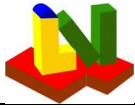


Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Verdampfung reiner Stoffe in Rohrbündel- oder Doppelrohr-Wärmeübertragern - VDI Wärmeatlas	2
Rohrspiegeldaten	4
Freie Eingabe der Stoffwerte	6
Stoffwerte von Wasser - IAPWS-IF97	7
Reale logarithmische Temperaturdifferenz verschiedener Wärmeübertragertypen	8
Druckverlust in durchströmten Verdampferrohren - VDI-Wärmeatlas, 11. Auflage 2013, H3.2	9
Strömungsformen beim Strömungssieden (gesättigte, reine Flüssigkeiten) - VDI-Wärmeatlas, 11. Auflage 2013, H3.1	11
Blasensieden in horizontalen Rohren (Strömungssieden gesättigter, reiner Flüssigkeiten) - VDI-Wärmeatlas, 11. Auflage 2013, H3.4	13
CAD Programm für Rohrbündelwärmeübertrager	15
Filmkondensation an waagerechten Rohren (reine Dämpfe) - VDI-Wärmeatlas, 11. Auflage 2013, J1	17
Konvektives Strömungssieden in horizontalen Rohren (gesättigte, reine Flüssigkeiten) - VDI-Wärmeatlas, 11. Auflage 2013, H3.4	18
Dokumentationsblatt für Wärmeübertrager	19
Excel Spezifikationsblatt	21

Darstellung

Eingabewerte:	1.234	oder	1.234
Berechnete Werte:	1.234	oder	1.234
Kritische Werte:	1.234	oder	1.234
Schätzwerte:	1.234	oder	1.234



Verdampfung reiner Stoffe in Rohrbündel- oder Doppelrohr-Wärmeübertragern - VDI Wärmeatlas

Rohrseite			Mantelseite		
Verdampfung in den Rohren			(Kondensation)		
Medium	Freie Eingabe (n-pentan)		Medium	Sattdampf-Kondensation	
Massenstrom	$\dot{m}_i$	7200 kg/h	Massenstrom	$\dot{m}_a$	0.288 kg/s
Volumenstrom	$\dot{V}_i$	13.22 m³/h	Volumenstrom	$\dot{V}_a$	388.4 m³/h
Norm-Volumenstrom	$\dot{V}_{N,i}$	m³/h	Norm-Volumenstrom	$\dot{V}_{N,a}$	m³/h
Siededruck (abs.)	P_i	5 bar	Eintrittsdruck (abs.)	P_a	5 bar
Temperatur (ein)	$\vartheta_{e,i}$	92.58 °C	Temperatur (ein)	$\vartheta_{e,a}$	151.9 °C
Temperatur (aus)	$\vartheta_{a,i}$	92.6 °C	Temperatur (aus)	$\vartheta_{a,a}$	151.8 °C
Siedetemperatur	$\vartheta_{m,i}$	92.59 °C	Mittl. Temperatur	$\vartheta_{m,a}$	151.8 °C
Anteil Flüssigkeit ein	x_e	1 -	Anteil Dampf ein	x_e	1 -
Anteil Flüssigkeit aus	x_a	0 -	Anteil Dampf aus	x_a	0 -
Leistung	Q_i	606.9 kW	Leistung	Q_a	-606.9 kW
			Verlustwärme	$Q_{V,a}$	0 kW
Foulingwiderstand	f_i	0 m²·K/W	Foulingwiderstand	f_a	0 m²·K/W

Normierte Daten

Normierte Wärmestromdichte
 Normierter Wärmeübergangskoeffizient

q_0 20000 W/m²
 α_0 3070 W/(m²·K)

Bewertung

		erforderlich	ausgeführt	Flächenreserve
Wärmeübertragerfläche	A	2.342 m²	Aa 2.727 m²	16.43 %
Rohrlänge zwischen den Rohrplatten	l	1202 mm	la 1400 mm	

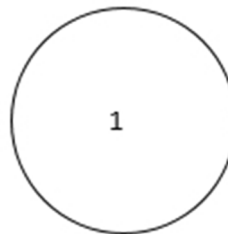
Geometrie

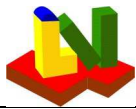
Bezeichnung der Bauform
 Einbaulage: waagrecht
 Geradrohre mit festen Rohrplatten

Mantel ohne Umlenkleche

Mantelaußendurchmesser	D_a	188.9 mm	Mantelwanddicke	s_a	6.3 mm
Mantelinnendurchmesser	D_i	176.3 mm	Min-Abst. Bündel-Mantel		12 mm
Abstand Bündel-Mantel		12 mm			
Rohraußendurchmesser	d_a	20 mm	Rohrwanddicke	s_i	2 mm
Rohrinnendurchmesser	d_i	16 mm	Rohrteilung (längs)	s_2	21.65 mm
Rohrteilung (quer)	s_1	25 mm	Arithmetischer Mittenrauwert der Rohre	R_a	0.002 mm
Teilungswinkel	Φ	60 °			

Rohrmaterial
 Wärmeleitfähigkeit λ_t Stahl 52 W/(m·K)
 Anzahl der rohreseitigen Durchgänge 1





Verd Beispiel 2019

Ergebnisse

Anzahl der Rohre	N	31
Wärmeübergangskoeffizient (innen)	α_i	16626 W/(m ² ·K)
Wärmeübergangskoeffizient (außen)	α_o	9044 W/(m ² ·K)
Wärmedurchgangszahl	k	4373 W/(m ² ·K)
Log. mittl. Temperaturdifferenz (LMTD)	$\Delta\vartheta$	59.25 K
FN (Korrekturfaktor für LMTD)	FN	1
Gesamter Foulingwiderstand	f	0 m ² ·K/W

Mittlere Wärmestromdichte q 323912 W/m²

Rohrseite

Eintritts-Geschwindigkeit	0.589 m/s
Austritts-Geschwindigkeit	23.34 m/s
Druckverlust	Δp_i 12731 Pa
Mittlere	ϑ_{w_i} 112.1 °C
Rohrwandtemperatur	

Eintrittsstutzen

Nennweite	DN 50
Außendurchmesser	60.3 mm
Innendurchmesser	54.5 mm
Geschwindigkeit	1.574 m/s

Austrittsstutzen

Nennweite	DN 100
Außendurchmesser	114.3 mm
Innendurchmesser	107.1 mm
Geschwindigkeit	16.15 m/s

Stoffwerte

Norm-Dichte	$\rho_{N,i}$	kg/m ³
Dichte	ρ_i	544.8 kg/m ³
Spez. Wärmekapazität	c_{p_i}	2679 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ_i	0.1055 W/(m·K)
Dynamische Viskosität	η_i	0.1248 mPa·s
Oberflächenspannung	σ_i	8.32 mN/m
Kritischer Druck	P_c	33.7 bar
Molmasse	MW	72.15 kg/kmol
Dichte	ρ_i	13.75 kg/m ³
Spez. Wärmekapazität	c_{p_i}	2118 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ_i	0.0216 W/(m·K)
Dynamische Viskosität	η_i	0.008833 mPa·s
Verdampfungsenthalpie	Δh_v	303400 J/kg

Stoffwerte bei 0.1 · Pc

Referenzdruck (Pc/10)	p_{ref}	337000 Pa
Verdampfungsenthalpie	Δh_{v0}	320300 J/kg
Dichte der Flüssigkeit	$\rho_{F,0}$	564.4 kg/m ³
Dichte des Dampfes	$\rho_{D,0}$	9.341 kg/m ³
Oberflächenspannung	σ_0	9.92 mN/m

Mantelseite

Geschwindigkeit im Mantel	7.355 m/s
Druckverlust	Δp_a Pa
Mittlere	ϑ_{w_a} 123.2 °C
Rohrwandtemperatur	

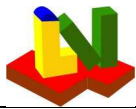
Eintrittsstutzen

Nennweite	DN 100
Außendurchmesser	114.3 mm
Innendurchmesser	107.1 mm
Geschwindigkeit	11.98 m/s
$\rho \cdot v^2$	382.8 kg/(m·s ²)

Austrittsstutzen

Nennweite	DN 25
Außendurchmesser	33.7 mm
Innendurchmesser	28.5 mm
Geschwindigkeit	0.4933 m/s

Norm-Dichte	$\rho_{N,a}$	kg/m ³
Dichte	ρ_a	915 kg/m ³
Spez. Wärmekapazität	c_{p_a}	4315 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ_a	0.6833 W/(m·K)
Dynamische Viskosität	η_a	0.1802 mPa·s
Oberflächenspannung	σ_a	48.36 mN/m
Kritischer Druck	P_c	220.6 bar
Molmasse	MW	18.02 kg/kmol
Dichte	ρ_a	2.669 kg/m ³
Spez. Wärmekapazität	c_{p_a}	2413 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ_a	0.03103 W/(m·K)
Dynamische Viskosität	η_a	0.01402 mPa·s
Verdampfungsenthalpie	Δh_v	2107420 J/kg



Rohrspiegeldaten

Bezeichnung der Bauform
Umlenkblech-Typ

Ohne Umlenkbleche

Mantelaußendurchmesser	D_o	188.9 mm
Mantelinnendurchmesser	D_i	176.3 mm
Mindestabstand Bündel-Mantel	D_m	12 mm
Abstand Bündel-Mantel	D	12 mm
Bündeldurchmesser	D_B	152.3 mm
Rohraußendurchmesser	d_a	20 mm
Rohrinnendurchmesser	d_i	16 mm
Rohrteilung quer zur Strömungsrichtung	s_1	25 mm
Rohrteilung längs in Strömungsrichtung	s_2	21.65 mm
Teilungswinkel	Φ	60 °

Anordnung der Rohre

versetzt

Anordnung

um das Zentralrohr

Anzahl der rohrseitigen Durchgänge	1
Anzahl der mantelseitigen Durchgänge	1
	0
Rohrgassenbreite (horizontal)	40 mm
Rohrgassenbreite (vertikal)	40 mm

Außendurchmesser des Bodens	D_a	mm
Teilkreisdurchmesser	D_t	mm
Schraubenanzahl auf dem Teilkreis		
Drehwinkel des Teilkreises für Bohrbild		°

Anzahl der durchströmten Rohre	n	31
Anzahl der Blindrohre	n_B	0
Anzahl der Zuganker	n_Z	0
Gesamtanzahl der Rohre, Blindrohre und Zuganker	n_G	31
Kürzeste Verbindungsstrecke in der Mitte	Le	76.29 mm
Kürzeste Verbindungsstrecke zwischen Rohr und Rohr	e	5 mm
Kürzeste Verbindungsstrecke zwischen Rohr und Mantel	e_1	28.14 mm
Anzahl der Verbindungsstrecken	n_V	4

Mittlere Entfernung der Randrohre-Bündelmittelpunkt	r_h	53.98 mm
Anzahl der Randrohre erforderlich/vorhanden	RR /	26

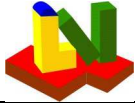
Länge der Umgrenzung	C_p	425 mm
Fläche innerhalb der Umgrenzung	A_p	0.01055 m ²

Anzahl der Rohre, Blindrohre und Zuganker pro Durchgang								
Durchgang-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
	31	0	0	0	0	0	0	0

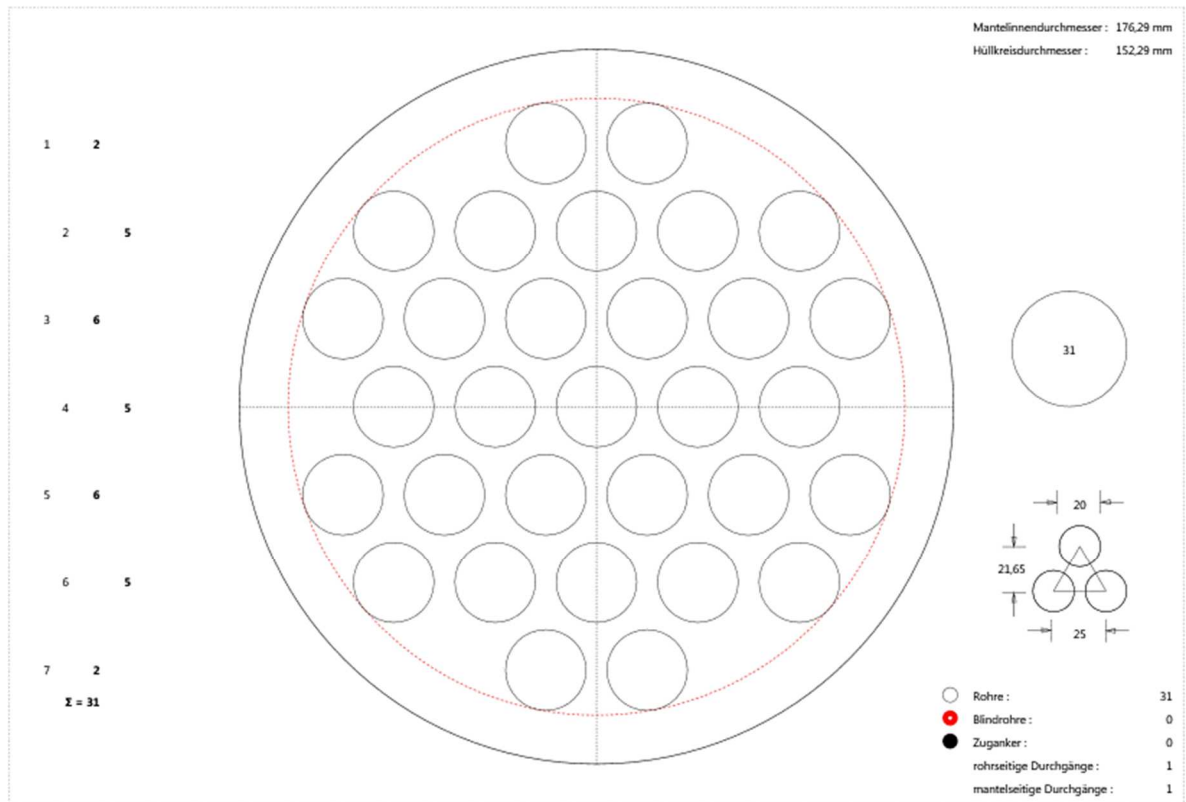
Ausgeführte Bündellänge	l_a	1400 mm
Gesamte Oberfläche	A_{ges}	2.727 m ²
Anzahl der Wärmeübertrager in Serie		1

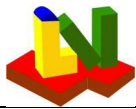
Stutzen

Innendurchmesser des Eintrittsstutzens	Rohrseite	54.5 mm	Mantelseite	107.1 mm
Innendurchmesser des Austrittsstutzens		107.1 mm		28.5 mm



Verd Beispiel 2019





Freie Eingabe der Stoffwerte

Stoffwerte

Bezeichnung Rohrmedium: Freie Eingabe (n-pentan)

Temperatur	ϑ	92.59 °C
Druck	p	5 bar

Stoffwerte der siedenden Flüssigkeit

Dichte	ρ	545 kg/m ³
Spezifische Wärmekapazität	cp	2679 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ	0.1055 W/(m·K)
Dynamische Viskosität	η	0.1248 mPa·s
Kinematische Viskosität	ν	2.29e-7 m ² /s
Prandtl-Zahl	Pr	3.169
Oberflächenspannung	σ	8.32 mN/m

Stoffwerte des Sattdampfes

Dichte	ρ	13.76 kg/m ³
Spezifische Wärmekapazität	cp	2118 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ	0.0216 W/(m·K)
Dynamische Viskosität	η	0.00883 mPa·s
Kinematische Viskosität	ν	6.417e-7 m ² /s
Prandtl-Zahl	Pr	0.8658

Verdampfungsenthalpie	Δh_v	303400 J/kg
-----------------------	--------------	-------------

Kritischer Druck	P_c	33.7 bar
Molmasse	M	72.15 kg/kmol

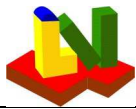
Normierte Werte beim reduzierten Druck von $0.1 \cdot P_c$
 Reduzierter Druck $p_r = P_c/10$

Dampf

Dichte des Sattdampfes	$\rho_{G,0.1}$	9.34 kg/m ³
------------------------	----------------	------------------------

Siedende Flüssigkeit

Dichte	$\rho_{L,0.1}$	564.6 kg/m ³
Spezifische Wärmekapazität	cp _{L,0.1}	2595 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda_{L,0.1}$	0.1131 W/(m·K)
Dynamische Viskosität	$\eta_{L,0.1}$	0.1507 mPa·s
Kinematische Viskosität	$\nu_{L,0.1}$	2.669e-7 m ² /s
Prandtl-Zahl	Pr _{L,0.1}	3.458
Verdampfungsenthalpie	$\Delta h_{v,L,0.1}$	320300 J/kg
Oberflächenspannung	$\sigma_{L,0.1}$	9.92 mN/m



Stoffwerte von Wasser - IAPWS-IF97

	Zustand 1		Zustand 2	
Berechnung für Sättigung	Ja		Nein	
Temperatur	ϑ_1	151.8 °C	ϑ_2	123.3 °C
Druck	p_1	5.001 bar	p_2	5 bar

Stoffwerte von Wasser und überhitztem Dampf

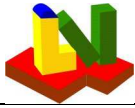
	Zustand 1		Zustand 2	
	Flüssigkeit		Flüssigkeit	
Dichte	ρ	915.3 kg/m ³	ρ	940.6 kg/m ³
Spez. isob. Wärmekapazität	c_p	4315 J/(kg·K)	c_p	4251 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ	0.6836 W/(m·K)	λ	0.6843 W/(m·K)
Dynamische Viskosität	η	0.1802 mPa·s	η	0.2255 mPa·s
Kinematische Viskosität	ν	1.969e-7 m ² /s	ν	2.397e-7 m ² /s
Prandtl-Zahl	Pr	1.138	Pr	1.401
Temperaturleitfähigkeit	a	1.731e-7 m ² /s	a	1.711e-7 m ² /s
Spezifisches Volumen	v	0.001093 m ³ /kg	v	0.001063 m ³ /kg
Spez. isoch. Wärmekapazität	c_v	3518 J/(kg·K)	c_v	3652 J/(kg·K)
Spezifische Enthalpie	h	640217 J/kg	h	517916 J/kg
Spez. innere Energie	u	639671 J/kg	u	517384 J/kg
Spezifische Entropie	s	1861 J/(kg·K)	s	1563 J/(kg·K)
Realgasfaktor	Z	0.002786	Z	0.002905
Oberflächenspannung	σ	48.35 mN/m	σ	54.31 mN/m
Therm. Ausdehnungskoeffizient	β	0.001037 1/K	β	8.75e-4 1/K
Isentropenexponent	κ	3912	κ	4327
Schallgeschwindigkeit	w	1462 m/s	w	1517 m/s
Dielektrizitätskonstante	ϵ	43.65	ϵ	49.87

Stoffwerte von Satttdampf

	Zustand 1		Zustand 2	
Dichte	ρ	2.669 kg/m ³	ρ	kg/m ³
Spez. isob. Wärmekapazität	c_p	2413 J/(kg·K)	c_p	J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ	0.03103 W/(m·K)	λ	W/(m·K)
Dynamische Viskosität	η	0.01402 mPa·s	η	mPa·s
Kinematische Viskosität	ν	5.255e-6 m ² /s	ν	m ² /s
Prandtl-Zahl	Pr	1.09	Pr	
Temperaturleitfähigkeit	a	4.82e-6 m ² /s	a	m ² /s
Spezifisches Volumen	v	0.3747 m ³ /kg	v	m ³ /kg
Spez. isoch. Wärmekapazität	c_v	1761 J/(kg·K)	c_v	J/(kg·K)
Spezifische Enthalpie	h	2748116 J/kg	h	J/kg
Spez. innere Energie	u	2560712 J/kg	u	J/kg
Spezifische Entropie	s	6821 J/(kg·K)	s	J/(kg·K)
Realgasfaktor	Z	0.9554	Z	
Therm. Ausdehnungskoeffizient	β	0.002935 1/K	β	1/K
Isentropenexponent	κ	1.301	κ	
Schallgeschwindigkeit	w	493.8 m/s	w	m/s
Dielektrizitätskonstante	ϵ	1.023	ϵ	
Verdampfungsenthalpie	Δh_v	2107899 J/kg	Δh_v	J/kg
Verdampfungsentropie	Δs_v	4960 J/(kg·K)	Δs_v	J/(kg·K)
Anteil verdampft	x	-	x	-
Enthalpie Naßdampf	h_x	J/kg	h_x	J/kg
Entropie Naßdampf	s_x	J/(kg·K)	s_x	J/(kg·K)

Charakteristische Größen

Molmasse	M	18.02 g/mol	Die Gültigkeitsbereiche
Gaskonstante	R	461.5 J/(kg·K)	0.01°C ≤ ϑ ≤ 800°C
Kritische Temperatur	T_c	373.9 °C	0.00612 bar ≤ p ≤ 1000 bar
Kritischer Druck	p_c	2.206e+7 Pa	0.01°C ≤ ϑ ≤ 2000°C
Kritische Dichte	ρ_c	322 kg/m ³	0.00612 bar ≤ p ≤ 500 bar



Reale logarithmische Temperaturdifferenz verschiedener Wärmeübertragertypen

Rohrbündelwärmeübertrager

Kennziffer Wärmeübertrager-Bauart

50

Eintrittstemperatur auf der Außenseite

ϑ_{a1}

151.9 °C

Austrittstemperatur auf der Außenseite

ϑ_{a2}

151.8 °C

Eintrittstemperatur auf der Innenseite

ϑ_{i1}

92.58 °C

Austrittstemperatur auf der Innenseite

ϑ_{i2}

92.6 °C

Logarithmische Temperaturdifferenz (Gegenstrom)

$d\vartheta_{\text{Gegen}}$

59.25 K

Korrekturfaktor

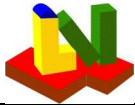
FN

1

Reale logarithmische Temperaturdifferenz

$d\vartheta_m$

59.25 K



Druckverlust in durchströmten Verdampferrohren - VDI-Wärmeatlas, 11. Auflage 2013, H3.2

Berechnung lokaler Größen

Stoffwerte

Flüssigkeit

Dichte	ρ_l	544.8 kg/m ³
Dynamische Viskosität	η_l	0.1248 mPa·s

Dampf

Dichte	ρ_g	13.75 kg/m ³
Dynamische Viskosität	η_g	0.008833 mPa·s

Geometrie

Rohrlänge	l	1400 mm
Rohrinnendurchmesser	d	16 mm
Absolute Rauigkeit	k	0.09992 mm
Relative Rauigkeit	k/d	0.00625
Neigungswinkel des Rohres	θ	0 °

Randbedingungen

Massenstrom (Flüssigkeit + Dampf)	$\dot{m}_{\text{total}}$	0.06452 kg/s
Massenstromdichte	$\dot{m}$	320.9 kg/(m ² ·s)
Lokaler Dampfgehalt	x	0.5
Dampfgehalt am Eintritt	x_1	0
Dampfgehalt am Austritt	x_2	1
Anzahl der Iterationsschritte	n	4
Schallgeschwindigkeit in der Gasphase	a	211.1 m/s

Ergebnisse

Froude-Zahl	Fr	21.89	[3]
Hilfswert aus Froude-Zahl	HW	33.65	[2b]
	$1/\beta$	39.62	[2a]
Volumenanteil Flüssigkeit	β	0.02524	

Unterscheidung zwischen disperser und kontinuierlicher Gasphase

$$\frac{1}{\beta} = 39.62 \leq HW = 33.65 \quad \text{Kontinuierliche Gasphase} \quad [2]$$

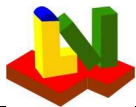
1. Reibungsdruckverlust

a) Disperse Gasphase

Reynolds-Zahl zusammenhängende Phase	Re_{zP}	53587	[6]
Widerstandsbeiwert	ξ	0.034	[5]
K2 für $\beta \leq 0.4$ bzw. $\beta > 0.4$	$K2$	1.007	[7]/[8]
Örtlicher Reibungsdruckverlust	dp/dl	1999 Pa/m	[4]

b) Kontinuierliche Gasphase

Froude-Zahl	Fr_1	0.5525	[21]
Reynolds-Zahl	Re_1	20569	[20]
	ψ	0.002046	[19]
	ε_2	0.01862	[18]
	ε_1	0.04351	[16]/[17]
	ε	0.01816	[15]
	γ_E	0.2531	[14]
	γ_F	0.6455	[13]
	E	0.2902	[12]
	Φ	4.558	[11]
Widerstandsbeiwert	ξ	0.01455	[10]
Örtlicher Reibungsdruckverlust	dp/dl	3880 Pa/m	[9]



2. Statischer Druckabfall

Bereichsunterscheidung für $1/\beta$

Bereich 1		$1/\beta \leq HW$
Bereich 2	$HW < 1/\beta \leq 500$	
Bereich 3	$500 < 1/\beta \leq 10000$	
Bereich 4	$1/\beta > 10000$	

$1/\beta$	39.62
HW	33.65

Bereich 2

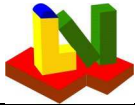
	Bereich	1	2	3	4
K	0.9839	[24]	[29]	[30]	[31]
κ_{tt}	0.2212	[23]	[28]	[25]	[25]
H2	0.1811		[27]		
H1	0.1561		[26]		
H	0.1324		[25]		
α	0.8676				
Dampfvolumenanteil					
Örtlich statischer Druckabfall	dp/dl	0 psi/ft			[22]

3. Beschleunigungsdruckabfall

Impulsfluss	I	0.5056 kg·m/s ²	[33]
-------------	---	-----------------------------------	------

4. Integration über der Verdampferrohrlänge

Reibungsdruckverlust	Δp_R	4368 Pa	[21a]
Statischer Druckverlust	Δp_S	0 Pa	
Beschleunigungsdruckverlust	Δp_B	7299 Pa	[34a]
Gesamtdruckverlust	Δp_{total}	11667 Pa	[1]



Strömungsformen beim Strömungssieden (gesättigte, reine Flüssigkeiten) - VDI-Wärmeatlas, 11. Auflage 2013, H3.1

Strömungsformen in horizontalen und wenig geneigten Rohren

Eingabegrößen

Massenstromdichte	$\dot{m}$	320.9 kg/(m ² ·s)
Strömungsdampfgehalt	$\dot{x}$	0.9
Hydraulischer Durchmesser (Rohr = d_i)	d	16 mm
Neigungswinkel des Rohres	Θ	0 ° (≤10°)

Stoffwerte

Flüssigkeit

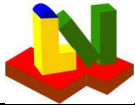
Dichte	ρ_L	544.8 kg/m ³
Dynamische Viskosität	η_L	0.1248 mPa·s
Oberflächenspannung	σ	8.32 mN/m

Dampf

Dichte	ρ_G	13.75 kg/m ³
Dynamische Viskosität	η_G	0.008833 mPa·s

Strömungsform

- 0 = Unbekannte Strömung
 - 1 = Schichtenströmung
 - 2 = Wellenströmung
 - 3 = Blasenströmung
 - 4 = Schwall-/Propfenströmung
 - 5 = Turbulente Gas- und laminare Flüssigkeitsströmung
 - 6 = Nebelströmung
 - 7 = Ringströmung
- Strömungsform 7



Gleichungen

$$X = f\left(\dot{x}; \rho_G; \rho_L; \eta_G; \eta_L\right) = f(0.9; 13.75 \text{ kg/m}^3; 544.8 \text{ kg/m}^3; 0.008833 \text{ mPa}\cdot\text{s}; 0.1248 \text{ mPa}\cdot\text{s}) = 0.03235$$

$$\xi_L = \frac{0.3164}{Re_L^{0.25}} = \frac{0.3164}{(4114)^{0.25}} = 0.03951$$

$$Re_L = \dot{m} \cdot \left(1 - \dot{x}\right) \cdot \frac{d}{\eta_L} = 320.9 \text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s}) \cdot (1 - 0.9) \cdot \frac{0.016 \text{ m}}{0.1248 \text{ mPa}\cdot\text{s}} = 4114$$

$$Re_G = \dot{m} \cdot \dot{x} \cdot \frac{d}{\eta_G} = 320.9 \text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s}) \cdot 0.9 \cdot \frac{0.016 \text{ m}}{0.008833 \text{ mPa}\cdot\text{s}} = 523110$$

$$(Re_L \cdot Fr_G)^{0.5} = f\left(\dot{m}; \dot{x}; \rho_G; \rho_L; \eta_L; \Theta\right) =$$

$$f(320.9 \text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s}); 0.9; 13.75 \text{ kg/m}^3; 544.8 \text{ kg/m}^3; 0.1248 \text{ mPa}\cdot\text{s}; 0^\circ) = 547.1$$

$$Fr_{Gm}^{0.5} = f\left(\dot{m}; \dot{x}; d; \rho_L; \rho_G\right) = f(320.9 \text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s}); 0.9; 0.016 \text{ m}; 544.8 \text{ kg/m}^3; 13.75 \text{ kg/m}^3) = 8.422$$

$$(FrEu)_L^{0.5} = f\left(\xi_L; \dot{m}; \dot{x}; d; \rho_L; \rho_G; \Theta\right) =$$

$$f(0.03951; 320.9 \text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s}); 0.9; 0.016 \text{ m}; 544.8 \text{ kg/m}^3; 13.75 \text{ kg/m}^3; 0^\circ) = 0.02116$$

$$\left(\frac{We}{Fr}\right)_L = f(d; \rho_L; \sigma) = f(0.016 \text{ m}; 544.8 \text{ kg/m}^3; 8.32 \text{ mN/m}) = 164.4$$

$$\varphi = 5.445 \text{ RAD}$$

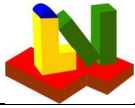
$$\varepsilon = 0.9848$$

$$\tilde{h}_L = 0.05859$$

$$\tilde{f}_L = f(\tilde{h}_L) = f(0.05859) = 0.01857$$

$$\tilde{f}_G = \frac{\pi}{4} - \tilde{f}_L = \frac{\pi}{4} - 0.01857 = 0.7668$$

$$\tilde{U}_i = f(\tilde{h}_L) = f(0.05859) = 0.4697$$



Blasensieden in horizontalen Rohren (Strömungssieden gesättigter, reiner Flüssigkeiten) - VDI-Wärmeatlas, 11. Auflage 2013, H3.4

Blasensieden in horizontalen Rohren

Randbedingungen

Randbedingung

Stoffart

Strömungsform

Konstante Wandtemperatur

Nichtkryogene Stoffe

Ringströmung

Eingabegrößen

Wärmestromdichte	$\dot{q}$	323912 W/m ²
Anzahl der Rohre	n	
Innendurchmesser der Rohre	d_i	16 mm
Rohrwanddicke	s	2 mm
Wärmeleitfähigkeit Rohrmaterial	λ_w	52 W/(m·K)
Wärmeleitvermögen	$\lambda_w \cdot s$	0.104 W/K
Arithmetischer Mittenrauwert	R_a	0.002 mm
Massenstrom	$\dot{m}$	kg/s
Massenstromdichte	$\dot{m}$	320.9 kg/(m ² ·s)
Strömungsdampfgehalt	$\dot{x}$	0.9
Ortskoordinate	z	1202 mm
Siedetemperatur	T_S	92.59 °C
Siededruck	p_S	500000 Pa
Kritischer Druck	p_c	3370000 Pa
Reduzierter Druck ($p^* = p / p_c$)	p^*	0.1484

Stoffwerte beim Siededruck p_S

Flüssigkeit

Dichte	ρ_L	544.8 kg/m ³
Spezifische Wärmekapazität	c_{pL}	2679 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ_L	0.1055 W/(m·K)
Dynamische Viskosität	η_L	0.1248 mPa·s
Prandtl-Zahl	Pr	3.169
Oberflächenspannung	σ	8.32 mN/m
Verdampfungsenthalpie	Δh_v	303400 J/kg

Dampf

Dichte	ρ_G	13.75 kg/m ³
Spezifische Wärmekapazität	c_{pG}	2118 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ_G	0.0216 W/(m·K)
Dynamische Viskosität	η_G	0.008833 mPa·s

Stoffwerte beim normierten Siededruck $p_0 = 0.1 \cdot p_c$

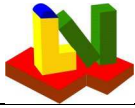
Normierter Siededruck ($p_0 = 0.1 \cdot p_c$)

Flüssigkeit

Dichte	$\rho_{L,0}$	564.4 kg/m ³
Spezifische Wärmekapazität	$c_{pL,0}$	2595 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda_{L,0}$	0.1131 W/(m·K)
Dynamische Viskosität	$\eta_{L,0}$	0.1507 mPa·s
Kinematische Viskosität	$\nu_{L,0}$	2.67e-7 m ² /s
Prandtl-Zahl	$Pr_{L,0}$	3.458
Oberflächenspannung	σ_0	9.92 mN/m
Verdampfungsenthalpie	$\Delta h_{v,0}$	320300 J/kg

Dampf

Dichte	$\rho_{G,0}$	9.341 kg/m ³
Molmasse des Mediums	M	72.15 kg/kmol
Faktor C_F für waagrechte Rohre	$C_{F,h}$	1.169
Faktor C_F für senkrechte Rohre	$C_{F,v}$	1.143



Normierungswerte

Normwärmestromdichte $\dot{q}_0$ 20000 W/m²
 Normwert Wärmeübergangskoeffizient α_0 3070 W/(m²·K)
 (Normierungswert für den Wärmeübergangskoeffizienten bei q_0 , p_0 und $R_{a0} = 1.0 \mu\text{m}$)

Normdurchmesser der Rohre d_0 10 mm
 Arithmetischer Mittenrauwert R_{a0} 0.001 mm

Korrekturfaktoren

Korrekturfaktor für den Exponenten n (p^*) κ 1
 Korrekturfaktor für $C_{F,h}$ ψ 1

Ergebnisse

Wärmestromdichte $\dot{q}$ 323912 W/m²
 Wärmestromdichte am Blasenentstehungspunkt q_{onb} 8414 W/m²
 Wärmeübergangskoeffizient (konvektives Sieden) $\alpha(z)_K$ 7125 W/(m²·K)
 Wärmeübergangskoeffizient (Blasensieden) $q \geq q_{onb}$ $\alpha(z)_B$ 6903 W/(m²·K)

Wärmeübergangskoeffizient $\alpha(z)$ 8840 W/(m²·K)
 (Überlagerung von konvektiven Sieden und Blasensieden)

Berechnungsgrößen

$$q_{onb} = \frac{2 \cdot \sigma \cdot T_s \cdot \alpha_{LO}}{r_{cr} \cdot \rho_G \cdot \Delta h_v} = \frac{2 \cdot 8.32 \text{ mN/m} \cdot 365.7 \text{ K} \cdot 1730 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}}{3e-7 \text{ m} \cdot 13.75 \text{ kg/m}^3 \cdot 303400 \text{ J/kg}} = 8414 \text{ W/m}^2$$

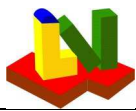
$$p^* = \frac{p}{p_c} = \frac{500000 \text{ Pa}}{3370000 \text{ Pa}} = 0.1484$$

$$\begin{aligned} n(p^*) &= 0.6191 \\ F(p^*) &= 1.185 \\ F(d) &= 0.7906 \\ F(W) &= 1.097 \\ F\left(\frac{\dot{q}}{m, x}\right) &= 0.3338 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\alpha(z)_B}{\alpha_0} &= C_F \cdot \left[\frac{\dot{q}}{\dot{q}_0} \right]^n \cdot F(p^*) \cdot F(d) \cdot F(W) \cdot F\left(\frac{\dot{q}}{m, x}\right) = \\ 1.169 \cdot \left[\frac{323912 \text{ W/m}^2}{20000 \text{ W/m}^2} \right]^{0.6191} \cdot 1.185 \cdot 0.7906 \cdot 1.097 \cdot 0.3338 &= 2.249 \end{aligned}$$

$$\alpha(z)_B = 6903 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad q \geq q_{onb}$$

$$\alpha(z) = \sqrt[3]{(\alpha(z)_B)^3 + (\alpha(z)_K)^3} = \sqrt[3]{(6903 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)})^3 + (7125 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)})^3} = 8840 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$



CAD Programm für Rohrbündelwärmeübertrager

TEMA-Typ AEL

TEMA Frontkopf A Mantel E Endkopf L

Medium Freie Eingabe (n-pentan) Rohrseite Mantelseite
Satttdampf Kondensation

Eintrittsdruck (abs.)	p_i	500000 Pa	p_a	500000 Pa
Druckstufe	PN	6	PN	6
Eintrittstemperatur	$\vartheta_{e,i}$	92.58 °C	$\vartheta_{e,a}$	151.9 °C
Austrittstemperatur	$\vartheta_{a,i}$	92.6 °C	$\vartheta_{a,a}$	151.8 °C
Mittlere Temperatur	$\vartheta_{m,i}$	92.59 °C	$\vartheta_{m,a}$	151.8 °C
Berechnungstemperatur		110 °C		180 °C
Berechnungsdruck		600000 Pa		600000 Pa

Eintrittsstutzen	aufgesetzt	aufgesetzt
Flanschttyp	Festflansch (Vorschweißflansch) mit Ansatz	Festflansch (Vorschweißflansch) mit Ansatz
Flanschanschlussnennweite	DN 50	DN 100
Außendurchmesser	60.3 mm	114.3 mm
Stutzenwanddicke	2.9 mm	3.6 mm
Innendurchmesser	54.5 mm	107.1 mm

Austrittsstutzen	aufgesetzt	aufgesetzt
Flanschttyp	Festflansch (Vorschweißflansch) mit Ansatz	Festflansch (Vorschweißflansch) mit Ansatz
Flanschanschlussnennweite	DN 100	DN 25
Außendurchmesser	114.3 mm	33.7 mm
Stutzenwanddicke	3.6 mm	2.6 mm
Innendurchmesser	107.1 mm	28.5 mm

CAD Daten

Bohrungsdurchmesser im Rohrboden mm

CAD Rohrbodenkonfiguration

Frontkopf a - Rohrboden mit Schale und Vorkammer verschweißt
Endkopf a - Rohrboden mit Schale und Vorkammer verschweißt

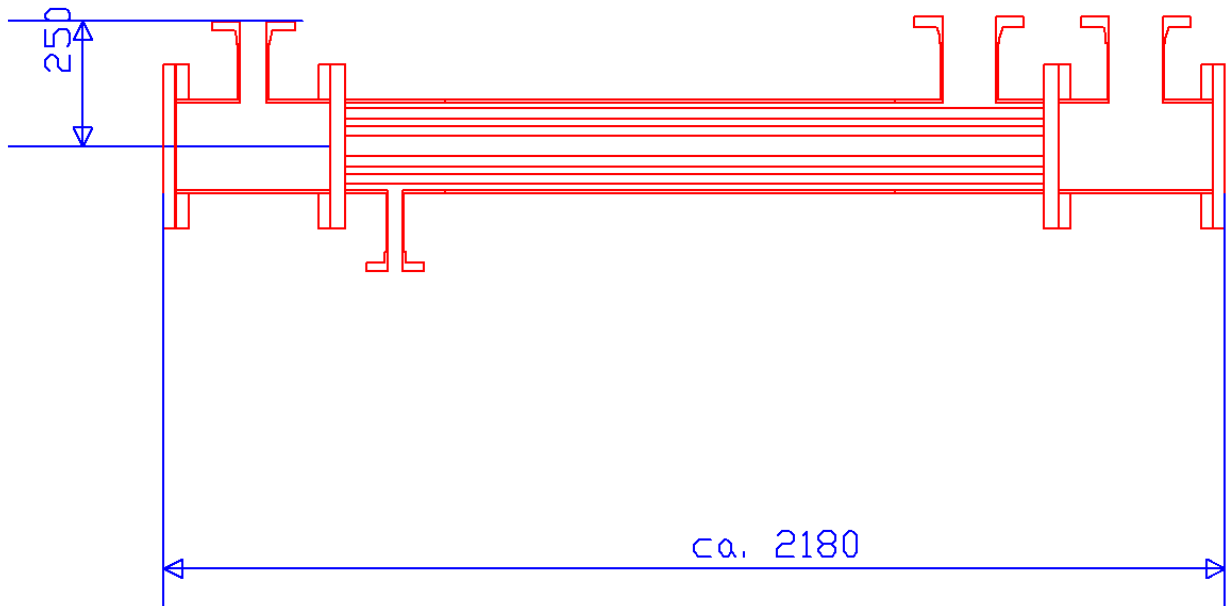
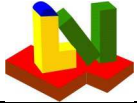
Geometrie

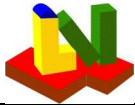
Mantelaußendurchmesser	D_a	188.9 mm	Mantelwanddicke	s_a	6.3 mm
Mantelinnendurchmesser	D_i	176.3 mm			
Abstand Bündel-Mantel		12 mm			
Rohraußendurchmesser	d_a	20 mm	Rohrinnendurchmesser	d_i	16 mm
Rohrteilung (quer)	s_1	25 mm	Rohrteilung (längs)	s_2	21.65 mm
Teilungswinkel	Φ	60 °	Gassenbreite	b	40 mm

Anzahl der rohrseitigen Durchgänge n_R 1
Anzahl der mantelseitigen Durchgänge n_M 1

Bündellänge (ausgeführt) l_a 1400 mm
Mantellänge (ausgeführt) l_a 1400 mm

Anzahl der Rohre R 31
Kompensatordurchmesser mm
Plattendicke (Festplatte) 30 mm
Rohrbodenaußendurchmesser 168 mm
Plattendicke (Freie Platte) 30 mm
Rohrbodenaußendurchmesser (Schwimmkopf) 168 mm





Filmkondensation an waagerechten Rohren (reine Dämpfe) - VDI-Wärmeatlas, 11. Auflage 2013, J1

Kondensation am Einzelrohr oder an Rohrreihen bei ruhendem Dampf

Anzahl der Rohre	n_R	31
Anzahl der Rohrreihen	n_{RR}	5
Rohrlänge	L	1202 mm
Kondensatmassenstrom	$\dot{M}_F$	0.288 kg/s
Kondensatmassenstrom pro Rohr	$\dot{M}_{F,R}$	0.009289 kg/s
Korrekturfaktor für Nu-Zahl der Rohrreihen	i	-0.1667

Kondensationstemperatur	ϑ_S	151.8 °C
-------------------------	---------------	----------

Stoffwerte der siedenden Flüssigkeit

Spezifische Wärmekapazität	c_{pF}	4315 J/(kg·K)
Dichte	ρ_F	915 kg/m³
Wärmeleitfähigkeit	λ_F	0.6833 W/(m·K)
Dynamische Viskosität	η_F	0.1802 mPa·s
Kinematische Viskosität	ν_F	1.97e-7 m²/s
Prandtl-Zahl	Pr_F	1.138

Stoffwerte des Dampfes

Dichte	ρ_D	2.669 kg/m³
--------	----------	-------------

Ergebnisse

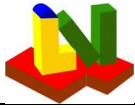
Charakteristische Länge der Filmströmung	L_C	0.01582 mm
Berieselungsdichte	Γ	0.007726 kg/(m·s)
Reynolds-Zahl	Re_F	42.86

Einzelrohr

Nu-Zahl Einzelrohr	$Nu_{F,L}$	0.2738
Mittlerer Wärmeübergangskoeffizient	$\alpha_{F,L}$	11827 W/(m²·K)

Rohrreihen

Nu-Zahl waagrechte Rohrreihen	$Nu_{F,L,RR}$	0.2093
Mittlerer Wärmeübergangskoeffizient	$\alpha_{F,L,RR}$	9044 W/(m²·K)



Gleichungen

$$\Gamma = \frac{M_{F,R}}{L} = \frac{0.009289 \text{ kg/s}}{1.202 \text{ m}} = 0.007726 \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$$

$$Re_F = \frac{M_{F,R}}{L \cdot \eta_F} = \frac{0.009289 \text{ kg/s}}{1.202 \text{ m} \cdot 0.1802 \text{ mPa}\cdot\text{s}} = 42.86$$

$$L_C = \sqrt[3]{\frac{v_F^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{(1.97\text{e-}7 \text{ m}^2/\text{s})^2}{g}} = 1.582\text{e-}5 \text{ m}$$

Einzelrohr

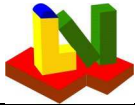
$$Nu_{F,L} = 0.959 \cdot \left[\frac{\left[1 - \frac{\rho_D}{\rho_F} \right]}{Re_F} \right]^{\frac{1}{3}} = 0.959 \cdot \left[\frac{\left[1 - \frac{2.669 \text{ kg/m}^3}{915 \text{ kg/m}^3} \right]}{42.86} \right]^{\frac{1}{3}} = 0.2738$$

$$\alpha_{F,L} = \frac{Nu_{F,L} \cdot \lambda_F}{L_C} = \frac{0.2738 \cdot 0.6833 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}}{1.582\text{e-}5 \text{ m}} = 11827 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

Rohrreihen

$$Nu_{F,I,RR} = Nu_{F,I} \cdot n_{RR}^i = 0.2738 \cdot (5)^{-0.1667} = 0.2093$$

$$\alpha_{F,L,RR} = \frac{Nu_{F,L,RR} \cdot \lambda_F}{L_C} = \frac{0.2093 \cdot 0.6833 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}}{1.582\text{e-}5 \text{ m}} = 9044 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$



Konvektives Strömungssieden in horizontalen Rohren (gesättigte, reine Flüssigkeiten) - VDI-Wärmeatlas, 11. Auflage 2013, H3.4

Konvektives Strömungssieden in horizontalen Rohren

Randbedingung *Konstante Wandtemperatur*
 Strömungsform *Ringströmung*

Massenstromdichte	$\dot{m}$	320.9 kg/(m ² ·s)
Strömungsdampfgehalt	$\dot{x}$	0.9
Ortskoordinate	z	1202 mm
Rohrinnendurchmesser	d_i	16 mm
Wanddicke	s	2 mm
Wärmeleitfähigkeit	λ_W	52 W/(m·K)

Stoffwerte

Flüssigkeit

Dichte	ρ_L	544.8 kg/m ³
Spezifische Wärmekapazität	c_{pL}	2679 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ_L	0.1055 W/(m·K)
Dynamische Viskosität	η_L	0.1248 mPa·s
Oberflächenspannung	σ	8.32 mN/m
Spezifische Verdampfungsenthalpie	Δh_v	303400 J/kg

Dampf

Dichte	ρ_G	13.75 kg/m ³
Spezifische Wärmekapazität	c_{pG}	2118 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ_G	0.0216 W/(m·K)
Dynamische Viskosität	η_G	0.008833 mPa·s

Ergebnisse

$\alpha(z)_k / \alpha_{LO}$		5.39
Wärmeübergangskoeffizient	$\alpha(z)_k$	7125 W/(m ² ·K)

Konvektives Strömungssieden in horizontalen Rohren

Zwischenergebnisse

Flüssigkeit

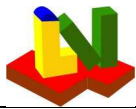
Pr_L	3.169
Re_{LO}	41138
ξ_L	0.0219
$Nu_{\infty,L}$	196.8
Nu_{LO}	200.5
α_{LO}	1322

Dampf

Pr_G	0.8661
Re_{GO}	581233
ξ_G	0.01276
$Nu_{\infty,G}$	840.8
Nu_{GO}	856.6
α_{GO}	1156

Nur für Schichtenströmung

Re_{hG}	525226
ξ_{hG}	0.013
$Nu_{\infty,hG}$	773.9
Nu_{hG}	788.3
α_G	1076
α_{Lb}	7125
M	48.69
Φ	0.4333
Ψ	1



Dokumentationsblatt für Wärmeübertrager

In den Rohren

Verdampfung in den Rohren			
Medium	Freie Eingabe (n-pentan)		
Massenstrom	$\dot{m}_i$	7200 kg/h	
Volumenstrom	$\dot{V}_i$	13.22 m³/h	
Eintrittsdruck (abs.)	P_i	5 bar	
Eintrittstemperatur	ϑ_{e_i}	92.58 °C	
Austrittstemperatur	ϑ_{a_i}	92.6 °C	
Mittlere Temperatur	ϑ_{m_i}	92.59 °C	

Leistung Q_i 606.9 kW

Fouling f_i 0 m²·K/W

Stoffwerte

Flüssigphase

Dichte	ρ_i	544.8 kg/m³
Wärmeleitfähigkeit	λ_i	0.1055 W/(m·K)
Spez. Wärmekapazität	c_{p_i}	2679 J/(kg·K)
Viskosität	η_i	0.1248 mPa·s
Oberflächenspannung	σ_i	8.32 mN/m
Kritischer Druck	P_{c_i}	33.7 bar
Molmasse		72.15 kg/kmol

Dampfphase

Dichte Dampf	ρ_i	13.75 kg/m³
Spez. Wärmekapazität	c_{p_i}	2118 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ_i	0.0216 W/(m·K)
Viskosität	η_i	0.008833 mPa·s

Verdampfungsenthalpie Δh_v 303400 J/kg

Anteil Flüssigkeit (Eintritt) x_i 1 -

Anteil Flüssigkeit (Austritt) x_o 0 -

Normierte Daten bei $p^* = P / P_c = 0.1$

Normierte Wärmestromdichte	q_0	20000 W/m²
Normierter Wärmeübergangskoeffizient	α_0	3070 W/(m²·K)
Verdampfungsenthalpie	Δh_{v0}	320300 J/kg (bei 0.1 · P_c)
Dichte (Flüssigkeit)	$\rho_{0,l}$	564.4 kg/m³ (bei 0.1 · P_c)
Dichte (Dampf)	$\rho_{0,v}$	9.341 kg/m³ (bei 0.1 · P_c)
Oberflächenspannung	σ_0	9.92 mN/m (bei 0.1 · P_c)

Wärmeübergang

Wärmeübertragerfläche	A	2.727 m²
Rohrlänge zwischen den Rohrplatten	l_a	1400 mm
Mantelaußendurchmesser	D_a	188.9 mm
Arithmetischer Mittenrauhwert der Rohre	R_a	0.002 mm
Wärmeleitfähigkeit des Rohrmaterials	λ	52 W/(m·K)
Gesamter Foulingwiderstand	f	0 m²·K/W
Rohrzahl	R	31
Wärmeübergangskoeffizient (innen)	α_i	16626 W/(m²·K)
Wärmeübergangskoeffizient (außen)	α_a	9044 W/(m²·K)
Wärmedurchgangszahl	k	4373 W/(m²·K)
Log. mittl. Temperaturdifferenz (LMTD)	$\Delta \vartheta$	59.25 K
FN Faktor	FN	1
Anzahl seriell geschalteter Wärmeübertrager		1

Um die Rohre

(Kondensation)			
Medium	Sattdampf-Kondensation		
Massenstrom	$\dot{m}_a$	0.288 kg/s	
Volumenstrom	$\dot{V}_a$	388.4 m³/h	
Eintrittsdruck (abs.)	P_a	5 bar	
Eintrittstemperatur	ϑ_{e_a}	151.9 °C	
Austrittstemperatur	ϑ_{a_a}	151.8 °C	
Mittlere Temperatur	ϑ_{m_a}	151.8 °C	

Leistung Q_a -606.9 kW
Verlustwärme Q_{v_a} 0 kW

Fouling f_a 0 m²·K/W

Flüssigphase

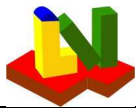
Dichte	ρ_a	915 kg/m³
Wärmeleitfähigkeit	λ_a	0.6833 W/(m·K)
Spez. Wärmekapazität	c_{p_a}	4315 J/(kg·K)
Viskosität	η_a	0.1802 mPa·s
Oberflächenspannung	σ_a	48.36 mN/m
Kritischer Druck	P_{c_a}	220.6 bar
Molmasse		18.02 kg/kmol

Dichte Dampf	ρ_a	2.669 kg/m³
Spez. Wärmekapazität	c_{p_a}	2413 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ_a	0.03103 W/(m·K)
Viskosität	η_a	0.01402 mPa·s

Verdampfungsenthalpie Δh_v 2107420 J/kg

Anteil Dampf (Eintritt) x_i 1 -

Anteil Dampf (Austritt) x_o 0 -



Verd Beispiel 2019

In den Rohren
Druckverlust
Wandtemperatur

Δp_i **12731** Pa
 ϑ_{w_i} **112.1** °C

Eintritt

Stutzen ein 54.5 mm
Anschluss ein
Geschwindigkeit Stutzen **1.574** m/s
Geschwindigkeit im Rohr **0.589** m/s

Austritt

Stutzen aus 107.1 mm
Anschluss aus
Geschwindigkeit Stutzen **16.15** m/s
Geschwindigkeit im Rohr **23.34** m/s

Bewertung

Leistung
Flächenreserve

Wärmestromdichte (Ist)

Um die Rohre

Druckverlust
Wandtemperatur Δp_a **123.2** Pa
 ϑ_{w_a} °C

Eintritt

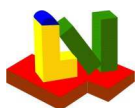
Stutzen ein 107.1 mm
Anschluss ein
Geschwindigkeit Stutzen **11.98** m/s
Geschwindigkeit im Mantel **7.355** m/s

Austritt

Stutzen aus 28.5 mm
Anschluss aus
Geschwindigkeit Stutzen **0.4933** m/s
Geschwindigkeit im Mantel m/s

606.9 kW
16.43 %

323912 W/m²



Verd Beispiel 2019

Excel Spezifikationsblatt

Kunde			Job Nr.		
Adresse			Referenz-Nr.		
Projekt			Angebots-Nr.		
TEMA-Typ: AEL			Datum 07.11.2019		
Einbaulage: Waagrecht			Verschaltung: 1 seriell parallel		

Fluid Daten		Mantelseite (Kondensation)		Rohrseite (Verdampfung)	
Fluid Name		Sattdampf-Kondensation		Freie Eingabe (n-pentan)	
Fluid Menge, total		kg/s	0,29	2	
Dampf (ein / aus)		kg/s	0,29	0	2
Flüssigkeit (ein / aus)		kg/s	0	2	0
Fluid Volumenstrom, total		m³/h	388,43	13,22	
Dampf					
Wasser					
Inerte					
Temperatur (ein / aus)		°C	151,9	151,8	92,6
Dichte		kg/m³	2,67	915	544,8
Viskosität		mPa·s	0,014	0,1802	0,1248
Molekulargewicht, Dampf		kg/kmol			
Molekulargewicht, Inerte		kg/kmol			
Spez. Wärmekapazität		J/(kg·K)	2412,7	4314,9	2679
Wärmeleitfähigkeit		W/(m·K)	0,031	0,6833	0,1055
Latente Wärme		J/kg	2107420		303400
Eintrittsdruck (abs.)		bar	5		5
Geschwindigkeit		m/s	7,36		
Druckverlust, Max. / Vorh.		Pa			12731
Fouling-Widerstand		m²·K/W	0		0
Leistung		kW	606,9		
Wärmedurchgangskoeffizient		W/(m²·K)	4373,2		
Log. Temp. Diff. (korrigiert)		K (diff)	59,25		
Wärmeübertragungsfläche		m²	2,7		

KONSTRUKTIONSDATEN EINES TAUSCHERS				Bild (Bündel/Stutzen Anordnung)	
		Mantelseite	Rohrseite		
Auslegungs- / Testdruck		Pa			
Betriebstemperatur		°C			
Anzahl der Durchgänge		1	1		
Korrosionszuschlag		mm			
Anschlüsse	ein	DN 100	DN 50		
Größe &	aus	DN 25	DN 100		
Auslegung	Zwischenstufe				
Rohrlänge	mm	1400	Rohr-Material	Stahl	
Rohrabmessungen (da x s)	mm	20 x 2	Anzahl der Rohre	31	
Rohrteilung quer	mm	25	Rohrteilung längs	21,7	
Mantel-Innendurchmesser	mm	176,3	Mantelabmessungen (Da x s)	188,89 x 6,3	
Eintrittshaube / Kanal			Haube		
Festrohrbündel			Schwimmkopf		
Schwimmkopfhaube			Prallplatte J / N		
Umlenkblech Durchmesser			Fensterhöhe in % des Mantel-ID		
Abstand der Umlenkbleche			Anzahl Umlenkbleche / Durchgang		
Abst. Rohrboden-1. Umlenkblech			Anzahl der Dichtungsstreifenpaare		
Dehnungsausgleich			Typ		
ρ · v² Bündel Eintritt	kg/(m·s²)	383	ρ · v² Bündel Austritt		
Dichtung Mantelseite			Dichtung Rohrseite		
- Schwimmkopf					
Berechnungsstandards			TEMA Class		
Gewicht / Mantel	kg		Mit Wasserfüllung		
Gewicht / Bündel	kg				

Bemerkungen					
-------------	--	--	--	--	--