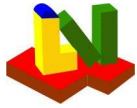


Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
Thermische und hydraulische Berechnung von Rohrbündel-Wärmeübertragern.....	2
Bearbeitung des Rohrspiegels Ermittlung der Rohrspiegeldaten	4
Grafische Darstellung	5
Stoffwerte von Wasser	6
Stoffwerte von Wasser	7
Wärmeübertragung bei der Strömung durch Rohre	8
Wärmeübertragung im Außenraum von Rohrbündelwärmeübertragern mit Umlenkblechen	11
Rohrbündel Schwingungs-Analyse	14
Rohrseitiger Druckverlust in Rohrbündelwärmeübertragern.....	15
Druckverlust im Außenraum von Rohrbündelwärmeübertragern mit und ohne Einbauten.....	17
CAD Programm für Rohrbündelwärmeübertrager	19
Reale log.Temperaturdifferenz und Temperaturverteilung nach dem Zellenmodell	20
Dokumentationsblatt für Wärmeübertrager	21
MS Excel Spezifikationsblatt	22
CAD erstellt mit WTSC.....	23
Rohrspiegel 3D mit Alibre Design aus SPIE.....	24

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



WTS Beispiel-Ausdruck

Thermische und hydraulische Berechnung von Rohrbündel-Wärmeübertragern

2011

Bewertung:

	erforderlich		ausgeführt		Flächenreserve
Übertragerfläche	A	26.34 m ²	Aa	25.13 m ²	-4.57 %
Bündellänge	l	4191 mm	la	4000 mm	

Ergebnisse:

Anzahl der Rohre	R	80	-
Wärmeübergangskoeffizient (innen)	α_i	9257	W/(m ² ·K)
Wärmeübergangskoeffizient (außen)	α_a	5870	W/(m ² ·K)
Wärmedurchgangskoeffizient	k	2251	W/(m ² ·K)
Log. mittl. Temperaturdifferenz (LMTD)	$\Delta\vartheta$	37.44	K
FN (Korrekturfaktor für LMTD)	FN	0.9434	-
Gesamter Foulingwiderstand	Rf	0	m ² ·K/W

Rohrseite:

Geschwindigk. im Rohr		1.474	m/s
Reynolds-Zahl	Re	72550	-
Druckverlust	Δp_i	17898	Pa
Wandtemperatur	ϑ_{wi}	56.64	°C

Mantelseite:

Geschwindigk. im Mantel		1.023	m/s
Geschw. im Fenster		2.048	m/s
Reynolds-Zahl	Re	43225	-
Druckverlust	Δp_a	45288	Pa
Wandtemperatur	ϑ_{wa}	44.38	°C

Eintrittsstutzen

Nennweite	DN	125
Außendurchmesser		139.7 mm
Innendurchmesser		131.7 mm
Geschwindigkeit		1.499 m/s

Eintrittsstutzen

Nennweite	DN	150
Außendurchmesser		168.3 mm
Innendurchmesser		159.3 mm
Geschwindigkeit		1.263 m/s
$\rho \cdot v^2$ Eintrittsstutzen		1588 kg/(m·s ²)

Austrittsstutzen

Nennweite	DN	125
Außendurchmesser		139.7 mm
Innendurchmesser		131.7 mm
Geschwindigkeit		1.499 m/s

Austrittsstutzen

Nennweite	DN	150
Außendurchmesser		168.3 mm
Innendurchmesser		159.3 mm
Geschwindigkeit		1.263 m/s

Gleichungen:

Wärmebilanz für die Rohrseite:

$$Q_i = m_i \cdot c_{p_i} \cdot (\vartheta_{a_i} - \vartheta_{e_i})$$

$$= \mathbf{-2094 \text{ kW}}$$

Wärmebilanz für die Mantelseite:

$$Q_a = m_a \cdot c_{p_a} \cdot (\vartheta_{a_a} - \vartheta_{e_a})$$

$$= \mathbf{2094 \text{ kW}}$$

Wärmebilanz:

$$Q_i = -(Q_a - Q_{v_a}) = -(\mathbf{2093942} - 0) = \mathbf{-2094 \text{ kW}}$$

Wärmedurchgangskoeffizient k:

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

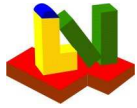
$$= \left[\frac{1}{\mathbf{9257}} + 0 \right] \cdot \frac{0.025}{0.021} + \frac{0.025 \ln(0.025 / 0.021)}{2 \cdot 15}$$

$$+ \frac{1}{\mathbf{5870}} + 0$$

$$k = \mathbf{2251 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}}$$

$$Q = k \cdot A \cdot \Delta\vartheta \cdot FN$$

$$= \mathbf{2251 \cdot 26.34 \cdot 37.44 \cdot 0.9434 = -2094 \text{ kW}}$$

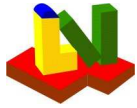


Bearbeitung des Rohrspiegels Ermittlung der Rohrspiegeldaten

Bezeichnung der Bauform:

Umlenkblech-Typ: Segmentumlenkbleche

Effektive Rohrlänge	l	4191	mm
Gesamte Oberfläche	A	26.34	m ²
Design = D; Rating / Simulation = R		< R >	
Anzahl der Wärmeübertrager in Serie		1	-
Ausgeführte Rohrlänge	la	4000	mm
Manteldurchmesser aussen	Da	406.4	mm
Manteldurchmesser innen	Di	388.8	mm
Bündeldurchmesser	Db	361.2	mm
Bündeldurchmesser im Bereich der Querströmungszone	Dbq	322.4	mm
Mindestabstand zw. Bündel und Mantel	Dm	12	mm
Abstand zwischen Bündel und Mantel	D	13.79	mm
Rohraussendurchmesser	da	25	mm
Rohrinnendurchmesser	di	21	mm
Teilung quer zur Strömungsrichtung	sq	32	mm
Teilung längs zur Strömungsrichtung	sl	27.71	mm
Teilungswinkel	Φ	60	°
Durchmesser der Umlenkbleche	Dl	385.8	mm
Höhe der Fenster in den Umlenkblechen	H	77.76	mm
Höhe der Fenster in % des Durchmessers		20	%
Anordnung: fluchtend = f / versetzt = v		< V >	
Fensterhöhe anpassen J / N		< >	
Anordnung: um das Zentralrohr = 0		< 0 >	-
um 1/2-Teilung versetzt = 1			
Keine Rohre in den Fenstern? Ja = 1		< 0 >	-
Anzahl der rohrseitigen Durchgänge		2	-
Anzahl der mantelseitigen Durchgänge		1	-
Bündel-Typ		< 1 >	-
Rohrgassenbreite (horizontal)		49	mm
Rohrgassenbreite (vertikal)		49	mm
Aussendurchmesser des Bodens	Da		mm
Teilkreisdurchmesser	Dt		mm
Schraubenanzahl auf dem Teilkreis			-
Drehwinkel des Teilkreises für Bohrbild			°
Anzahl der durchströmten Rohre	n	80	-
Anzahl der Blindrohre	nB	0	-
Anzahl der Zuganker	nZ	0	-
Gesamtanzahl Rohre, Blindrohre und Zuganker	nG	80	-
Anzahl der Rohre in den Fenstern	nF	19	-
Anzahl der Rohre in der Querströmungszone	nS	61	-
Anzahl der Randrohre erforderlich/vorhanden	RR	/	50
Anzahl der Rohrreihen im Fenster	nRF	1.5	-
Anzahl der Rohrreihen in der Querströmungszone	nW	7	-
Anzahl der Rohrreihen in der Endzone	nWE	8.5	-
Kürzeste Verbindungsstrecke in der Mitte	Le	129.4	mm
Kürzeste Verbindungsstrecke zwischen Rohr und Rohr	e	7	mm
Kürzeste Verbindungsstrecke zwischen Rohr und Mantel	e1	33.22	mm
Anzahl der Verbindungsstrecken	nV	9	-
Mittlere Entfernung der Randrohre-Bündelmittelpunkt	rh	139.2	mm



WTS Beispiel-Ausdruck

Thermische und hydraulische Berechnung von Rohrbündel-Wärmeübertragern

2011

Anzahl der Rohre, Blindrohre und Zuganker pro Durchgang:

Durchgang-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
	40	40	0	0	0	0	0	0

Umlenkleche:

Anzahl der Umlenkleche	N	19	-
Abstand der Umlenkleche	S1	190	mm
Abstand zwischen Boden - Umlenklech	S2	290	mm
Bohrungsdurchmesser im Umlenklech		25.8	mm

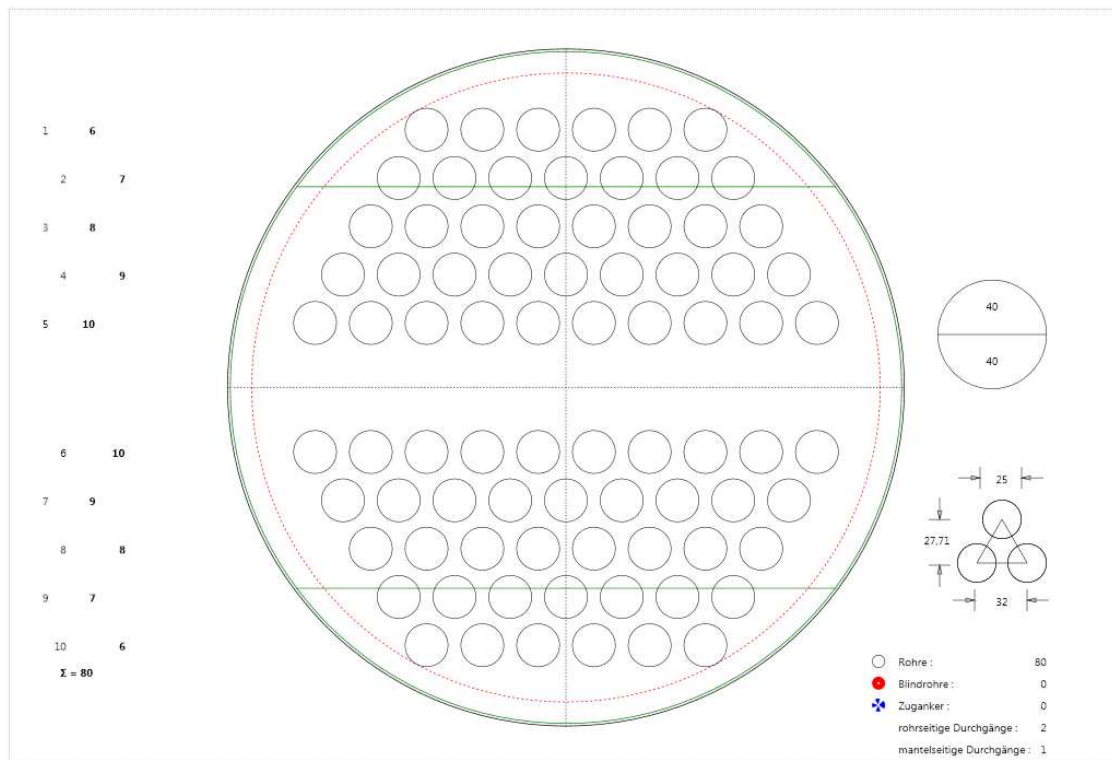
Stützen:

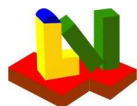
	Rohrseite	Mantelseite
Innendurchmesser des Einlaufstützens	131.7 mm	159.3 mm
Innendurchmesser des Auslaufstützens	131.7 mm	159.3 mm

Design Kriterien:

Maximale Bündellänge	mm
Maximales Verhältnis von l zu Db	-
Minimales Verhältnis von l zu Db	-

Grafische Darstellung





Stoffwerte von Wasser

Stoffwerte von Wasser und Wasserdampf

Berechnung für Sättigung J/N	Zustand 1:			Zustand 2:		
	<	N	>	<	N	>
Temperatur	ϑ_1	67.5	°C	ϑ_2	56.69	°C
Druck	p_1	300000	Pa	p_2	300000	Pa

Stoffwerte von Wasser und überhitztem Dampf:

	Zustand 1 Flüssig			Zustand 2 Flüssig		
Spezifische Enthalpie	h	282771	J/kg	h	237552	J/kg
Spez. innere Energie	u	282464	J/kg	u	237247	J/kg
Spezifische Entropie	s	924.2	J/(kg·K)	s	789.3	J/(kg·K)
Realgasfaktor	Z	0.001949	-	Z	0.002001	-
Spez. isob. Wärmekapaz.	c_p	4186	J/(kg·K)	c_p	4181	J/(kg·K)
Spez. isoch. Wärmekapaz.	c_v	3935	J/(kg·K)	c_v	3990	J/(kg·K)
Spezifisches Volumen	v	0.001021	m ³ /kg	v	0.001015	m ³ /kg
Dichte	ρ	979.3	kg/m ³	ρ	985	kg/m ³
Dynamische Viskosität	η	0.4179	mPa·s	η	0.4904	mPa·s
Kinematische Viskosität	ν	4.267E-7	m ² /s	ν	4.979E-7	m ² /s
Wärmeleitfähigkeit	λ	0.6576	W/(m·K)	λ	0.6477	W/(m·K)
Prandtl-Zahl	Pr	2.66	-	Pr	3.166	-
Temperaturleitfähigkeit	a	1.604E-7	m ² /s	a	1.573E-7	m ² /s
Oberflächenspannung	σ	64.92	mN/m	σ	66.81	mN/m
Therm. Ausdehnungskoeff.	β	0.000569	1/K	β	0.000502	1/K
Isentropenexponent	κ	7918	-	κ	7908	-
Schallgeschwindigkeit	w	1557	m/s	w	1552	m/s
Dielektrizitätskonstante	ϵ	64.52	-	ϵ	67.81	-

Stoffwerte von Satttdampf:

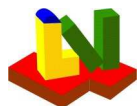
	Zustand 1		Zustand 2	
Spezifische Enthalpie	h	J/kg	h	J/kg
Spez. innere Energie	u	J/kg	u	J/kg
Spezifische Entropie	s	J/(kg·K)	s	J/(kg·K)
Realgasfaktor	Z	-	Z	-
Spez. isob. Wärmekapaz.	c_p	J/(kg·K)	c_p	J/(kg·K)
Spez. isoch. Wärmekapaz.	c_v	J/(kg·K)	c_v	J/(kg·K)
Spezifisches Volumen	v	m ³ /kg	v	m ³ /kg
Dichte	ρ	kg/m ³	ρ	kg/m ³
Dynamische Viskosität	η	mPa·s	η	mPa·s
Kinematische Viskosität	ν	m ² /s	ν	m ² /s
Wärmeleitfähigkeit	λ	W/(m·K)	λ	W/(m·K)
Prandtl-Zahl	Pr	-	Pr	-
Temperaturleitfähigkeit	a	m ² /s	a	m ² /s
Therm. Ausdehnungskoeff.	β	1/K	β	1/K
Isentropenexponent	κ	-	κ	-
Schallgeschwindigkeit	w	m/s	w	m/s
Dielektrizitätskonstante	ϵ	-	ϵ	-
Verdampfungsenthalpie	Δh_v	J/kg	Δh_v	J/kg
Verdampfungsentropie	Δs_v	J/(kg·K)	Δs_v	J/(kg·K)
Anteil verdampft	x	-	x	-
Enthalpie Naßdampf	hx	J/kg	hx	J/kg
Entropie Naßdampf	sx	J/(kg·K)	sx	J/(kg·K)

Charakteristische Größen:

Molmasse	M	18.02	g/mol
Gaskonstante	R	461.5	J/(kg·K)
Kritische Temp.	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 °C ≤ ϑ ≤ 800 °C
0.00612 bar ≤ p ≤ 1000 bar
0.01 °C ≤ ϑ ≤ 2000 °C
0.00612 bar ≤ p ≤ 500 bar



Stoffwerte von Wasser

Stoffwerte von Wasser und Wasserdampf

Berechnung für Sättigung J/N	Zustand 1:			Zustand 2:		
	< N >			< N >		
Temperatur	ϑ_1	30	°C	ϑ_2	44.37	°C
Druck	p_1	400000	Pa	p_2	400000	Pa

Stoffwerte von Wasser und überhitztem Dampf:

	Zustand 1			Zustand 2		
	Flüssig			Flüssig		
Spezifische Enthalpie	h	126106	J/kg	h	186166	J/kg
Spez. innere Energie	u	125704	J/kg	u	185762	J/kg
Spezifische Entropie	s	436.7	J/(kg·K)	s	630.2	J/(kg·K)
Realgasfaktor	Z	0.002871	-	Z	0.002755	-
Spez. isob. Wärmekapaz.	c_p	4179	J/(kg·K)	c_p	4178	J/(kg·K)
Spez. isoch. Wärmekapaz.	c_v	4117	J/(kg·K)	c_v	4051	J/(kg·K)
Spezifisches Volumen	v	0.001004	m ³ /kg	v	0.001009	m ³ /kg
Dichte	ρ	995.8	kg/m ³	ρ	990.6	kg/m ³
Dynamische Viskosität	η	0.7972	mPa·s	η	0.6025	mPa·s
Kinematische Viskosität	ν	8.006E-7	m ² /s	ν	6.082E-7	m ² /s
Wärmeleitfähigkeit	λ	0.6152	W/(m·K)	λ	0.6342	W/(m·K)
Prandtl-Zahl	Pr	5.416	-	Pr	3.969	-
Temperaturleitfähigkeit	a	1.478E-7	m ² /s	a	1.532E-7	m ² /s
Oberflächenspannung	σ	71.19	mN/m	σ	68.88	mN/m
Therm. Ausdehnungskoeff.	β	0.000303	1/K	β	0.000418	1/K
Isentropenexponent	κ	5687	-	κ	5863	-
Schallgeschwindigkeit	w	1511	m/s	w	1539	m/s
Dielektrizitätskonstante	ϵ	76.65	-	ϵ	71.76	-

Stoffwerte von Sattedampf:

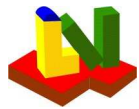
	Zustand 1		Zustand 2	
Spezifische Enthalpie	h	J/kg	h	J/kg
Spez. innere Energie	u	J/kg	u	J/kg
Spezifische Entropie	s	J/(kg·K)	s	J/(kg·K)
Realgasfaktor	Z	-	Z	-
Spez. isob. Wärmekapaz.	c_p	J/(kg·K)	c_p	J/(kg·K)
Spez. isoch. Wärmekapaz.	c_v	J/(kg·K)	c_v	J/(kg·K)
Spezifisches Volumen	v	m ³ /kg	v	m ³ /kg
Dichte	ρ	kg/m ³	ρ	kg/m ³
Dynamische Viskosität	η	mPa·s	η	mPa·s
Kinematische Viskosität	ν	m ² /s	ν	m ² /s
Wärmeleitfähigkeit	λ	W/(m·K)	λ	W/(m·K)
Prandtl-Zahl	Pr	-	Pr	-
Temperaturleitfähigkeit	a	m ² /s	a	m ² /s
Therm. Ausdehnungskoeff.	β	1/K	β	1/K
Isentropenexponent	κ	-	κ	-
Schallgeschwindigkeit	w	m/s	w	m/s
Dielektrizitätskonstante	ϵ	-	ϵ	-
Verdampfungsenthalpie	Δh_v	J/kg	Δh_v	J/kg
Verdampfungsentropie	Δs_v	J/(kg·K)	Δs_v	J/(kg·K)
Anteil verdampft	x	-	x	-
Enthalpie Naßdampf	hx	J/kg	hx	J/kg
Entropie Naßdampf	sx	J/(kg·K)	sx	J/(kg·K)

Charakteristische Größen:

Molmasse	M	18.02	g/mol
Gaskonstante	R	461.5	J/(kg·K)
Kritische Temp.	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 °C ≤ ϑ ≤ 800 °C
0.00612 bar ≤ p ≤ 1000 bar
0.01 °C ≤ ϑ ≤ 2000 °C
0.00612 bar ≤ p ≤ 500 bar



Wärmeübertragung bei der Strömung durch Rohre

Konstante Wandtemperatur

Kreisförmige Rohre

Eintrittstemperatur	ϑ_e		°C
Austrittstemperatur	ϑ_a		°C
Mittlere Temperatur	ϑ_m		°C
Dynamische Viskosität des Fluids	η	0.4179	mPa·s
Dichte des Fluids	ρ	979.2	kg/m³
Wärmeleitfähigkeit des Fluids	λ	0.6575	W/(m·K)
Spezifische Wärmekapazität des Fluids	c_p	4188	J/(kg·K)
Prandtl-Zahl	Pr	2.661	-
Prandtl-Zahl bei Wandtemperatur	PrW	3.166	-

Fluid: flüssig <0> oder gasförmig <1> < 0 >
 Kreisförmige Rohre = 0 < 0 >
 Nicht kreisförmige Rohre = 1

Rohrlänge	l	4000	mm
Innendurchmesser des Rohres	d_i	21	mm
Querschnittsfläche des Rohres	f	0.000346	m²
Umfang des Rohres	u	65.97	mm
⇒ Hydraulischer Durchmesser	d_h	21	mm

Gesamtmassenstrom	Mg		kg/h
Gesamtvolumenstrom	Vg		m³/h
Anzahl parallel durchströmter Rohre	Z		-
⇒ Massenstrom pro Rohr	M	1800	kg/h
⇒ Strömungsgeschwindigkeit	w	1.474	m/s
⇒ Reynolds-Zahl	Re	72550	-

Bilanz: $Q = Mg \cdot c_p \cdot (\vartheta_a - \vartheta_e)$ = kW

Ergebnisse: Konstante Wandtemperatur

$$\Rightarrow \alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_h} = \frac{295.6 \cdot 0.6575}{0.021} = 9257 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$Re = \frac{w \cdot d_h \cdot \rho}{\eta / 1000} = \frac{1.474 \cdot 0.021 \cdot 979.2}{0.4179 / 1000} = 72550$$

Nu _{m,ϑ}	=	(Laminar-ausgebildete Strömung Re < 2300)	[6]
Nu _{m,ϑ}	=	(Laminare Anlaufströmung Re < 2300)	[12]
Nu _{m,T}	=	301.3 (Turbulente Strömung Re > 10000)	[26]
Nu _m	=	(Übergangsbereich 2300 ≤ Re ≤ 10000)	[29]

Korrekturfaktor K:

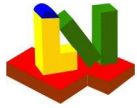
Flüssigkeiten: $K = (Pr/PrW)^{0.11/n} = 0.9811$

Gase: $K = (T/TW)^{0.11/n} =$ für n = 0

$Nu = Nu_m(\vartheta, T) \cdot K = 295.6$ [40,41]

Wärmeübergang: $Q = \alpha \cdot A \cdot \Delta\vartheta_{log}$
 $= 9257 \cdot \cdot$

⇒ Wandtemperatur $\vartheta_w = 56.64$ °C



Berechnungen:

Laminare Strömung: $Re < 2300$

Laminar-ausgebildete Strömung:

$$HW = Re \cdot Pr \cdot dh/l = \quad \mathbf{1014}$$

$$Nu_{m_\vartheta_2} = 1.615 \cdot HW^{1/3} = \quad \quad \quad [5]$$

$$Nu_{m_\vartheta} = \left[3.66^3 + 0.7^3 + \left[Nu_{m_\vartheta_2} - 0.7 \right]^3 \right]^{1/3} = \quad \quad \quad [6]$$

$$= \left[3.66^3 + 0.7^3 + \left[\quad - 0.7 \right]^3 \right]^{1/3} =$$

Laminare Anlaufströmung:

$$Nu_{m_\vartheta_3} = \left[\frac{2}{1 + 22 Pr} \right]^{1/6} \cdot \sqrt{HW} =$$

$$= \left[\frac{2}{1 + 22 \cdot 2.661} \right]^{1/6} \cdot \sqrt{\mathbf{1014}} = \quad \quad \quad [11]$$

$$Nu_{m_\vartheta} = \left[3.66^3 + 0.7^3 + \left[Nu_{m_\vartheta_2} - 0.7 \right]^3 + Nu_{m_\vartheta_3}^3 \right]^{1/3} = \quad \quad \quad [12]$$

$$= \left[3.66^3 + 0.7^3 + \left[\quad - 0.7 \right]^3 + \quad^3 \right]^{1/3} =$$

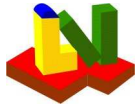
Turbulente Strömung: $Re > 10000$

$$\xi = [1.8 \cdot \log Re - 1.5]^{-2} = [1.8 \cdot \log \mathbf{72550} - 1.5]^{-2} = \mathbf{0.01903} \quad [27]$$

$$Nu_{m_T} = \frac{\xi/8 \cdot Re \cdot Pr}{1 + 12.7 \cdot \sqrt{\xi/8 \cdot (Pr^{2/3} - 1)}} \cdot \left[1 + \left[\frac{dh}{l} \right]^{2/3} \right] = \quad \quad \quad [26]$$

$$= \frac{\mathbf{0.01903} / 8 \cdot \mathbf{72550} \cdot 2.661}{1 + 12.7 \cdot \sqrt{\mathbf{0.01903} / 8 \cdot (\mathbf{2.661}^{2/3} - 1)}} \cdot \left[1 + \left[\frac{\mathbf{0.021}}{4} \right]^{2/3} \right] =$$

$$Nu_{m_T} = \quad \mathbf{301.3}$$



Übergangsbereich: $2300 \leq Re \leq 10000$

$$Nu_{m_\varnothing_2_2300} = 1.615 \cdot (2300 \cdot Pr \cdot dh/l)^{1/3} = \mathbf{5.135} \quad [32]$$

$$Nu_{m_\varnothing_3_2300} = \left[\frac{2}{1 + 22 Pr} \right]^{1/6} \cdot \sqrt{2300 \cdot Pr \cdot dh/l} = \mathbf{3.22} \quad [33]$$

$$Nu_{m_L_2300} = \left[49.371 + \left[Nu_{m_\varnothing_2_2300} - 0.7 \right]^3 + Nu_{m_\varnothing_3_2300}^3 \right]^{1/3} =$$

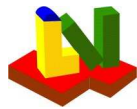
$$Nu_{m_L_2300} = \mathbf{5.539} \quad [31]$$

$$Nu_{m_T_10000} = \frac{(0.0308/8) \cdot 10000 \cdot Pr}{1 + 12.7 \cdot \sqrt{0.0308/8 \cdot (Pr^{2/3} - 1)}} \cdot \left[1 + \left[\frac{dh}{l} \right]^{2/3} \right] =$$

$$Nu_{m_T_10000} = \mathbf{61.15} \quad [37]$$

$$\gamma = \frac{Re - 2300}{10000 - 2300} = \frac{\mathbf{72550} - 2300}{10000 - 2300} = \quad [30]$$

$$Nu_m = (1 - \gamma) \cdot Nu_{m_L_2300} + \gamma \cdot Nu_{m_T_10000} = \quad [29]$$



Wärmeübertragung im Außenraum von Rohrbündelwärmeübertragern mit Umlenkblechen

Geometrische Größen:

Rohranordnung:		Versetzt	
Innendurchmesser des Mantels	D_i	388.8	mm
Durchmesser des Rohrbündels im Bereich der Querströmungszone	D_B	322.4	mm
Außendurchmesser der Rohre	d_a	25	mm
Rohrteilung quer zur Strömungsrichtung	s_1	32	mm
Rohrteilung längs in Strömungsrichtung	s_2	27.71	mm
Durchmesser der Umlenkbleche	D_1	385.8	mm
Höhe des Ausschnitts im Umlenkblech	H	77.76	mm
Durchmesser der Bohrungen für die Rohre im Umlenkblech	d_B	25.8	mm
Abstand der Umlenkbleche	S	190	mm
Anzahl der Rohre einschließlich der vorhandenen Blind- und Stützrohre	n	80	
Anzahl der Rohre im oberen und unteren Blechausschnitt (Fenster)	n_F	19	-
Hauptwiderstände in der Querströmungszone	n_W	7	-
Anzahl der Verbindungsstrecken	n_V	9	-
Anzahl der Abdichtungsstreifenpaare	n_S	0	-
Anzahl der mantelseitigen Durchgänge	ND	1	-
Gassenbreite (nur bei $ND = 2$)	b	49	mm
Medium:			
Volumenstrom	V	90.6	m ³ /h
Fluid: flüssig <0> gasförmig <1>	<	0>	
Eintrittstemperatur	ϑ_E	20	°C
Austrittstemperatur	ϑ_A	40	°C
Mittlere Wandtemperatur	ϑ_W	44.38	°C
Kinematische Viskosität	ν	8.009E-7	m ² /s
Wärmeleitfähigkeit	λ	0.6152	W/(m·K)
Prandtl-Zahl	Pr	5.416	-
Prandtl-Zahl bei Wandtemperatur	Pr_W	3.969	-

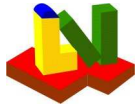
Ergebnisse:

$$f_W = f_G \cdot f_L \cdot f_B = 1.093 \cdot 0.8555 \cdot 0.538 = 0.5031$$

$$Nu_{0,AW} = f_W \cdot Nu_{0,Bündel} = 0.5031 \cdot 712.1 = 358.3$$

$$\alpha = \frac{Nu_{0,AW} \cdot \lambda}{\pi/2 \cdot d_a} \cdot K = \frac{358.3 \cdot 0.6152}{\pi/2 \cdot 0.025} \cdot 1.081$$

$$\alpha = 6067 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$



Berechnung von $Nu_{0,Bündel}$:

$$a = s_1/d_a = 1.28 \quad b = s_2/d_a = 1.109 \quad Re_{w,1} = 43225$$

$$\psi = 1 - \pi/4a \text{ (für } b \geq 1) \quad \psi = 1 - \pi/4ab \text{ (für } b < 1) \quad \psi = 0.3864$$

$$Nu_{1,lam} = 0.664 \cdot \sqrt{Re_{w,1}} \cdot \sqrt[3]{Pr}$$

$$242.4 = 0.664 \cdot \sqrt{43225} \cdot \sqrt[3]{5.416}$$

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

$$372.4 = \frac{0.037 \cdot 43225^{0.8} \cdot 5.416}{1 + 2.443 \cdot 43225^{-0.1} \cdot (5.416^{(2/3)} - 1)}$$

$$Nu_{1,0} = 0.3 + \sqrt{Nu_{1,lam}^2 + Nu_{1,turb}^2}$$

$$444.7 = 0.3 + \sqrt{242.4^2 + 372.4^2}$$

$$Nu_{0,Bündel} = f_A \cdot Nu_{1,0} = 1.601 \cdot 444.7 = 712.1$$

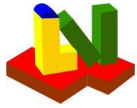
$$f_A = 1 + \frac{2}{3 \cdot b} = 1.601$$

Berechnung von f_G :

$$R_G = n_F / (n / ND) = 19 / (80 / 1) = 0.2375$$

$$f_G = 1 - R_G + 0.524 \cdot R_G^{0.32}$$

$$1.093 = 1 - 0.2375 + 0.524 \cdot 0.2375^{0.32}$$



Berechnung von f_L :

$$e = 7 \text{ mm} \quad e_1 = 33.22 \text{ mm} \quad L_E (e ; e_1) = 129.4 \text{ mm}$$

$$d_B = 25.8 \text{ mm} \quad d_a = 25 \text{ mm} \quad n = 80 \quad n_F = 19$$

$$A_{SRU} = \left[\frac{n}{ND} - \frac{n_F}{2} \right] \cdot \frac{\pi (d_B^2 - d_a^2)}{4} = 0.00225 \text{ m}^2$$

$$\gamma = 2 \arccos(1 - 2 \cdot H/D_1) = 2 \arccos(1 - 2 \cdot 0.07776 / 0.3858) = 106.7$$

$$A_{SMU} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_i^2 - D_1^2) \cdot \frac{(360 - \gamma)}{360 \cdot ND} = 0.001284 \text{ m}^2$$

$$= \pi/4 \cdot (0.3888^2 - 0.3858^2) \cdot (360 - 106.7) / (360 \cdot 1)$$

$$A_{SG} = A_{SRU} + A_{SMU} = 0.00225 + 0.001284 = 0.003534 \text{ m}^2$$

$$A_E = S \cdot L_E = 0.19 \cdot 0.1294 = 0.02459 \text{ m}^2$$

$$R_L = A_{SG} / A_E = 0.003534 / 0.02459 = 0.1437$$

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

$$0.8555 = 0.4 \frac{0.00225}{0.003534} + \left[1 - 0.4 \frac{0.00225}{0.003534} \right] \exp(-1.5 \cdot 0.1437)$$

Berechnung von f_B :

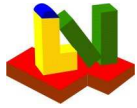
$$A_B = S \cdot (D_i - D_B - e) = 0.01129 \text{ m}^2 \quad \text{für } e < (D_i - D_B) \quad \text{sonst } A_B = 0$$

$$R_B = A_B / A_E = 0.01129 / 0.02459 = 0.4592$$

$$f_B = \exp \left[-\beta \cdot R_B \left[1 - \sqrt[3]{2 \cdot n_S / n_W} \right] \right] \quad \text{für } n_S \leq n_W / 2$$

$$0.538 = \exp \left[-\beta \cdot 0.4592 \left[1 - \sqrt[3]{2 \cdot 0 / 7} \right] \right]$$

$$f_B = 1 \quad \text{für } n_S > n_W / 2$$



Rohrbündel Schwingungs-Analyse

Allgemeiner Ansatz

Außendurchmesser der Rohre	da	25	mm	
Wanddicke der Rohre	s	2	mm	
Innendurchmesser der Rohre	di	21	mm	
Rohrteilung quer zur Strömungsrichtung	sq	32	mm	
Rohrteilung längs in Strömungsrichtung	sl	27.71	mm	
Querteilungsverhältnis	sq/da	1.28	-	
Längsteilungsverhältnis	sl/da	1.109	-	
Querschnittsfläche der Rohre	A	144.4	mm ²	
Flächenträgheitsmoment der Rohre	J	9611	mm ⁴	
Elastizitätsmodul des Rohrwerkstoffs	E	200000	N/mm ²	
Wirksame Dichte des Rohrwerkstoffs	ρ	7850	kg/m ³	
Lagerung der Rohre:				1
Gewählte Lagerung der Rohre:				eingespannt - gelenkig
Korrekturfaktor für die Lagerung der Rohre C		3.93	-	
Korrekturfaktor für Zusatzkräfte	Cf	1	-	
Anordnung der Rohre (1-3)				1
Gewählte Anordnung:				Versetzte glatte Rohre
→ Strouhal-Zahl des Bündels	Sr	0.2219	-	
Ausgeführte Stützweite der Rohre	L	290	mm	480 mm
Geschwindigkeit im engsten Querschnitt	we	1.263	m/s	1.023 m/s
Eigenfrequenz der Rohre	fR	1203	Hz	439.3 Hz
Sicherheitsfaktor	S	1.5	-	
Zulässige Erregerfrequenz fz = fR/S	fz	802.3	Hz	292.9 Hz
Erregerfrequenz der Strömung	ferr	11.21	Hz	9.081 Hz

Schwingungsgefahr, wenn ferr > fz

Gleichungen

$$di = da - 2 \cdot s = 25 - 2 \cdot 2 = 21 \text{ mm}$$

$$A = \pi/4 \cdot (da^2 - di^2) = \pi/4 \cdot (25^2 - 21^2) = 144.4 \text{ mm}^2$$

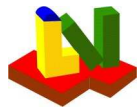
$$J = \pi/64 \cdot (da^4 - di^4) = \pi/64 \cdot (25^4 - 21^4) = 9611 \text{ mm}^4$$

$$fR = \frac{10^6}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\frac{C}{L} \right]^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{\rho \cdot A}} \cdot Cf \Leftrightarrow$$

$$1203 = \frac{10^6}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\frac{3.93}{290} \right]^2 \cdot \sqrt{\frac{200000 \cdot 9611}{7850 \cdot 144.4}} \cdot 1$$

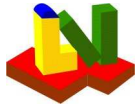
$$fz = fR / S \Leftrightarrow 802.3 = 1203 / 1.5$$

$$ferr = \frac{Sr \cdot we}{da/1000} \Leftrightarrow 11.21 = \frac{0.2219 \cdot 1.263}{25 / 1000}$$



Rohrseitiger Druckverlust in Rohrbündelwärmeübertragern

Stoffwerte	Fluid		Wand
Eintrittstemperatur	ϑ_E	80 °C	
Austrittstemperatur	ϑ_A	55 °C	
Mittlere Temperatur	ϑ	67.5 °C	56.64 °C
Druck beim Eintritt	P_E	300000 Pa	
Dichte des Fluids	ρ	979.2 kg/m ³	980.2 kg/m ³
Spezifische Wärmekapazität	c_p	4188 J/(kg·K)	
Wärmeleitfähigkeit des Fluids	λ	0.6575 W/(m·K)	
Dynamische Viskosität des Fluids	η	0.4179 mPa·s	0.4904 mPa·s
Fluid: flüssig = 0, gasförmig = 1		0	
<hr/>			
Erdbeschleunigung		g	9.81 m/s ²
Bauart (gerades Rohr=1; U-Rohr=2)			1
Innendurchmesser Einlaßstutzen	DTNI		131.7 mm
Innendurchmesser Auslaßstutzen	DTNO		131.7 mm
Anzahl der rohrseitigen Durchgänge	NTP		2 -
Anzahl der Rohre pro Durchgang	N		40 -
Länge der Rohre pro Durchgang	L		4000 mm
Innendurchmesser der Rohre	DI		21 mm
Außendurchmesser der Rohre	DO		25 mm
Wanddicke der Rohre	t =		2 mm
<hr/>			
Massenstrom	W		72000 kg/h
Mittlere Geschwindigkeit im Eintrittsstutzen	V_{nE} =		1.499 m/s
Mittlere Geschwindigkeit im Austrittsstutzen	V_{nA} =		1.499 m/s
Mittlere Geschwindigkeit im Rohr	V_t =		1.474 m/s
Reynolds-Zahl	Re =		72537 -
Prandtl-Zahl	Pr =		2.661 -
Grashof-Zahl	Gr =		498913 -
<hr/>			
Druckverlustbeiwert	Ke =		3.2 -
Reibungskoeffizient	ξ_{is} =		0.0059 -
Korrekturfaktor für die Viskosität	Φ =		1.025 -
Korrekturfaktor für die Konvektion	Ψ =		1 -
Reibungsbeiwert ($\xi_{is} \cdot \Phi \cdot \Psi$)	ξ =		0.006047 -
<hr/>			
Druckverlust im Eintrittsstutzen	ΔP_{nE} =		989.8 Pa
Druckverlust im Austrittsstutzen	ΔP_{nA} =		989.8 Pa
Druckverlust für Einlauf, Auslauf und Umlenkung	ΔP_e =		3404 Pa
Druckverlust durch Reibung	ΔP_t =		9801 Pa
Verschmutzungsfaktor	Ft =		1.277 -
Druckverlust gesamt ($\Delta P_n + \Delta P_e + Ft \cdot \Delta P_t$)	ΔP =		17898 Pa



Gleichungen

$$t = 1/2 \cdot (DO - DI) \Leftrightarrow 0.002 = 1/2 \cdot (0.025 - 0.021)$$

$$Vn_E = \frac{1.273 \cdot W}{DTNI^2 \cdot \rho} \Leftrightarrow 1.499 = \frac{1.273 \cdot 20}{0.1317^2 \cdot 979.2}$$

$$Vn_A = \frac{1.273 \cdot W}{DTNO^2 \cdot \rho} \Leftrightarrow 1.499 = \frac{1.273 \cdot 20}{0.1317^2 \cdot 979.2}$$

$$Vt = \frac{1.273 \cdot W}{DI^2 \cdot N \cdot \rho} \Leftrightarrow 1.474 = \frac{1.273 \cdot 20}{0.021^2 \cdot 40 \cdot 979.2}$$

$$Re = \frac{Vt \cdot DI \cdot \rho}{\eta/1000} \Leftrightarrow 72537 = \frac{1.474 \cdot 0.021 \cdot 979.2}{0.000418}$$

$$Pr = \eta/1000 \cdot Cp / \lambda \Leftrightarrow 2.661 = 0.000418 \cdot 4188 / 0.6575$$

$$Gr = \frac{g \cdot DI^3}{(\eta/1000 / \rho)^2} \cdot \frac{|\rho - \rho_w|}{\rho}$$

$$498913 = \frac{9.81 \cdot 0.021^3}{(0.000418 / 979.2)^2} \cdot \frac{979.2 - 980.2}{979.2}$$

Druckverlustbeiwert für:

Gerade Rohre:	ein Durchgang	Ke = 0.9	NTP =	2
	mehrere Durchgänge	Ke = 1.6 · NTP		
U-Rohre:	zwei Durchgänge	Ke = 0.9		
	vier und mehr Durchgänge	Ke = 0.8 · NTP	Ke =	3.2

$$\xi_{is} = \xi_{is}(Re) = 0.0059 = \xi_{is}(72537)$$

$$\Phi = \Phi(Re; \eta/\eta^W) = 1.025 = \Phi(72537; 0.852)$$

$$\Psi = \Psi(Re; Gr \cdot Pr \cdot \eta/\eta^W) = 1 = \Psi(72537; 1131300)$$

$$\Delta Pn_E = \rho_E \cdot Vn_E^2 / 2.224 = 989.8 = 979.2 \cdot 1.499^2 / 2.224$$

$$\Delta Pn_A = \rho_A \cdot Vn_A^2 / 2.224 = 989.8 = 979.2 \cdot 1.499^2 / 2.224$$

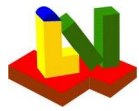
$$\Delta Pe = Ke \cdot \rho \cdot Vt^2 / 2.0 = 3404 = 3.2 \cdot 979.2 \cdot 1.474^2 / 2.0$$

$$\Delta Pt = 2 \cdot \xi \cdot \frac{\rho \cdot Vt^2 \cdot NTP \cdot L}{DI}$$

$$9801 = 2 \cdot 0.006047 \cdot \frac{979.2 \cdot 1.474^2 \cdot 2 \cdot 4}{0.021}$$

$$Ft = \left[\frac{DO - 2 \cdot t}{DO - 2.2 \cdot t - 0.00182 \cdot DO^{0.3}} \right]^5$$

$$1.277 = \left[\frac{0.025 - 2 \cdot 0.002}{0.025 - 2.2 \cdot 0.002 - 0.00182 \cdot 0.025^{0.3}} \right]^5$$



Druckverlust im Außenraum von Rohrbündelwärmeübertragern mit und ohne Einbauten

Rohrbündelwärmeübertrager mit Einbauten

Geometrische Größen:

Innendurchmesser des Mantels	D_i	388.8	mm
Durchmesser des Rohrbündels im Bereich der Querströmungszone	D_B	322.4	mm
Außendurchmesser der Rohre	d_a	25	mm
Rohrteilung quer zur Strömungsrichtung	s_q	32	mm
Rohrteilung längs in Strömungsrichtung	s_l	27.71	mm
Teilungswinkel		60	°
Durchmesser der Umlenkbleche	D_U	385.8	mm
Anzahl der Umlenkbleche	n_U	19	-
Höhe des Ausschnitts im Umlenkblech	H	77.76	mm
Durchmesser der Bohrungen im Umlenkblech	d_B	25.8	mm
Abstand der Umlenkbleche	S	190	mm
Abstand Rohrboden - 1. Umlenkblech	S_E	290	mm
Anzahl der Rohre im Bündel einschließlich der vorhandenen Blind- und Stützrohre	n	80	-
Anzahl der Rohre im oberen und unteren Fenster	n_F	19	-
Anzahl der Rohrreihen in der Fensterzone	n_{RF}	1.5	-
Anzahl der Hauptwiderstände in der Querströmungszone	n_W	7	-
Anzahl der Hauptwiderstände in der Endzone	n_{WE}	8.5	-
Anzahl der Verbindungsstrecken	n_V	9	-
Abstand der äußeren Rohre zum Mantel	e_1	33.22	mm
Anzahl der Abdichtungsstreifenpaare	n_S	0	-
Anzahl der mantelseitigen Durchgänge	ND	1	-
Gassenbreite (nur für $ND = 2$)	b	49	mm
Innendurchmesser des Eintrittsstutzens	d_{Se}	159.3	mm
Innendurchmesser des Austrittsstutzens	d_{Sa}	159.3	mm

Medium:

Massenstrom	m	90222	kg/h
Volumenstrom	V	90.6	m ³ /h

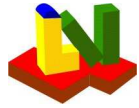
Fluid: flüssig = 0 oder gasförmig = 1 0

Eintrittsdruck	P_E	400000	Pa
Eintrittstemperatur	ϑ_E	20	°C
Austrittstemperatur	ϑ_A	40	°C
Mittlere Temperatur	ϑ	30	°C
Dichte	ρ	995.9	kg/m ³
Dynamische Viskosität	η	0.7976	mPa·s
Spezifische Wärmekapazität	cp	4178	J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit	λ	0.6152	W/(m·K)
Prandtl-Zahl	Pr	5.416	-
Mittlere Wandtemperatur	ϑ_W	44.38	°C
Dynamische Viskosität bei mittlerer Wandtemperatur	η_W	0.6025	mPa·s

Reibungsdruckverlust im Außenraum des Wärmeübertragers

$\Delta P = (n_U - 1) \cdot ND \cdot \Delta P_Q = (19 - 1) \cdot 1 \cdot 151.3$	Pa	Querströmungszone
+ $2 \cdot \Delta P_{Q,E} = 2 \cdot 156.1$	Pa	Endzone
+ $n_U \cdot ND \cdot \Delta P_F = 19 \cdot 1 \cdot 2140$	Pa	Fensterzone
+ $\Delta P_S = 1588$	Pa	Stutzen

$\Delta P = 45288$ Pa



WTS Beispiel-Ausdruck

2011

Thermische und hydraulische Berechnung von Rohrbündel-Wärmeübertragern

Ergebnisse

a = 1.28 - b = 1.109 - c = 1.28 -
e = 7 mm

Querströmungszone

L_E = 129.4 mm A_E = 0.02459 m² w_e = 1.023 m/s
f_a_l_f = 223.4 - f_a_t_f = 0.6963 - f_a_l_v = 223.4 -
f_a_t_v = 5.485 - f_z_l = 0.9875 - f_z_t = 0.9615 -
Xi_l = 0.006994 - Xi_t = 0.4103 - Xi = 0.4014 -
A_SRU = 0.00225 m² A_SMU = 0.001284 m² A_SG = 0.003534 m²
R_M = 0.3633 - R_L = 0.1437 - r = 0.5955 -
γ = 106.7 ° Re = 31937 - β = 3.7 -
R_S = 0 - R_B = 0.4592 - A_B = 0.01129 m²
f_L = 0.5649 - f_B = 0.1828 - Δp_Q_0 = 1465 Pa
Δp_Q = 151.3 Pa

Endzone

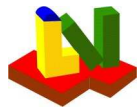
Re_E = 20924 - A_E_E = 0.03754 - w_e_E = 0.6704 -
Δp_QE_0 = 854 - Δp_QE = 156.1 Pa

Fensterzone

A_FG = 0.01737 m² A_FR = 0.004663 m² A_F = 0.01271 m²
w_p = 1.98 m/s w_z = 1.423 m/s n_WF = 2.245 -
d_g = 45.87 mm U_F = 1108 mm
Δp_F_l = 2031 - Δp_F_t = 3377 -
Δp_F = 2140 Pa

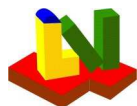
Mantelstützen

w_S_E = 1.263 m/s Δp_S_E = 793.9 Pa
w_S_A = 1.263 m/s Δp_S_A = 793.9 Pa
Δp_S = 1588 Pa



CAD Programm für Rohrbündelwärmeübertrager

	In den Rohren		Um die Rohre	
TEMA Typ	AEL			
Medium	Wasser		Wasser	
Eintrittsdruck	p_i	3 bar	p_a	4 bar
Druckstufe		16 bar		16 bar
Eintrittstemperatur	$\vartheta_{e,i}$	80 °C	$\vartheta_{e,a}$	20 °C
Austrittstemperatur	$\vartheta_{a,i}$	55 °C	$\vartheta_{a,a}$	40 °C
Mittlere Temperatur	$\vartheta_{m,i}$	67.5 °C	$\vartheta_{m,a}$	30 °C
Berechnungstemperatur		100 °C		50 °C
Berechnungsdruck		4 bar		5 bar
Eintrittsstutzen:				
Flanschanschlußnennweite	DN	125	DN	150
Außendurchmesser		139.7 mm		168.3 mm
Stutzenwandstärke		4 mm		4.5 mm
Innendurchmesser		131.7 mm		159.3 mm
Austrittsstutzen:				
Flanschanschlußnennweite	DN	125	DN	150
Außendurchmesser		139.7 mm		168.3 mm
Stutzenwandstärke		4 mm		4.5 mm
Innendurchmesser		131.7 mm		159.3 mm
Geometrie:				
Mantelaußendurchmesser D_a	406.4 mm	Mantelwanddicke	sa	8.8 mm
Mantelinnendurchmesser D_i	388.8 mm			
Abstand Bündel-Mantel	13.79 mm			
Rohraußendurchmesser d_a	25 mm	Rohrinnendurchmesser	di	21 mm
Rohrteilung (quer) s_q	32 mm	Rohrteilung (längs)	sl	27.71 mm
Teilungswinkel Φ	60 °	Gassenbreite	b	49 mm
Abstand der Umlenkbleche	190 mm	Anzahl Umlenkbleche\Gang		19 -
Abstand RB-1.Umlenkblech	290 mm	Durchmesser Umlenkbleche		385.8 mm
Bohrung im Umlenkblech	25.8 mm	Größe des Fensters		20 %
Dichtungsstreifenpaare	0 -			
Anzahl der rohrseitigen Durchgänge		2 -		
Anzahl der mantelseitigen Durchgänge		1 -		
Bündellänge (ausgeführt)	l_a	4000 mm		
Mantellänge (ausgeführt)	l_a	4287 mm		
Anzahl der Rohre	R	80		
Kompensatordurchmesser				mm
Plattenstärke (Festplatte)		30 mm		
Plattenstärke (Freie Platte)		30 mm		

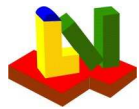


Reale log.Temperaturdifferenz und Temperaturverteilung nach dem Zellenmodell

Reale log.Temperaturdifferenz und Temperaturverteilung nach dem Zellenmodell
für Rohrbündelwärmeübertrager

Innentemperatur am Eintritt	ti1	80	°C
Außentemperatur am Eintritt	ta1	20	°C
Massenstrom auf der Innenseite	mi	72000	kg/h
Massenstrom auf der Außenseite	ma	90222	kg/h
Spez. Wärmekapazität auf der Innenseite	cpi	4188	J/(kg·K)
Spez. Wärmekapazität auf der Außenseite	cpa	4178	J/(kg·K)
Wärmekapazitätsstrom auf der Innenseite	Wwi	83758	W/K
Wärmekapazitätsstrom auf der Außenseite	Wwa	104697	W/K
Spiegel- plus Manteltyp		1	
Anzahl der rohrseitigen Durchgänge	Nt	2	-
Anzahl der mantelseitigen Durchgänge	NS	1	-
Anzahl der Umlenkleche	NZ	19	-
Vorhandene Wärmedurchgangszahl	k	2251	W/(m ² ·K)
Vorhandene Wärmeübertragungsfläche	A	25.13	m ²
Anzahl der Rohrreihen je Zelle		4	-
Schaltung: Kreuzgegen= 1; Kreuzgleich= 2		101	-
Rohrströmung: gegensinnig= 1; gleichsinnig= 2		1	-
Quervermischung: 0= keine; 0.5 = total		0	-

Innentemperatur am Austritt	ti2	55.72	°C
Außentemperatur am Austritt	ta2	39.42	°C
Log. Temperaturdifferenz im Gegenstrom	dtGeg =	38.1	K
Real wirkende Temperaturdifferenz	dtm =	35.94	K
Korrekturfaktor	FN =	0.9434	-
Anzahl der Zellen		40	-
Wärmedurchgangsprodukt k·A		56571	W/K
Wärmedurchgangsprodukt k·A pro Zelle		1414	W/K
Wirkungsgrad der Innenseite		0.4046	-
Wirkungsgrad der Außenseite		0.3237	-
Zellenwirkungsgrad der Innenseite		0.01663	-
Zellenwirkungsgrad der Außenseite		0.01331	-
Maximale Temperatur auf der Innenseite	timax	80	°C
Maximale Temperatur auf der Außenseite	tamax	39.42	°C
Minimale Temperatur auf der Innenseite	timin	55.72	°C
Minimale Temperatur auf der Außenseite	tamin	20	°C
Max. Temperaturinversion in einer Zelle	tinv	0	°C



Dokumentationsblatt für Wärmeübertrager

In den Rohren:

Medium: Wasser
 Massenstrom m_i 20 kg/s
 Volumenstrom V_i **73.53** m³/h
 Druck ein abs. P_i 3 bar
 Eintrittstemp. ϑ_{e_i} 80 °C
 Austrittstemp. ϑ_{a_i} 55 °C
 Mittl. Temp. ϑ_{m_i} **67.5** °C

Dichte ρ_i 979.2 kg/m³
 Spez. Wärmek. cp_i 4188 J/(kg·K)
 Fouling f_i 0 m²·K/W

Bei Phasenänderung:

Dichte Dampf ρ_{Di} kg/m³
 Verdampf. enth. Δh_v J/kg
 Anteil Phase x_i -

Wärmestrom Q_i **-2094** kW

Um die Rohre:

Medium: Wasser
 Massenstrom m_a **25.06** kg/s
 Volumenstrom V_a **90.6** m³/h
 Druck ein abs. P_a 4 bar
 Eintrittstemp. ϑ_{e_a} 20 °C
 Austrittstemp. ϑ_{a_a} 40 °C
 Mittl. Temp. ϑ_{m_a} **30** °C

Dichte ρ_a 995.9 kg/m³
 Spez. Wärmek. cp_a 4178 J/(kg·K)
 Fouling f_a 0 m²·K/W

Dichte Dampf ρ_{Da} kg/m³
 Verdampf. enth. Δh_v J/kg
 Anteil Phase x_a -

Wärmestrom Q_a **2094** kW
 Verlustwärme Q_{v_a} 0 kW

Wärmeleitfähigkeit Übertragerfläche λ 15 W/(m·K)
 Verschmutzungswiderstand R_f 0 m²·K/W

Anzahl der Gänge (rohrseitig) Z 2 -
 Anzahl der Gänge (mantelseitig) Z 1 -
 Anzahl Tauscher seriell 1 -

Bewertung:

	erforderlich	ausgeführt
Übertragerfläche A	26.34 m ²	25.13 m ²
Bündellänge l	4191 mm	4000 mm

Ergebnisse:

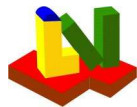
Mantelaußendurchmesser Da 406.4 mm
 Rohrzahl R 80 -
 Wärmeübergangskoeffizient (innen) α_i **9257** W/(m²·K)
 Wärmeübergangskoeffizient (außen) α_a **5870** W/(m²·K)
 FN Faktor FN **0.9434** -
 Logarithmische Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ **37.44** K
 Wärmedurchgangszahl k **2251** W/(m²·K)
 Zulässige Überhitzung bei Kondensation $\vartheta_{\ddot{u}}$ K

In den Rohren:

Geschwindigk. im Rohr **1.474** m/s
 Druckverlust Δp_i **17898** Pa
 Wandtemperatur ϑ_{wi} **56.64** °C
 Durchm. Stutzen ein 131.7 mm
 Anschluss ein
 Durchm. Stutzen aus 131.7 mm
 Anschluss aus
 Geschwind. Stutzen ein **1.499** m/s
 Geschwind. Stutzen aus **1.499** m/s

Um die Rohre:

Geschwindigk im Mantel **1.023** m/s
 Druckverlust Δp_a **45288** Pa
 Wandtemperatur ϑ_{wa} **44.38** °C
 Durchm. Stutzen ein 159.3 mm
 Anschluss ein
 Durchm. Stutzen aus 159.3 mm
 Anschluss aus
 Geschwind. Stutzen ein **1.263** m/s
 Geschwind. Stutzen aus **1.263** m/s



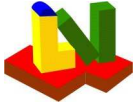
WTS Beispiel-Ausdruck

Thermische und hydraulische Berechnung von Rohrbündel-Wärmeübertragern

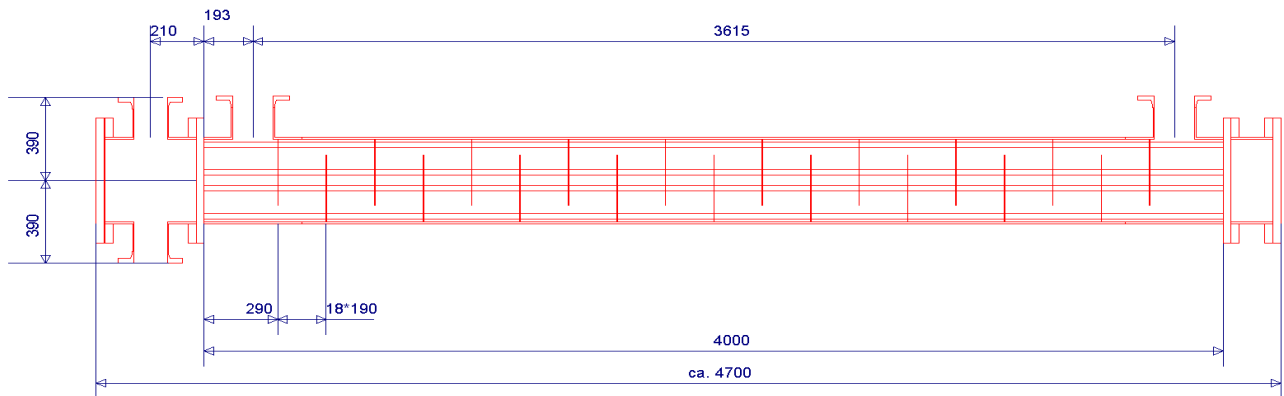
2011

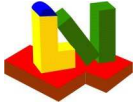
MS Excel Spezifikationsblatt

1	Kunde			Job Nr.	
2				Referenz-Nr.	
3	Adresse			Angebots-Nr.	
4	Projekt			Datum	15.06.2011
5	LEISTUNGSDATEN				
6	Fluid Daten		Mantelseite		Rohrraum
7	Fluid Name		Wasser		Wasser
8	Fluid Menge, Total	kg/s	25,06		20
9	Dampf (ein /aus)	kg/s			
10	Flüssigkeit (ein /aus)	kg/s			
11	Dampf				
12	Wasser				
13	Inerte				
14	Temperatur (ein /aus)	°C	20	40	80
15	Dichte	kg/m ³	995,9		979,2
16	Viskosität	mPa·s	0,7976		0,4179
17	Molekulargewicht, Dampf	kg/kmol			
18	Molekulargewicht, Inerte	kg/kmol			
19	Spez. Wärmekapazität	J/(kg·K)	4177,6		4187,9
20	Wärmeleitfähigkeit	W/(m·K)	0,6152		0,6575
21	Latente Wärme	J/kg			
22	Eintrittsdruck (abs.)	bar	4		3
23	Geschwindigkeit	m/s	1,02		1,47
24	Druckverlust, Max./Vorh.	Pa	45288		17898
25	Fouling-Widerstand	m ² ·K/W	0		0
26	Leistung	kW	2093,9		
27	Wärmedurchgangskoeffizient	W/(m ² ·K)	2250,9		
28	Log. Temp. Diff. (korrigiert)	K (diff)	35,32		
29	Wärmeübertragungsfläche	m ²	25,1		
30	KONSTRUKTIONSDATEN EINES TAUSCHERS				Bild (Bündel/Stutzen Anordnung)
31			Mantelseite	Rohrseite	
32	Auslegungs-/Testdruck	Pa			
33	Betriebstemperatur	°C			
34	Anzahl der Durchgänge		1	2	
35	Korrosionszuschlag	mm			
36	Anschlüsse ein				
37	Größe & aus				
38	Ausführung Zwischenstufe				
39	Rohrlänge	mm	4000	Rohr-Material	
40	Rohrabmessungen (da x s)	mm	25 x 2	Anzahl Rohre	80
41	Rohrteilung quer	mm	32	Rohrteilung längs	27,7
42	Mantel-Innendurchmesser	mm	388,8	Mantelabmessungen (Da x s)	406,4 x 8,8
43	Eintrittshaube / Kanal			Haube	
44	Festrohrbündel			Schwimmkopf	
45	Schwimmkopfhaube			Prallplatte J/N	
46	Umlenblech Durchmesser	mm	385,8	% Fenster	20
47	Umlenblech Abstand	mm	190	Anzahl Umlenbleche / Durchgang	19
48	Dichtungstreifen			Typ	
49	Dehnungsausgleich			ρ · v ² Bündel Austritt	
50	ρ · v ² Bündel Eintritt	kg/(m·s ²)	1588	Dichtung Rohrseite	
51	Dichtung Mantelseite				
52	- Schwimmkopf				
53	Berechnungsstandards			TEMA Class	
54	Gewicht /Mantel	kg		Mit Wasserfüllung	
55	Gewicht /Bündel	kg			
56	Bemerkungen				
57					
58					
59					
60					
61					



CAD erstellt mit WTSC





Rohrspiegel 3D mit Alibre Design aus SPIE

Voraussetzung:

- LV Festigkeitspaket
- [Alibre Design 3D-CAD](#)

