



# Vakuumtrocknung

Wer vor der Problematik steht, Wasser zum Beispiel einem Lebensmittel wie Kaffee zu entziehen zu wollen, muss dies bei tiefen Temperaturen im Vakuumbereich vornehmen. Man spricht deshalb in diesem Zusammenhang von Vakuumtrocknung.

Die Sublimationskurve für Wasserdampf unterhalb des Tripelpunktes hat folgende Werte:

Druck (Pa)	Temperatur (°C)
0.001600	-100.00
0.009330	-90.00
0.053330	-80.00
0.258000	-70.00
1.076000	-60.00
3.939000	-50.00
12.870000	-40.00
38.101000	-30.00
103.450000	-20.00
259.980000	-10.00
611.657000	(Tripelpunkt) 0.01

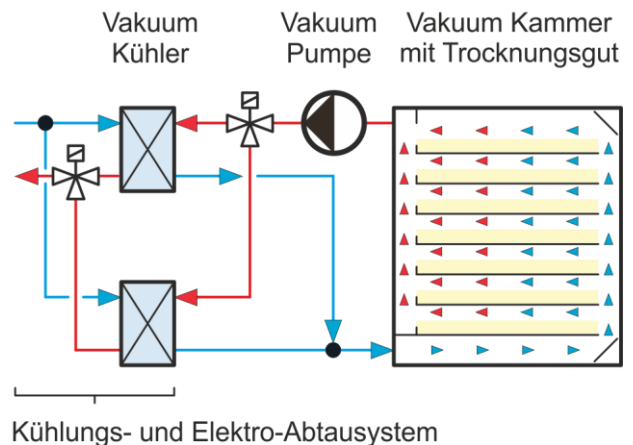
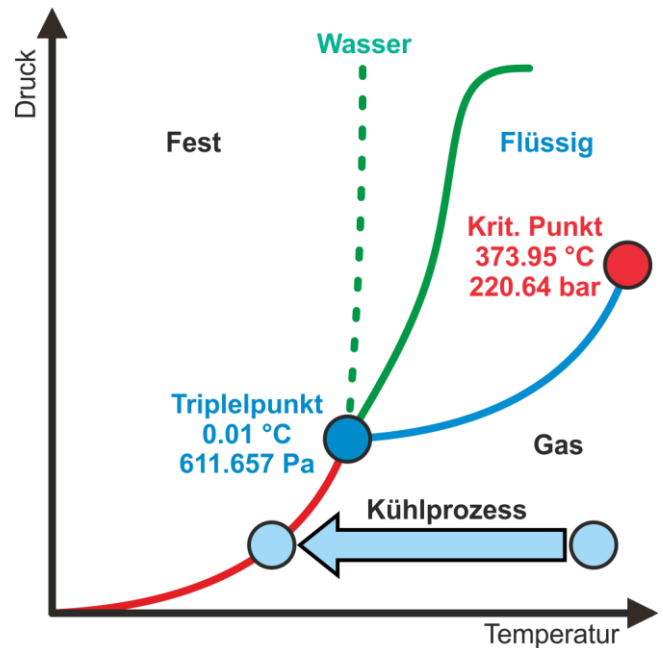
Die Sublimationstemperatur kann nach folgenden Gleichungen berechnet werden:

$$x = \ln(p)$$

$$t = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + fx^5 + gx^6 + hx^7 + ix^8 + jx^9 + kx^{10}$$

Parameter	Wert
a	-6.053723E+01
b	7.315247E+00
c	2.567964E-01
d	9.762705E-03
e	2.361356E-04
f	-8.667065E-06
g	-2.935758E-06
h	-7.793570E-07
i	3.308187E-07
j	4.686146E-08
k	-9.344898E-09

In diesem Bereich ist das Einsatzgebiet der Software HEH-VAC für lamellierte Wärmetauscher zwecks Einfrieren des Wasserdampfes mit anschließender Abtauung angesiedelt. Es werden dafür 2 lamellierte Wärmetauscher benötigt. Wenn der Eine kühlt und Wasserdampf zu Eis an die Rohre und Lamellen anlagert, taut der Andere das Eis mit Elektroheizstäben zyklisch ab.



In den nachfolgenden Beispielen wurde mit einem Zyklus von 15 Minuten projektiert, was bedeutet, dass die Abtauzeit um den Betrag kleiner als 15 Minuten sein muss, den die Umschaltventile benötigen. Wir haben dafür 4 Minuten vorgesehen. Wenn man eine kürzere Abtauzeit möchte, muss das Elektro-Abtausystem mehr leisten, was mehr kosten würde. Der Wasserdampf-Druckverlust sollte auch gegen Ende des Zyklus sehr klein gehalten werden, ansonsten Die Vakuumpumpe mehr leisten muss.

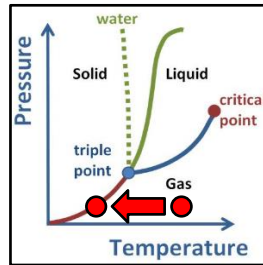
**Seite 2:** Kühlung mit einer Sole

**Seite 3:** Kühlung mit einem Einspritzverdampfer

**Seite 4:** Kühlung mit einem Pumpenumlaufverdampfer



Leistung total	kW	117.696
Leistung sensibel	kW	25.724
Frostleistung	kW	91.972
Flächenreserve	%	0.694
Vorhandene Fläche	m2	1594.783
Erforderliche Fläche	m2	1583.794
k-Wert	W/m2K	2.523
Mittl. log. Temp. diff.	K	29.456



Company  
Branch  
Street  
Country / ZIP / City

Tel: xxxxxxxxxx  
Fax: xxxxxxxxxx  
E-Mail  
Homepage

City, 14.5.2022  
Mit freundlichen Grüßen

Representative  
Direct dialing  
xxxxxxxxxx

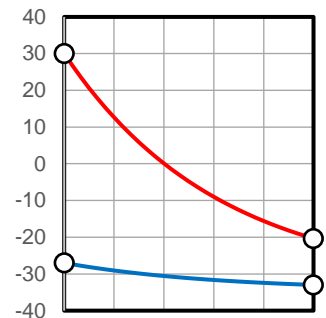
Plant  
Object  
Position

**Wasser-Dampf (ff=0.00005 m2K/W)**      Eintritt      Austritt

Druck	Pa	100.000	100.000
Temp.	°C	30.000	-20.353
Dichte feucht	kg/m3	7.149E-03	8.573E-03
Enthalpie feucht	kJ/kg	55.310	-37.295
Volumenstrom feucht	m3/h	139878.621	116645.676
Massenstrom trocken	kg/h	1000.000	1000.000
Kondensatmenge	kg/h	1000.000	1000.000
Oberflächentemperatur	°C	-3.004	-27.676
Geschwindigkeit	m/s	4.317	3.600
Druckverlust trocken	Pa		9.589
Druckverlust frost:	Pa		15.105

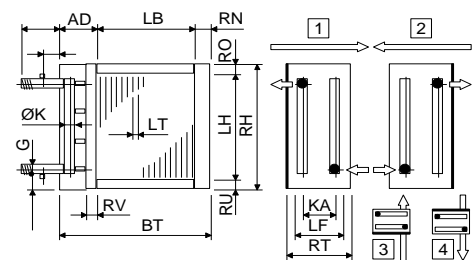
**Temper -40 (ff=0.00005 m2K/W)**      Eintritt      Austritt      Auswahl

Temp.	°C	-33.000	-27.000	-23.801
Dichte	kg/m3	1225.525	1223.923	1222.995
Spez. Wärme	kJ/kgK	2.860	2.888	2.902
Wä.leitf.	W/mK	0.407	0.414	0.417
Viskosität	Pas	2.977E-02	1.951E-02	1.588E-02
Volumenstrom	m3/h	19.858	19.884	19.899
Geschwindigkeit	m/s	0.373	0.374	0.374
Reynolds	---	298.105	454.881	558.693
Druckverlust	kPa		44.935	



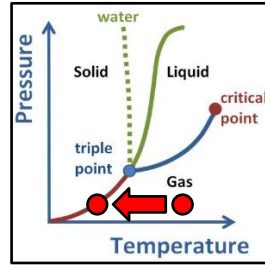
**Technische Daten**      Froststärke 1.36 mm - Abtauintervall 0.25 h - Abtauzeit 0.18 h - Verfügbarkeit 29.85 %

Rohre total	Stück	1000	Rohre:	glatt	V2A
Blindrohre	Stück	0	Rohre:		fluchtend
Int.Entlü./Entle.	Stück	0	Kollektoren:	1.49 m/s	V2A
Rohrreihen in der Tiefe	Stück	20	Anschlüsse:	1.49 m/s	V2A
Rohrlagen in der Höhe	Stück	50	Lamellen:	glatt	AlMg3
Pässe	Stück	20	Rahmen:	4.00 mm	V2A
Stränge (NC)	Stück	50	Schutz:		ohne
Inhalt	l	962	Schutz:		---
Gewicht	kg	2032	Kreise:	1	Standard
Anschlüsse	G	---	Luftrichtung:		horizontal
Rahmenhöhe	RH	mm	3080		
Rahmenbreite	BT	mm	3274		
Rahmentiefe	RT	mm	1250		
Lamellierte Höhe	LH	mm	3000		
Lamellierte Breite	LB	mm	3000		
Lamellierte Tiefe	LF	mm	1200		
Rahmen oben	RO	mm	40		
Rahmen unten	RU	mm	40		
Rahmen vorne	RV	mm	30		
Rahmen hinten (~86mm)	RN	mm	86		
Kollektor-Durchmesser	K	mm	76		
Kollektorabdeckung	AD	mm	188		
Kollektorabstand	KA	mm	1140		
Lamellenteilung	LT	mm	13.714		
Lamellendicke	LD	mm	0.300	Lieferfrist:	5-6 Wochen
Rohrdurchmesser	Da	mm	20.400	Bindefrist:	12 Wochen
Rohrwandstärke	S	mm	0.500	Kondit.:	netto, franko Domizil
Rohrteilung in der Höhe	S1	mm	60.000	Zahlung:	30 Tage netto
Rohrteilung in der Tiefe	S2	mm	60.000	Preis netto: Mit EI.-Abtau.	EUR 55164.00



**EI. Heizstäbe: 69 x ø 8.4 x 3100 mm à 1900 W**  
**Froststärke: 1.363 mm**  
**Lamellenteilung: 2x48.0+2x24.0+16x12.0 mm**

Leistung total	kW	117.696
Leistung sensibel	kW	25.724
Frostleistung	kW	91.972
Flächenreserve	%	4.418
Vorhandene Fläche	m2	1594.783
Erforderliche Fläche	m2	1527.313
k-Wert	W/m2K	2.658
Mittl. log. Temp. diff.	K	28.992



Company  
Branch  
Street  
Country / ZIP / City

Tel: xxxxxxxxxx  
Fax: xxxxxxxxxx  
E-Mail  
Homepage

City, 14.5.2022  
Mit freundlichen Grüßen

Representative  
Direct dialing  
xxxxxxxxxx

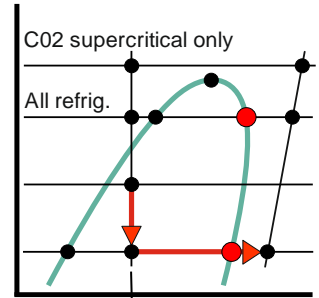
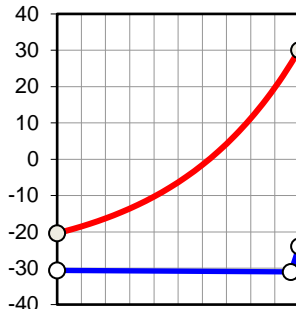
Plant  
Object  
Position

**Wasser-Dampf (ff=0.00005 m2K/W)**

		Eintritt	Austritt
Druck	Pa	100.000	100.000
Temp.	°C	30.000	-20.353
Dichte feucht	kg/m3	7.149E-03	8.573E-03
Enthalpie feucht	kJ/kg	55.310	-37.295
Volumenstrom feucht	m3/h	139878.621	116645.676
Massenstrom trocken	kg/h	1000.000	1000.000
Kondensatmenge	kg/h	1000.000	1000.000
Oberflächentemperatur	°C	-2.773	-26.577
Geschwindigkeit	m/s	4.317	3.600
Druckverlust trocken	Pa		9.589
Druckverlust frost:	Pa		15.105

**R744 (CO2) Verdampfung 13.804 bar (ff=0.00005 m2K/W)**

Kondensat"	°C	10.000
Kondensat'	°C	10.000
Unterkühlung	°C	7.000
Verdampfung"	°C	-31.000
Überhitzung	°C	-24.000
Massenstrom	kg/h	1873.678
Volumenstrom	m3/h	52.337
Geschwindigkeit	m/s	2.459
Druckverlust Verdampfung	K	0.393
Druckverlust Kapillare	bar	0.920



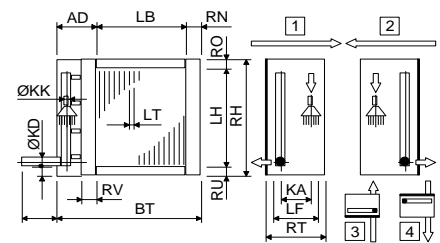
Dampfgehalt am Einspritzpunkt 28.13 %

**Technische Daten**

Froststärke 1.36 mm - Abtauintervall 0.25 h - Abtauzeit 0.18 h - Verfügbarkeit 29.85 %

Rohre total	Stück	1000
Blindrohre	Stück	0
Rohrreihen in der Tiefe	Stück	20
Rohrlagen in der Höhe	Stück	50
Pässe	Stück	50
Stränge (NC)	Stück	20
Inhalt	l	945
Gewicht	kg	2012
Anschluss für Kond.	KK mm	42
Anschluss für Dampf	KD mm	60
Rahmenhöhe	RH mm	3080
Rahmenbreite	BT mm	3258
Rahmentiefe	RT mm	1230
Lamellierte Höhe	LH mm	3000
Lamellierte Breite	LB mm	3000
Lamellierte Tiefe	LF mm	1200
Rahmen oben	RO mm	40
Rahmen unten	RU mm	40
Rahmen vorne	RV mm	30
Rahmen hinten (~86mm)	RN mm	86
Kollektorabdeckung	AD mm	172
Kollektorabstand	KA mm	1140
Lamellenteilung	LT mm	13.714
Lamellendicke	LD mm	0.300
Rohrdurchmesser	DA mm	20.400
Rohrwandstärke	S mm	0.500
Rohrteilung in der Höhe	S1 mm	60.000
Rohrteilung in der Tiefe	S2 mm	60.000

Rohre:	glatt	V2A
Rohre:	fluchtend	
Kollektoren:		V2A
Anschlüsse:		V2A
Lamellen:	glatt	AlMg3
Rahmen:	4.0 mm	V2A
Kreise:	1	Standard
Schutz:		ohne
Schutz:		---
Luftrichtung:		horizontal

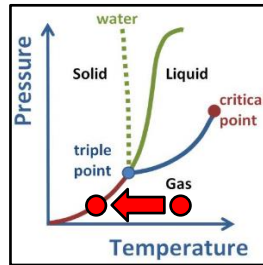


**EI. Heizstäbe: 69 x ø 8.4 x 3100 mm à 1900 W**  
**Froststärke: 1.363 mm**  
**Lamellenteilung: 2x48.0+2x24.0+16x12.0 mm**

Lieferfrist:	5-6 Wochen
Bindefrist:	12 Wochen
Kondit.:	netto, franko Domizil
Zahlung:	30 Tage netto
<b>Preis netto: Mit EI.-Abtau.</b>	<b>EUR 54576.00</b>



Leistung total	kW	117.696
Leistung sensibel	kW	25.724
Frostleistung	kW	91.972
Flächenreserve	%	0.921
Vorhandene Fläche	m2	1594.783
Erforderliche Fläche	m2	1580.235
k-Wert	W/m2K	2.704
Mittl. log. Temp. diff.	K	27.544



Company  
Branch  
Street  
Country / ZIP / City

Tel: xxxxxxxxxx  
Fax: xxxxxxxxxx  
E-Mail  
Homepage

City, 14.5.2022  
Mit freundlichen Grüßen

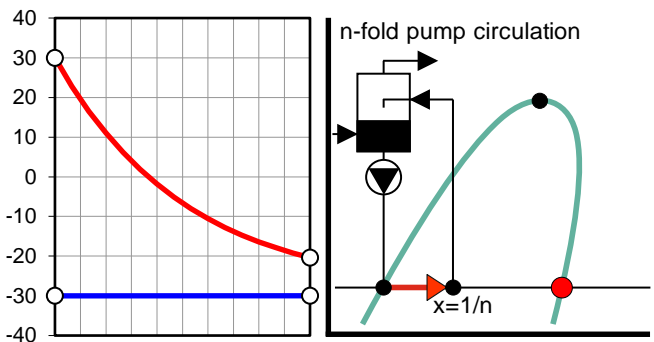
Representative  
Direct dialing  
xxxxxxxxxx

Plant  
Object  
Position

Feuchte Luft (ff=0.00005 m2K/W)		Eintritt	Austritt
Druck	Pa	100.000	100.000
Temp.	°C	30.000	-20.353
Dichte feucht	kg/m3	7.149E-03	8.573E-03
Enthalpie feucht	kJ/kg	55.310	-37.295
Volumenstrom feucht	m3/h	139878.621	116645.676
Massenstrom trocken	kg/h	1000.000	1000.000
Kondensatmenge	kg/h	1000.000	1000.000
Oberflächentemperatur	°C	-6.377	-26.202
Geschwindigkeit	m/s	4.317	3.600
Druckverlust trocken	Pa		9.589
Druckverlust frost:	Pa		15.105

**R744 (CO2) Verdampfung 14.278 bar (ff=0.00005 m2K/W)**

Eintritt	°C	-29.982
Austritt	°C	-30.000
Pumpenumlauffaktor	n	3.000
Massenstrom	kg/h	4209.414
Volumenstrom ein	m3/h	3.917
Volumenstrom aus	m3/h	40.490
Geschwindigkeit ein	m/s	0.074
Geschwindigkeit aus	m/s	0.761
Druckverlust Verdampfung	K	0.018

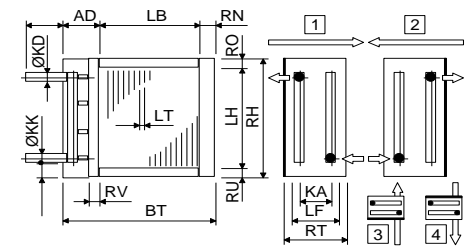


**Technische Daten**

Froststärke 1.36 mm - Abtautintervall 0.25 h - Abtauzeit 0.18 h - Verfügbarkeit 29.85 %

Rohre total	Stück	1000
Blindrohre	Stück	0
Rohrreihen in der Tiefe	Stück	20
Rohrlagen in der Höhe	Stück	50
Pässe	Stück	20
Stränge (NC)	Stück	50
Inhalt	l	950
Gewicht	kg	2032
Anschluss für Kond.	KK mm	48
Anschluss für Dampf	KD mm	76
Rahmenhöhe	RH mm	3080
Rahmenbreite	BT mm	3274
Rahmentiefe	RT mm	1250
Lamellierte Höhe	LH mm	3000
Lamellierte Breite	LB mm	3000
Lamellierte Tiefe	LF mm	1200
Rahmen oben	RO mm	40
Rahmen unten	RU mm	40
Rahmen vorne	RV mm	30
Rahmen hinten (~86mm)	RN mm	86
Kollektorabdeckung	AD mm	188
Kollektorabstand	KA mm	1140
Lamellenteilung	LT mm	13.714
Lamellendicke	LD mm	0.300
Rohrdurchmesser	DA mm	20.400
Rohrwandstärke	S mm	0.500
Rohrteilung in der Höhe	S1 mm	60.000
Rohrteilung in der Tiefe	S2 mm	60.000

Rohre:	glatt	V2A
Rohre:	fluchtend	
Kollektoren:		V2A
Anschlüsse:		V2A
Lamellen:	glatt	AlMg3
Rahmen:	4.0 mm	V2A
Kreise:	1	Standard
Schutz:		ohne
Schutz:		---
Luftrichtung:		horizontal



**EI. Heizstäbe: 69 x ø 8.4 x 3100 mm à 1900 W**  
**Froststärke: 1.363 mm**  
**Lamellenteilung: 2x48.0+2x24.0+16x12.0 mm**

Lieferfrist:	5-6 Wochen
Bindefrist:	12 Wochen
Kondit.:	netto, franko Domizil
Zahlung:	30 Tage netto
<b>Preis netto: Mit EI.-Abtau.</b>	<b>EUR 55164.00</b>