

Bijlage 1 Principeschema selectietool

Bijlage 2 Procesdiagram selectieverkleining (stap 2)

Bijlage 3 Schermvoorbeelden selectietool

Bijlage 4 Diabatische koeling

Coolerado

Coolerado	Volumestroom aanvoer (buitenlucht) [m ³ /h]	Volumestroom toevoer (gekoelde lucht) [m ³ /h]	Volumestroom afvoer (proces) [m ³ /h]
M30	2.800	1.530	1.270
M50	4.500	2.460	2.040
C60	4.900	2.700	2.200

Verbruik

Coolerado	Opgenomen elektrisch vermogen [Watt]	Gemiddeld waterverbruik in Nederland [l/h]
M30	450	6
M50	750	10
C60	750	12

Prijs

Coolerado	Indicatieprijs (inclusief montage en dergelijke kosten) [€]
M30	6.000,-
M50	7.950,-
C60	8.500,-



Controle specificaties Coolerado M30

Uitgangspunten:

- Soortelijke massa lucht = $1,2 \text{ kg/m}^3$
- Externe statische druk = 0 Pa
- Gekoelde luchthoeveelheid = $1.530 \text{ m}^3/\text{h}$

Gegeven is een maximale koelcapaciteit van $8,67 \text{ kW}$ bij de volgende luchtcondities:

Buitenlucht/aanzuiglucht		Toevoerlucht/uitblaaslucht	
Temperatuur (droge bol) [$^{\circ}\text{C}$]	Absolute vochtigheid [g/kg]	Temperatuur (droge bol) [$^{\circ}\text{C}$]	Koelvermogen [kW]
36	6,0	19,0	8,67

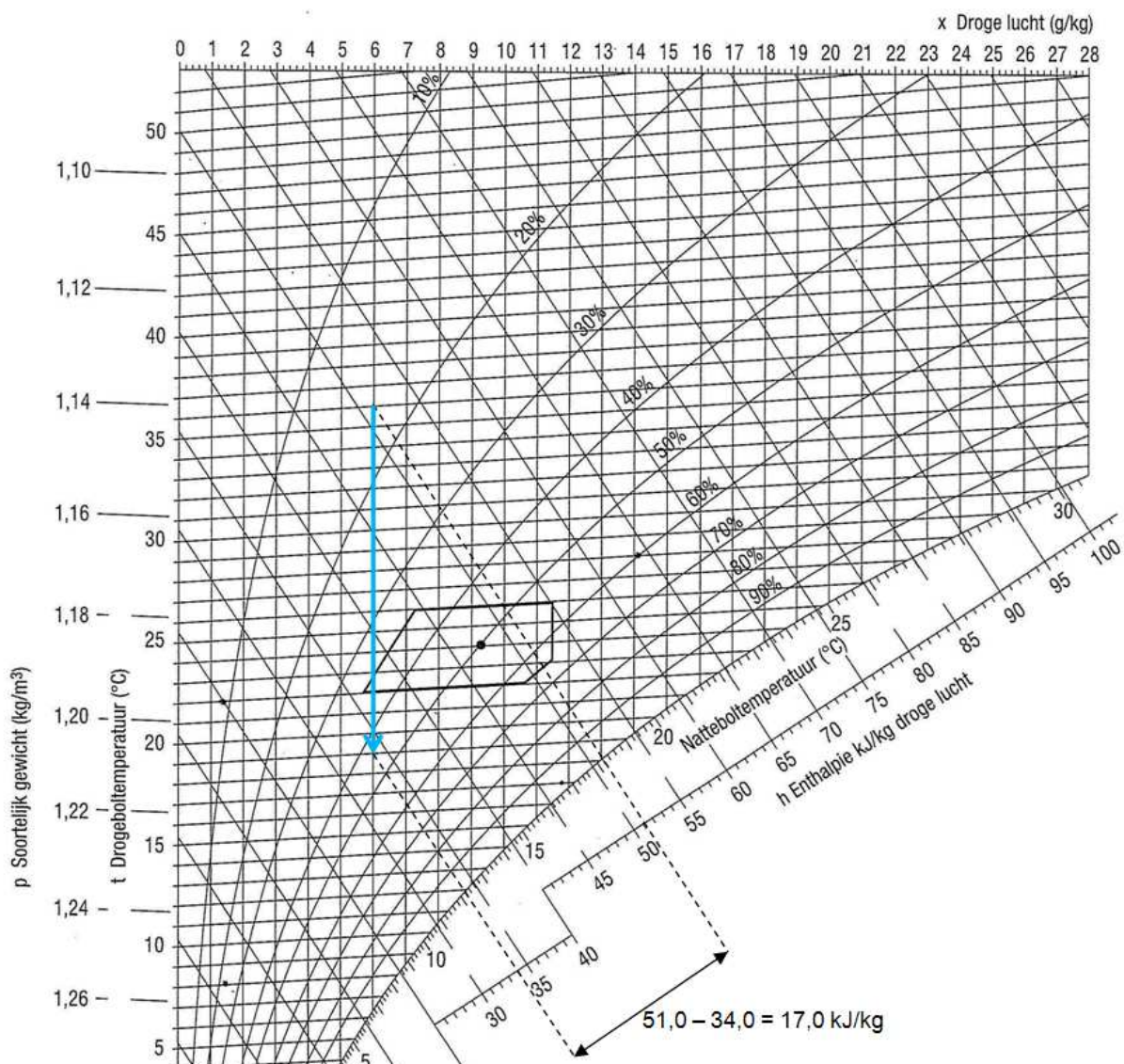
$$\Phi_W = \Phi_V * \rho * \Delta h$$

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\Phi_V = 1.530 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = \frac{1.530 \text{ m}^3}{3600 \text{ s}} = 0.425 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta h = 17,0 \text{ kJ/kg}$$

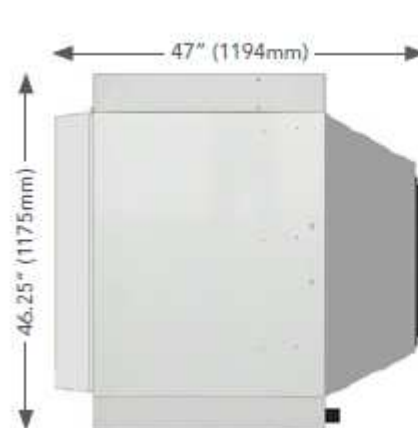
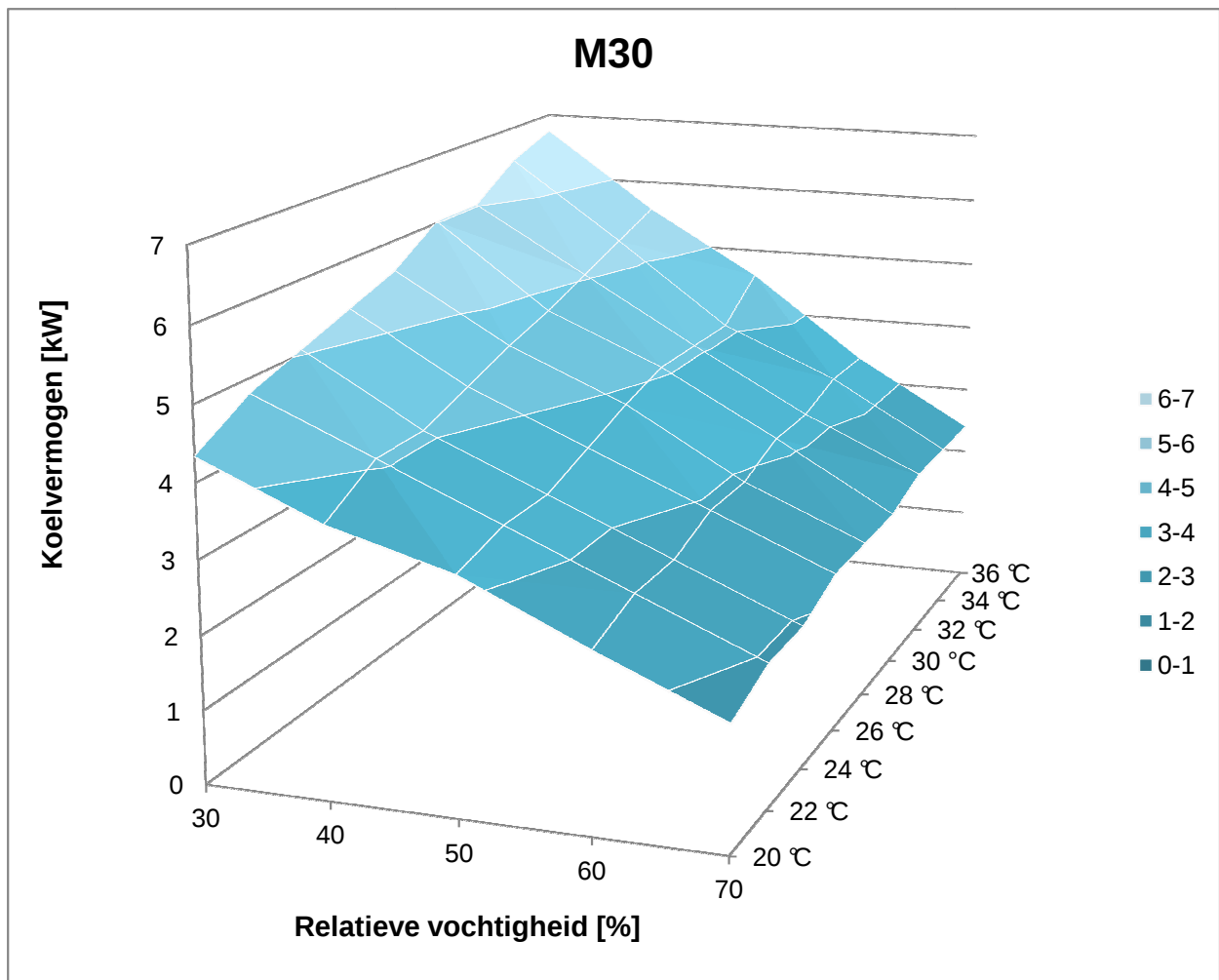
$$\Phi_W = 0,425 * 1,2 * \Delta h = 0,51 * \Delta h = 0,51 * 17,0 = 8,67 \text{ kW}$$



Luchtcondities Coolerado M30

In onderstaande tabel staan de luchtcondities conform de specificaties van de Coolerado M30. De gegeven koelvermogens zijn zelf bepaald aan de hand van het Mollier diagram en de formule $\Phi_W = 0,51 * \Delta h$

Buitenlucht/aanzuiglucht		Toevoerlucht/uitblaaslucht	
Temperatuur (droge bol) [°C]	Absolute vochtigheid [g/kg]	Temperatuur (droge bol) [°C]	Koelvermogen [kW]
20	4,5	11,5	4,335
20	6,0	12,9	3,621
20	7,5	13,8	3,162
20	9,0	15,3	2,397
20	10,5	16,7	1,683
22	4,5	12,6	4,794
22	6,5	14,0	4,080
22	8,0	15,4	3,366
22	10,0	16,8	2,652
22	11,5	18,2	1,938
24	5,5	14,1	5,049
24	7,5	16,0	4,080
24	9,5	17,4	3,366
24	11,5	18,8	2,652
24	13,0	20,2	1,938
26	6,5	15,6	5,304
26	8,5	17,5	4,335
26	10,5	18,9	3,621
26	12,5	20,3	2,907
26	14,5	21,7	2,193
28	7,0	17,1	5,559
28	9,5	19,0	4,590
28	11,5	20,4	3,876
28	14,0	22,3	2,907
28	16,5	23,7	2,193
30	8,0	18,2	6,018
30	10,5	20,6	4,794
30	13,0	22,0	4,080
30	15,5	23,8	3,162
30	18,5	25,7	2,193
32	9,0	20,2	6,018
32	12,0	22,1	5,049
32	14,5	24,0	4,080
32	17,5	25,8	3,162
32	20,5	27,3	2,397
34	9,5	21,3	6,477
34	13,5	23,6	5,304
34	16,5	26,0	4,080
34	19,5	27,4	3,366
34	23,5	29,3	2,397
36	10,5	22,8	6,732
36	14,5	25,1	5,559
36	18,5	27,0	4,590
36	22,5	29,4	3,366
36	26,5	31,3	2,397



Controle specificaties Coolerado M50

Uitgangspunten:

- Soortelijke massa lucht = $1,2 \text{ kg/m}^3$
- Externe statische druk = 0 Pa
- Gekoelde luchthoeveelheid = $2.460 \text{ m}^3/\text{h}$

Gegeven is een maximale koelcapaciteit van $13,8 \text{ kW}$ bij de volgende luchtcondities:

Buitenlucht/aanzuiglucht		Toevoerlucht/uitblaaslucht	
Temperatuur (droge bol) [$^{\circ}\text{C}$]	Absolute vochtigheid [g/kg]	Temperatuur (droge bol) [$^{\circ}\text{C}$]	Koelvermogen [kW]
36	6,0	19,0	13,8

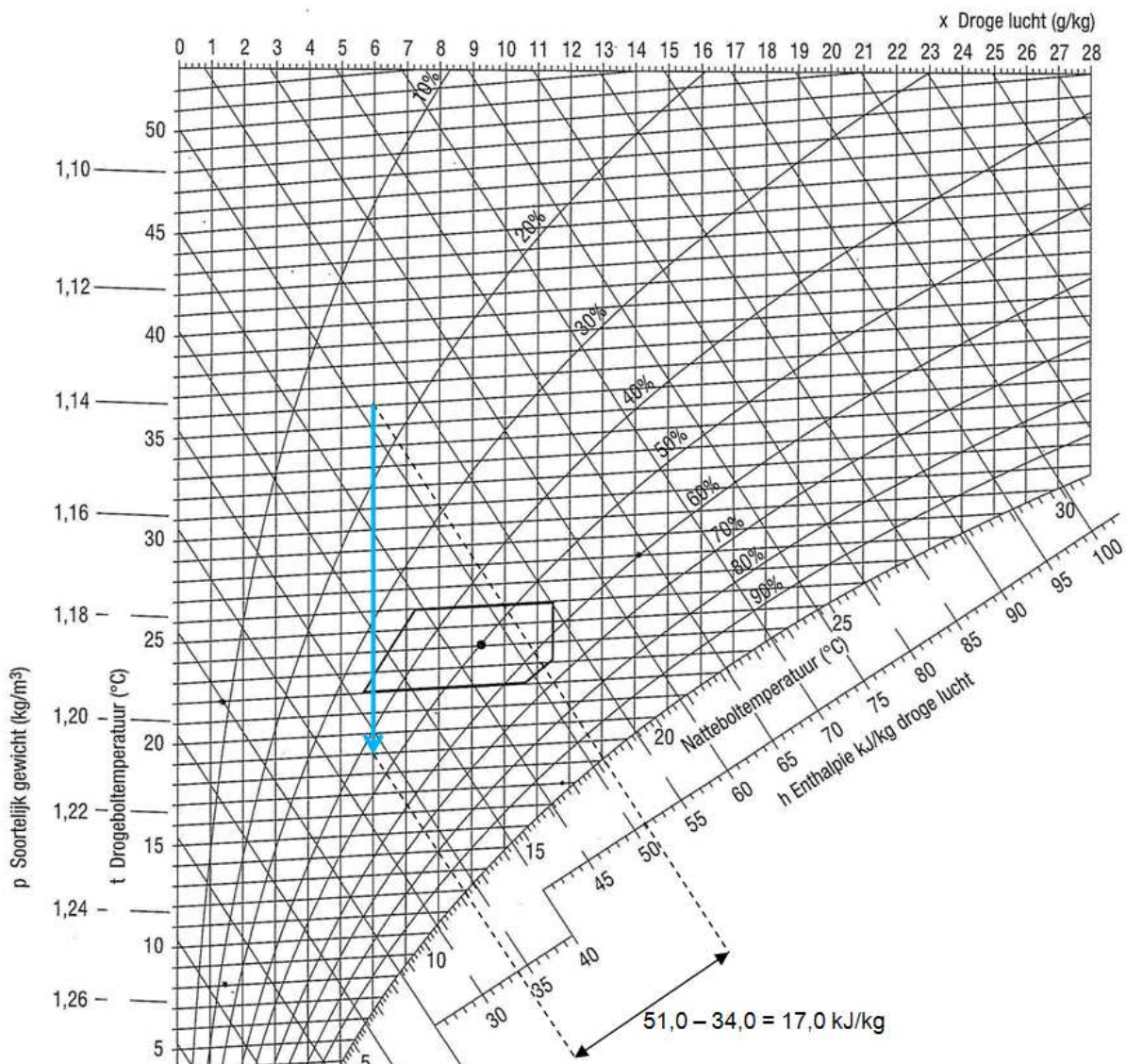
$$\Phi_W = \Phi_V * \rho * \Delta h$$

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\Phi_V = 2.460 \text{ m}^3/\text{h} = \frac{2.460}{3600} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta h = 17,0 \text{ kJ/kg}$$

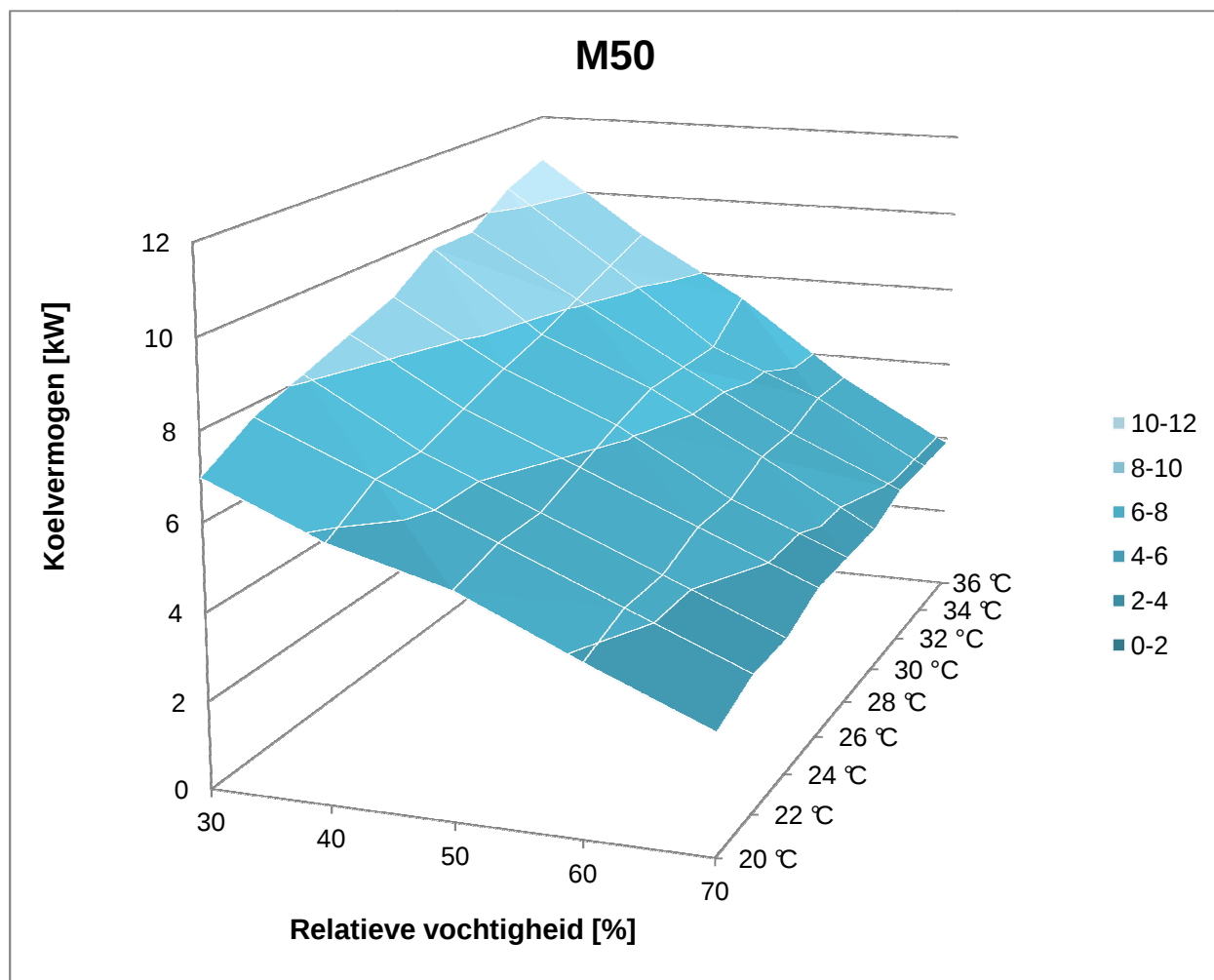
$$\Phi_W = \frac{2.460}{3600} * 1,2 * \Delta h = 0,82 * \Delta h = 0,82 * 17,0 = 13,94 \text{ kW}$$



Luchtcondities Coolerado M50

In onderstaande tabel staan de luchtcondities conform de specificaties van de Coolerado M50. De gegeven koelvermogens zijn zelf bepaald aan de hand van het Mollier diagram en de formule $\Phi_W = 0,82 * \Delta h$

Buitenlucht/aanzuiglucht		Toevoerlucht/uitblaaslucht	
Temperatuur (droge bol) [°C]	Absolute vochtigheid [g/kg]	Temperatuur (droge bol) [°C]	Koelvermogen [kW]
20	4,5	11,5	6,970
20	6,0	12,9	5,822
20	7,5	13,8	5,084
20	9,0	15,3	3,854
20	10,5	16,7	2,706
22	4,5	12,6	7,708
22	6,5	14,0	6,560
22	8,0	15,4	5,412
22	10,0	16,8	4,264
22	11,5	18,2	3,116
24	5,5	14,1	8,118
24	7,5	16,0	6,560
24	9,5	17,4	5,412
24	11,5	18,8	4,264
24	13,0	20,2	3,116
26	6,5	15,6	8,528
26	8,5	17,5	6,970
26	10,5	18,9	5,822
26	12,5	20,3	4,674
26	14,5	21,7	3,526
28	7,0	17,1	8,938
28	9,5	19,0	7,380
28	11,5	20,4	6,232
28	14,0	22,3	4,674
28	16,5	23,7	3,526
30	8,0	18,2	9,676
30	10,5	20,6	7,708
30	13,0	22,0	6,560
30	15,5	23,8	5,084
30	18,5	25,7	3,526
32	9,0	20,2	9,676
32	12,0	22,1	8,118
32	14,5	24,0	6,560
32	17,5	25,8	5,084
32	20,5	27,3	3,854
34	9,5	21,3	10,414
34	13,5	23,6	8,528
34	16,5	26,0	6,560
34	19,5	27,4	5,412
34	23,5	29,3	3,854
36	10,5	22,8	10,824
36	14,5	25,1	8,938
36	18,5	27,0	7,380
36	22,5	29,4	5,412
36	26,5	31,3	3,854



Controle specificaties Coolerado C60

Uitgangspunten:

- Soortelijke massa lucht = $1,2 \text{ kg/m}^3$
- Externe statische druk = 0 Pa
- Gekoelde luchthoeveelheid = $2.700 \text{ m}^3/\text{h}$

Gegeven is een maximale koelcapaciteit van $15,3 \text{ kW}$ bij de volgende luchtcondities:

Buitenlucht/aanzuiglucht		Toevoerlucht/uitblaaslucht	
Temperatuur (droge bol) [$^{\circ}\text{C}$]	Absolute vochtigheid [g/kg]	Temperatuur (droge bol) [$^{\circ}\text{C}$]	Koelvermogen [kW]
36	6,0	19,0	15,3

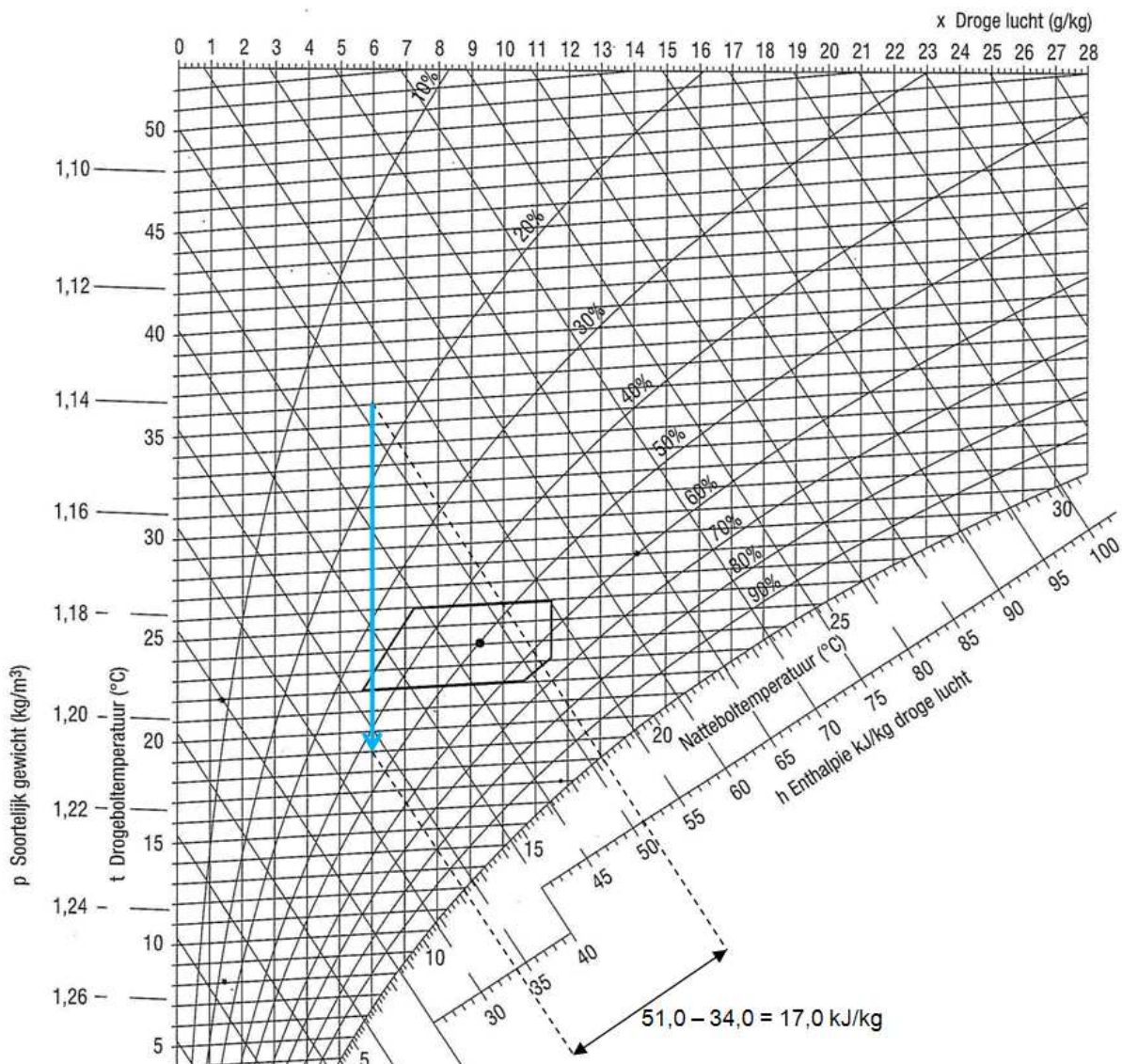
$$\Phi_W = \Phi_V * \rho * \Delta h$$

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\Phi_V = 2.700 \text{ m}^3/\text{h} = \frac{2.700}{3600} \text{ m}^3/\text{s} = 0,75 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta h = 17,0 \text{ kJ/kg}$$

$$\Phi_W = 0,75 * 1,2 * \Delta h = 0,9 * \Delta h = 0,9 * 17,0 = 15,3 \text{ kW}$$

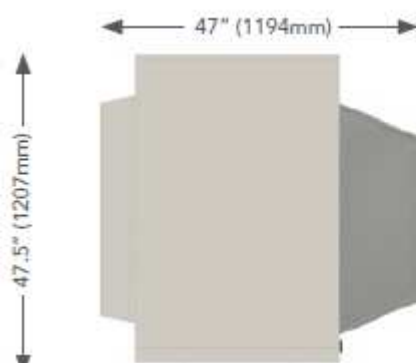
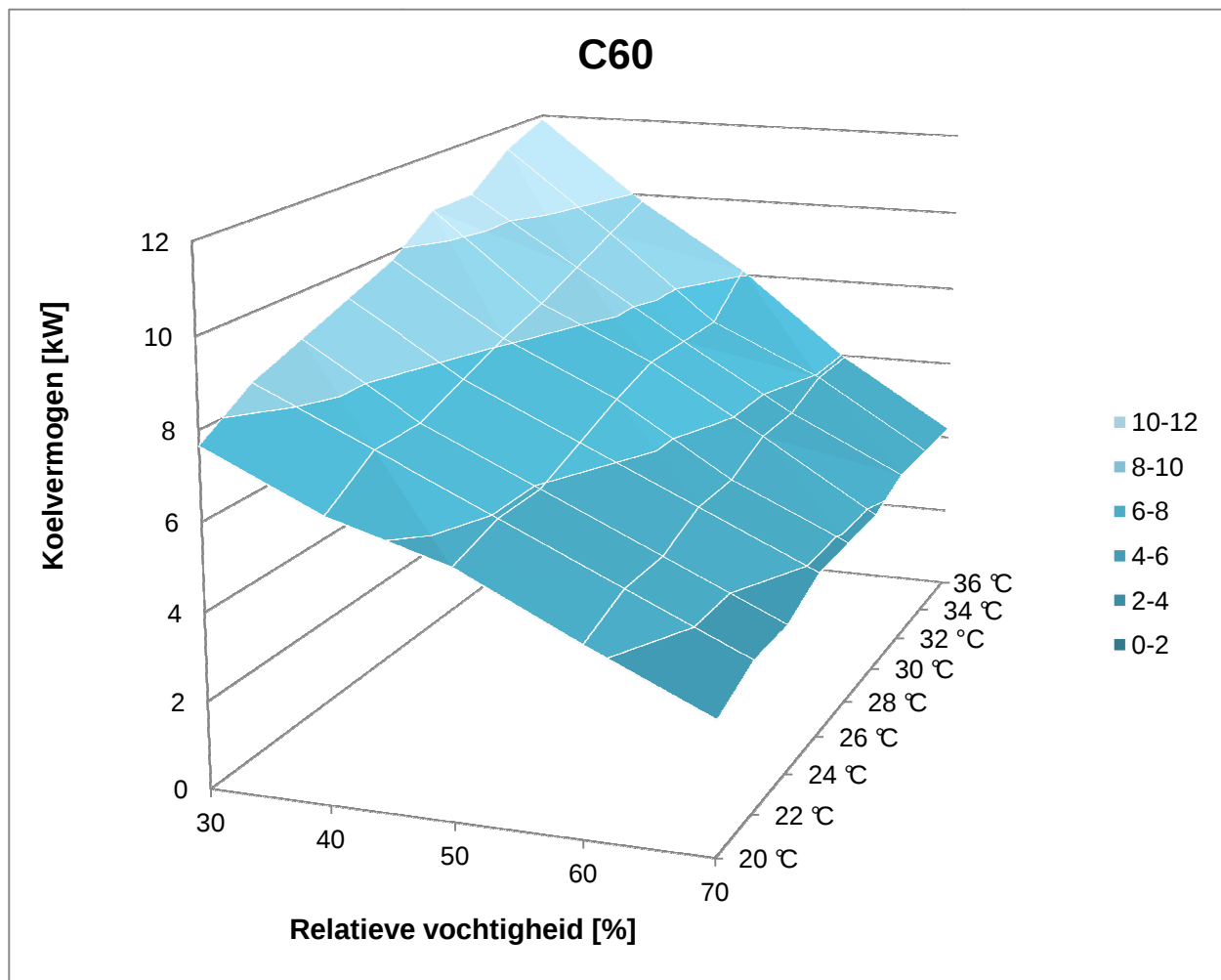


Luchtcondities Coolerado C60

In onderstaande tabel staan de luchtcondities conform de specificaties van de Coolerado C60. De gegeven koelvermogens zijn zelf bepaald aan de hand van het Mollier diagram en de formule

$$\Phi_W = 0,9 * \Delta h$$

Buitenlucht/aanzuiglucht		Toevoerlucht/uitblaaslucht	
Temperatuur (droge bol) [°C]	Absolute vochtigheid [g/kg]	Temperatuur (droge bol) [°C]	Koelvermogen [kW]
20	4,5	11,5	7,650
20	6,0	12,9	6,390
20	7,5	13,8	5,580
20	9,0	15,3	4,230
20	10,5	16,7	2,970
22	4,5	12,6	8,460
22	6,5	14,0	7,200
22	8,0	15,4	5,940
22	10,0	16,8	4,680
22	11,5	18,2	3,420
24	5,5	14,1	8,910
24	7,5	16,0	7,200
24	9,5	17,4	5,940
24	11,5	18,8	4,680
24	13,0	20,2	3,420
26	6,5	15,6	9,360
26	8,5	17,5	7,650
26	10,5	18,9	6,390
26	12,5	20,3	5,130
26	14,5	21,7	3,870
28	7,0	17,1	9,810
28	9,5	19,0	8,100
28	11,5	20,4	6,840
28	14,0	22,3	5,130
28	16,5	23,7	3,870
30	8,0	18,2	10,620
30	10,5	20,6	8,460
30	13,0	22,0	7,200
30	15,5	23,8	5,580
30	18,5	25,7	3,870
32	9,0	20,2	10,620
32	12,0	22,1	8,910
32	14,5	24,0	7,200
32	17,5	25,8	5,580
32	20,5	27,3	4,230
34	9,5	21,3	11,430
34	13,5	23,6	9,360
34	16,5	26,0	7,200
34	19,5	27,4	5,940
34	23,5	29,3	4,230
36	10,5	22,8	11,880
36	14,5	25,1	9,810
36	18,5	27,0	8,100
36	22,5	29,4	5,940
36	26,5	31,3	4,230



Statiqcooling

Statiqcooling heeft een online rekentool waarbij verschillende condities ingevoerd kunnen worden bij de verschillende typen dauwpuntskoelers. Statiqcooling biedt in totaal 6 uitvoeringen aan. Per uitvoering is gerekend met een aantal verschillende luchtcondities. De uitvoerwaardes zijn in onderstaande tabellen te vinden.

Uitgangspunt voor alle situaties is dat 30% van de aangezogen lucht gebruikt wordt als proceslucht.

Er is gerekend met een relatieve luchtvochtigheid van 30%, 40%, 50%, 60% en 70%.

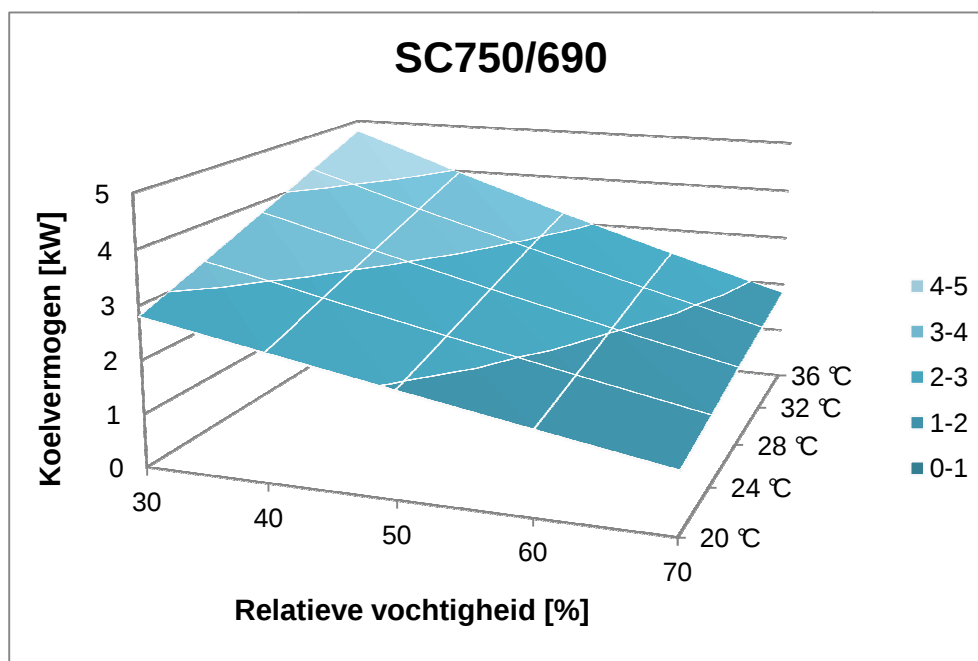
Daarnaast is er gerekend met de nominale volumestroom. De dauwpuntskoelers kunnen een hoger vermogen halen, echter is de C.O.P. dan lager i.v.m. het in verhouding hogere wrijvingsverlies en het in verhouding lagere koelvermogen. De nominale volumestroom is op ongeveer 75% van de maximale volumestroom.

De bijgevoegde grafieken geven een indruk van de relatie tussen de temperatuur, de relatieve vochtigheid en het geleverde koelvermogen.



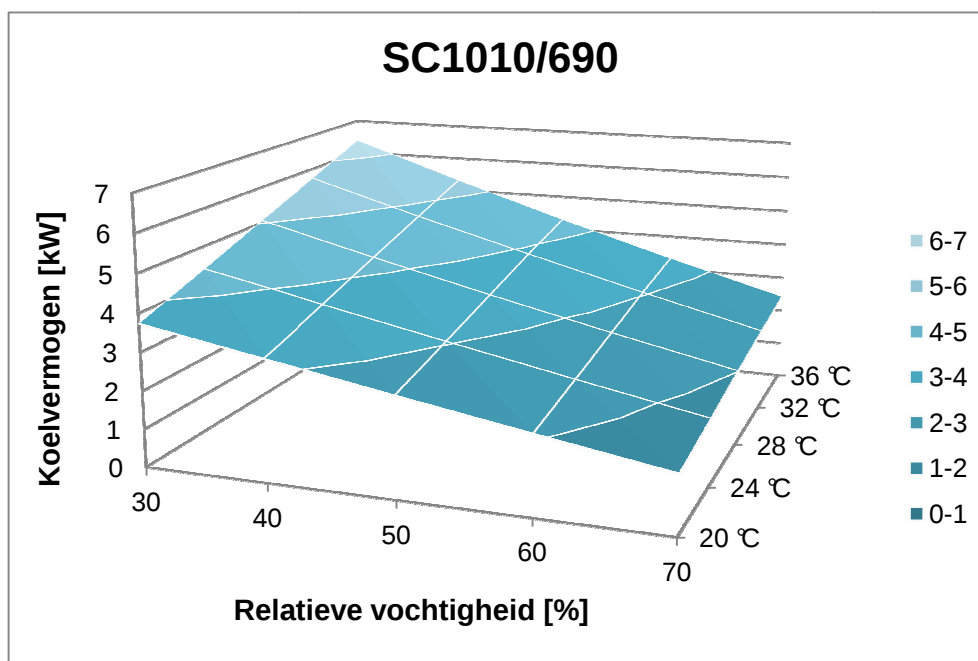
SC750/690Buitenlucht/aanzuiglucht = 1.500 m³/hToevoerlucht/uitblaaslucht = 1.050 m³/hProceslucht = 450 m³/h

Buitenlucht/aanzuiglucht		Toevoerlucht/uitblaaslucht		Water	Elektriciteit
Temperatuur (droge bol) [°C]	Absolute vochtigheid [g/kg]	Temperatuur (droge bol) [°C]	Koelvermogen [kW]	Toevoer [kg/h]	Wrijvingsverlies [W]
20	4,3	12,1	2,795	4,5	69
	5,8	13,3	2,369	3,8	
	7,3	14,5	1,949	3,2	
	8,7	15,7	1,537	2,5	
	10,2	16,8	1,131	1,9	
24	5,5	14,6	3,279	5,3	70
	7,4	16,1	2,769	4,5	
	9,3	17,6	2,270	3,7	
	11,2	19,0	1,783	3,0	
	13,1	20,3	1,310	2,2	
28	7,0	17,1	3,775	6,1	71
	9,4	18,9	3,172	5,2	
	11,8	20,6	2,588	4,3	
	14,2	22,2	2,030	3,4	
	16,7	23,7	1,498	2,5	
32	8,9	19,5	4,271	7,0	72
	11,9	21,7	3,565	5,9	
	14,9	23,6	2,910	4,8	
	18,0	25,5	2,269	3,8	
	21,1	27,3	1,658	2,8	
36	11,1	22,0	4,768	7,9	73
	14,9	24,4	3,961	6,6	
	18,8	26,7	3,199	5,4	
	22,7	28,8	2,482	4,2	
	26,6	30,8	1,806	3,1	



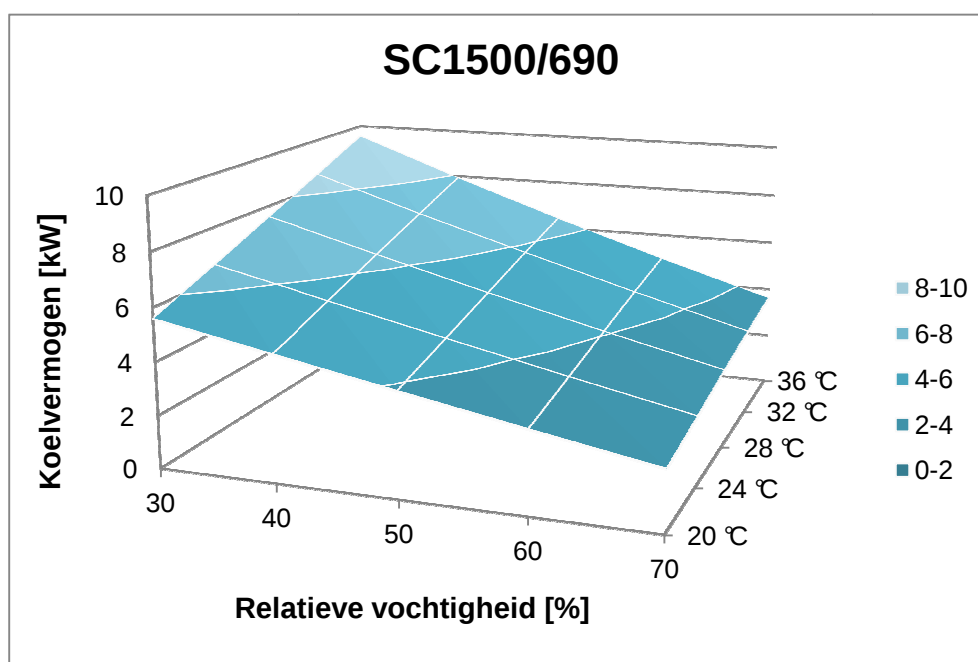
SC1010/690Buitenlucht/aanzuiglucht = 2.000 m³/hToevoerlucht/uitblaaslucht = 1.400 m³/hProceslucht = 600 m³/h

Buitenlucht/aanzuiglucht		Toevoerlucht/uitblaaslucht		Water	Elektriciteit
Temperatuur (droge bol) [°C]	Absolute vochtigheid [g/kg]	Temperatuur (droge bol) [°C]	Koelvermogen [kW]	Toevoer [kg/h]	Wrijvingsverlies [W]
20	4,3	12,1	3,739	6,0	91
	5,8	13,3	3,169	5,1	
	7,3	14,5	2,608	4,2	
	8,7	15,7	2,056	3,4	
	10,2	16,8	1,514	2,5	
24	5,5	14,6	4,388	7,1	92
	7,4	16,1	3,705	6,0	
	9,3	17,5	3,037	5,0	
	11,2	18,9	2,387	4,0	
	13,1	20,3	1,752	3,0	
28	7,0	17,1	5,051	8,2	93
	9,4	18,8	4,244	7,0	
	11,8	20,6	3,463	5,7	
	14,2	22,2	2,716	4,5	
	16,7	23,7	2,004	3,3	
32	8,9	19,5	5,714	9,4	95
	11,9	21,6	4,772	7,9	
	14,9	23,6	3,894	6,4	
	18,0	25,5	3,036	5,1	
	21,1	27,3	2,218	3,7	
36	11,1	21,9	6,378	10,5	96
	14,9	24,4	5,298	8,8	
	18,8	26,7	4,280	7,2	
	22,7	28,8	3,320	5,6	
	26,6	30,8	2,415	4,1	



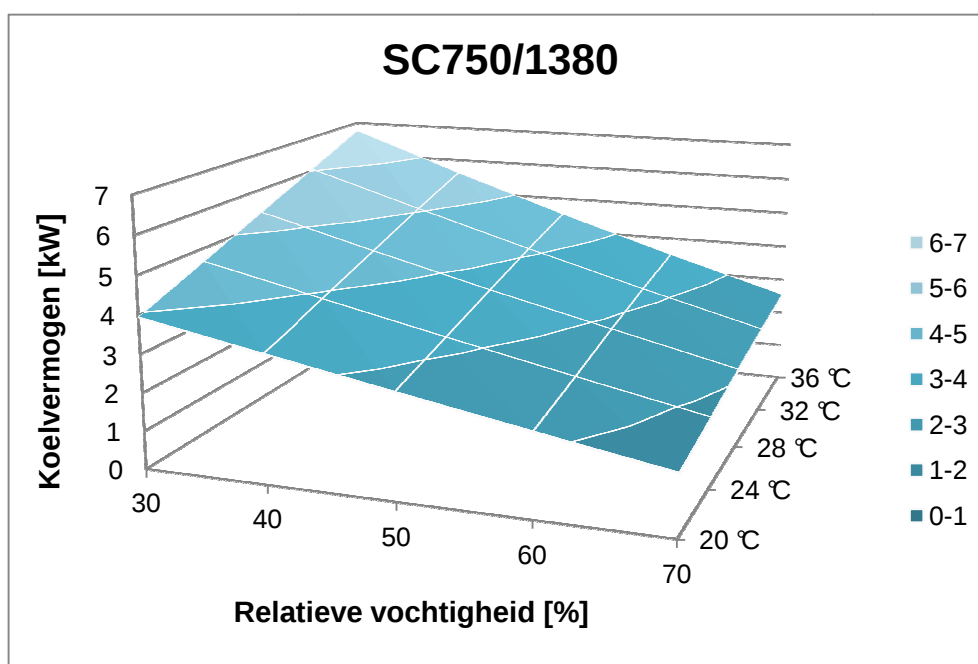
SC1500/690Buitenlucht/aanzuiglucht = 3.000 m³/hToevoerlucht/uitblaaslucht = 2.100 m³/hProceslucht = 900 m³/h

Buitenlucht/aanzuiglucht		Toevoerlucht/uitblaaslucht		Water	Elektriciteit
Temperatuur (droge bol) [°C]	Absolute vochtigheid [g/kg]	Temperatuur (droge bol) [°C]	Koelvermogen [kW]	Toevoer [kg/h]	Wrijvingsverlies [W]
20	4,3	12,1	5,590	8,9	138
	5,8	13,3	4,737	7,6	
	7,3	14,5	3,898	6,3	
	8,7	15,7	3,073	5,1	
	10,2	16,8	2,263	3,8	
24	5,5	14,6	6,558	10,6	140
	7,4	16,1	5,537	9,0	
	9,3	17,6	4,540	7,4	
	11,2	19,0	3,567	5,9	
	13,1	20,3	2,619	4,4	
28	7,0	17,1	7,551	12,3	141
	9,4	18,9	6,344	10,4	
	11,8	20,6	5,177	8,6	
	14,2	22,2	4,062	6,8	
	16,7	23,7	2,995	5,0	
32	8,9	19,5	8,541	14,0	143
	11,9	21,7	7,134	11,8	
	14,9	23,6	5,821	9,6	
	18,0	25,5	4,539	7,6	
	21,1	27,3	3,316	5,6	
36	11,1	22,0	9,535	15,7	145
	14,9	24,4	7,921	13,2	
	18,8	26,7	6,399	10,7	
	22,7	28,8	4,964	8,4	
	26,6	30,8	3,611	6,2	



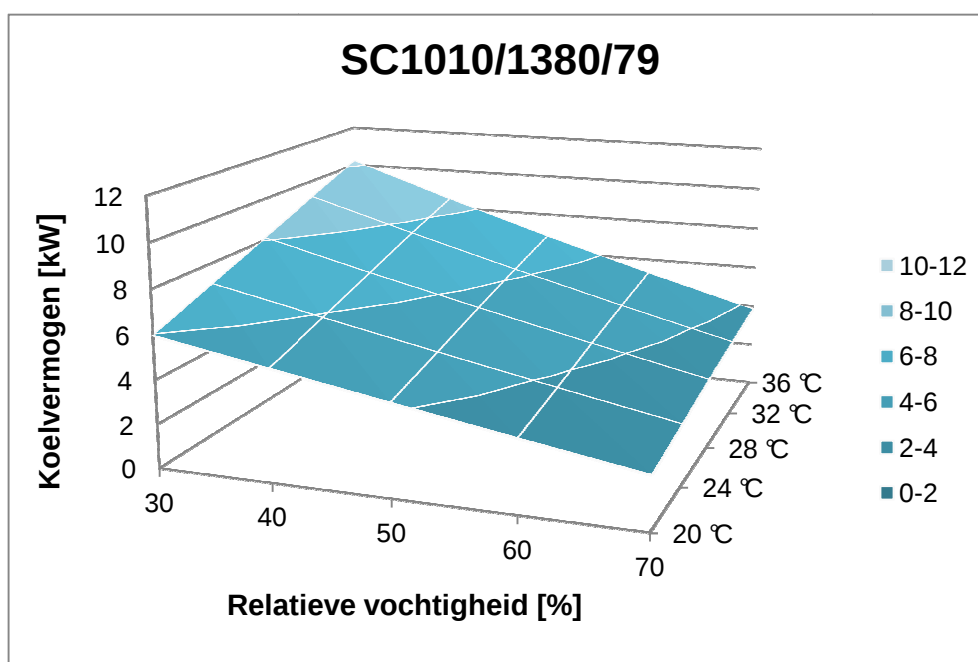
SC750/1380Buitenlucht/aanzuiglucht = 2.100 m³/hToevoerlucht/uitblaaslucht = 1.470 m³/hProceslucht = 630 m³/h

Buitenlucht/aanzuiglucht		Toevoerlucht/uitblaaslucht		Water	Elektriciteit
Temperatuur (droge bol) [°C]	Absolute vochtigheid [g/kg]	Temperatuur (droge bol) [°C]	Koelvermogen [kW]	Toevoer [kg/h]	Wrijvingsverlies [W]
20	4,3	12,0	3,946	6,4	185
	5,8	13,3	3,339	5,4	
	7,3	14,5	2,742	4,5	
	8,7	15,7	2,154	3,6	
	10,2	16,9	1,577	2,7	
24	5,5	14,5	4,636	7,5	188
	7,4	16,0	3,909	6,4	
	9,3	17,5	3,198	5,3	
	11,2	18,9	2,506	4,2	
	13,1	20,3	1,831	3,2	
28	7,0	17,0	5,341	8,7	190
	9,4	18,8	4,481	7,4	
	11,8	20,5	3,652	6,1	
	14,2	22,2	2,870	4,8	
	16,7	23,7	2,098	3,6	
32	8,9	19,4	6,041	10,0	192
	11,9	21,5	5,059	8,4	
	14,9	23,5	4,104	6,9	
	18,0	25,5	3,193	5,4	
	21,1	27,3	2,325	4,0	
36	11,1	21,8	6,741	11,1	195
	14,9	24,3	5,591	9,3	
	18,8	26,7	4,509	7,6	
	22,7	28,8	3,490	6,0	
	26,6	30,8	2,531	4,4	



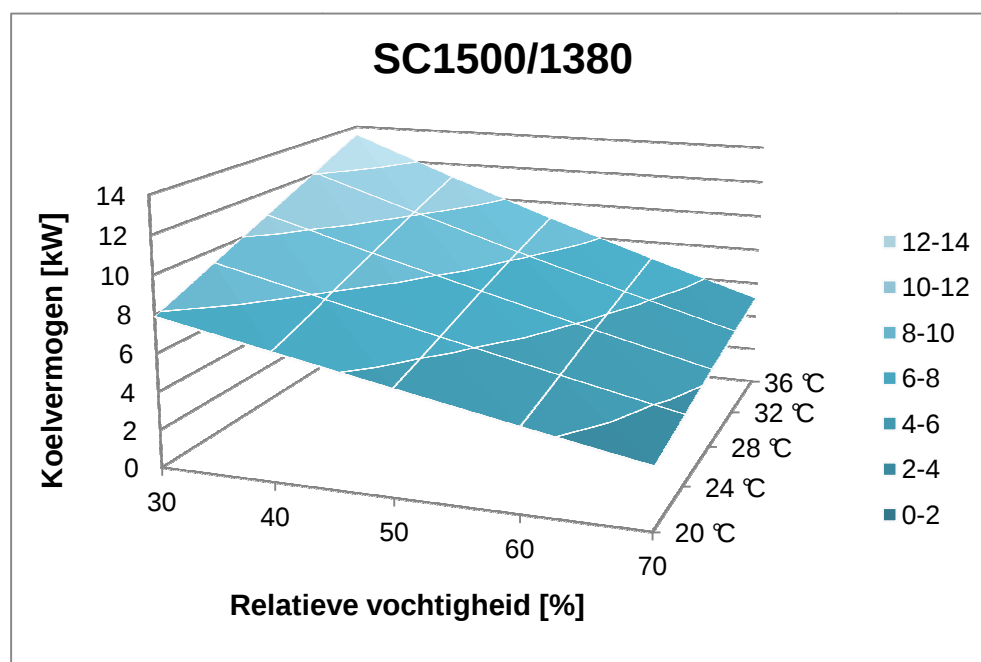
SC1010/1380/79Buitenlucht/aanzuiglucht = 3.200 m³/hToevoerlucht/uitblaaslucht = 2.240 m³/hProceslucht = 960 m³/h

Buitenlucht/aanzuiglucht		Toevoerlucht/uitblaaslucht		Water	Elektriciteit
Temperatuur (droge bol) [°C]	Absolute vochtigheid [g/kg]	Temperatuur (droge bol) [°C]	Koelvermogen [kW]	Toevoer [kg/h]	Wrijvingsverlies [W]
20	4,3	12,1	5,977	9,7	304
	5,8	13,3	5,056	8,3	
	7,3	14,5	4,150	6,9	
	8,7	15,7	3,259	5,5	
	10,2	16,9	2,385	4,1	
24	5,5	14,6	7,019	11,4	308
	7,4	16,1	5,916	9,7	
	9,3	17,6	4,840	8,1	
	11,2	19,0	3,790	6,4	
	13,1	20,3	2,769	4,8	
28	7,0	17,1	8,083	13,3	312
	9,4	18,9	6,780	11,2	
	11,8	20,6	5,546	9,2	
	14,2	22,2	4,341	7,3	
	16,7	23,8	3,173	5,4	
32	8,9	19,5	9,171	15,1	316
	11,9	21,6	7,655	12,7	
	14,9	23,6	6,208	10,4	
	18,0	25,5	4,829	8,2	
	21,1	27,3	3,515	6,1	
36	11,1	21,9	10,200	16,9	320
	14,9	24,4	8,460	14,2	
	18,8	26,7	6,822	11,6	
	22,7	28,9	5,281	9,1	
	26,6	30,9	3,830	6,7	



SC1500/1380Buitenlucht/aanzuiglucht = 4.200 m³/hToevoerlucht/uitblaaslucht = 2.940 m³/hProceslucht = 1.260 m³/h

Buitenlucht/aanzuiglucht		Toevoerlucht/uitblaaslucht		Water	Elektriciteit
Temperatuur (droge bol) [°C]	Absolute vochtigheid [g/kg]	Temperatuur (droge bol) [°C]	Koelvermogen [kW]	Toevoer [kg/h]	Wrijvingsverlies [W]
20	4,3	12,0	7,892	12,7	370
	5,8	13,3	6,678	10,9	
	7,3	14,5	5,483	9,0	
	8,7	15,7	4,308	7,2	
	10,2	16,9	3,154	5,4	
24	5,5	14,5	9,273	15,0	375
	7,4	16,0	7,817	12,8	
	9,3	17,5	6,396	10,6	
	11,2	18,9	5,011	8,4	
	13,1	20,3	3,663	6,3	
28	7,0	17,0	10,681	17,5	380
	9,4	18,8	8,962	14,8	
	11,8	20,5	7,336	12,1	
	14,2	22,2	5,741	9,6	
	16,7	23,7	4,197	7,1	
32	8,9	19,4	12,072	19,9	385
	11,9	21,5	10,119	16,7	
	14,9	23,5	8,207	13,7	
	18,0	25,5	6,385	10,8	
	21,1	27,3	4,649	8,0	
36	11,1	21,8	13,481	22,3	390
	14,9	24,3	11,182	18,7	
	18,8	26,7	9,017	15,2	
	22,7	28,8	6,981	11,9	
	26,6	30,8	5,063	8,8	



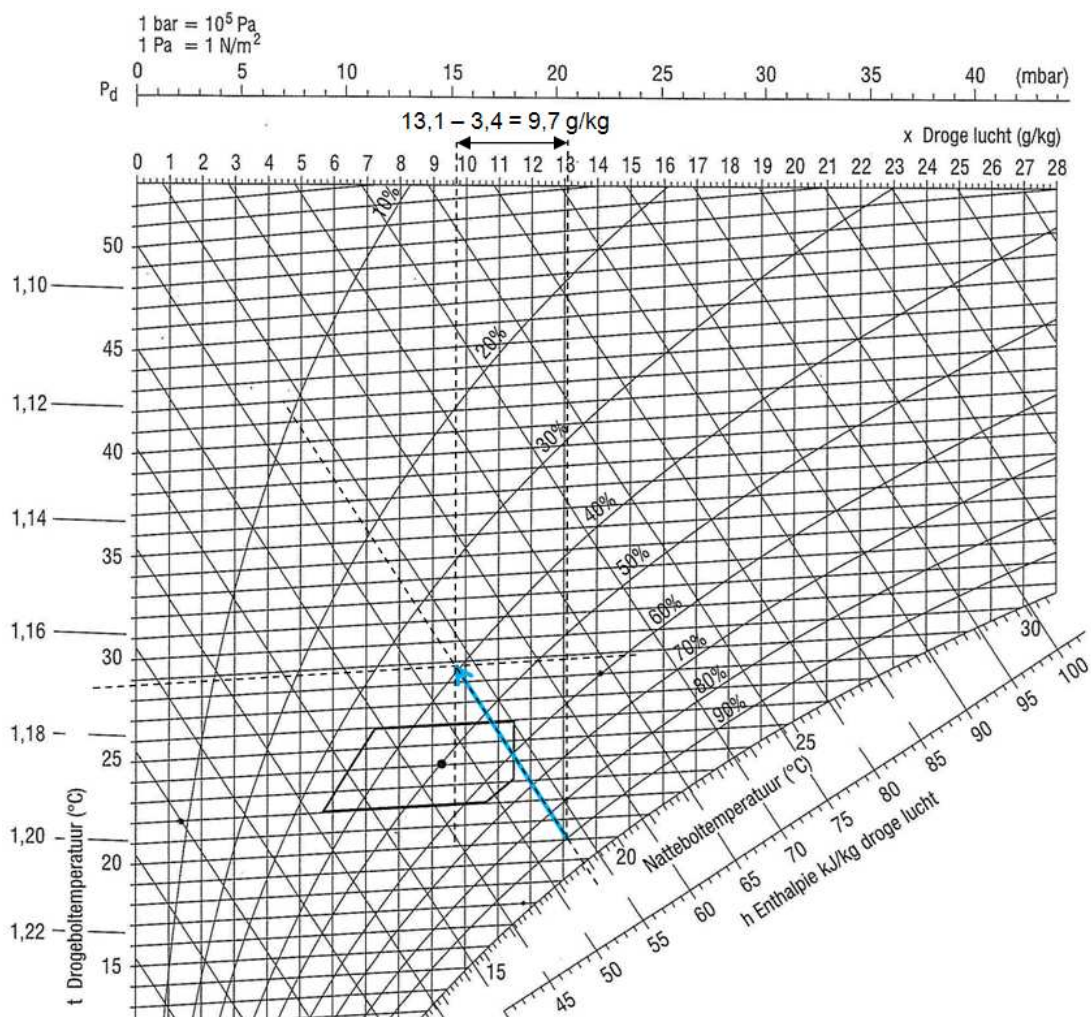
Optimair

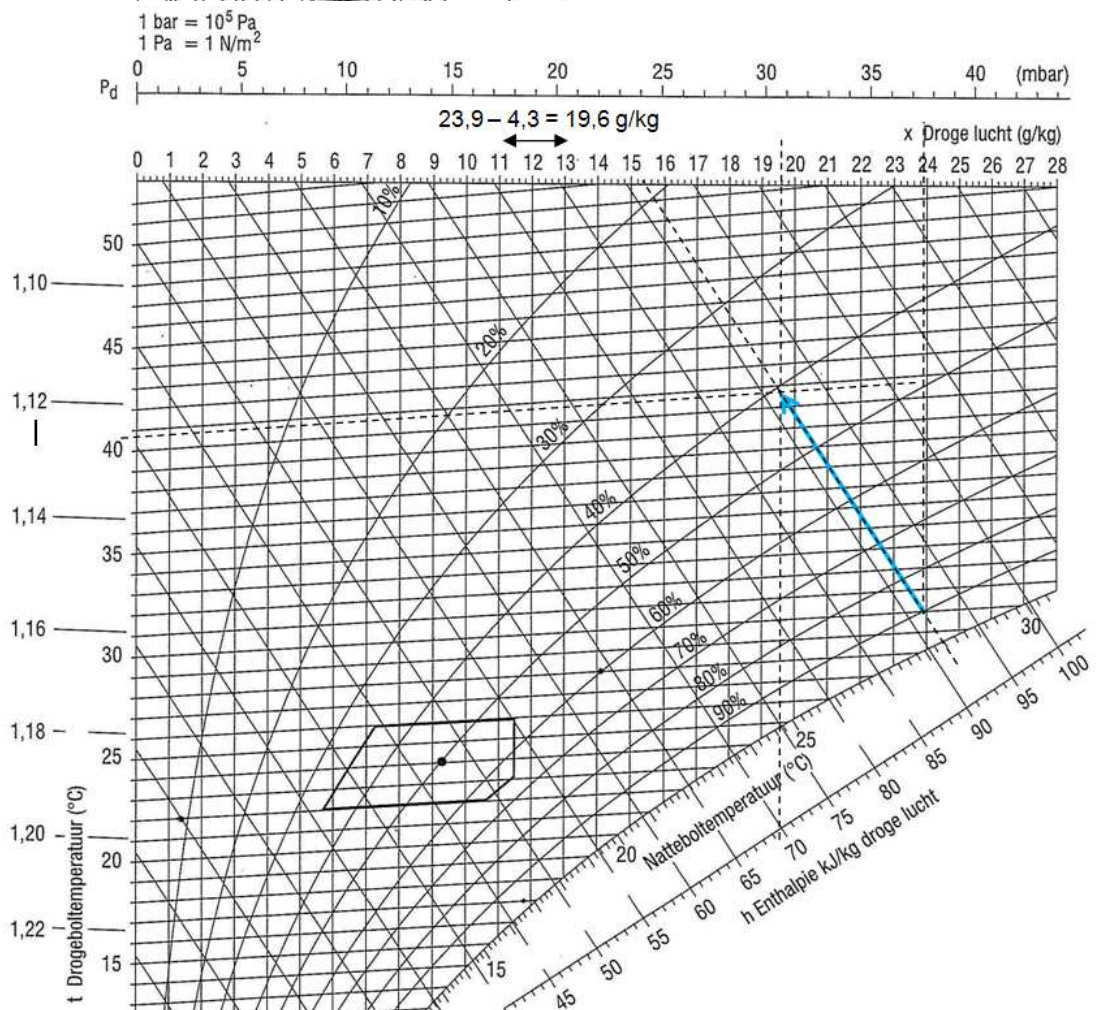
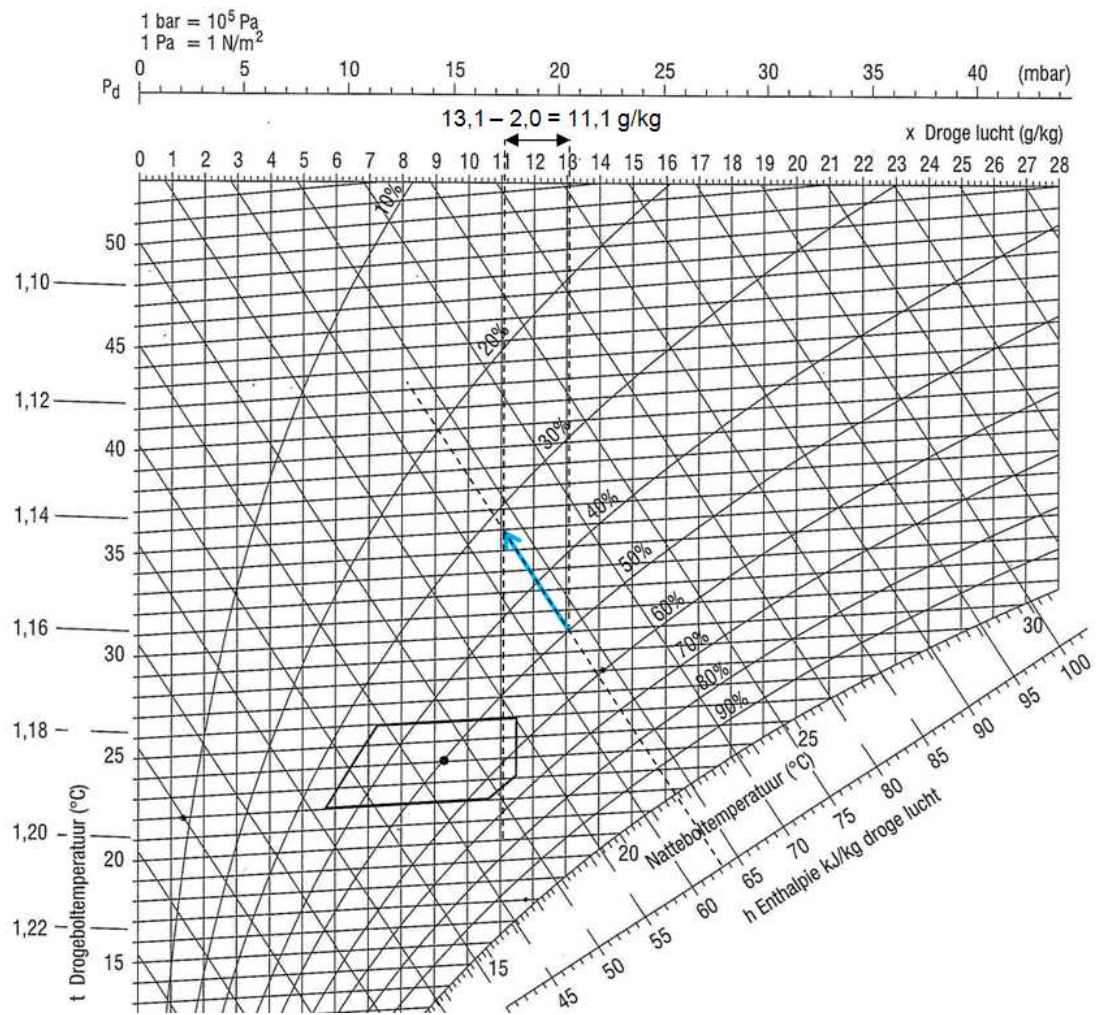
De dauwpuntskoeler in het D2C-systeem wordt geleverd door Statiqcooling. Daarom wordt voornamelijk de droger gespecificeerd.

Droger

Buitenlucht/aanzuiglucht			Droging	Conditie na droging	
Temperatuur (droge bol) [°C]	Relatieve vochtigheid [%]	Absolute vochtigheid [g/kg] *	Max. droogcapaciteit [g/kg]	Absolute vochtigheid na droging [g/kg] *	Temperatuur (droge bol) [°C] *
20	90	13,1	3,4	9,7	28,75
30	50	13,1	2,0	11,1	35,0
30	90	23,9	4,3	19,6	40,65

* = Waardes zijn indicatief (gevonden met het Mollier diagram)





Regeneratie

Voor de regeneratie van de droger/het vochtopnemende materiaal, is warmte nodig. Onderstaand zijn de opgegeven waardes te vinden.

Uitgangspunten:

- Hoog rendement WTW-unit met een rendement van 90%;
- Een luchthoeveelheid van 1.200 m³/h (= 36 % van 3.300 m³/h);
- Temperatuurtraject lucht van 80 °C – 73,5 °C
(80 – 15 = 65 → 65 * 0,9 = 58,5 → 15 + 58,5 = 73,5);
- 5 dagen per week in bedrijf van 8:00 – 18:00 uur.

Benodigde gemiddelde vermogen = 2,6 kW ($\approx \frac{3.300 \cdot 0,36}{3.600} * 1,2 * 1,0 * (80 - 15) * (1 - 0,90)$)

Benodigde oppervlakte zonnecollectoren in combinatie met een zonneboiler van 500 liter:

- 10 – 12 m² vlakkeplaatcollector (bruto oppervlakte);
- 8 – 10 m² vacuümbuiscollector (bruto oppervlakte);
- 6 m² vacuümbuiscollector (bruto oppervlakte) in combinatie met een elektrische naverwarmer die ongeveer 30 – 35 uur bij verwarmd, benodigde elektriciteit naverwarmer = 50 – 100 kWh.

Prestatie/vermogen

Conform opgegeven specificaties:

Koelvermogen bij 28°C/50% RV = 16 kW (16,5 kW conform berekeningen Dijkoraad)

Koelvermogen bij 30°C/50% RV = 15 kW

Koelvermogen bij 30°C/80% RV = 20 kW

C.O.P. bij regeneratie op gas = 12

C.O.P. bij regeneratie op zonneboiler = 33

Verschillende condities

Onderstaand nog een overzicht van capaciteiten bij verschillende condities voor het D2C-systeem, opgegeven door de fabrikant. De letters voor de tabellen staan voor een situatie.

Omgevingstemperatuur					
	T in	RV in	x (g/kg)	rho (kg/m ³)	Enth (kJ/kg)
Situatie a	26	30	6,3	1,18	42,11
Situatie b	26	70	14,8	1,17	63,87
Situatie c	28	40	9,4	1,17	52,24
Situatie d	32	30	8,9	1,15	54,95
Situatie e	32	70	21,1	1,14	86,32

D2C droger uit					
	T uit	RV uit	x (g/kg)	Δx	kW
a	29,6	22	5,7	0,6	2,037
b	35,5	33,5	12,1	2,7	2,337
c	33,5	25,6	8,2	1,2	2,133
d	36,9	20,4	7,9	1	2,1
e	43	32,8	17,9	3,2	2,406

	DPK uit (met droger)					
	T dpk out	RV dpk uit	x (g/kg)	Water (l/h)	Enth (kJ/kg)	Q (kW)
a	14,2	56,5	5,7	27,4	28,61	15,5
b	20,4	80,7	12,1	27,4	51,26	14,3
c	17	68,3	8,2	37,95	38,0	16,3
d	17,1	65,3	7,9	35,2	37,26	19,8
e	25,2	88,6	17,9	32,6	71,07	16,9

	DPK uit (zonder droger)					
	T dpk out	RV dpk uit	x (g/kg)	Water (l/h)	Enth (kJ/kg)	Q (kW)
a	14,1	62,9	6,3	10,7	30,05	13,84
b	21,3	92,8	14,8	4,4	58,97	5,57
c	17,2	76,8	9,4	9,8	41,09	12,68
d	17,4	71,9	8,9	13,1	40,05	16,66
e	26,6	95,8	21,1	5,2	80,79	6,13

Bijlage 5 Berekeningen Statische cooling

Bijlage 6 Desiccant and Evaporative Cooling

Robatherm

Uitgangspunten

	Temperatuur (droge bol) [°C]	Relatieve vochtigheid [%]
Buitenlucht	32	40
Toevoerlucht (aan het gebouw)	19	80
Afvoerlucht (uit het gebouw)	28	40

Regeneratieverhitter:

$$T_{\text{in}} = 39^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{uit}} = 70^{\circ}\text{C}$$

Adsorptie:

$$8 \text{ g/kg}$$

Conceptvoorbeelden

Volumestroom [m ³ /h]	Koelvermogen [kW]	Elektrisch vermogen [kW]	Regeneratiewarmte [kW]
3.000	16	7,2	31,4
4.500	24	8,8	47,1
7.900	42	14	81,9
11.900	63	17,4	123,3
16.600	89	26,8	172
27.500	147	40	285
34.500	184	51	357,6
57.600	307	86,5	597

Zoals te zien, is de verhouding tussen de volumestroom, het koelvermogen en regeneratiewarmte vrijwel gelijk bij elke volumestroom. Enkel het elektrische vermogen wordt in verhouding kleiner bij een hogere volumestroom.

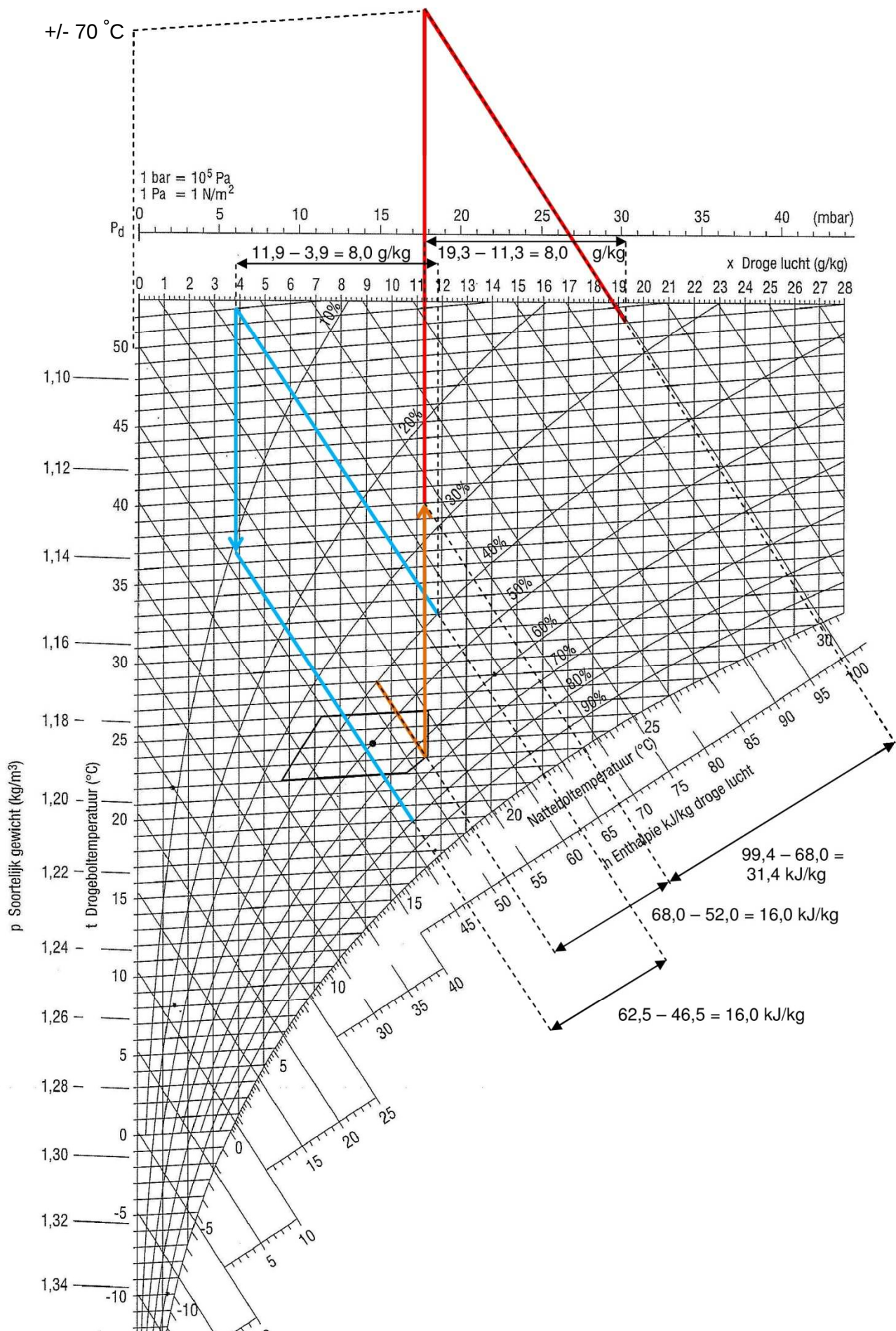
Mollier diagram

Met behulp van het Mollier diagram kunnen deze waardes enigszins geverifieerd worden. Met het Mollier diagram kunnen de opgegeven temperaturen met bijbehorende relatieve vochtigheid namelijk vergeleken worden met de gegeven vermogens.

Op de volgende pagina is een Mollier diagram te vinden van dit DEC-systeem. Deze is gebaseerd op de hiervoor genoemde uitgangspunten en conceptvoorbeelden. Aangezien het elektrische vermogen hier niet in mee wordt genomen en de verhoudingen tussen de volumestroom, het koelvermogen en regeneratiewarmte vrijwel gelijk is bij elke volumestroom, geldt het Mollier diagram (gebaseerd op 3.000 m³/h) voor elke volumestroom. Het Mollier diagram geeft namelijk de energie per kg aan.

Ter aanvulling op de uitgangspunten en conceptvoorbeelden, is bepaald dat:

- Toevoer volumestroom = retour volumestroom.
- Hoeveelheid adsorptie van vocht = hoeveelheid desorptie van vocht.
- Warmte afgifte (koelvermogen) van de toevoerlucht = warmte opname retourlucht.
- Soortelijke massa lucht = 1,2 kg/m³



Warmtebalans/toelichting Mollier diagram

Toevoer

	Temperatuur (droge bol) [°C]	Relatieve vochtigheid [%]
Buitenlucht	32	40

Bij een droge bol temperatuur van 32 °C en een relatieve vochtigheid van 40 % is de absolute vochtigheid 11,9 g/kg. Conform de uitgangspunten wordt deze lucht 8 g/kg gedroogd. Dit betekent dat de lucht na adsorptie een absolute vochtigheid van $11,9 - 8,0 = 3,9$ g/kg heeft. Door een lijn te tekenen parallel aan enthalpielijnen tot een absolute vochtigheid van 3,9 g/kg komen we uit op een drogeboltemperatuur van ongeveer 52 °C. De enthalpie inhoud is ongeveer 62,5 kJ/kg.

Vervolgens wordt de lucht gekoeld. De absolute luchtvochtigheid blijft daarbij gelijk. Dit betekend dat er een verticale lijn getrokken kan worden met een lengte die gelijk staat aan het koelvermogen/de enthalpieverandering.

Voor de berekening van de enthalpieverandering in het koelproces, wordt gerekend met een koelvermogen van 16 kW bij een volumestroom van 3.000 m³/h en een Soortelijke massa van 1,2 kg/m³.

$$\Delta h_{koeling} = \frac{\Phi_W}{\Phi_V * \rho}$$

$$\Phi_W = 16,0 \text{ kW}$$

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\Phi_V = 3.000 \text{ m}^3/\text{h} = \frac{3.000}{3600} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta h_{koeling} = \frac{16,0}{\frac{3.000}{3.600} * 1,2} = 16,0 \text{ kJ/kg}$$

Dit betekend dat de lucht na het koelproces een enthalpie inhoud heeft van:
 $62,5 - 16,0 = 46,5$ kJ/kg

Conform de specificaties het de gekoelde lucht de volgende condities:

	Temperatuur (droge bol) [°C]	Relatieve vochtigheid [%]
Toevoerlucht (aan het gebouw)	19	80

Lucht met deze condities heeft dan ook de berekende enthalpie inhoud van 46,5 kJ/kg.

Er kan een lijn getrokken worden vanuit het punt 19 °C / 80% tot de verticale lijn van het koelproces.

De absolute vochtigheid van de toevoerlucht bij de hierboven genoemde condities is ongeveer 10,9 g/kg. Dit betekend dat de lucht 7,0 g/kg adiabatisch bevochtigd wordt.

Dat geeft een waterverbruik van:

$$\Phi_{V,lucht} * 7,0 * \rho_{lucht} = \Phi_{M,water} = \Phi_{V,water} * \rho_{water}$$

Bij 3.000 m³/h is dat:

$$\rho_{lucht} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\Phi_{V,lucht} = 3.000 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$1,2 * 3.000 * 7,0 = 25.200 \text{ g/h} = 25,2 \text{ kg/h} = 25,2 \text{ l/h}$$

Retour

	Temperatuur (droge bol) [°C]	Relatieve vochtigheid [%]
Afvoerlucht (uit het gebouw)	28	40

Het koelvermogen wordt bepaald door de overgedragen warmte in het warmtewiel. De retourlucht neemt daarbij de warmte op van de aanvoerlucht en wordt daarmee voorverwarmd. Deze warmtestroom is daarom gelijk aan het koelvermogen. Aangezien de volumestromen gelijk zijn, betekend dit tevens dat de enthalpieverandering van beide warmtestromen gelijk is.

$$\Delta h_{\text{voorverwarming}} = \Delta h_{\text{koeling}} = 16,0 \text{ kJ/kg}$$

Er wordt een lijn getrokken vanuit het punt 28 °C / 40% die parallel loopt aan de enthalpielijnen. Hieruit blijkt dat de enthalpie inhoud van de afvoerlucht ongeveer 51,6 kJ/kg is. Na de voorverwarming is de enthalpie inhoud daarom:

$$52,0 + 16,0 = 68,0 \text{ kJ/kg}$$

Ook wordt er daarom een lijn getrokken ter hoogte van enthalpie inhoud 67,6 kJ/kg die parallel aan de enthalpielijnen loopt. Conform de specificaties heeft de aanvoerlucht voor de naverwarmer een droge bol temperatuur van 39 °C, dit is dus ook de temperatuur na de voorverwarming. Er wordt een verticale lijn getrokken, tussen de twee hiervoor genoemde lijnen, ter hoogte van droge bol temperatuur 39 °C bij enthalpie inhoud 67,6 kJ/kg. Bij deze luchtcondities is de absolute vochtigheid van de lucht 11,0 g/kg (verticale lijn). De afvoerlucht heeft een absolute vochtigheid van 9,5 g/kg. Dit betekent dat deze lucht eerst 1,5 g/kg adiabatisch bevochtigd is.

Dat geeft een waterverbruik van:

$$\Phi_{V,\text{lucht}} * 1,5 * \rho_{\text{lucht}} = \Phi_{M,\text{water}} = \Phi_{V,\text{water}} * \rho_{\text{water}}$$

Bij 3.000 m³/h is dat:

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\Phi_V = 3.000 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$1,2 * 3.000 * 1,5 = 5.400 \text{ g/h} = 5,4 \text{ kg/h}$$

Vervolgens gaat deze lucht door de naverwarmer. Conform de specificaties bij een luchthoeveelheid van 3.000 m³/h is dit vermogen 31,4 kW.

$$\Delta h_{\text{naverwarming}} = \frac{\Phi_W}{\Phi_V * \rho}$$

$$\Phi_W = 31,4 \text{ kW}$$

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\Phi_V = 3.000 \text{ m}^3/\text{h} = \frac{3.000}{3600} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta h_{\text{naverwarming}} = \frac{31,4}{\frac{3.000}{3.600} * 1,2} = 31,4 \text{ kJ/kg}$$

Na de naverwarming is de enthalpie inhoud daarom:

$$68,0 + 31,4 = 91,4 \text{ kJ/kg}$$

Vanuit het punt 39 °C bij een absolute vochtigheid van 11,0 g/kg gaat de verticale lijn verder tot deze de lijn van 99,4 kJ/kg snijdt. Dit gebeurt bij de drogeboltemperatuur van ongeveer 70 °C, zoals genoemd is in de specificaties als drogeboltemperatuur na de naverwarming.

De laatste stap is het afvoeren van het geadsorbeerde vocht uit het adsorptiewiel. De toevoer van vocht dient daarbij gelijk te zijn aan de afvoer van vocht. De opname van vocht door de retourlucht is dan ook 8,0 g/kg. We komen dan uit op een afvoerlucht met een drogeboltemperatuur van ongeveer 49 °C en een absolute vochtigheid van 19,0 g/kg.

Bijlage 7 Adsorptiekoeling

SorTech AG

Grenzen

- Water als koel- en transportmiddel (zonder glycol).

Functioneringsgegevens	ACS 08	ACS 15
Gekoeld water circuit	6 – 20 °C	6 – 20 °C
Warmte afgifte circuit	22 – 37 °C	22 – 37 °C
Warmte toevoer circuit	55 – 95 °C	55 – 95 °C
Koelcapaciteit	5 – 11 kW	10 – 23 kW

Warmte

Om de adsorptiekoelmachines SorTech ACS 08 en ACS 15 te laten functioneren is warmte nodig. Conform de specificaties gaat dit, bij nominaal vermogen, om een volumestroom van respectievelijk 1,6 m³/h en 3,2 m³/h bij een temperatuurstraject van 72 °C – 65 °C.

$$\begin{aligned}\Phi_W &= \Phi_V * \rho * c * \Delta T \\ \rho &= 0,998 \text{ kg/L} \\ c &= 4186 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \\ \Delta T &= 72 - 65 = 7 \text{ °C}\end{aligned}$$

ACS 08:

$$\begin{aligned}\Phi_V &= \frac{1,6}{3600} * 1000 = \frac{1,6}{3,6} \text{ L/s} \\ \Phi_W &= \frac{1,6}{3,6} * 0,998 * 4186 * 7 \approx 13,0 \text{ kW}\end{aligned}$$

ACS 15:

$$\begin{aligned}\Phi_V &= \frac{3,2}{3600} * 1000 = \frac{3,2}{3,6} \text{ L/s} \\ \Phi_W &= \frac{3,2}{3,6} * 0,998 * 4186 * 7 \approx 26,0 \text{ kW}\end{aligned}$$

Koeling

Om zo efficiënt mogelijk gebruik te kunnen maken van de adsorptiekoelmachines van SorTech AG, dient de geproduceerde warmte afgevoerd te worden. Dit koelcircuit dient binnen een temperatuursrange van tussen 22 °C en 37 °C te zijn.

Conform de specificaties:

	ACS 08	ACS 15
Volumestroom	3,7 m³/h	7,0 m³/h
Temperatuurstraject (in – uit)	27 – 32 °C	27 – 32 °C

$$\begin{aligned}\Phi_W &= \Phi_V * \rho * c * \Delta T \\ \rho &= 0,998 \text{ kg/L} \\ c &= 4186 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \\ \Delta T &= 27 - 32 = -5 \text{ °C}\end{aligned}$$

ACS 08:

$$\Phi_V = \frac{3,7}{3600} * 1000 = \frac{3,7}{3,6} \text{ L/s}$$

$$\Phi_W = \frac{3,7}{3,6} * 0,998 * 4186 * (-5) \approx -21,5 \text{ kW}$$

ACS 15:

$$\Phi_V = \frac{7,0}{3600} * 1000 = \frac{7,0}{3,6} \text{ L/s}$$

$$\Phi_W = \frac{7,0}{3,6} * 0,998 * 4186 * (-5) \approx -40,6 \text{ kW}$$

SorTech AG heeft voor de SorTech adsorptiekoelmachines twee eigen koelunits ontwikkeld. Dit zijn droogkoelers. De SorTech RCS 08 en RCS 15 hebben een vermogen van respectievelijk 21 kW en 42 kW.

Maximaal elektrisch energiegebruik conform de specificaties:

RCS 08	RCS 15
650 W	1285 W

Gekoeld watercircuit

Conform de specificaties is de warmtestroom van het gekoeld watercircuit als volgt:

	ACS 08	ACS 15
Volumestroom	2,0 m ³ /h	4,0 m ³ /h
Temperatuurstraject (in – uit)	18 – 15 °C	18 – 15 °C

$$\Phi_W = \Phi_V * \rho * c * \Delta T$$

$$\rho = 0,998 \text{ kg/L}$$

$$c = 4186 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta T = 18 - 15 = 3 \text{ °C}$$

ACS 08:

$$\Phi_V = \frac{2,0}{3600} * 1000 = \frac{2,0}{3,6} \text{ L/s}$$

$$\Phi_W = \frac{2,0}{3,6} * 0,998 * 4186 * 3 \approx 7,0 \text{ kW}$$

ACS 15:

$$\Phi_V = \frac{4,0}{3600} * 1000 = \frac{4,0}{3,6} \text{ L/s}$$

$$\Phi_W = \frac{4,0}{3,6} * 0,998 * 4186 * 3 \approx 13,9 \text{ kW}$$

In de tool wordt uitgegaan van een nominaal vermogen van 15 kW.

Conform specificaties:

	ACS 08	ACS 15
Elektrisch energieverbruik	7 W	14 W

Pompstation

Voor een optimale verbinding tussen de adsorptiekoelmachine, het warmwatercircuit, het koelcircuit en het gekoeld watercircuit levert SorTech AG ook een pompstation. Hier zijn circulatiepompen ed. componenten in opgenomen. Echter aangezien voor de overige systemen de circulatie niet is meegenomen, is dit voor de SorTech ook niet het geval.

Maximaal elektrisch energiegebruik conform de specificaties:

PCS 08-W	PCS 15-W
520 W	900 W

Totaal

Er kan een balans opgesteld worden om te controleren of de berekeningen en gevonden waarden kloppend zijn:

$$Q_{toe} = -Q_{af}$$

ACS 08	Q_{toe}	Q_{af}
Warmte toevoer	13.000 W	
Koeling (warmte afvoer)		21.500 W
Gekoeld watercircuit (toevoer van warmte)	$7.000 \text{ W} + 7 \text{ W} = 7.007 \text{ W}$	
Totaal	20.007 W	21.500 W

ACS 15	Q_{toe}	Q_{af}
Warmte toevoer	26.000 W	
Koeling (warmte afvoer)		40.600 W
Gekoeld watercircuit (toevoer van warmte)	$13.900 \text{ W} + 14 \text{ W} = 13.914 \text{ W}$	
Totaal	39.914 W	40.600 W

In de tabel is gebruik gemaakt van de berekende vermogens op basis van warmtestromen (volumestroom en temperatuursverschil).

Zoals te zien is in bovenstaande tabellen is de opgenomen warmte vrijwel gelijk aan de afgegeven warmte (afgezien van kleine afwijkingen die vermoedelijk het gevolg zijn van afronding en significantie).

Temperatuur/vermogensdiagrammen

Op de volgende pagina's zijn diagrammen te vinden van beide adsorptiekoelmachines. Op basis van verschillende aanvoertemperaturen kan bepaald worden wat de bijbehorende koelcapaciteit en C.O.P. is. De C.O.P. betreft echter een thermische C.O.P. Dit houdt bijvoorbeeld in dat bij een C.O.P. van 0,5 en voor een koelvermogen van 1 kW, 2 kW warmte nodig is.

Deze C.O.P. wordt gegeven omdat bij adsorptiekoelmachines warmte de drijvende kracht is. Het koelcircuit wordt daarin niet meegenomen, omdat deze slechts ter verbetering van de prestaties wordt toegepast.

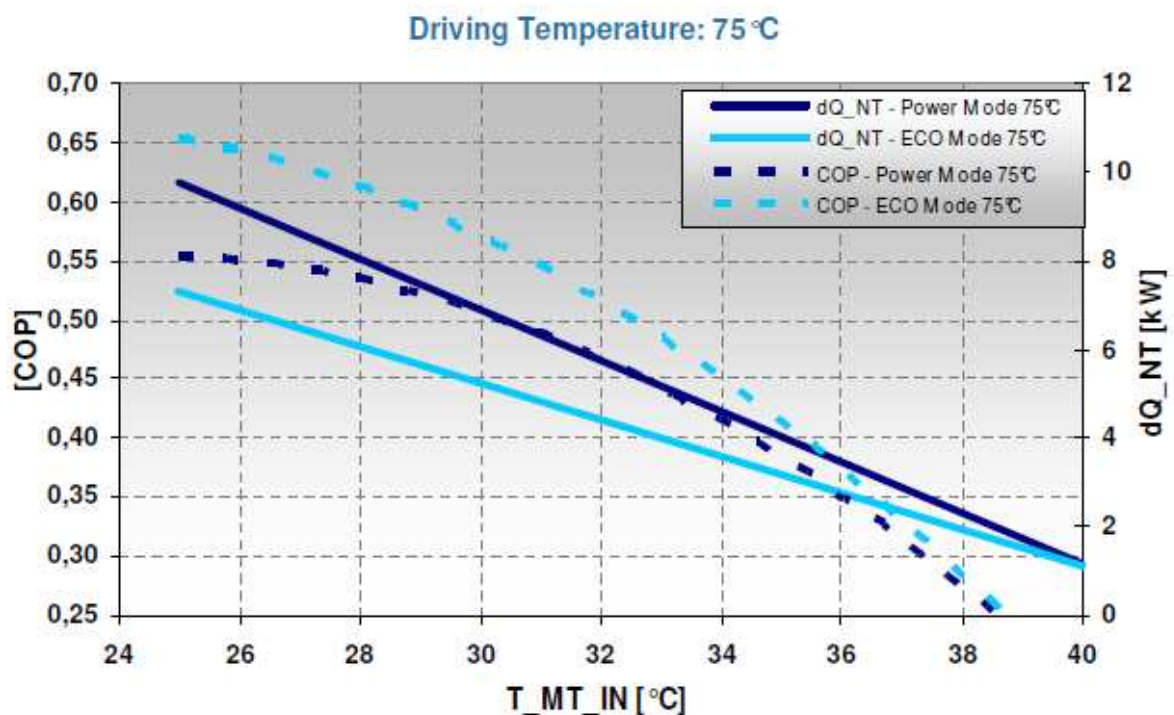
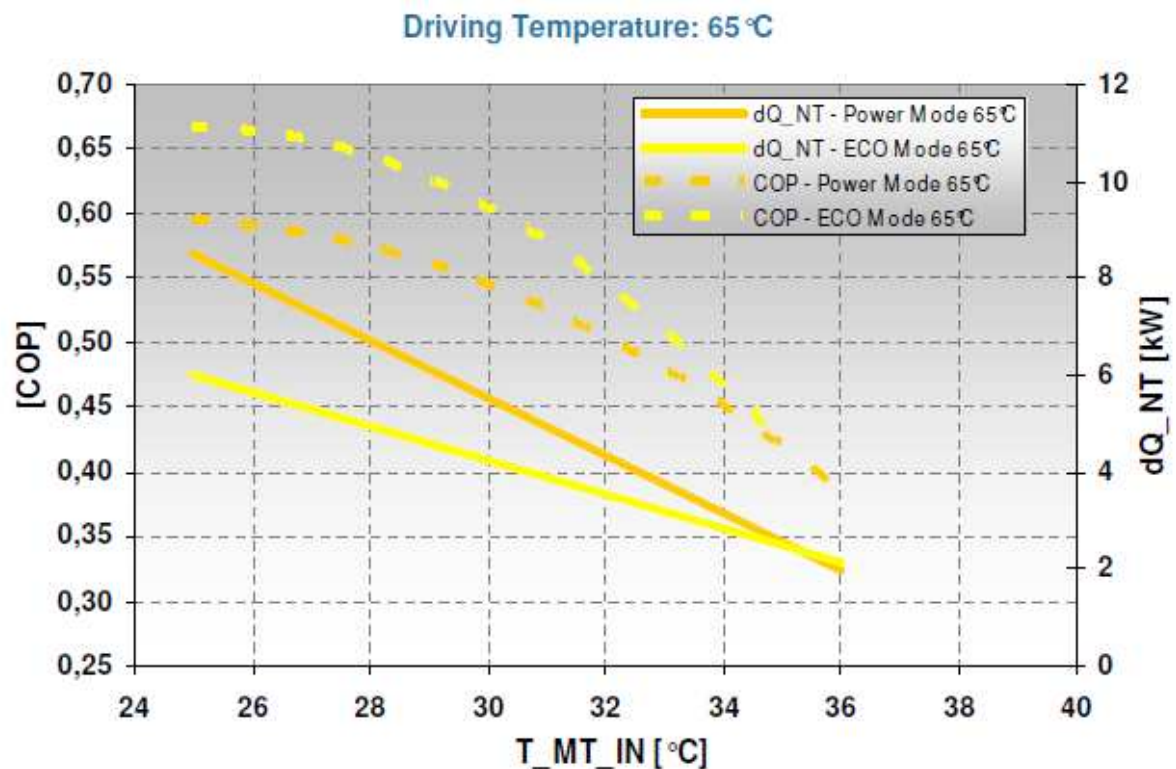
Driving temperature = aanvoertemperatuur warmte

T_{MT_IN} = aanvoertemperatuur koeling

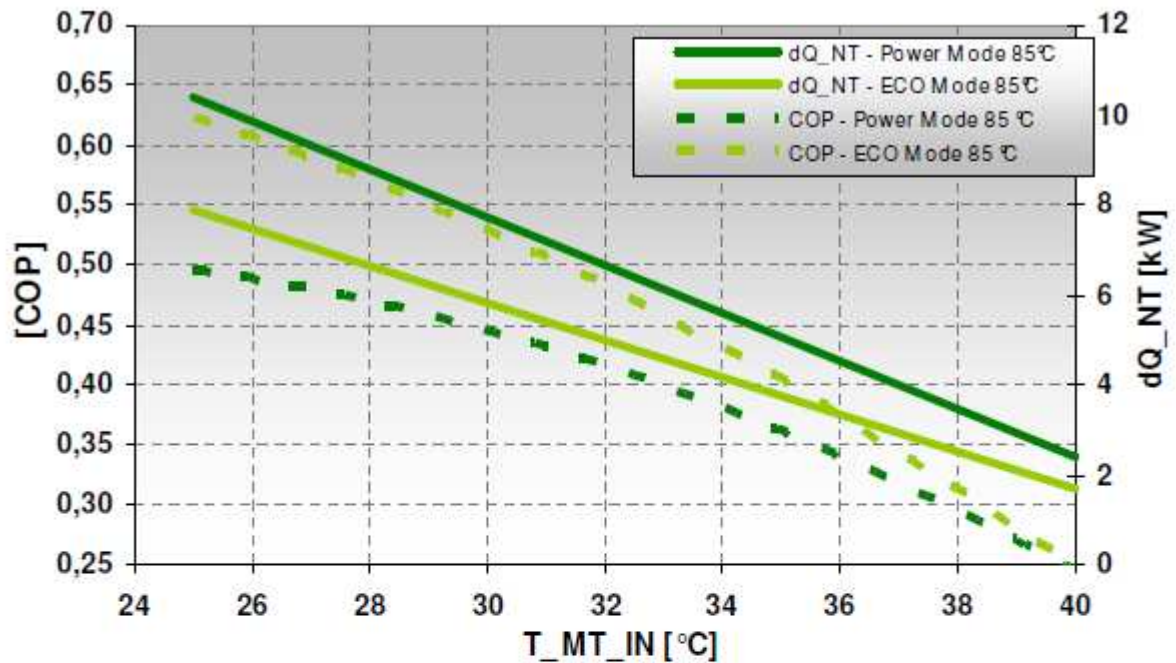
dQ_{NT} = koelvermogen

ACS 08

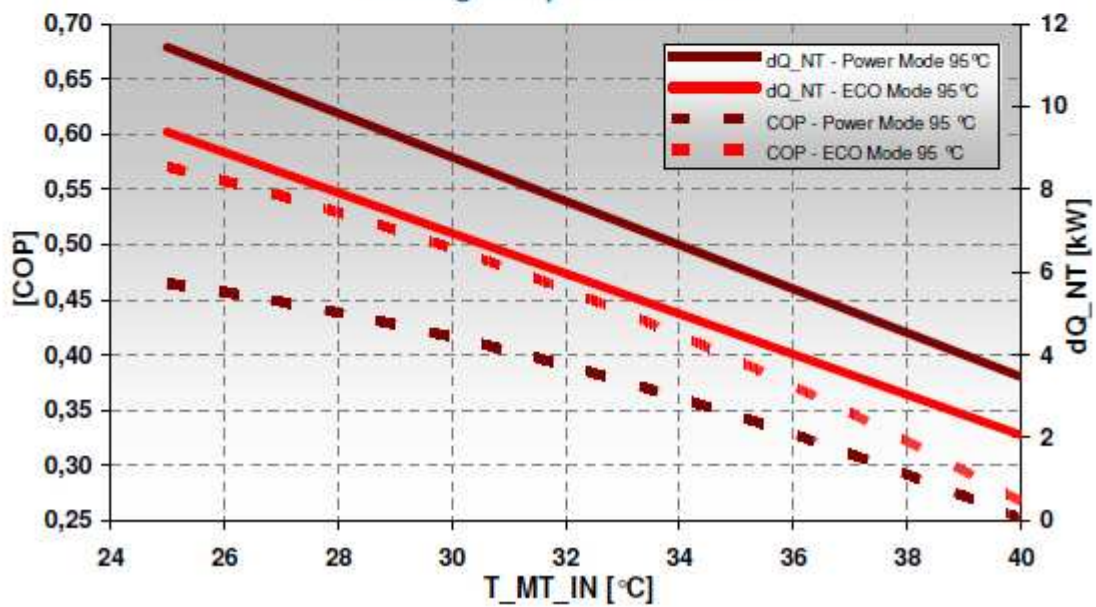
Gekoeld watercircuit (in – uit) = 18 – 15 °C



Driving Temperature: 85 °C

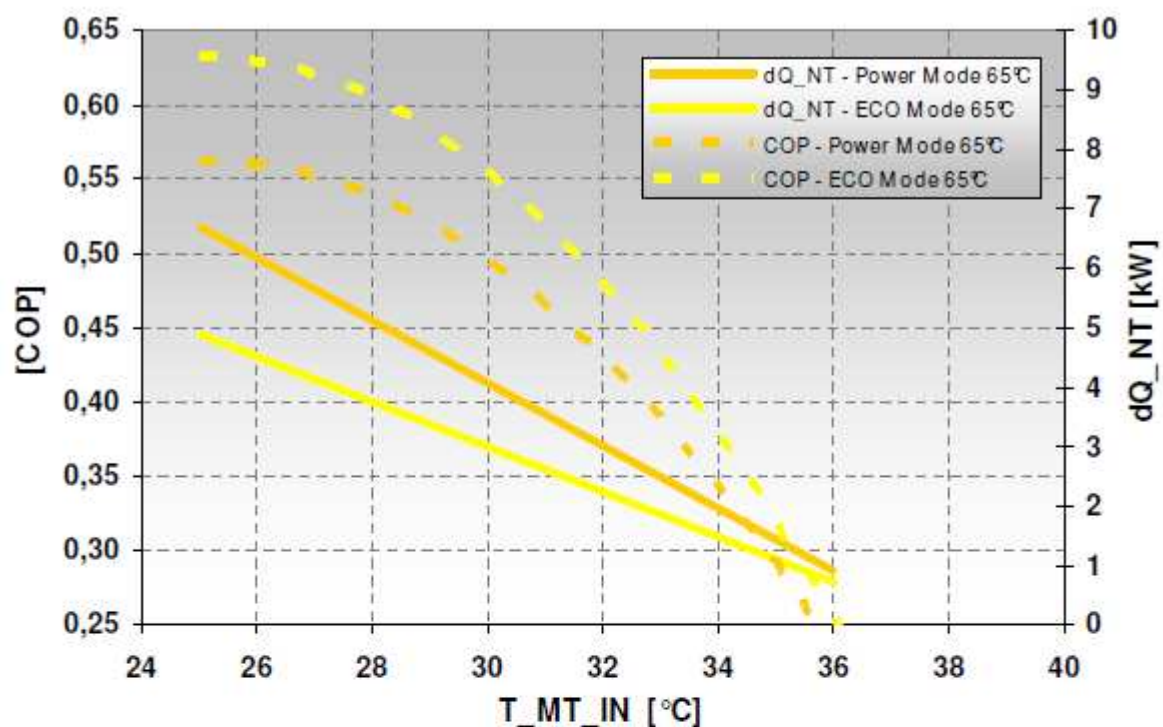


Driving Temperature: 95 °C

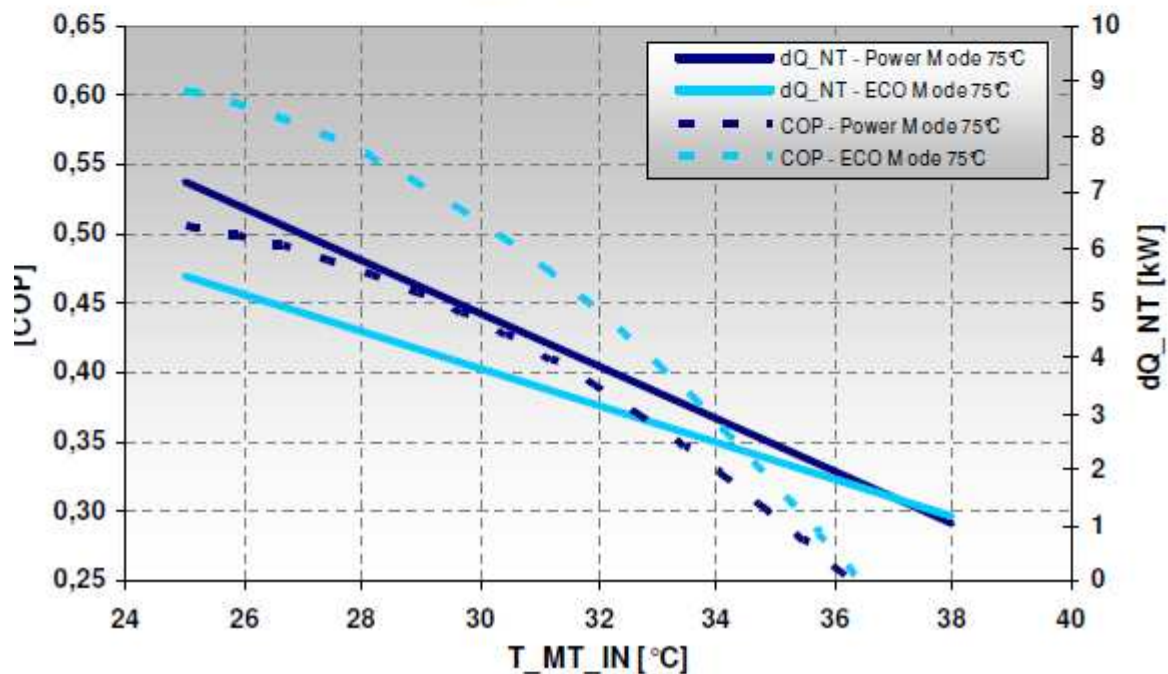


Gekoeld watercircuit (in – uit) = 15 – 10 °C

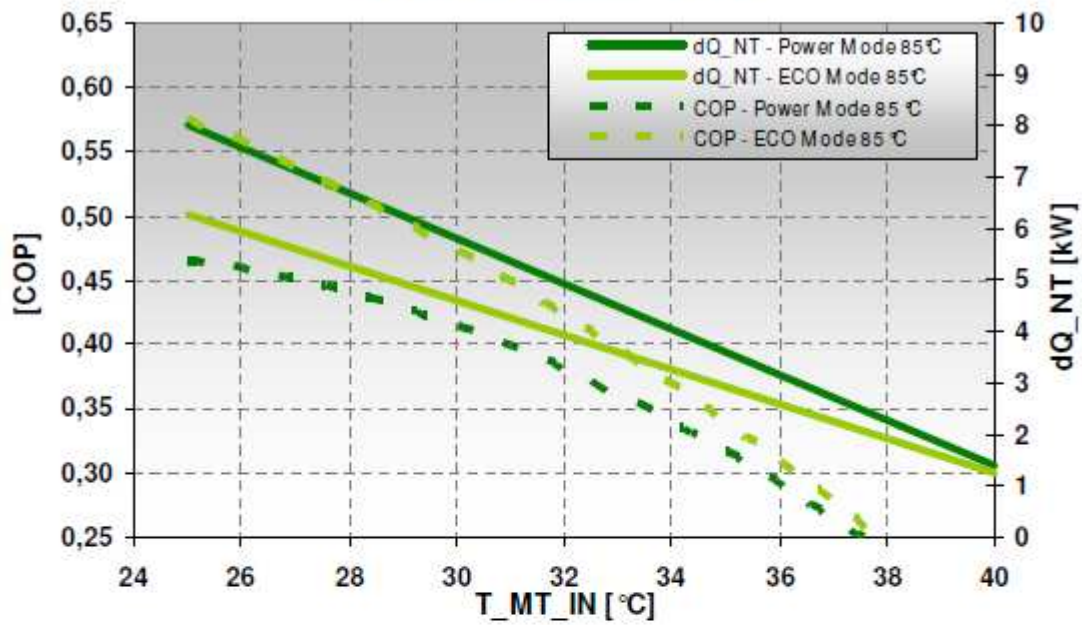
Driving Temperature: 65 °C



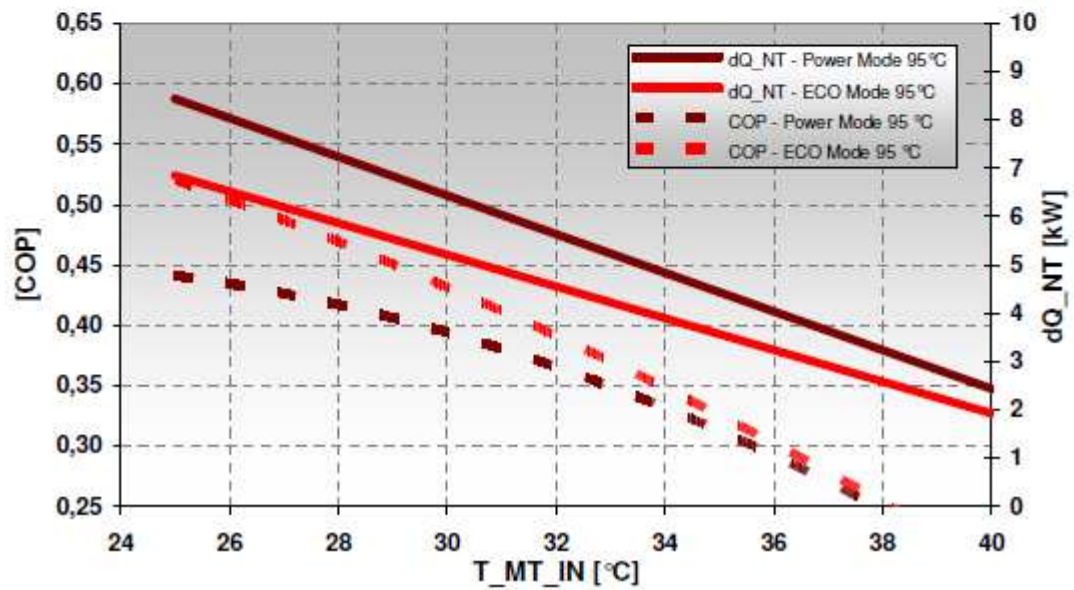
Driving Temperature: 75 °C



Driving Temperature: 85 °C

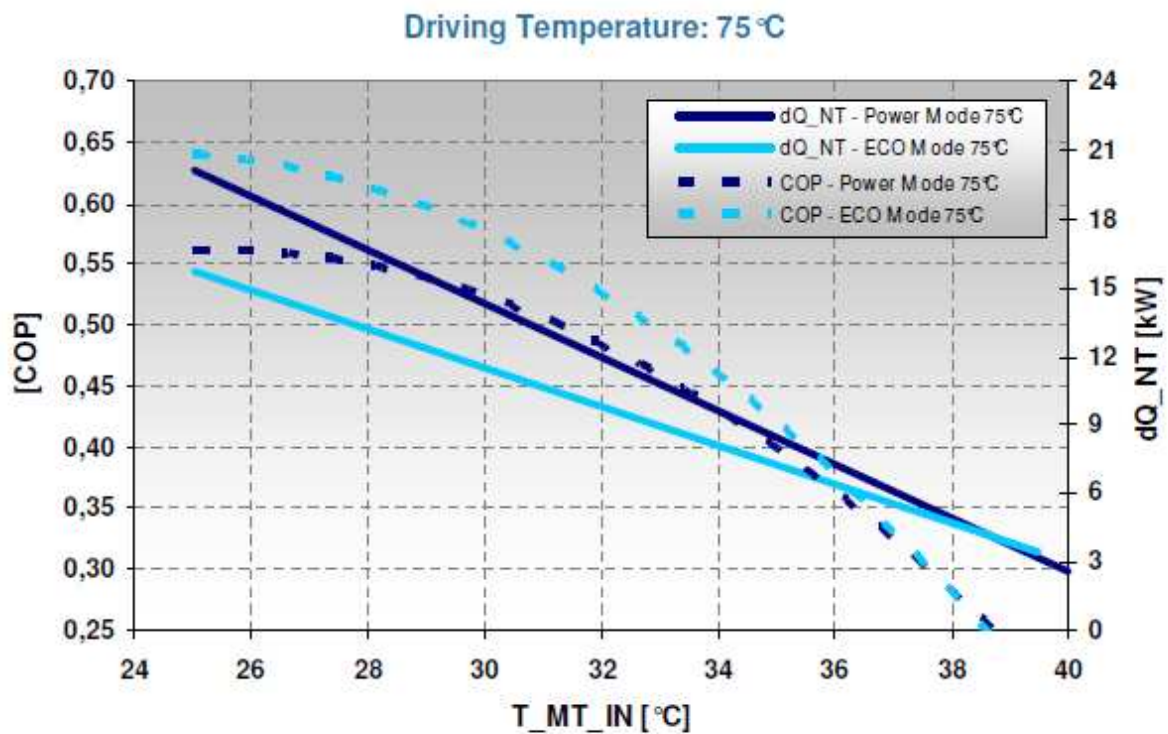
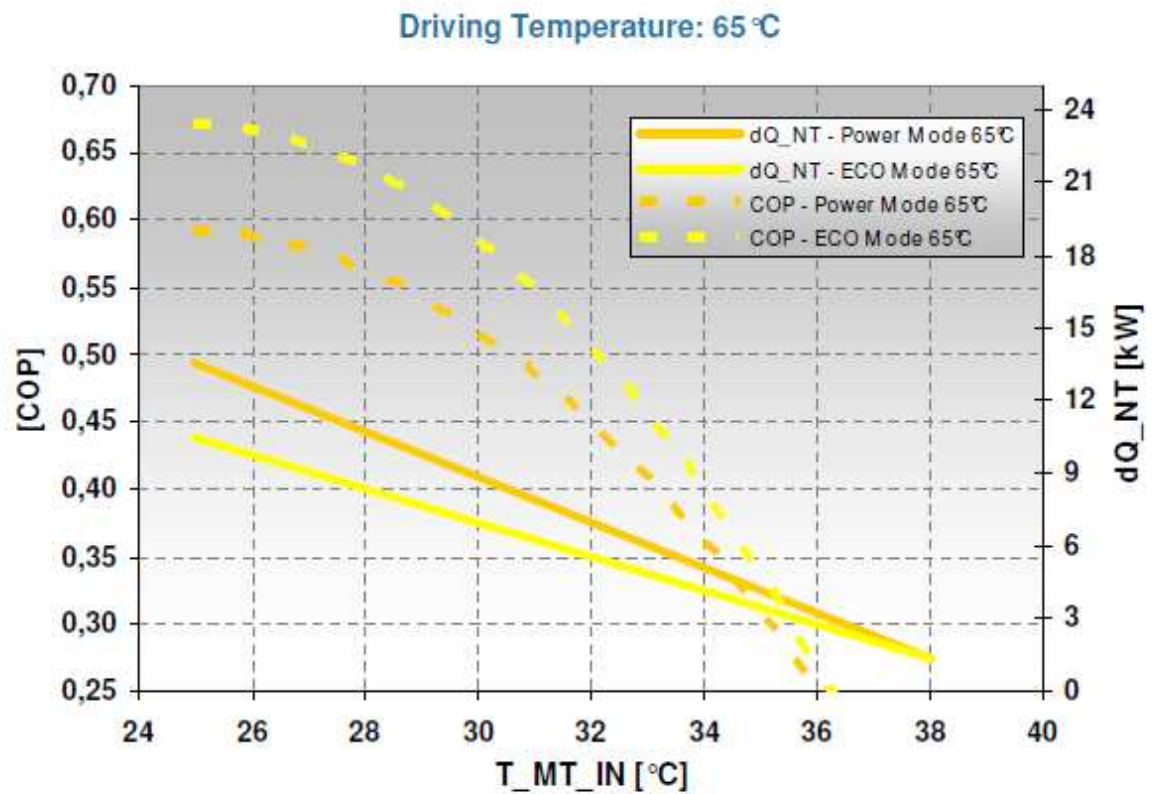


Driving Temperature: 95 °C

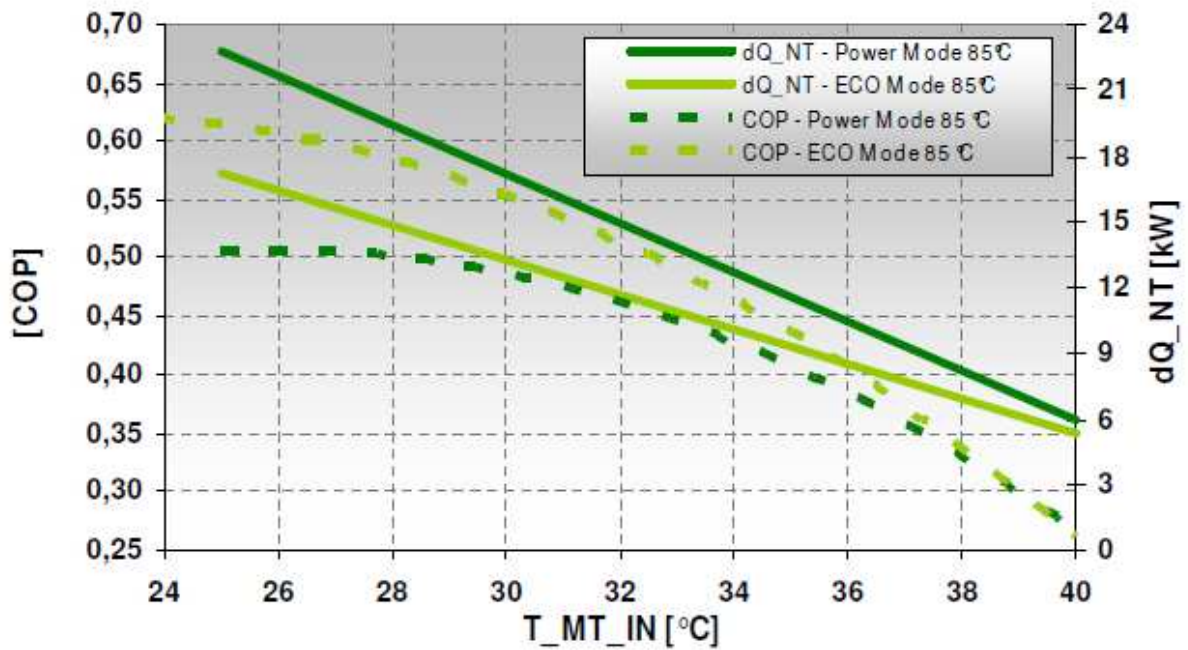


ACS 15

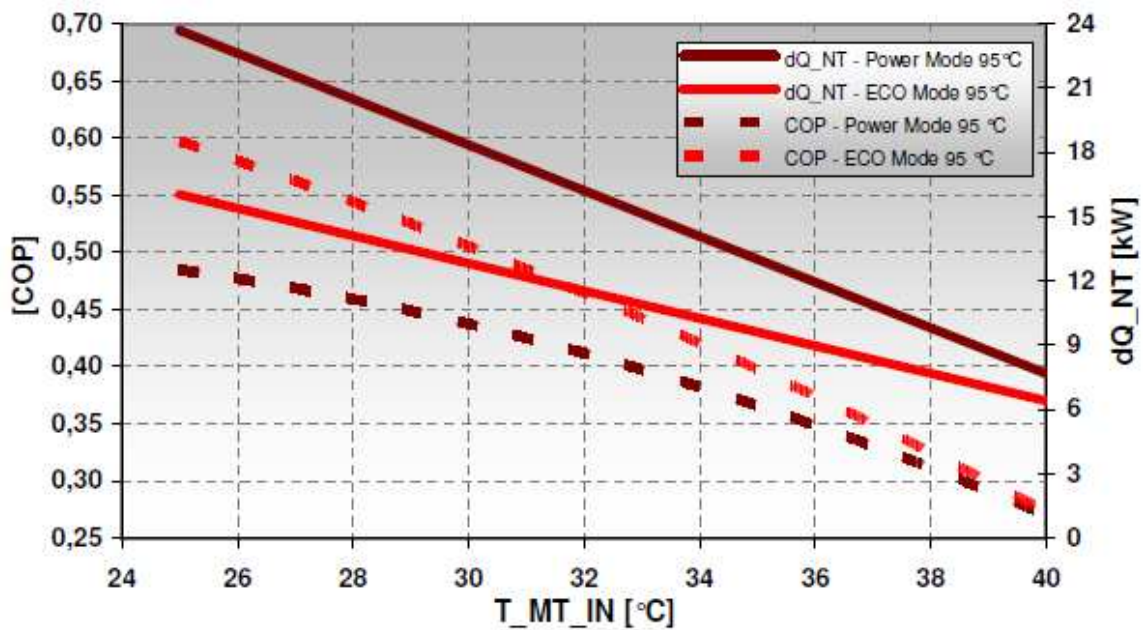
Gekoeld watercircuit (in – uit) = 18 – 15 °C



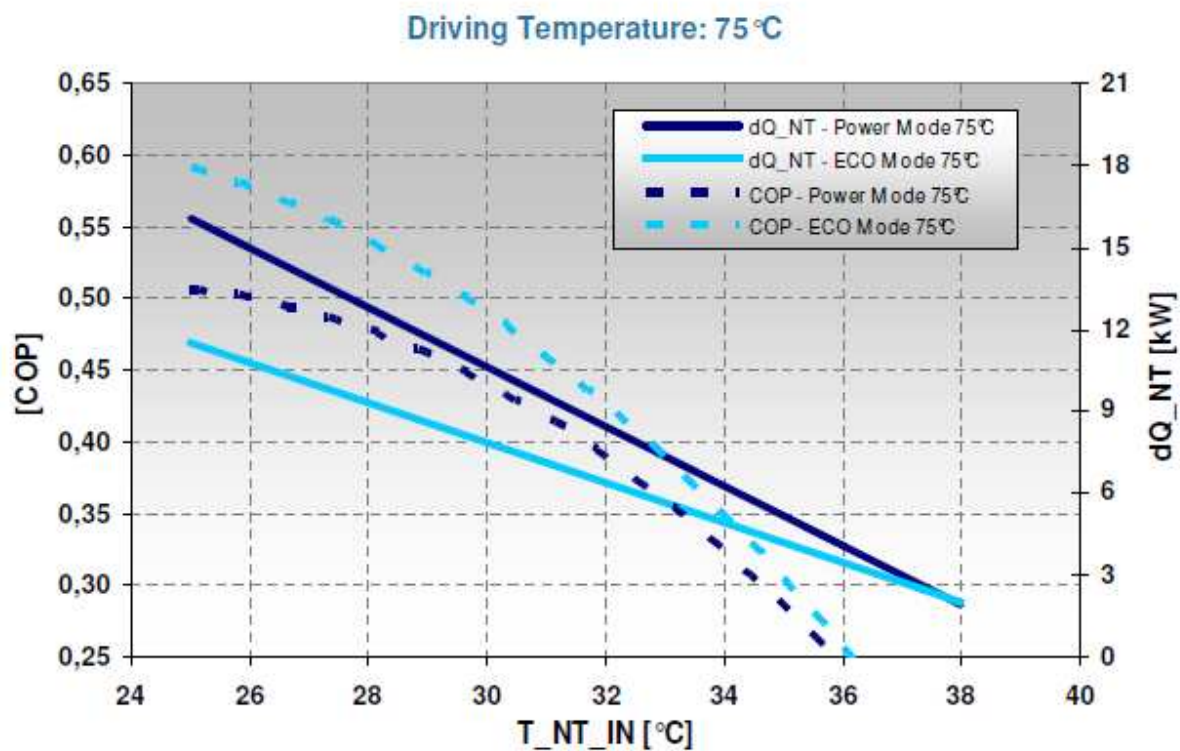
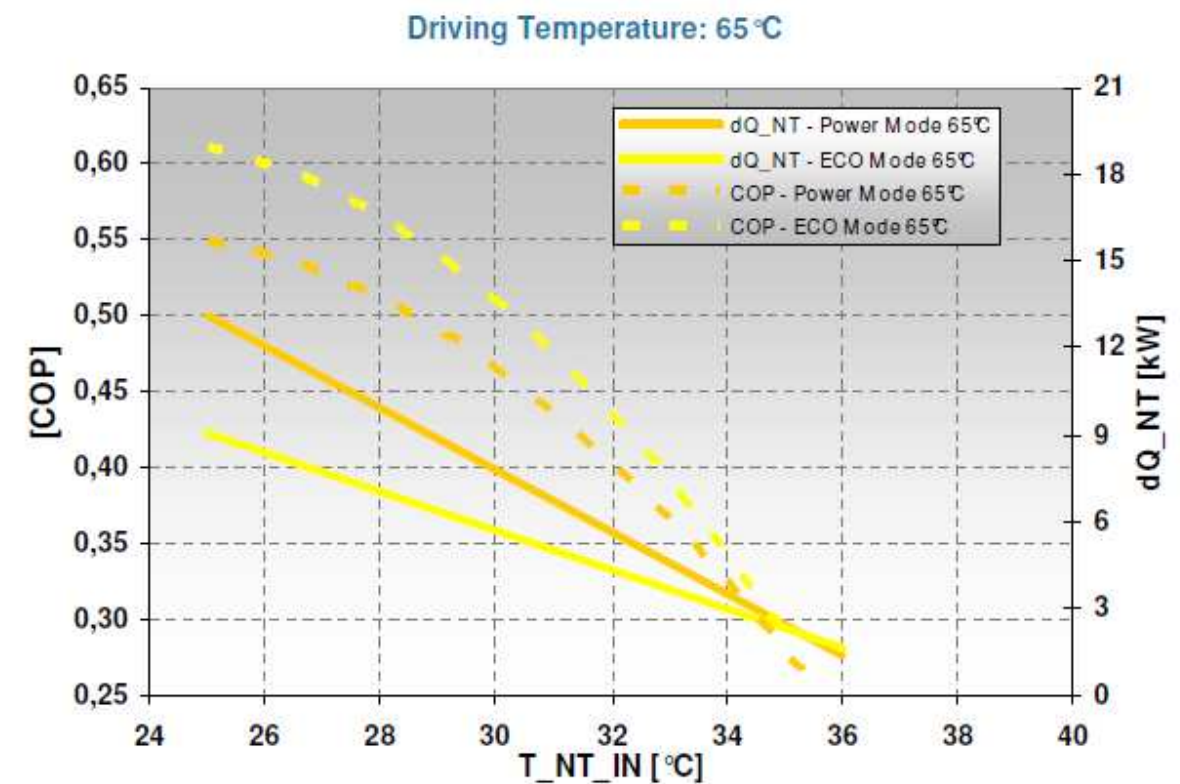
Driving Temperature: 85 °C



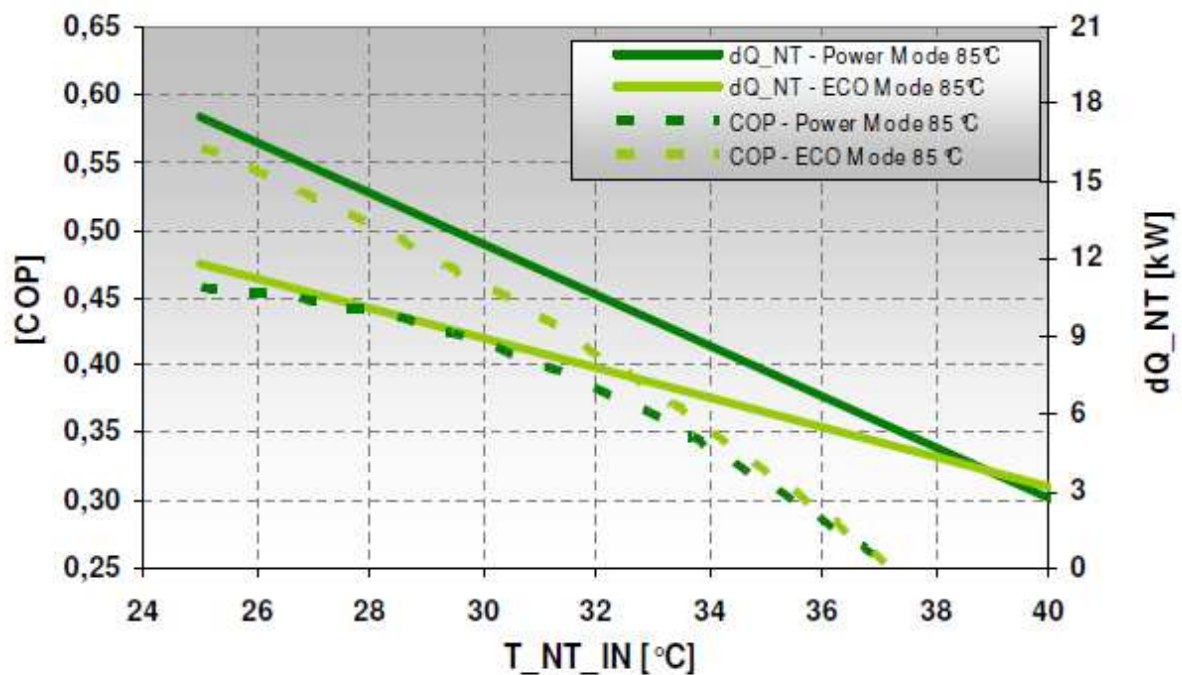
Driving Temperature: 95 °C



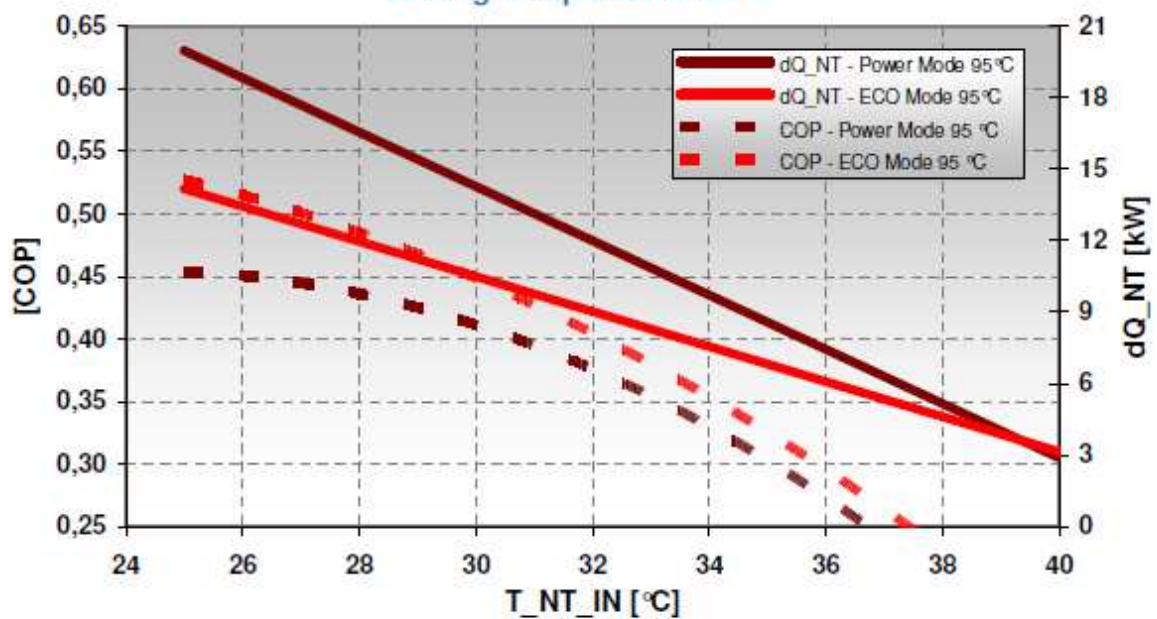
Gekoeld watercircuit (in – uit) = 15 – 10 °C



Driving Temperature: 85 °C



Driving Temperature: 95 °C



Kosten

	ACS 08	ACS 15
Adsorptiemachine	€ 9.990,-	€ 17.990,-
Droogkoeler (RCS)	€ 3.690,-	€ 5.790,-
Pompstation (PCS)	€ 4.239,-	€ 6.859,-
Totaalpakket	€ 17.289,-	€ 29.783,-

Geveke adsorptie koelmachine (GEVAD)

Uitgangspunten:

- Water als koel- en transportmiddel
- De specificaties komen voort uit een praktijkvoorbeeld van Geveke

Functioneringsgegevens	GEVAD-110	GEVAD-215	GEVAD-430
Gekoeld water circuit	60 – 80 °C	60 – 80 °C	60 – 80 °C
Warmte afgifte circuit	< 35 °C	< 35 °C	< 35 °C
Warmte toevoer circuit	5 – 25 °C	5 – 25 °C	5 – 25 °C
Koelcapaciteit	110 kW	215 kW	430 kW

Warmte

Om de adsorptiekoelmachines GEVAD-110, GEVAD-215 en GEVAD-430 te laten functioneren is warmte nodig. Conform de specificaties gaat dit, bij nominaal vermogen, om een volumestroom van respectievelijk 21,3 m³/h, 42,5 m³/h en 85,0 m³/h bij een temperatuurstraject van 68,0 °C – 59,9 °C.

$$\Phi_W = \Phi_V * \rho * c * \Delta T$$

$$\rho = 0,998 \text{ kg/L}$$

$$c = 4186 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta T = 68,0 - 59,9 = 8,1 \text{ °C}$$

GEVAD-110:

$$\Phi_V = \frac{21,3}{3600} * 1000 = \frac{21,3}{3,6} \text{ L/s}$$

$$\Phi_W = \frac{21,3}{3,6} * 0,998 * 4186 * 8,1 \approx 200,2 \text{ kW}$$

GEVAD-215:

$$\Phi_V = \frac{42,5}{3600} * 1000 = \frac{42,5}{3,6} \text{ L/s}$$

$$\Phi_W = \frac{42,5}{3,6} * 0,998 * 4186 * 8,1 \approx 399,5 \text{ kW}$$

GEVAD-430:

$$\Phi_V = \frac{85,0}{3600} * 1000 = \frac{85,0}{3,6} \text{ L/s}$$

$$\Phi_W = \frac{85,0}{3,6} * 0,998 * 4186 * 8,1 \approx 799,0 \text{ kW}$$

Koeling

Om zo efficiënt mogelijk gebruik te kunnen maken van de adsorptiekoelmachines van SorTech AG, dient de geproduceerde warmte afgevoerd te worden. Dit koelcircuit behoort daartoe binnen een temperatuursrange van tussen 22 °C en 37 °C te zijn.

Conform de specificaties:

	GEVAD-110	GEVAD-215	GEVAD-430
Volumestroom	50,0 m ³ /h	99,0 m ³ /h	198,0 m ³ /h
Temperatuurstraject (in – uit)	27,0 – 32,6 °C	27,0 – 32,6 °C	27,0 – 32,6 °C

$$\Phi_W = \Phi_V * \rho * c * \Delta T$$

$$\rho = 0,998 \text{ kg/L}$$

$$c = 4186 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta T = 27,0 - 32,6 = - 5,6 \text{ °C}$$

GEVAD-110:

$$\Phi_V = \frac{50,0}{3600} * 1000 = \frac{50,0}{3,6} \text{ L/s}$$

$$\Phi_W = \frac{50,0}{3,6} * 0,998 * 4186 * (-5,6) \approx -324,9 \text{ kW}$$

GEVAD-215:

$$\Phi_V = \frac{99,0}{3600} * 1000 = 27,5 \text{ L/s}$$

$$\Phi_W = 27,5 * 0,998 * 4186 * (-5,6) \approx -643,4 \text{ kW}$$

GEVAD-430:

$$\Phi_V = \frac{198,0}{3600} * 1000 = 55,0 \text{ L/s}$$

$$\Phi_W = 55,0 * 0,998 * 4186 * (-5,6) \approx -1.286,7 \text{ kW}$$

Gekoeld watercircuit

Conform de specificaties is de warmtestroom van het gekoeld watercircuit als volgt:

	GEVAD-110	GEVAD-215	GEVAD-430
Volumestroom	12,1 m ³ /h	24,3 m ³ /h	48,7 m ³ /h
Temperatuurstraject (in – uit)	22,7 – 15,0 °C	22,7 – 15,0 °C	22,7 – 15,0 °C

$$\Phi_W = \Phi_V * \rho * c * \Delta T$$

$$\rho = 0,998 \text{ kg/L}$$

$$c = 4186 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta T = 22,7 - 15,0 = 7,7 \text{ °C}$$

ACS 08:

$$\Phi_V = \frac{12,1}{3600} * 1000 = \frac{12,1}{3,6} \text{ L/s}$$

$$\Phi_W = \frac{12,1}{3,6} * 0,998 * 4186 * 7,7 \approx 108,1 \text{ kW}$$

ACS 08:

$$\Phi_V = \frac{24,3}{3600} * 1000 = 6,75 \text{ L/s}$$

$$\Phi_W = 6,75 * 0,998 * 4186 * 7,7 \approx 217,1 \text{ kW}$$

ACS 15:

$$\Phi_V = \frac{48,7}{3600} * 1000 = \frac{48,7}{3,6} \text{ L/s}$$

$$\Phi_W = \frac{48,7}{3,6} * 0,998 * 4186 * 7,7 \approx 435,2 \text{ kW}$$

Conform specificaties:

Elektrisch energieverbruik	GEVAD-110	GEVAD-215	GEVAD-430
Waterpomp	0,55 kW	0,55 kW	1,10 kW
Vacuümpomp	0,40 kW +	0,40 kW +	0,75 kW +
Totaal	0,95 kW	0,95 kW	1,85 kW

Totaal

Er kan een balans opgesteld worden om te controleren of de berekeningen en gevonden waarden kloppend zijn:

$$Q_{toe} = -Q_{af}$$

GEVAD-110	Q_{toe}	Q_{af}
Warmte toevoer	200,2 kW	
Koeling (warmte afvoer)		324,9 kW
Gekoeld watercircuit (toevoer van warmte)	108,1 kW	
Elektrisch energieverbruik	0,95 kW	
Totaal	309,25 kW	324,9 kW

GEVAD-215	Q_{toe}	Q_{af}
Warmte toevoer	399,5 kW	
Koeling (warmte afvoer)		643,4 kW
Gekoeld watercircuit (toevoer van warmte)	217,1 kW	
Elektrisch energieverbruik	0,95 kW	
Totaal	617,55 kW	643,4 kW

GEVAD-430	Q_{toe}	Q_{af}
Warmte toevoer	799,0 kW	
Koeling (warmte afvoer)		1.286,7 kW
Gekoeld watercircuit (toevoer van warmte)	435,2 kW	
Elektrisch energieverbruik	1,85 kW	
Totaal	1.236,05 kW	1.286,7 kW

In de tabel is gebruik gemaakt van de berekende vermogens op basis van warmtestromen (volumestroom en temperatuursverschil).

Zoals te zien is in bovenstaande tabellen, is er slechts een klein verschil tussen de opgenomen warmte en de afgegeven warmte. Dit kan het gevolg zijn van afronding van meetgegevens, significantie, intern energieverlies, ed.

Bijlage 8 Conventionele systemen

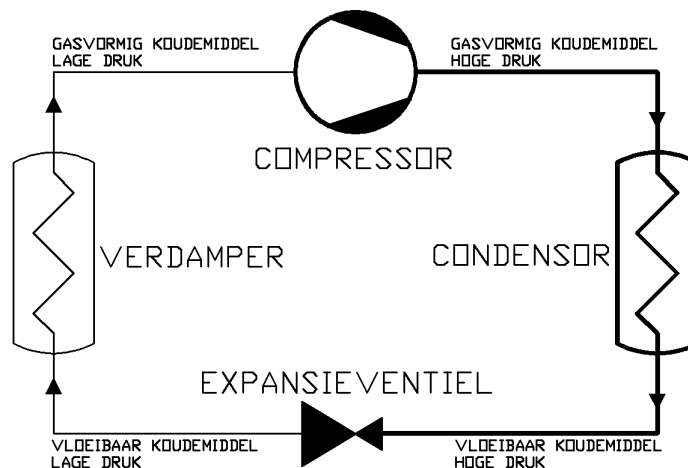
Er zijn verschillende koelsystemen op de markt die al jarenlang hun effectiviteit hebben bewezen. Men is bekend met de werking van deze systemen, de rendementen, de toepasbaarheid en dergelijke. Om deze redenen zijn dit veel toegepaste systemen.

Om een goed overzicht en goede inzicht te krijgen van deze koelsystemen, worden in dit hoofdstuk de meest toegepaste conventionele koelsystemen toegelicht.

Koelmachine / compressiekoeling

Één van de meest gebruikte koeltechnieken is de koelmachine. Zo zijn de meeste koelkasten uitgevoerd met een koelmachine. Ditzelfde systeem wordt warmtepomp genoemd wanneer deze gebruikt wordt voor verwarming. De werking van dit systeem is gebaseerd op verdamping en condensatie van een koudemiddel.

Aan de verdamperzijde van het circuit wordt warmte opgenomen door het warmtedragende medium, het koudemiddel. Dit gebeurt bij een relatief lage temperatuur en lage druk. Door vervolgens de druk van het koudemiddel te verhogen, wordt het mogelijk om de opgenomen warmte op een hogere temperatuur af te voeren. Het verhogen van de druk gebeurt in de compressor, het afgeven van de warmte gebeurt vervolgens in de condensor. Om het circuit te sluiten dient de druk van het koudemiddel weer verlaagd te worden.

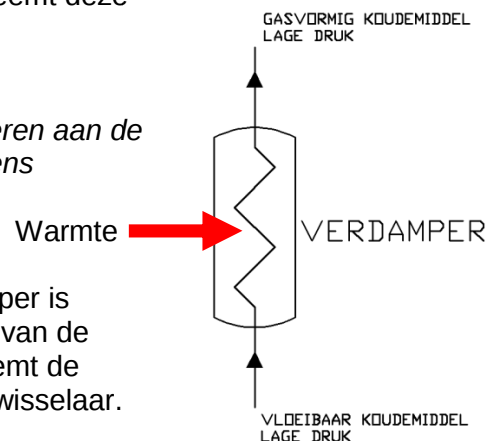


Verdamping

Bij verdamping van het koudemiddel wordt er warmte, bij een lage Temperatuur, uit de omgeving of een ander medium onttrokken. Het koudemiddel, neemt deze warmte op. Dit zorgt voor een verhoging van de entropie.

Dit verschijnsel is herkenbaar als het transpireren bij een mens. Transpiratievocht is daarbij het koudemiddel dat via de zweetklieren aan de oppervlakte van de huid terecht komt. Doordat dit vocht vervolgens verdampt koelt het lichaam af.

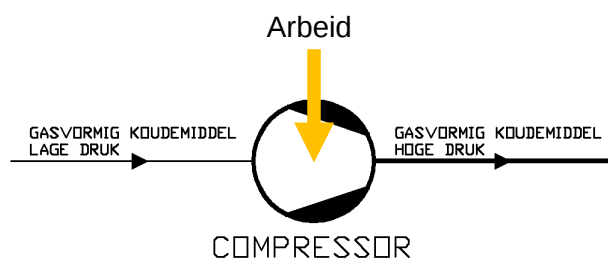
Het verdampen gebeurt in de zogeheten verdamper. De verdamper is daarbij uitgevoerd als een warmtewisselaar. Aan de binnenzijde van de warmtewisselaar stroomt het koudemiddel. Het koudemiddel neemt de warmte op uit de omgeving of een ander medium via de warmtewisselaar. Bij een koelmachine is dit dan ook de zijde waar gekoeld wordt.



Compressie

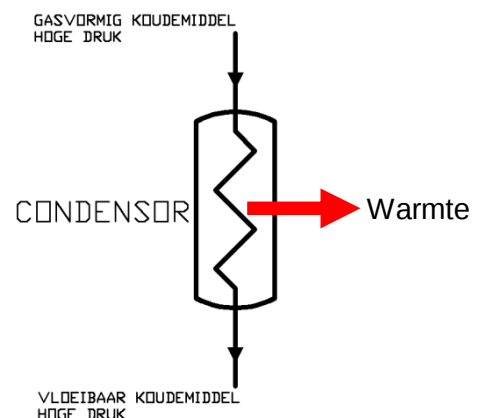
De warmte die opgenomen is door het koudemiddel aan de zijde van de verdamper wordt aan de andere zijde van het circuit weer afgegeven. Dit gebeurt veelal aan de buitenlucht of aan bijvoorbeeld een Warmte Koude Opslag. Het afgeven van warmte gebeurt op basis van condensatie. Het medium waaraan de warmte afgegeven dient te worden heeft in veel gevallen een hogere temperatuur dan het medium waarvan deze warmte is onttrokken. Het is dan ook nodig dat de verdampingstemperatuur van het koudemiddel en daarmee ook het dauwpunt, wordt verhoogd.

Het verhogen van de verdampingstemperatuur is mogelijk door de druk binnen het systeem, aan de zijde van de condensatie, te verhogen. Het verhogen van de druk geschiedt door middel van een arbeidsgedreven compressor. Deze comprimeert het gas waardoor de drukverhoging plaats vindt. Naast het verhogen van de verdampingstemperatuur, zal door drukverschillen het koudemiddel gaan stromen.



Condensor

Condensatie van het koudemiddel geschiedt in de condensor. Dit proces is het omgekeerde van het principe van de verdamping. Bij condensatie van het koudemiddel wordt er warmte, bij hoge temperatuur en hoge druk, aan de omgeving of een ander medium afgegeven. Dit zorgt voor een verlaging van de entropie. De condensor is daarbij, evenals de verdamper, uitgevoerd als een warmtewisselaar.



Expansieventiel

Om de kringloop te kunnen sluiten dient de druk van het vloeibare koudemiddel verlaagd te worden. Dit geschiedt middels een expansieventiel.



Efficiëntie

Bij een koelmachine is de C.O.P. de verhouding tussen de benodigde energie (arbeid) voor de compressor en het koelvermogen. De C.O.P. is daarbij te bereiken door middel van de heersende temperaturen aan de zijde van de verdamper en de condensor.

De formule voor de C.O.P. is:

$$\text{C.O.P.}_{\text{koelen}} = T_{\text{koud}} / (T_{\text{warm}} - T_{\text{koud}})$$



Hoe kleiner het verschil tussen deze temperaturen is, hoe hoger de C.O.P.
Dit verschil kan verkleind worden door meer warmte af te voeren. Dat is onder andere mogelijk door de warmtewisselaars of door de massastroom van het medium waarmee de warmte wordt uitgewisseld te vergroten:

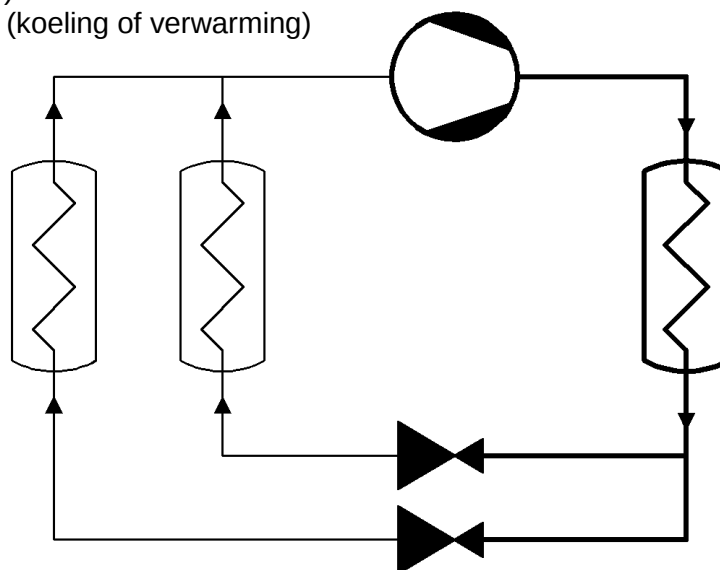
- aan de verdamperzijde kan meer warmte worden opgenomen, waardoor de temperatuur van het koudemiddel verhoogt wordt;
- aan de condensorzijde kan meer warmte worden afgegeven, waardoor de temperatuur van het koudemiddel verlaagd wordt.

Koelmachines zijn verkrijgbaar in verschillende koelvermogens. Voor vrijwel elk type en grootte gebouw/klimaatinstallatie zijn er koelmachines beschikbaar. Uit de specificaties voor koelmachines van verschillende fabrikanten, blijkt dat de C.O.P. voor koelmachines onder standaard condities varieert tussen 3 en 6.

Direct expansiesysteem (DX systeem)

Een direct expansiesysteem, ook wel DX systeem, is een koel- en verwarmingssysteem gebaseerd op de koelmachine/warmtepomp. Bij een DX systeem wordt echter gebruik gemaakt van één buiten unit en één of meerdere binnenunits (multi-split). De binnenunits bevinden zich daarbij in de te koelen/verwarmen ruimte. Het voordeel hiervan is onder andere dat er geen warmteoverdracht hoeft plaats te vinden naar een ander medium. Daarnaast bespaart dit ook energie voor de transport van het medium in een tweede circuit.

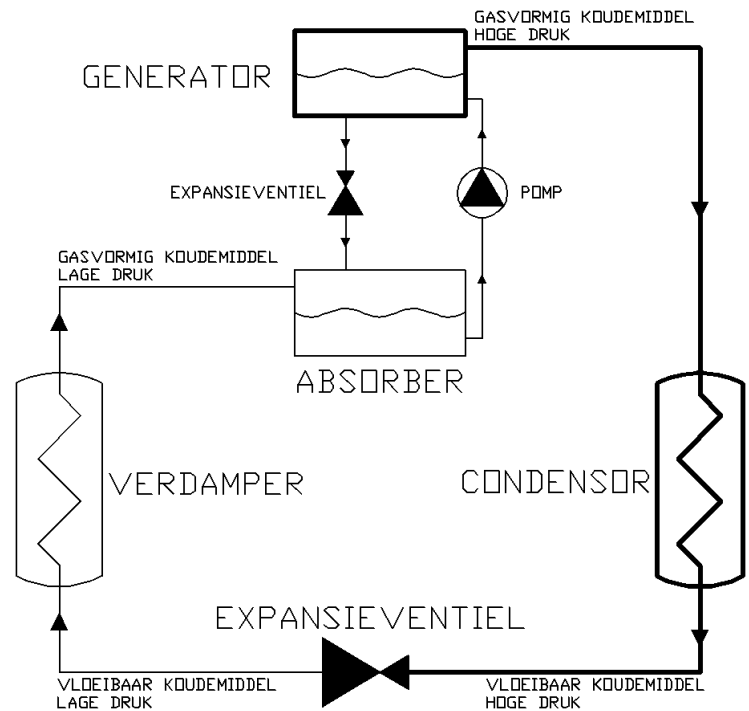
Voor koeling zijn er meerdere verdampers aangesloten op één condensor. Wanneer de functie van de verdampers en condensor omgekeerd kunnen worden, kan het systeem ook ingezet worden voor verwarming. Er is dan sprake van een 'reversible' systeem. Ook zijn er systemen waarbij de binnenunits elk apart kunnen functioneren als condensor ofwel als verdamper (multi-split reversible). Zo kan ook warmte tussen ruimtes met verschillende behoeftes op hetzelfde moment (koeling of verwarming) worden getransporteerd.



Absorptiekoelmachine

Het principe van een absorptiekoelmachine is in de basis gelijk aan die van een compressiekoelmachine. De werking van dit systeem is eveneens gebaseerd op verdamping en condensatie van een koudemiddel bij verschillende temperaturen en drukken. Echter wordt de drukverhoging bij een absorptiekoelmachine gerealiseerd door thermische compressie in plaats van mechanische compressie.

Het systeem maakt gebruik van de chemische aantrekkingskracht van twee verschillende stoffen met warmte als energiebron. Naast het koudemiddel bevindt zich daarom ook een absorptiemiddel in het systeem.



Absorber

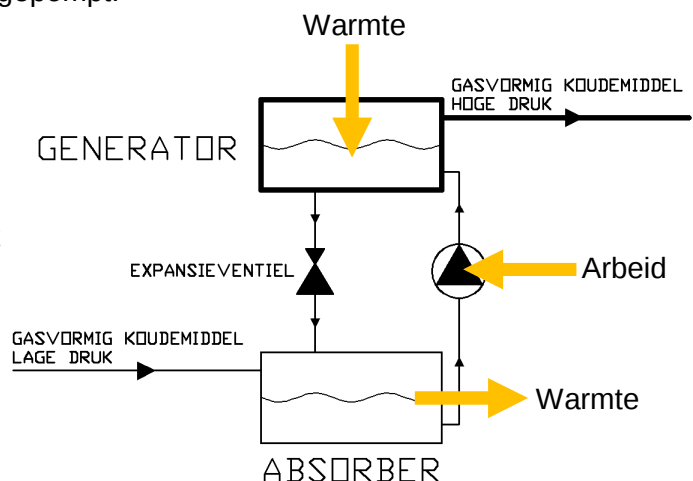
Evenals bij de compressiekoelmachine verdampt het koudemiddel in de verdamper. Vervolgens gaat het koudemiddel naar de absorber, doordat het absorptiemiddel deze absorbeert. Dit is de 'pompondering' van het systeem.

Bij het oplossen van het koudemiddel in het absorptiemiddel, in de absorber, komt warmte vrij. Deze warmte dient te worden afgevoerd.

Om de absorptie te kunnen regenereren wordt de oplossing van het absorptiemiddel en het koelmiddel vervolgens naar de generator gepompt.

Generator

In de generator wordt de oplossing verhit. Hiervoor dient warmte te worden toegevoerd. Bij de verhitting verdampt het koudemiddel uit de oplossing en gaat vervolgens naar de condensor. Via een expansieventiel gaat het absorptiemiddel terug naar de absorber om het proces te herhalen.



Efficiëntie

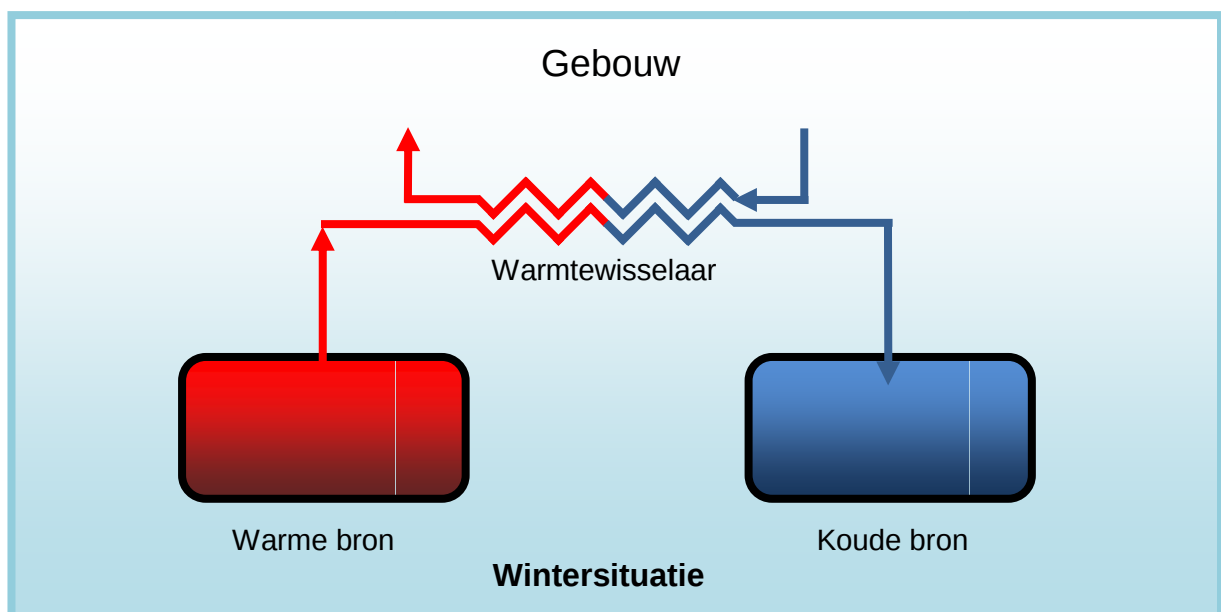
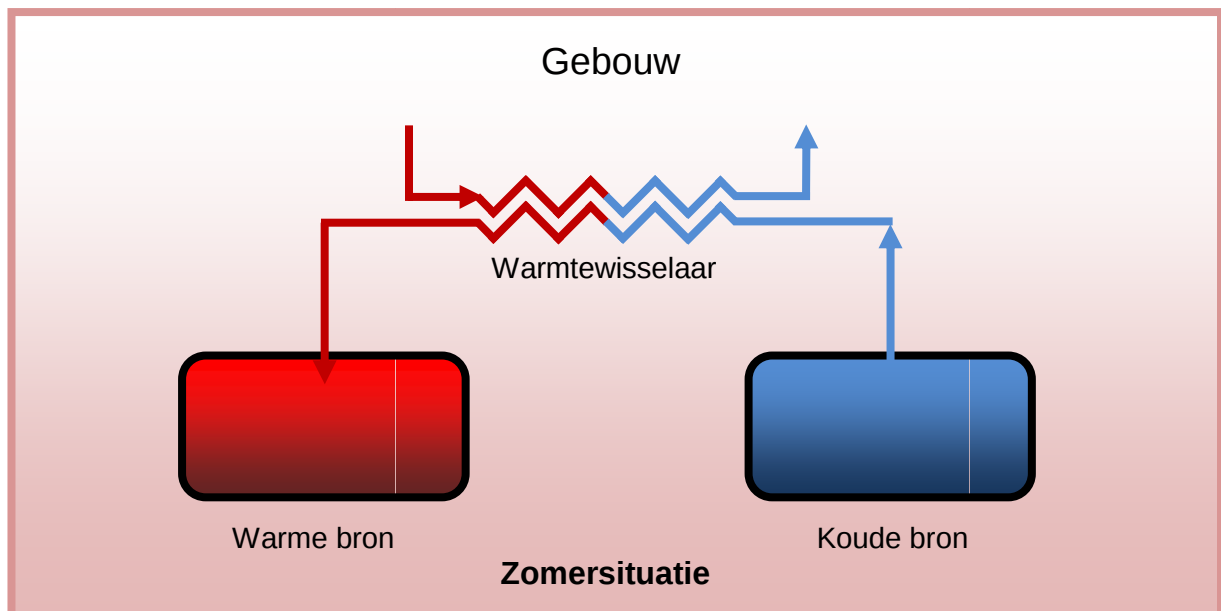
Absorptiekoelmachines halen doorgaands een C.O.P. van 0,5 tot 1,5. Een absorptiekoelmachine is voornamelijk interessant wanneer er bijvoorbeeld restwarmte aanwezig is die niet voor een ander proces wordt gebruikt. Ook is een absorptiekoelmachine interessant in combinatie met een Warmte Koude Opslag.

Bijlage 9 State-of-the-Art systemen

Innovatieve systemen welke al enkele jaren bekend zijn en steeds vaker toegepast worden, vallen onder de 'state-of-the-art' systemen. In deze bijlage worden verschillende state-of-the-art systemen toegelicht.

Warmte Koude Opslag (WKO)

In de aardbodem bevinden zich watervoerende lagen (aquifers). Deze lagen kunnen gebruikt worden om warmte of koude in op te slaan. In de winter wordt er warmte opgepompt uit een warme bron. Deze warmte wordt, veelal met tussenkomst van een warmtepomp, gebruikt voor de ruimteverwarming van een gebouw. Na afkoeling van het water wordt deze in een koude bron geïnjecteerd. In de zomer wordt dit water uit de koude bron opgepompt en kan meestal direct gebruikt worden voor de koeling van het gebouw. Het daarbij opgewarmde water wordt weer in de warme bron geïnjecteerd. Doorgaans wordt een WKO-systeem uitgelegd op de warmtebehoefte. Om een bron in balans te houden wordt deze gebruikt voor koeling in de zomer.



Adiabatische koeling

Bij adiabatische koeling wordt gebruik gemaakt van waternevel. Door waternevel te laten verdampen wordt warmte onttrokken uit de omgevingslucht. Hierdoor koelt deze lucht af.

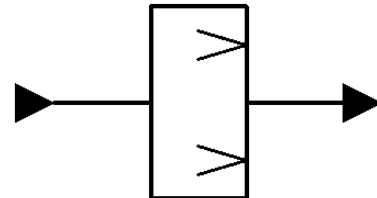
Bij adiabatische processen vindt geen warmteoverdracht tussen de wanden van de koeler en de lucht plaats. Hierdoor blijft de enthalpie gelijk en is de maximaal haalbare koeling dus afhankelijk van de natteboltemperatuur. Om deze reden wordt adiabatische koeling ook wel nattebolkoeling genoemd.

Wanneer de te koelen lucht bij een constante temperatuur een lagere absolute luchtvochtigheid heeft, kan er daardoor een grotere afkoeling behaald worden. De benodigde energie bij adiabatische koeling is de benodigde energie voor de ventilator(en). Daarbij zorgen de ventilatoren tevens voor de toevoer van verse buitenlucht.

Er zijn twee principes: directe adiabatische koeling en indirecte adiabatische koeling.

Directe adiabatische koeling

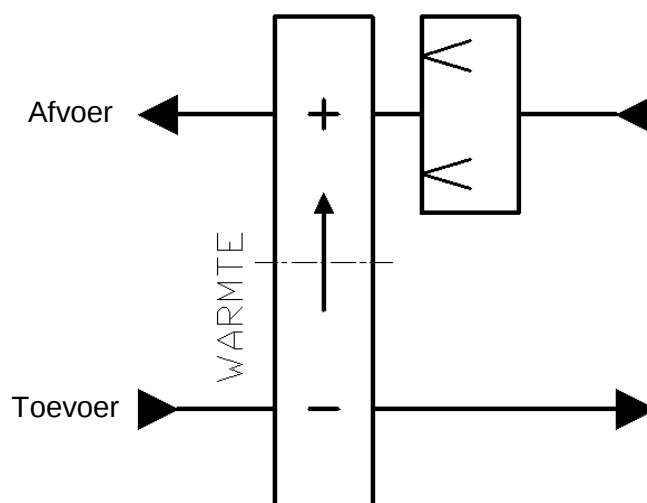
Bij directe adiabatische koeling wordt buitenlucht bevochtigd om vervolgens toegevoerd te worden aan de te koelen ruimte. Het nadeel hiervan is echter dat de relatieve vochtigheid van de lucht in deze ruimte stijgt. Hierdoor kan men dit als benauwd ervaren.



Indirecte adiabatische koeling

Bij indirecte adiabatische koeling wordt, in plaats van de toegevoerde lucht, de afgevoerde lucht bevochtigd. De afgevoerde lucht koelt hierdoor af. Vervolgens vindt er middels een warmtewiel of kruisstroomwisselaar warmteoverdracht plaats tussen de toevoerlucht en de afvoerlucht. Deze afgekoelde afvoerlucht zal daarbij warmte opnemen uit de toevoerlucht. De hierbij afgekoelde toevoerlucht wordt vervolgens de te koelen ruimte ingeblazen.

De C.O.P. van een systeem als deze ligt rond de 13.



Koeltoren

Een koeltoren maakt, net als enkele andere koelsystemen, gebruik van afkoeling door verdamping. Het te koelen water geeft in een koeltoren warmte af aan de buitenlucht. Doordat het water wordt verdampt kan een lagere temperatuur bereikt worden dan de

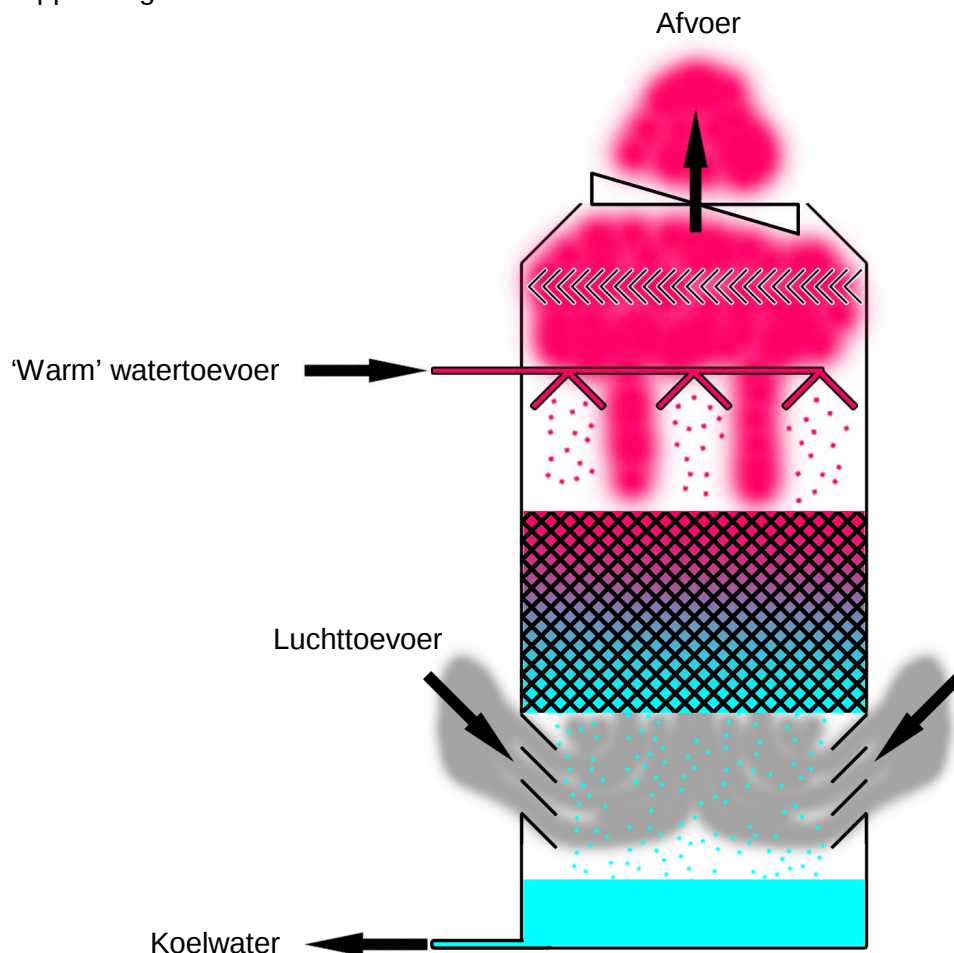
heersende buitentemperatuur. De maximaal te bereiken temperatuur is daarbij de natteboltemperatuur.



Het te koelen water wordt boven in de koeltoren middels sproeiers over een koelpakket verdeeld. Deze heeft een groot warmtewisselend contactoppervlakte. Het water neemt vervolgens warmte op uit de tegen stromende lucht. Hierbij verdampt een deel van het water.

Door de verdamping van dit water koelt het overige water af. Het afgekoelde water valt onder in een bassin. Dit is het koelwater dat naar het te koelen proces gepompt kan worden. De waterdamp wordt samen met de (geforceerde) luchtstroom afgevoerd. Om het systeem in balans te houden dient de hoeveelheid afgevoerde water weer te worden aangevuld.

Onder andere om te voorkomen dat er aerosolen, die mogelijk een verontreiniging bevatten, met de afgevoerde lucht mee kunnen stromen, zijn koeltorens uitgevoerd met druppelvangers.



Bijlage 10 Energieprestatie

In de techniek zijn verschillende manieren om meerdere systemen met elkaar te vergelijken. Ter informatie worden in deze bijlage de definities van C.O.P., P.E.R. en (E.S.)E.E.R. toegelicht.

C.O.P.

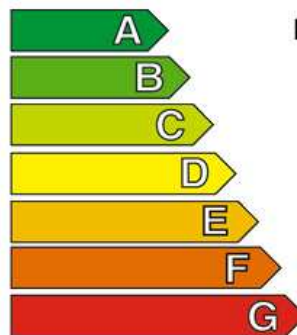
C.O.P. staat voor Coefficient Of Performance. De C.O.P.-waarde geeft de verhouding tussen de bruikbare afkoeling en de benodigde arbeid aan.

Onder bruikbare afkoeling wordt verstaan de afgevoerde warmte. De benodigde arbeid is de energie die aan het systeem wordt toegevoegd om de verplaatsing van de warmte en daarmee de afkoeling te realiseren.

$$C.O.P._{koelen} = \frac{Q_{koud}}{(Q_{warm} - Q_{koud})} = \frac{T_{koud}}{(T_{warm} - T_{koud})}$$

E.E.R.

E.E.R. staat voor Energy Efficiency Ratio. E.E.R. is in definitie hetzelfde als C.O.P. Echter wordt, daar waar C.O.P. wordt gebruikt voor zowel verwarming als koeling, E.E.R. enkel gebruikt voor koeling.



Energieklasse tijdens koele

A	$3,20 < EER$
B	$3,20 \geq EER > 3,00$
C	$3,00 \geq EER > 2,80$
D	$2,80 \geq EER > 2,60$
E	$2,60 \geq EER > 2,40$
F	$2,40 \geq EER > 2,20$
G	$2,20 \geq EER$

Energieklasse tijdens verwarmen

A	$3,60 < COP$
B	$3,60 \geq COP > 3,40$
C	$3,40 \geq COP > 3,20$
D	$3,20 \geq COP > 2,80$
E	$2,80 \geq COP > 2,60$
F	$2,60 \geq COP > 2,40$
G	$2,40 \geq COP$

E.S.E.E.R.

E.S.E.E.R. staat voor European Seasonal Energy Efficiency Ratio. Bij de berekening van C.O.P./E.E.R. wordt de efficiëntie bepaald bij vollast. Echter zijn vollast condities op slechts een klein deel van de operationele tijd van toepassing. Door verschillen in ontwerp en systeem, hebben verschillende systemen elk een ander optimaal werkpunt.

Om systemen op een realistischere wijze te kunnen vergelijken wordt de E.S.E.E.R. gebruikt. De E.S.E.E.R. is een gewogen gemiddelde van de E.E.R. in deellast. Onderstaand is een voorbeeld van de berekening te vinden.

Deellast [%]	Buitenlucht-temperatuur [°C]	Watertemperatuur [°C]	E.E.R.	Deel van de tijd [%]
100	35	30	A	3
75	30	26	B	33
50	25	22	C	41
25	20	18	D	23

$$E.S.E.E.R. = 0,03 * A + 0,33 * B + 0,41 * C + 0,23 * D$$

P.E.R.

P.E.R. staat voor Primary Energy Ratio. Om de efficiëntie van de primaire energie van systemen met verschillende energiebronnen te vergelijken. Hierbij wordt naast de omzettingsefficiëntie van het systeem ook gekeken naar het opwekkingsrendement van de primaire energie.

$$P.E.R. = \frac{E_{geleverd}}{E_{primair}}$$

Bijlage 11 Reflectierapport