Projektbezeichnung:	**Festigkeitsberechnung Wärmetauscher 4242**
Auftraggeber:	Evonik Services GmbH
Bestell-Nr.:	4700463647-R-535/RO07 P
Auftragnehmer:	CRONITEC Edelstahl GmbH, Daimlerring 25, 59269 Beckum
Auftrags- Nr.:	054-6388
Ausgabe:	Revision 0
Datum:	10.10.2013
Sachbearbeiter:	Eugen Spenst

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung 3

Auslegungsdaten 3

Berechnungsergebnis 3

ANHANG

Berechnungsdetails 4

Vorbemerkung

Der vorliegende „Wärmetauscher 4242“ gem. Zeichnung TZF113-6388-001 ist ein Druckgerät im Sinne der Druckgeräterichtlinie. Das angewendete Regelwerk ist AD2000.

Die Festigkeitsberechnung wurde mittels des Programmes „DIMy“ Version 5.0 Rev. 12.4 des TÜV Nord vorgenommen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind in diesem Kapitel nur die Ergebnisse aufgeführt. Die Ausdrucke der Berechnung sind als Anlage im Anhang beigefügt.

Auslegungsdaten

Mechanische Auslegung						
Technische Anforderungen		TS 25-0101-1, -2				
Rechtsvorschrift		97/23/EG Richtlinie über Druckgeräte (DGRL)				
Geräteeinstufung		Behälter der Kategorie III				
Konformitätsbewertungsverfahren		Modul G (EG-Einzelprüfung)				
Entwurf und Prüfung		DGRL und AD 2000				
Hersteller		CRONITEC Edelstahl GmbH, DE-59269 Beckum				
Benannte Stelle		TÜV Rheinland				
Geräte-Nummer		F113-6388-001				
CE-Kennzeichnung		CE 0035 (auf dem Fabrikschild)				
Aufstellungsbedingungen		Erdbebenzone 2, Untergrundklasse T, im Gebäude				
		Raum I IDR		Raum II UDR		
Durchflußstoff / Medium		Dampf		Wasser		
Fluidtyp gem. DGRL	Art. 3 Abs. 1.1	Gas/Dampf		Gas/Dampf		
Fluidgruppe gem. DGRL	Art. 3 Abs. 1.1	Gruppe 1		Gruppe 1		
Dichte (für Festigkeitsber.)	[kg/m³]	0,9		1.000		
Rauminhalt	[l]	62		93		
Zul. Druck (PS)	min. / max. [bar]	-1	8	0	8	
Zul. Temperatur (TS)	min. / max. [°C]	20	200	15	200	
Prüfdruck	liegend / stehend [bar]	12,9	12,7	14,5	14,3	
Prüfmedium	gem. TS 25-0101-1	Wasser		Wasser		
Austauschfläche	[m²]	9,3				

Berechnungsergebnis

Alle Bauteile sind für die Betriebsdaten ausreichend dimensioniert.

ANHANG

Berechnungsdetails

Zylinderschalen mit Ausschnitt

AD 2000 Merkblatt-B1: 2000-10 / AD 2000 Merkblatt-B9: 2010-02

Bez./Pos-Nr. : ·Zylindermantel DN 300

EINGABEDATEN

Sicherheitskonzept : 1 - nach AD-2000

Betriebsdaten

Berechnung für : 1 - Betriebszustand

p	=	8 bar	Berechnungsdruck
T	=	200 °C	Berechnungstemperatur

Material

Code-Nr.: 341 X 1 NiCrMoCuN 25 20 5 (1.4539) DIN EN 10028-7:2008-02 , SEW 400:1991-02 , VdTÜV 421:2011-06; AD W 2:2008-09

K/S = **136.7** N/mm² Rp1.0 = **205.0** N/mm² S = **1.50** [200.0 °C, 5.0 mm]

K'/S'= **247.6** N/mm² Rp1.0 = **260.0** N/mm² S'= **1.05** [20.0 °C, 5.0 mm]

v	=	1	Schweißnahtfaktor
Da	=	323.9 mm	Außendurchmesser
se	=	5 mm	vorh Wanddicke
c1	=	0 mm	Herstellungstoleranz
c2	=	0 mm	Abnutzungszuschlag

ERGEBNIS

bei Abmessungen: (vorh-erf)/erf , bei sonst. Angaben: (zul-vorh)/vorh)
Prozentangaben bedeuten Ueber-/Unterdimensionierungen

serf	=	**0.95 mm**	**erf. Wanddicke unverschwächt [Formel 2, AD-B1]**
		429 %	
c1/c2	=	0.00/0.00 mm	Herstellungstol./Abnutzungszuschlag (erf.Wanddicke)
c1 /c2	=	0.00/0.00 mm	Zuschläge, Mantel (vorh. Wanddicke)
da max ca		324 mm	max unverstärkter Ausschnitt
bei l <=		79.9 mm	geg. Beeinflussung von Ausschnitten / AD-B9 [8]

max.zulässige Drücke (maßgebliches Bauteil: Ausschnitt Nr. 1)

pmax	=	38.03 bar	max. zul. Druck Betriebszustand
pTmax	=	69.90 bar	max. zul. Druck Prüfzustand

EINGABEDATEN - Ausschnitt 1

Bez./Pos.: ·STUTZEN DN 25

Art des Ausschnitts : 1 - eingesteckt ohne V-Scheibe

Material

Code-Nr.: 255 X 1 NiCrMoCuN 25 20 5 (1.4539) SEW 400:1991-02 , VdTÜV 421:2011-06; AD W 2:1998-09

K/S = **123.3** N/mm² Rp1.0 = **185.0** N/mm² S = **1.50** [200.0 °C, 3.6 mm]

K'/S'= **238.1** N/mm² Rp1.0 = **250.0** N/mm² S'= **1.05** [20.0 °C, 3.6 mm]

vs	=	1	Schweißnahtfaktor, Stutzenrohr
da	=	33.7 mm	Außendurchmesser
ss	=	3.6 mm	vorh Wanddicke
c1	=	0 mm	Herstellungstoleranz
c2	=	0 mm	Abnutzungszuschlag
ls	=	150 mm	vorh Stutzenlänge
l's	=	0 mm	innerer Überstand
x	=	0 mm	Abstand zur nächsten Störstelle

ERGEBNIS - Ausschnitt 1

Bez./Pos.: STUTZEN DN 25

Wanddickenberechnung nach AD-B1

sserf	=	**0.11**	**mm**	**erf Wanddicke nach AD-B1 [Formel 2]**
		3204	**%**	
c1/c2	=	0.00/0.00	mm	Herstellungstol./Abnutzungszuschlag (erf.Wanddicke)

Flächenvergleich nach AD-B9 mit vorh Wanddicken

σv	=	28.8	N/mm²	vorhandene Spannung [Formel 2]
K/S	=	136.7	N/mm²	zulässige Spannung Zylinderschale
		375	**%**	
c1/ c2	=	0.00/0.00	mm	Zuschlägen, Stutzen (vorh. Wanddicke)
ss	=	3.6	mm	rechnerischer Stutzenwanddicke
ls mit	=	13.0	mm	rechn. äußerer Stutzenlänge [Formel 6]
ls'mit	=	0.0	mm	innerer Stutzenlänge
b mit	=	39.9	mm	mittragender Breite [Formel 3]
Aσ	=	258	mm²	tragender Querschnittsfläche
Ap	=	9150	mm²	druckbelasteter Fläche

Gewölbte Böden mit Ausschnitt unter Innen-/Aussendruck

AD 2000 Merkblatt-B3: 2000-10 / AD 2000 Merkblatt-B9: 2010-02

Bez./Pos-Nr. : ·Klöpperboden DN 300

EINGABEDATEN - Boden

Sicherheitskonzept : 1 - nach AD-2000

Betriebsdaten

Berechnung für : 1 - Betriebszustand

p	=	8 bar	Berechnungsdruck
T	=	200 °C	Berechnungstemperatur

Bodenform : 1 - Klöpperboden

Material

Code-Nr.: 341 X 1 NiCrMoCuN 25 20 5 (1.4539) DIN EN 10028-7:2008-02 , SEW 400:1991-02 , VdTÜV 421:2011-06; AD W 2:2008-09

K/S = **136.7** N/mm² Rp1.0 = **205.0** N/mm² S = **1.50** [200.0 °C, 5.0 mm]
K'/S'= **247.6** N/mm² Rp1.0 = **260.0** N/mm² S'= **1.05** [20.0 °C, 5.0 mm]

E	=	182000 N/mm²	Elastizitätsmodul
v	=	1	Schweißnahtfaktor
Da	=	323.9 mm	Außendurchmesser
se	=	5 mm	Wanddicke
c1	=	0 mm	Herstellungstoleranz
c2	=	0 mm	Abnutzungszuschlag

ERGEBNIS - Boden

bei Abmessungen: (vorh-erf)/erf , bei sonst. Angaben: (zul-vorh)/vorh)
Prozentangaben bedeuten Ueber-/Unterdimensionierungen

Boden

serf	=	**1.58 mm**	**erf Wanddicke unverschwächte Krempe (Formel 15)**
		217 %	
			mit ß = 3.33 bei (serf-c)/Da= 0.00487
c1/c2	=	0.00/0.00 mm	Herstellungstoleranz/Abnutzungszuschlag
c1/c2	=	0.00/0.00 mm	Zuschläge, Boden (vorh Wanddicke)
da max	ca	194 mm	max. unverstärkter Ausschnitt Kalotte
da max	ca	194 mm	Krempe
l	<=	114.3 mm	geg Beeinfluss. v. Ausschnitten [AD-B9:8]

max.zulässige Drücke (maßgebliches Bauteil: Ausschnitt Nr. 1)

pmax	=	32.45 bar	Betriebszustand
pTmax	=	**58.97 bar**	max zul Druck Prüfzustand

EINGABEDATEN - Ausschnitt 1

Bez./Pos.: ·STUTZEN DN 50

Art des Ausschnitts : 1 - eingesteckt ohne V-Scheibe

Material

Code-Nr.: 255 X 1 NiCrMoCuN 25 20 5 (1.4539) SEW 400:1991-02 , VdTÜV 421:2011-06; AD W 2:1998-09

K/S = **123.3** N/mm² Rp1.0 = **185.0** N/mm² S = **1.50** [200.0 °C, 3.6 mm]
K'/S'= **238.1** N/mm² Rp1.0 = **250.0** N/mm² S'= **1.05** [20.0 °C, 3.6 mm]

v	=	1	Schweißnahtfaktor, Stutzenrohr
da	=	60.3 mm	Außendurchmesser
ss	=	3.6 mm	vorh Wanddicke
c1	=	0 mm	Herstellungstoleranz
c2	=	0 mm	Abnutzungszuschlag
ls	=	150 mm	vorh Stutzenlänge
l's	=	0 mm	innerer Überstand
x	=	0 mm	Abstand zur nächsten Störstelle

Stutzenausrichtung : 2 - axialer Stutzen

Ausschnittpositionierung : 1 - in x-y-Koordinaten
t = 0 mm Abstand Bodenmitte - Ausschnittmitte
0 ° Winkel zur x-Achse
x-Koord = 0 mm x-Koordinate
y-Koord = 0 mm y-Koordinate

ERGEBNIS - Ausschnitt 1
Bez./Pos.: STUTZEN DN 50

sserf	=	**0.19 mm**	**erf Wanddicke des Stutzens nach AD-B1 (Formel 2)**
		1746 %	
c1/c2	=	0.00/0.00 mm	mit Herstellungstoleranz/Abnutzungszuschlag

Flächenvergleich nach AD-B9 mit vorh Wanddicken

σv	=	**33.7 N/mm²**	**vorhandene Spannung (Formel 2)**
K/S	=	136.7 N/mm²	zulässige Spannung Boden
		306 %	
bmit	=	57.1 mm	mit mittragender Breite (Formel 3)
ss	=	3.6 mm	rechnerischer Stutzenwanddicke
c1/c2	=	0.00/0.00 mm	Zuschlägen, Stutzen (vorh Wanddicke)
ls	=	14.3 mm	rechnerischer äußerer Stutzenlänge (Formel 6)
ls'	=	0.0 mm	innerer Stutzenlänge
psi	=	90.0 °	Stutzenneigung
Aσ	=	349 mm²	tragender Querschnittsfläche
Ap	=	14523 mm²	druckbelasteter Fläche

Feste Flansche

AD 2000 Merkblatt-B7: 2010-09 / AD 2000 Merkblatt-B8: 2007-05

Bez./ Pos-Nr : ·Hauptflansch DN 300 mit Feder

EINGABEDATEN

Sicherheitskonzept : 1 - nach AD-2000

Betriebsdaten

p	=	8 bar	Berechnungsdruck
p'	=	12.7 bar	Prüfüberdruck
T	=	200 °C	Berechnungstemperatur

Bauteil- / Betriebsparameter

Flanschtyp : 2 - Aufschweißflansch, innenl. Dichtung
Schraubentyp : 3 - Starrschrauben, phi=1.0 (n.AD-B7,Tafel 3.1/3.2)

Anzugsmoment ermitt. : 1 - Ja
Zusatzlasten : 1 - ohne Zusatzlasten

Materialdaten

Flansch
Code-Nr.: 1095 X 1 NiCrMoCuN 25 20 5 (1.4539) DIN EN 10222-5:2000-02; AD W 2:2008-09
K/S = **123.3** N/mm² Rp1.0 = **185.0** N/mm² S = **1.50** [200.0 °C, 350.0 mm]
K'/S'= **238.1** N/mm² Rp1.0 = **250.0** N/mm² S'= **1.05** [20.0 °C, 350.0 mm]
E = 180000 N/mm² Elastizitätsmodul
E = 195000 N/mm² Elastizitätsmodul Prüfbedingung

Anschlussrohr
Code-Nr.: 1181 X 1 NiCrMoCu 25 20 5 (1.4539) DIN EN 10217-7:2005-05; AD W 2:2008-09
Wärmeausdehnungskoeffizient angelehnt an SEW 310
K/S = **136.7** N/mm² Rp1.0 = **205.0** N/mm² S = **1.50** [200.0 °C, 5.0 mm]
K'/S'= **238.1** N/mm² Rp1.0 = **250.0** N/mm² S'= **1.05** [20.0 °C, 5.0 mm]

Schrauben
Code-Nr.: 1026 5.6 (-) DIN EN ISO 898-1:1999-11; AD W 7:2008-05
K/S = **127.8** N/mm² Rp0.2 = **230.0** N/mm² S = **1.80** [200.0 °C, 39.0 mm]
K'/S'= **238.1** N/mm² Rp0.2 = **300.0** N/mm² S'= **1.26** [20.0 °C, 39.0 mm]

Verhältnis Rp0.2/Rm

Geometrie, Flansch

da	=	445 mm	Flanschaußendurchmesser
dr	=	323.9 mm	Rohraußendurchmesser
dt	=	400 mm	Teilkreisdurchmesser
hF	=	23 mm	Flanschblatthöhe
dL	=	22 mm	Schraubenlochdurchmesser
s1	=	5 mm	vorhandene Wanddicke zylindr. Ansatz bzw. Rohr
c1	=	0 mm	Herstellungstoleranz
c2	=	0 mm	Abnutzungszuschlag

Dichtung

Dichtungstyp : 39- Expandierter Graphit mit Metalleinlage
Mediumkennzahl : 1 - Gase/Dämpfe
Schrauben nachziehen : 1 - Ja
Vorverformkraft : 0 - reduzieren

dDa	=	363 mm	Dichtungsaußendurchmesser
dDi	=	343 mm	Dichtungsinnendurchmesser

Schrauben

n	=	12	Stck	Anzahl der Schrauben bzw Schraubenlöcher
dk	=	16.76	mm	Gewindekerndurchmesser
d2	=	18.376	mm	Flankendurchmesser der Schrauben
daS	=	30	mm	Äußerer Auflagedurchmesser der Schrauben
α	=	60	°	Flankenwinkel des Gewindes
P	=	2.5	mm	Steigung des Gewindes
μG_min	=	0.16		min Reibungskoeffizient des Gewindes
μA_min	=	0.16		min Reibungskoeffizient der Auflagefläche
μG_max	=	0.16		max Reibungskoeffizient des Gewindes
μA_max	=	0.16		max Reibungskoeffizient der Auflagefläche

ERGEBNIS

bei Abmessungen: (vorh-erf)/erf , bei sonst. Angaben: (zul-vorh)/vorh)
Prozentangaben bedeuten Ueber-/Unterdimensionierungen

Geometriedaten

s1	=	**5.00 mm**	**rechn. Wanddicke zyl.Ansatz bzw. Rohr**
c1	=	0.00 mm	mit Herstellungstoleranz
c2	=	0.00 mm	Abnutzungszuschlag

Hebelarme

aR	=	40.55 mm	- der Rohrkraft
aF	=	33.28 mm	- der Ringflächenkraft
aD	=	23.50 mm	- der Dichtungskraft
dL'	=	15.09 mm	reduzierter Schraubenlochdurchmesser
dD	=	353.00 mm	mittlerer Dichtungsdurchmesser
bD	=	10.00 mm	Dichtungsbreite
	=	4.76	Schraubenteilung / dL
di * p	=	2511 mm	Schweißnahtkontrolle nach AD-B8, Tafel 1

			Einbau (0)	Betrieb (B)	Prüf (P)
Dichtungsdaten					
Medium			Gase/Dämpfe	Gase/Dämpfe	Flüssigkeit
Kennwert k1		mm	--	13.00	13.00
Kennwert k0*KD		N/mm²	200.00	--	--
Kräfte		N			
Rohrkraft-Innendruck	FI..	N	--	61910	98283
Ringflächenkraft	FF..	N	--	16384	26009
Dichtungskraft	FD..	N	--	13840	21971
Vorverformkraft	FDV	N	221796	--	--
red Vorverformkraft	FDV'	N	158720	--	--
Min Schraubenkraft	FS..	N	158720	92134	146263
Flansch (DIN2505)					
Mindestwanddicke	sl	mm	--	0.30	0.39
Biegemoment	M	Nmm	3729926	3380877	5367142
vorh Widerstandsmom.	W	mm³	39630	39609	39595
vorh Spannungen		N/mm²	94.12	85.36	135.55
zul Spannungen		N/mm²	238.10	123.30	238.10
vorh Spannungsreserve		%	**153**	**44**	**76**
vorh Flanschblattneigung		°	0.5628	0.5527	0.8099
Schrauben					
erf Kerndurchmesser	dk	mm	8.43	11.72	8.09
Beiwert	Z		1.27	1.51	1.27
Konstruktionszuschlag	c5	mm	0.00	3.00	0.00
vorh Spannungsreserve		%	**295**	**149**	**329**

pmax	=	**11.55 bar**	max zul Druck Betriebszustand
pTmax	=	**22.27 bar**	max zul Druck Prüfzustand

Hinweise

Hinweis zu sl: erforderliche Mindestwanddicke aufgrund der Längskräfte im Rohr mit Formel 15 (DIN 2505V)

Bezüglich der Schweißnahtausführung ist AD-B8, Tafel 1 zu beachten Mindestanforderungen für Schweißnahtdicken

Mindestschraubenkraft für den Einbauzustand (FS0) wurde mit einem Zuschlag von 10% auf die Mindestschraubenkraft für den Betriebszustand (FSB) bestimmt (siehe DIN 2505 Abs.4.5).

Ergebnisse bei max. Auslastung der Schrauben, Montagezustand

FS0 max = 794235 N Zugrunde gelegte Schraubenkraft
entspricht einer Spannung von 100% des Festigkeitskennwertes der Schrauben (Prüf/ Einbau)

σF = 471.0 N/mm² vorh Spannung im Flansch
α = 2.816 ° vorh Flanschblattneigung
σP = 71.6 N/mm² vorh Flächenpressung der Dichtung

Anzugsmomente nach VDI-Richtlinie 2230

erf Schraubenanzugsmoment (mit μmax) MAmin = 55 Nm
mit FVM = FS0 = 158720 N / 12 Schrauben = 13227 N
vorh Flächenpressung der Dichtung bei MAmin = 14.3 N/mm²
max. zul. Schraubenanzugsmoment (Einbau/mit μmin) MAmax = 140 Nm
mit FVM = FS0maxT = 401526 N / 12 Schrauben = 33461 N
FS0maxT = aufgrund Flanschauslastung abgeminderte Kraft FS0max.
vorh Flächenpressung der Dichtung bei MAmax = 36.2 N/mm²

MA = FVM * (d2/2 * tan(phi + rho') + μA * rA)
phi = arctan(P / (d2 * π))
rho'= arctan(μG / cos(α / 2))
rA = (dL + daS) / 4

Die Flächenpressung der Dichtung wurde für MAmax nicht überprüft !

Rohrplatten und Rohre an Wärmetauschern

AD 2000 Merkblatt-B5: 2009-03 / AD 2000 Merkblatt-B6: 2006-10

Bez./ Pos-Nr: : ·Rohrboden DN 300

EINGABEDATEN

Sicherheitskonzept : 1 - nach AD-2000

Betriebsdaten

Berechnung für : 1 - Betriebszustand
pi = 8 bar Berechnungsdruck in den Rohren
pu = 8 bar Berechnungsdruck um die Rohre
T = 200 °C Berechnungstemperatur

Bauteilbeschreibung

Rohrboden-Typ : 1 - Rohre und Mantel gegenseitig verankert

Werkstoffdaten

Rohrboden

Code-Nr.: 341 X 1 NiCrMoCuN 25 20 5 (1.4539) DIN EN 10028-7:2008-02 , SEW 400:1991-02 , VdTÜV 421:2011-06; AD W 2:2008-09

K/S = **136.7** N/mm² Rp1.0 = **205.0** N/mm² S = **1.50** [200.0 °C, 26.0 mm]
K'/S'= **247.6** N/mm² Rp1.0 = **260.0** N/mm² S'= **1.05** [20.0 °C, 26.0 mm]
Etp = 182000 N/mm² Elastizitätsmodul

Rohre

Code-Nr.: 255 X 1 NiCrMoCuN 25 20 5 (1.4539) SEW 400:1991-02 , VdTÜV 421:2011-06; AD W 2:1998-09

K/S = **123.3** N/mm² Rp1.0 = **185.0** N/mm² S = **1.50** [200.0 °C, 2.0 mm]
K'/S'= **238.1** N/mm² Rp1.0 = **250.0** N/mm² S'= **1.05** [20.0 °C, 2.0 mm]

Rohre unter Aussendruck nach AD-B6

Et = 182000 N/mm² Elastizitätsmodul
K/Sp = 115.6 N/mm² zulässige Spannung plast. Verformen
Sp = 1.6 Sicherheitsbeiwert, plast Verformen

Rohrboden

se = 26 mm vorh. Rohrbodendicke
c1 = 0 mm Herstellungstoleranz
c2 = 0 mm Abnutzungszuschlag

Geometriedaten, Boden, rohrseitig

Einspanntyp : 10- einseitig eingeschweißt
Da = 323.9 mm Kammeraussendurchmesser
s1 = 5 mm vorh Kammerwanddicke

Geometriedaten, Boden, mantelseitig

Da = 323.9 mm Aussendurchmesser
s1 = 5 mm vorhandene Wanddicke
c1 = 0 mm Herstellungstoleranz
c2 = 0 mm Abnutzungszuschlag

Geometriedaten, Berohrung

d2 = 289 mm Durchmesser des einbeschriebenen Kreises

Teilungstyp : 1 - Anordnung der Rohre in Dreiecksteilung - 60°
t = 33 mm Teilung

Verbindung Rohr/Boden : 1 - eingeschweisst

g	=	1	mm	Nahtdicke im Abscherquerschnitt
dA	=	25	mm	Rohraussendurchm.
seR	=	2	mm	vorh Rohrwanddicke
u	=	0	%	Unrundheit
n	=	61		Gesamtzahl der Rohre
δAR	=	1	mm²	Belastungsfl.d.Randfeld.
l01	=	1948	mm	Rohrlänge zwischen Führung fest/fest
l02	=	130	mm	Rohrlänge zwischen Führung fest/gelenk
l03	=	130	mm	Rohrlänge zwischen Führung gelenk/gelenk

ERGEBNIS

bei Abmessungen: (vorh-erf)/erf , bei sonst. Angaben: (zul-vorh)/vorh)
Prozentangaben bedeuten Ueber-/Unterdimensionierungen

serf	=	**8.84**	**mm**	**erf. Rohrbodendicke im unberohrten Teil**
c1/c2	=	0.0/ 0.0	mm	mit Zuschlägen
p	=	8.00	bar	Berechnungdruck
d2	=	289.0	mm	Berechnungsdurchmesser
C	=	0.400		Berechnungsbeiwert

Sicherheit gegen Herausziehen der Rohre

AR+δAR	=	453	mm²	Belastungsfläche
FR	=	363	N	vorh Rohrkraft
gerf	=	0.05	mm	erf Nahtdicke im Abscherquerschnitt
		2026	**%**	

Berechnung der Rohre auf Knicken/Druck (Formel 8a)

Fkzul	=	6077	N	zul Knickkraft
Fk	=	478	N	vorh Knickkraft
		1171	**%**	
Sk	=	3.00		Sicherheitsbeiwert Knicken
lk	=	974	mm	Berechnungs-Knicklänge der Rohre
lambda	=	119.33		Schlankheitsgrad (Bedingung:<=200)
lambda0	=	98.55		Übergang Knicken / plast. Fließen
gerf	=	0.06	mm	erf Nahtdicke im Abscherquerschnitt
		1512	**%**	

Zugbeanspruchung in den Rohren

Fzug	=	363	N	vorh Zugkraft/Rohr
Szug	=	2.51	N/mm²	vorh Zug-/Druckspannung durch Längskraft
		4815	**%**	

Wärmetauscherrohre nach AD-B1/B6

serf	=	0.08	mm	erf Wanddicke bei Innendruck pi (AD-B1)
		2374	**%**	
serf	=	0.56	mm	erf Wanddicke elastisches Einbeulen bei pu (AD-B6)
		254	**%**	
Sk	=	5.75		Sicherheitsbeiwert
serf	=	0.52	mm	erf Wanddicke plastisches Verformen bei pu (AD-B6)
		281	**%**	
u	=	7.00	%	Unrundheit