

# Luchtbehandeling Airco



Figuur 1: Bron: <https://www.p-a-hilton.co.uk/products/air-conditioning>

Naam student	Rense Veenstra
Professionaliseringstraject PIE	P3-I Besturen en Automatiseren
Studentnummer	1073458
Begeleidende docent(en)	Leo Blommestein / Henk Spaan

## Inhoud

Inleiding.....	3
1. Theorie luchtvochtigheid en Mollier-diagram.....	4
1.1. Mollier-diagram .....	4
1.1.1. Rekentool.....	5
1.2. Uitleg begrippen / grootheden .....	6
1. De installatie / meetopstelling.....	9
1.1. De onderdelen.....	10
1.2. Schematische weergave .....	12
2. Metingen en conclusie(s).....	13
2.1. Meting 1: Alle instellingen uit .....	14
2.2. Meting 2: alleen compressor aan .....	15
2.3. Meting 3: alleen first pre-heater aan .....	17
2.4. Meting 4: alleen first en second pre-heater aan .....	18
2.5. Meting 5: First, second pre-heater en first en second re-heater aan .....	19
2.6. Meting 6: upper(2kW), lower(2kW) en water heater .....	20
2.7. Meting 7: upper (2kW), lower (2kW) water heater en water heater (1kW) aan .....	21
2.8. Meting 8: met compressor/koeling aan bij toenemend luchtdebiet.....	22
3. Uitwerking van een vmbo-les: Hoe werkt een koelinstallatie?.....	23
3.1. Het natuurkundig principe van koelen .....	23
3.2. De werking van een koelinstallatie.....	25
3.3. De airco in de auto .....	26
3.3.1. Toets werking koelinstallatie .....	28
Algemene conclusie en persoon nawoord.....	31
Bijlage A: Syllabus Keuzemodule Koudetechniek.....	32
Bijlage B: Het Mollierdiagram .....	35
Bijlage C: Lesformulier.....	36
Bronnen.....	37

## Inleiding

Naar aanleiding van mijn Professionaliseringstraject PIE, Module Installatietechniek, is na het uitvoeren van de opdracht Luchtbehandeling (airco) dit verslag tot stand gekomen. Samen met studiegenoot Wybren Landman heb ik op 1 en 8 oktober 2020 gewerkt aan de opdracht en het verzamelen van meetgegevens, m.b.v. het airco systeem van Hilton (Design, sd).

### **Persoonlijke ontwikkeling:**

Om deze opdracht goed te kunnen begrijpen en uit te voeren hebben we ons eerst ingelezen in les- en hulpmateriaal behorend bij P3-I:

- Luchtbehandeling - Samenvatting van de Manual
- Split cropped Water en Techniek - 2016-2017 - TransferW H10.pdf

De metingen zijn uitgevoerd met het airco-luchtbehandelingsstelsel van Hilton. De onderdelen hiervan worden in het verslag getoond en uitgelegd.

De opdracht heb ik als interessant ervaren. Het was een (her)ontdekkingsreis om meer vertrouwd te raken met zaken als relatieve vochtigheid en het koelingsprincipe. Voor mij en Wybren waren bepaalde begrippen, zoals enthalpie, droge en natte boltemperatuur (waarmee m.b.v. het Mollier-diagram de relatieve vochtigheid bepaald kan worden) nieuw, of een opfrissing, voor ons.

Verder was het mooi om te zien dat de metingen en uitkomsten van de opdracht stroken met de verwachting, als bevestiging. Mede hierdoor is de materie meer bij mij gaan beklijven. Kennis vermeerderen beschouw ik als één van mijn hobby's, met name m.b.t. natuurkundige fenomenen.

### **Voor lesdoeleinden:**

In het verslag zijn ook opdrachten voor vmbo-leerlingen uitgewerkt.

In dit verslag doen we verslag van metingen en aanpassingen die we hebben gedaan aan het systeem en de gevolgen daarvan. Verder wordt een link gelegd naar een eventuele les voor vmbo-leerlingen over de koelinstallatie in het algemeen en de autoairco. Het was een interessant onderzoek ook omdat het totaal iets nieuws voor ons was.

# 1. Theorie luchtvochtigheid en Mollier-diagram

Voor de verdieping is de aangeboden theorie geraadpleegd:

- Hoofdstuk 9 van het studieboek Montage en Onderhoud: Luchtbehandelingsinstallaties.
- Handleiding PRPIE P3 Besturen en automatiseren module I kort.
- Samenvatting van de Experimental Operating and Maintenance van de AIR CONDITIONING LABORATORY UNIT; P.A. Hilton LTD.

Verder is ook interessante informatie gevonden op internet. De bronnen zijn in dit verslag vermeld.

## 1.1. Mollier-diagram

Het Mollier of h-x diagram werd in 1923 ontwikkeld door Richard Mollier. Het diagram is een grafische voorstelling van de thermodynamische eigenschappen die van invloed zijn op vochtige lucht.

Vochtige lucht is een mengsel van droge lucht en waterdamp

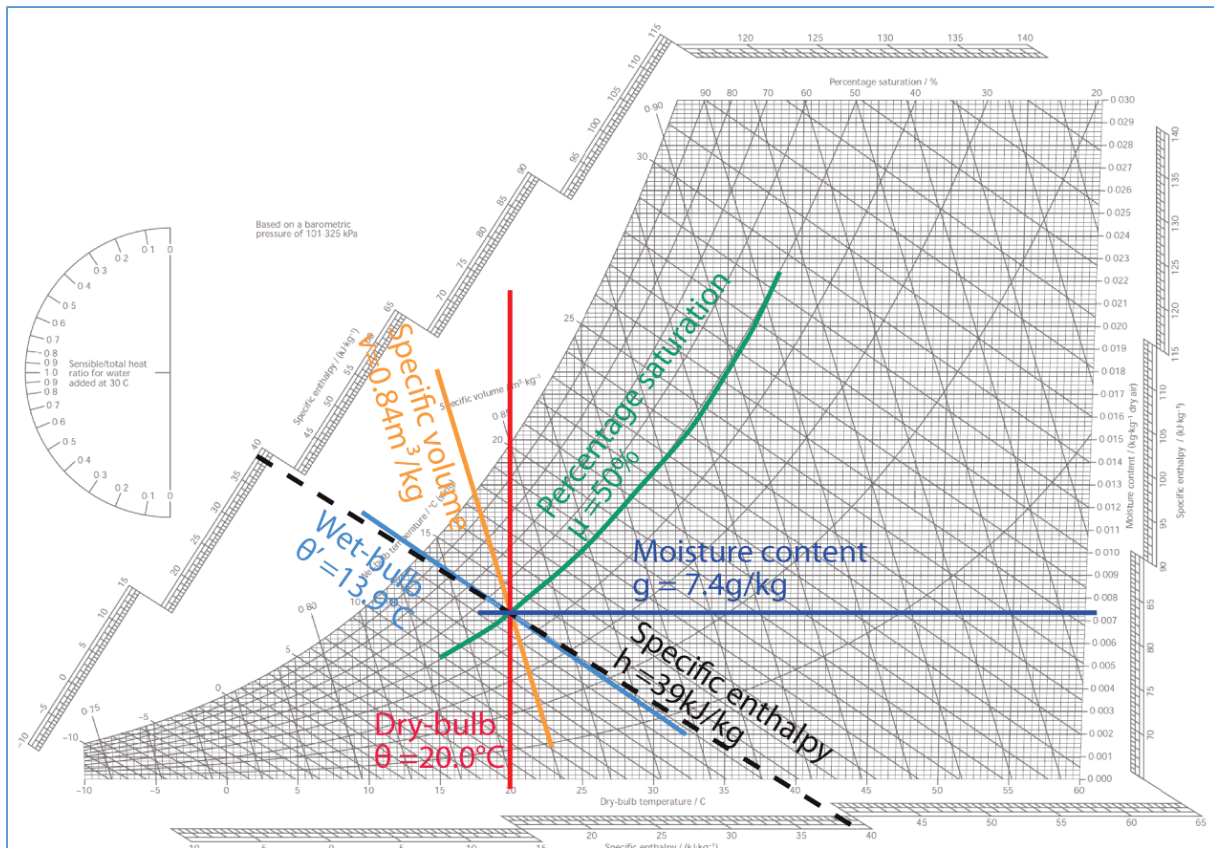
De toestand van dit mengsel is volledig te karakteriseren door drie grootheden; druk, temperatuur en mengverhouding. Bij constante druk worden in het Mollierdiagram de volgende grootheden aangegeven:

- Droge bol temperatuur =  $t$  in  $^{\circ}\text{C}$
- Natteboltemperatuur =  $t$  in  $^{\circ}\text{C}$
- Absolute vochtigheid =  $x$  in g/kg
- Relatieve vochtigheid = RV in %
- Enthalpie =  $h$  in kJ/kg
- Soortelijk gewicht =  $p$  in kg/m<sup>3</sup>

Figuur 2 laat het Mollier-diagram zien, als ook hoe (aan de hand van droge en natte boltemperatuur) de genoemde grootheden afgelezen kunnen worden.

Zie eventueel uitleg aflezen filmpje: <https://www.youtube.com/watch?v=s7J6R9wECh8>

De genoemde grootheden worden in §1.2 nader uitgelegd.



Figuur 2: Hoe alle grootheden af te lezen uit het Mollierdiagram

Geraadpleegd bron:

<https://www.condair.com.bd/m/0/i0522-74-psychrometric-chart-aw-web-ready-1.pdf>

### 1.1.1. Rekentool

Door studiegenoten Ger Eling en Ferdi Spittje werden geattendeerd op een handige rekentool die te vinden is op internet:

<https://www.kwangu.com/work/psychrometric.htm>

**Bron:** Jacob Knight - Based on ASHRAE Fundamentals 2001 chapter 6. Page last updated :03/19/2006 12:21:19

Psychrometric Calculator			
Enter dry bulb temperature, plus either wet bulb temp, %RH or dewpoint temp			
Dry bulb temp	21.8 °C	Wet bulb temp	
		20.8 °C	
		Altitude above sea level	
		0 m	
		Relative Humidity	
		92 %	
		Dewpoint temp	
		20.38 °C	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/>			
<b>Results:</b>			
Enthalpy	60.15 kJ/kg	Humidity Ratio	0.015 kg/kg
Density	1.19 kg/m³	Partial Vapour Pressure	2392 Pa
Specific Volume	0.856 m³/kg	Saturated Vapour Pressure	2613 Pa
Atmospheric Pressure	101325 Pa		

Jacob Knight - Based on ASHRAE Fundamentals (SI) 2017 chapter 1. Page last updated :12/25/2020 23:55:11

Figuur 3: Uitkomst rekentool DBT 21°C en WBT 21°C

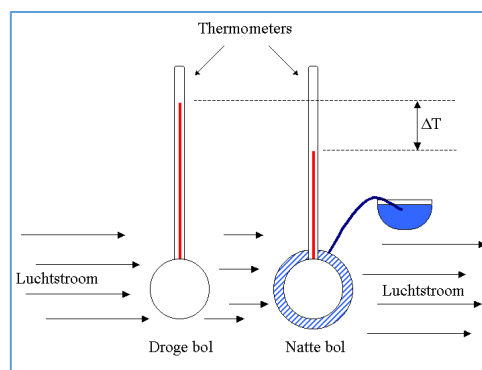
## 1.2. Uitleg begrippen / grootheden

### Droge boltemperatuur

Hiermee wordt de gemeten luchttemperatuur aangeduid.

### Natteboltemperatuur

Onder de natteboltemperatuur van vochtige lucht verstaan wij de laagste temperatuur die een nattebolthermometer aangeeft. Deze thermometer bevat een bol omgeven met een vochtig gaasje die in de luchtstroom wordt geplaatst. Is de laagste temperatuur die een nat voorwerp, dat zich in een luchtstroom bevindt, krijgt ten gevolge van het verdampen van het aanklevende water. Dit moet adiabatisch plaatsvinden, dat wil zeggen zo snel dat er geen sprake is van warmte-uitwisseling met de omgeving. Door deze temperatuur te vergelijken met de gewone temperatuur kan de luchtvochtigheid worden bepaald.



Figuur 4: Droge- en natteboltemperatuurmeting

### Absolute vochtigheid

De hoeveelheid waterdamp aanwezig in een bepaalde hoeveelheid lucht in g/kg.

### Relatieve vochtigheid

Dit geeft de verhouding aan tussen de aanwezige absolute vochtigheid en de maximale absolute vochtigheid welke de lucht kan bevatten bij een gelijke temperatuur. Een waarde van 100% wijst op de maximale hoeveelheid waterdamp, de lucht is dan volledig verzadigd. De gebogen lijnen in het diagram geven de relatieve vochtigheid aan.

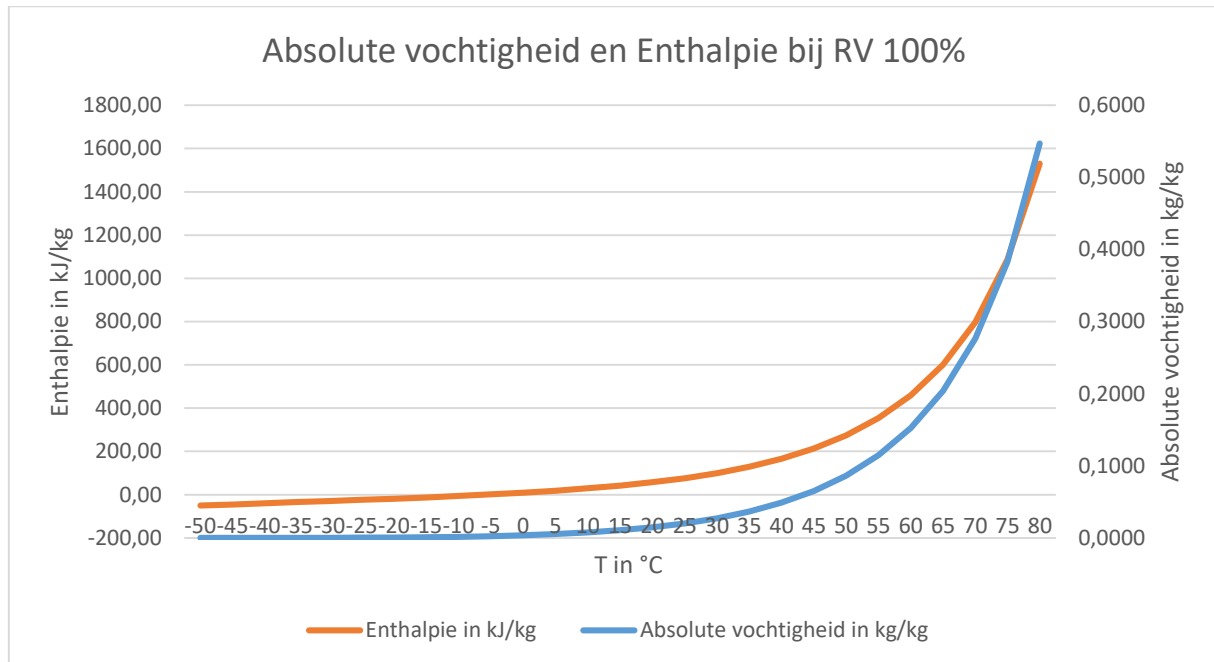
### Enthalpie

Dit geeft de warmte-inhoud aan in kJ/kg bij een temperatuur en vochtigheid.

## In grafiek

Met behulp van de genoemde rekentool heb ik bij temperaturen van  $-50^{\circ}\text{C}$  t/m  $80^{\circ}\text{C}$  de bijbehorende absolute vochtigheid en de enthalpie uitgezet, bij volledige verzadigde lucht.

Dit houdt in dat de relatieve vochtigheid hier 100% is. De dampspanning is hierbij immers gelijk aan de verzadigde dampspanning.



Absolute vochtigheid in kg/kg	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Enthalpie in kJ/kg	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0002	0,0004	0,0006	0,0010	0,0016	0,0025	0,0038	0,0054	0,0076	0,0106	0,0147	0,0201	0,0272	0,0366	0,0489	0,0650	0,0863	0,1146	0,1524	0,2041	0,2767	0,3826	0,5469
Enthalpie in kJ/kg	-50,24	-45,16	-40,05	-34,38	-29,61	-24,20	-18,56	-12,58	-6,09	1,14	9,46	18,59	29,28	42,02	57,42	76,31	99,73	129,07	166,13	213,39	274,23	353,54	458,57	600,61	798,44	1085,74	1529,76

## Verwarmen

Bij verwarming van lucht blijft het vochtgehalte  $x$  in g/kg constant. Hierdoor wordt verwarming van de lucht aangegeven middels de verticale lijnen in het diagram.

## Dampdruk (ook wel dampspanning)

Dit is de druk die de damp van een stof op de wanden van een gesloten ruimte uitoefent.

Wanneer een gecondenseerde fase - bijvoorbeeld een vloeistof of een kristallijne vaste stof - in een gesloten ruimte met een groter volume dan het eigen volume tot evenwicht gebracht wordt, gaat een deel van de gecondenseerde fase over in damp.

De damp oefent een druk uit op de wanden van de gesloten ruimte. Deze druk is sterk afhankelijk van de temperatuur en de vluchtigheid van de (vloeistof) en wordt de dampdruk genoemd. Bij voldoende hoge temperatuur zal de dampdruk één atmosfeer bedragen. Deze temperatuur wordt bij vloeistoffen het normaal kookpunt genoemd omdat bij deze temperatuur het verdampingsproces niet langer alleen maar aan het oppervlak plaatsvindt maar ook in staat is overal in de vloeistof dampbellen te vormen.

## Bevochtiging

In de luchtbehandeling wordt gebruik gemaakt van twee verschillende manieren van bevochtigen:

- Verdamping van water in de luchtstroom (adiabatische bevochtiging)
- Menging van droge(re) lucht met waterdamp ofwel stoom (stoombevochtiging)

### Adiabatische bevochtiging

Water wordt verdeeld in de luchtstroom gebracht. Wanneer alle ingebrachte waterdeeltjes in de onverzadigde luchtstroom verdampen, neemt de enthalpie in theorie toe. In de praktijk blijkt deze verhoging te verwaarlozen. Waterbevochtiging, ofwel adiabatische bevochtiging, leidt wel tot een verlaging van de luchttemperatuur doordat de voor het verdampen benodigde warmte aan de lucht wordt onttrokken! De verlaging is uit te lezen door het volgen van de diagonale lijnen in het diagram. Per g/kg ( $\Delta x$ ) die aan de lucht wordt toegevoegd, daalt de temperatuur met circa 2,5 °C. Zie figuur 2.

### Stoombevochtiging

Wordt verzadigde stoom in de luchtstroom gebracht, dan neemt de enthalpie toe. Indien stoom dezelfde temperatuur heeft als de lucht waarin het wordt verdeeld, zal de temperatuur niet veranderen en verloopt het proces in het Mollierdiagram volgens de horizontale lijnen,  $t = \text{constant}$ . Veelal is de stoomtemperatuur bij bevochtiging hoger en zorgt voor een verhoging van de temperatuur. Een dergelijke kleine (0,5-1 °C) opwarming lijkt verwaarloosbaar in de luchtbehandelingstechniek.

**Geraadpleegde bron:** <https://www.condair.nl/nieuws/mollier-diagram>



## 1. De installatie / meetopstelling

Voor deze opdracht hebben we gebruik gemaakt van de meetopstelling A660 (Hilton Air Conditioning Laboratory) die op Windesheim staat. Op EIO staat de handleiding hier voor die gebruikt is.



Figuur 5: De Hilton Air Conditioning Laboratory Unit

De onbehandelde lucht stroomt door achtereenvolgens door de volgende componenten:

1. Axiale ventilator met variabele snelheid.
2. Stoominjectie.
3. Voorverwarming.
4. Koeler/luchtdroging met een condensafvoer.
5. Naverwarming.
6. Uitstroomopening met hellendbeenmanometer.

Met de wipchakelaars kunnen, in tabel bij figuur 5, kunnen er veranderingen in de uitvoerlucht worden bewerkstelligd.

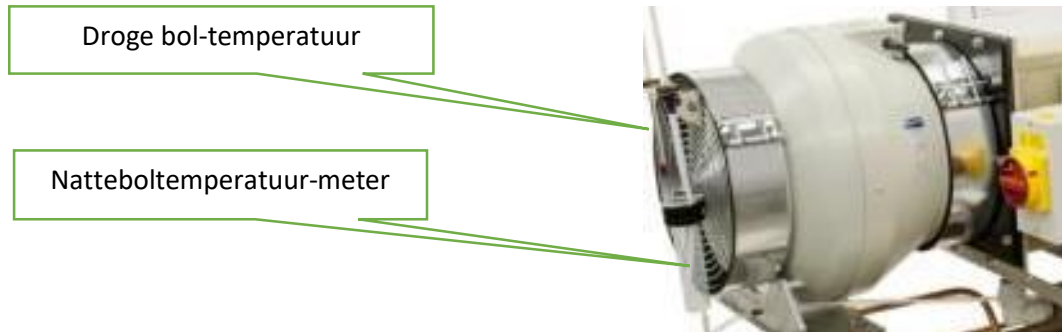


Figuur 6: In te stellen keuzemogelijkheden

1.	First pre-heater 1kW
2.	Second pre-heater 1kW
3.	First re-heater 1kW
4.	Second re-heater 1kW
5.	Lower water heater 2kW
6.	Upper water heater 2kW
7.	Water heater 1kW
8.	Compressor

## 1.1. De onderdelen

We lopen de verschillende onderdelen even bij langs:



*Figuur 7: De axiale ventilator voor toevoeren onbehandelde lucht*

Achter de fan (op afbeelding niet te zien) zit een watertankje waarin voldoende gedemineraliseerd water moet zitten om de natte bol temperatuurmeters te bevochtigen.



*Figuur 7: Inschakeling en traploze instelling fan.*



*Figuur 8: Compressor ten behoeve van koelen*



*Figuur 9: Paneel met instellingen, zoals omschreven in figuur 5*



*Figuur 10: Hellendbeenmanometer ( Duct Differential Pressure meter)*

Met de hellendbeenmanometer kan luchtdebiet d.m.v. druk worden afgelezen.



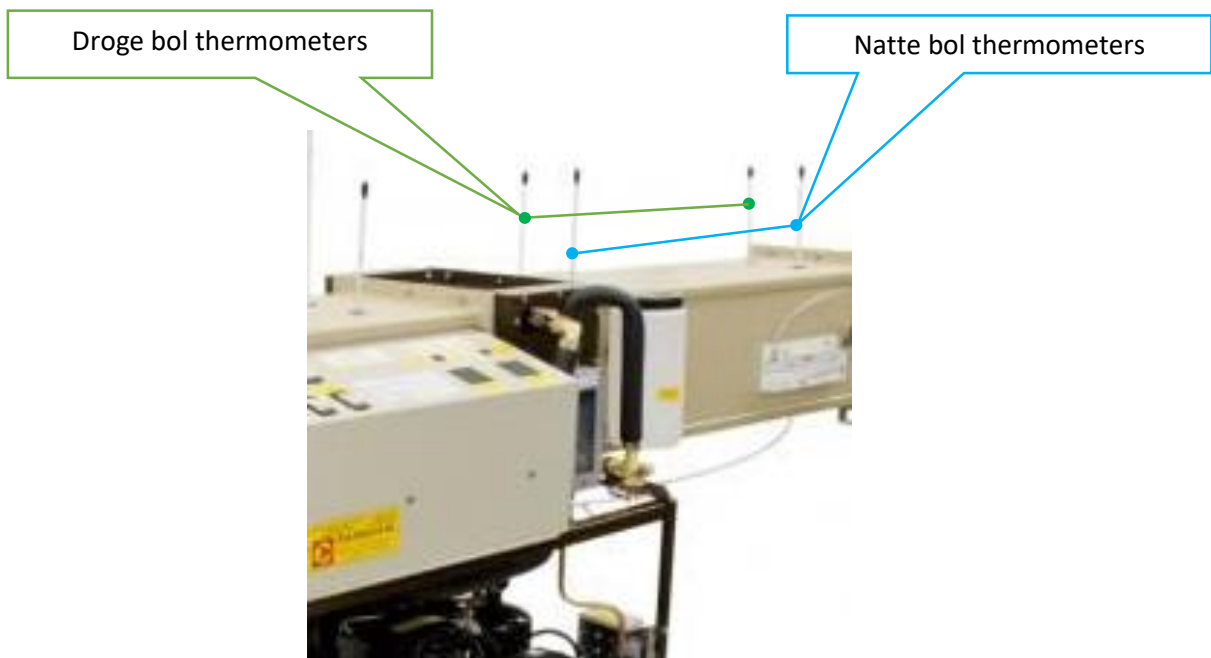
Figuur 11: Debiet flow meter koudemiddel (R134A Mass Flow Rate)



Figuur 12: Manometers voor aflezen van de verdamper- en compressordrukken

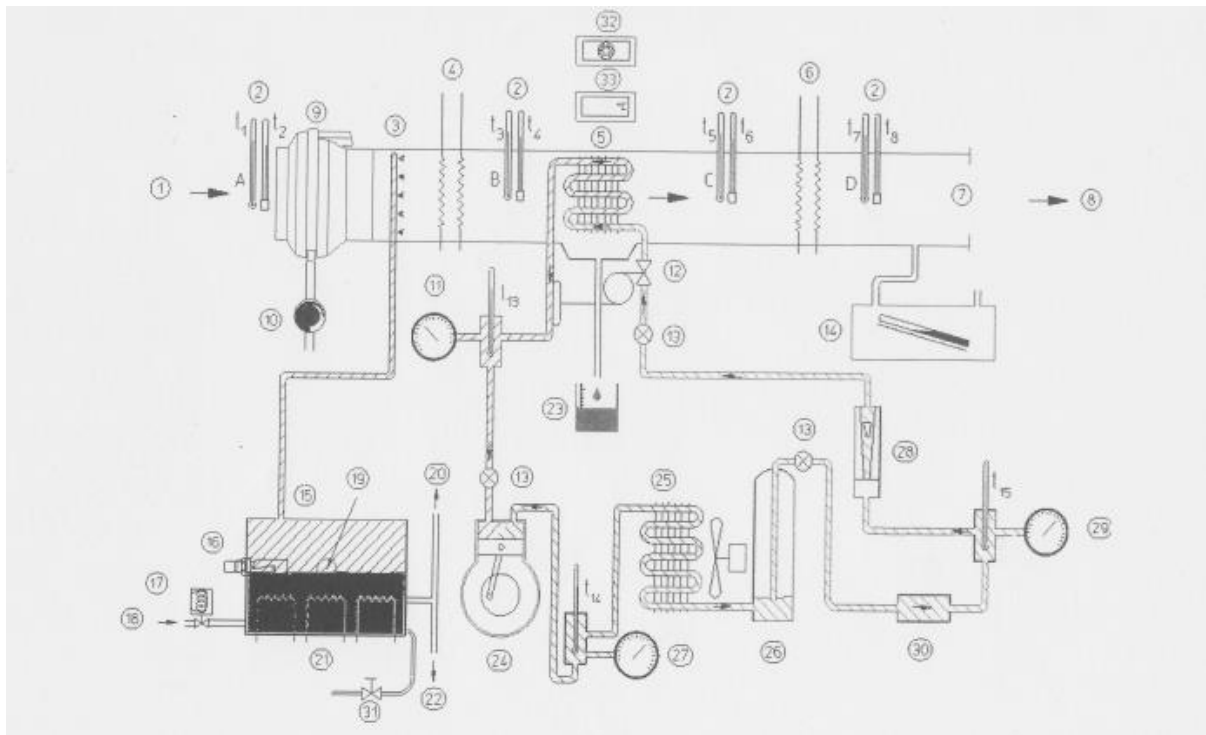
De manometers volgens figuur 12:

- Linker manometer voor het aflezen van de verdamperdruk.
- Middelste manometer voor het aflezen van de druk voor de condensator.
- Rechter manometer voor het aflezen van de druk na de condensator.



Figuur 13: Over de hele lengte van de installatie zijn op 4 posities voor de droge- en natte bol temperatuurmeting

## 1.2. Schematische weergave



- |   |                             |                                     |
|---|-----------------------------|-------------------------------------|
| 1) Lucht inlaat                         | 14) Hellendbeenmanometer    | 27) Druk voor de condensor          |
| 2) Droge- en nattebol thermometer       | 15) Stoomgenerator          | 28) Debietmeter van het koudemiddel |
| 3) Stoom injector                       | 16) Waterniveau controle    | 29) Druk na de condensor            |
| 4) Voorverwarmers                       | 17) Magneetventiel          | 30) Filter/droger                   |
| 5) Verdampers                           | 18) Water aanvoer           | 31) Stoomtank afvoer                |
| 6) Naverwarmers                         | 19) Peilglas                |                                     |
| 7) Meetflens                            | 20) Ontluchting             |                                     |
| 8) Behandelde lucht                     | 21) Waterverwarmers         | 32) 15 standen schakelaar           |
| 9) Ventilator                           | 22) Overloop naar afvoer    | 33) Digitale temperatuur indicator  |
| 10) Toerentalregeling van de ventilator | 23) Condensaat meter        |                                     |
| 11) Verdampersdruk                      | 24) Compressor              |                                     |
| 12) Thermostatisch expansie ventiel     | 25) Luchtgekoelde condensor |                                     |
| 13)                                     | 26)                         |                                     |

## 2. Metingen en conclusie(s)

In navolgende tabel zijn de door ons gemeten waarden genoteerd, bij de gekozen instellingen. De waarden zijn steeds afgelezen na 5 minuten. De posities van de thermokoppels zijn §1,2 Schematische weergave te vinden.

	t in °C	Stappen											
		1	2,0	3	4	5	6,0	7	8	9	10	11	
Droog (A)	t1	21,8	22,5	22,4	22,7	23,5	22,8	22,5	24,6	21,7	22,3	22,4	
Nat (A)	t2	20,8	21,1	21,1	21,3	21,9	21,5	21,3	22,9	20,4	21,1	21,2	
Droog (B)	t3	22,4	23,0	30,2	38,5	40,2	23,6	24,8	43,4	21,9	22,9	23,0	
Nat (B)	t4	19,7	19,7	23,7	28,0	29,7	20,3	23,7	33,4	19,2	19,8	19,8	
Droog (C)	t5	22,1	13,9	27,6	36,0	38,3	23,8	24,6	26,7	8,9	12,1	14,5	
Nat (C)	t6	18,7	12,4	21,1	25,5	27,1	19,5	23,3	23,9	7,8	10,6	12,9	
Droog (D)	t7	22,2	14,2	26,7	34,3	53,2	24,1	24,7	43,2	9,1	12,1	14,5	
Nat (D)	t8	21,3	14,5	23,9	30,6	43,9	23,3	24,3	35,8	10,4	12,1	14,4	
Evaporator outlet	t13	21,5	5,7	18,9	21,9	23,3	24,5	24,2	15,9	-0,5	3,3	5,6	
Condesor inlet	t14	22,1	54,0	40,6	30,7	26,2	24,7	24,4	66,9	55,7	65,1	67,7	
Condesor outlet	t15	21,8	37,0	32,2	28,0	25,4	24,5	24,1	44,8	34,0	35,7	37,1	
Supply (Volts)	in V (ac)	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	
Evaporator outlet pressure	in bar	4,2	1,6	4,6	5,8	5,0	5,0	5,0	2,6	1,5	1,6	1,8	
Condensor inlet pressure	in bar	6,0	9,0	5,6	5,4	5,4	5,3	5,3	12,0	9,0	9,5	9,7	
Condensor outlet pressure	in bar	5,9	9,0	5,5	5,4	5,4	5,3	5,3	12,0	9,0	9,0	9,0	
Duct Differential Pressure	in mmH2O	13,0	13,2	14,2	14,4	13,5	14,4	13,9	11,5	3,0	7,0	15,0	
Fan supply voltage	in V(ac)	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	230,0	
Condensate collected	in ml	0,0	0,0	0,0	nmb	nmb	nmb	nmb	nmb	nmb	nmb	nmb	
Time interval	in min	0,0	3,0	3,0	3,0	3,0	8,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
R134A Mass Flow Rate (refrigiant flow meter)		0,0	15,0	nmb	nmb	nmb	nmb	nmb	18,8	11,0	13,0	13,5	
							nmb = niet meetbaar						
	First pre-heater 1kW	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	
	Second pre-heater 1kW	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	
	First re-heater 1kW	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	
	Second re-heater 1kW	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	
	Lower water heater 2kW	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	
	Upper water heater 2kW	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	
	Water heater 1kW	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	
	Compressor	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	

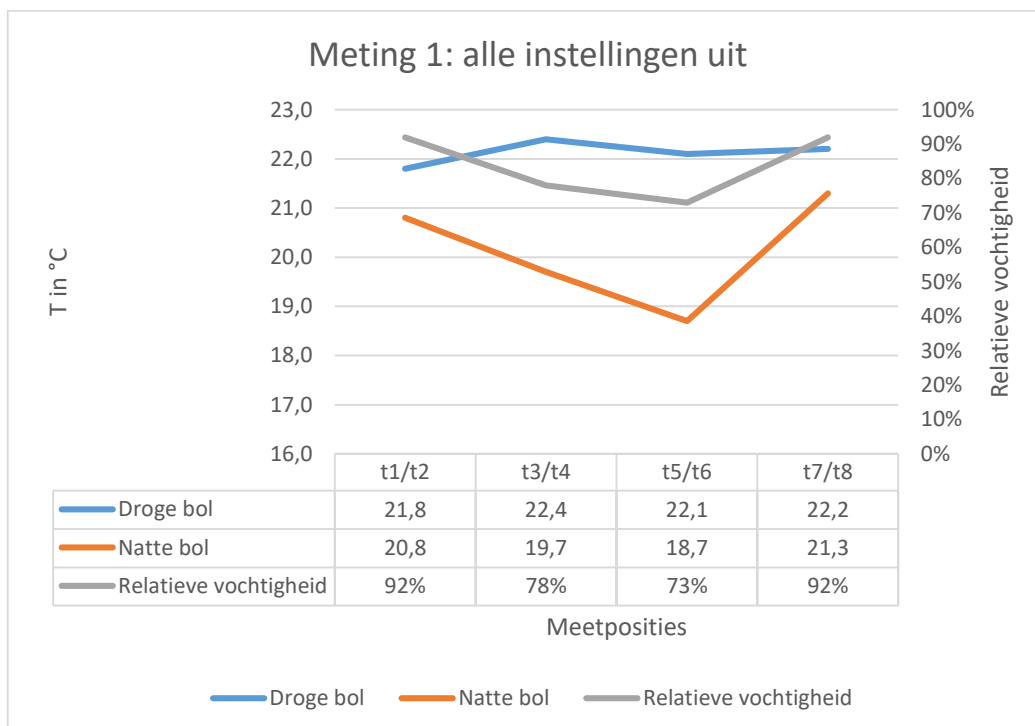
## 2.1. Meting 1: Alle instellingen uit

### Verwachting:

Deze meting is gedaan om als uitgangspositie te dienen bij de andere metingen. Uit de droge en natte bol-temperaturen zou een accurate relatieve luchtvochtigheid gedestilleerd moeten kunnen worden. In de ruimte waar de metingen worden verricht bevindt zich een eenvoudige hygrometer die een relatieve vochtigheid aangeeft **79%**. Gezien het weerbeeld en jaargetijde op de dag (in oktober) van de meting is dit aannemelijk te beschouwen.

### Uitkomst:

De 4 temperatuurkoppels/posities, van de machine, zijn uitgezet in de berekende (of afgelezen) relatieve vochtigheidswaarden, zie grafiek:



Opvallend zijn de verschillen tussen de koppels. De eerste en vierde lijken niet reëel. Na een extra controle op voldoende gedestilleerd water in de reservoirs van de natte bol thermometers en bevochtiging van de kousjes blijkt ook na een tweede meting (na 5 minuten wachttijd) dezelfde afwijking.

Een verklaring hiervoor hebben we 123 niet. We zullen het er verder mee moeten doen.



## 2.2. Meting 2: alleen compressor aan

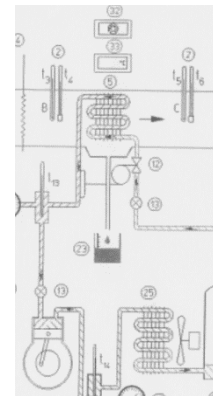
### Verwachting:

Als de compressor wordt ingeschakeld zal de koeling in werking treden, tussen de T-koppels t3/t4 en t5/t6. De temperatuur zal uiteraard dalen, maar ook zal de absolute luchtvochtigheid afnemen.

### Uitkomst:

De metingen voldoen enigszins aan de verwachtingen. 4<sup>e</sup> meting is onwaarschijnlijk, omdat immers de natte bol T niet hoger kan zijn dan de droge bol T

In de tweede grafiek is inderdaad te zien dat absolute vochtigheid afneemt bij koeling. Ook aan de installatie is dit waar te nemen als condensvorming.

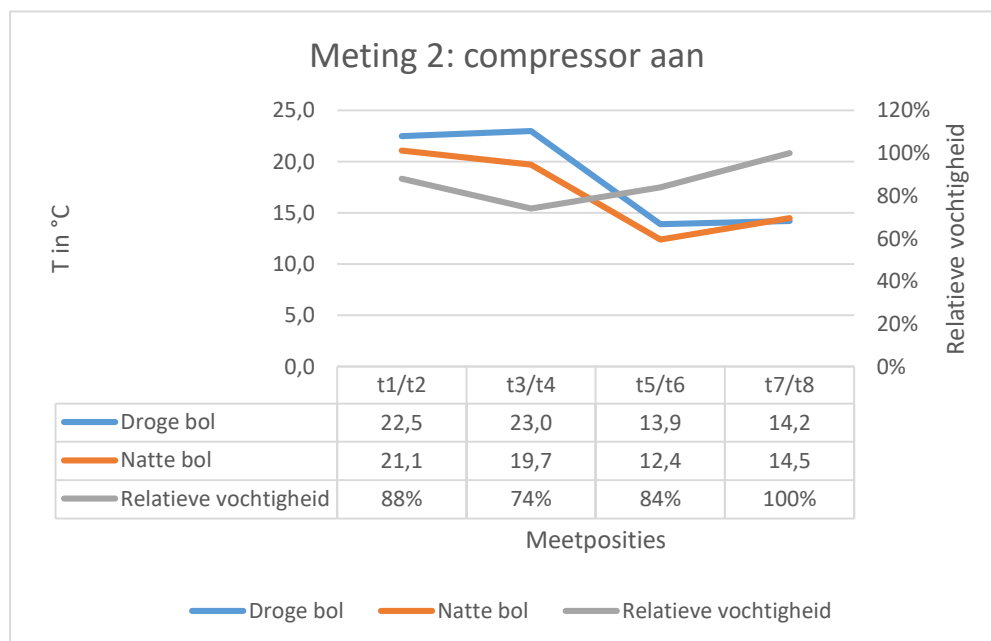


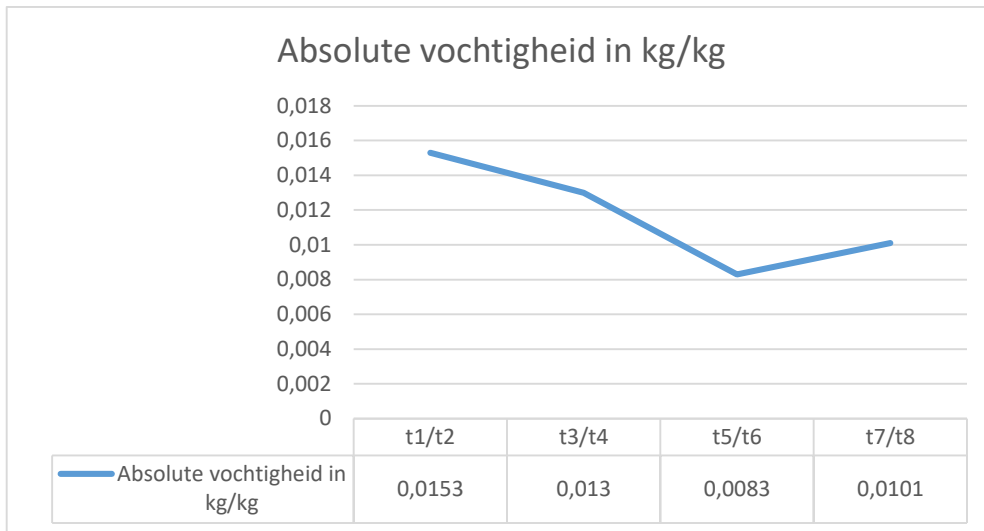
Figuur 8:  
Koelgedeelte van de installatie

Verder is in de meting mooi te zien dat, t.o.v. de eerste meting, verdamperdruk afgenomen is en de condensordruk gestegen, waarmee het koelkast (of warmtepomp)-principe in de meting tot uitdrukking komt.

Evaporator outlet pressure	in bar	4,2	1,6
Condensor inlet pressure	in bar	6,0	9,0
Condensor outlet pressure	in bar	5,9	9,0

Figuur 9: Screenshot uit het meetblad







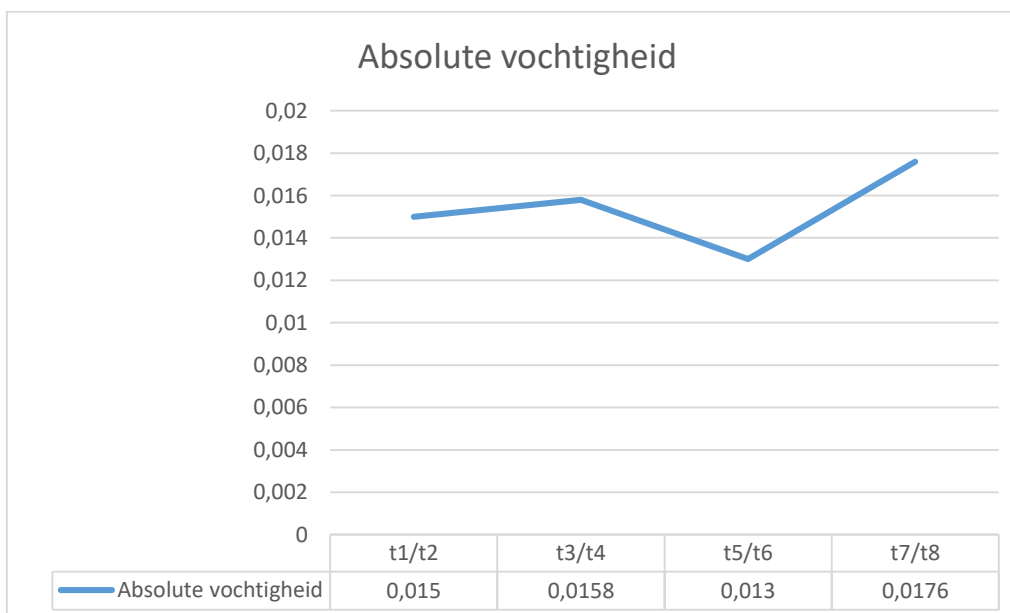
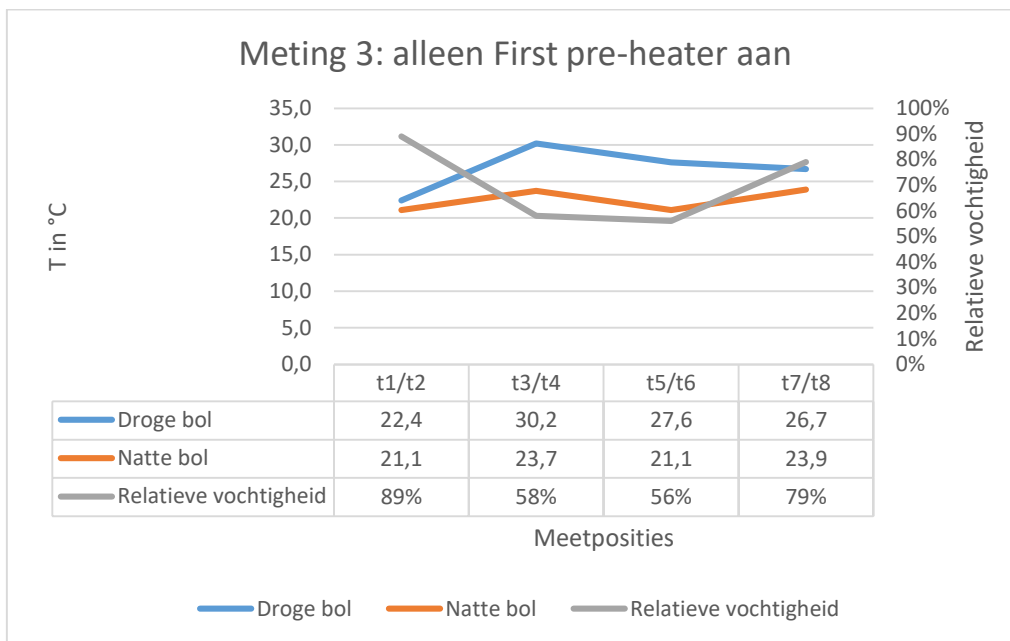
## 2.3. Meting 3: alleen first pre-heater aan

### Verwachting:

De pre-heaters bevinden zich voor het koppel t3/t4. Vanaf hier zal een temperatuurstijging waar te nemen zijn, maar moet ook een daling van de relatieve vochtigheid tot uitdrukking komen, bij dezelfde absolute vochtigheid. Warmere lucht kan immers meer vocht opnemen, voordat zij verzadigd wordt.

### Uitkomst:

Mooi is te zien dat bij koppel t3/t4 de relatieve vochtigheid daalt. Bij het laatste koppel neemt dit weer toe, omdat de T weer wat daalt. De absolute vochtigheid laat een spreiding van 0,0046kg/kg zien, voor wat het waard is...

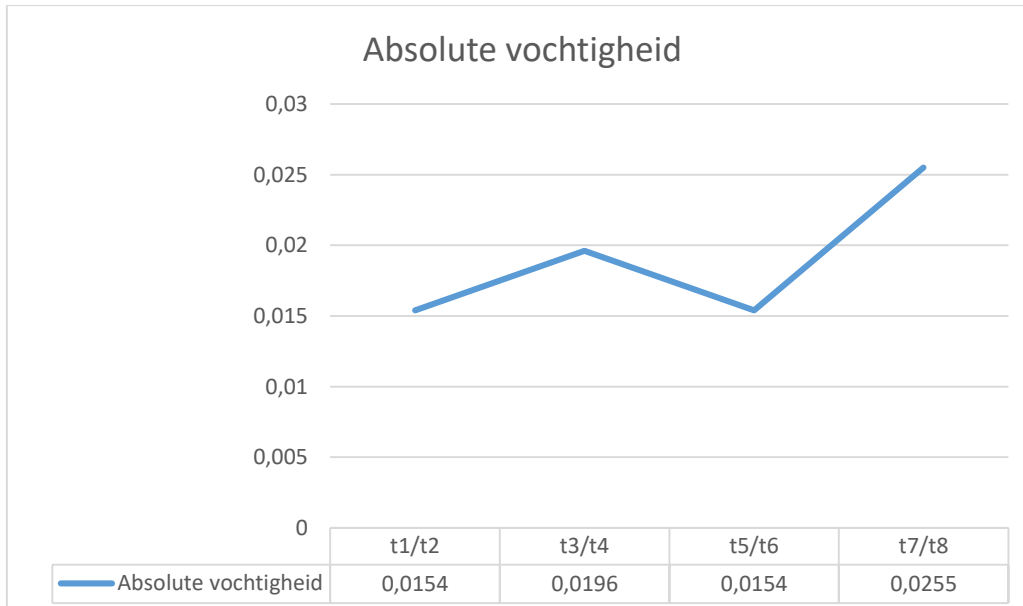
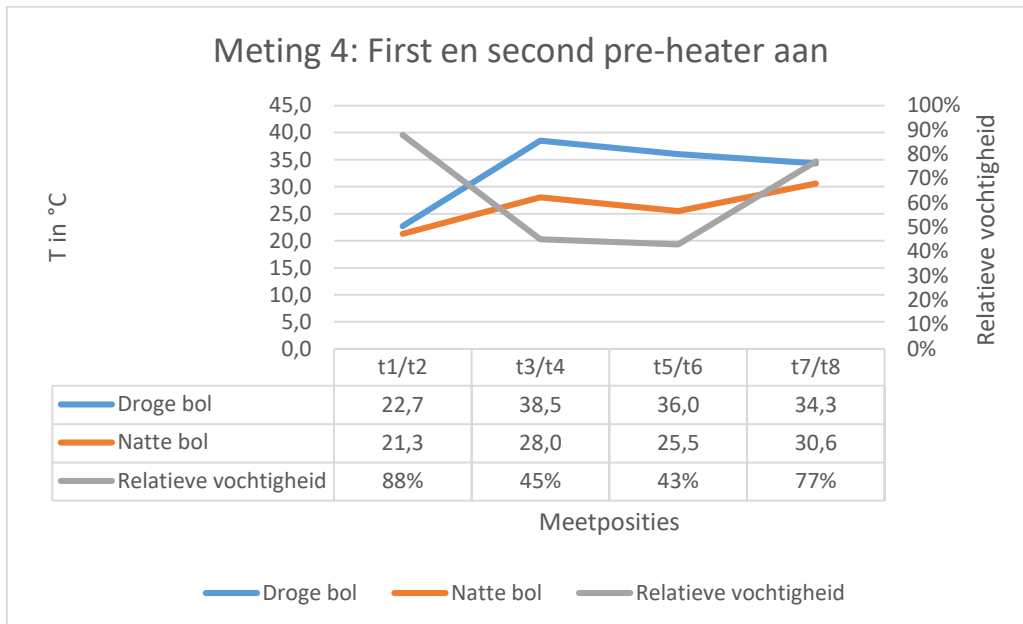


## 2.4. Meting 4: alleen first en second pre-heater aan

### Verwachting:

De tweede pre-heaters bevinden zich ook voor het koppel t3/t4. Het beeld zal lijken op die van meting 4, maar met een duidelijker verschil.

De spreiding van de relatieve vochtigheid is hier 0,0101kg/kg.



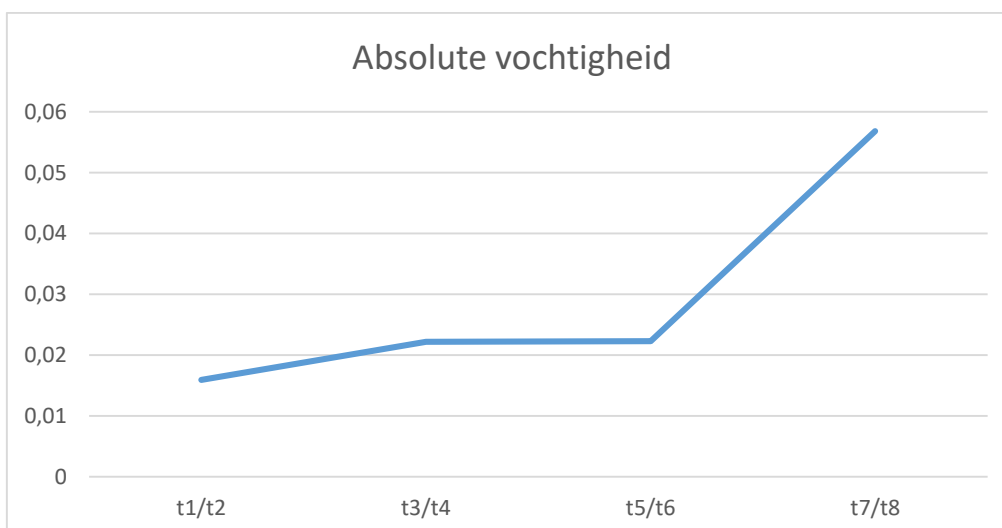
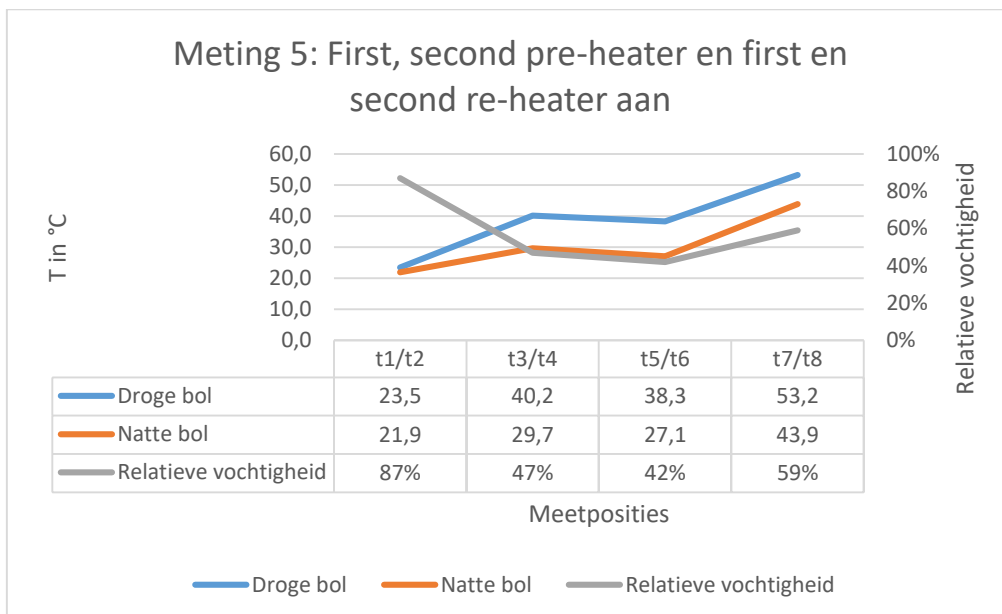
## 2.5. Meting 5: First, second pre-heater en first en second re-heater aan

### Verwachting:

De pre-heaters bevinden zich voor het koppel t3/t4. De re-heaters zitten de koppels t5/t6 en t7/t8. Vanaf hier zal een verdere temperatuurstijging waar te nemen zijn, maar moet ook een daling van de relatieve vochtigheid tot uitdrukking komen, bij dezelfde absolute vochtigheid. Warmere lucht kan immers meer vocht opnemen, voordat zij verzadigd wordt.

### Uitkomst:

Mooi is te zien dat bij koppel t3/t4 de relatieve vochtigheid daalt, maar vreemd is bij het laatste koppel weer een hogere RV laat zien. De absolute vochtigheid laat een spreiding van 0,0409kg/kg zien. Dit is 10x zo veel als meting 3, wat waarschijnlijk te maken heeft met de eerdergenoemde meetafwijking.



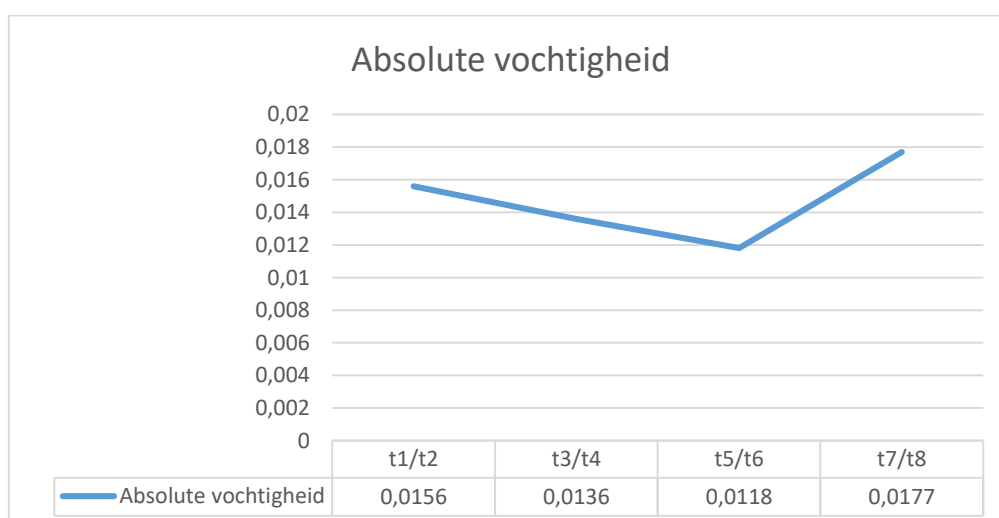
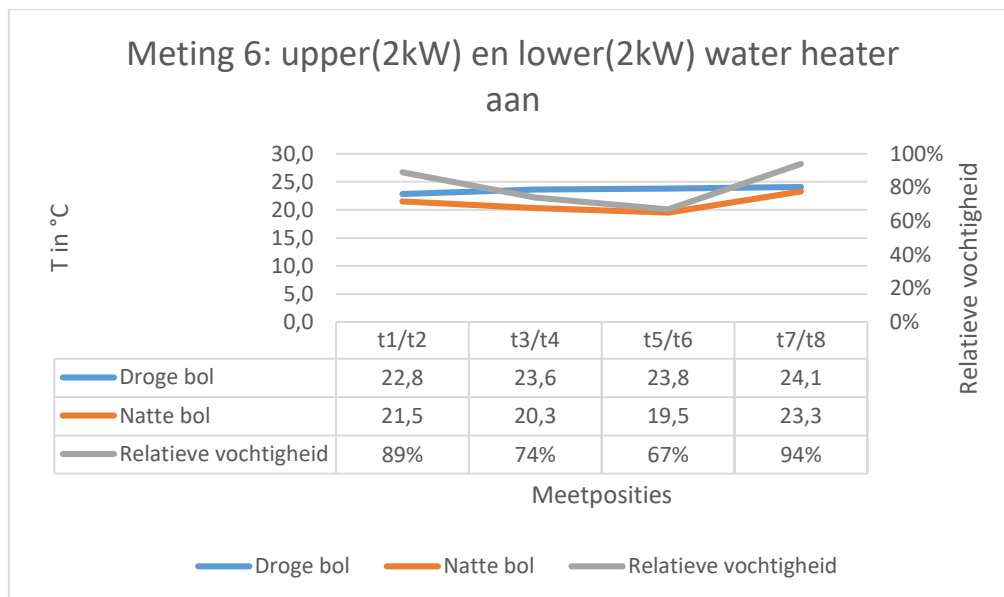
## 2.6. Meting 6: upper(2kW), lower(2kW) en water heater

### Verwachting:

De stoominjectors bevinden zich voor het koppel t3/t4. Hierna zal, t.o.v. het eerste koppel, een toename te zien moeten zijn in absolute vochtigheid.

### Uitkomst:

Het is vreemd dat de absolute vochtigheid afneemt bij t5/t6 en toeneemt bij t7/t8. In i.i.g. is bij deze meting geen logische uitkomst waar te nemen en is niet te verklaren.



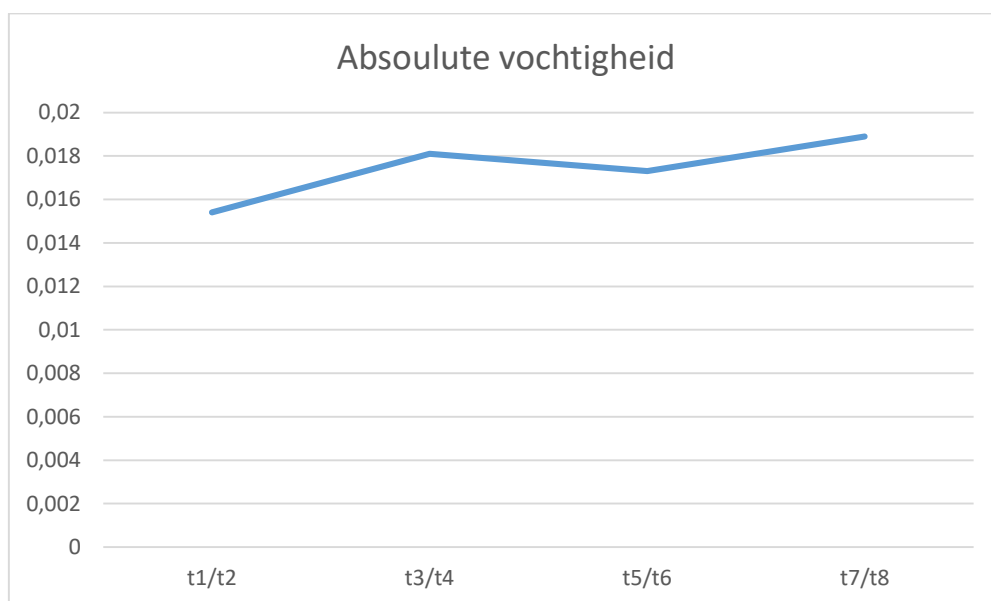
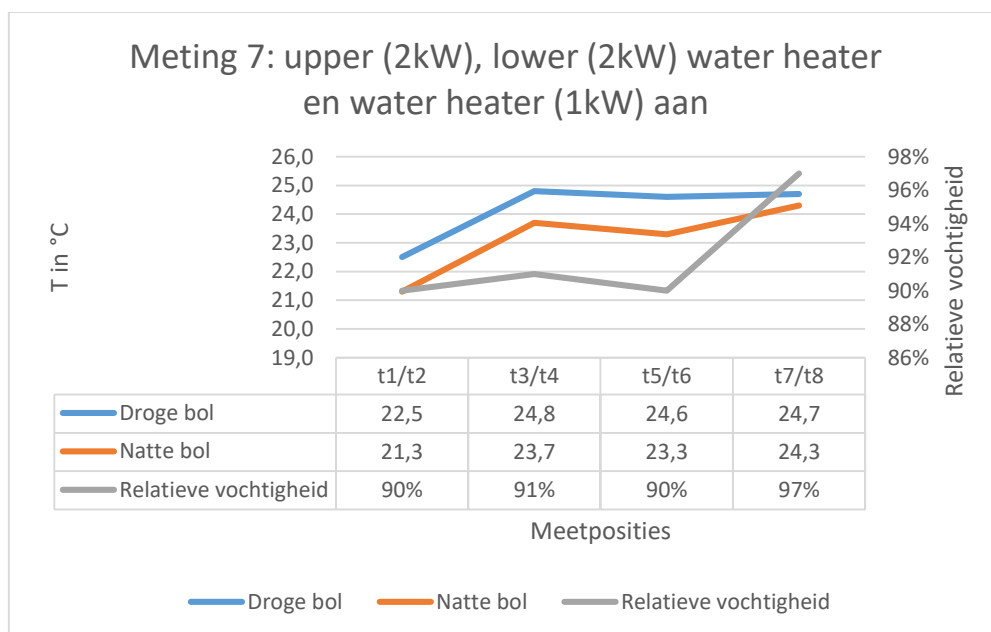
## 2.7. Meting 7: upper (2kW), lower (2kW) water heater en water heater (1kW) aan

### Verwachting:

De stoominjectors bevinden zich voor het koppel t3/t4. Hierna zal, t.o.v. het eerste koppel, een toename te zien moeten zijn in absolute vochtigheid.

### Uitkomst:

Het is vreemd dat de absolute vochtigheid iets afneemt bij t5/t6, maar wel toeneemt bij t7/t8. Bij deze meting komt de verwachting wat dichter in de buurt van de verwachting, maar is nog niet echt overtuigend.



## 2.8. Meting 8: met compressor/koeling aan bij toenemend luchtdebiet

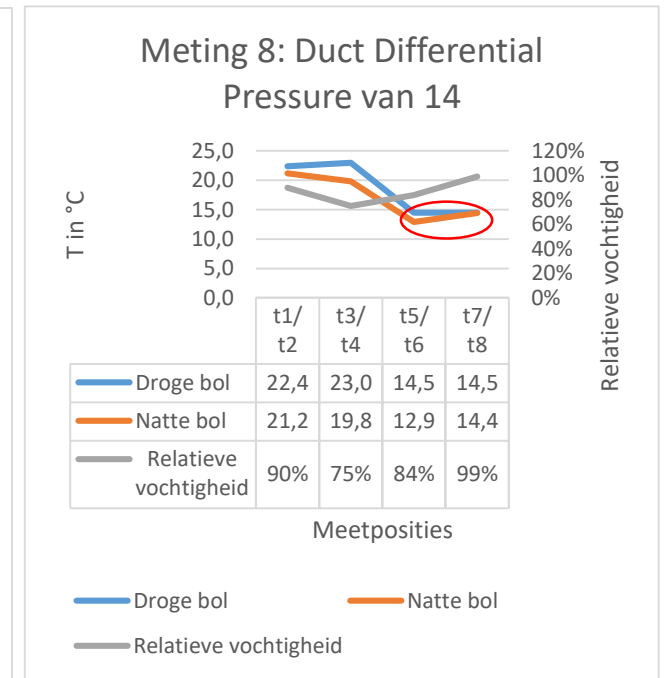
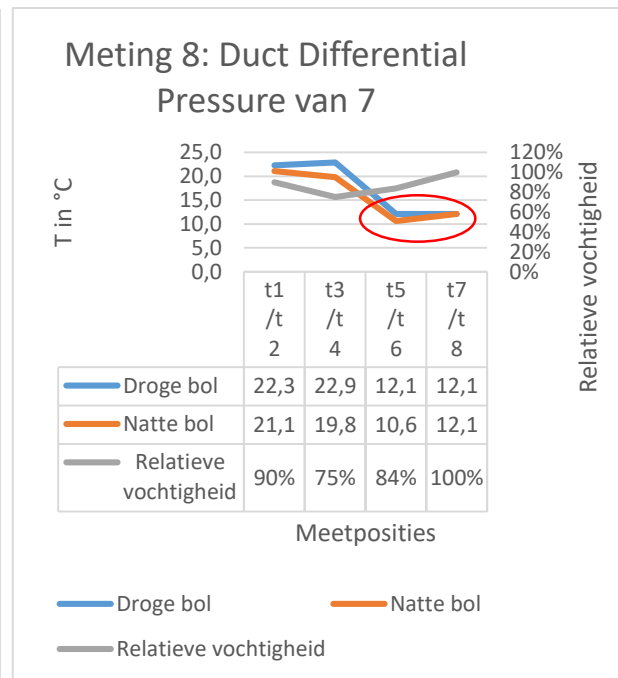
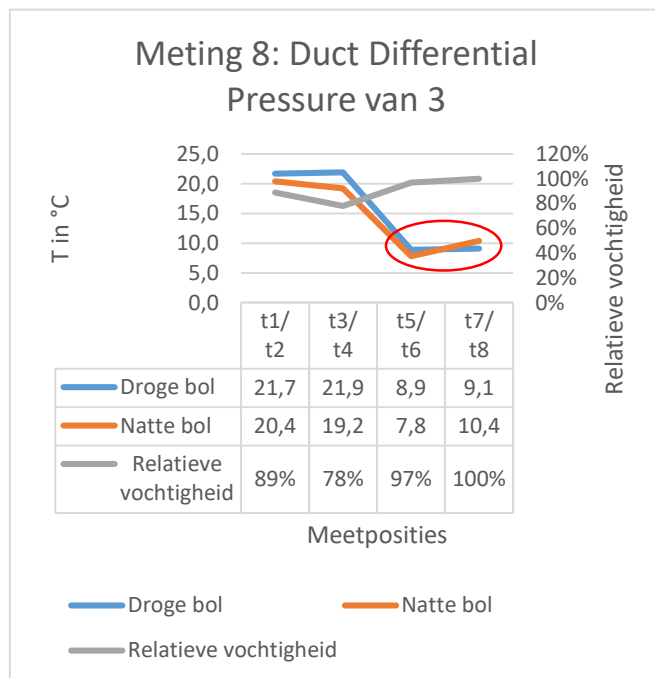
### Verwachting:

We wilden de meting 2 nu uitvoeren met 3 verschillende luchtdebieten en benieuwd of dit effect op de koeltemperatuur. Heeft het bijvoorbeeld, theoretisch gezien, zin om in een sterk opgewarmde auto de blower op maximaal te zetten?

Met de potmeter kan de instelling op het "hellend been manometer" (duct differential pressure).

### Uitkomst:

Zie hiervoor de onderstaande grafieken: Bij toenemende luchtstroom is (vanaf koppel t5/t6) duidelijk te zien dat de temperatuur toeneemt. Dit is logisch te noemen daar de koelenergie hetzelfde blijft. Bij de eerste meting wordt bij t7 9,1°C gemeten en bij t8 10°C. Dit kan natuurlijk niet en is er sprake van een meetfout.



### 3. Uitwerking van een vmbo-les: Hoe werkt een koelinstallatie?

In de syllabus van PIE zijn voor de 4 verplichte modules geen zaken opgenomen voor koudetechniek. Een school kan echter wel besluiten de keuzemodule **KOUDETECHNIEK** (zie bijlage A) aan te bieden, waarin de noodzakelijke stof behandeld dient te worden.

Ik heb gemeend een les uit te werken over de werking van de koelinstallatie. Dit behelst dan 2 lesblokken:

- 1 uur: Les Het natuurkundig principe van koelen (eventueel 2 lessen), inclusief diagnostisch toetsen
- 1 uur: Het maken van de toets.

In eerste instantie heb ik een lesformulier hiervoor gemaakt, zie bijlage C. Verwachting is wel dat de stof in meerdere etappes behandeld moet worden. Dat laat ik dan aankomen op het moment suprême en ga dan niets forceren.

#### 3.1. Het natuurkundig principe van koelen

Is het koud in de zomer bij 10°C? En is het koud bij -2°C in de winter?

Of misschien ervaar jij koud wel bij hele andere temperaturen. Maar hieruit blijkt wel dat koud voor iedereen iets anders is. Koud is dus een gevoel en bestaat niet echt.

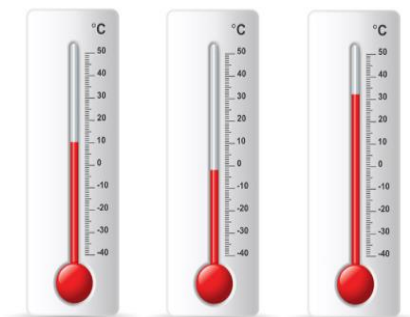
Wat je wel kunt meten zijn temperaturen en daarvan kunnen je wel spreken van hoge of lage temperaturen. Door aan iets warmte toe te voegen kunnen we de temperatuur laten stijgen. Dat iets is een voorwerp, lichaam, ruimte, enz. Als we ergens warmte weg halen dan zal de temperatuur dalen.

Met een koelinstallatie halen we warmte weg uit of bij artikelen of substanties om een temperatuur te krijgen die lager is dan de omgevingstemperatuur. En natuurlijk moet die lage temperatuur vast gehouden worden. Koelen is het wegnemen van warmte.

Met ijs, water en lucht wordt al honderden jaren gekoeld. Het langer bewaren van voedsel was vroeger het enige doel om het te koelen. De Chinezen waren de eersten die ontdekten dat ijs de houdbaarheid en de smaak van dranken verbetert en de Eskimo's hebben eeuwenlang hun voedsel bewaard door het te laten bevriezen.

Lang geleden werd ontdekt dat het aantal bacteriën, gist, schimmels, enzymen, enz. bij kamertemperatuur harder groeien. En dat bij lagere temperatuur de groei af neemt en onder +10°C er bijna geen groei meer is.

Hierdoor werd het duidelijk dat levensmiddelen langer goed blijven als je deze koelt. En voordat er koelinstallaties waren werd er gekoeld met natuurijs.



In 1880 werden in Amerika de eerste ammoniakcompressoren en geïsoleerde koelcellen in gebruik genomen.

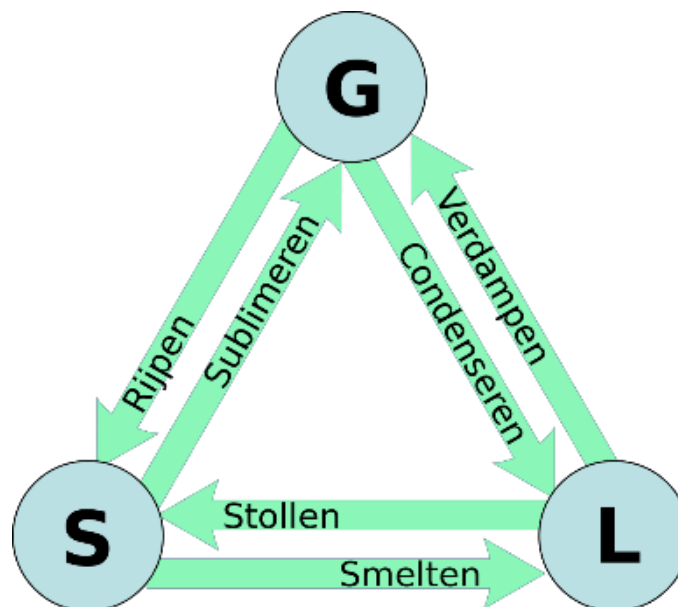
Toen begin deze eeuw elektriciteit steeds belangrijker werd kon deze als krachtbron worden gebruikt voor de vele mechanische koelinstallaties die werden gebruikt in brouwerijen, slachthuizen, visopslag en de productie van ijsstaven.

Rond 1950 werden de koelkasten en vriezers in gebruik genomen door gewone gezinnen. Dit kwam doordat er een kleine koelcompressor ontwikkeld werd die in de koelkasten en vriezers pasten.

Bij de werking van een koelinstallatie wordt gebruik gemaakt van een belangrijk natuurkundig principe van faseovergangen, te weten:

- Verdampen: van vloeibaar naar gasvormig.
- Condenseren: van gasvormig naar vloeibaar.

In figuur 1 zijn alle natuurkundige faseovergangen aangegeven. In ons geval maken we dus alleen gebruik van verdampen en condenseren.



Figuur 10: De faseovergangen. G staat voor gasvormig, L voor vloeibaar en S voor vast

Nu is het zo dat bij condensatiewarmte c.q. energie vrijkomt, deze is gelijk aan het omgekeerde van de verdampingswarmte.

De verdampingswarmte is de hoeveelheid warmte die nodig is om een medium van een vloeibare toestand om te zetten in een gas. Hierdoor wordt warmte aan de omgeving onttrokken. Denk hierbij aan zweten: er wordt gebruikt gemaakt van het verdampingsprincipe, zodat je afkoelt.



## 3.2. De werking van een koelinstallatie

Aan de hand van de werking van een koelkast gaan we onderzoeken hoe deze werkt. Het koelingsprincipe is voor alle koelinstallaties gelijk.

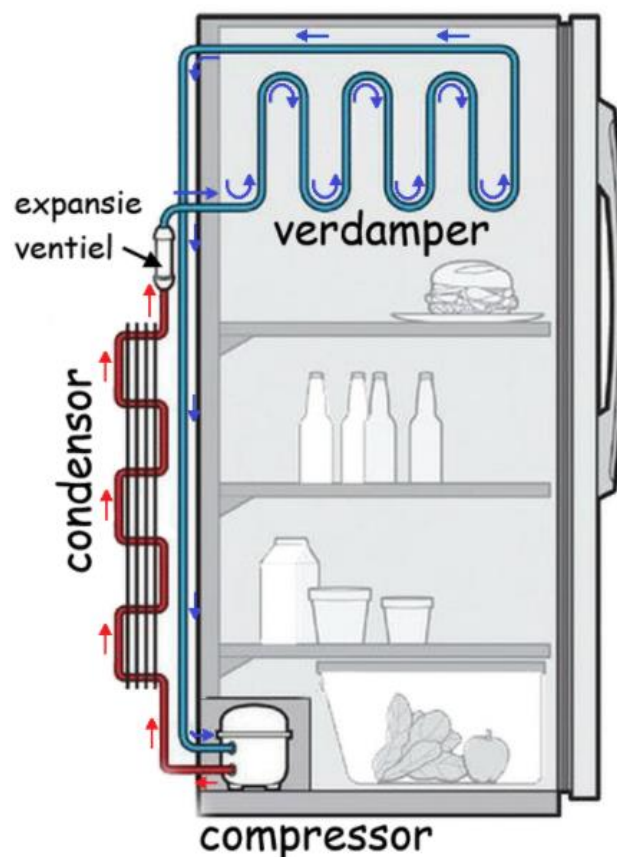
### De koelkast:

Bij een koelkast wordt het koudemiddel door een compressor rondgepompt. Een compressor is een zuigperspomp voor gassen. Hij wordt door een elektromotor aangedreven. Het koudemiddel van een huishoudkoelkast is tegenwoordig R-134a, een vluchtige stof.

Om dit natuurkundig principe van koelen te laten werken, wordt in een koelinstallatie gebruik gemaakt van de volgende onderdelen:

- Compressor.
- Condensor.
- Expansieklep (of expansieventiel).
- Verdamper.

In de koelkast wordt m.b.v. de verdamper de warmte uit de kast onttrokken en via de condensor (zwarte achter-plaat) afgevoerd.



**De compressor en de condensor:**

De compressor perst het gas, in de condensor, waar het gas condenseert tot vloeistof en daarbij zijn condensatiewarmte afgeeft. Dat is de zwarte plaat achter op de koelkast. Tot hier aan toe staat het koudemiddel onder hoge druk. Dit is de persdruk van de compressor.

**Het expansieventiel:**

Door het expansieventiel stroomt de vloeistof naar de verdamper. Hier heerst een lage druk, namelijk de zuigdruk van de compressor.

Het expansieventiel, heeft twee taken;

1. Voldoende vloeistof door te laten om de koelkast te laten koelen.
2. Het drukverschil tussen de zuigzijde en de perszijde in stand te houden.

**De verdamper:**

Bij het binnengaan van de verdamper is de vloeistof koud en voor een deel verdampt. Omdat het in de koelkast warmer is dan in de verdamper wordt de warmte opgenomen door de vloeistof die daardoor verdampt.

En voor verdampen heb je nu eenmaal warmte nodig. En die wordt uit de koelkast gehaald waardoor daar de temperatuur daalt.

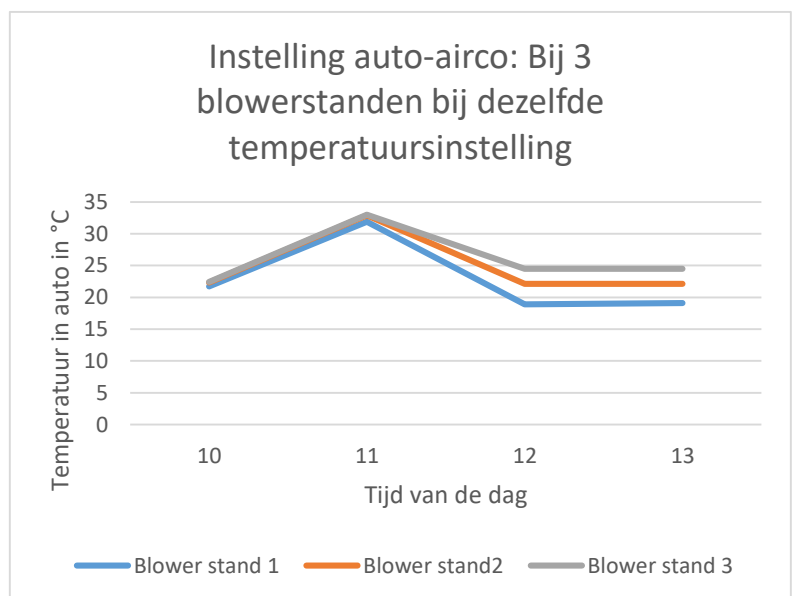
Aan het eind van de verdamper wordt de damp afgezogen door de compressor en weer richting condensor gepompt waar het een vloeistof wordt en de warmte uit de koelkast afgeeft aan de omgeving, via de zwarte achter-plaat.

### 3.3. De airco in de auto

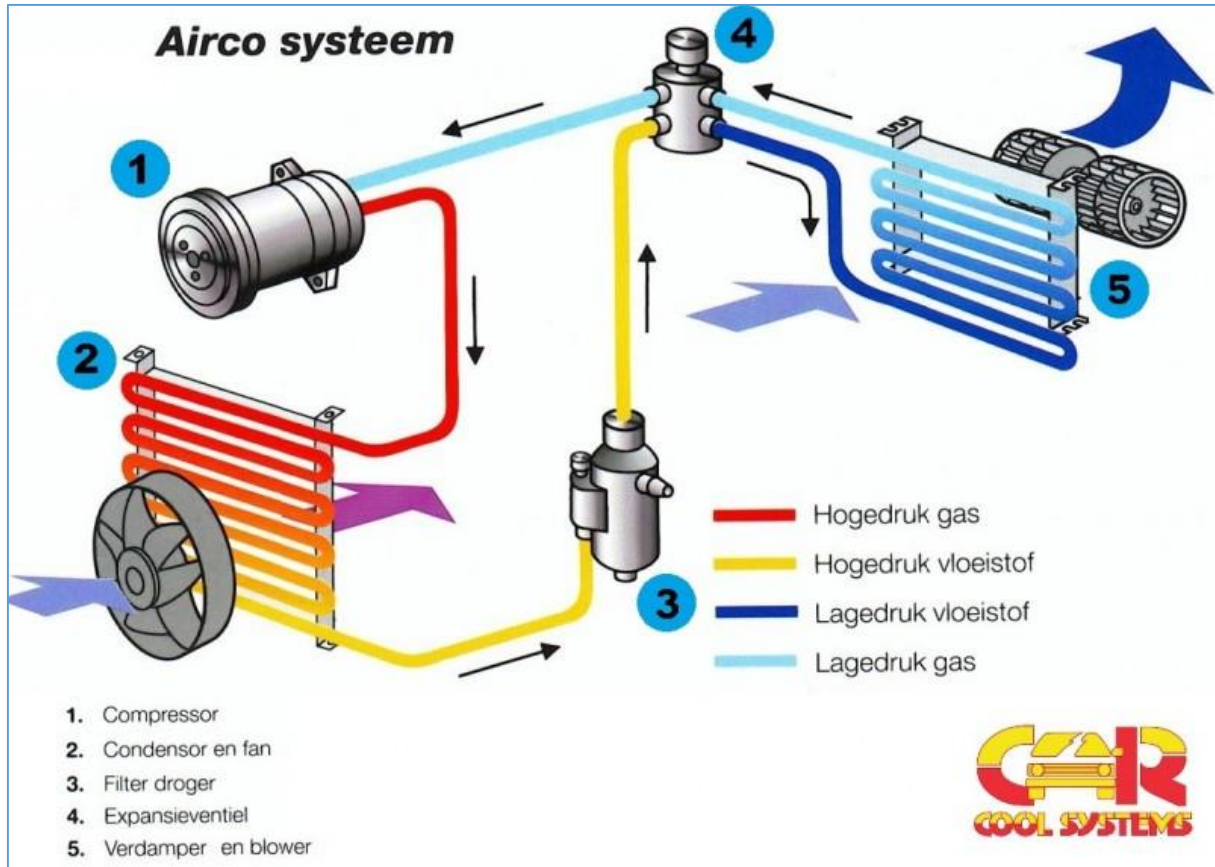
Tegenwoordig zijn bijna alle auto's uitgevoerd met een airco. De belangrijkste knoppen zijn de instelling van de temperatuur en het regelen van de hoeveelheid lucht.

Veel mensen doen, als de auto erg is opgewarmd, beide knoppen op de hoogste stand, maar heeft dit zin?

**Een voorbeeld:** Bas heeft net zijn rijbewijs en besluit met vrienden, op een warme zomerdag, naar het strand te gaan. Rond 11:00 wordt het heet in de auto. Hij besluit airco in te stellen op een temperatuur van 20°C en wil snel verkoeling en zet de blower op zijn hoogste stand, namelijk 3. Als je naar de grafiek hiernaast kijkt, lijkt dit dus geen zin te hebben. Dit komt omdat dezelfde koelcapaciteit meer lucht moet gaan koelen.



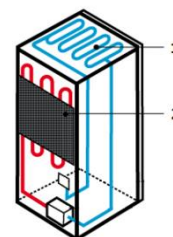
In onderstaande afbeelding kun je zien dat het koelingsprincipe van een auto gelijk is aan die van een koelkast.



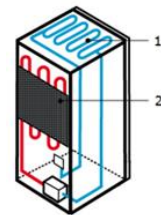
Bron: [https://www.carcoolsystems.nl/werking\\_airco/p/27/](https://www.carcoolsystems.nl/werking_airco/p/27/)

### 3.3.1. Toets werking koelinstallatie

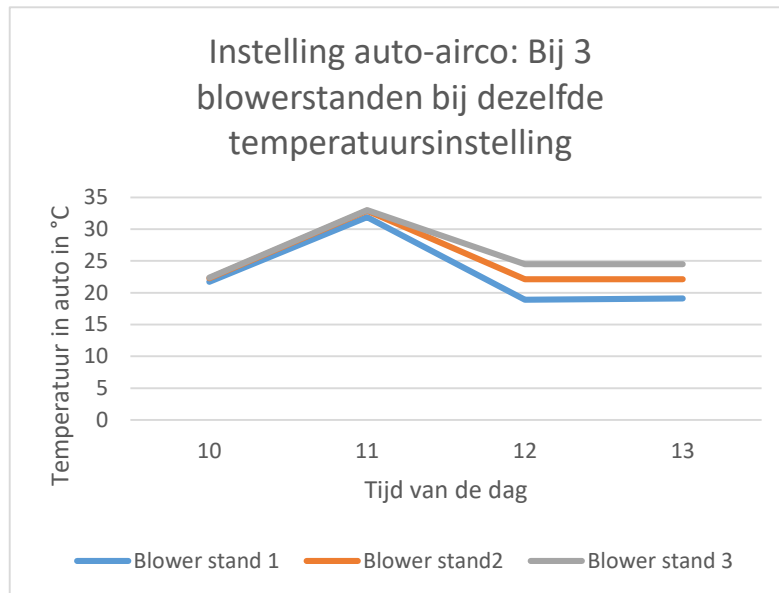
- Wat gebeurt er met de kooktemperatuur van een vloeistof als je de druk verlaagt?
  - Dan zal de kooktemperatuur lager worden.
  - Dan zal de kooktemperatuur hoger worden.
  - Dan zal de kooktemperatuur hetzelfde blijven.
  
- Wat is koelen?
  - Het verlagen van de energie.
  - Het toestoppen van koude.
  - Het wegnemen van warmte.
  
- Hoe kun je de temperatuur laten stijgen van een voorwerp?
  - Door de temperatuur te meten.
  - Door er warmte aan toe te voegen.
  - Door er warmte weg te halen.
  
- Wat is een van de functies van het expansieventiel?
  - De druk naar de verdamper toe te verhogen.
  - Het drukverschil tussen de zuigzijde en de perszijde in stand houden.
  - Het gas te laten condenseren.
  
- Welk onderdeel van de koelkast zit er tussen de condensor en de verdamper?
  - Het expansieventiel.
  - De compressor perst het gas in de verdamper.
  - De thermostaat.
  
- Wat doet het gas als het condenseert?
  - Dan geeft het warmte af.
  - Dan neemt het warmte op.
  
- Wat gebeurt er met het gas in de condensor?
  - De druk van het gas zal lager worden.
  - Het gas wordt verhit en wordt een vloeistof.
  - Het gas condenseert tot een vloeistof.
  
- Welk koudemiddel wordt er tegenwoordig in een koelkast gebruikt?
  - CO<sub>2</sub>
  - R-134a
  - Ammoniak
  - Freon
  
- Wat is in de afbeelding aangegeven met het nummer 1?
  - Compressor.
  - Expansieventiel.
  - Verdamper.
  - Condensor.



- Wat is functie van de compressor bij een koelkast?
  - De compressor perst het gas in de verdamper.
  - De compressor perst het gas in de condensor.
  - De compressor zuigt het gas uit de condensor.
- Wat gebeurt er met een gas als je de druk verhoogt?
  - Dan zal het gas verdampen.
  - Dan zal het gas condenseren.
- Hoe kun je de temperatuur laten dalen van een voorwerp?
  - Door de temperatuur te meten.
  - Door er warmte aan toe te voegen.
  - Door er warmte weg te halen.
- Wat doet een vloeistof als deze door de druk te verlagen vanzelf gaat koken?
  - Deze vloeistof neemt de warmte op uit de omgeving.
  - Deze vloeistof geeft dan warmte af aan de omgeving.
- Wat gebeurt er als je van een vloeistof de druk ver genoeg verlaagt?
  - Dan gaat deze vanzelf condenseren.
  - Dan gaat deze vanzelf koken (verdampen)
  - Dan gebeurt er niets.
- Wat is in de afbeelding aangegeven met het nummer 2?
  - Compressor.
  - Expansieventiel.
  - Verdamper.
  - Condensor
- Wat gebeurt er met de kooktemperatuur van een vloeistof als je de druk verhoogt?
  - Dan zal de kooktemperatuur hetzelfde blijven.
  - Dan zal de kooktemperatuur hoger worden.
  - Dan zal de kooktemperatuur lager worden.
- Wat doet het gas als het condenseert?
  - Dan geeft het warmte af.
  - Dan neemt het warmte op.



- Bas heeft net zijn rijbewijs en besluit met vrienden, op een warme zomerdag, naar het strand te gaan. Rond 11:00 wordt het heet in de auto. Hij besluit airco in te stellen op een temperatuur van 20°C en wil snel verkoeling. Op welke stand kan hij de blower het beste instellen?



Antwoord: -----

Extra punten voor motiveren jouw antwoord.

-----

-----

-----

- Onder welke temperatuur rem je de groei van bacteriën af?
  - 10°C
  - -10°C
  - 0°C
  - 5°C
- Waarom werd het mogelijk dat er koelkasten en vriezers in gebruik konden worden genomen?
  - Door de uitvinding van de kleine compressor.
  - Door de uitvinding van elektriciteit.
  - Door de uitvinding de ammoniakcompressor.

## Algemene conclusie en persoon nawoord

Het uitvoeren van de opdracht was voor mij wederom een leerzame ervaring en een opfrissing van de kennis.

Het werken met de installatie ging op zich goed, ware het niet dat de meting met de stoominjectie m.i. geen logische uitkomst liet zien. Ook waren er hier en daar (grote?) verschillen in de natte en droge bol thermometerparen. Ook na controle op voldoende demiwater en consultering van de docent. Wellicht dient het aanbeveling om de installatie door een erkende instantie te laten ijken en/of kalibreren. Toch hebben we verder met de installatie metingen kunnen doen waaruit leuke conclusies te trekken waren.

De samenwerking, bij de metingen, met medestudent Wybren Landman heb ik wederom als prettig ervaren. Echter de verslagen zijn met een eigen twist gemaakt.

Ook wil ik de docenten bedanken voor hun professionele houding en begeleiding.

## Bijlage A: Syllabus Keuzemodule Koudetechniek

<b>K/PIE/16 koudetechniek</b>	<b>BB</b>	<b>KB</b>	<b>GL</b>
<b>Taak:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>o basisprincipes en de hoofdcomponenten van de koudetechniek benoemen en uitleggen. (Sleutelbegrippen)</li> <li>o tekeningen en schema's van koude technische installaties lezen, meetgegevens vastleggen, omrekenen en interpreteren</li> <li>o bewerkingen uitvoeren aan verschillende soorten materialen ten behoeve van een koude technische installatie</li> <li>o onderdelen ten behoeve van een koude technische installatie samenstellen, monteren en installeren, aan de hand van een werktekening</li> <li>o een eenvoudig onderzoek uitvoeren naar het nut, noodzaak en toepassingen van koudetechniek en de uitkomsten daarvan te presenteren</li> </ul>			
<b>K/PIE/16.1</b>			
<b>Deeltaak:</b> het basisprincipe uitleggen en de hoofdcomponenten van de koudetechniek herkennen en benoemen.			
<b>De kandidaat kan:</b>			
1. de vier hoofdcomponenten uit de koudetechniek herkennen en benoemen	x	x	x
2. het basisprincipe – de kringloop – van koudetechniek uitleggen	x	x	x
<b>K/PIE/16.2</b>			
<b>Deeltaak:</b> tekeningen en schema's van koude technische installaties lezen, meetgegevens vastleggen en interpreteren.			
<b>De kandidaat kan:</b>			
1. een bouwkundige tekening of schets lezen en hierop leidingen en leidingonderdelen van koudetechnische installaties herkennen	x	x	x
2. een werktuigbouwkundige tekening of schets lezen en hierop de koudetechnische leidingdelen en details herkennen	x	x	x
3. werktuigbouwkundige exploded view tekeningen lezen en de aanwijzingen daarin toepassen bij monteren van componenten en het maken van leidingverbindingen	x	x	x
4. eigenschappen, toepassingen en handelsvormen noemen van koperen buis, kunststof buis, kabels en kabelgoten welke bij koudetechnische installaties worden toegepast	x	x	x
5. meetgegevens vastleggen in een verslag en deze toelichten		x	x
6. schriftelijk of elektronisch opgeslagen gegevens opzoeken	x	x	x
<b>K/PIE/16.3</b>			
<b>Deeltaak:</b> bewerkingen uitvoeren aan verschillende soorten materialen ten behoeve van een koude technische installatie.			
<b>De kandidaat kan:</b>			

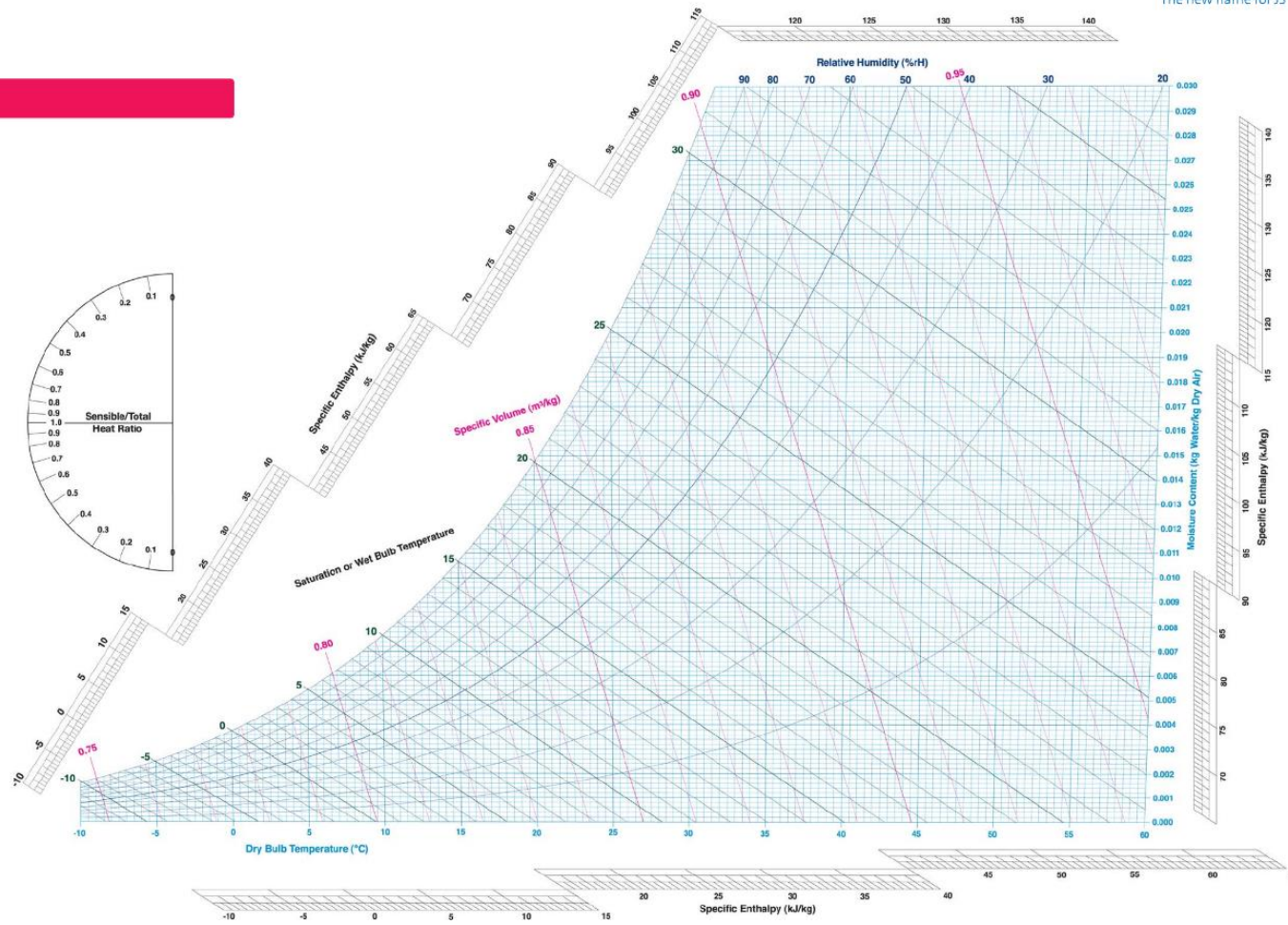


1. koperen- en kunststof buizen afkorten door middel van een gangbare methode	x	x	x
2. in- en uitwendige bramen van koperen- en kunststof buizen verwijderen	x	x	x
3. een koperen koelleiding buigen met behulp van een buigtang en buigblok	x	x	x
4. trompverbindingen vervaardigen in een koperen koelleiding met de diameters ¼", 3/8", ½", en 5/8" en deze samenstellen en monteren	x	x	x
5. koperen buisdelen verbinden met gebruikmaking van zelf te vervaardigen flare verbindingen, in de maten ¼", 3/8", ½", en 5/8"	x	x	x
6. verbindingen in een koperen koelleiding voorbereiden en hardsolderen	x	x	x
7. een trompverbinding openwerken en controleren op de kwaliteit van de hardsoldering	x	x	x
<b>K/PIE/16.4</b>			
Deeltaak: onderdelen ten behoeve van een koude technische installatie samenstellen, monteren en installeren, aan de hand van een werktekening.			
De kandidaat kan:			
1. standaard beugels, bevestigings- en ondersteuningsvoorzieningen voor koudemiddelleidingen en appendages aanbrengen	x	x	x
2. aan de hand van een vereenvoudigde bouwkundige tekening van een gebouw waarin de koude technische installatie isometrisch is weergegeven onderdelen van een koude installatie monteren en aansluiten	x	x	x
3. bepalen welke materialen en gereedschappen nodig zijn voor het plaatsen, monteren en aansluiten van appendages voor koude technische installaties		x	x
4. een juiste brander kiezen en deze juist afstellen voor het hardsolderen van zacht koperen koelleidingen in de maten ¼", 3/8", ½", en 5/8"		x	x
5. het juiste soldeermateriaal kiezen voor het hard solderen van zacht koperen koelleiding in de mate ¼", 3/8", ½", en 5/8" voor solderingen onderling, de koelleiding met messing, de koelleiding met RVS, en de koelleiding met staal		x	x
6. afval en restmateriaal verzamelen, sorteren, selecteren en gescheiden afvoeren		x	x
7. assisteren bij het op sterkte en dichtheid beproeven van een koude technische installatie		x	x
8. een op druk staand koudesysteem op lekkage controleren met zeepsop; niet zijnde installaties waarvoor certificering noodzakelijk is		x	x
9. elektrotechnische componenten monteren en aansluiten met behulp van draden, kabels en snoeren		x	x
<b>K/PIE/16.5</b>			
Deeltaak: een eenvoudig onderzoek uitvoeren naar het nut en noodzaak van koudetechniek en de uitkomsten daarvan presenteren.			
De kandidaat kan:			

1. een eenvoudig onderzoek uitvoeren naar het nut, noodzaak en toepassingen van koudetechniek en de uitkomsten daarvan presenteren (toepassingsgebieden – maatschappelijk belang en hoe dit ons leven positief beïnvloedt)	x	x	x
Voor het uitvoeren van de taak beheerst de kandidaat de voorwaardelijke kennis, vaardigheden en houding.	x	x	x

Bron: <https://www.platformsvmbo.nl/profielen/produceren-installeren-en-energie>

# Bijlage B: Het Mollierdiagram



Bron: <https://www.condair.nl/nieuws/mollier-diagram>

## Bijlage C: Lesformulier

Datum/tijd: .....

Groep: 4<sup>e</sup> klas PIE, niveau KB

Groeps grootte: .....

Lesonderwerp: .....

Werking van een koelinstallatie

Beginsituatie (wat kunnen ze al/motivatie): .....

Start keuzemodule KOUDETECHNIKEN.

Reflectie over: .....

De 5 rollen: de gastheer (les starten) – presentator (aandacht vragen) – didacticus (instructie geven) – pedagoog (orde houden) - afsluiter

Observator: .....

Tijd (richtlijn)	Onderdeel	Docentactiviteit	Cursistactiviteit	Inhoud	Benodigd
10 min	<b>Intro</b>  • Programma op bord.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Welkom heten &amp; presentiecontrole.</li> <li>• Programma uitleggen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luisteren.</li> <li>•</li> </ul>	Welkom/presentie,  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Programma op bord:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ De les.</li> <li>○ Vragen beantwoorden.</li> </ul> </li> </ul>	dit lesopzetformulier.  Bord, stiften, leerlingPC's en smartTV.
10 min	<b>Verkenning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vragen stellen.</li> <li>• Filmpje Willem Wever laten zien.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luisteren en reageren op vragen.</li> <li>• Kijken naar film en eventueel reageren.</li> </ul>	<b>Interesse opwekken: Wat is het nut van de les?</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Waarvoor zijn koelinstallaties belangrijk?</li> <li>• Noem een aantal soorten koelinstallaties.</li> </ul>	Bord en stiften.  Smart TV  <a href="https://www.youtube.com/watch?v=oQaSfrthvqU">https://www.youtube.com/watch?v=oQaSfrthvqU</a>
10 min	<b>Verwerving</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uitleggen 4 componenten van een koelinstallatie.</li> <li>• Filmpje HOE WERKT EEN KOELKAST laten zien.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kijken, luisteren en antwoorden.</li> </ul>	<b>Lesinhoud:</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• De werking van een koelinstallatie</li> </ul>	SmartTV  <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="https://www.youtube.com/watch?v=13QDd8w9oHk">https://www.youtube.com/watch?v=13QDd8w9oHk</a></li> </ul>
20 min	<b>Verwerking</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• D-toetsvragen van ELOdigitaal laten maken.</li> <li>• PC-Werkplekken toedelen.</li> <li>• Tijdens uitvoering Langslopen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plaatsnemen op toegewezen werkplek.</li> <li>• Nu aan de slag; De tekst van ELOdigitaal doornemen (is herhaling).</li> <li>• D-toets maken. Wanneer klaar docent roepen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De digitale les in ELOdigitaal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leerling Pc's</li> <li>•</li> </ul>
10 min	<b>Nabespreken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klassikaal resultaten bespreken.</li> <li>• Antwoorden op bord schrijven</li> <li>• Samenvatten.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vragen van de docent beantwoorden.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bepaling of lesdoelen zijn behaald.</li> <li>• Samenvatting.</li> </ul>	Bord en stiften.

## Bronnen

- <https://www.platformsymbo.nl/profielen/produceren-installeren-en-energie>
- <https://www.condair.com.bd/m/0/i0522-74-psychometric-chart-aw-web-ready-1.pdf>
- <https://www.condair.nl/nieuws/mollier-diagram>
- <https://www.kwangu.com/work/psychrometric.htm>
- <https://www.youtube.com/watch?v=s7J6R9wECh8>
- Hoofdstuk 9 van het studieboek Montage en Onderhoud: Luchtbehandelingsinstallaties.
- Hoofdstuk 9 van het studieboek Montage en Onderhoud: Luchtbehandelingsinstallaties.
- Handleiding PRPIE P3 Besturen en automatiseren module I kort.
- [https://www.carcoolsystems.nl/werking\\_airco/p/27/](https://www.carcoolsystems.nl/werking_airco/p/27/)
- Gebruikte methode: Elodigitaal van Pennings.