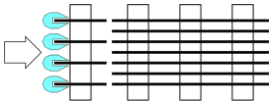
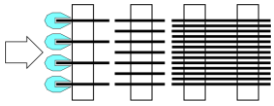
Abtauverfahren für lamellierte Wärmetauscher

Um Wärmetauscher solange wie möglich ohne Abtauung betreiben zu können, sollten diese in den ersten 2 Rohrreihen den doppelten Lamellenabstand aufweisen. Noch besser ist es, wenn man die ersten 2 Rohrreihen mit dem 4-fachen und die nächsten 2 Rohrreihen mit dem doppelten Lamellenabstand vorsieht, bildet sich doch tulpenartiger Frost am Eintritt des Wärmetauschers, welcher den Luftdurchlass erheblich stört.

Gute Ausführung

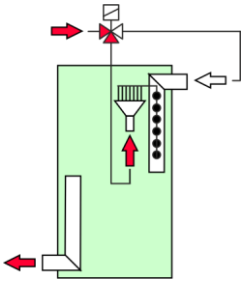


Bessere Ausführung

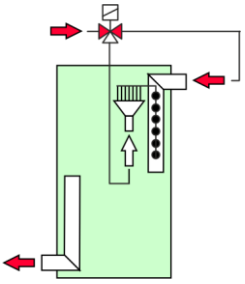


Sofern man Einspritzverdampfer mit **Heissgasen** abtauen möchte, wird dringend empfohlen, dies über ein Umschaltventil und über einen grossen Kollektor vorzunehmen, um eine kurze Abtauzeit zu gewährleisten. Dabei werden die Kapillaren durch den Kollektor und 10 cm in die Wärmetauscher-Rohre hineingeführt.

Verdampfer Normalbetrieb

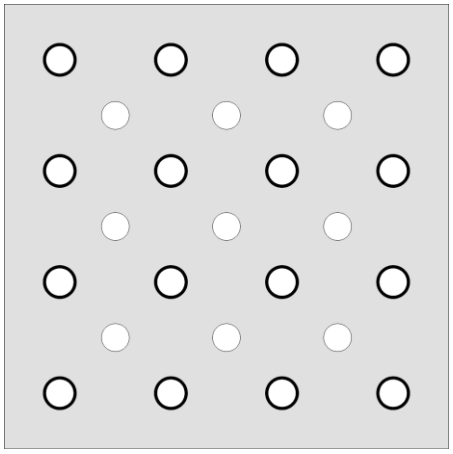


Verdampfer Abtaubetrieb

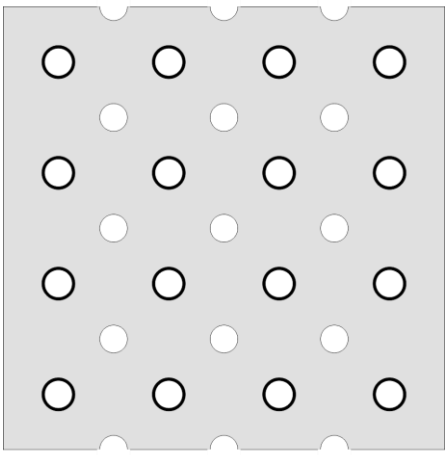


Wer jedoch ohne Umschaltventil und somit direkt über die Kapillaren abtauen möchte, muss eine sehr lange Abtauzeit in Kauf nehmen.

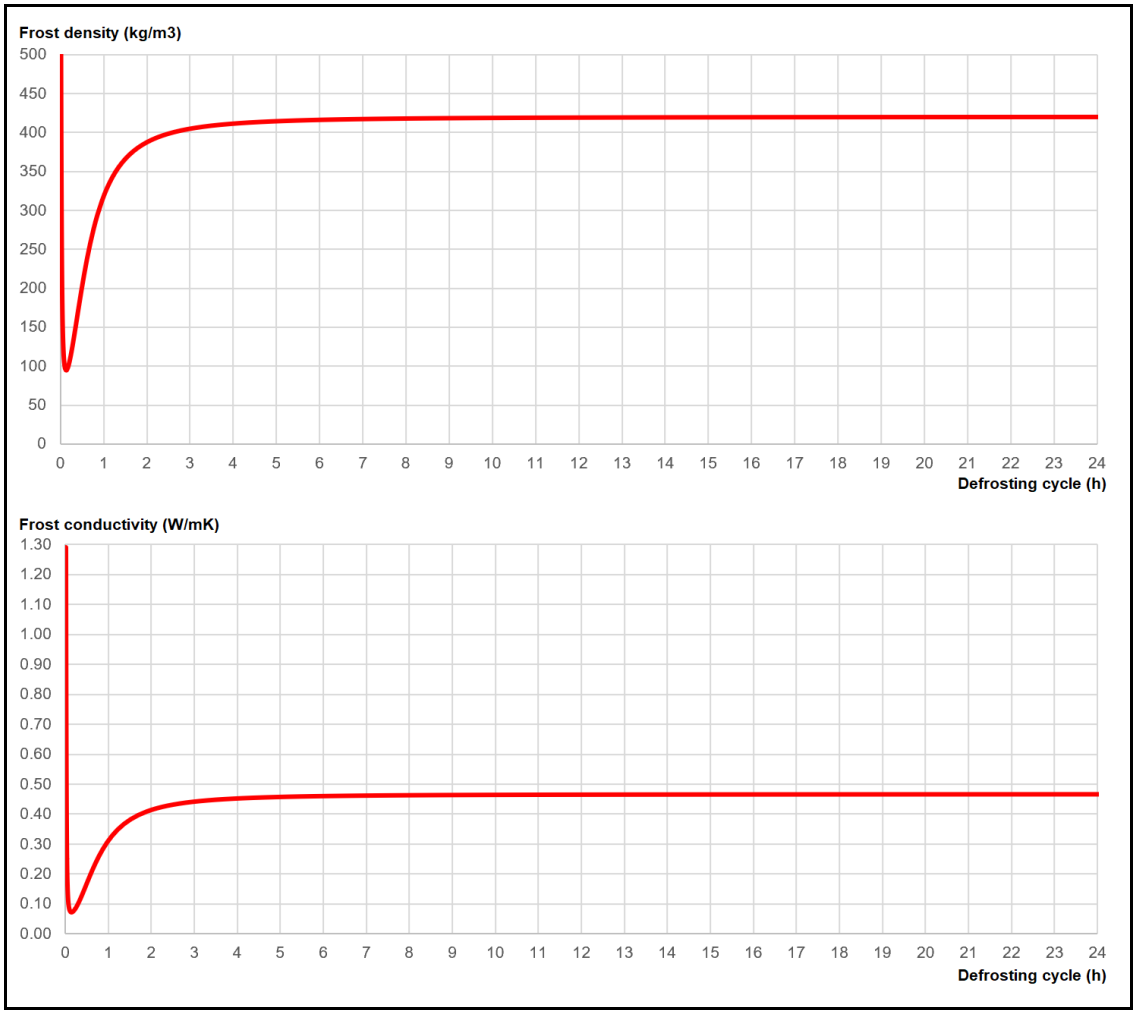
Sofern man Wärmetauscher mit einem **Abtauregister** abtauen möchte, sollte man nur Wärmetauscher-Rohre in fluchtender Anordnung wählen und im Zentrum von je 4 Wärmetauscher-Rohren die Löcher in den Lamellen und in den Endblechen stanzen, um dort das Abtauregister platzieren zu können. Dieses muss mit einem Wärmeträgermedium bei entsprechend hoher Temperatur betrieben werden, da bei diesem Verfahren nur die Wärmestrahlung und Konvektion als Abtauleistung zur Anwendung kommen kann. Im Weiteren ist der luftseitige Druckverlust entsprechend höher als beim Abtauen mit Heissgasen oder Elektroheizstäben.



Sofern man Wärmetauscher mit **Elektroheizstäben** abtauen möchte, sollte man nur Wärmetauscher-Rohre in fluchtender Anordnung wählen und im Zentrum von je 4 Wärmetauscher-Rohren die Löcher in den Lamellen und in den Endblechen stanzen. Natürlich werden nicht alle dafür vorgesehenen Stanzlöcher benötigt. Man stellt jedoch damit sicher, dass man später eventuell Elektroheizstäbe verschieben und ergänzen kann. Man sollte dabei auf keinen Fall Elektroheizstäbe in Haarnadelform verwenden, welche von der Hinterseite her eingeschoben werden. Besser sind gerade Elektroheizstäbe, welche nur von der Vorderseite her eingeschoben werden.



Bei der Berechnung spielt die Dichte und die Wärmeleitfähigkeit des Frostes in Funktion des Abtauintervalls eine dominante Rolle. Wir verwenden dazu die ***Dissertation von Alexander Schydlo, Hindenburg (Zabrze Polen), Reifbildung und -wachstum auf gekühlten Rohroberflächen.***



Vergleich der 3 Abtauverfahren

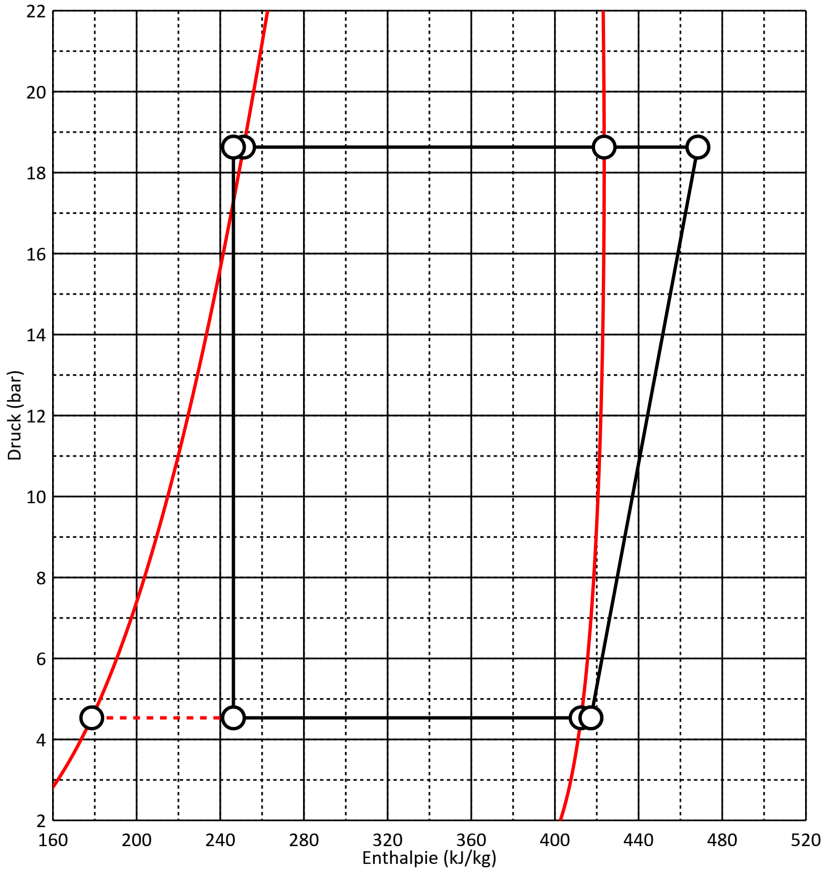
Bezeichnung	Einheit	Heissgase Kapillaren [1]	Heissgase Kollektor [2]	Abtauregister ---	El. Heizstäbe ---
Frostenergie	kWh	15.93	15.93	14.40	15.93
Abtauleistung	kW	9.50	28.49	10.79	63.00
Abtauintervall	h	3.00	3.00	3.00	3.00
Abtauzeit	h	1.68	0.56	1.34	0.25
Verfügbarkeit	%	44.11	81.33	55.51	91.57
Druckverlust Luft	Pa	94.30	94.30	206.69	96.48
Wärmetauscher Preis	EUR	5'414.00	5'414.00	6'119.00	10'694.00

[1] Bei der Abtauleistung via Kapillaren mit Heissgasen wurden lediglich 30% der effektiven Heissgasleistung berücksichtigt, weil der Querschnitt der Kapillaren sehr klein ist.

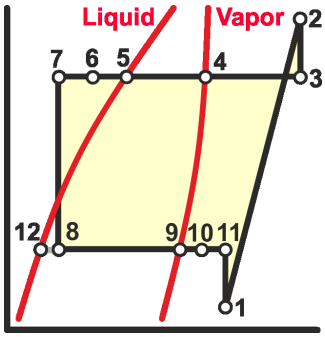
[2] Bei der Abtauleistung via Kollektor mit Heissgasen wurden lediglich 90% der effektiven Heissgasleistung berücksichtigt, um eine partielle Kondensation zu vermeiden.

Seite 3: Kälteprozess mit R410A
Seite 4: Verdampfer für [1] und [2]
Seite 5: Verdampfer mit Abtauregister, Verdampfer
Seite 6: Verdampfer mit Abtauregister, Abtauregister
Seite 7: Verdampfer mit Elektroheizstäben

Kältemittel **R410A**



Beschreibung
1=Kältekompressor
2=Kältekompressor
3=Heissgas Kondensator
4=Kondensation'' (Vapor)
5=Kondensation' (Liquid)
6=Unterkühlung Kondensator
7=Unterkühlung zusätzlich
8=Verdampfer Einspritzpunkt
9=Verdampfer'' (Vapor)
10=Überhitzung Verdampfer
11=Überhitzung zusätzlich
12=Verdampfer' (Liquid)



$$T^n p^{(1-n)} = const$$

$$x = \frac{n}{1-n} = \frac{ln(p_2/p_1)}{ln(T_1/T_2)}$$

$$n = \frac{x}{1+x}$$

Kältekompressor	bar	°C	kJ/kg	kW	kg/h	(n)	
1=Kältekompressor	4.302	-13.000	419.772				
2=Kältekompressor	18.835	67.029	472.604				
Differenz			52.832	36.129	2461.832		
Polytropenexponent (n)						1.222	
Kondensator	bar	°C	kJ/kg	kW	kg/h	COP	
3=Heissgas Kondensator	18.835	67.029	472.604				
4=Kondensation'' (Vapor)	18.835	30.000	426.319				
5=Kondensation' (Liquid)	18.835	29.881	248.205				
6=Unterkühlung	18.835	27.000	243.179				
Differenz			229.425	156.891	2461.832	4.343	
Unterkühlung zusätzlich	bar	°C	kJ/kg	kW	kg/h		
6=Unterkühlung	18.835	27.000	243.179				
7=Unterkühlung zusätzlich	18.835	27.000	243.179				
Differenz			0.000	0.000	2461.832		
Verdampfer	bar	°C	kJ/kg	kW	kg/h	COP	Flashgas
12=Verdampfer' (Liquid)	4.302	-18.092	173.196				
8=Verdampfer	4.302	-18.065	243.179				0.290
9=Verdampfer'' (Vapor)	4.302	-18.000	414.902				
10=Verdampfer Überhitzung	4.302	-13.000	419.772				
Differenz			176.593	120.762	2461.832	3.343	
Überhitzung zusätzlich	bar	°C	kJ/kg	kW	kg/h		
10=Überhitzung Verdampfer	4.302	-13.000	419.772				
11=Überhitzung zusätzlich	4.302	-13.000	419.772				
Differenz			0.000	0.000	2461.832		
Druckverlust	bar	°C	kJ/kg				
2-3=Druckverlust	0.000						
11-1=Druckverlust	0.000						

Anschlüsse	ρ	v̇	c max	di min	di eff	da eff	Ø eff
----	kg/m³	m³/h	m/s	m	mm	mm	---
Kondensation'' (Vapor)	76.445	32.204	5.714	0.045	51.000	54.000	2"
Kondensation' (Liquid)	1033.408	2.382	0.694	0.035	39.000	42.000	1 ½"
Verdampfer' (Liquid)	1238.374	1.988	0.470	0.039	39.000	42.000	1 ½"
Verdampfer'' (Vapor)	16.567	148.600	9.778	0.073	84.900	88.900	3"

Einspritzverdampfer: 50/50/15-12R-32T-1600A-3.8PA-32C-Cu/Al/V2A Software by www.zcs.ch

Leistung	kW	120.762	------ sensibel:	79.464
Flächenreserve	%	9.485	latent:	35.989
Vorhandene Fläche	m2	778.423	frost:	5.308
Erforderliche Fläche	m2	710.989	0.5 % Oil ISO VG32	
k-Wert	W/m2K	12.363		
Mittl. log. Temp. diff. (100.00 %)	K	13.738		

LOGO

Company
Branch
Street
Country / ZIP / City

Tel: xxxxxxxxxx
Fax: xxxxxxxxxx
E-Mail
Homepage

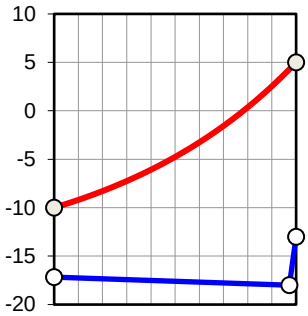
City, 05.05.2022
Mit freundlichen Grüssen

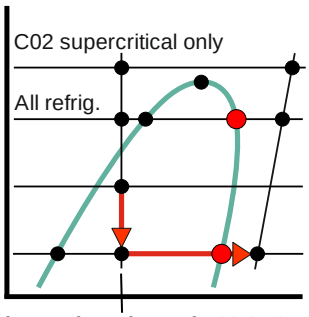
Representative
Direct dialing
xxxxxxxxxx

Plant
Object
Position

Feuchte Luft (ff=0.00005 m2K/W)		Eintritt	Austritt	Definition
Höhe über Meer	m			0.000
Druck	hPa			1013.250
Temp.	°C	5.000	-10.000	5.000
Rel. Feuchte	%	80.000	100.000	80.000
Abs. Feuchte	g/kg	4.320	1.589	4.320
Dichte feucht	kg/m3	1.265	1.340	1.265
Enthalpie feucht	kJ/kg	15.873	-6.118	15.873
Volumenstrom feucht	m3/h	15000.000	14129.250	15000.000
Massenstrom trocken	kg/h	18900.600	18900.600	18900.600
Kondensatmenge	kg/h		51.624	
Oberflächentemperatur	°C	-3.833	-12.773	
Geschwindigkeit	m/s	1.628	1.533	1.628
Druckverlust (tro. 83 Pa)	Pa		94.304	

R410A Verdampfung 4.302 bar (ff=0.00005 m2K/W)		
Kondensat''	°C	30.000
Kondensat'	°C	29.881
Unterkühlung	°C	27.000
Verdampfung''	°C	-18.000
Überhitzung	°C	-13.000
Massenstrom	kg/h	2473.796
Volumenstrom	m3/h	149.323
Geschwindigkeit	m/s	7.742
Druckverlust Verdampfung	K	0.889
Druckverlust Kapillare	bar	3.390

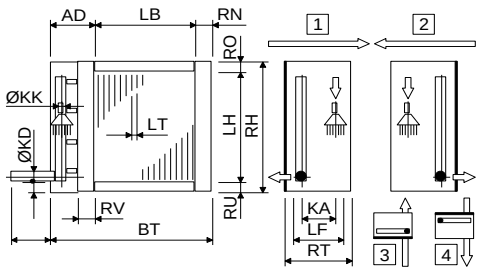




Dampfgehalt am Einspritzpunkt 28.95 %

Technische Daten

Rohre total		Stück	384	Rohre:	glatt	Cu
Blindrohre		Stück	0		fluchtend	
Rohrreihen in der Tiefe		Stück	12	Kollektoren:		Cu
Rohrlagen in der Höhe		Stück	32	Anschlüsse:		Cu
Pässe		Stück	12	Lamellen:	glatt	Al
Stränge (NC)		Stück	32	Rahmen:	2.0 mm	V2A
Inhalt		l	122	Kreise:	1	Standard
Gewicht		kg	414	Kapillaren:	6.00 x 1.00 x 1800.00 mm	
Anschluss für Kond.	KK	mm	35	Luftrichtung:		horizontal
Anschluss für Dampf	KD	mm	89			
Rahmenhöhe	RH	mm	1680			
Rahmenbreite	BT	mm	1840			
Rahmentiefe	RT	mm	670			
Lamellierte Höhe	LH	mm	1600			
Lamellierte Breite	LB	mm	1600			
Lamellierte Tiefe	LF	mm	600			
Rahmen oben	RO	mm	40			
Rahmen unten	RU	mm	40			
Rahmen vorne	RV	mm	30			
Rahmen hinten (~65mm)	RN	mm	65			
Kollektorabdeckung	AD	mm	175			
Kollektorabstand	KA	mm	550			
Lamellenteilung	LT	mm	3.789			
Lamellendicke	LD	mm	0.200			
Rohrdurchmesser	DA	mm	15.400			
Rohrwandstärke	S	mm	0.400			
Rohrteilung in der Höhe	S1	mm	50.000			
Rohrteilung in der Tiefe	S2	mm	50.000			



El. Heizstäbe: ohne
Froststärke: 0.492 mm
Lamellenteilung: 2x12.0+2x6.0+8x3.0 mm

Lieferfrist:		5-6 Wochen
Bindefrist:		12 Wochen
Kondit.:		netto, franko Domizil
Zahlung:		30 Tage netto
Preis netto:	**EUR**	**5414.00**

Einspritzverdampfer: 50/50/15-10R-32T-1600A-4.0PA-32C-Cu/Al/V2A Software by www.zcs.ch

Leistung	kW	120.252	------ sensibel:	79.464
Flächenreserve	%	3.804	latent:	35.989
Vorhandene Fläche	m2	603.479	frost:	4.799
Erforderliche Fläche	m2	581.364	0.5 % Oil ISO VG32	
k-Wert	W/m2K	14.974		
Mittl. log. Temp. diff. (100.00 %)	K	13.814		

LOGO

Company
Branch
Street
Country / ZIP / City

Tel: xxxxxxxxxx
Fax: xxxxxxxxxx
E-Mail
Homepage

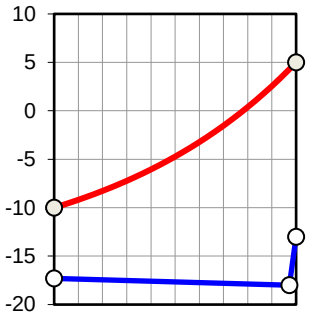
City, 5.5.2022
Mit freundlichen Grüssen

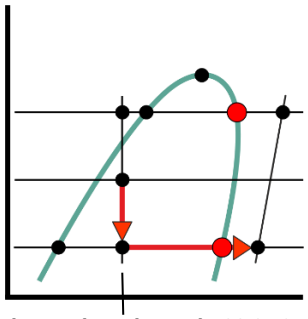
Representative
Direct dialing
xxxxxxxxxx

Plant
Object
Position

Feuchte Luft (ff=0.00005 m2K/W)		Eintritt	Austritt	Definition
Höhe über Meer	m			0.000
Druck	hPa			1013.250
Temp.	°C	5.000	-10.000	5.000
Rel. Feuchte	%	80.000	100.000	80.000
Abs. Feuchte	g/kg	4.320	1.589	4.320
Dichte feucht	kg/m3	1.265	1.340	1.265
Enthalpie feucht	kJ/kg	15.873	-6.118	15.873
Volumenstrom feucht	m3/h	15000.000	14129.250	15000.000
Massenstrom trocken	kg/h	18900.600	18900.600	18900.600
Kondensatmenge	kg/h		51.624	
Oberflächentemperatur	°C	0.136	-11.554	
Geschwindigkeit	m/s	1.628	1.533	1.628
Druckverlust (Frost)	Pa		206.692	

R410A Verdampfung 4.302 bar (ff=0.00005 m2K/W)		
Kondensat''	°C	30.000
Kondensat'	°C	29.881
Unterkühlung	°C	27.000
Verdampfung''	°C	-18.000
Überhitzung	°C	-13.000
Massenstrom	kg/h	2463.363
Volumenstrom	m3/h	148.693
Geschwindigkeit	m/s	7.710
Druckverlust Verdampfung	K	0.763
Druckverlust Kapillare	bar	3.364

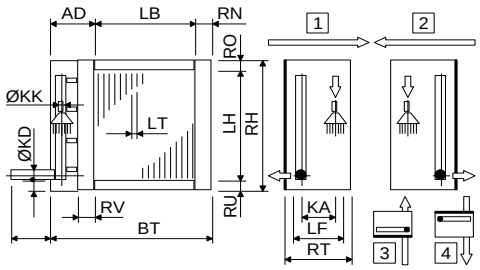




Dampfgehalt am Einspritzpunkt 28.95 %

Technische Daten **Froststärke 0.59 mm - Abtauintervall 3.00 h - Abtauzeit 1.33 h - Verfügbarkeit 55.53 %**

Rohre total		Stück	320	Rohre:	glatt	Cu
Blindrohre		Stück	0		fluchtend	
Rohrreihen in der Tiefe		Stück	10	Kollektoren:		Cu
Rohrlagen in der Höhe		Stück	32	Anschlüsse:		Cu
Pässe		Stück	10	Lamellen:	glatt	Al
Stränge (NC)		Stück	32	Rahmen:	2.0 mm	V2A
Inhalt		l	103	Kreise:	1	Standard
Gewicht		kg	343	Kapillaren:	6.00 x 1.00 x 1800.00 mm	
Anschluss für Kond.	KK	mm	35	Schutz:		ohne
Anschluss für Dampf	KD	mm	89	Schutz:		---
Rahmenhöhe	RH	mm	1680	Luftrichtung:		horizontal
Rahmenbreite	BT	mm	1840			
Rahmentiefe	RT	mm	570			
Lamellierte Höhe	LH	mm	1600			
Lamellierte Breite	LB	mm	1600			
Lamellierte Tiefe	LF	mm	500			
Rahmen oben	RO	mm	40			
Rahmen unten	RU	mm	40			
Rahmen vorne	RV	mm	30			
Rahmen hinten (~65mm)	RN	mm	65			
Kollektorabdeckung	AD	mm	175			
Kollektorabstand	KA	mm	450			
Lamellenteilung	LT	mm	4.000	(2x12.0+2x6.0+6x3.0)		
Lamellendicke	LD	mm	0.200	Lieferfrist:		5-6 Wochen
Rohrdurchmesser	DA	mm	15.400	Bindefrist:		12 Wochen
Rohrwandstärke	S	mm	0.400	Kondit.:		netto, franko Domizil
Rohrteilung in der Höhe	S1	mm	50.000	Zahlung:		30 Tage netto
Rohrteilung in der Tiefe	S2	mm	50.000	**Preis netto:**	**EUR**	**4576.00**



Defroster: 50/50/8-9R-31T-1600A-4.0PA-23C-Cu/Al/V2A Software by www.zcs.ch

Wirk. grad: Rohre-Lamellen	---	0.980
Wa.übergang: Rohre-Lamellen	---	0.865
Bypass: Luft-Rohre-Lamellen	---	0.995
Wirk. grad: Wärmeaustauscher tota	**---**	**0.844**
Strahlungsleistung	**kW**	**10.791**
Innenfläche	m2	9.168

Volumenstrom der feuchten Luft = 0.000 m3/h !!!

Strahlungsleistung

LOGO

Company
Branch
Street
Country / ZIP / City

Tel: xxxxxxxxxx
Fax: xxxxxxxxxx
E-Mail
Homepage

City, 5.5.2022
Mit freundlichen Grüssen

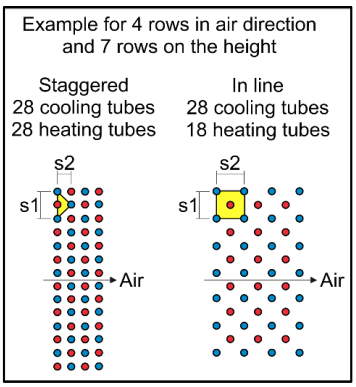
Representative
Direct dialing
xxxxxxxxxx

Plant
Object
Position

Dowtherm J

Fouling innen	m2K/W	5.000E-05
Temp. ein	°C	200.000
Temp. aus	°C	195.586
Dichte	kg/m3	713.427
Spez. Wärme	kJ/kgK	2.467
Wä.leitf.	W/mK	0.090
Viskosität	Pas	2.330E-04
Volumenstrom	m3/h	5.000
Massenstrom	kg/h	3567.136
Geschwindigkeit	m/s	1.331
Druckverlust	kPa	48.938

Example for 4 rows in air direction and 7 rows on the height



Wirk. grad: Wärmeaustauscher total $\eta = 0.844$ **(---)**
Emissionsgrad $\varepsilon = 0.500$ **(---)**

Stefan Boltzmann Konstante $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ **(W/m²K⁴)**

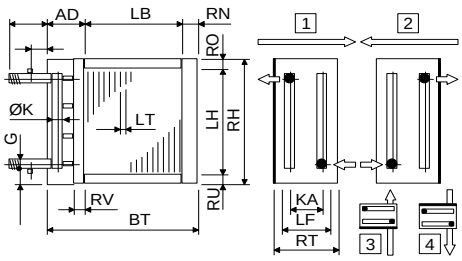
Innenfläche $A =$ **9.168 (m2)**

Mittlere Strahlungsperatur $t \sim (t_{in} + t_{out})/2$ **(K)**

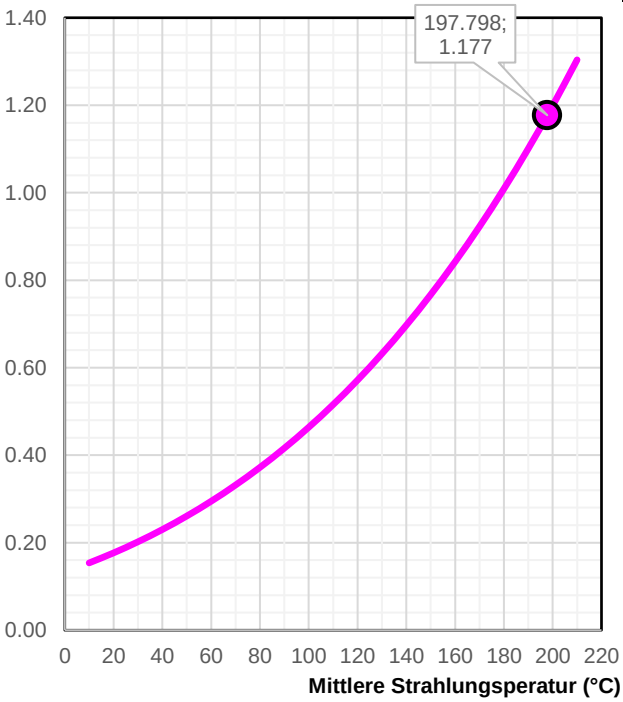
Absolute Temperatur $T = t + 273.16$ **(K)**

Strahlungsleistung $\dot{Q} = \eta\varepsilon\sigma A T^4$ **(W)**

Mittlere Strahlungsperatur $t = \sqrt[4]{\frac{\dot{Q}}{\eta\varepsilon\sigma A}} - 273.16$ **(°C)**



Strahlungsleistung (kW/m2)



Technische Daten **Froststärke 0.59 mm - Abtauintervall 3.00 h - Abtauzeit 1.33 h - Verfügbarkeit 55.53 %**

Rohre total		Stück	279	Rohre:	glatt	Cu
Blindrohre		Stück	3		fluchtend	
Rohrreihen in der Tiefe		Stück	9	Kollektoren:	1.16 m/s	Cu
Rohrlagen in der Höhe		Stück	31	Anschlüsse:	1.16 m/s	Cu
Pässe		Stück	12	Lamellen:	glatt	Al
Stränge (NC)		Stück	23	Rahmen:	2.00 mm	V2A
Inhalt		l	26	Kreise:	1	Standard
Gewicht		kg	49	Luftrichtung:		horizontal
Kollektor-Durchmesser	K	mm	42			
Anschlüsse	G	---	1 ½"			
Lamellierte Breite	LB	mm	1600			
Lamellenteilung	LT	mm	4.000			
Lamellendicke	LD	mm	0.200	Lieferfrist:		5-6 Wochen
Rohrdurchmesser	DA	mm	8.400	Bindefrist:		12 Wochen
Rohrwandstärke	S	mm	0.400	Kondit.:		netto, franko Domizil
Rohrteilung in der Höhe	S1	mm	50.000	Zahlung:		30 Tage netto
Rohrteilung in der Tiefe	S2	mm	50.000	**Preis netto:**		**EUR 1543.00**

Einspritzverdampfer: 50/50/15-12R-32T-1600A-3.8PA-32C-Cu/Al/V2A Software by www.zcs.ch

Leistung	kW	120.762	------ sensibel:	79.464
Flächenreserve	%	8.060	latent:	35.989
Vorhandene Fläche	m2	760.345	frost:	5.308
Erforderliche Fläche	m2	703.629	0.5 % Oil	ISO VG32
k-Wert	W/m2K	12.492		
Mittl. log. Temp. diff. (100.00 %)	K	13.738		

LOGO

Company
Branch
Street
Country / ZIP / City

Tel: xxxxxxxxxx
Fax: xxxxxxxxxx
E-Mail
Homepage

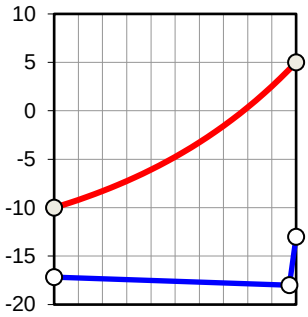
City, 05.05.2022
Mit freundlichen Grüssen

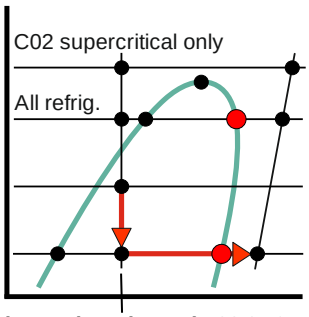
Representative
Direct dialing
xxxxxxxxxx

Plant
Object
Position

Feuchte Luft (ff=0.00005 m2K/W)		Eintritt	Austritt	Definition
Höhe über Meer	m			0.000
Druck	hPa			1013.250
Temp.	°C	5.000	-10.000	5.000
Rel. Feuchte	%	80.000	100.000	80.000
Abs. Feuchte	g/kg	4.320	1.589	4.320
Dichte feucht	kg/m3	1.265	1.340	1.265
Enthalpie feucht	kJ/kg	15.873	-6.118	15.873
Volumenstrom feucht	m3/h	15000.000	14129.250	15000.000
Massenstrom trocken	kg/h	18900.600	18900.600	18900.600
Kondensatmenge	kg/h		51.624	
Oberflächentemperatur	°C	-3.810	-12.765	
Geschwindigkeit	m/s	1.628	1.533	1.628
Druckverlust (tro. 85 Pa)	Pa		96.479	

R410A Verdampfung 4.302 bar (ff=0.00005 m2K/W)		
Kondensat''	°C	30.000
Kondensat'	°C	29.881
Unterkühlung	°C	27.000
Verdampfung''	°C	-18.000
Überhitzung	°C	-13.000
Massenstrom	kg/h	2473.796
Volumenstrom	m3/h	149.323
Geschwindigkeit	m/s	7.742
Druckverlust Verdampfung	K	0.889
Druckverlust Kapillare	bar	3.390

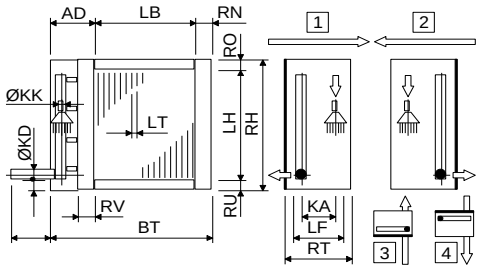




Dampfgehalt am Einspritzpunkt 28.95 %

Technische Daten Froststärke 0.50 mm - Abtauintervall 3.00 h - Abtauzeit 0.25 h - Verfügbarkeit 91.57 %

Rohre total		Stück	384	Rohre:	glatt	Cu
Blindrohre		Stück	0		fluchtend	
Rohrreihen in der Tiefe		Stück	12	Kollektoren:		Cu
Rohrlagen in der Höhe		Stück	32	Anschlüsse:		Cu
Pässe		Stück	12	Lamellen:	glatt	Al
Stränge (NC)		Stück	32	Rahmen:	2.0 mm	V2A
Inhalt		l	122	Kreise:	1	Standard
Gewicht		kg	414	Kapillaren:	6.00 x 1.00 x 1800.00 mm	
Anschluss für Kond.	KK	mm	35	Luftrichtung:		horizontal
Anschluss für Dampf	KD	mm	89			
Rahmenhöhe	RH	mm	1680			
Rahmenbreite	BT	mm	1840			
Rahmentiefe	RT	mm	670			
Lamellierte Höhe	LH	mm	1600			
Lamellierte Breite	LB	mm	1600			
Lamellierte Tiefe	LF	mm	600			
Rahmen oben	RO	mm	40			
Rahmen unten	RU	mm	40			
Rahmen vorne	RV	mm	30			
Rahmen hinten (~65mm)	RN	mm	65			
Kollektorabdeckung	AD	mm	175			
Kollektorabstand	KA	mm	550			
Lamellenteilung	LT	mm	3.789			
Lamellendicke	LD	mm	0.200	Lieferfrist:		5-6 Wochen
Rohrdurchmesser	DA	mm	15.400	Bindefrist:		12 Wochen
Rohrwandstärke	S	mm	0.400	Kondit.:		netto, franko Domizil
Rohrteilung in der Höhe	S1	mm	50.000	Zahlung:		30 Tage netto
Rohrteilung in der Tiefe	S2	mm	50.000	**Preis netto:**	**EUR**	**10694.00**



El. Heizstäbe:60 x ø 8.4 x 1700 mm à 1050 W
Froststärke: 0.503 mm
Lamellenteilung: 2x12.0+2x6.0+8x3.0 mm