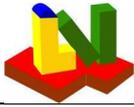


Inhaltsverzeichnis

Thermische und hydraulische Berechnung von Rohrbündel-Wärmeübertragern	2
Rohrspiegeldaten.....	4
Stoffwerte von Wasser und Wasserdampf.....	6
Stoffwerte von Wasser und Wasserdampf.....	7
Wärmeübertragung bei der Strömung durch Rohre	8
Wärmeübertragung im Außenraum von Rohrbündelwärmeübertragern mit Umlenkblechen	10
Reale logarithmische Temperaturdifferenz und Temperaturverteilung nach dem Zellenmodell.....	13
Rohrseitiger Druckverlust in Rohrbündelwärmeübertragern.....	14
Rohrbündel Schwingungs-Analyse.....	16
Druckverlust in umströmten Rohrbündeln in Wärmeübertragern mit und ohne Umlenkbleche	17
CAD Programm für Rohrbündelwärmeübertrager	19
CAD Skizze mit WCAD	20
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



Thermische und hydraulische Berechnung von Rohrbündel-Wärmeübertragern

Medium	Wasser	Rohrseite		Wasser	Mantelseite	
Massenstrom		m_i	20 kg/s		m_a	12.15 kg/s
Volumenstrom		V_i	73.63 m³/h		V_a	44.01 m³/h
Eintrittsdruck (abs.)		P_i	4 bar		P_a	3 bar
Eintrittstemperatur		ϑ_{e_i}	80 °C		ϑ_{e_a}	20 °C
Austrittstemperatur		ϑ_{a_i}	60 °C		ϑ_{a_a}	53 °C
Mittlere Temperatur		ϑ_{m_i}	70 °C		ϑ_{m_a}	36.5 °C
Tatsächliche						
Eintrittstemperatur		ϑ_{e_i}	80 °C		ϑ_{e_a}	20 °C
Austrittstemperatur		ϑ_{a_i}	59.32 °C		ϑ_{a_a}	54.12 °C
Leistung		Q_i	-1675 kW		Q_a	1675 kW
Verlustwärme					Q_{v_a}	0 kW
Foulingwiderstand		f_i	0 m²·K/W		f_a	0 m²·K/W

Geometrie

Aus Rohrspiegelbibliothek

Einbaulage: Waagrecht

Glattrohre

Geradrohre mit festen Rohrplatten

Glattrohre

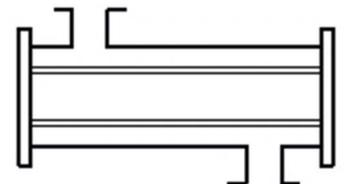
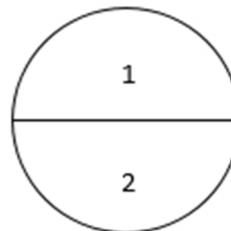
Segmentumlenkbleche

Mantelaußendurchmesser	D_a	406.4 mm	Mantelwanddicke	s	6.3 mm
Mantelinnendurchmesser	D_i	393.8 mm	Min-Abst. Bündel-Mantel		12 mm
Abstand Bündel-Mantel		13.18 mm			
Rohraußendurchmesser	d_a	20 mm	Rohrwanddicke	s_1	2 mm
Rohrinnendurchmesser	d_i	16 mm			
Rohrteilung (quer)	s_1	26 mm	Rohrteilung (längs)	s_2	22.52 mm
Teilungswinkel	Φ	60 °			
Rohrgassenbreite (horizontal)	b_h	32 mm			

Abst. der Umlenkbleche	110 mm	Anzahl Umlenkbleche / Gang	24
Abst. Rohrboden - 1.	235 mm	Durchmesser Umlenkbleche	390.8 mm
Umlenkblech			
Bohrung im Umlenkblech	20.8 mm	Höhe des Fensters in % von D_i	22 %
Anzahl der Dichtungstreifenpaare	0	Dicke der Umlenkbleche	4 mm

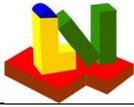
Rohrmaterial	Edelstahl
Wärmeleitfähigkeit des Rohrmaterials	λ 15 W/(m·K)

Rohrseitige Durchgänge	2
Mantelseitige Durchgänge	1
Anzahl serieller Wärmeübertrager	1



Bewertung

	erforderlich	ausgeführt	Flächenreserve
Wärmeübertragerfläche	A 26.57 m²	Aa 28.27 m²	6.41 %
Rohrlänge zwischen den Rohrplatten	l 2819 mm	la 3000 mm	



Ergebnisse

Anzahl der Rohre	N	150
Wärmeübergangskoeffizient (innen)	α_i	9209 W/(m ² ·K)
Wärmeübergangskoeffizient (außen)	α_a	5784 W/(m ² ·K)
Wärmedurchgangskoeffizient	k	2186 W/(m ² ·K)
Log. mittl. Temperaturdifferenz (LMTD)	$\Delta\vartheta$	33.08 K
FN (Korrekturfaktor für LMTD)	FN	0.8717
Log. mittl. Temperaturdifferenz (korrigiert) CLMTD	$\Delta\vartheta_c$	28.83 K
Gesamter Foulingwiderstand	f	0 m ² ·K/W

Rohrseite

Geschwindigkeit im Rohr		1.356 m/s
Reynolds-Zahl	Re	52574
Druckverlust	Δp_i	16607 Pa
Mittl. Rohrwandtemperatur	ϑ_{w_i}	60.06 °C

Mantelseite

Geschwindigkeit im Mantel		1.012 m/s
Geschwindigkeit im Fenster		0.9001 m/s
Reynolds-Zahl	Re	31881
Druckverlust	Δp_a	25951 Pa
Mittl. Rohrwandtemperatur	ϑ_{w_a}	49.16 °C

Eintrittsstutzen

Nennweite	DN 125
Außendurchmesser	139.7 mm
Innendurchmesser	131.7 mm
Geschwindigkeit	1.501 m/s

Eintrittsstutzen

Nennweite	DN 125
Außendurchmesser	139.7 mm
Innendurchmesser	131.7 mm
Geschwindigkeit	0.8975 m/s
$\rho \cdot v^2$	800.3 kg/(m·s ²)

Austrittsstutzen

Nennweite	DN 125
Außendurchmesser	139.7 mm
Innendurchmesser	131.7 mm
Geschwindigkeit	1.501 m/s

Austrittsstutzen

Nennweite	DN 125
Außendurchmesser	139.7 mm
Innendurchmesser	131.7 mm
Geschwindigkeit	0.8975 m/s

Stoffwerte

Dichte	ρ_i	977.9 kg/m ³
Spez. Wärmekapazität	c_{p_i}	4187 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ_i	0.6598 W/(m·K)
Dynamische Viskosität	η_i	0.4036 mPa·s

Rohrseite

Dichte	ρ_a	993.6 kg/m ³
Spez. Wärmekapazität	c_{p_a}	4178 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ_a	0.6242 W/(m·K)
Dynamische Viskosität	η_a	0.6981 mPa·s

Mantelseite

Gleichungen

Wärmebilanz

$$Q_i = m_i \cdot c_{p_i} \cdot (\vartheta a_i - \vartheta e_i) = 20 \text{ kg/s} \cdot 4187 \text{ J/(kg·K)} \cdot (60^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C}) = -1674976 \text{ W}$$

$$Q_a = m_a \cdot c_{p_a} \cdot (\vartheta a_a - \vartheta e_a) = 12.15 \text{ kg/s} \cdot 4178 \text{ J/(kg·K)} \cdot (53^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 1674976 \text{ W}$$

$$Q_i = -(Q_a - Q_{v_a}) = -(1674976 \text{ W} - 0 \text{ W}) = -1674976 \text{ W}$$

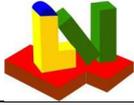
Wärmedurchgangskoeffizient

$$\frac{1}{k} = \left[\frac{1}{\alpha_i} + f_i \right] \cdot \frac{d_a}{d_i} + \frac{d_a \cdot \ln\left(\frac{d_a}{d_i}\right)}{2 \cdot \lambda} + \frac{1}{\alpha_a} + f_a \Leftrightarrow$$

$$\frac{1}{2186 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}} = \left[\frac{1}{9209 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}} + 0 \text{ m}^2\cdot\text{K/W} \right] \cdot \frac{0.02 \text{ m}}{0.016 \text{ m}} + \frac{0.02 \text{ m} \cdot \ln\left(\frac{0.02 \text{ m}}{0.016 \text{ m}}\right)}{2 \cdot 15 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}} + \frac{1}{5784 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}} + 0 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$$

$$k = 2186 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

$$Q = k \cdot A \cdot \Delta\vartheta \cdot FN = 2186 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)} \cdot 26.57 \text{ m}^2 \cdot 33.08 \text{ K} \cdot 0.8717 = -1674976 \text{ W}$$

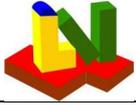


Rohrspiegeldaten

Bezeichnung der Bauform
Umlenkblech-Typ

Segmentumlenkbleche

Mantelaußendurchmesser	D_o	406.4	mm
Mantelinnendurchmesser	D_i	393.8	mm
Mindestabstand Bündel-Mantel	D_m	12	mm
Abstand Bündel-Mantel	D	13.18	mm
Bündeldurchmesser im Bereich der Querströmungszone	D_B	362	mm
Bündeldurchmesser (Querströmungs- und Fensterzone)	D_{BE}	367.4	mm
Rohraußendurchmesser	d_a	20	mm
Rohrinnendurchmesser	d_i	16	mm
Rohrteilung quer zur Strömungsrichtung	s_1	26	mm
Rohrteilung längs in Strömungsrichtung	s_2	22.52	mm
Teilungswinkel	Φ	60	°
Durchmesser der Umlenkbleche	D_l	390.8	mm
Höhe des Ausschnittes aus den Umlenkblechen	H	86.64	mm
Höhe der Fenster in % des Mantelinnendurchmessers		22	%
Anordnung der Rohre		versetzt	
Anordnung		um das Zentralrohr	
Keine Rohre in den Fenstern?		Nein	
Anzahl der rohrseitigen Durchgänge		2	
Anzahl der mantelseitigen Durchgänge		1	
Rohrgassenbreite (horizontal)		32	mm
Rohrgassenbreite (vertikal)		32	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	150	
Anzahl der Blindrohre	n_B	0	
Anzahl der Zuganker	n_Z	0	
Gesamtanzahl der Rohre, Blindrohre und Zuganker	n_G	150	
Anzahl der Rohre, Blindrohre und Zuganker im oberen und unteren Fenster	n_F	40	
Anzahl der Rohre, Blindrohre und Zuganker in der Querströmungszone	n_S	110	
Anzahl der Rohrreihen in der Fensterzone	$n_{R,F}$	2.5	
Anzahl der Rohrreihen in der Querströmungszone	n_W	9	
Anzahl der Rohrreihen in der Endzone	$n_{W,E}$	11.5	
Kürzeste Verbindungsstrecke in der Mitte	Le	109.8	mm
Kürzeste Verbindungsstrecke zwischen Rohr und Rohr	e	6	mm
Kürzeste Verbindungsstrecke zwischen Rohr und Mantel	e_1	15.91	mm
Anzahl der Verbindungsstrecken	n_V	13	
Mittlere Entfernung der Randrohre-Bündelmittelpunkt	r_h	155.4	mm
Anzahl der Randrohre erforderlich/vorhanden	RR	/	70
Länge der Umgrenzung	C_p	1066	mm
Fläche innerhalb der Umgrenzung	A_p	0.08339	m ²



WTS-2017

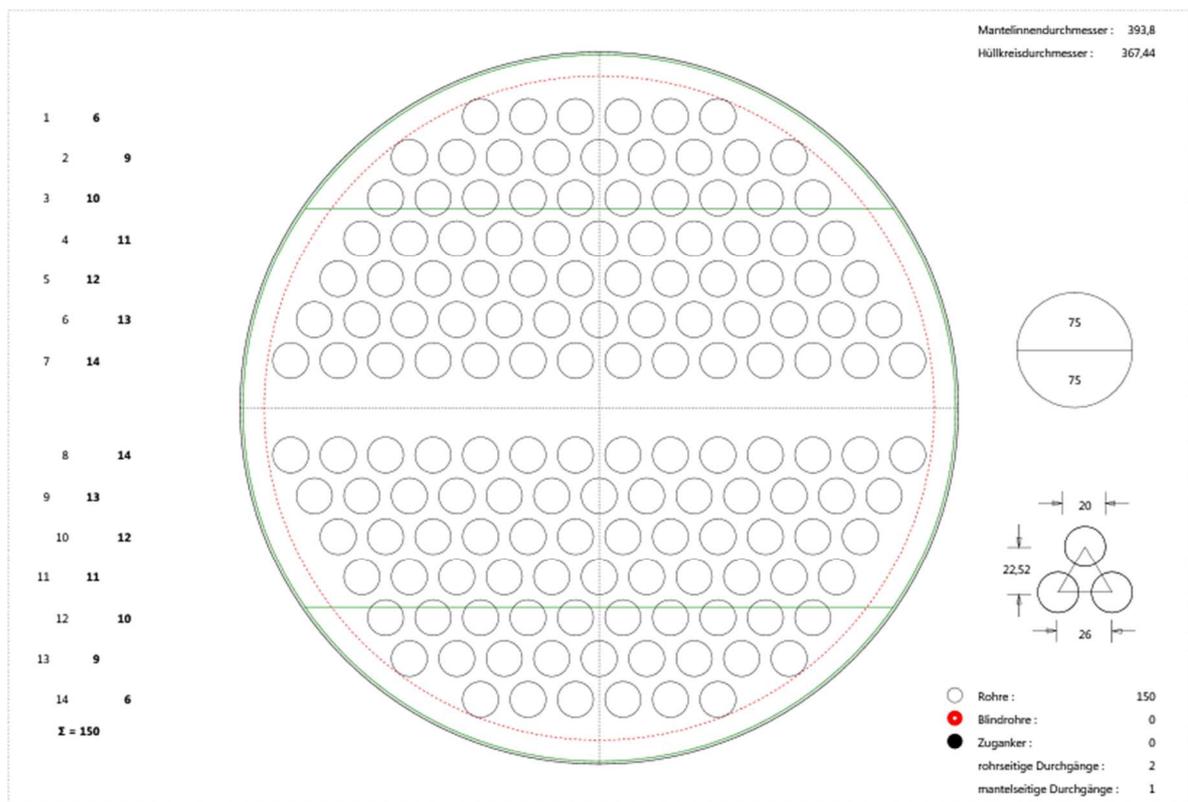
Anzahl der Rohre, Blindrohre und Zuganker pro Durchgang

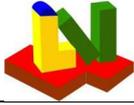
Durchgang-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
	75	75	0	0	0	0	0	0

Ausgeführte Bündellänge	l_a	3000 mm
Gesamte Oberfläche	A_{ges}	28.27 m ²
Anzahl der Umlenkmale	N	24
Abstand der Umlenkmale	S_1	110 mm
Abstand Rohrboden - 1. Umlenkmale	S_2	235 mm
Bohrung im Umlenkmale		20.8 mm
Anzahl der Dichtungsstreifenpaare	n_D	0
Anzahl der Wärmeübertrager in Serie		1

Stutzen

	Rohrseite	Mantelseite
Innendurchmesser des Eintrittsstutzens	131.7 mm	131.7 mm
Innendurchmesser des Austrittsstutzens	131.7 mm	131.7 mm





Stoffwerte von Wasser und Wasserdampf

Berechnung für Sättigung	Zustand 1		Zustand 2	
	Nein		Nein	
Temperatur	ϑ_1	36.5 °C	ϑ_2	49.15 °C
Druck	p_1	3 bar	p_2	3 bar

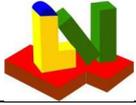
Stoffwerte von Wasser und überhitztem Dampf

	Zustand 1		Zustand 2	
	Flüssig		Flüssig	
Dichte	ρ	993.6 kg/m ³	ρ	988.5 kg/m ³
Spez. isob. Wärmekapazität	c_p	4178 J/(kg·K)	c_p	4179 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ	0.6242 W/(m·K)	λ	0.6397 W/(m·K)
Dynamische Viskosität	η	0.6981 mPa·s	η	0.5544 mPa·s
Kinematische Viskosität	ν	7.026e-7 m ² /s	ν	5.608e-7 m ² /s
Prandtl-Zahl	Pr	4.673	Pr	3.622
Temperaturleitfähigkeit	a	1.503e-7 m ² /s	a	1.548e-7 m ² /s
Spezifisches Volumen	v	0.001006 m ³ /kg	v	0.001012 m ³ /kg
Spez. isoch. Wärmekapazität	c_v	4088 J/(kg·K)	c_v	4028 J/(kg·K)
Spezifische Enthalpie	h	153177 J/kg	h	206052 J/kg
Spez. innere Energie	u	152875 J/kg	u	205749 J/kg
Spezifische Entropie	s	525.4 J/(kg·K)	s	692.7 J/(kg·K)
Realgasfaktor	Z	0.002113	Z	0.00204
Oberflächenspannung	σ	70.16 mN/m	σ	68.09 mN/m
Therm. Ausdehnungskoeffizient	β	3.576e-4 1/K	β	4.516e-4 1/K
Isentropenexponent	κ	7705	κ	7862
Schallgeschwindigkeit	w	1525 m/s	w	1545 m/s
Dielektrizitätskonstante	ϵ	74.39	ϵ	70.2

Charakteristische Größen

Molmasse	M	18.02 g/mol
Gaskonstante	R	461.5 J/(kg·K)
Kritische Temperatur	T_c	373.9 °C
Kritischer Druck	p_c	2.206e+7 Pa
Kritische Dichte	ρ_c	322 kg/m ³

Die Gültigkeitsbereiche
 $0.01^\circ\text{C} \leq \vartheta \leq 800^\circ\text{C}$
 $0.00612 \text{ bar} \leq p \leq 1000 \text{ bar}$
 $0.01^\circ\text{C} \leq \vartheta \leq 2000^\circ\text{C}$
 $0.00612 \text{ bar} \leq p \leq 500 \text{ bar}$



Stoffwerte von Wasser und Wasserdampf

Berechnung für Sättigung	Zustand 1		Zustand 2	
	Nein		Nein	
Temperatur	ϑ_1	70 °C	ϑ_2	60.06 °C
Druck	p_1	4 bar	p_2	4 bar

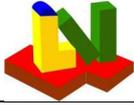
Stoffwerte von Wasser und überhitztem Dampf

	Zustand 1		Zustand 2	
	Flüssig		Flüssig	
Dichte	ρ	977.9 kg/m ³	ρ	983.3 kg/m ³
Spez. isob. Wärmekapazität	c_p	4187 J/(kg·K)	c_p	4182 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ	0.6598 W/(m·K)	λ	0.651 W/(m·K)
Dynamische Viskosität	η	0.4036 mPa·s	η	0.4657 mPa·s
Kinematische Viskosität	ν	4.128e-7 m ² /s	ν	4.736e-7 m ² /s
Prandtl-Zahl	Pr	2.562	Pr	2.992
Temperaturleitfähigkeit	a	1.611e-7 m ² /s	a	1.583e-7 m ² /s
Spezifisches Volumen	v	0.001023 m ³ /kg	v	0.001017 m ³ /kg
Spez. isoch. Wärmekapazität	c_v	3922 J/(kg·K)	c_v	3973 J/(kg·K)
Spezifische Enthalpie	h	293320 J/kg	h	251707 J/kg
Spez. innere Energie	u	292911 J/kg	u	251300 J/kg
Spezifische Entropie	s	954.8 J/(kg·K)	s	831.7 J/(kg·K)
Realgasfaktor	Z	0.002583	Z	0.002645
Oberflächenspannung	σ	64.48 mN/m	σ	66.23 mN/m
Therm. Ausdehnungskoeffizient	β	5.838e-4 1/K	β	5.233e-4 1/K
Isentropenexponent	κ	5935	κ	5940
Schallgeschwindigkeit	w	1558 m/s	w	1554 m/s
Dielektrizitätskonstante	ϵ	63.78	ϵ	66.77

Charakteristische Größen

Molmasse	M	18.02 g/mol
Gaskonstante	R	461.5 J/(kg·K)
Kritische Temperatur	T_c	373.9 °C
Kritischer Druck	p_c	2.206e+7 Pa
Kritische Dichte	ρ_c	322 kg/m ³

Die Gültigkeitsbereiche
 $0.01^\circ\text{C} \leq \vartheta \leq 800^\circ\text{C}$
 $0.00612 \text{ bar} \leq p \leq 1000 \text{ bar}$
 $0.01^\circ\text{C} \leq \vartheta \leq 2000^\circ\text{C}$
 $0.00612 \text{ bar} \leq p \leq 500 \text{ bar}$



Wärmeübertragung bei der Strömung durch Rohre

Konstante Wandtemperatur

Prozessdaten

Gesamtmassenstrom	m_{tot}	kg/h
Gesamtvolumenstrom	V_{tot}	m ³ /h
Anzahl parallel durchströmter Rohre	Z	
Massenstrom pro Rohr	m	960 kg/h
Eintrittstemperatur	ϑ_e	80 °C
Austrittstemperatur	ϑ_a	60 °C
Mittlere Temperatur	ϑ_m	70 °C
Druck (abs.)	p	4 bar

Stoffwerte

Fluid flüssig / gasförmig?	flüssig	
Dichte	ρ	977.9 kg/m ³
Spezifische Wärmekapazität	c_p	4187 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ	0.6598 W/(m·K)
Dynamische Viskosität	η	0.4036 mPa·s
Kinematische Viskosität	ν	4.128e-7 m ² /s
Prandtl-Zahl	Pr	2.562
Prandtl-Zahl bei Wandtemperatur	Pr_W	2.992
Wandtemperatur	ϑ_W	60.06 °C

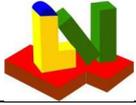
Geometrie

Rohr kreisförmig / nicht kreisförmig?	Kreisförmige Rohre	
Rohrlänge	l	3000 mm
Rohrinnendurchmesser	d_i	16 mm
Querschnittsfläche des Rohres	f	2.011e-4 m ²
Umfang des Rohres	u	50.26 mm
Hydraulischer Durchmesser	d_h	16 mm

Wärmeübergang

Strömungsgeschwindigkeit	w	1.356 m/s
Reynolds-Zahl	Re	52574
Nusselt-Zahl	Nu	223.3
Wärmeübergangskoeffizient	α	9209 W/(m ² ·K)

Leistung	$Q = m_{\text{tot}} \cdot c_p \cdot (\vartheta_a - \vartheta_e)$	Q	kW
----------	------------------------------------------------------------------	-----	----

**Gleichungen**

Konstante Wandtemperatur

Turbulente Strömung (Re > 10000)

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_h} = \frac{223.3 \cdot 0.6598 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}}{0.016 \text{ m}} = 9209 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

$$Nu = Nu_{m,T} \cdot K = 227.2 \cdot 0.9831 = 223.3$$

$$Re = \frac{w \cdot d_h \cdot \rho}{\eta} = \frac{1.356 \text{ m/s} \cdot 0.016 \text{ m} \cdot 977.9 \text{ kg/m}^3}{0.4036 \text{ mPa}\cdot\text{s}} = 52574$$

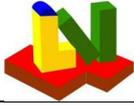
$$\xi = [1.8 \cdot \log Re - 1.5]^{-2} = [1.8 \cdot \log 52574 - 1.5]^{-2} = 0.02042$$

$$Nu_{m,T} = \frac{\frac{\xi}{8} \cdot Re \cdot Pr}{1 + 12.7 \cdot \sqrt{\frac{\xi}{8} \cdot (Pr^{2/3} - 1)}} \cdot \left[1 + \left(\frac{d_h}{l} \right)^{2/3} \right] = \frac{\frac{0.02042}{8} \cdot 52574 \cdot 2.562}{1 + 12.7 \cdot \sqrt{\frac{0.02042}{8} \cdot ((2.562)^{2/3} - 1)}} \cdot \left[1 + \left(\frac{0.016 \text{ m}}{3 \text{ m}} \right)^{2/3} \right] = 227.2$$

Korrekturfaktor K (Einfluß der Temperaturabhängigkeit der Stoffwerte)

Flüssigkeiten

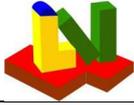
$$K = \left(\frac{Pr}{Pr_w} \right)^{0.11} = \left(\frac{2.562}{2.992} \right)^{0.11} = 0.9831$$



Wärmeübertragung im Außenraum von Rohrbündelwärmeübertragern mit Umlenkblechen

Geometrische Größen

Rohranordnung	versetzt		
Mantelinnendurchmesser	D_i	393.8	mm
Bündeldurchmesser im Bereich der Querströmungszone	D_B	362	mm
Rohraußendurchmesser	d_a	20	mm
Rohrteilung quer zur Strömungsrichtung	s_1	26	mm
Rohrteilung längs in Strömungsrichtung	s_2	22.52	mm
Durchmesser der Umlenkbleche	D_l	390.8	mm
Höhe des Ausschnitts aus den Umlenkblechen	H	86.64	mm
Durchmesser der Bohrungen im Umlenkblech	d_B	20.8	mm
Abstand der Umlenkbleche	S	110	mm
Anzahl der Rohre einschließlich der vorhandenen Blind- und Stützrohre	n	150	
Anzahl der Rohre im oberen und unteren Fenster	n_F	40	
Hauptwiderstände in der Querströmungszone	n_W	9	
Anzahl der Verbindungsstrecken	n_V	13	
Abstand der äußeren Rohre zum Mantel	e_1	15.91	mm
Kürzeste Verbindungsstrecke zwischen Rohr und Rohr	e	6	mm
Kürzeste Verbindungsstrecke in der Mitte	L_E	109.8	mm
Anzahl der Abdichtungsstreifenpaare	n_S	0	
Anzahl der mantelseitigen Durchgänge	N_D	1	
Medium			
Massenstrom	m	43732	kg/h
Volumenstrom	V	44.01	m ³ /h
Eintrittstemperatur	ϑ_e	20	°C
Austrittstemperatur	ϑ_a	53	°C
Mittlere Temperatur	ϑ_m	36.5	°C
Fluid flüssig / gasförmig?		flüssig	
Dichte	ρ	993.6	kg/m ³
Spezifische Wärmekapazität	c_p	4178	J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ	0.6242	W/(m·K)
Dynamische Viskosität	η	0.6981	mPa·s
Kinematische Viskosität	ν	7.026e-7	m ² /s
Prandtl-Zahl	Pr	4.673	
Prandtl-Zahl bei Rohrwandtemperatur	Pr_W	3.622	
Reynolds-Zahl	$Re_{\psi,1}$	31881	
Wärmeübergangskoeffizient	α	6136	W/(m ² ·K)

**Ergebnisse**

$$\alpha = \frac{Nu_{0,AW} \cdot \lambda}{\frac{\pi}{2} \cdot d_a} \cdot K = \frac{289.8 \cdot 0.6242 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}}{\frac{\pi}{2} \cdot 0.02 \text{ m}} \cdot 1.066 = 6136 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

$$Nu_{0,AW} = f_W \cdot Nu_{0,Bundle} = 0.5413 \cdot 535.3 = 289.8$$

$$f_W = f_G \cdot f_L \cdot f_B = 1.077 \cdot 0.6906 \cdot 0.728 = 0.5413$$

Berechnung von $Nu_{0,Bundle}$

$$a = \frac{s_1}{d_a} = \frac{0.026 \text{ m}}{0.02 \text{ m}} = 1.3$$

$$b = \frac{s_2}{d_a} = \frac{0.02252 \text{ m}}{0.02 \text{ m}} = 1.126$$

$$\psi = 1 - \frac{\pi}{4 \cdot a} = 1 - \frac{\pi}{4 \cdot 1.3} = 0.3958$$

$$w = \frac{V}{D_i \cdot S} = \frac{0.01223 \text{ m}^3/\text{s}}{0.3938 \text{ m} \cdot 0.11 \text{ m}} = 0.2822 \text{ m/s}$$

$$Re_{\psi,1} = \frac{\frac{\pi}{2} \cdot d_a \cdot w}{\psi \cdot \nu} = \frac{\frac{\pi}{2} \cdot 0.02 \text{ m} \cdot 0.2822 \text{ m/s}}{0.3958 \cdot 7.026 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}} = 31881$$

$$Nu_{1,lam} = 0.664 \cdot \sqrt{Re_{\psi,1}} \cdot \sqrt[3]{Pr} = 0.664 \cdot \sqrt{31881} \cdot \sqrt[3]{4.673} = 198.2$$

$$Nu_{1,turb} = \frac{0.037 \cdot Re_{\psi,1}^{0.8} \cdot Pr}{1 + 2.443 \cdot Re_{\psi,1}^{-0.1} \cdot (Pr^{2/3} - 1)} = \frac{0.037 \cdot (31881)^{0.8} \cdot 4.673}{1 + 2.443 \cdot (31881)^{-0.1} \cdot ((4.673)^{2/3} - 1)} = 271.2$$

$$Nu_{1,0} = 0.3 + \sqrt{Nu_{1,lam}^2 + Nu_{1,turb}^2} = 0.3 + \sqrt{(198.2)^2 + (271.2)^2} = 336.2$$

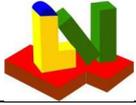
$$Nu_{0,Bundle} = f_A \cdot Nu_{1,0} = 1.592 \cdot 336.2 = 535.3$$

$$f_A = 1 + \frac{2}{3 \cdot b} = 1 + \frac{2}{3 \cdot 1.126} = 1.592$$

Berechnung von f_G

$$R_G = \frac{n_F}{\left(\frac{n}{N_D}\right)} = \frac{40}{\left(\frac{150}{1}\right)} = 0.2667$$

$$f_G = 1 - R_G + 0.524 \cdot R_G^{0.32} = 1 - 0.2667 + 0.524 \cdot (0.2667)^{0.32} = 1.077$$



Berechnung von f_L

$$A_{SRU} = \left(\frac{n}{N_D} - \frac{n_F}{2} \right) \cdot \frac{\pi \cdot (d_B^2 - d_a^2)}{4} = \left(\frac{150}{1} - \frac{40}{2} \right) \cdot \frac{\pi \cdot ((0.0208 \text{ m})^2 - (0.02 \text{ m})^2)}{4} = 0.003333 \text{ m}^2$$

$$\gamma = 2 \cdot \arccos \left(1 - \frac{2 \cdot H}{D_1} \right) = 2 \cdot \arccos \left(1 - \frac{2 \cdot 0.08664 \text{ m}}{0.3908 \text{ m}} \right) = 112.4^\circ$$

$$A_{SMU} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_i^2 - D_1^2) \cdot \frac{(360 - \gamma)}{360 \cdot N_D} = \frac{\pi}{4} \cdot ((0.3938 \text{ m})^2 - (0.3908 \text{ m})^2) \cdot \frac{(360 - 112.4^\circ)}{360 \cdot 1} = 0.001272 \text{ m}^2$$

$$A_{SG} = A_{SRU} + A_{SMU} = 0.003333 \text{ m}^2 + 0.001272 \text{ m}^2 = 0.004604 \text{ m}^2$$

$$A_E = S \cdot L_E = 0.11 \text{ m} \cdot 0.1098 \text{ m} = 0.01208 \text{ m}^2$$

$$R_L = \frac{A_{SG}}{A_E} = \frac{0.004604 \text{ m}^2}{0.01208 \text{ m}^2} = 0.3811$$

$$f_L = 0.4 \cdot \frac{A_{SRU}}{A_{SG}} + \left[1 - 0.4 \cdot \frac{A_{SRU}}{A_{SG}} \right] \cdot \exp(-1.5 \cdot R_L) =$$

$$0.4 \cdot \frac{0.003333 \text{ m}^2}{0.004604 \text{ m}^2} + \left[1 - 0.4 \cdot \frac{0.003333 \text{ m}^2}{0.004604 \text{ m}^2} \right] \cdot \exp(-1.5 \cdot 0.3811) = 0.6906$$

Berechnung von f_B

für $n_S \leq n_W / 2$

$$A_B = S \cdot (D_i - D_B - e) =$$

$$0.11 \text{ m} \cdot (0.3938 \text{ m} - 0.362 \text{ m} - 0.006 \text{ m}) = 0.002841 \text{ m}^2$$

für $e < (D_i - D_B)$

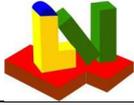
$$R_B = \frac{A_B}{A_E} = \frac{0.002841 \text{ m}^2}{0.01208 \text{ m}^2} = 0.2351$$

$$f_B = \exp \left[-\beta \cdot R_B \cdot \left(1 - \sqrt[3]{\frac{2 \cdot n_S}{n_W}} \right) \right] = \exp \left[-1.35 \cdot 0.2351 \cdot \left(1 - \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 0}{9}} \right) \right] = 0.728$$

Korrekturfaktor K (Einfluß der Temperaturabhängigkeit der Stoffwerte)

Erwärmen von Flüssigkeiten

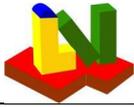
$$K = \left(\frac{Pr}{Pr_W} \right)^{0.25} = \left(\frac{4.673}{3.622} \right)^{0.25} = 1.066$$



Reale logarithmische Temperaturdifferenz und Temperaturverteilung nach dem Zellenmodell

Reale logarithmische Temperaturdifferenz und Temperaturverteilung nach dem Zellenmodell für Rohrbündelwärmeübertrager

Innentemperatur am Eintritt	t_{i1}	80 °C
Außentemperatur am Eintritt	t_{a1}	20 °C
Massenstrom auf der Innenseite	m_i	72000 kg/h
Massenstrom auf der Außenseite	m_a	43732 kg/h
Spezifische Wärmekapazität auf der Innenseite	$c_{p,i}$	4187 J/(kg·K)
Spezifische Wärmekapazität auf der Außenseite	$c_{p,a}$	4178 J/(kg·K)
Wärmekapazitätsstrom auf der Innenseite; $W_{w,i} = m_i \cdot c_{p,i}$	$W_{w,i}$	83749 W/K
Wärmekapazitätsstrom auf der Außenseite; $W_{w,a} = m_a \cdot c_{p,a}$	$W_{w,a}$	50757 W/K
Anzahl der Umlenkleche	N_U	20
Anzahl der mantelseitigen Durchgänge	N_s	1
Anzahl der rohrseitigen Durchgänge	N_t	2
Spiegel- plus Manteltyp		1
Anzahl der Rohrreihen je Zelle		4
Vorhandener Wärmedurchgangskoeffizient	k	2186 W/(m ² ·K)
Vorhandene Wärmeübertragungsfläche	A	28.27 m ²
Quervermischung: 0 = keine; 0.5 = total		0
Rohrströmung: gegensinnig = 1; gleichsinnig = 2		1
Schaltung: Kreuzgegen = 1; Kreuzgleich = 2		101
Innentemperatur am Austritt	t_{i2}	59.32 °C
Außentemperatur am Austritt	t_{a2}	54.12 °C
Logarithmische Temperaturdifferenz im Gegenstrom	ΔT_{Geg}	32.14 K
Korrekturfaktor	FN	0.8717
Real wirkende Temperaturdifferenz	ΔT_m	28.01 K
Anzahl der Zellen		42
Wärmedurchgangsprodukt $k \cdot A$		61817 W/K
Wärmedurchgangsprodukt $k \cdot A$ pro Zelle		1472 W/K
Wirkungsgrad der Innenseite		0.3446
Wirkungsgrad der Außenseite		0.5686
Zellenwirkungsgrad der Innenseite		0.01717
Zellenwirkungsgrad der Außenseite		0.02834
Maximale Temperatur auf der Innenseite	$t_{i,max}$	80 °C
Maximale Temperatur auf der Außenseite	$t_{a,max}$	54.12 °C
Minimale Temperatur auf der Innenseite	$t_{i,min}$	59.32 °C
Minimale Temperatur auf der Außenseite	$t_{a,min}$	20 °C
Maximale Temperaturinversion in einer Zelle	t_{inv}	0 °C



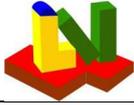
Rohrseitiger Druckverlust in Rohrbündelwärmeübertragern

Stoffwerte

	Mittlere Temperatur <i>flüssig</i>	Wandtemperatur
Fluid: flüssig / gasförmig?		
Eintrittstemperatur	ϑ_e 80 °C	
Austrittstemperatur	ϑ_a 60 °C	
Mittlere Temperatur $\vartheta_m = (\vartheta_e + \vartheta_a) / 2$	ϑ_m 70 °C	60.06 °C
Eintrittsdruck (abs.)	P_e 4 bar	
Dichte	ρ 977.9 kg/m ³	982.6 kg/m ³
Spezifische Wärmekapazität	cp 4187 J/(kg·K)	
Wärmeleitfähigkeit	λ 0.6598 W/(m·K)	
Dynamische Viskosität	η 0.4036 mPa·s	0.4657 mPa·s

Geometrische Größen

Bauart: Gerades Rohr / U-Rohr?		Geradrohr
Rohraußendurchmesser	d_a	20 mm
Wanddicke der Rohre	s	2 mm
Rohrinnendurchmesser	d_i	16 mm
Anzahl der rohrseitigen Durchgänge	n_P	2
Anzahl der Rohre pro Durchgang	n_R	75
Länge der Rohre pro Durchgang	L	3000 mm
Innendurchmesser des Eintrittsstutzens	$d_{N,e}$	131.7 mm
Innendurchmesser des Austrittsstutzens	$d_{N,a}$	131.7 mm
Erdbeschleunigung	g	9.81 m/s ²
Massenstrom	m	20 kg/s
Volumenstrom	V	73.63 m ³ /h
Mittlere Geschwindigkeit im Rohr	w	1.356 m/s
Mittlere Geschwindigkeit im Eintrittsstutzen	$w_{N,e}$	1.501 m/s
Mittlere Geschwindigkeit im Austrittsstutzen	$w_{N,a}$	1.501 m/s
Reynolds-Zahl	Re	52564
Prandtl-Zahl	Pr	2.562
Grashof-Zahl	Gr	1136330
Widerstandsbeiwert (Einlauf, Auslauf und Umlenkung)	Ke	3.2
Widerstandsbeiwert (Fanning, Rohr, isotherm)	ξ_{is}	0.006247
Korrekturfaktor für die Viskosität	Φ	1.022
Korrekturfaktor für die Konvektion	ψ	1
Widerstandsbeiwert (Rohr) ($\xi = \xi_{is} \cdot \Phi \cdot \psi$)	ξ	0.006386
Druckverlust im Eintrittsstutzen	$\Delta P_{N,e}$	991.9 Pa
Druckverlust im Austrittsstutzen	$\Delta P_{N,a}$	991.9 Pa
Druckverlust (Einlauf, Auslauf und Umlenkung)	ΔP_e	2877 Pa
Druckverlust durch Reibung	ΔP_t	8612 Pa
Verschmutzungsfaktor	F_t	1.364
Druckverlust gesamt ($\Delta P = F_t \cdot \Delta P_t + \Delta P_e + \Delta P_{N,e} + \Delta P_{N,a}$)	ΔP	16607 Pa



Gleichungen

$$w = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot d_i^2 \cdot \eta_R \cdot \rho} = \frac{4 \cdot 20 \text{ kg/s}}{\pi \cdot (0.016 \text{ m})^2 \cdot 75 \cdot 977.9 \text{ kg/m}^3} = 1.356 \text{ m/s}$$

$$w_{N,e} = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot d_{N,e}^2 \cdot \rho} = \frac{4 \cdot 20 \text{ kg/s}}{\pi \cdot (0.1317 \text{ m})^2 \cdot 977.9 \text{ kg/m}^3} = 1.501 \text{ m/s}$$

$$w_{N,a} = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot d_{N,a}^2 \cdot \rho} = \frac{4 \cdot 20 \text{ kg/s}}{\pi \cdot (0.1317 \text{ m})^2 \cdot 977.9 \text{ kg/m}^3} = 1.501 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{w \cdot d_i \cdot \rho}{\eta} = \frac{1.356 \text{ m/s} \cdot 0.016 \text{ m} \cdot 977.9 \text{ kg/m}^3}{4.036 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 52564$$

$$Pr = \eta \cdot \frac{cp}{\lambda} = 4.036 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s} \cdot \frac{4187 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})}{0.6598 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})} = 2.562$$

$$Gr = \frac{g \cdot d_i^3 \cdot |\rho - \rho_w|}{\left(\frac{\eta}{\rho}\right)^2} = \frac{9.81 \text{ m/s}^2 \cdot (0.016 \text{ m})^3 \cdot |977.9 \text{ kg/m}^3 - 982.6 \text{ kg/m}^3|}{\left(\frac{4.036 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}}{977.9 \text{ kg/m}^3}\right)^2} = 1136330$$

$$Ke = 1.6 \cdot \eta_p = 1.6 \cdot 2 = 3.2 \quad \text{Gerade Rohre, mehrere Durchgänge}$$

$$\xi_{is} = 0.0035 + 0.264 \cdot Re^{-0.42} = 0.0035 + 0.264 \cdot (52564)^{-0.42} = 0.006247$$

$$\Phi = \Phi\left(Re; \eta / \eta_w\right) = \Phi(52564; 0.8667) = 1.022$$

$$\psi = \psi\left(Re; Gr \cdot Pr \cdot \eta / \eta_w\right) = \psi(52564; 2522981) = 1$$

$$\xi = \xi_{is} \cdot \Phi \cdot \psi = 0.006247 \cdot 1.022 \cdot 1 = 0.006386$$

$$\Delta P_e = Ke \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} = 3.2 \cdot 977.9 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{(1.356 \text{ m/s})^2}{2} = 2877 \text{ Pa}$$

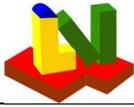
$$\Delta P_t = 2 \cdot \xi \cdot \frac{\rho \cdot w^2 \cdot \eta_p \cdot L}{d_i} = 2 \cdot 0.006386 \cdot \frac{977.9 \text{ kg/m}^3 \cdot (1.356 \text{ m/s})^2 \cdot 2 \cdot 3 \text{ m}}{0.016 \text{ m}} = 8612 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{N,e} = 0.9 \cdot \frac{\rho_e}{2} \cdot w_{N,e}^2 = 0.9 \cdot \frac{977.9 \text{ kg/m}^3}{2} \cdot (1.501 \text{ m/s})^2 = 991.9 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{N,a} = 0.9 \cdot \frac{\rho_a}{2} \cdot w_{N,a}^2 = 0.9 \cdot \frac{977.9 \text{ kg/m}^3}{2} \cdot (1.501 \text{ m/s})^2 = 991.9 \text{ Pa}$$

$$F_t = \left[\frac{d_a^{-2} \cdot s}{d_a^{-2.2} \cdot s - 0.00182 \cdot d_a^{0.3}} \right]^5 = \left[\frac{0.02 \text{ m}^{-2} \cdot 0.002 \text{ m}}{0.02 \text{ m}^{-2.2} \cdot 0.002 \text{ m} - 0.00182 \cdot (0.02 \text{ m})^{0.3}} \right]^5 = 1.364$$

$$\Delta P = F_t \cdot \Delta P_t + \Delta P_e + \Delta P_{N,e} + \Delta P_{N,a} = 1.364 \cdot 8612 \text{ Pa} + 2877 \text{ Pa} + 991.9 \text{ Pa} + 991.9 \text{ Pa} = 16607 \text{ Pa}$$



Rohrbündel Schwingungs-Analyse

Allgemeiner Ansatz

Rohraußendurchmesser	d_a	20 mm	
Wanddicke der Rohre	s	2 mm	
Rohrinnendurchmesser	d_i	16 mm	
Rohrteilung quer zur Strömungsrichtung	s_1	26 mm	
Rohrteilung längs in Strömungsrichtung	s_2	22.52 mm	
Querteilungsverhältnis	s_1/d_a	1.3	
Längsteilungsverhältnis	s_2/d_a	1.126	
Querschnittsfläche der Rohre	A	113 mm ²	
Flächenträgheitsmoment der Rohre	J	4629 mm ⁴	
Elastizitätsmodul des Rohrwerkstoffs	E	200000 N/mm ²	
Wirksame Dichte des Rohrwerkstoffs	ρ	7850 kg/m ³	
Lagerung der Rohre		gelenkig - eingespannt	
Korrekturfaktor für die Lagerung der Rohre	C	3.93	
Korrekturfaktor für Zusatzkräfte	C_f	1	
Anordnung der Rohre		Versetzte glatte Rohre	
Strouhal-Zahl des Bündels	Sr	0.2292	
Ausgeführte Stützweite der Rohre	L	235 mm	345 mm
Geschwindigkeit im engsten Querschnitt	w_e	0.8975 m/s	1.012 m/s
Eigenfrequenz der Rohre	f_R	1438 1/s	667.1 1/s
Sicherheitsfaktor	S	1.5	
Zulässige Erregerfrequenz	$f_z = f_R/S$	958.5 1/s	444.7 1/s
Erregerfrequenz der Strömung	f_{err}	10.29 1/s	11.6 1/s

Schwingungsgefahr, wenn $f_{err} > f_z$

Gleichungen

$$d_i = d_a - 2 \cdot s = 20 \text{ mm} - 2 \cdot 2 \text{ mm} = 16 \text{ mm}$$

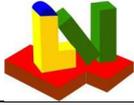
$$A = \frac{\pi}{4} \cdot [d_a^2 - d_i^2] = \frac{\pi}{4} \cdot [(20 \text{ mm})^2 - (16 \text{ mm})^2] = 113 \text{ mm}^2$$

$$J = \frac{\pi}{64} \cdot [d_a^4 - d_i^4] = \frac{\pi}{64} \cdot [(20 \text{ mm})^4 - (16 \text{ mm})^4] = 4629 \text{ mm}^4$$

$$f_R = \frac{10^6}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\frac{C}{L} \right]^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{\rho \cdot A}} \cdot C_f = \frac{10^6}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\frac{3.93}{235 \text{ mm}} \right]^2 \cdot \sqrt{\frac{200000 \text{ N/mm}^2 \cdot 4629 \text{ mm}^4}{7850 \text{ kg/m}^3 \cdot 113 \text{ mm}^2}} \cdot 1 = 1438 \text{ 1/s}$$

$$f_z = \frac{f_R}{S} = \frac{1438 \text{ 1/s}}{1.5} = 958.5 \text{ 1/s}$$

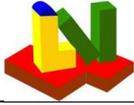
$$f_{err} = \frac{Sr \cdot w_e}{\frac{d_a}{1000}} = \frac{0.2292 \cdot 0.8975 \text{ m/s}}{\frac{20 \text{ mm}}{1000}} = 10.29 \text{ 1/s}$$



Druckverlust in umströmten Rohrbündeln in Wärmeübertragern mit und ohne Umlenkbleche

Druckverlust im Außenraum von Rohrbündel-Wärmeübertragern mit Segmentumlänkblechen

Mantelinnendurchmesser	D_i	393.8 mm
Bündeldurchmesser im Bereich der Querströmungszone	D_B	362 mm
Bündeldurchmesser (Querströmungs- und Fensterzone)	D_{BE}	367.4 mm
Rohraußendurchmesser	d_a	20 mm
Rohrteilung quer zur Strömungsrichtung	s_1	26 mm
Rohrteilung längs in Strömungsrichtung	s_2	22.52 mm
Teilungswinkel		60 °
Durchmesser der Umlenkbleche	D_l	390.8 mm
Anzahl der Umlenkbleche	n_U	24
Höhe des Ausschnittes aus den Umlenkblechen	H	86.64 mm
Durchmesser der Bohrungen im Umlenklech	d_B	20.8 mm
Abstand der Umlenkleche	S	110 mm
Abstand Rohrboden - 1. Umlenklech	S_E	235 mm
Anzahl der Rohre im Bündel einschließlich der vorhandenen Blind- und Stützrohre	n	150
Anzahl der Rohre im oberen und unteren Fenster	n_F	40
Anzahl der Rohrreihen in der Fensterzone	n_{RF}	2.5
Anzahl der Hauptwiderstände in der Querströmungszone	n_W	9
Anzahl der Hauptwiderstände in der Endzone	n_{WE}	11.5
Anzahl der Verbindungsstrecken	n_V	13
Abstand der äußeren Rohre zum Mantel	e_1	15.91 mm
Anzahl der Abdichtungsstreifenpaare	n_S	0
Anzahl der mantelseitigen Durchgänge	N_D	1
Innendurchmesser des Eintrittsstutzens	d_{Ni}	131.7 mm
Innendurchmesser des Austrittsstutzens	d_{No}	131.7 mm
Fluid		
Massenstrom	m	43732 kg/h
Volumenstrom	V	44.01 m ³ /h
Eintrittsdruck	P_E	300000 Pa
Eintrittstemperatur	ϑ_E	20 °C
Austrittstemperatur	ϑ_A	53 °C
Mittlere Temperatur	ϑ	36.5 °C
Medium flüssig / gasförmig?		flüssig
Dichte	ρ	993.6 kg/m ³
Spezifische Wärmekapazität	c_p	4178 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ	0.6242 W/(m·K)
Dynamische Viskosität	η	0.6981 mPa·s
Prandtl-Zahl	Pr	4.673
Mittlere Wandtemperatur	ϑ_W	49.16 °C
Dynamische Viskosität bei mittlerer Wandtemperatur	η_W	0.5544 mPa·s
Gesamter Druckverlust	Δp_{total}	25951 Pa



Druckverlust im Außenraum von Rohrbündel-Wärmeübertragern mit Segmentumlenkblechen

Querströmungszone

$$(n_U - 1) \cdot N_D \cdot \Delta p_Q = (24 - 1) \cdot 1 \cdot 301.7 \text{ Pa} = 6939 \text{ Pa}$$

Endzone

$$2 \cdot \Delta p_{Q,E} = 2 \cdot 265.9 \text{ Pa} = 531.7 \text{ Pa}$$

Fensterzone

$$n_U \cdot N_D \cdot \Delta p_F = 24 \cdot 1 \cdot 715.5 \text{ Pa} = 17173 \text{ Pa}$$

Mantelstutzen

$$\Delta p_{N,i} + \Delta p_{N,o} = 746.8 \text{ Pa} + 560.3 \text{ Pa} = 1307 \text{ Pa}$$

Gesamter Druckverlust

$$\Delta p_{\text{total}} = 25951 \text{ Pa}$$

Ergebnisse

a **1.3** b **1.126** c **1.3** e **6** mm

Querströmungszone

L_E **109.8** mm A_E **0.01208** m² w_e **1.012** m/s

$f_{a,l,f}$ **205.1** $f_{a,t,f}$ **0.6908** $f_{a,l,v}$ **205.1**

$f_{a,t,v}$ **5.342** $f_{z,l}$ **0.9896** $f_{z,t}$ **0.9682**

ξ_l **0.00712** ξ_t **0.41** ξ **0.404**

A_{SRU} **0.003333** m² A_{SMU} **0.001272** m² A_{SG} **0.004604** m²

R_M **0.2762** R_L **0.3811** r **0.6086**

γ **112.4** ° Re **28808** β **3.7**

R_S **0** R_B **0.2351** A_B **0.002841** m²

f_L **0.3892** f_B **0.4189** $\Delta p_{Q,0}$ **1850** Pa

Δp_Q **301.7** Pa

Endzone

Re_E **13485** $A_{E,E}$ **0.02581** m² $w_{e,E}$ **0.4737** m/s

$f_{B,E}$ **0.4189** $\Delta p_{QE,0}$ **634.6** Pa Δp_{QE} **265.9** Pa

Fensterzone

A_{FG} **0.02036** m² A_{FR} **0.006283** m² A_F **0.01407** m²

w_p **0.8687** m/s w_z **0.9376** m/s n_{WF} **3.078**

d_h **34.27** mm U_F **1643** mm

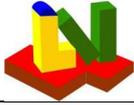
$\Delta p_{F,l}$ **884.5** Pa $\Delta p_{F,t}$ **1680** Pa Δp_F **715.5** Pa

Mantelstutzen

$w_{N,i}$ **0.8975** m/s $w_{N,o}$ **0.8975** m/s

$\xi_{N,i}$ **1.866** $\xi_{N,o}$ **1.4**

$\Delta p_{N,i}$ **746.8** Pa $\Delta p_{N,o}$ **560.3** Pa Δp_N **1307** Pa



CAD Programm für Rohrbündelwärmeübertrager

TEMA-Typ AEL

TEMA Frontkopf A Mantel E Endkopf L

Medium	Wasser	Rohrseite		Mantelseite	
Eintrittsdruck (abs.)		p_i	400000 Pa	p_a	300000 Pa
Druckstufe		PN	5	PN	5
Eintrittstemperatur		$\vartheta_{e,i}$	80 °C	$\vartheta_{e,a}$	20 °C
Austrittstemperatur		$\vartheta_{a,i}$	60 °C	$\vartheta_{a,a}$	53 °C
Mittlere Temperatur		$\vartheta_{m,i}$	70 °C	$\vartheta_{m,a}$	36.5 °C
Berechnungstemperatur			100 °C		70 °C
Berechnungsdruck			500000 Pa		400000 Pa

Eintrittsstutzen	aufgesetzt	aufgesetzt
Flanschtyp	Festflansch (Vorschweißflansch) mit Ansatz	Festflansch (Vorschweißflansch) mit Ansatz
Flanschanschlussnennweite	DN 125	DN 125
Außendurchmesser	139.7 mm	139.7 mm
Stutzenwanddicke	4 mm	4 mm
Innendurchmesser	131.7 mm	131.7 mm

Austrittsstutzen	aufgesetzt	aufgesetzt
Flanschtyp	Festflansch (Vorschweißflansch) mit Ansatz	Festflansch (Vorschweißflansch) mit Ansatz
Flanschanschlussnennweite	DN 125	DN 125
Außendurchmesser	139.7 mm	139.7 mm
Stutzenwanddicke	4 mm	4 mm
Innendurchmesser	131.7 mm	131.7 mm

CAD Daten
Bohrungsdurchmesser im Rohrboden mm

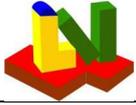
CAD Rohrbodenkonfiguration
Frontkopf a - Rohrboden mit Schale und Vorkammer verschweißt
Endkopf b - Rohrboden als Flansch / Schale verschweißt / Vorkammer abgedichtet / schmale Dichtung

Geometrie					
Mantelaußendurchmesser	D_a	406.4 mm	Mantelwanddicke	s_a	6.3 mm
Mantelinnendurchmesser	D_i	393.8 mm			
Abstand Bündel-Mantel		13.18 mm			
Rohraußendurchmesser	d_a	20 mm	Rohrinnendurchmesser	d_i	16 mm
Rohrteilung (quer)	s_1	26 mm	Rohrteilung (längs)	s_2	22.52 mm
Teilungswinkel	Φ	60 °	Gassenbreite	b	32 mm
Abst. der Umlenkleche		110 mm	Anzahl Umlenkleche / Gang		24
Abst. RB-1.Umlenklech		235 mm	Durchmesser Umlenkleche		390.8 mm
Bohrung im Umlenklech		20.8 mm	Größe des Fensters		22 %
Dichtungsstreifenpaare		0			

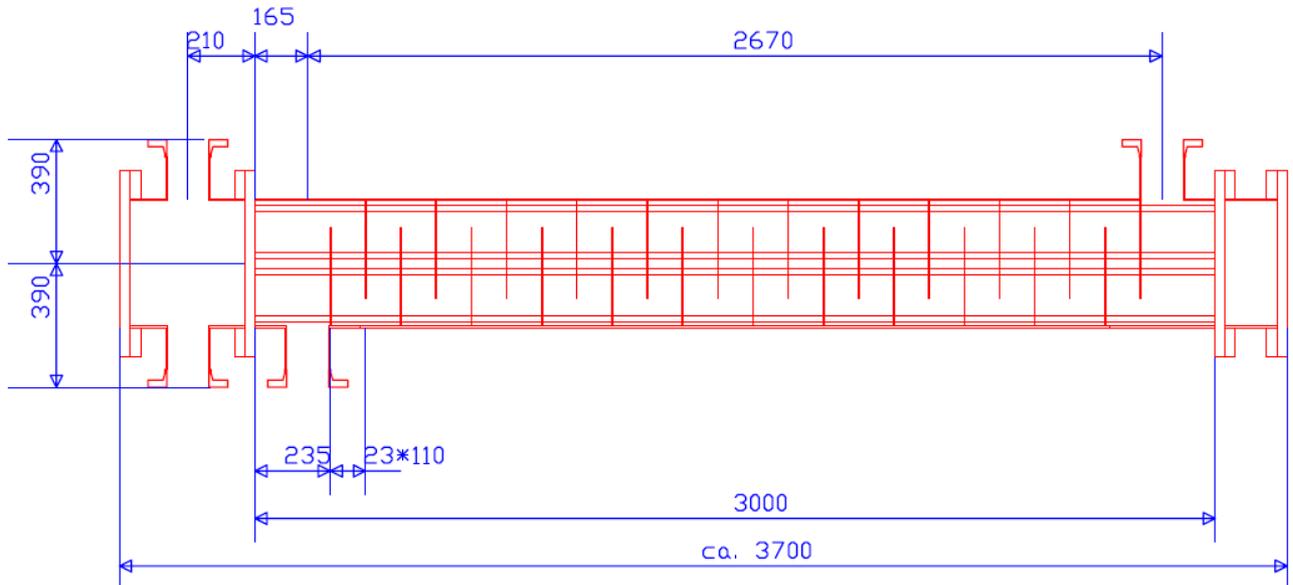
Anzahl der rohreseitigen Durchgänge n_R 2
Anzahl der mantelseitigen Durchgänge n_M 1

Bündellänge (ausgeführt) l_a 3000 mm
Mantellänge (ausgeführt) l_a 3000 mm

Anzahl der Rohre R 150
Kompensator Durchmesser mm
Plattendicke (Festplatte) 30 mm
Rohrbodenaußendurchmesser 370 mm
Plattendicke (Freie Platte) 30 mm
Rohrbodenaußendurchmesser (Schwimmkopf) 370 mm



CAD Skizze mit WCAD





EXCEL Spezifikationsblatt

Kunde		Job Nr.	
Adresse		Referenz-Nr.	
Projekt		Angebots-Nr.	
TEMA-Typ: AEL		Datum 20.11.2017	
Einbaulage: Waagrecht		Verschaltung: 1 seriell parallel	
Fluid Daten			
Fluid Name		Mantelseite	
Fluid Menge, total		Wasser	
Dampf (ein / aus)		20	
Flüssigkeit (ein / aus)		20	
Fluid Volumenstrom, total		73,63	
Dampf			
Wasser			
Inerte			
Temperatur (ein / aus)		°C	
		20 53 80 60	
Dichte		kg/m³	
		993,6 977,9	
Viskosität		mPa·s	
		0,6981 0,4036	
Molekulargewicht, Dampf		kg/kmol	
Molekulargewicht, Inerte		kg/kmol	
Spez. Wärmekapazität		J/(kg·K)	
		4178,3 4187,4	
Wärmeleitfähigkeit		W/(m·K)	
		0,6242 0,6598	
Latente Wärme		J/kg	
Eintrittsdruck (abs.)		bar	
		3 4	
Geschwindigkeit		m/s	
		1,01 1,36	
Druckverlust, Max. / Vorh.		Pa	
		25951 16607	
Fouling-Widerstand		m²·K/W	
		0 0	
Leistung		kW	
		1675	
Wärmedurchgangskoeffizient		W/(m²·K)	
		2186,3	
Log. Temp. Diff. (korrigiert)		K (diff)	
		28,83	
Wärmeübertragungsfläche		m²	
		28,3	
KONSTRUKTIONSDATEN EINES TAUSCHERS			Bild (Bündel/Stutzen Anordnung)
Auslegungs- / Testdruck		Pa	
Betriebstemperatur		°C	
Anzahl der Durchgänge		1 2	
Korrosionszuschlag		mm	
Anschlüsse ein		DN 125	
Größe & aus		DN 125	
Auslegung Zwischenstufe			
Rohrlänge		mm	
Rohrabmessungen (da x s)		mm	
Rohrteilung quer		mm	
Mantel-Innendurchmesser		mm	
Eintrittshaube / Kanal			
Festrohrbündel			
Schwimmkopphaube			
Umlenblech Durchmesser		mm	
Abstand der Umlenbleche		mm	
Abst. Rohrboden-1.Umlenblech		mm	
Dehnungsausgleich			
ρ · v² Bündel Eintritt		kg/(m·s²)	
Dichtung Mantelseite			
- Schwimmkopf			
Berechnungsstandards			
Gewicht / Mantel		kg	
Gewicht / Bündel		kg	
Bemerkungen			

