>	0,066666667		[m²]
d <sub>2</sub>	0,02		0,038			0,526315789	A	3,5
								[°C]
							T <sub>i</sub>	5
							T <sub>e</sub>	18
								[W]
							Φ	67,60948905
								[W/K]
								5,200729927

Afb 37: Berekeningen op excel

Met deze gegevens kunnen we het koelvermogen berekenen.  $P_{koel} = 5,20 \cdot 28,18 = 146,54W$ . Dit is een stuk lager dan wat er in de datasheets staat. Met het koelvermogen en het elektrisch vermogen ( $P_{elektrisch} = 194,95W$ ) kunnen we de COP-waarde berekenen.

---

COP-waarde =  $\frac{146,54W}{194,95W} = 0,75$ . Dit is heel klein en zelfs kleiner dan 1. Dit komt waarschijnlijk doordat onze proefopstelling te weinig koelmiddel heeft.

## 23. Koelvloeistof

Koelvloeistoffen zijn nodig om een airco te laten draaien. Ze kunnen tot 50 keer meer energie transporteren dan lucht. Er zijn wel veel gevaren, zo kunnen ze giftig of licht ontvlambaar zijn. Ook hebben sommige koelvloeistoffen een negatief effect op de ozonlaag en vergroten ze het broeikaseffect.

### 23.1. Evolutie koelvloeistoffen

De eerste koelvloeistoffen die gebruikt werden, waren zeer giftig en licht ontvlambaar. Voorbeelden zijn: ammoniak, zwaveldioxide en propaan. De eerste koelvloeistof die niet giftig of ontvlambaar was, is freon, de eerste CFK. Ontwikkeld door Thomas Midgley in 1928. Hierna zijn er betere methodes ontwikkeld en zo ook meer CFK's. In de jaren 1980 werd ontdekt dat CFK's schadelijk zijn voor de ozon. De chlooratomen breken de O<sub>3</sub> (ozon) af in O<sub>2</sub> en ClO, die op zijn beurt weer O<sub>3</sub> afbreekt in Cl en 2O<sub>2</sub> dat de Uv-straling niet kan tegenhouden. De ozon houdt de Uv-straling tegen, die van de zon komt. Om het gebruik van CFK's tegen te gaan is het Montreal Protocol gekomen. Dit protocol bouwt het gebruik van CFK's af. De CFK's moesten vervangen worden door HCFK's, die minder schadelijk zijn voor de ozon en HFK's, die niet schadelijk zijn voor de ozon. HFK's versterken het broeikaseffect 124 tot 22.800 keer meer dan CO<sub>2</sub>. HCFK's zijn nu ook al verboden om verkocht te worden. De opkomst van natuurlijke koelvloeistoffen wordt geforceerd door verschillende milieuorganisaties. Natuurlijke koelvloeistoffen hebben het nadeel dat ze vaak heel ontvlambaar zijn en dus onveilig om in een huis te gebruiken. Voorbeelden van natuurlijke koelvloeistoffen zijn isopentaan en isobutaan.

### 23.2. Gevaren van koelvloeistoffen

Er zijn zeven grote gevaren als je werkt met koelvloeistoffen. Daarom moet je ook opgeleid zijn en een certificaat hebben om ermee te werken. Het eerste gevaar is dat koelvloeistoffen onder hoge druk kunnen staan van wel 10 bar. Vervolgens heb je ook te maken met extreme temperaturen van -50 tot 145 graden Celsius. Ook kan een koelvloeistof ontvlambaar zijn. Zo

zijn ze opgedeeld in drie klassen: A1 niet ontvlambaar, A2/A2L ontvlambaar en A3 hoog ontvlambaar en explosief. Vervolgens kan een stof ook corrosief zijn, dat wil zeggen dat de stof ander materiaal afbreekt, dat kan je hand zijn, maar ook de leiding waar de stof in loopt. Ook kan de koelvloeistof de eigenschap hebben dat het de ozon afbreekt of een broeikasgas is. GWP meet de mate waarin een stof een broeikasgas is. Een GWP van 1 is de impact dat CO<sub>2</sub> heeft als broeikasgas over 100 jaar. Als laatste is er nog de giftigheid, verdeeld in 3 klassen: B1 laag, B2 gemiddeld, B3 hoog. De ideale koelvloeistof zou dus niet corrosief, niet giftig, niet ontvlambaar zijn, zou de ozon niet afbreken en zou geen broeikasgas zijn. Bovendien graag ook goedkoop en milieuvriendelijk.

### 23.3. Onze koelvloeistoffen

Wij gebruiken de koelvloeistof R134a voor de proefopstelling. R134a heeft de chemische formule CF<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>F. Het heeft een verdampstemperatuur van -26,3 graden Celsius bij normdruk. Het heeft een GWP van 1430 en is zo goed als niet schadelijk voor de ozon. R134a mag niet meer gebruikt worden in nieuwe installaties in de EU, omdat het een GWP boven 100 heeft. Het is de vervanger van R-12 wat veel ozon afbreekt. De nieuwe vervanger van R134a is HFO-1234yf, dat een GWP heeft van minder dan één. R134a heeft een ontvlambaarheidsklasse van A1 en een giftigheidsklasse van B1. Het heeft ook een massadichtheid van 0,00425 g/cm<sup>3</sup> in gasvorm. De tweede koelvloeistof die we gebruiken is R32. De chemische formule is CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>. Het heeft een verdampstemperatuur van -51,6 graden Celsius bij normdruk. R32 was een voorlopige oplossing voor R134a. R32 heeft een GWP van 675, wat dus een verbetering was op R134a, maar nog altijd niet onder de 100. Het breekt de ozon niet af. Het heeft een ontvlambaarheidsklasse A2L en heeft een giftigheidsklasse B1. Ook heeft het een massadichtheid van 1,1 g/cm<sup>3</sup> in gasvorm.

### 23.4. Keuze koelvloeistof

Naast de prijs, ontvlambaarheid, reuk, giftigheid en corrosieve eigenschappen van het koelmiddel zijn vooral ook de verdampingswarmte, een hoge kritische temperatuur en het soortelijk volume van de damp van belang. De verdampingswarmte moet zo groot mogelijk zijn, het soortelijk volume daarentegen zo laag mogelijk, omdat voor een bepaalde koude productie de afmetingen van de compressor dan klein kunnen blijven.

## 24. Veiligheid

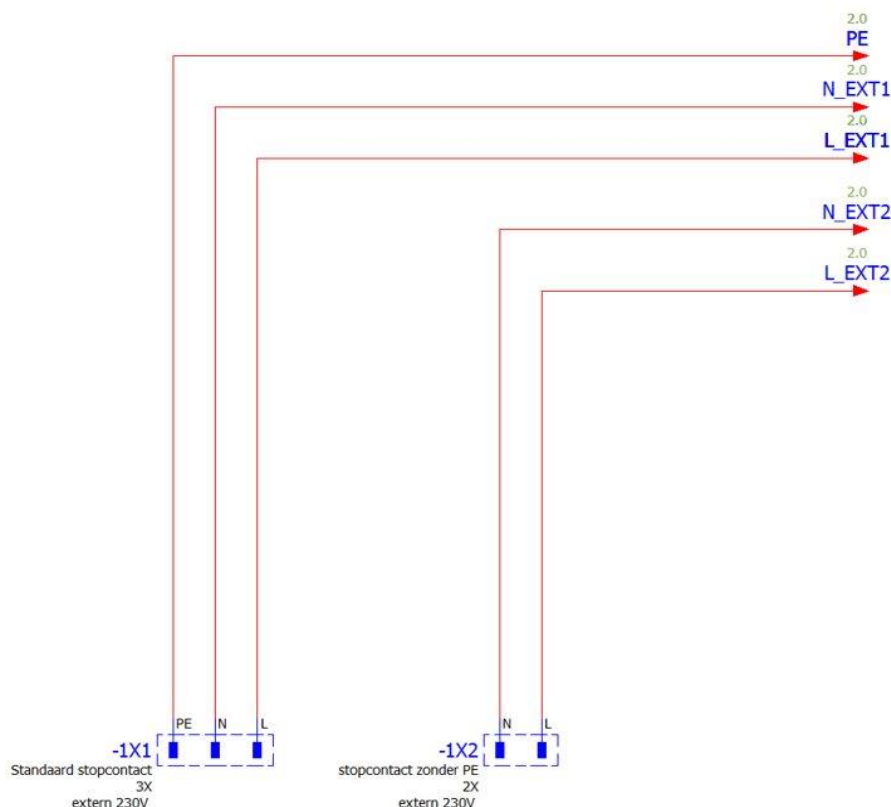
In onze proefopstelling hebben we veel gefocust om alles zo veilig mogelijk te houden. We hebben alle genaakbare componenten geaard, dit zijn de componenten die normaal niet onder spanning staan. Maar deze kan je wel aanraken en ze kunnen ook elektriciteit geleiden. Ook hebben we Waggo's, klemmen en beveiligde bananenstekkers gebruikt om alles aan te sluiten. De Waggo's hebben we overal gebruikt waar we meerdere draden met elkaar moesten verbinden. We hebben kabelschoentjes gebruikt om onze draden direct op de compressor te kunnen aansluiten. En als laatste hebben we de beveiligde bananenstekkers gebruikt om in onze vermogensmeter te steken, deze stekkers hebben een beveiligde kop van doorzichtig plastic.



Afb 38: Beveiligde bananenstekker

## 25. Elektrische studie

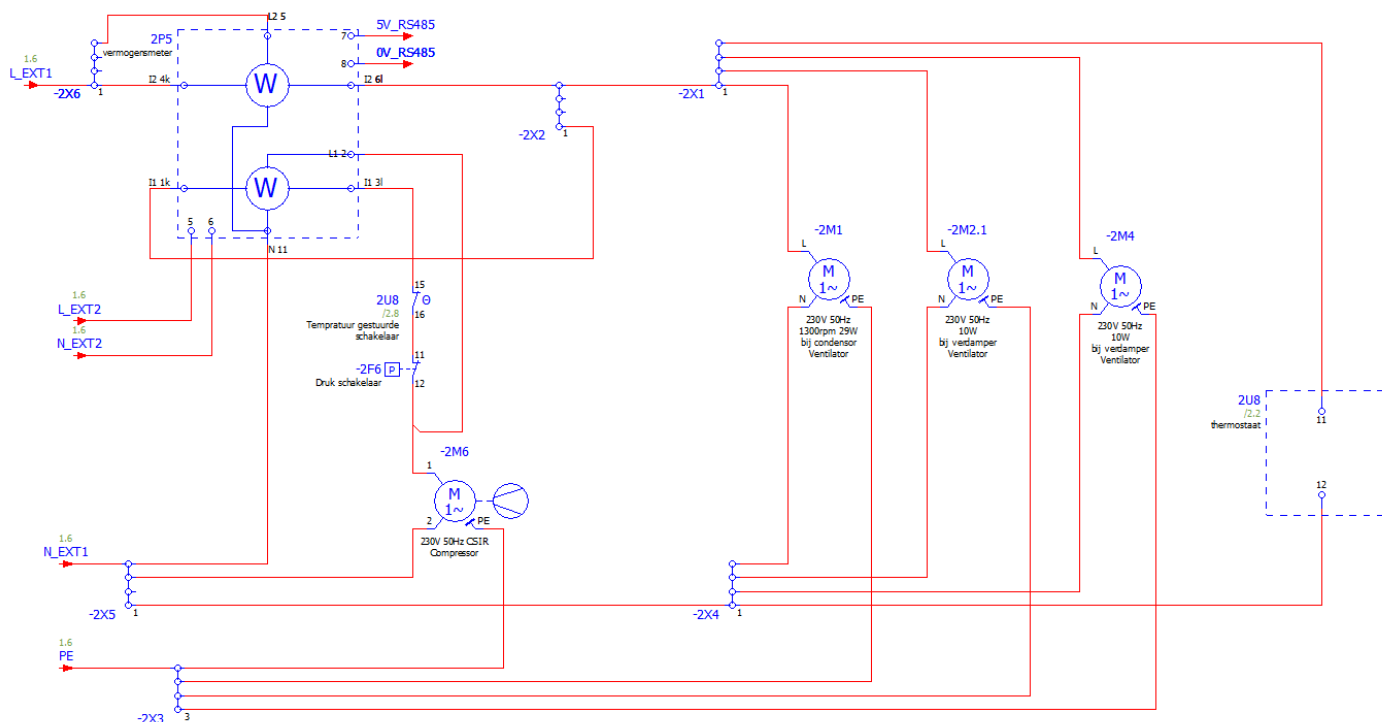
### 25.1. Voeding



Afb 39: voedings schema

De voeding bij ons elektrisch schema bestaat uit 2 stekkerkopp. Eén stekkerkop is met aarding, de andere zonder. Ze zijn bedoeld om alle twee in een stopcontact gestopt te worden van 230 V AC. De stekkerkop met aarding gaat naar de kring en degene zonder aarding is bedoeld als voeding voor de vermogensmeter. De pijlen staan voor de draad die doorloopt naar de volgende pagina.

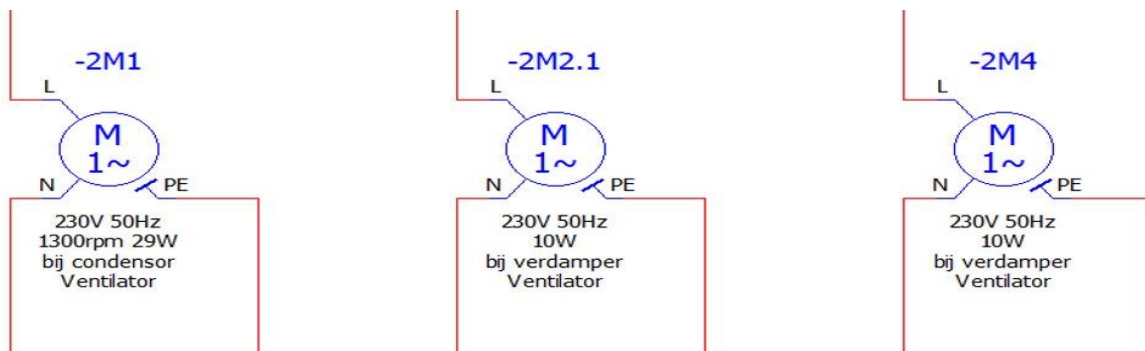
## 25.2. Vermogens en stuurkring



Afb 40: vermogens en stuurkring

Dit is onze kring: hier zie je onder andere onze ventilatoren, vermogensmeter en compressor. Zoals eerder besproken gebruiken we Waggo's om meerdere draden met elkaar te verbinden, deze staan hier ook getekend. Je ziet nu de pijlen die hier toekomen van de vorige pagina van de voeding en aarding.

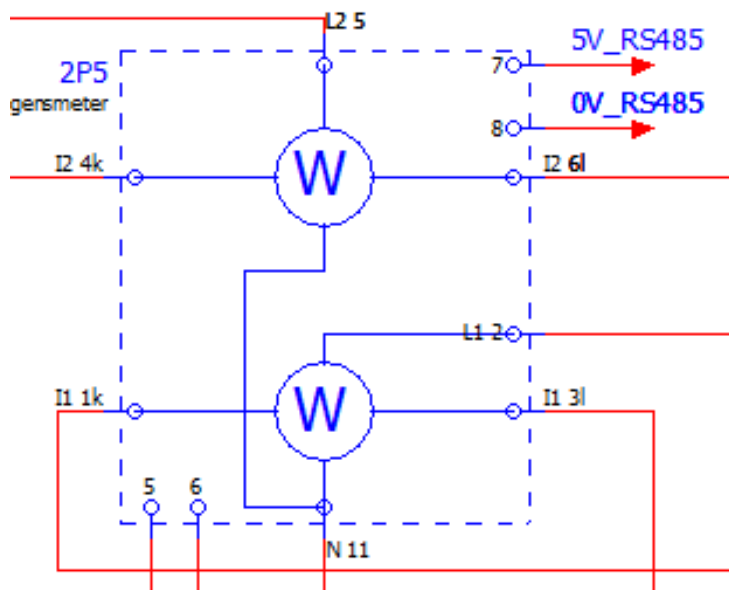
## 25.3. Ventilatoren



Afb 41: ventilatoren elektrisch

Dit zijn onze ventilatoren, we gebruiken er drie in onze opstelling: één ventilator bij de condensator, dus buiten de box en twee ventilatoren bij de verdamper, deze wel in de box. Ze werken allemaal op 50 Hz, 230 V en hebben alle drie een aarding. De ventilator bij de condensator heeft 29 W nodig en draait 1300 toeren per minuut. De ventilatoren bij de verdamper hebben elk 10 W nodig.

## 25.4. Vermogensmeter



Afb 42: vermogensmeter elektrisch

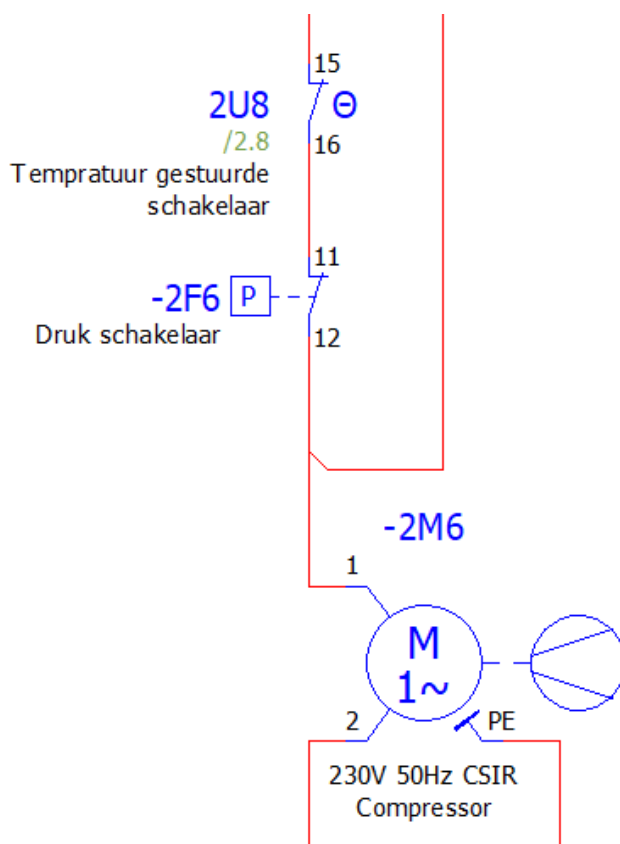
Onze vermogensmeter staat hier afgebeeld, deze meet je stroom en spanning, ook het actief en het reactief vermogen. Zij zal ook je arbeidsfactor en je frequentie meten. Je vermogensmeter kan al deze gegevens digitaal versturen, dit doen wij naar de Arduino waar we die omzetten naar data in een Excel-tabel. Je sluit deze vermogensmeter aan over je component, bij ons de compressor, om de spanning te meten. Je sluit hem ook ervoor of achteraan in serie zodat je de stroom erdoor kan meten. Je ziet dat hier op klem 5 en 6 de andere voeding aankomt.



We gebruiken deze vermogensmeter in onze opstelling om het vermogen van de compressor te meten door de stroom en spanning te meten. Ook meten we het vermogen van de totale opstelling, hierdoor kunnen we onder andere het elektrisch rendement van de opstelling bepalen. Dit hebben we gedaan bij een paar momentopnames als de opstelling aan het koelen was en we kwamen een elektrisch rendement uit van ongeveer 80%.

Pc	Ptot	$\eta$
188	236	0,797
187	235	0,796
183	231	0,792
184	232	0,793
185	233	0,794
188	236	0,797
190	238	0,798

## 25.5. Compressor en beveiliging



Afb 43: compressor en beveiliging elektrisch

Hier zie je de compressor en de beveiliging. We hebben een thermostaat, deze kan je handmatig instellen zodat je airco maar tot een bepaalde temperatuur koelt of verwarmt. Als hij deze temperatuur bereikt, zal de temperatuurgestuurde schakelaar uitschakelen en zal de compressor dus uitvallen. Er is ook een drukbeveiliging die zal uitschakelen bij over- of onderdruk. Tot slot heb je nog de compressor, die van ons werkt op 230 V, 50 Hz en is een CSIR. Condensator Start Inductie Run (CSIR) is een type enkelfasige inductiemotor waarin een condensator in serie is geschakeld om de wikkelingen te starten om het startkoppel te maximaliseren. Naarmate de motor op snelheid komt, verwijdert het relais de startwikkeling en de startcondensator, het circuit loopt dan alleen op de loopwikkeling zonder condensator.

## **26. Elektronische studie**

### **26.1. Temperatuursensor**

Voor onze metingen hebben we 5 temperatuursensoren gebruikt. Die sensoren zijn eigenlijk weerstandstemperatuursensoren die werken door de weerstand van een metaal te meten terwijl het wordt verwarmd of gekoeld. De weerstand van het metaal verandert afhankelijk van de temperatuur, dus door de weerstand te meten, kan de temperatuur worden bepaald.

### **26.2. Arduino Uno**

Een Arduino Uno is een microcontroller board dat kan worden gebruikt om elektronische apparaten aan te sturen. Het board bevat een microcontroller, die fungeert als de hersenen van de Arduino, evenals een aantal in- en uitgangspoorten die kunnen worden gebruikt om sensoren, schakelaars, LED's en andere componenten aan te sluiten. De Arduino Uno kan worden geprogrammeerd met behulp van de Arduino-programmeeromgeving, die een eenvoudige programmeertaal gebruikt om de microcontroller te vertellen wat te doen. Door de code te schrijven en te uploaden naar de Arduino, kunnen gebruikers hun eigen elektronische apparaten aansturen

## 26.3. Vermogensmeter

## 27. Wetenschappelijke studie

### 27.1. Berekening warmtestroom

We hebben de warmtestroom van het lokaal en van de proefopstelling berekend. De warmtestroom is de hoeveelheid warmte die door een muur stroomt in een bepaalde tijd, in watt. De berekening is opgedeeld in verschillende modules, elke module is voor een bepaalde compositie van de muur. In elke module maken we gebruik van de formule  $\Phi = \frac{A \cdot \Delta T}{R_t}$ . En  $R_t =$

$$R_{si} + R_{se} + \sum_{i=1}^n \frac{d_n}{\lambda_n}.$$

#### 27.1.1. Lokaal

Stenenmuur							
				$[(m^2 \cdot K)/W]$		$[(m^2 \cdot K)/W]$	
				$R_{si}$	0,13	$R_t$	0,68352941
	$[m]$		$[W/(m \cdot K)]$	$R_{se}$	0,13		
$d_1$	0,18	$\lambda_1$	0,425	$R_1$	0,423529412	$[m^2]$	
						A	58,02
						$[^{\circ}C]$	
						$T_i$	20
						$T_e$	35
						$[W]$	
						$\Phi$	1273,24441

Afb 44: Berekeningen stenenmuur

Dit is de warmtestroom door alle stenen muren in het lokaal.

<b>Kastwand</b>					
				$[(m^2 \cdot K)/W]$	$[(m^2 \cdot K)/W]$
				$R_{si}$	$R_t$
				0,13	0,63625
	[m]		$[W/(m \cdot K)]$	$R_{se}$	
				0,13	
$d_1$	0,025	$\lambda_1$	0,16	$R_1$	$[m^2]$
				0,15625	
$d_2$	0,012	$\lambda_2$	0,3	$R_2$	A
				0,04	74,86
				$R_3$	
				0,18	
					$[^\circ C]$
					$T_i$
					20
					$T_e$
					35
					$[W]$
					$\Phi$
					1764,8723

Afb 45: Berekeningen kastwand

Dit is de warmtestroom doorheen de twee kastwanden in het lokaal.

<b>Plafond (groot)</b>					
				$[(m^2 \cdot K)/W]$	$[(m^2 \cdot K)/W]$
				$R_{si}$	$R_t$
				0,1	0,79789474
	[m]		$[W/(m \cdot K)]$	$R_{se}$	
				0,04	
$d_1$	0,025	$\lambda_1$	0,038	$R_1$	$[m^2]$
				0,657894737	A
					89,07
					$[^\circ C]$
					$T_i$
					20
					$T_e$
					35
					$[W]$
					$\Phi$
					1674,469

Afb 46: Berekeningen plafond (groot)

Dit is de warmtestroom doorheen het hoogste plafond.

<b>Plafond (klein)</b>					
				$[(m^2 \cdot K)/W]$	$[(m^2 \cdot K)/W]$
				$R_{si}$	$R_t$
				0,1	1,43411765
	[m]		$[W/(m \cdot K)]$	$R_{se}$	
				0,04	
$d_1$	0,22	$\lambda_1$	0,17	$R_1$	$[m^2]$
				1,294117647	A
					10,85
					$[^\circ C]$
					$T_i$
					20
					$T_e$
					35
					$[W]$
					$\Phi$
					113,484413

Afb 47: Berekeningen plafond (klein)

Dit is de warmtestroom doorheen het laagste plafond.

<b>Ramen (buiten)</b>			
			$[(m^2 \cdot K)/W]$
		$R_{si}$	0,13
		$R_{se}$	0,04
		$R_1$	0,91
			$[(m^2 \cdot K)/W]$
		$R_t$	1,08
			$[m^2]$
		A	10,19
			$[^\circ C]$
		$T_i$	20
		$T_e$	35
			$[W]$
		$\Phi$	141,527778

Afb 48: Berekeningen ramen (buiten)

Dit is de warmtestroom doorheen de ramen in de buitenmuur.

<b>Ramen (binnen)</b>			
			$[(m^2 \cdot K)/W]$
		$R_{si}$	0,13
		$R_{se}$	0,13
		$R_1$	0,17
			$[(m^2 \cdot K)/W]$
		$R_t$	0,43
			$[m^2]$
		A	10,19
			$[^\circ C]$
		$T_i$	20
		$T_e$	35
			$[W]$
		$\Phi$	355,465116

Afb 49: Berekeningen ramen (binnen)

Dit is de warmtestroom doorheen de ramen in de binnenmuur.

<u>andere</u>			
			[(m <sup>2</sup> *K)/W]
		R <sub>si</sub>	0,13
		R <sub>se</sub>	0,13
<u>deuren</u>			
		R <sub>1</sub>	0,59
			[m <sup>2</sup> ]
		A	5,9
			[°C]
		T <sub>i</sub>	20
		T <sub>e</sub>	35
			[W]
		Φ	61,2130809

Afb 50: Berekeningen deuren

Dit is de warmtestroom doorheen de twee deuren in het lokaal.

<u>klein muurtje 1</u>			
			[(m <sup>2</sup> *K)/W]
		R <sub>si</sub>	0,13
		R <sub>se</sub>	0,04
		R <sub>1</sub>	0,423529412
		R <sub>2</sub>	0,00224
			[m <sup>2</sup> ]
		A	1,21
			[°C]
		T <sub>i</sub>	20
		T <sub>e</sub>	35
			[W]
		Φ	30,4648068

Afb 51: Berekeningen klein muurtje 1

Dit is de warmtestroom doorheen het muurtje waar de airco hangt.

<b>klein muurtje 2</b>					
				$[(m^2 \cdot K)/W]$	$[(m^2 \cdot K)/W]$
				$R_{si}$	$R_t$
				0,13	3,26
	$[m]$		$[W/(m \cdot K)]$	$R_{so}$	
				0,13	
$d_1$	0,18	$\lambda_1$	0,425	$R_1$	$[m^2]$
				3	A
					1,21
					$[^\circ C]$
					$T_i$
					20
					$T_e$
					35
					$[W]$
				$\Phi$	5,56748466

Afb 52: Berekeningen klein muurtje 2

Dit is de warmtestroom doorheen het muurtje naast de ruiten in de binnenmuur.

<b>Vloer</b>					
				$[(m^2 \cdot K)/W]$	$[(m^2 \cdot K)/W]$
				$R_{si}$	$R_t$
				0,13	2,69941176
	$[m]$		$[W/(m \cdot K)]$	$R_{so}$	
				0,04	
$d_1$	0,06	$\lambda_1$	0,025	$R_1$	$[m^2]$
$d_2$	0,22	$\lambda_2$	1,7	$R_2$	A
				0,129411765	99,92
					$[^\circ C]$
					$T_i$
					20
					$T_e$
					35
					$[W]$
				$\Phi$	555,232077

Afb 53: Berekeningen vloer

Dit is de warmtestroom doorheen de vloer.

<b>extra warmte bron</b>			
	$[W]$		$[ ]$
$\Phi/pp$	125	# personen	15
			$\Phi$
			1875

Afb 54: Berekeningen extra warmte bronnen

Dit zijn de extra warmtebronnen in het lokaal, hier zijn dat mensen.

Met deze berekeningen komen we aan een totale warmtestroom van 7,85 kW.

<b>totale warmtestroom</b>	
	[W]
$\Phi_t$	7850,54

Afb 55: Totale warmtestroom

### 27.1.2. Proefopstelling

De proefopstelling kunnen we vergroten of verkleinen, daarom hebben we twee berekeningen. Één voor de grote opstelling met een warmtestroom van 47,5 W.

					$[(m^2 \cdot K)/W]$		$[(m^2 \cdot K)/W]$	
					$R_{si}$	0,13	$R_t$	0,958368298
	[m]				$R_{se}$	0,13		
$d_1$	0,012	$\lambda_1$	0,13		$R_1$	0,092307692		$[m^2]$
$d_2$	0,02		0,033			0,606060606	A	3,5
								$[^\circ C]$
							$T_i$	5
							$T_e$	18
								$[W]$
							$\Phi$	47,47652868

Afb 56: Berekeningen grote proefopstelling

En één voor de kleine opstelling met een warmtestroom van 22,4 W.

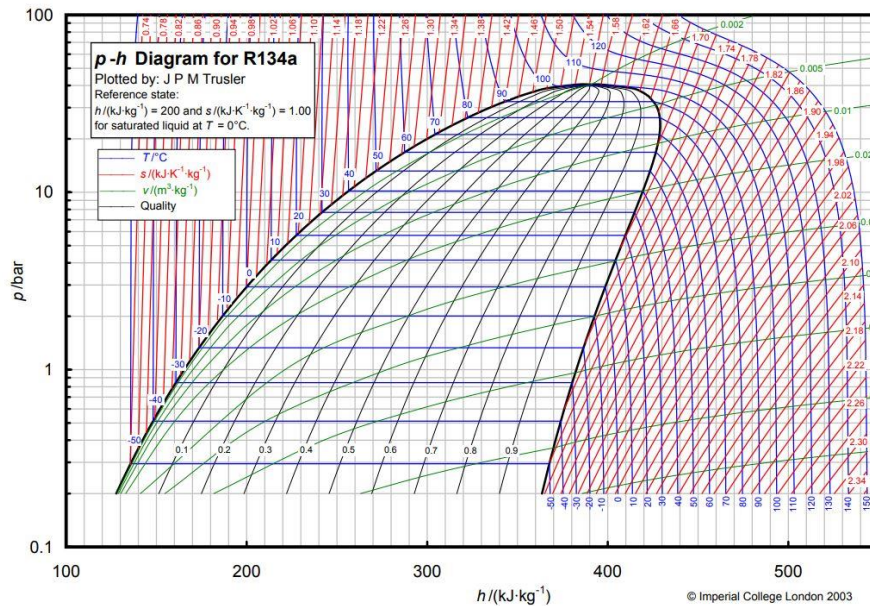
					$[(m^2 \cdot K)/W]$		$[(m^2 \cdot K)/W]$	
					$R_{si}$	0,13	$R_t$	0,958368298
	[m]				$R_{se}$	0,13		
$d_1$	0,012	$\lambda_1$	0,13		$R_1$	0,092307692		$[m^2]$
$d_2$	0,02		0,033			0,606060606	A	1,65
								$[^\circ C]$
							$T_i$	5
							$T_e$	18
								$[W]$
							$\Phi$	22,38179209

Afb 57: Berekeningen kleine proefopstelling

## 27.2. Log p,H uitgewerkt



Nu willen we ook natuurlijk de grafieken die bij onze proefopstelling horen, tekenen. We starten met het logaritmische druk-enthalpiediagram omdat dit het gemakkelijkste diagram is om te maken omdat je alleen meetwaarden nodig hebt. We starten eerst met een log p,h-diagram van ons koelmiddel (R134a) van het internet te halen. Dit hebben we namelijk nodig om ons systeem erop uit te tekenen.



Afb 58: Log ph-diagram

Via de vooraf geïnstalleerde manometers kunnen we de drukken aflezen voor de ingang van de compressor en na het verlaten van de condensor. We kunnen hierbij ook de theoretisch overeenkomstige temperaturen aflezen. Deze mogen dus niet letterlijk afgelezen worden want je moet kijken waar de manometer de druk meet. Uit de datasheets van onze koelinstallatie kunnen we de onderkoeling (3K) en oververhitting (10K) halen. Voor deze datasheets: zie bijlagendossier.

<b>AET4425YHR-FZ</b>	Tension FZ : 220 - 240V 1~ 50 Hz	R134a	N°513E-FZ	Ind a
Les performances sont données dans les conditions EN 13215 :		Gaz aspirés :	20°C	
		Sous refroidissement :	3°K	
The performance data are in EN 13215 conditions :		Return gas :	20°C	
		Subcooling :	3°K	

© Tecumseh Europe

Afb 59: Datasheets

## General

Model	AE4425Y-FZ1A	Unit of Measure	Celsius
Condition	EN12900(R-134a)	Voltage/Frequency	220V ~ 50HZ
RETURN GAS	10K (18°F) SUPERHEAT	MotorType	CSIR

*Afb 60: Datasheets*

Dit betekent dus dat we de afgelezen temperatuur op de manometer aan de hogedrukzijde (aan condensoruitgang) nog eens moeten verminderen met 3°C en de afgelezen temperatuur aan de lagedrukzijde (voor de compressor) moeten vermeerderen met 10 °C. Op onderstaande afbeeldingen kun je de afgelezen drukken en temperaturen lezen. De blauwe lijn stelt de temperaturen van R134a voor.

Merk op dat deze overeenkomstige druk en temperatuur alleen geldt in het tweefasegebied zoals in vorig hoofdstuk vermeld. Voor de berekeningen is het wel belangrijk dat we de drukken in absolute waarde zetten. De drukken af te lezen op de manometers zijn relatief. Dit betekent dat de luchtdruk er niet is bijgeteld. Om van relatief naar absolute drukken te gaan doe je simpelweg +1 bar.

*Afb 61: Drukmeter*



Afb 62: Drukmeter

Op manometer 1 lezen we een druk af van ongeveer 7.3 bar en voor een meer precieze bijhorende temperatuur maakten we gebruik van de app Ref Tools van Danfoss. Hieruit kregen we een temperatuur van 32.63°C bij een absolute druk van 8.3 bar. Op manometer 2 lezen we een druk af van ongeveer 1.4 bar. Dit wordt 2.4 bar absoluut. De bijhorende temperatuur is – 5.37°C. Rekening houdend met de plaats in het systeem van de manometers doen we de temperatuur van 32.63°C min de onderkoeling van 3 K. Deze wordt dan 29.63°C. We doen ook de temperatuur van –5.37°C plus de oververhitting van 10 K waardoor we een temperatuur van 4.63°C verkrijgen.

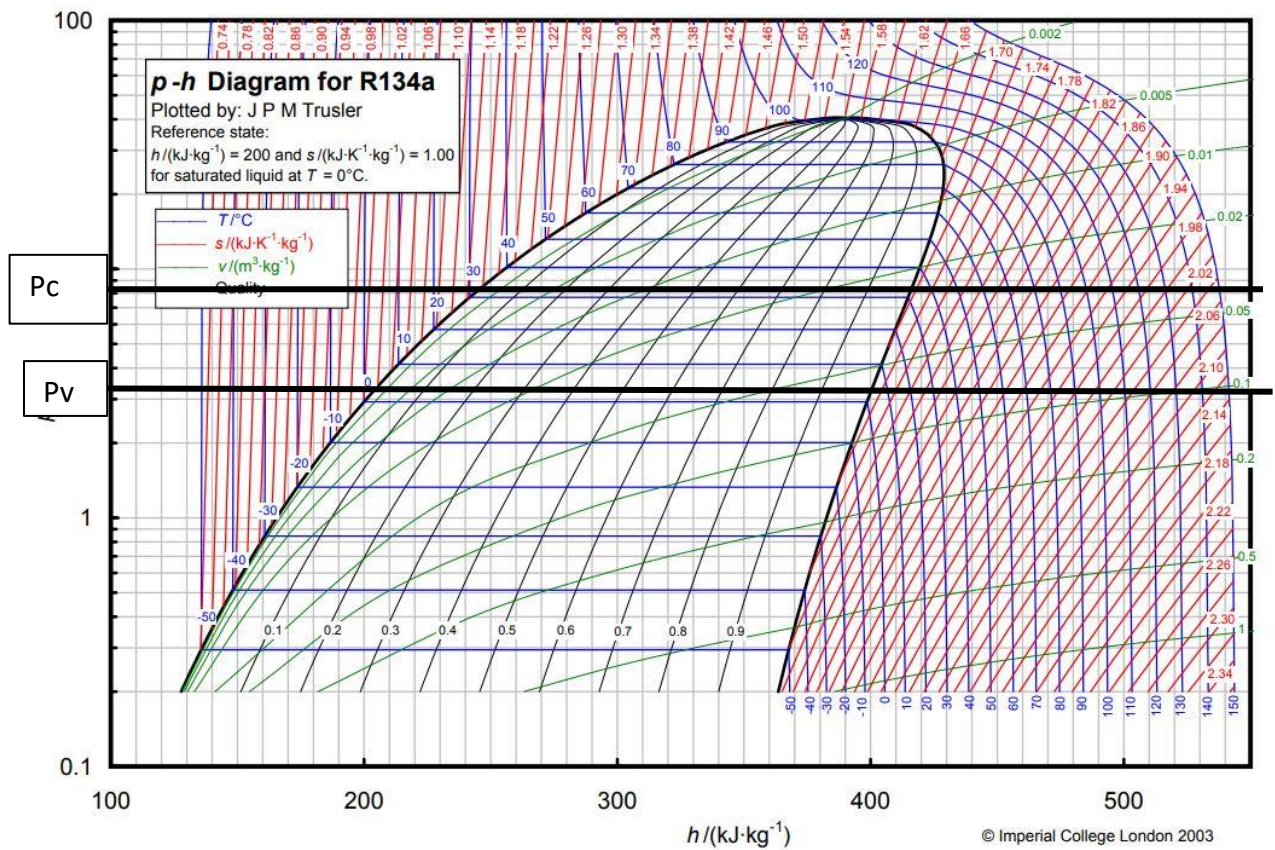
Via een damptabel van R134a kunnen we nu de bijbehorende enthalpieën aflezen.

Temperatuur °C	Druk bar	Dichtheid kg/m <sup>3</sup>		Enthalpie kJ/kg		Entropie J/kg·K	
		vloeistof	gasvormig	vloeistof	gasvormig	vloeistof	gasvormig
1,0	3,036	1291,5	14,94	201,34	399,19	1,0049	1,7265
2,0	3,146	1288,1	15,47	202,69	399,77	1,0098	1,7260
3,0	3,260	1284,8	16,01	204,04	400,34	1,0146	1,7255
4,0	3,377	1281,4	16,56	205,40	400,92	1,0195	1,7250
5,0	3,497	1278,1	17,13	206,75	401,49	1,0243	1,7245
6,0	3,620	1274,7	17,72	208,11	402,06	1,0292	1,7240
7,0	3,746	1271,3	18,32	209,47	402,63	1,0340	1,7235
8,0	3,876	1267,9	18,94	210,84	403,20	1,0388	1,7230
9,0	4,009	1264,4	19,57	212,21	403,76	1,0437	1,7226
10,0	4,146	1261,0	20,23	213,58	404,32	1,0485	1,7221
11,0	4,286	1257,5	20,90	214,95	404,87	1,0533	1,7217
12,0	4,430	1254,0	21,58	216,33	405,43	1,0581	1,7212
13,0	4,578	1250,5	22,29	217,71	405,98	1,0629	1,7208
14,0	4,729	1246,9	23,02	219,09	406,53	1,0677	1,7204
15,0	4,884	1243,4	23,76	220,48	407,07	1,0724	1,7200
16,0	5,043	1239,8	24,52	221,87	407,61	1,0772	1,7196
17,0	5,205	1236,2	25,31	223,26	408,15	1,0820	1,7192
18,0	5,372	1232,6	26,11	224,66	408,69	1,0867	1,7188
19,0	5,542	1229,0	26,93	226,06	409,22	1,0915	1,7184
20,0	5,717	1225,3	27,78	227,47	409,75	1,0962	1,7180
21,0	5,896	1221,7	28,65	228,88	410,27	1,1010	1,7177
22,0	6,079	1218,0	29,54	230,29	410,79	1,1057	1,7173
23,0	6,266	1214,2	30,45	231,70	411,31	1,1105	1,7169
24,0	6,458	1210,5	31,39	233,12	411,82	1,1152	1,7166
25,0	6,654	1206,7	32,35	234,55	412,33	1,1199	1,7162
26,0	6,854	1202,9	33,34	235,97	412,84	1,1246	1,7159
27,0	7,059	1199,1	34,35	237,40	413,34	1,1294	1,7155
28,0	7,269	1195,2	35,38	238,84	413,84	1,1341	1,7152
29,0	7,483	1191,4	36,45	240,28	414,33	1,1388	1,7148
30,0	7,702	1187,5	37,54	241,72	414,82	1,1435	1,7145
31,0	7,926	1183,5	38,65	243,17	415,00	1,1482	1,7141
32,0	8,154	1179,6	39,80	244,62	415,78	1,1529	1,7138
33,0	8,388	1175,6	40,97	246,08	416,25	1,1576	1,7135
34,0	8,626	1171,6	42,18	247,54	416,72	1,1623	1,7131
35,0	8,870	1167,5	43,42	249,01	417,19	1,1670	1,7128
36,0	9,119	1163,4	44,68	250,48	417,65	1,1717	1,7124

Afb 63: Damptabel

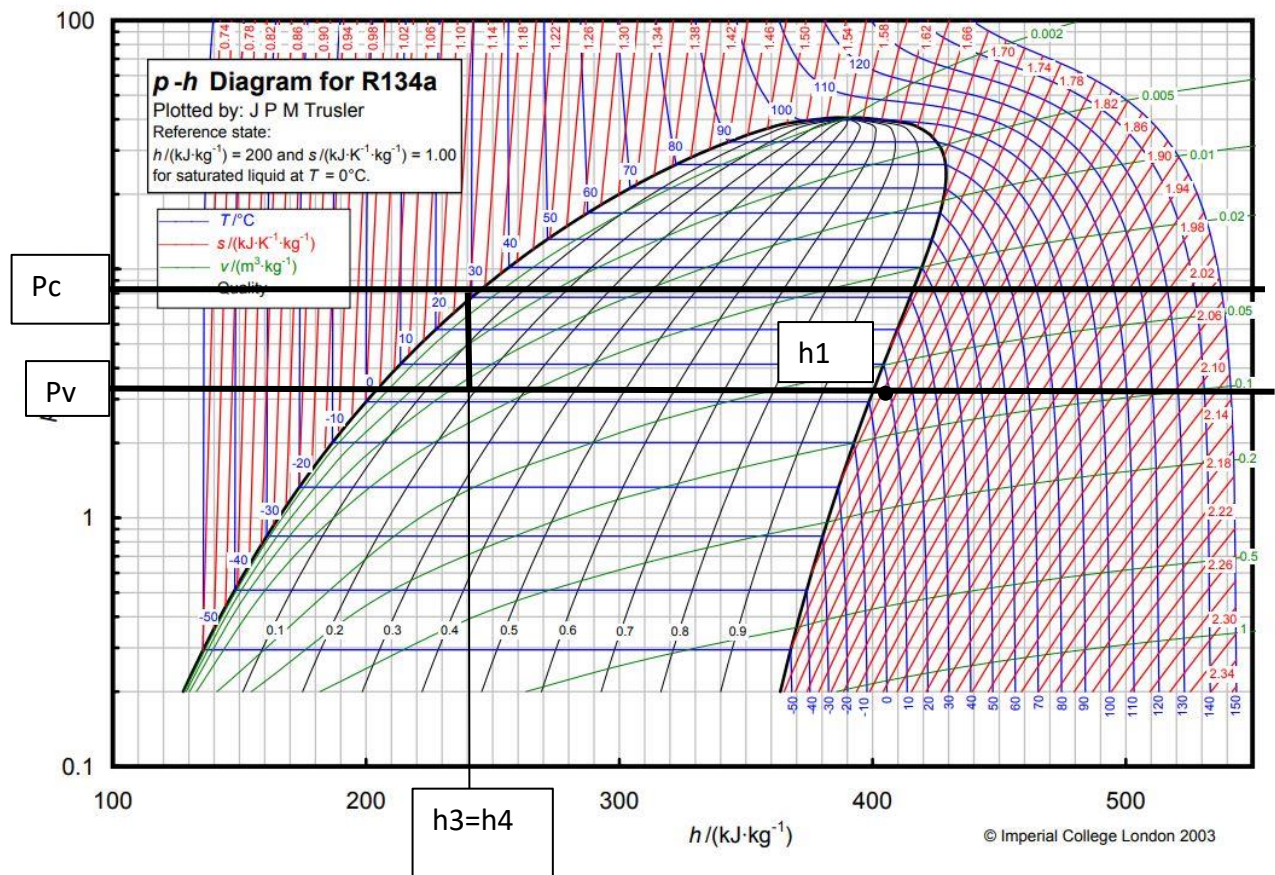
Voor een temperatuur van 4.63°C lezen we een enthalpie van 400.92 kJ/kg. Het is belangrijk om naar de kolom van de gasvormige toestand te kijken omdat het koelmiddel voor de ingang van de compressor gasvormig is. Anderzijds lezen we voor een temperatuur van 29.63°C een enthalpie van 240 kJ/kg af. Het koelmiddel is na het uittreden van de condensor een vloeistof.

We starten met de drukken uit te tekenen op het diagram.



Afb 64: p-h Diagram voor R135a

Wanneer we  $h_1$  vastleggen als de enthalpie van het koelmiddel aan de ingang van de compressor en het kringproces negatief verloopt, dus linksdraaiend is, kunnen we stellen dat  $h_3 = h_4$  omdat zoals in de theorie is vermeld dat de expansie van het koelmiddel isentropisch gebeurt. Uit deze redeneringen kunnen we  $h_1$ ,  $h_3$  en  $h_4$  uitzetten op het diagram.



Afb 65: p-h Diagram voor R134a

Het bepalen van  $h_2$  is veel lastiger omdat deze buiten het tweefasegebied ligt en de temperatuur en druk daar niet meer evenredig lopen. Een manier om dit te bepalen is via de formule van het isentropisch rendement van een compressor.

Deze formule  $\eta_c = (T_{2\text{ideaal}} - T_1) / (T_2 - T_1)$  met  $T_2$  = temperatuur aan de uitgang van de compressor en  $T_1$  = temperatuur aan de ingang van de compressor.  $T_{2\text{ideaal}}$  kan je berekenen door middel van de 3de wet van Poisson voor adiabaten:  $T^k/p^{k-1} = \text{cte}$ .

Het probleem hierbij is dat  $T_1$  en  $T_2$  moeten gemeten worden en wij hiervoor niet het juiste materiaal hadden. Daarom hebben we gebruik gemaakt van de app Coolselector2 en daar alle waardes ingevuld van onze koelinstallatie. Dit was dan ook direct een controle of onze voorgaande uitwerking klopte.



Coolselector@2. Version 5.2.6 | Database 99. Screen Dump 27/05/2023 16:36

Operating conditions

Capacity:	Evaporation:	Condensation:	Additional:
Cooling capacity: 0,658 kW	Pressure (a): 2,400 bar	Pressure (a): 8,300 bar	Discharge temperature: 56,3 °C
Mass flow in line: 14,59 kg/h	Useful superheat: 10,0 K	Subcooling: 3,0 K	
Heating capacity: 0,810 kW	Additional superheat: 0 K	Additional subcooling: 0 K	

Selection criteria:

Load: 100 %

Distributor pressure drop: 0 bar

Liquid line (Dry expansion system, R134a, TXV).

Performance curve | **Performance details** | Code number selection | Notes

**System diagram** All values are calculated based on the given operating conditions. Any increase or decrease in mass flow caused by junctions is not considered.

System details  
Mass flow in evaporator: 14,59 kg/h

Point	Description	Temperature [°C]	Pressure (a) [bar]	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Enthalpy [kJ/kg]	Entropy [kJ/(kg·K)]
1	Compressor suction	4,6	2,400	11,36	404,1	1,762
2	Compressor discharge (estimated)	56,3	8,300	35,44	441,6	1,794
2s	Condensation dew point	32,6	8,300	40,53	416,6	1,715
3s	Condensation bubble point	32,6	8,300	1178	246,2	1,158
3a	Condenser out	29,6	8,300	1190	241,8	1,144
3	Including additional subcooling	29,6	8,300	1190	241,8	1,144
4	After expansion valve	-5,4	2,400	47,87	241,8	1,156
4s	Evaporation bubble point	-5,4	2,400	1313	192,7	0,9733
1s	Evaporation dew point	-5,4	2,400	11,92	395,4	1,73
1a	Evaporator out	4,6	2,400	11,36	404,1	1,762

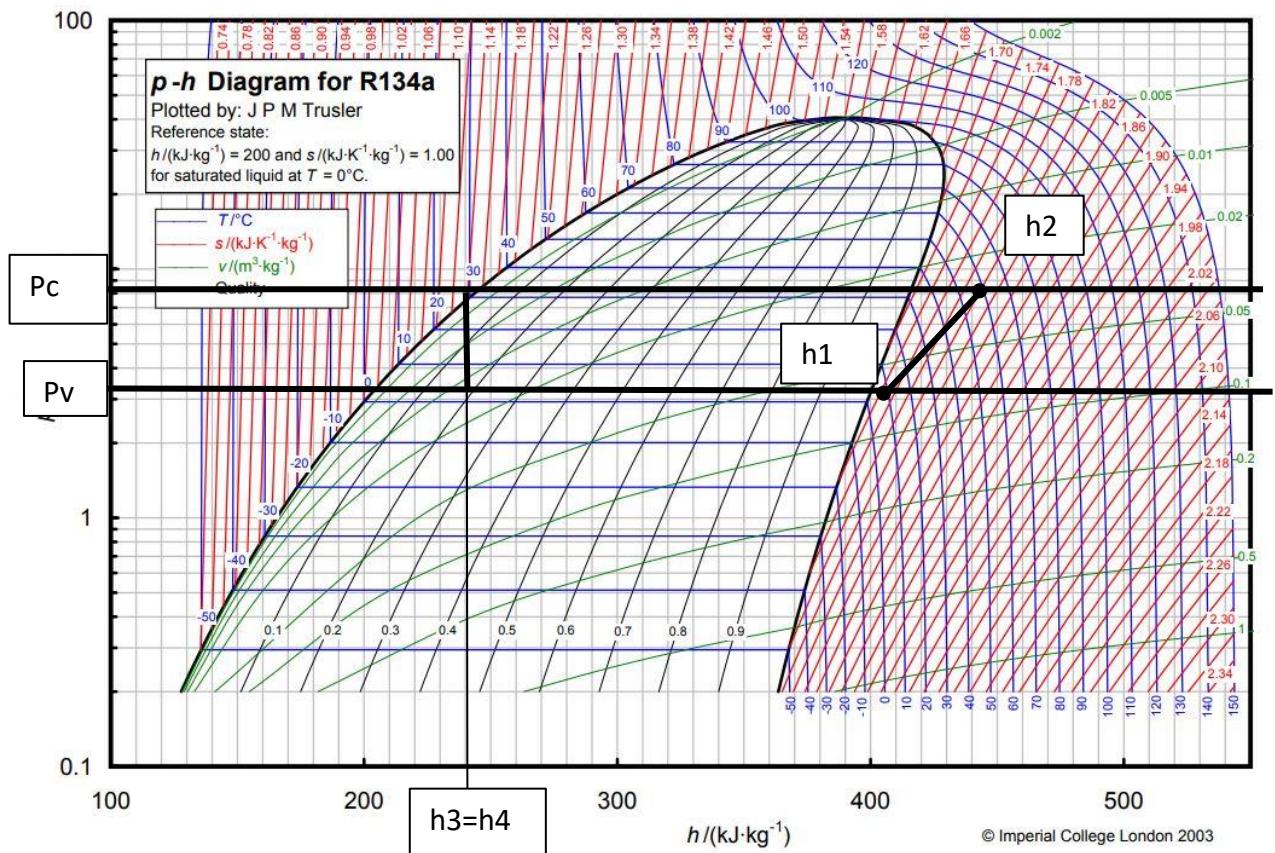
Afb 66: log(p)-h diagram op Coolselector2

Hieruit konden we de temperatuur aan de uitgang van de compressor halen en deze is 56.3°C met een enthalpie van 441.6 kJ/kg. Wanneer we nu het isentropisch rendement van de compressor berekenen met  $k = 1.12$  krijgen we een rendement van 77.80%.

					tussenberekening			
T1:	T2 (werkelijk):	p1 (+1bar zelf):	p2 (+1bar zelf):	k:		T2' (K) =	T2' (°C) =	ηc (%) =
5,4	56,3	2,4	8,3	1,12	318,1551055	318,1551	45,00511	77,80964
278,55	329,45				0,778096375			

Afb 67: Berekeningen isentropisch rendement

Bij het uittekenen van deze waarde krijgen we volgend afgewerkt log p,H-diagram.



Afb 68: p-h Diagram voor R134a

Hieruit kunnen we de COP-waarde berekenen van onze opstelling bij een koelkamertemperatuur van  $0.5^{\circ}\text{C}$  en een omgevingstemperatuur van  $23^{\circ}\text{C}$  in de kleine box. COP is de afgevoerde warmte delen door de compressorenergie. Concreet is dit dus  $\text{COP} = (h_1 - h_4) / (h_2 - h_1)$ . Bij het invullen van de waarden van het programma (om extra correct te zijn) Coolselector2 vinden we:  $(404.1 - 241.8) / (441.6 - 404.1) = 4.33$ , wat een realistische COP-waarde is.

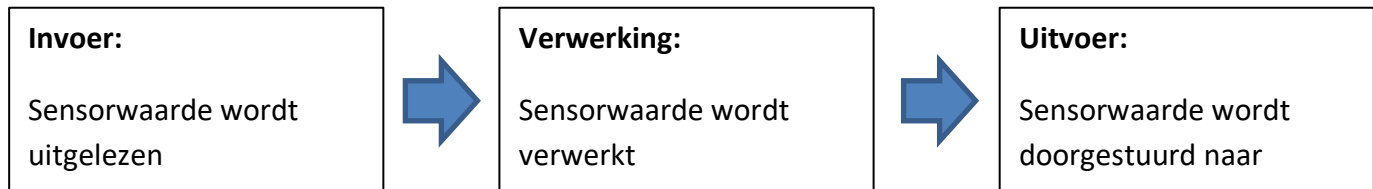
Wanneer we nu de efficiëntie van het ideale Carnot-proces berekenen voor onze airco via de formule:  $\epsilon_c = T_k / (T_0 - T_k)$  met  $T_k$  = temperatuur in de koelruimte in Kelvin en  $T_0$  = temperatuur van de buitenlucht in Kelvin. Na invulling vinden we:  $(0.5 + 273.15) / ((23 + 273.15) - (0.5 + 273.15)) = 12.16$ . Dit zou het ideale COP moeten zijn als dit proces via een Carnot-proces verloopt.

Om het rendement te vinden van ons systeem delen we simpelweg onze COP door de efficiëntie van het Carnot-proces. Dan krijgen we  $4.33 / 12.16 = 0.353$ . Dit betekent dus dat we een COP hebben van 433% en een rendement van 35.3%.



## 28. ICT-studie

### 28.1. Blokschema



### 28.2. Programma

```

#define RxD 8 //wire between ESP and RO
#define TxD 9 //wire between ESP and DI
#define ENA 10 //wire between ESP and DE+RE
#define ONE_WIRE_BUS 2
#define SER_DBG_MAIN false //set to false if you want to connect to EXCEL
//set to true if you want to show the values on the serial monitor
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include "src/a2000/a2000.h"

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

DallasTemperature sensors(&oneWire);

int i = 0; // zelf bijgezet
A2000 meter; //create class meter of type A2000
struct readings *p_data; //create a pointer to the data of the meter

uint32_t lastPrintMillis;
|
  
```

Afb 69: Deel1 programma

Dit deel van het programma is om alle variabelen te definiëren. De RxD, TxD en ENA is om onze vermogensmeter te gebruiken, we plaatsen ze op de pinnen 8, 9 en 10.

We gebruiken ook een bibliotheek die we moesten downloaden, die gebruiken we voor onze temperatuursensoren.

Als je aan het meten bent en de temperaturen in je Excelbestand kloppen niet, bv. als je normaal rond de 20°C moet meten en je meet -300°C, dan moet je de SER\_DBG\_MAIN op "true" zetten, je zal dan niet meer in je Excelbestand moeten kijken, maar in de seriële monitor

die te vinden is in het programma Arduino zelf. Als de waarden nu wel kloppen, dan is er een probleem met je Excelbestand of met het doorsturen ernaar. Kloppen de waarden weer niet, dan zal er een probleem zijn met je sensoren of met de aansluitingen ervan.

```
void setup() {  
  
#if defined SER_DBG_MAIN && SER_DBG_MAIN == true  
  Serial.begin(115200); //set to speed you setup in serial monitor  
  Serial.println("A2000 demo on Arduino UNO");  
#else  
  Serial.begin(9600); //set to speed you setup in PLC_DAQ  
  Serial.println("CLEARSHEET"); //zelf bijgezet  
  Serial.println("LABEL, Datum, Tijd, TempBinnen1, TempBinnen2, TempBinnen3, TempBinnen4, GemTempBinnen, U, I, E, Q, S, PF, Utot, Itot, Ptot, Qtot, Stot, PFtot, Freq");  
#endif  
  meter.setupPins(TxD, RxD, ENA);  
  p_data = meter.begin(); //start the measurement, get a pointer to the data  
  sensors.begin();  
}
```

#### *Afb 70: Deel2 programma*

Als je SER\_DBG\_MAIN op "true" staat, dan zal alle informatie doorgestuurd worden met een snelheid van 115200 bits per seconde, dit is voor in je seriële monitor. Staat de seriële monitor niet op 115200, dan zal hij rare tekens geven of zal hij niets doorgeven.

Staat hij op "false" dan zal het doorgestuurd worden naar je Excelblad, je Excelblad moet dan op 9600 staan.

```

void loop() {
  //don't delay the loop, otherwise incoming data will not be

#if defined SER_DBG_MAIN && SER_DBG_MAIN == true
  if ((lastPrintMillis + 3000) < millis()) {
    //print the values when 3 seconds have passed
    //calculate time difference between measurement and now
    float deltaT = millis() - p_data->lastReading;
    deltaT /= 1000;
    Serial.print("Data aged ");
    Serial.print(deltaT, 2);
    Serial.print(" seconds ago:\r\n\t U:");
    Serial.print(p_data->phase[0].U, 2);
    Serial.print("V, I:");
    Serial.print(p_data->phase[0].I, 2);
    Serial.print("A, P:");
    Serial.print(p_data->phase[0].P, 2);
    Serial.print("W, Q:");
    Serial.print(p_data->phase[0].Q, 2);
    Serial.print("VAr, PF:");
    Serial.print(p_data->phase[0].PF, 2);
    Serial.print(", freq:");
    Serial.println(p_data->frequency, 2);
    //update last print time
    lastPrintMillis = millis();
  }
}

```

*Afb 71: Deel3 programma*

Hier worden alle gegevens doorgestuurd naar de seriële monitor.

```

#else
  if ((lastPrintMillis + 1000) < millis()) {
    sensors.requestTemperatures();
    Serial.print("DATA,DATE,TIME,");
    Serial.print("AUTOSCROLL_20,");
    Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0));
    Serial.print(" Celsius");
    Serial.print(",");
    Serial.print(sensors.getTempCByIndex(1));
    Serial.print(" Celsius");
    Serial.print(",");
    Serial.print(sensors.getTempCByIndex(2));
    Serial.print(" Celsius");
    Serial.print(",");
    Serial.print(sensors.getTempCByIndex(3));
    Serial.print(" Celsius");
    Serial.print(",");
    Serial.print(sensors.getTempCByIndex(4));
    Serial.print(" Celsius");
    Serial.print(",");
    Serial.print((sensors.getTempCByIndex(0)+sensors.getTempCByIndex(1)+sensors.getTempCByIndex(2)+sensors.getTempCByIndex(4))/4);
    Serial.print(" Celsius");
    Serial.print(",");
    Serial.print(p_data->phase[0].U, 2);
    Serial.print(",");
    Serial.print(p_data->phase[0].I, 2);
    Serial.print(",");
    Serial.print(p_data->phase[0].P, 2);
    Serial.print(",");
    Serial.print(p_data->phase[0].Q, 2);
    Serial.print(",");
    Serial.print(p_data->phase[0].S, 2);

```

*Afb 72: Deel4 programma*

```
Serial.print(",");
Serial.print(p_data->phase[0].PF, 2);
Serial.print(",");
Serial.print(p_data->phase[1].U, 2);
Serial.print(",");
Serial.print(p_data->phase[1].I, 2);
Serial.print(",");
Serial.print(p_data->phase[1].P, 2);
Serial.print(",");
Serial.print(p_data->phase[1].Q, 2);
Serial.print(",");
Serial.print(p_data->phase[1].S, 2);
Serial.print(",");
Serial.print(p_data->phase[1].PF, 2);
Serial.print(",");
Serial.println(p_data->frequency, 2);
//update last print time
lastPrintMillis = millis();
}
#endif

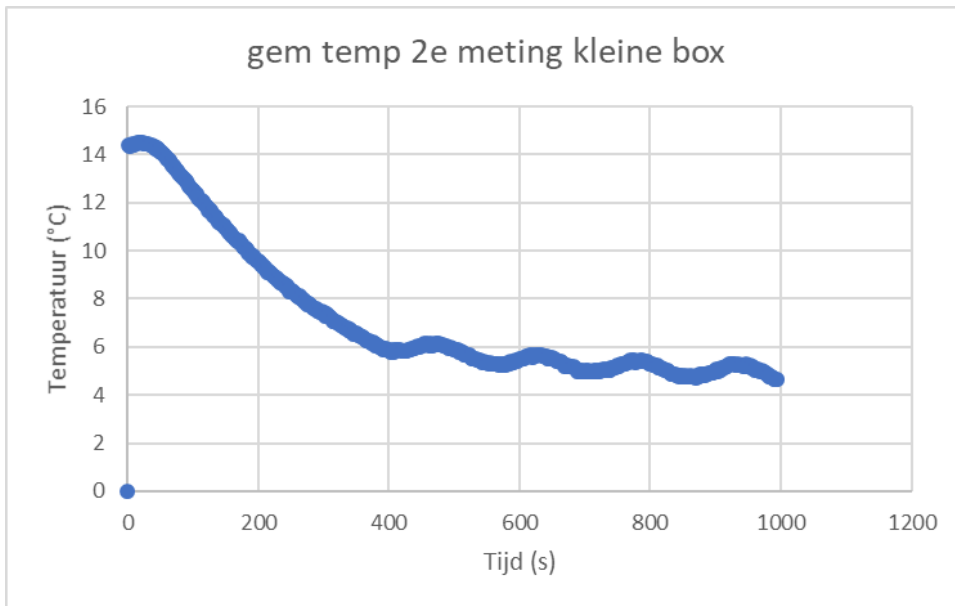
meter.worker();
}
```

#### *Afb 73: Deel5 programma*

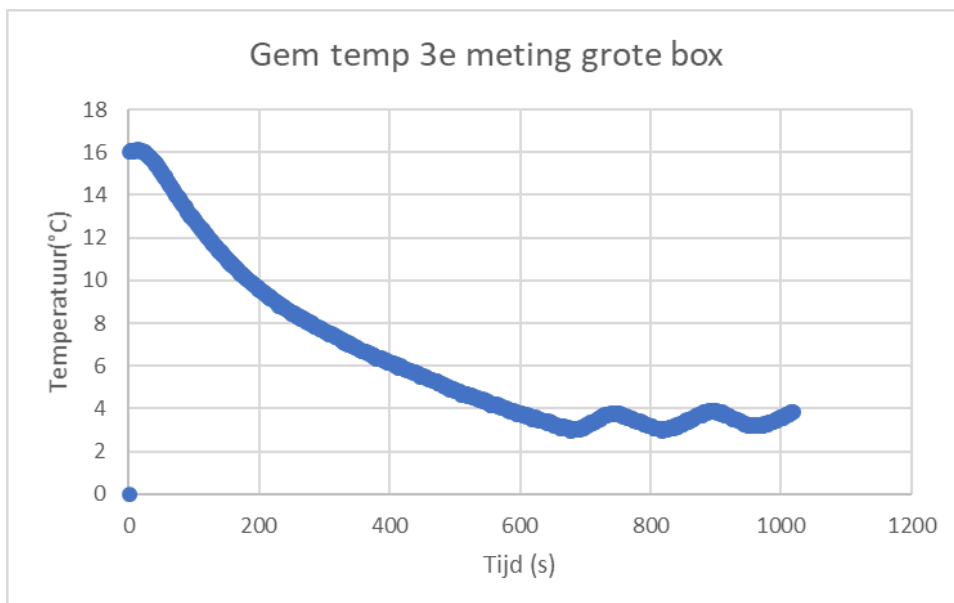
Hier worden alle gegevens door gestuurd naar het Excelblad, alles kan dan in grafieken gezet worden.

## 29. Meeting proefopstelling

Dit zijn twee van de vele metingen die we gedaan hebben. We hebben in onze thermostaat een temperatuur ingegeven die we willen bekomen. Als die gewenste temperatuur is bekomen, zal de airco uitslaan, dat kun je waarnemen door de tandjes die gevormd worden op de grafiek. Als we de temperatuur van een box met een bepaald volume meten en we doen hetzelfde met een box waarvan het volume dubbel zo groot is, kunnen we waarnemen dat het dubbel zo lang duurt om de gewenste temperatuur te bereiken met de box die dubbel zo groot is. Wat we ook kunnen waarnemen, is dat de temperatuurdaling vermindert, hoe dichter je bent bij de gewenste temperatuur, dus de richtingscoëfficiënt daalt. Om van 14 naar 10 graden te gaan duurt het ongeveer 100 seconden, maar om van 10 naar 6 graden te gaan duurt het ongeveer 200 seconden.

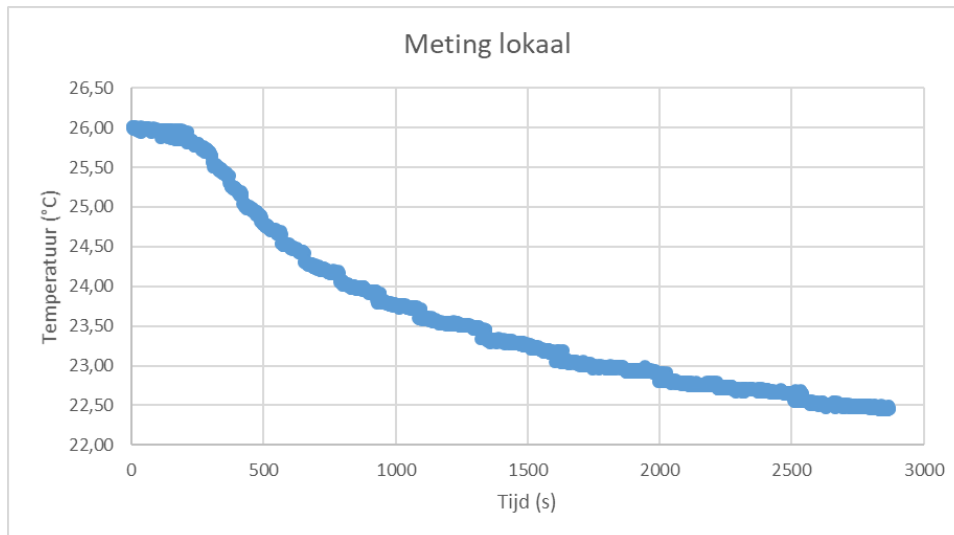


Afb 74: Grafiek 2e meting van de kleine box



Afb 75: Grafiek 3e meting van de grote box

### 30. Meting lokaal



Afb 76: Grafiek meting in het lokaal met de grote airco

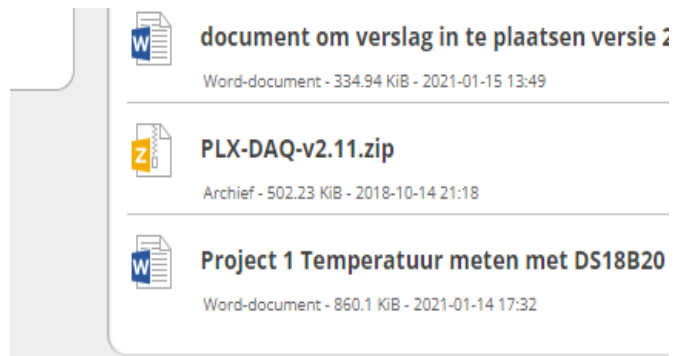
Dit is een meting die we hebben gedaan in het lokaal, we hebben dit een beetje op dezelfde manier gedaan als in de proefopstelling, maar natuurlijk aangepast aan dit lokaal. We werkten met 5 temperatuursensoren verspreid over het lokaal waar we de gemiddelde temperatuur van namen. Deze hebben we in de grafiek gestopt in functie van de tijd. In deze grafiek kan je heel duidelijk zien dat het heel lang duurt om een grote ruimte op te warmen, zelfs met een betere airco. We hebben de airco ingesteld op 18°C en hebben hem 1h en 1min laten werken, de gemiddelde temperatuur was hierna met 3,5°C gezakt.

### 31. Handleiding proefopstelling

Benodigheden: laptop, juiste Excelbestand, Arduinoprogramma

Stap 1: Je start het programma van Arduino op, en je zorgt dat alles goed staat ingesteld.

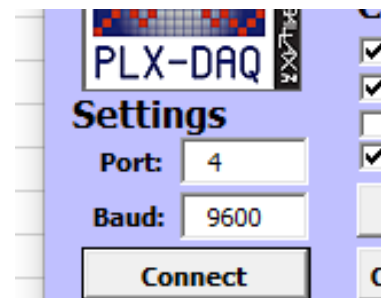
Stap 2: nu download je het Exceldocument op dat normaal gezien op smartschool staat bij het vak van meneer Werckbrouck “PLX-DAQ-v2.11.zip” en dan start je het bestand. Vergeet zeker niet om de map uit te pakken.



Afb 77: smartschool

Stap 3: Je start het programma en controleert op welke COM hij staat, want die heb je nodig om de macro te starten.

Stap 4: Je gaat terug naar het Excelbestand en vult de juiste COM bij het dashboard in.

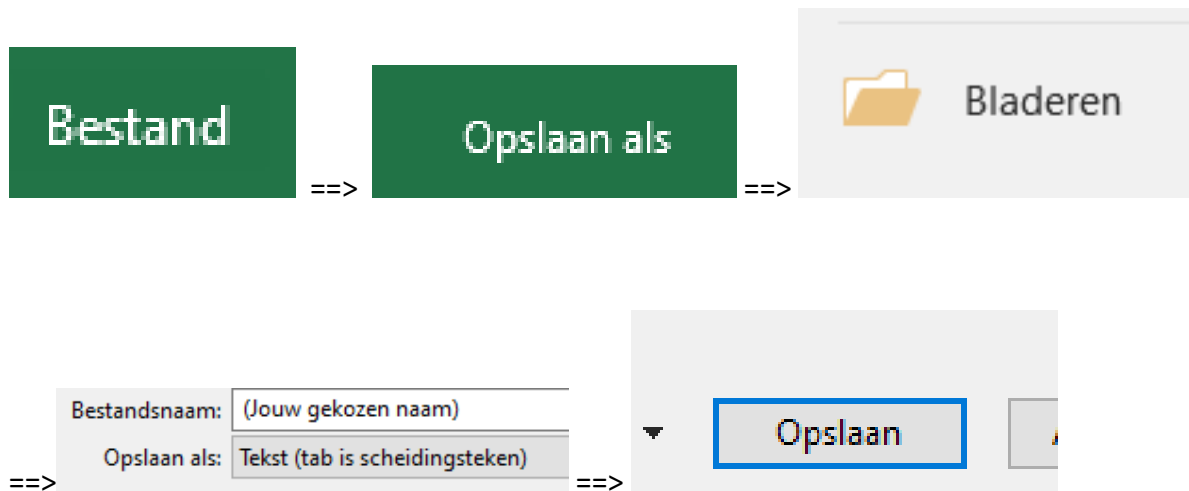


Afb 78: macro op excel document

Stap 5: Het enige wat je nu nog moet doen is op connect drukken en je zult je waarden inlezen.

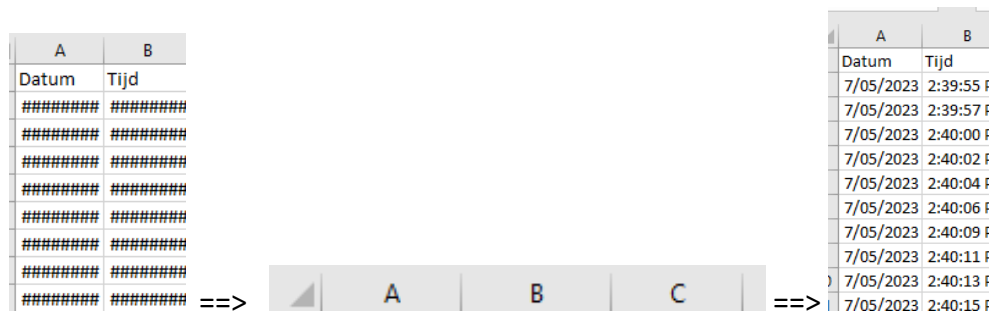
Stap 6: Als je klaar bent met meten druk je op disconnect en normaal zal de macro nu stoppen met gegevens in te lezen.

Stap 7: Let op als je de gegevens wilt opslaan, zal je de volgende stappen moeten volgen: Linksboven zie je een tabblad genaamd “Bestand” ==> Opslaan als ==> Bladeren==> Bestandnaam: (Jouw gekozen naam) ==> Opslaan als: Tekst (Tab is scheidingsteken) ==> Opslaan



Stap 8: Nu heb je je bestand opgeslagen en staan alle gegevens in een tekstdocument, daarna moet je die nog overzetten naar een Excelbestand zonder macro's, eerst open je een leeg Excelbestand, dan ga je naar je tekstdocument en geef je de volgende toetscombinaties in. 1. Ctrl+A 2. Ctrl+C, hierna keer je terug naar je leeg Excelbestand en druk je Ctrl+V in. Nu staan al je gegevens in je Exceldocument.

Stap 9: Nadat je al de gegevens in het Excelbestand geplaatst hebt, zullen de waarden van de 1e twee kolommen niet zichtbaar zijn. Om dat op te lossen moet je op de verticale lijn tussen A-B en B-C dubbelklikken, normaal moet dit het probleem oplossen.





## 32. Evaluatie – Besluit

Wij hebben wel het gevoel dat we de doelstellingen hebben behaald. Al bij al zijn wij wel blij met wat wij bereikt hebben. We zijn wel geschrokken hoe moeilijk het is om de theorie in de praktijk om te zetten, we hebben veel problemen gehad om de juiste waardes te bekomen. Dit is ook omdat het koelmiddel in ons systeem nog troebel was in het kijkglas. Onze proefopstelling was redelijk snel af, maar onze testen kwamen vaak niet goed uit. We zijn blij dat we een werkende proefopstelling hebben, waarmee we deftige waarden bekomen.