



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Marius Simon Redlin

Auslegung und Konstruktion eines Kältemittelverflüssigers für den maritimen Einsatz

*Fakultät Technik und Informatik
Department Maschinenbau und Produktion*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department Mechanical Engineering and
Production Management*

Marius Simon Redlin

Auslegung und Konstruktion eines Kältemittelverflüssigers für den maritimen Einsatz

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Maschinenbau/Entwicklung und Konstruktion
am Department Maschinenbau und Produktion
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:
AERIUS Marine GmbH
Abteilung RDES
Lübeckerstraße 128
22087 Hamburg

Erstprüfer/in: Prof. Dr. -Ing. Sven Jerzembeck
Zweitprüfer/in: Dr. -Ing Florian Beenken

Abgabedatum: 19.02.2021

Marius Simon Redlin

Thema der Bachelorthesis

Auslegung und Konstruktion eines Kältemittelverflüssigers für den maritimen Einsatz

Stichworte

Kältemittelverflüssiger, Kondensator, Kälteaggregat

Kurzzusammenfassung

Es soll ein Kältemittelverflüssiger ausgelegt und konstruiert werden, welcher Beschleunigungen bis zu 16 G standhält, mit einem HFKW R134a betrieben wird und sehr kompakt gebaut und besonders wartungsarm ist.

Marius Redlin

Title of the paper

Design and construction of a refrigerant condenser for maritime use

Keywords

Refrigerant condenser, Condenser, Refrigeration unit

Abstract

A refrigerant condenser is to be designed and constructed that can withstand shocks of up to 16 G, is operated with an HFC R134a and very compact and particularly low maintenance.



Aufgabenstellung

für die Bachelorthesis

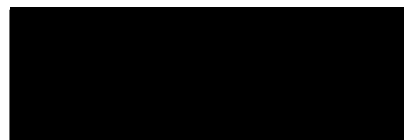
Von [REDACTED]
Matrikel-Nummer: [REDACTED]

Thema: Auslegung und Konstruktion eines Kältemittelverflüssigers für den maritimen Einsatz

Schwerpunkte: In der Arbeit soll ein mit Seewasser betriebener Vierpasskältemittelverflüssiger ausgelegt und konstruiert werden. Der Kältemittelverflüssiger soll im maritimen Bereich eingesetzt werden, wodurch sich die Anforderung ergibt, dass dieser besonders wartungsarm sein muss. Außerdem ist eine weitere Reihe von Randbedingungen und Anforderungen gegeben.

Im Vordergrund sollen dabei die Konstruktion und die statische Auslegung, mit einem besonderen Augenmerk auf den Klöpperböden, stehen. Des Weiteren sind Sicherheitsventile, Flansche, Stege und eine geeignete Halterung auszulegen.

Die Konstruktion des Kältemittelverflüssigers soll fertigungsgerecht in einer geeigneten CAD-Software in 3D erfolgen.



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungs- und Symbol-verzeichnis.....	V
1 Einleitung.....	1
2 Grundlagen	2
2.1 Funktionsweise Kältemittelkreislauf.....	2
2.2 Aufbau und Funktionsweise Kältemittelverflüssiger.....	3
3 Berechnungen	6
3.1 Anforderungen an den Kältemittelverflüssiger	6
3.2 Kältemittel	6
3.3 Geschwindigkeiten und Durchmesser	7
3.4 Mantel.....	7
3.4.1 Wandstärke Mantelrohr (ohne Anschluss) gemäß AD2000, B1 [1].....	8
3.4.2 Mantelrohr mit Ausschnitt gemäß AD2000, B9 [1].....	9
3.4.3 Überprüfung Mantel bei Druckdifferenz Tauscherrohr zu Mantelrohr gem. AD2000, B5 [1].....	11
3.5 Klöpperboden nach DIN 28011 [3]	12
3.5.1 Klöpperboden ohne Ausschnitt gemäß AD2000, B3 [1].....	12
3.5.2 Klöpperboden mit Ausschnitt in Kalotte	14
3.6 Rohrboden	18
3.6.1 Rohrboden gem. AD2000, B5 [1]	19
3.6.2 Überprüfung des runden Rohrbodens mit Verankerung durch Rohre gem. AD 2000[1].....	20
3.6.3 Bestimmung des Flanschrandes des Rohrbodens gem. AD2000, B5 [1]....	21

3.7	Knicksteifigkeit der Tauscherrohre gem. AD 2000, B5 [1].....	22
3.8	Anschlussrohre und Flansche	26
3.8.1	Anschlussrohre Seewasser	26
3.8.2	Anschluss Kältemittelseite.....	31
3.8.3	Anschluss Kältemittel gasförmig.....	33
3.9	Schraubenverbindung gemäß AD2000, B7 [1]	33
3.9.1	Ermittlung der Einzelkräfte unter Prüfbedingungen	34
3.9.2	Ermittlung Schraubendurchmesser	34
3.9.3	Ermittlung des Anziehmomentes.....	36
3.10	Schweißring an Anschluss- und Umlenkdeckel gem. AD 2000, B8 [1]	37
3.11	Schweißausführung an Anschluss- und Umlenkdeckel gem. AD 2000, B8 [1]...	38
3.12	Kopfhalter.....	40
3.13	Sicherheitsventil nach DIN EN 13136 [4].....	41
4	Konstruktion.....	44
4.1	Mantel	44
4.2	Rohrstutzen Seewasser	45
4.3	Rippenrohre	46
4.4	Flansche und Anschlüsse	46
4.5	Halterung	47
4.6	Sicherheitsventile	48
5	Fazit und Ausblick	49
	Literaturverzeichnis	VI
	Anhang.....	VIII
	Anhang 1: Fertigungszeichnung	IX
	Versicherung über Selbstständigkeit	XXII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Kältemittelkreislauf.....	2
Abbildung 2.2: Zustandsdiagramm.....	3
Abbildung 2.3: Grundprinzip Verflüssiger.....	3
Abbildung 2.4: Prinzip wassergekühlter Verflüssiger.....	4
Abbildung 2.5: Passanzahl.....	4
Abbildung 3.6: Mantelrohr.....	8
Abbildung 3.7: Graph zur Bestimmung von V_A aus der AD 2000, B9 [1].....	10
Abbildung 3.8: Umlenkdeckel.....	12
Abbildung 3.9: Klöpferboden.....	14
Abbildung 3.10: Mittragenden Länge l_s	15
Abbildung 3.11: Querschnittsflächenberechnung.....	16
Abbildung 3.12: Darstellung der vorhandenen Kalotte und Krempe.....	17
Abbildung 3.13: Berechnung D_2	19
Abbildung 3.14: Flanschrand im C-C Schnitt.....	21
Abbildung 3.15: Rippenrohrbündel.....	23
Abbildung 3.16: Berechnungsbeiwert C_z gem. [1].....	24
Abbildung 3.17: Vorhandenen Belastungsfläche.....	25
Abbildung 3.18: Flansch Seewasserseite B-B Schnitt.....	27
Abbildung 3.19: Reduzierter Schraubendurchmesser gem. [1].....	29
Abbildung 3.20: Flansch mit Klöpferboden verschweißt.....	37
Abbildung 3.21: Schweißnahtdicke AD 2000, B8, S11 [1].....	39
Abbildung 3.22: Auszug aus Solkane bei tatsächlichem Abblasedruck.....	42
Abbildung 3.23: Abblaseleistung des T21 Ventils bei R134a S.21 [8].....	43
Abbildung 4.24: Kältemittelverflüssiger.....	44
Abbildung 4.25: Zusammengebautes Mantelrohr.....	45
Abbildung 4.26: Rohstutzen fürs Seewasser mit Knick.....	45
Abbildung 4.27: Rohstutzen für Seewasser mit Bogen.....	45
Abbildung 4.28: Rippenrohr Wieland-Werke AG Zng-Nr:837.00885.....	46
Abbildung 4.29: AWP Flansch.....	47
Abbildung 4.30: ISO 7005 Flansch.....	47
Abbildung 4.31: Kopfhalter mit Ausschnitt.....	47
Abbildung 4.32: Kopfhalter.....	47
Abbildung 4.33: Kopfhalter geschweißt.....	48
Abbildung 4.34: T21.FA Sicherheitsventil [8].....	48

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Arbeits- und Prüfdrücke	6
Tabelle 3.2: Anforderungen des Mantelrohres ohne Anschlüsse	8
Tabelle 3.3: Anforderungen des Mantelrohres mit Ausschnitten	9
Tabelle 3.4: Auswahl des Graphen für den Verschwächungsbeiwert mit dem Verhältnis von S_A/D_1	10
Tabelle 3.5: Anforderungen des Mantelrohres bei Druckdifferenz	11
Tabelle 3.6: Anforderungen des Klöpperbodens ohne Ausschnitte	13
Tabelle 3.7: Anforderungen der mittragenden Längen und Querschnittsflächen	15
Tabelle 3.8: Querschnittsflächen	16
Tabelle 3.9: Anforderungen des Klöpperbodens mit Ausschnitten	18
Tabelle 3.10: Anforderungen des Rohrbodens	19
Tabelle 3.11: Anforderungen des Rohrbodens verankert durch Rohre	20
Tabelle 3.12: Anforderungen des Flanschrandes des Rohrbodens	21
Tabelle 3.13: Anforderungen der Tauscherrohre	23
Tabelle 3.14: Anforderungen der Walzverbindung	25
Tabelle 3.15: Zulässige Beanspruchung der Walzverbindung	25
Tabelle 3.16: Anforderungen Anschlussrohre Seewasser	26
Tabelle 3.17: Anforderungen des Aufschweißflansches	28
Tabelle 3.18: Anforderungen des Kesselrohres	31
Tabelle 3.19: Anforderungen der Kesselrohrbögen	32
Tabelle 3.20: Anforderungen T-Stück Kältemittelseitig	33
Tabelle 3.21: Anforderungen der Einzelkräfte	34
Tabelle 3.22: Hilfwert Z	35
Tabelle 3.23: Anforderungen des Schrauben-durchmessers	35
Tabelle 3.24: Anforderungen des Anziehmomentes	36
Tabelle 3.25: Anforderungen der notwendigen Flanschhöhe	37
Tabelle 3.26: Anforderungen der Schweißnähte	38
Tabelle 3.27: Anforderungen des Kopfhalters	40
Tabelle 3.28: Anforderungen der Sicherheitsventile	41

Abkürzungs- und Symbol-verzeichnis

Symbol	Einheit	Beschreibung
A	mm^2	Fläche
a	mm	Hebelarm
A_{Beh}	mm^2	Fläche Behälter
A_e	mm^2	Engster Querschnitt
A_{gB}	mm^2	Fläche glatter Boden
A_M	mm^2	Fläche Mantel
A_{MQ}	mm^2	Materialquerschnitt
A_P	mm^2	Querschnittsfläche P
A_Q	mm^2	Gesamte tragende Querschnittsfläche
A_{Q0}	mm^2	Querschnittsfläche 0
$A_{Q0,\text{neu}}$	mm^2	Neue Querschnittsfläche 0
A_{Q1}	mm^2	Querschnittsfläche 1
A_{Q2}	mm^2	Querschnittsfläche 2
A_r	mm^2	Belastungsfläche
A_{Steg1}	mm^2	Querschnittsfläche Steg1
A_{Steg2}	mm^2	Querschnittsfläche Steg2
$A_{\text{vor,w}}$	mm^2	Vorhandene Stützfläche
A_w	mm^2	Stützfläche
b	mm	Flanschbreite
B	–	Hilfswert
B_1	–	Bestimmungsgröße
b_B	mm	Hilfswert
b_D	mm	Dichtungsbreite
C	–	Isentropenexponent
C_1	mm	Wanddickenunterschreitung
$C_{1,\text{KR}}$	mm	Wanddickenunterschreitung Kältemittelrohr
$C_{1,\text{P235}}$	mm	Wanddickenunterschreitung P235GH
$C_{1,\text{RB}}$	mm	Wanddickenunterschreitung Rohrboden
C_2	mm	Abnutzungsfaktor
$C_{2,\text{KR}}$	mm	Abnutzungsfaktor Kältemittelrohr
$C_{2,\text{P235}}$	mm	Abnutzungsfaktor P235GH
$C_{2,\text{RB}}$	–	Zuschläge

Symbol	Einheit	Beschreibung
C_Z	–	Berechnungsbeiwert
d_2	mm	Gewindeflankendurchmesser
$d_{2,R}$	mm	Unberohrte Durchmesser
D_a	mm	Außendurchmesser
d_a	mm	Außendurchmesser
$d_{a,F}$	mm	Außendurchmesser Flansch
$D_{a,K}$	mm	Außendurchmesser Klöpperboden
$D_{a,KR}$	mm	Außendurchmesser Kältemittelrohr
$D_{A,M}$	mm	Außendurchmesser Mantel
$D_{A,M}$	mm	Außendurchmesser Mantel
$D_{a,RB}$	mm	Außendurchmesser Rohrboden
$d_{a,RR}$	mm	Außendurchmesser Rippenrohr
$d_{a,SF}$	mm	Außendurchmesser Seewasserflansch
$d_{a,SK}$	mm	Außendurchmesser Stutzen
d_D	mm	Mittlerer Durchmesser Dichtung
d_D	mm	Dichtungsdurchmesser
$d_{d,SF}$	mm	Dichtungsdurchmesser Seewasserflansch
D_i	mm	Innendurchmesser
$D_{i,M}$	mm	Innendurchmesser Mantel
$d_{i,MF}$	mm	Innendurchmesser Flansch
$d_{i,RR}$	mm	Innendurchmesser Rippenrohr
$d_{i,SF}$	mm	Innendurchmesser Seewasserflansch
$d_{i,V}$	mm	Innendurchmesser Ventil
d_L	mm	Schraubenlochdurchmesser
d_m	mm	mittlerer Durchmesser
d_S	mm	Mindestschraubendurchmesser
$d_{S,v}$	mm	Vorhandener Schraubendurchmesser
d_t	mm	Lochkreisdurchmesser
d_w	mm	Außendurchmesser Auflage
e	mm	Länge
$E_{RR,90}$	$\frac{N}{mm^2}$	Elastizitätsmodul Rippenrohre bei 90 °C
e_y	mm	Abstand Schwerpunkt bis äußere Faser
F	N	Kraft
f	mm	Länge

Symbol	Einheit	Beschreibung
F	N	Gewichtskraft
F_{DB}	N	Betriebsdichtkraft
F_{DP}	N	Dichtungskraft
F_{FP}	N	Ringflächenkraft
F_R	N	Resultierende Kraft
F_{RP}	N	Rohrlängskraft
F_S	N	Schraubkraft
F_{SP}	N	Mindestschraubkraft
$F_{vor,K,RR}$	N	Vorhandene Knickkraft Rippenrohr
$F_{vor,R}$	N	Kraft Rippenrohr
F_{zul}	N	Zulässige Axialkraft
$F_{zul,K,RR}$	N	Zulässige Knickkraft Rippenrohr
$F_{zul,M}$	N	Zulässige Kraft Mantel
g	$\frac{m}{s^2}$	Erdbeschleunigung
g_1	mm	Schweißnahtdicke 1
g_2	mm	Schweißnahtdicke 2
G_{vor}	–	Schockfestigkeit
h'	$\frac{kJ}{kg}$	Enthalpie flüssiger Zustand
h''	$\frac{kJ}{kg}$	Enthalpie gasförmiger Zustand
h_A	mm	Höhe Flansch bis Konus
h_F	mm	Flanshhöhe
$h_{F,erf,D}$	mm	Erforderliche Flanshhöhe Rohrboden
$h_{F,t}$		Tatsächliche Flanshhöhe
$h_{F,vor,D}$	mm	Vorhandene Flanshhöhe Rohrboden
h_{vap}	$\frac{kJ}{kg}$	Verdampfungsenthalpie
I_x	mm ⁴	Trägheitsmoment
J_{RR}	mm ⁴	Trägheitsmoment Rippenrohr
k	$\frac{N}{mm^2}$	Streck-/ Dehngrenze
k_0	$\frac{N}{mm^2}$	Zugfestigkeit Material von A_{Q0}

Symbol	Einheit	Beschreibung
k_1	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Zugfestigkeit Material von A_{Q1}
k_1	mm	Dichtungskennwert
k_2	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Zugfestigkeit Material von A_{Q2}
$k_{21\text{CrMo}}$	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Streckgrenze 21 CrMo V 5-7
$k_{21\text{CrMo},20}$	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Streckgrenze 21 CrMo V 5-7 bei 20°C
$k_{4,\text{CuNi}10}$	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Zugfestigkeit CuNi10Fe1,6Mn bei Sicherheit 4
K_b	–	Korrekturfaktor kritische Strömung
$k_{\text{CuNi}10}$	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Zugfestigkeit CuNi10Fe1,6Mn
$k_{\text{CuNi}30}$	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Zugfestigkeit CuNi30Mn1Fe
K_{dr}	–	Ausflusskoeffizient
KMV	–	Kältemittelverflüssiger
$k_{\text{P}235}$	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Streckgrenze P235GH
$k_{\text{P}235,100}$	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Streckgrenze P235Gh bei 100 °C
$k_{\text{P}235,4}$		Streckgrenze P235GH bei Sicherheit 4
l_H	mm	Abstand Mittelpunkt KMV bis Oberkante Halter
l_M	mm	Länge Mantel
l_M	mm	Länge Mantelrohr
l_S	mm	Mittragendene Länge
l_W	mm	Einwalzlänge
l_X	mm	größter Abstand zwischen Stützblechen
M_A	Nm	Anziehmoment
M_{erf}	Nm	Erforderliches Biegemoment
m_{KMV}	kg	Masse KMV
$m_{\text{R}134a}$	kg	Masse R134a
m_{Wasser}	kg	Masse Wasser
n	–	Anzahl Schrauben
P	mm	Steigung

Symbol	Einheit	Beschreibung
p_0	bar	Tatsächlicher Abblasedruck
p_{atm}	bar	Atmosphärendruck
p_B	bar	Betriebsdruck
$p_{B,R134a}$	bar	Betriebsdruck R134a
$p_{B,W}$	bar	Betriebsdruck Wasser
p_i	bar	Druck Tauscherrohre
p_{max}	bar	Maximaler Druck
$p_{\text{max,KR}}$	bar	Maximal zulässiger Druck Kältemittelrohr
p_P	bar	Prüfdruck
$p_{P,R134a}$	bar	Prüfdruck R134a
$p_{P,W}$	bar	Prüfdruckdruck Wasser
p_{set}	bar	Abblasedruck
p_u	bar	Druck im Mantel
Q	$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$	Volumenstrom
Q_m	$\frac{\text{kg}}{\text{h}}$	Tatsächliche Massenstrom
Q_{md}	$\frac{\text{kg}}{\text{h}}$	Mindestabblaseleistung
$r_{a,M}$	mm	Außenradius Mantel
$r_{i,M}$	mm	Innenradius Mantel
r_{KB}	mm	Radius Kältemittelrohrbogen
s_0	mm	Wandstärke
s_1	mm	Wandstärke 1 Seewasserflansch
s_A	mm	Wandstärke
$s_{a,CuNi30}$	–	Sicherheitsfaktor CuNi30Mn1Fe
$s_{a,K}$	mm	Wandstärke Klöpperboden
$s_{A,P235}$	–	Sicherheitsfaktor P235GH
$s_{a,SK}$	mm	Wandstärke Stutzen
s_D	–	Sicherheitsbeiwert Dichtung
s_{erf}	mm	erforderliche Wandstärke
$s_{\text{erf,K}}$	mm	Erforderliche Wandstärke Klöpperboden
$s_{\text{erf,KB}}$	mm	Erforderliche Wandstärke Kältemittelrohrbogen
$s_{\text{erf,KR}}$	mm	Erforderliche Wandstärke Kältemittelrohr

Symbol	Einheit	Beschreibung
$S_{\text{erf,M}}$	mm	erforderliche Wandstärke Mantel
$S_{\text{erf,M,neu}}$	mm	neue erforderliche Wandstärke
$S_{\text{erf,RB}}$	mm	Erforderliche Wandstärke Rohrboden
$S_{\text{erf,T}}$	mm	Erforderliche Wandstärke T-Stück Kältemittelrohr
$S_{\text{erf,U}}$	mm	Erforderliche Wandstärke Umlenkdeckel
S_{F}	–	Sicherheitsfaktor Flansch
S_{F}	mm	Wandstärke F Seewasserflansch
S_{KR}	mm	Wandstärke Kältemittelrohr
S_{M}	mm	Wandstärke Mantel
S_{m}	mm	Bestimmungsgröße
S_{S}	mm	Wandstärke
S_{S}	mm	Wandstärke Stutzen
S_{SK}	mm	Wandstärke Stutzen
S_{vor}	mm	Vorhandene Wandstärke
$S_{\text{vor,K}}$	mm	Vorhandene Wandstärke Klöpperboden
$S_{\text{vor,RB}}$	mm	Vorhandene Wandstärke Rohrboden
S_{W}	–	Sicherheitsbeiwert
v	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	Geschwindigkeit
V	–	Ausnutzungsfaktor der Schweißnaht
V_{a}	–	Verschwächungsbeiwert
V_{KR}	–	Schweißnaht Ausnutzungsfaktor Kältemittelrohr
W	mm^3	Flanschwiderstand
W_{erf}	mm^3	erforderliches Widerstandsmoment
W_{x}	mm^3	Widerstandsmoment
y	–	Hilfswert
Z	–	Ausschnittverhältnis
Z_1	mm^3	Hilfswert
d'_{L}	mm	Berechnungsdurchmesser
d''_{L}	mm	Berechnungsdurchmesser
v	–	Beiwert
v_0	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	Spezifisches Volumen

Symbol	Einheit	Beschreibung
α_1	mm	Hebelarm
β	–	Beiwert
β_a	–	Berechnungsbeiwert
λ	–	Schlankheitsgrad
μ_{ges}	–	Gesamtreibung
σ	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Spannung
$\sigma_{a,M}$	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Axialspannung Mantel
$\sigma_{B/100000}$	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Zeitstandfestigkeit
$\sigma_{\text{vor.}}$	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Vorhandene Spannung
σ_{zul}	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Streckgrenze bei schwellender Belastung
$\sigma_{\text{zul,P235}}$	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Zulässige Spannung P235GH
φ_V	$\frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$	Normwärmestrom

1 Einleitung

Zum Betrieb eines U-Bootes sind neben dem Antrieb und der Sauerstoffaufbereitung weitere Systeme notwendig. Eines dieser Systeme ist der Kaltwassersatz zum Abführen der Energie, in Form von Wärme. Kaltwassersätze werden auf einem Schiff benötigt, um den Proviant zu kühlen und die Luft zu klimatisieren. Außerdem muss eine steigende Anzahl an Elektronikteilen gekühlt werden. Ohne Kühlkreisläufe würde der Proviant verderben, die Luft wäre unerträglich warm und die Systeme würden überhitzen. Hierzu kommen Kaltwassersätze zum Einsatz. Die Effizienz des Kaltwassersatzes hängt direkt von dem eingesetzten Kältemittelverflüssiger (KMV) ab. Der KMV dient dazu die Energie, die das Kältemittel im Verdampfer aufgenommen hat, auf einem höheren Druckniveau und damit bei einer höheren Temperatur abzuführen, bevor das Kältemittel entspannt und wieder dem Verdampfer zugeführt wird. Bei diesem Prozess nutzt man den Phasenübergang von dampfförmig zu flüssig, um die übertragbare Energie zu erhöhen, das Kältemittel kondensiert im Kältemittelverflüssiger.

Die KMV müssen wartungsarm und standhaft sein, nach dem Einbau ist die Demontage nur noch bedingt möglich. Fläche für Geräte ist nur begrenzt verfügbar, der KMV muss so klein wie möglich sein, darf die geforderte Leistung aber nicht unterschreiten. Der KMV unterliegt hydrostatische Druckänderungen, denen er standhalten muss. Das einzige Kühlmedium, welches für einen KMV vorhanden ist, ist Seewasser. Durch die Verwendung von Seewasser, als Kühlmedium, muss der KMV korrosionsbeständig sein. Dieser KMV wird auf einem U-Boot eingesetzt und muss daher auch noch möglichst geräuscharm sein. Zudem ist die Erzeugung von elektrischer Energie aufwändig und führt zu zusätzlichem Kraftstoffverbrauch.

Aus dem Grund der kompakten und wartungsarmen Bauweise werden für diese Zwecke wassergekühlte KMV verwendet, welche einen Vier-Pass haben, auf Grund dessen, sie platzsparend und zugleich stabil genug sind, dem Druck des Kältemittels, des Seewassers und den Beschleunigungen von bis zu 16 G standzuhalten. In dieser Arbeit wird ein KMV angelegt und konstruiert, der diese besonderen Anforderungen erfüllt.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die für das Verständnis der vorliegenden Bachelorarbeit notwendigen Grundlagen dargestellt. Dabei wird Abschnitt 2.1 zunächst auf die Funktionsweise eines Kältemittelkreislaufes erörtert, bevor dann in Abschnitt 2.2 auf die Funktionsweise eines Kältemittelverflüssigers erörtert wird.

2.1 Funktionsweise Kältemittelkreislauf

In einem Kältemittelkreislauf fließt ein Kältemittel in einem Rohrleitungssystem durch vier verschiedene Bauteile Verdichter, Kondensator, Expansionsventil und Verdampfer. Während das Kältemittel diese Bauteile durchfließt, ändert es seinen Zustand durch Aufnahme oder Abgabe von Energie siehe Abbildung 2.1.

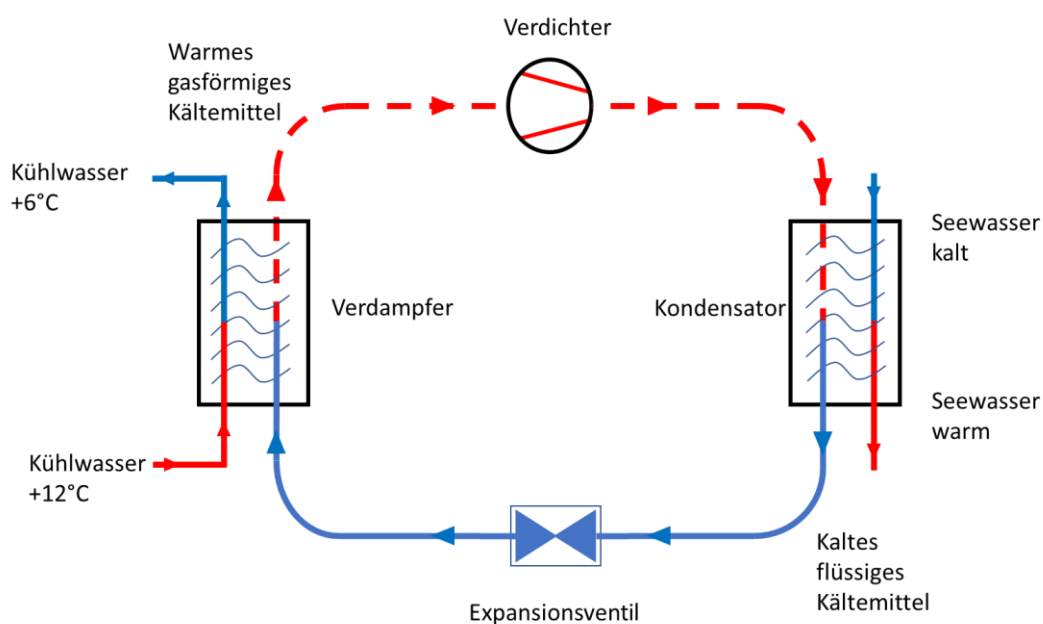


Abbildung 2.1: Kältemittelkreislauf

Das Kältemittel wird von Zustand 1 nach 2 polytrop auf den Verflüssigerdruck, siehe Abbildung 2.2, verdichtet. Danach wird das dampfförmige Kältemittel im Kondensator von Zustand 2 nach 2' isobar abgekühlt und anschließend von Zustand 2' nach 3' isobar verflüssigt. Die isobare Abkühlung von 3' zu 3 stellt die Unterkühlung der Flüssigkeit dar. Es folgt die isenthalpe Drosselung, im Expansionsventil, auf den Verdampfungsdruck von Zustand 3 nach 4. Darauf folgt die isobare Verdampfung, des Kältemittels im Kälteerzeuger, von Zustand 4 nach 1'. Der Kreislauf wird mit der isobaren Erwärmung, bei Überhitzung des Dampfes von Zustand 1' nach 1 geschlossen, damit kein flüssiges Kältemittel in den Verdichter gelangt.

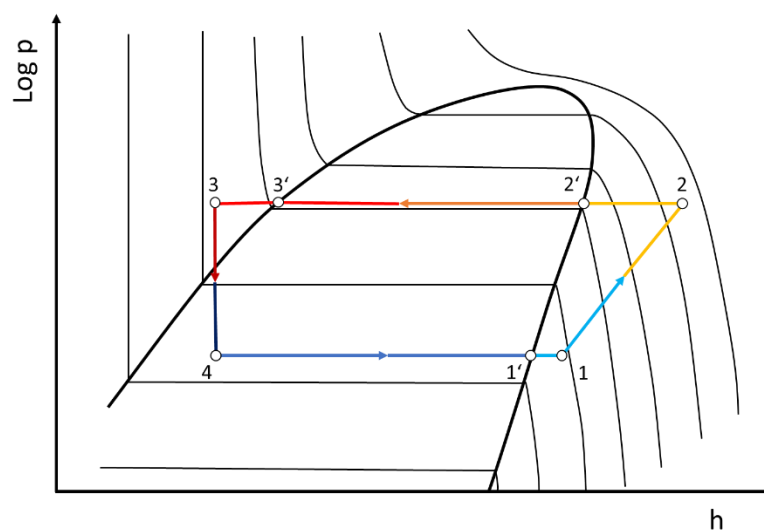


Abbildung 2.2: Zustandsdiagramm

2.2 Aufbau und Funktionsweise Kältemittelverflüssiger

Im KMV, wird das verdampfte Kältemittel wieder verflüssigt und unterkühlt. Dabei strömt der Kältemitteldampf in einen Wärmetauscher, welcher aus Rohren oder Platten besteht. Mithilfe eines zweiten Mediums, bei einem Verdunstungsverflüssigers sogar eines dritten Mediums, wird das Kältemittel gekühlt. Im Zuge dessen wird Wärme an das Kühlmedium übertragen und abgeleitet.

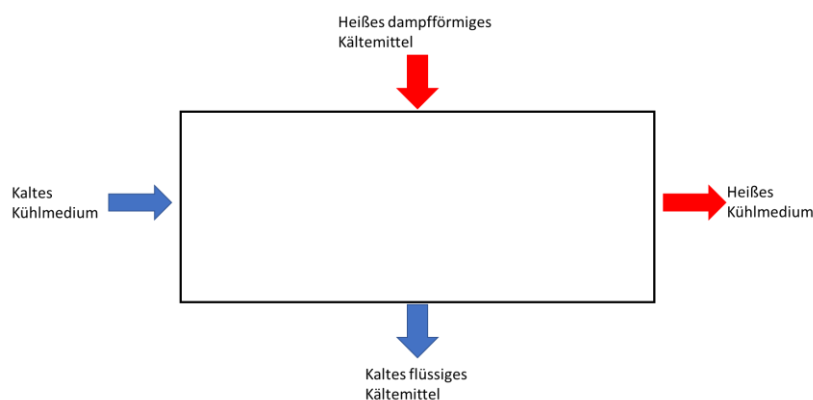


Abbildung 2.3: Grundprinzip Verflüssiger

Es gibt verschiedene Arten von KMV: luftgekühlte, wassergekühlte und Verdunstungsverflüssiger. Bei dem luftgekühlten Verflüssiger kühlt ein Luftstrom, welcher zwischen mehreren Platten strömt, das Kältemittel. Der Luftstrom wird mit Ventilatoren erzeugt. Das Kühlmedium bei den wassergekühlten Verflüssigern ist Wasser. Bei dem Verdunstungsverflüssiger strömt das Kältemittelgas durch Rohre, auf welche durch einen Sekundärkreislauf Wasser gesprüht wird. Durch einen Luftstrom, erzeugt mit einem Ventilator, verdunstet das Wasser, wodurch das Kältemittel gekühlt wird.

Bei wassergekühlten Verflüssigern fließt Wasser durch Stutzen in einen Deckel mit Stegen, die das Wasser zu einem Rohrboden leiten. In dem Rohrboden sind Rippenrohre eingelassen, welche die Oberfläche vergrößern und damit die Kühlleistung verbessern. Das Wasser fließt durch die Rippenrohre und das Kältemittel umströmt diese. Dabei wird Energie über die Rohre an das Wasser abgegeben, wodurch das Kältemittel kondensiert. Das Kältemittel wird von den Rohrböden eingeschlossen, damit es mit dem Wasser nicht in Berührung kommt. Um genügend Kühlleistung zu generieren, besteht der Kondensator aus mehreren kleinen Rohren, was die Oberfläche noch weiter vergrößert siehe Abbildung 2.4.

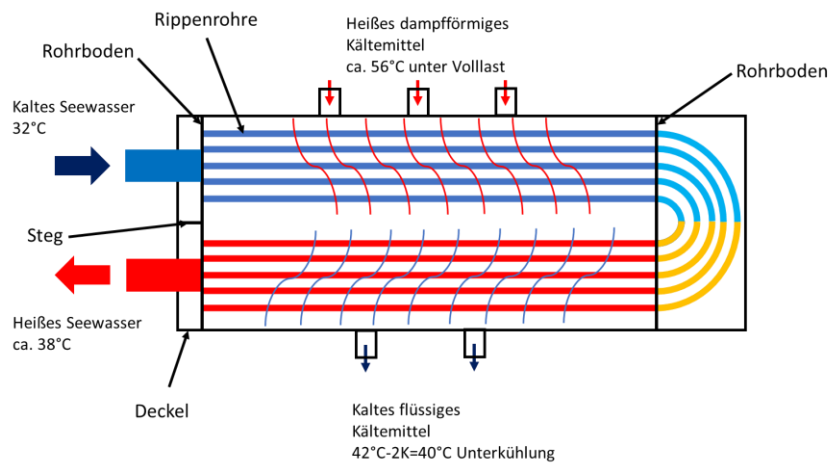


Abbildung 2.4: Prinzip wassergekühlter Verflüssiger

Solche Kältemittelverflüssiger werden auch Rohrbündel-Wärmetauscher genannt. Rohrbündel-Wärmetauscher können auf verschiedene Arten konstruiert werden, ein wichtiger Faktor dabei ist die Gänge-Anzahl, auch Passanzahl genannt. Die Passanzahl beschreibt, wie oft das Kühlmedium den Bereich des Kältemittels durchläuft.

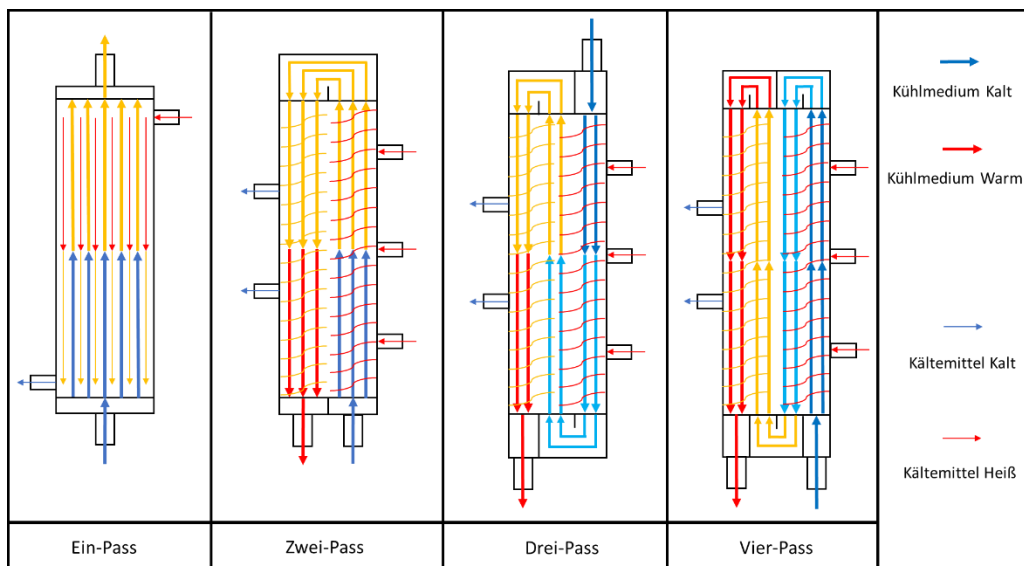


Abbildung 2.5: Passanzahl

Die Passanzahl hängt von der Größe des Wärmetauschers ab. Der Ein- und Zwei-Pass sind optimal, aber auch sehr groß im Vergleich zu dem Vier-Pass. Der beste Wärmeaustausch findet bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten statt, jedoch steigt der Druckverlust mit dem Quadrat der Strömungsgeschwindigkeit. Zudem sinkt, bei steigender Größe, die Stabilität. Dies hat zur Folge, dass mehr Stützbleche benötigt werden.

Nach der Kondensation kühlt das Kältemittel weiter ab, dies nennt man Unterkühlung. Durch die Abgabe an Energie beim Unterkühlen kann das Kältemittel im Verdampfer mehr Energie aufnehmen.

Kühlmedien, wie Seewasser, Brackwasser, etc. enthalten Fouling Materialien (Verschmutzungen). Diese Verschmutzungen können sich in dem KMV ablagern, wodurch die Wärmeübertragungsrate sinkt. Der Fouling Factor (Verschmutzungswert) ist ein Maß des Wärmewiderstandes.

Die für die Berechnungen verwendeten Gleichungen stammen größtenteils aus der AD2000 [1]. Diese konkretisiert alle, gemäß Druckgeräterichtlinie (DGRL) 2014/68/EU, grundlegende Sicherheitsanforderungen. Das Regelwerk wurde in Zusammenarbeit von FDBR, DGUV, VCI, VDMA, VDEh, VGB Power Tech und VdTÜV erarbeitet.

3 Berechnungen

Die Berechnungen des KMV lässt sich in Anforderungen 3.1, Kältemittel 3.2, Geschwindigkeit und Durchmesser 3.3, Mantel 3.4, Klöpperboden 3.5, Rohrboden 3.6, Knicksteifigkeit der Tauscherrohre 3.7, Anschlussrohre und Flansche 3.8, Schraubenverbindung 3.9, Schweißring an Anschluss- und Umlenkdeckel 0, Schweißausführung an Anschluss- und Umlenkdeckel 3.11, Kopfhalter 3.12 und Sicherheitsventil, 3.13 unterteilen. In diesem Kapitel werden die Bauteile statisch berechnet und überprüft oft diese ausreichend dimensioniert sind.

3.1 Anforderungen an den Kältemittelverflüssiger

Der KMV hat eine, mit dem Programm Thermal Solution Comfort ermittelte Leistung von $P_K=185$ kW und wird mit dem Kältemittel R134a (Tetrafluorethan) betrieben. Das Seewasser hat eine maximale Temperatur von $t_{W,max} = 32$ °C, der Fouling Faktor vom Seewasser liegt erfahrungsgemäß bei $R_d = 0,000086$ m²K/W, aufgrund der verschiedenen Einsatzorte. Das Kältemittel hat eine Kondensationstemperatur von $t_0 = 42$ °C. Die Betriebs- und Prüfdrücke könne aus der Tabelle 3.1 entnommen werden.

Tabelle 3.1: Arbeits- und Prüfdrücke

Medium	Betriebsdruck in bar	Prüfdruck in bar
Seewasser	$p_{B,W} = 50$	$p_{P,W} = 75$
Kältemittel	$p_{B,R134a} = 22$	$p_{P,R134a} = 33$

$$P_P = 1,5 p_B$$

3.2 Kältemittel

Verwendet wird das Kältemittel R134a. Das Kältemittel ist ein Reinstoffkältemittel, welches den Vorteil hat, dass es leicht nachzufüllen ist. Durch die Eigenschaft des Reinstoffes, muss beim Nachfüllen auf kein Mischverhältnis geachtet werden. Bei Blends wüsste man bei einer Leckage nicht, wie viel von welchem Stoff entwichen ist. Dies müsste erst einmal ermittelt werden. Das Kältemittel R134a ist nicht brennbar und damit der Sicherheitsklasse A1 eingeordnet. Zudem ist es nicht toxisch, jedoch wird es durch Photooxidation in Trifluoressigsäure umgewandelt, welche ätzend und giftig ist. R134a hat einen hohes Treibhauspotenzial von 1430, dadurch ist das Kältemittel in der Auslaufphase und wird in der Zukunft wahrscheinlich verboten.

3.3 Geschwindigkeiten und Durchmesser

Wie oben beschrieben, fließt das Kühlwasser beim Rohrbündelwärmeüberträger durch Rippenrohre und kühlt dadurch das um die Rohre strömende Kältemittel. Dabei hängt der Wärmeübergang von verschiedenen Faktoren ab. Eine wichtige Einflussgröße ist die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers, die wiederum vom Durchmesser der Rohre und von dem Volumenstrom ab. Der Volumenstrom hängt dabei von den Pumpen ab, die das Seewasser befördern. Durch Turbulenzen in den Rohren entstehen Geräusche, die mit der Strömungsgeschwindigkeit zunehmen. Hinzu kommen Geräusche, die durch Ablösung der Strömung hervorgerufen werden.

Höhere Geschwindigkeiten in den Rohren bedeuten zwar eine bessere Wärmeübertragung aber auch höhere Druckverluste, höhere Geräuschentwicklung und stärkere Abnutzung. Geräusche sollten in einem Unterseeboot vermieden werden. Wenn die Geschwindigkeiten zu niedrig sind, lagern sich Ablagerungen zu schnell ab, welche die Rippenrohre verstopfen und die Leistung senken. Ein guter Kompromiss, für gute Wärmeübertragung, bei nicht zu hohem Druckverlust, liegt bei einer Strömungsgeschwindigkeit von etwa 1,8 m/s bis 1,9 m/s. Der vorgegebene Durchmesser der Rippenrohre beträgt $d_{a,RR} = 19$ mm. In diesen Rohren fließt das Seewasser mit einer Geschwindigkeit von $v = 1,79$ m/s.

Die Anzahl der Rohre wurde iterativ mit dem Programm Thermal Solution Comfort ermittelt. Dieses Programm ermittelt auch den Volumenstrom $Q = 7,083 \cdot 10^{-3}$ m³/s. Der Rohrstutzeninnendurchmesser $d_{s,w,a}$ wird iterativ mit

$$v = \frac{Q \cdot 4}{d_{s,w,i}^2 \cdot \pi} \quad (3.1)$$

bestimmt, bis sich eine Geschwindigkeit von $v = 1,8$ - $1,9$ m/s bildet.

Es wird ein Durchmesser von $d_{a,SK} = 76$ mm mit einer Wandstärke von $s_s = 3,5$ mm gewählt.

3.4 Mantel

Der Mantel hat die Aufgabe das Kältemittel einzuschließen, damit dieses nicht entweicht, während es an den Tauscherrohre kondensiert (siehe Abbildung 3.6). Das Rohr muss dem hydrostatischen Druck des Kältemittels, sowie den Druckdifferenzen zu den Tauscherrohren standhalten. Die Berechnung des Mantels gliedert sich in die Berechnung der Wandstärke, ohne Anschlüsse 3.4.1, der Berechnung der Wandstärke mit Ausschnitten 3.4.2, sowie der Überprüfung des Mantels bezüglich der Druckdifferenz zwischen Tauscherrohr und Mantelrohr 3.4.3.

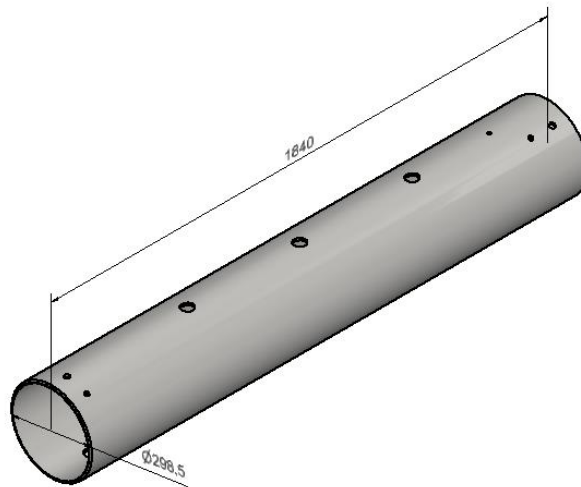


Abbildung 3.6: Mantelrohr

3.4.1 Wandstärke Mantelrohr (ohne Anschluss) gemäß AD2000, B1 [1]

Für einen ersten Anhaltspunkt, ob die gewählte Wandstärke ausreicht, dem hydrostatischem Druck des Kältemittels standzuhalten, wird zunächst die mindestens erforderliche Wandstärke des Mantelrohrs vereinfacht ohne Anschlüsse berechnet, da diese eine Schwächung des Mantels darstellen. Die Anforderungen an das Mantelrohr ohne Anschlüsse finden sich in der folgenden Tabelle 3.2.

Tabelle 3.2: Anforderungen des Mantelrohres ohne Anschlüsse

Anforderung	Wert
k_{P235}	235 N/mm ²
$k_{P235,100}$	212 N/mm ²
$S_{A,P235}$	1,5
$D_{A,M}$	298,5 mm
S_M	8 mm
l_M	1840 mm
$p_{B,R134a}$	22 bar
$p_{P,R134a}$	33 bar
$C_{1,P235}$	0,5 mm
$C_{2,P235}$	0,7 mm
V	1

Das nahtlose Mantelrohr besteht aus dem Material P235GH N TC1. Dieses Material ist besonders gut für den Druckbehälterbau geeignet, da es eine sehr hohe Dehngrenze bei höheren Temperaturen besitzt. Das Material hat nach AD2000, B0 [1] einen Sicherheitsbeiwert von $S_{A,P235} = 1,5$. Bei den Berechnungen der erforderlichen Wandstärke müssen entsprechend der AD2000 [1] Zuschläge addiert werden. In diesem Fall sind das $C_{1,P235} = 0,5$ mm ein Zuschlag, aufgrund der Wanddickenunterschreitung und $C_{2,P235} = 0,7$ mm ein Zuschlag aufgrund der Abnutzung. Der Ausnutzungsfaktor der Schweißnaht ist $V = 1$.

Daraus ergibt sich mit

$$s_{erf} = \frac{D_A \cdot p_P}{\frac{20k}{S_A} * V + p_P} + C_1 + C_2 \quad (3.2)$$

eine erforderliche Wandstärke von $s_{erf,M} = 4,6$ mm. Die gewählte Wandstärke $s_M = 8$ mm ist damit größer als die erforderliche Wandstärke und die Bedingung

$$s_{vorh} > s_{erf} \quad (3.3)$$

ist somit erfüllt.

3.4.2 Mantelrohr mit Ausschnitt gemäß AD2000, B9 [1]

Nach der erfolgreichen Überprüfung des Mantelrohres ohne Ausschnitte folgt die Überprüfung des Mantelrohres mit Ausschnitten für die Anschlüsse der Rohre für Kältemittel und Sensoren. Dabei wird in der Berechnung nur auf den größten Ausschnitt eingegangen, um direkt die größte Schwächung zu erhalten. Je größer der Ausschnitt ist, desto größer ist die Schwächung, da mehr Material aus einem Querschnitt entfernt wird. Die für die Berechnungen erforderlichen Größen sind in der nachfolgenden Tabelle 3.3 aufgelistet.

Tabelle 3.3: Anforderungen des Mantelrohres mit Ausschnitten

Anforderung	Wert
S_A	8 mm
D_i	282,5 mm
$S_{A,P235}$	1,5
$D_{a,M}$	298,5 mm
$p_{P,R134a}$	33 bar
$k_{P235,100}$	212 N/mm ²
$C_{1,P235}$	0,5 mm
$C_{2,P235}$	0,7 mm
s_s	3,5 mm

Um die erforderliche Wandstärke vom Mantelrohr mit Ausschnitten zu berechnen wird der Verschwächungsbeiwert V_A ermittelt. Dazu wird ein Verhältnis $S_A/D_1 = 1,24 \cdot 10^{-2}$ von Wandstärke zu Durchmesser benötigt, um die richtige Abbildung aus Tabelle 3.4, zur ermitteln.

Tabelle 3.4: Auswahl des Graphen für den Verschwächungsbeiwert mit dem Verhältnis von S_A/D_1

S_A/D_1	Abbildung
0,002	7a
0,005	7b
0,01	7c
0,05	7d
0,1	7e

vgl AD2000, B9, S.12-16 [1]

Es wird das nächsthöhere, verfügbare Verhältnis 0,05 ausgewählt.

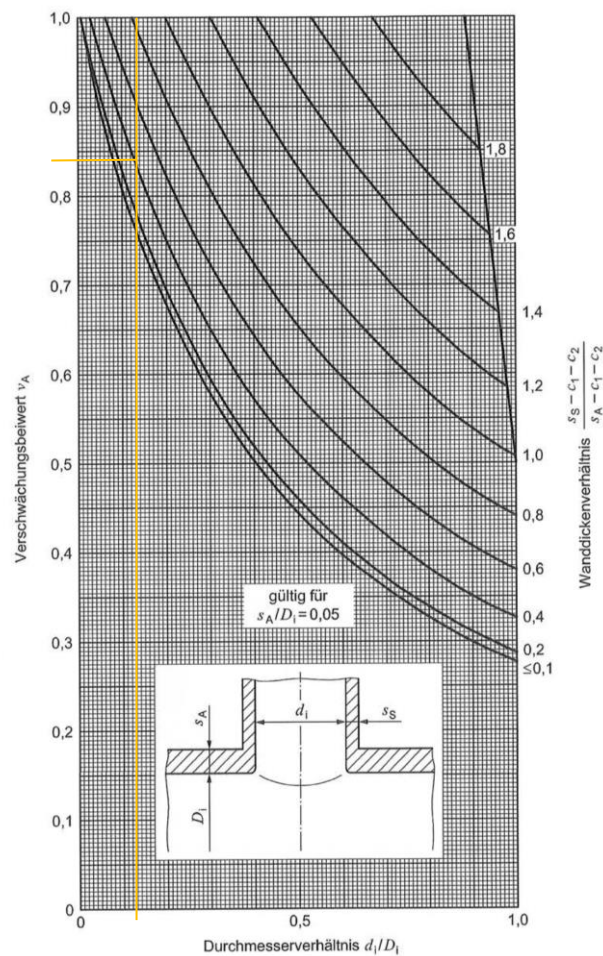


Abbildung 3.7: Graph zur Bestimmung von V_A aus der AD 2000, B9 [1]

Der so ermittelte Wert $V_a = 0,84$ kann nun in die Gleichung (3.2) eingesetzt werden. Die erforderliche Wandstärke $s_{\text{erf},M,\text{neu}} = 5,3$ mm erfüllt die Bedingung (3.3).

3.4.3 Überprüfung Mantel bei Druckdifferenz Tauscherrohr zu Mantelrohr gem. AD2000, B5 [1]

In den Tauscherrohren herrscht ein hoher Druck, dieser führt zu axialen Kräften. Diese könnten den Mantel zerstören. Deshalb muss überprüft werden, ob das Mantelrohr dem Druck in den Tauscherrohren standhält. Die Berechnungen werden mit den folgenden Anforderungen Tabelle 3.5 durchgeführt.

Tabelle 3.5: Anforderungen des Mantelrohres bei Druckdifferenz

Anforderung	Wert
p_i	75 bar
p_u	33 bar
$p_{B,W}$	5 N/mm ²
$k_{P235,100}$	212 N/mm ²
$S_{A,P235}$	1,5
$D_{A,M}$	298,5 mm
$D_{I,M}$	282,5 mm
$r_{i,M}$	141,25 mm
$r_{a,M}$	149,25 mm

Bei den Anforderungen von diesem Gerät wird die Bedingung von $p_i > 2 \cdot p_u$ erfüllt. Somit muss die Aufnahme der zusätzlichen Axialkraft, die aus p_i resultiert, nachgewiesen werden. Die max. zulässige Axialkraft F_{zul} wird mithilfe der zulässigen Spannung, welche mit

$$\sigma_{\text{zul},P235} = \frac{k_{P235,100}}{S_{A,P235}} \quad (3.4)$$

$\sigma_{\text{zul},P235} = 141,33$ N/mm² berechnet.

Um die max. zul. Kraft zu berechnen wird noch der Materialquerschnitt benötigt, dieser wird mit

$$A_{MQ} = \frac{\pi}{4} (D_{A,M}^2 - D_{I,M}^2) \quad (3.5)$$

$A_{MQ} = 7297,36$ mm² berechnet. Daraus berechnet sich mit

$$F = \sigma \cdot A \quad (3.6)$$

ein $F_{zul,M} = 1031,36$ kN. Die axiale Spannung wird mit

$$\sigma_{a,M} = \frac{p_{B,W} \cdot r_{i,M}^2 - 0,001 \cdot r_{a,M}^2}{r_{a,M}^2 - r_{i,M}^2} \quad (3.7)$$

$\sigma_{a,M} = 42,92$ N/mm² berechnet. Mit dieser axialen Spannung wird nun die vorhandene Axialkraft mit der Gleichung (3.6), $F_{a,M} = 313,17$ kN berechnet. Somit ist $F_{zul,M} > F_{a,M}$ und damit auch nachgewiesen, dass das Mantelrohr der zusätzlichen Kraft standhält.

3.5 Klöpperboden nach DIN 28011 [3]

Die Klöpperböden haben die Aufgabe das Seewasser in die verschiedenen Pässe umzuleiten. Dazu sind Stege in den Klöpperboden eingeschweißt, welche den Boden auch zusätzlich verstärken. Die Klöpperböden müssen dem Druck des Kühlmediums standhalten, dies wird rechnerisch überprüft. Die Berechnungen gliedern sich dabei in die Überprüfung ohne Ausschnitte Abschnitt 3.5.1 und die Berechnung mit Ausschnitten Abschnitt 0.

3.5.1 Klöpperboden ohne Ausschnitt gemäß AD2000, B3 [1]

Der Klöpperboden ohne Ausschnitte dient als Umlenkdeckel für das Kühlmedium Seewasser (siehe Abbildung 3.8).

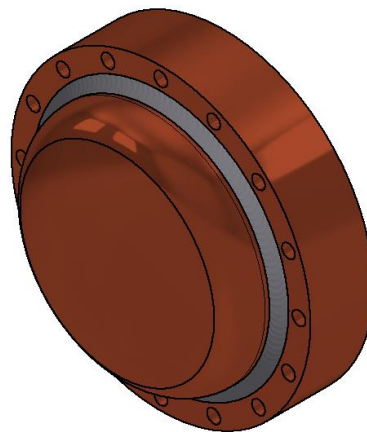


Abbildung 3.8: Umlenkdeckel

Im Umlenkdeckel sind keine Ausschnitte vorhanden. Dieser kann deshalb ohne Ausschnitte, mit den dazu verwendeten Anforderungen Tabelle 3.6., berechnet werden. Die Berechnungen der AD 2000, B1 [1] befassen sich mit Klöpperböden, welche unter Druck stehen.

Tabelle 3.6: Anforderungen des Klöpperbodens ohne Ausschnitte

Anforderung	Wert
k_{CuNi30}	350 N/mm ²
$D_{a,K}$	302 mm
$s_{a,K}$	18 mm
$p_{P,W}$	75 bar
C_1	0 mm
C_2	0 mm
$S_{a,\text{CuNi30}}$	2,5

Der Klöpperboden soll aus dem Material CuNi30Mn1Fe gefertigt werden. Bei der Berechnung werden keine Wanddickenunterschreitungen C_1 und der Abnutzungszuschläge C_2 beaufschlagt. Der Abnutzungsfaktor der Schweißnaht beträgt $V=1$. Der Sicherheitsbeiwert beträgt nach AD2000, B0, Tafel 3 [1] $S_{A,\text{CuNi30}} = 2,5$. Bei Kupferknetlegierungen wird nicht die Streckgrenze, sondern die Zugfestigkeit für k_{CuNi30} verwendet.

Für die Berechnung von β wird das Verhältnis

$$y = \frac{s_{a,K} - C_1 - C_2}{D_a} \quad (3.8)$$

benötigt.

Da das Verhältnis $y = 0,06$ die Bedingung $0,008 < y < 0,1$ erfüllt, liegt die Berechnung des Beiwertes β im Geltungsbereich. Daraus folgt ein $\beta = 2,19$ berechnet mit

$$\beta = 1,9 + \frac{0,0325}{y^{0,7}} + y \quad (3.9)$$

gem. Roloff/Matek Maschinenelemente [6]. Die erforderliche Wandstärke $s_{\text{erf},U} = 8,9$ mm berechnet sich mit

$$s_{\text{erf},U} = \frac{D_a \cdot p_P \cdot \beta}{40 \cdot \frac{k_{\text{CuNi30}}}{S_{A,\text{CuNi30}}} \cdot v + p_P} + C_1 + C_2 \quad (3.10)$$

Die Bedingung (3.3) ist erfüllt, die Wandstärke ist mit 18 mm ausreichend dimensioniert.

3.5.2 Klöpperboden mit Ausschnitt in Kalotte

Es werden zwei Stutzen in den Klöpperboden eingeschweißt, dabei befinden sich die Ausschnitte anteilig in der Kalotte ($0,6 D_a$) und der Krempe (siehe Abbildung 3.9). Für den ungünstigsten Fall der stärksten Schwächung der Kalotte, wird angenommen, dass sich die Stutzen innerhalb der Kalotte befinden. Das Seewasser fließt durch die Stutzen, durch den Klöpperboden in die Tauscherrohre. Der Klöpperboden muss, auf die vom Wasser erzeugten Kräfte hin, überprüft werden.

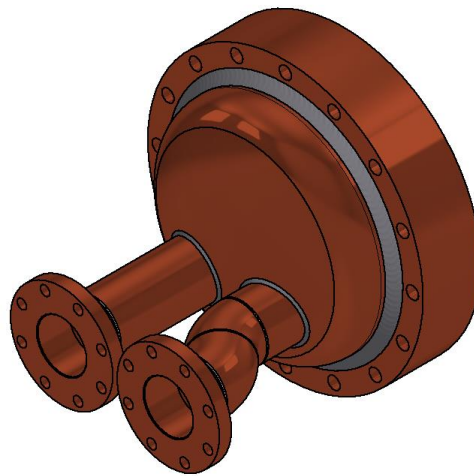


Abbildung 3.9: Klöpperboden

Bestimmung der mittragenden Länge l_s der Stutzen und der Querschnittsflächen

Die Stege verstärken den Klöpperboden, da solch ein Fall jedoch nicht in der AD 2000 [1] oder anderen Normen behandelt wird, wurde mit dem TÜV Nord vereinbart, dass die Stege zu einem Drittel angerechnet werden dürfen.

Die Stutzen bestehen aus seewasserbeständigen, gezogenen CuNi10Fe1,6Mn-Rohr. Die in Tabelle 3.7 aufgeführten Anforderungen werden für die Ermittlung der mittragenden Länge und der Querschnittsflächen benötigt. Die mittragende Länge l_s (Abbildung 3.10) ist für die Ermittlung der Querschnittsflächen notwendig. Diese werden zur Betrachtung der Festigkeitsbedingung verwendet. Die Festigkeitsbedingung dient zur Ermittlung, ob die resultierende Stabilität genügt, um dem hydrostatischen Druck standzuhalten.

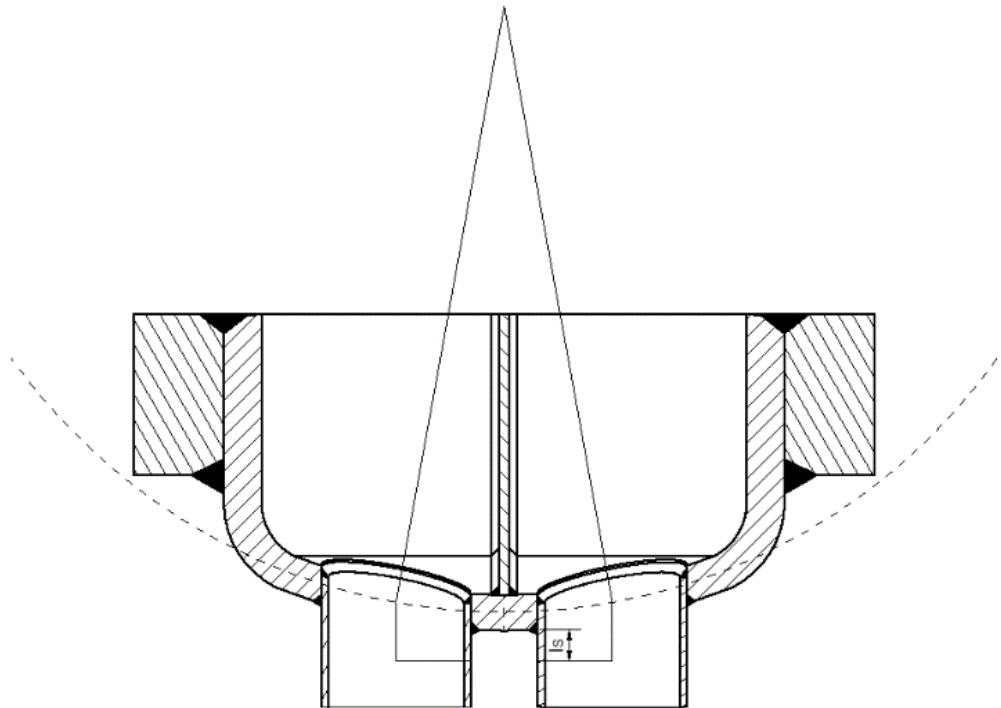
Abbildung 3.10: Mittragenden Länge l_s

Tabelle 3.7: Anforderungen der mittragenden Längen und Querschnittsflächen

Anforderung	Wert
k_0	350 N/mm ²
k_1	320 N/mm ²
k_2	320 N/mm ²
p_P	75 bar
$d_{i,SK}$	69 mm
$s_{a,SK}$	3,5 mm

Die mittragende Länge $l_s = 15,93$ mm lässt sich mit

$$l_s = 1 \cdot \sqrt{(d_{i,SK} + s_{a,SK}) \cdot s_{a,SK}} \quad (3.11)$$

berechnen. Die Querschnittsflächen sind in der Abbildung 3.11 dargestellt.

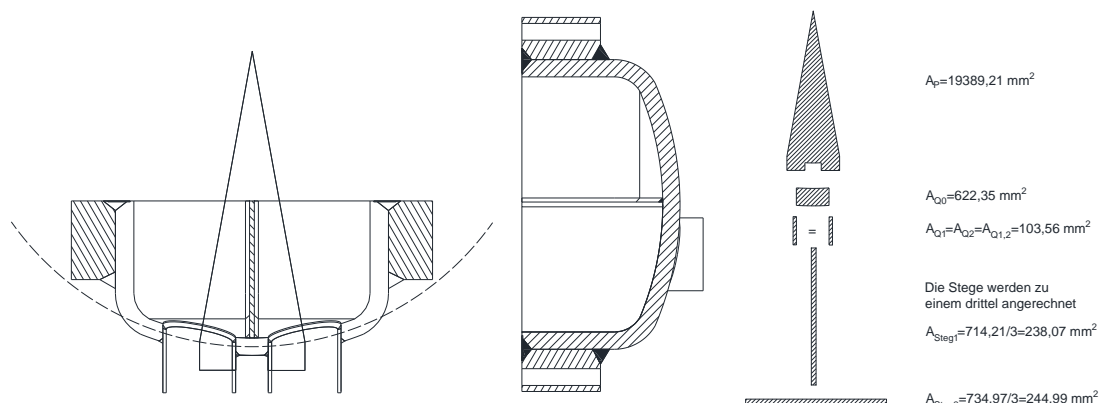


Abbildung 3.11: Querschnittsflächenberechnung

Tabelle 3.8: Querschnittsflächen

Fläche	Fläche [mm ²]
A_{Q0}	622,35
A_{Q1}	103,43
A_{Q2}	103,43
A_P	19389,21
A_{Steg1}	238,07
A_{Steg2}	244,99

Für die gesamte, tragende Querschnittsfläche $A_Q = 1312,27 \text{ mm}^2$ werden die Querschnitte aus Tabelle 3.8 mit

$$A_Q = A_{Q0} + A_{Steg1} + A_{Steg2} + A_{Q1} + A_{Q2} \quad (3.12)$$

addiert. Die Stege verstärken den Klöpperboden und werden darum zum A_{Q0} addiert. Mit

$$A_{Q0,neu} = A_{Q0} + A_{Steg1} + A_{Steg2} \quad (3.13)$$

berechnet sich die neue Querschnittsfläche $A_{Q0,neu} = 1105,41 \text{ mm}^2$. Die Festigkeitsbedingung wird mit

$$\left(\frac{k_0}{S} - \frac{p_P}{20}\right) \cdot A_{Q0,neu} + \left(\frac{k_1}{S} - \frac{p_P}{20}\right) \cdot A_{Q1} + \left(\frac{k_2}{S} - \frac{p_P}{20}\right) \cdot A_{Q2} \geq \frac{p_P}{10} \cdot A_P \quad (3.14)$$

$$176314,468 \geq 145419,075$$

gem. AD2000 [1] berechnet. Die Ermittlung der Bedingung des Verschwächungsverhältnisses erfolgt mit

$$\frac{p_P}{10} \left(\frac{A_P}{A_Q} + \frac{1}{2} \right) \leq \frac{k_0}{S} \quad (3.15)$$

$$114,56 \leq 140.$$

Die Bedingungen sind erfüllt, der Klörperboden ist nicht überbelastet.

Klörperboden mit Ausschnitt in Krempe (außerhalb $0,6 D_a$) gem. AD2000, B3, [1] sowie Roloff/Matek [6] und Festigkeitsberechnung Verfahrenstechnischer Apparate [5]

Die Ausschnitte, der in den Anschlussdeckel eingeschweißten Rohre, liegen teilweise in der Krempe. Die Mittelpunkte beider Ausschnitte liegen jedoch vollständig innerhalb der Kalotte siehe Abbildung 3.12.

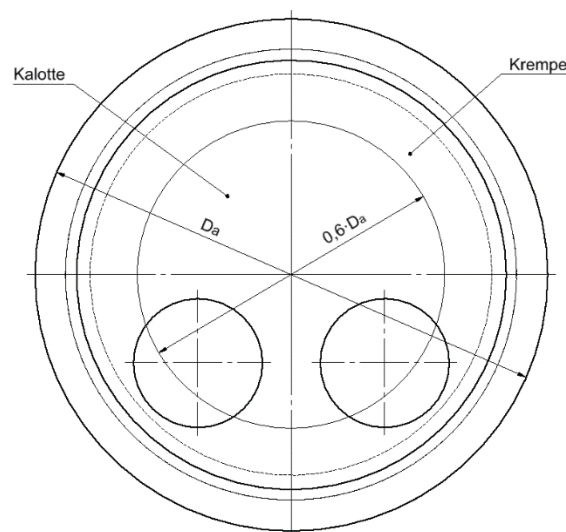


Abbildung 3.12: Darstellung der vorhandenen Kalotte und Krempe

Die in der nachfolgenden Tabelle 3.9 aufgeführten Anforderungen werden für die Berechnung benötigt.

Tabelle 3.9: Anforderungen des Klöpperbodens mit Ausschnitten

Anforderung	Wert
$d_{a,SK}$	76 mm
$D_{a,K}$	302 mm
$s_{a,K}$	18 mm
$C_{1,CuNi30}$	0 mm
$C_{2,CuNi30}$	0 mm
$S_{a,CuNi30}$	2,5
$p_{P,W}$	75 bar

Das Verhältnis $y = 0,06$ berechnet mit der Gleichung (3.8), welches für die Berechnung des Berechnungsbeiwertes β (3.17) benötigt wird. Hier kann die Gleichung (3.9) nicht benutzt werden, da die Ausschnitte im Krepfenbereich (außerhalb $0,6 \cdot D_{a,K}$) liegen. Für die Gleichung (3.17) wird zudem noch das Ausschnittverhältnis

$$Z = \frac{d_{a,SK}}{D_{a,K}} \quad (3.16)$$

$Z = 0,252$ benötigt. Mit

$$\beta_a = 1,9 + \frac{0,933 \cdot z}{\sqrt{y}} \quad (3.17)$$

folgt ein Berechnungsbeiwert von $\beta_a = 2,86$, mit dessen Hilfe und der Gleichung (3.10) die erforderliche Wandstärke $s_{\text{erf},K} = 11,57$ mm berechnet werden kann. Damit ist die vorhandene Wandstärke $s_{\text{vorh},K} = 18$ mm größer als die erforderliche Wandstärke und der Klöpperboden ist ausreichend dimensioniert.

3.6 Rohrboden

Die Rohrböden sind mit den Rippenrohren und dem Mantel verankert, zusätzlich dienen diese zum Befestigen der Klöpperböden. Dabei drückt das Kühlmedium gegen die eine Seite und das Kältemittel gegen die andere, dessen Kräften die Rohrböden standhalten müssen. Die Berechnung der erforderlichen Wandstärke durch die Verankerung mit dem Mantelrohr werden in Kapitel 0 dargestellt. Darauf folgt die Überprüfung des runden Rohrbodens mit Verankerung durch die Rohre Kapitel 3.6.2.

3.6.1 Rohrboden gem. AD2000, B5 [1]

Die Rohrböden sind durch die Rohre und dem Mantel verankert, sie werden aus CuNi30Mn1Fe gefertigt. Die erforderliche Wandstärke wird mit den Anforderungen aus Tabelle 3.10 berechnet. Der größte, unberohrte Durchmesser $d_2 = 41$ mm wird der Abbildung 3.13 entnommen.

Tabelle 3.10: Anforderungen des Rohrbodens

Anforderung	Wert
$D_{a, RB}$	390 mm
$s_{vor, RB}$	40 mm
$d_{2, R}$	41 mm
$C_{1, RB}$	2 mm
$S_{A, CuNi30}$	2,5
$p_{P, W}$	75 bar
k_{CuNi30}	350 N/mm ²

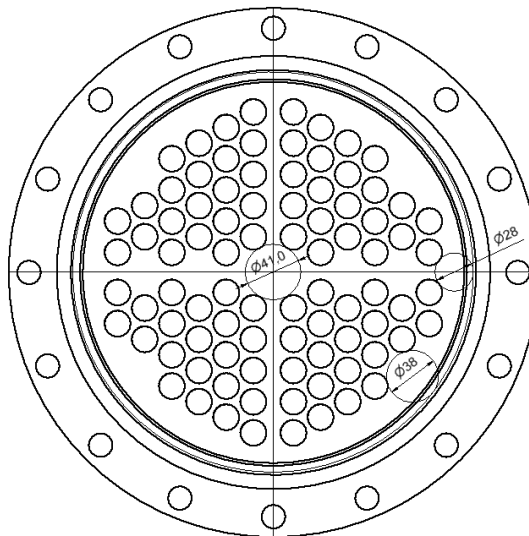


Abbildung 3.13: Berechnung D2

Die erforderliche Wanddicke nach

$$s_{erf, RB} = 0,4 \cdot d_{2, R} \cdot \sqrt{\frac{p_P \cdot S_{A, P235}}{10 \cdot k_{CuNi30}}} + C_1 \quad (3.18)$$

beträgt $s_{erf, RB} = 5,80$ mm. Somit ist die vorhandene Wandstärke größer als die erforderliche Wandstärke und die Rohrböden sind ausreichend dimensioniert.

3.6.2 Überprüfung des runden Rohrbodens mit Verankerung durch Rohre gem. AD 2000 [1]

Die beiden Rohrböden sind mit dem Mantelrohr verschweißt und mit den eingewalzten Rippenrohren verankert, diese Verankerung verstärkt die Rohrböden und verringert damit die erforderliche Wandstärke. Die Überprüfung des Rohrbodens wird, mit den in Tabelle 3.11 dargestellten Anforderungen, durchgeführt.

Tabelle 3.11: Anforderungen des Rohrbodens verankert durch Rohre

Anforderung	Wert
$C_{1,RB}$	2 mm
$C_{2,RB}$	0,45
$D_{a,RB}$	385 mm
$D_{a,M}$	298,5 mm
$p_{P,W}$	75 bar
$S_{A,RB}$	1,5
k_{CuNi30}	350 N/mm ²

Die mit

$$s_{erf, RB} = C_{2, RB} \cdot (D_{a, RB} - D_{a, M}) \cdot \sqrt{\frac{p_{P, W} \cdot S_{A, RB}}{10 \cdot k_{CuNi30}}} + C_{1, RB} \quad (3.19)$$

berechnete erforderliche Wandstärke beträgt $s_{erf, RB} = 11,98$ mm. Die Differenz zwischen der vorhanden Wandstärke $s_{vor, RB} = 40$ mm und der erforderlichen Wandstärke ist sehr groß. Der Grund dafür, dass die Wandstärke nicht auf das Mindestmaß ausgereizt wird, ist die technisch nötige Wandstärke zum optimalen Einwalzen der Rippenrohre.

3.6.3 Bestimmung des Flanschrandes des Rohrbodens gem. AD2000, B5 [1]

Bei durchgängigen Rohrböden, ohne angeschweißten Flansch, ist eine Berechnung des Flansches im C-C Schnitt gem. DIN EN 2505 [2] notwendig, siehe Abbildung 3.14.

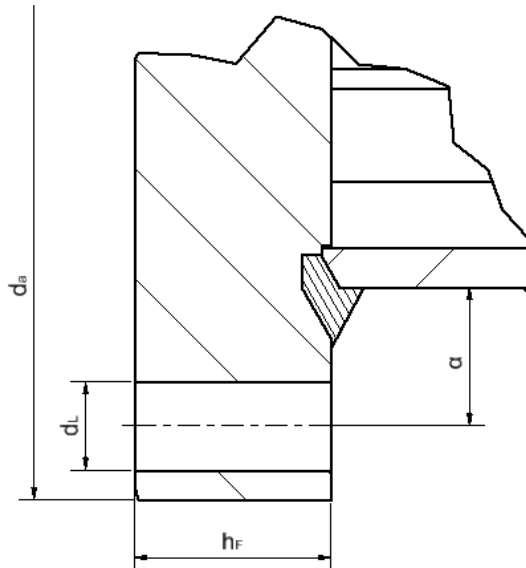


Abbildung 3.14: Flanschrand im C-C Schnitt

Der Flanschrand muss, auf Grund dessen, dass der Rohrboden durchgängig ist und der Flanschrand nicht angeschweißt wird, berechnet werden. Der Flansch muss den für die Dichtung benötigten Kräften standhalten. Die erforderliche Flanshhöhe wird den Anforderungen Tabelle 3.12 bestimmt.

Tabelle 3.12: Anforderungen des Flanschrandes des Rohrbodens

Anforderung	Wert
S_F	1,1
d_D	301 mm
b_D	16 mm
p_P	7,5 N/mm ²
α_1	31 mm
k_{CuNi30}	180 N/mm ²
d_L	17,5 mm

Es wird eine Flachdichtung aus PTFE verwendet, da der hydrostatische Druck die Einsatzgrenzen von O-Ringen übersteigt. Zunächst wird der Dichtungskennwert

$$k_1 = b_D \cdot 1,1 \quad (3.20)$$

$k_1 = 17,6$ mm berechnet. Die Betriebsdichtkraft $F_{DB} = 137234,328$ N wird mit

$$F_{DB} = p_P \cdot \pi \cdot d_D \cdot k_1 \cdot S_F \quad (3.21)$$

berechnet. Diese wird für das erforderliche Biegemoment benötigt. Das erforderliche Biegemoment wird mit

$$M_{erf} = F_{DB} \cdot \alpha_1 \quad (3.22)$$

$M_{erf} = 4254,26$ Nm berechnet, wobei α_1 der Zeichnung entnommen wird. Anschließend wird das erforderliche Widerstandsmoment $W_{erf} = 23634,80$ mm³ mit

$$W_{erf} = \frac{M_{erf}}{k_{CuNi10}} \quad (3.23)$$

berechnet. Für die erforderliche Bodenstärke wird noch der Berechnungsdurchmesser der Schraubenlöcher

$$d_L'' = d_L \cdot \left(1 - \frac{380}{1000}\right) \quad (3.24)$$

$d_L'' = 10,85$ mm benötigt. Die mit

$$h_{F,erf,D} = \sqrt{\frac{4 \cdot W_{erf}}{\pi \cdot (d_a - 2d_L'')}} \quad (3.25)$$

berechnete erforderliche Wandstärke beträgt $h_{F,erf,D} = 9,04$ mm.

Die erforderliche Wandstärke ist somit kleiner als die vorhandene Wandstärke $h_{F,vorh,D} = s_{vor,RB} > h_{F,erf,D}$, der Rohrboden ist damit ausreichend dimensioniert.

3.7 Knicksteifigkeit der Tauscherrohre gem. AD 2000, B5 [1]

In den Tauscherrohren fließt das kalte Seewasser mit Hilfe dessen, dass Kältemittel an der Außenseite der Tauscherrohre kondensiert (siehe Abbildung 3.15). Die Tauscherrohre müssen dabei auf ihre Knicksteifigkeit geprüft werden.

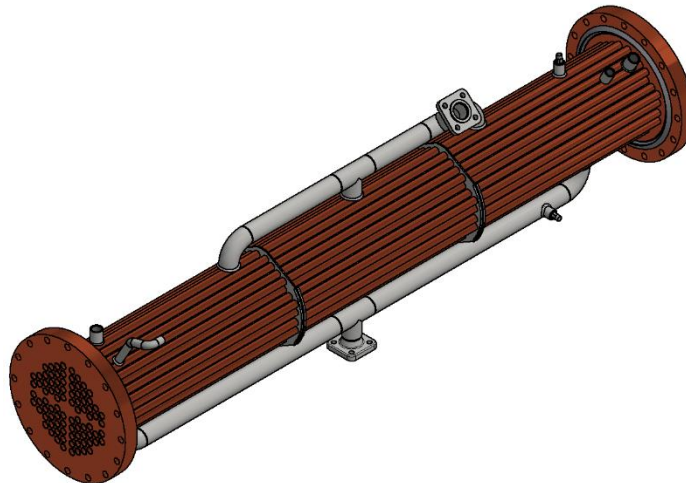


Abbildung 3.15: Rippenrohrbündel

Auf die Tauscherrohre wirkt der hydrostatische Druck des Seewassers. Auf Grund dessen müssen die Tauscherrohre auch gegen Knicksteifigkeit mit den Anforderungen aus Tabelle 3.13 geprüft werden.

Tabelle 3.13: Anforderungen der Tauscherrohre

Anforderung	Wert
l_x	600 mm
$d_{a,RR}$	19 mm
$d_{i,RR}$	16 mm
$E_{RR,90}$	149200 N/mm ²
$D_{a,M}$	298,5 mm
$p_{P,W}$	75 bar

Die Tauscherrohre werden zusätzlich zu den Rohrböden mit Stützblechen geführt. Dabei beträgt der größte Abstand zwischen den Blechen $l_x=600$ mm. Die Rippenrohre sind aus CuNi10Fe1Mn, also einer Kupferknetlegierung, damit darf in dem Spannungsvergleich nur die Mindestzugfestigkeit und nicht die Streckgrenze verwendet werden. Da $\lambda = 96,62$ mit

$$\lambda = \frac{4 \cdot l_x}{\sqrt{d_{a,R}^2 + d_{i,R}^2}} \quad (3.26)$$

berechnet, die Bedingung erfüllt, kann nun weitergerechnet werden. Als nächstes wird das Trägheitsmoment mit

$$J_{RR} = \frac{\pi}{64} \cdot (d_{a,RR}^4 - d_{i,RR}^4) \quad (3.27)$$

für die zulässige Knickkraft berechnet. Dabei ergibt sich, durch ein $J_{RR} = 3178,5$ mm⁴, eine Knickkraft mit

$$F_{zul,K,RR} = \frac{\pi^2 \cdot E_{RR,90} \cdot J_{RR}}{l_X^2 \cdot 3,0} \quad (3.28)$$

von $F_{zul,K,RR} = 4329,4 \text{ N}$

Den Berechnungsbeiwert $C_Z = 0,66$ erhält man aus der Abbildung 3.16, mit dem Verhältnis

$$\frac{D_{a,M}}{d_{a,RR}} = 15,7.$$

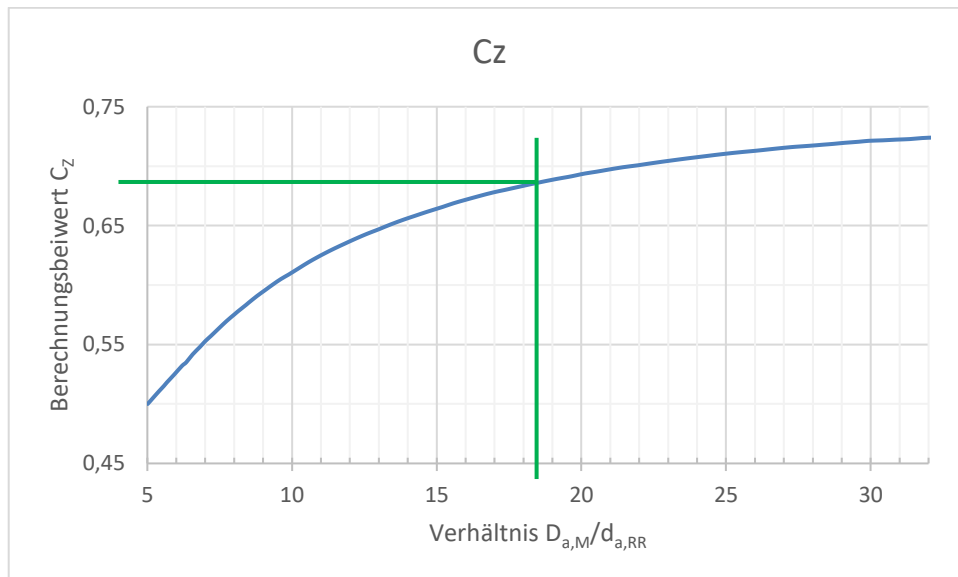


Abbildung 3.16: Berechnungsbeiwert C_Z gem. [1]

Die vorhandenen Knickkraft $F_{vorh,K,RR}$ wird mit

$$F_{vorh,K,RR} = C_Z \cdot \frac{\pi \cdot d_{a,RR}^2 \cdot p_P}{40} \quad (3.29)$$

$F_{vorh,K,RR} = 1402,76 \text{ N}$ berechnet. Dies bedeutet, dass die Bedingung $F_{zul,K,RR} > F_{vorh,K,RR}$ erfüllt ist.

Beanspruchung der Walzverbindung gemäß AD2000, B5 [1]

Im Rohboden sind zwei Rillen, für die Walzverbindung eingearbeitet. Diese Walzverbindung muss den durch die Drücke erzeugten Kräfte standhalten. Aus diesem Grund werden die Walzverbindungen, mit den Anforderungen aus Tabelle 3.14, nach der AD2000, B5 [1] überprüft.

Tabelle 3.14: Anforderungen der Walzverbindung

Anforderung	Wert
l_w	40 mm
e	40 mm
f	23 mm
$d_{a,RR}$	19 mm
$d_{i,RR}$	16 mm

Die Walzverbindung der Rippenrohre mit dem Rohrboden erfolgt mit Rille, dies bedeutet, nach Tabelle 3.15, dass die Zulässige Beanspruchung bei 300 N/mm² liegt.

Tabelle 3.15: Zulässige Beanspruchung der Walzverbindung

Art der Walzverbindung	Zulässige Beanspruchung der Walzverbindung F_R/A_W in N/mm ²
glatt	150
Mit Rille	300
Mit Bördel	400

vgl. AD2000, B5, Tabelle 5 [1]

Aus den, aus der Abbildung 3.17 ermittelten Länge $e = 40$ mm und $f = 23$ mm, folgt mit

$$A_r = \frac{1}{2} e \cdot f - \frac{\pi}{4} d_{a,RR}^2 \quad (3.30)$$

die Belastungsfläche $A_r = 176,6$ mm².

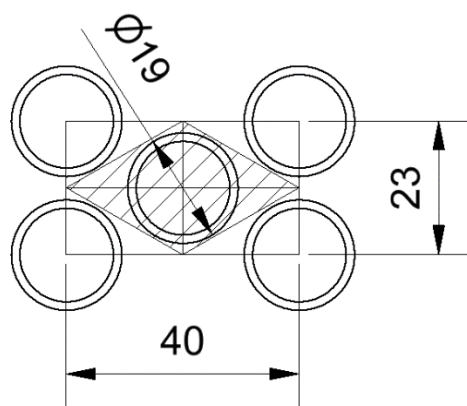


Abbildung 3.17: Vorhandenen Belastungsfläche

Zunächst wird die Stützfläche $A_{vor,W} = 120$ mm² mit

$$A_{vor,W} = (d_{a,RR} - d_{i,RR}) \cdot l_W \quad (3.31)$$

und dann die Kraft $F_R = 1320$ N mit

$$F_{vor,R} = p_{P,W} \cdot A_r \quad (3.32)$$

berechnet, um dann damit das Verhältnis für die Bedingung

$$\frac{F_{vor,R}}{A_{vor,W}} = 11 \frac{N}{mm^2} < 300 \frac{N}{mm^2} \quad (3.33)$$

zu berechnen. Damit ist die Beanspruchung kleiner als die zulässige Beanspruchung und die Bedingung erfüllt.

3.8 Anschlussrohre und Flansche

Die Seewasserleitungen und Kältemittelleitungen bestehen aus Rohren, Bögen, T-Stücken und Flanschen. Diese müssen den herrschenden Kräften standhalten. Die Berechnung der Anschlüsse und Flansche wird in die Berechnung der Anschlussrohre Seewasser 3.8.1, die Berechnung der Anschlüsse Kältemittel 0 sowie die Berechnung der Anschlüsse Kältemittelseite flüssig 3.8.3 unterteilt.

3.8.1 Anschlussrohre Seewasser

Neben den Tauscherrohren werden auch die Anschlussrohre mit den Anforderungen aus Tabelle 3.16 geprüft. Die Anschlussrohre Seewasser seitig bestehen aus dem seewasserbeständigem Material CuNi10Fe1,6Mn.

Anforderung	Wert
$k_{4,CuNi10}$	80 N/mm ²
SSK	3,5 mm
$d_{a,SK}$	76 mm
$p_{P,W}$	75 bar

Der maximal zulässige Druck muss größer sein als der Prüfdruck:

$$p_{max} > p_{P,W} \quad (3.34)$$

Der maximal zulässige Druck mit

$$p_{max} = \frac{s_{SK} \cdot 20 \cdot k_{4,CuNi10}}{d_{a,SK} - s_{SK}} \quad (3.35)$$

berechnet, beträgt $p_{max} = 77,2$ bar. Somit ist die Bedingung aus Gleichung (3.34) erfüllt, die Anschlussrohre sind mit einem Überdruck von 77,2 bar, bei einem Sicherheitsfaktor von 4, belastbar.

Aufschweißflansche Seewasseranschlüsse gem. AD 2000, B8 [1]

Die Flansche müssen den für die Dichtung notwendigen Kräften und dem Seewasser standhalten (siehe Abbildung 3.18). Darum müssen diese entweder durch eine Norm bestimmt oder rechnerisch nachgewiesen werden.

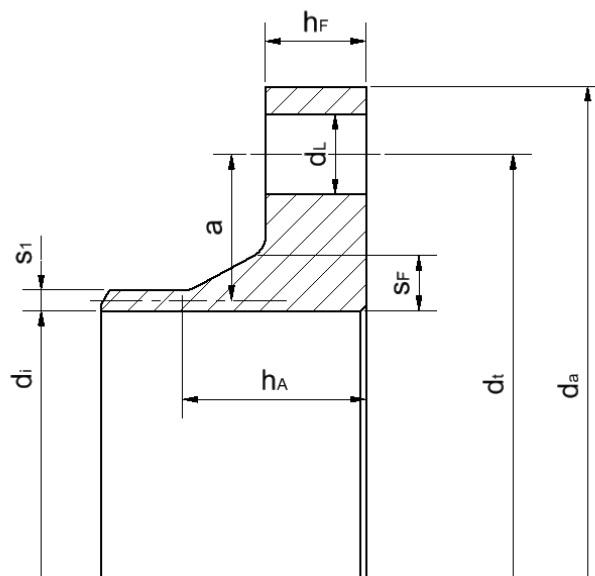


Abbildung 3.18: Flansch Seewasserseite B-B Schnitt

Die Flansche werden nach einer der Öffentlichkeit nicht zugänglichen Norm gefertigt. Daher werden die Flansche rechnerisch, mit den Anforderungen aus Tabelle 3.17, überprüft. Die Flansche sind ebenfalls aus dem Material CuNi10Fe1Mn.

Tabelle 3.17: Anforderungen des Aufschweißflansches

Anforderung	Wert
k_{CuNi10}	320 N/mm ²
$p_{B,W}$	75 bar
S_D	1,2
$d_{d,SF}$	120 mm
$d_{i,SF}$	69 mm
d_L	12 mm
s_F	9 mm
s_1	4 mm
b_D	15 mm
$d_{a,SF}$	145 mm
d_t	122 mm
h_F	17 mm
h_A	30 mm

Der Sicherheitswert der Dichtung liegt, nach AD2000, B7, Tafel 1 [1] bei $S_D = 1,2$.
Wenn die Bedingungen

$$0,5 \leq \frac{h_A - h_F}{h_F} \leq 1,0 \quad (3.36)$$

$$0,5 \leq 0,76 \leq 1,0$$

und

$$0,1 \leq \frac{s_1 + s_F}{b} \leq 0,3 \quad (3.37)$$

$$0,1 \leq 0,28 \leq 0,3$$

erfüllt sind, muss der Flansch nach dem B-B Querschnitt berechnet werden. Mit der doppelten Flanschbreite

$$b = d_{a,W} - d_{i,W} - 2d'_L \quad (3.38)$$

$b = 46,68$ mm, mit dem reduzierten Schraubendurchmesser

$$d'_L = v \cdot d_L \quad (3.39)$$

$d'_L = 11,16$ mm. Der Beiwert $v = 0,93$ wird mithilfe der folgenden Abbildung ermittelt:

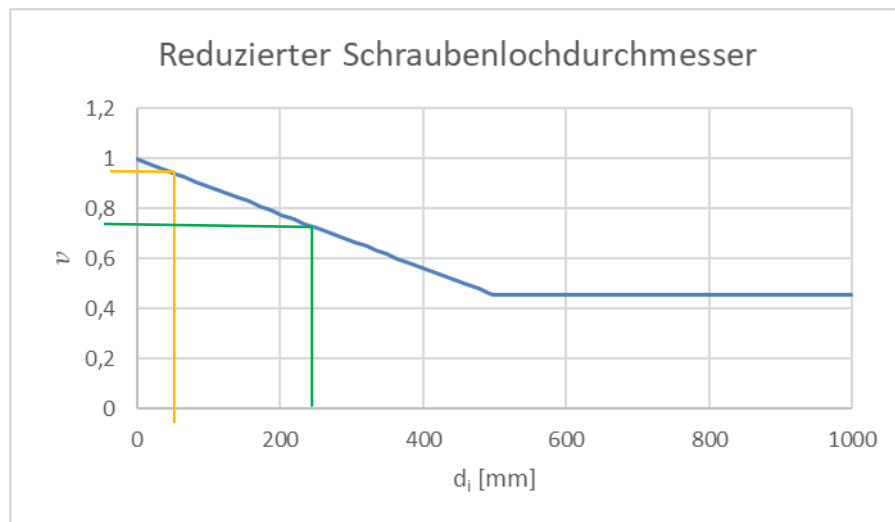


Abbildung 3.19: Reduzierter Schraubendurchmesser gem. [1]

Der Dichtungskennwert nach Gleichung (3.20), beträgt $k_1 = 16,5$ mm.
Die Mindestschraubenkraft besteht aus der Rohrlängskraft

$$F_{RP} = \frac{p_P \cdot \pi \cdot d_i^2}{40} \quad (3.40)$$

und beträgt $F_{RP} = 34006,2$ N. Auch die Ringflächenkraft mit

$$F_{FP} = \frac{p_P \cdot \pi \cdot (d_D^2 - d_i^2)}{40} \quad (3.41)$$

$F_{FP} = 50773,8$ N wird dadurch berechnet, genauso wie die Dichtungskraft mit

$$F_{DP} = \frac{p_P}{10} \cdot \pi \cdot d_D \cdot S_D \cdot k_1 \quad (3.42)$$

$F_{DP} = 55954,8$ N. Aus diesen Einzelkomponenten folgt eine Mindestschraubenkraft, welche mit

$$F_{SP} = F_{RP} + F_{FP} + F_{DP} \quad (3.43)$$

berechnet wird von $F_{SP} = 140734,8$ N. Nun benötigt man noch den Hilfwert Z mit

$$Z_1 = \frac{3}{4} (d_i + s_1) \cdot s_1^2 \quad (3.44)$$

Nach der Berechnung von $Z = 960$ mm³ benötigt man auch den Hebelarm $a = 18,5$ mm mit

$$a = \frac{d_t - d_i - S_1}{2} \quad (3.45)$$

berechnet. Zum Schluss wird noch der Flanschwiderstand W Gleichung (3.46) für die Berechnung des Aufschweißflansches benötigt. Für die Gleichung ist noch der Sicherheitsbeiwert von $S_W = 2,5$ erforderlich. Der Flanschwiderstand wird mit

$$W = \frac{F_{SP} \cdot S_W}{k} \cdot a \quad (3.46)$$

$W = 20340,58 \text{ mm}^3$ berechnet. Der Hilfwert $B = 0,763$ wird mit

$$B = \frac{1 + \frac{2 \cdot s_m}{b} \cdot B_1}{1 + \frac{2 \cdot s_m}{b} \cdot (B_1^2 + 2B_1)} \quad (3.47)$$

unter zur Hilfenahme von den Bestimmungsgrößen

$$s_m = \frac{s_F + s_1}{2} \quad (3.48)$$

$s_m = 6,5$ und

$$B_1 = \frac{h_A - h_F}{h_F} \quad (3.49)$$

$B_1 = 0,76$ ermittelt. Damit wird nun die zulässige Höhe des Flanschblattes mit

$$h_F = B \sqrt{\frac{1,27 \cdot W - Z_1}{b}} \quad (3.50)$$

errechnet. Die erforderliche Höhe des Flansches beträgt $h_F = 17,62 \text{ mm}$, die tatsächliche Höhe des Flansches ist $h_{F,t} = 17 \text{ mm}$. Damit ist die Flanschhöhe nicht ausreichend, wird aber weiterhin verwendet. Die in der Berechnung vorhandenen Sicherheiten sind hoch genug gewählt, dass der Flansch nicht zerstört wird. Zudem wird der KMV mit maximal 60 bar betrieben, aus diesen Gründen reicht die Flanschhöhe aus.

3.8.2 Anschluss Kältemittelseite

Anschluss Kältemittel flüssig / Rohr

Das Kesselrohr besteht aus dem Material P235GH-TC1 und hat damit die Eigenschaften des Mantelrohres. Die Anforderungen dieser Rohre sind in der folgenden Tabelle 3.18 dargestellt.

Tabelle 3.18: Anforderungen des Kesselrohres

Anforderung	Wert
$k_{P235,4}$	58,75 N/mm ²
$C_{1,KR}$	0 mm
$C_{2,KR}$	0 mm
S_A	4
s_{KR}	2,6 mm
$D_{a,KR}$	48,3 mm
V_{KR}	1

Das Kesselrohr wird nicht mit Wasser oder anderen korrosiven Stoffen beaufschlagt, zudem gibt es keine Wanddickenunterschreitung, es gibt also kein Aufschlag $C_{1,KR}$ oder $C_{2,KR}$. Für die erforderliche Wandstärke wird der maximal zulässige Druck $p_{max,KR} = 66,85$ bar benötigt der sich mit

$$p_{max,KR} = \frac{S_A \cdot 20 \cdot k_{P235,4}}{D_{a,KR} - S_A} \quad (3.51)$$

berechnet. Die Differenz zwischen dem maximal zulässigen Druck und dem Prüfdruck ist sehr hoch. Mit dem maximal zulässigen Druck, bei einer Sicherheit von $S_A = 4$, beträgt die erforderliche Wandstärke $s_0 = 2,67$ mm, welche mit der Gleichung (3.2) berechnet wird. Die Kältemittelrohre haben eine Wandstärke von $s_{KR} = 2,6$ mm. Der Druck wird niemals den maximal zulässigen Druck erreichen, weil die Sicherheitsventile vorher auslösen. Daher sind die Rohre für diese Zwecke ausreichend.

Anschluss Kältemittel flüssig / Bogen 90°

Die Berechnungen der Kesselrohrbögen werden mit den Anforderungen aus Tabelle 3.19 durchgeführt.

Tabelle 3.19: Anforderungen der Kesselrohrbögen

Anforderung	Wert
r_{KB}	57 mm
s_{KR}	2,6 mm
$C_{1,KR}$	0 mm
$C_{2,KR}$	0 mm
$D_{a,KR}$	48,3
$k_{P235,4}$	235 N/mm ²
S_A	4
V	1
$p_{max,KR}$	66,85 bar

Der, für die Berechnung der erforderlichen Wandstärke, benötigte Hilfswert $b_B = 0,91$ mm wird mit

$$b_B = 0,4 \cdot \frac{D_a}{r_{KB}} \cdot s_0 \quad (3.52)$$

berechnet. Die Wandstärke $s_0 = 2,67$ mm wird mit Gleichung (3.2) und mit dem $p_{max,KR} = 66,85$ bar aus der Gleichung (3.51) berechnet. Die erforderliche Wandstärke $s_{erf,KB} = 3,58$ mm, ermittelt mit

$$s_{erf,KB} = s_0 + C_1 + b_B \quad (3.53)$$

ist somit größer als die vorhandene Wandstärke $s_{KR} = 2,6$ mm. Damit ist der Rohrbogen bei maximal zulässigem Druck nicht ausreichend dimensioniert. Der Druck wird diesen maximalen Wert aber nie erreichen, vorher würden die Sicherheitsventile auslösen. Darum sind die ausgewählten Rohrbögen ausreichend dimensioniert.

Anschluss Kältemittel flüssig / T-Stück / nicht reduziert

Wie auch die Rohre und Bögen sind auch die T-Stücke aus P235GH-TC1 und haben dieselben Eigenschaften. Die Anforderungen, die für die Berechnungen notwendig sind, sind in Tabelle 3.20 dargestellt.

Tabelle 3.20: Anforderungen T-Stück Kältemittelseitig

Anforderung	Wert
$k_{P235,4}$	58,75 N/mm ²
$C_{1,KR}$	0 mm
$C_{2,KR}$	0 mm
S_A	4
s_{KR}	2,6 mm
$D_{a,KR}$	48,3 mm
V_{KR}	1
$p_{max,KR}$	66,87 bar

Durch Anwenden der Gleichung (3.2) erhält man eine erforderliche Wandstärke von $s_{erf.,T} = 2,67$ mm. Bei einer vorhandenen Wandstärke von $s_{KR} = 2,6$ mm sind auch die T-Stücke nicht ausreichend dimensioniert, aber wie bei den Rohrbögen und Rohren zuvor gilt auch hier, dass die T-Stücke für diesen Einsatzfall ausreichend sind. Der Druck wird niemals den maximal zulässigen Druck erreichen, weil die Sicherheitsventile vorher auslösen.

3.8.3 Anschluss Kältemittel gasförmig

Die Anschlussrohre auf der Gasseite sind identisch mit den Rohren auf der Seite mit den flüssigen Kältemittel. Es herrschen dabei dieselben Drucklagen, daher müssen die Rohre nicht neu berechnet werden.

3.9 Schraubenverbindung gemäß AD2000, B7 [1]

Die Klöpperböden und Rohrböden werden mithilfe von Dehnschaftbolzen verbunden, deren Berechnung gliedert sich in die Ermittlung der Einzelkräfte unter Prüfbedingungen 3.9.1, die Ermittlung des Schraubendurchmesser 3.9.2 und die Ermittlung des Anziehmomentes 0. Die Dehnschaftbolzen sind nach der Norm DIN 2510 gefertigt und müssen eine Prüfbescheinigung 3.2 nach EN 10204 und eine Versicherung über die Übereinstimmung der Materialeigenschaften des gelieferten Produktes mit den bestellten Materialeigenschaften, haben.

3.9.1 Ermittlung der Einzelkräfte unter Prüfbedingungen

Zunächst werden die Einzelkräfte mit den Anforderungen aus der Tabelle 3.21 ermittelt, um daraus den Schraubendurchmesser und das Anziehmoment zu berechnen.

Tabelle 3.21: Anforderungen der Einzelkräfte

Anforderung	Wert
k_{21CrMo}	713 N/mm ²
$d_{i,MF}$	266 mm
d_D	301 mm
S_D	1,2
$p_{P,W}$	75 bar

Die Bolzen sind aus dem Material 21 CrMo V 5-7 gefertigt.

Die Mindestschraubenkraft wird mit Gleichung (3.43) berechnet. Die dafür benötigte Rohrlängskraft, die infolge des Innendrucks besteht, wird mit Gleichung (3.40) $F_{RP} = 416575,95$ N ermittelt. Danach wird mit der Hilfe von Gleichung (3.41) die Ringflächenkraft $F_{FP} = 116837,44$ N und die Dichtungskraft $F_{DP} = 149710,18$ N mit Gleichung (3.42) ermittelt. Dafür wird der Dichtungskennwert $k_1 = 17,6$ mm durch Gleichung (3.20) berechnet. Daraus folgt eine Mindestschraubenkraft von $F_{SP} = 683,12$ kN.

3.9.2 Ermittlung Schraubendurchmesser

Für den Schraubendurchmesser wird der Hilfwert $Z = 1,18$ benötigt, dieser lässt sich mit der folgenden Tabelle 3.22 bestimmen. Die für die Berechnung des Schraubendurchmessers benötigten Anforderungen sind in Tabelle 3.23 dargestellt.

Tabelle 3.22: Hilfwert Z

Zustand und Gütewert	Werkstoffe mit bekannter Streckgrenze und Sicherheit gegen Streckgrenze bzw. $\sigma_{B/100000}$	
	Bei Schraubenbolzen mit Dehnschaft z.B. nach DIN 2510	Bei Vollschaftschrauben
Für den Betriebszustand	S=1,5	S=1,8
$\varphi = 0,75$	Z=1,60	Z=1,75
$\varphi = 1,00$	Z=1,38	Z=1,51
Für den Einbau- und Prü fzustand	S=1,1	S=1,3
$\varphi = 0,75$	Z=1,37	Z=1,49
$\varphi = 1,00$	Z=1,18	Z=1,29

vgl. [1]

Tabelle 3.23: Anforderungen des Schraubendurchmessers

Anforderung	Wert
Z	1,18
F_{SP}	683123,56 N
$k_{21CrMo,20}$	550 N/mm ²
n	16

Es wird der Mindestschraubendurchmesser $d_S = 10,40$ mm, mit der zuvor berechneten Mindestschraubenkraft $F_{SP} = 683123,56$ N, mit

$$d_S = Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SP}}{k_{21CrMo,20} \cdot n}} \quad (3.54)$$

berechnet. Der Gewählte Schraubendurchmesser beträgt $d_{S,v} = 16$ mm, die Schrauben sind also ausreichend dimensioniert.

3.9.3 Ermittlung des Anziehmomentes

Für die Montage wird das Anziehmoment benötigt, dieses wird mit den Anforderungen aus Tabelle 3.24 berechnet.

Anforderungen	Wert
F_{SP}	683123,56 N
n	16
μ_{ges}	0,12
d_L	17,5 mm
P	2
d_2	14,701 mm
$d_{S,v}$	16 mm

Für das Anziehmoment wird die Mindestschraubenkraft der einzelnen Schraube benötigt, diese wird mit

$$F_S = \frac{F_{SP}}{n} \quad (3.55)$$

$F_S = 42695,22$ N berechnet. Der mittlere Durchmesser berechnet mit

$$d_m = \frac{d_w + d_L}{4} \quad (3.56)$$

beträgt $d_m = 9,98$ mm gemäß [6], wobei $d_w = 22,4$ mm mit

$$d_w = 1,4 \cdot d_{S,v} \quad (3.57)$$

berechnet wird. Daraus folgt dann mit

$$M_A = F_S \cdot \left(0,61 \cdot P + 0,563 \cdot \mu_{ges} \cdot d_2 + 0,25 \cdot \mu_{ges} \cdot (d_m + d_L) \right) \quad (3.58)$$

gemäß Festigkeitsberechnung verfahrenstechnischer Apparate [5], ein Anziehmoment von $M_A = 84,85$ Nm.

3.10 Schweißring an Anschluss- und Umlenkdeckel gem. AD 2000, B8 [1]

Der Klöpperboden wird mit dem Flansch verschweißt, die dazu notwendige Flanschkhöhe wird im folgenden Kapitel berechnet (siehe Abbildung 3.20).

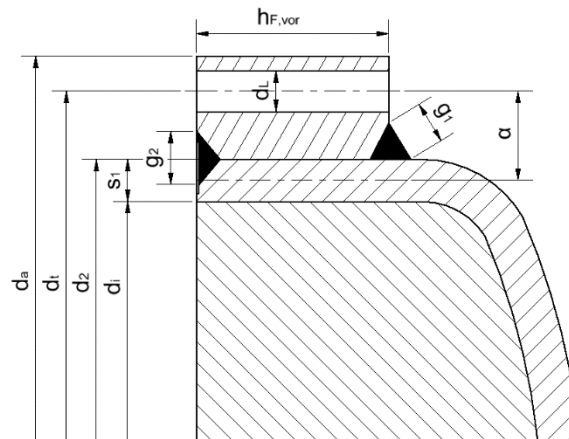


Abbildung 3.20: Flansch mit Klöpperboden verschweißt

Ermittlung der notwendigen Flanschkhöhe h_F

Die für die Berechnung der notwendigen Flanschkhöhe benötigten Anforderungen sind in Tabelle 3.25 dargestellt.

Tabelle 3.25: Anforderungen der notwendigen Flanschkhöhe

Anforderung	Wert
$d_{a,F}$	390 mm
d_t	360 mm
d_2	302 mm
d_l	266 mm
d_L	17,5 mm
F_{SP}	683123,56 N
s_1	18 mm
$p_{P,W}$	75 bar
b_D	16 mm
k_{CuNi30}	180 N/mm ²

Es wird die Mindestschraubenkraft $F_{SP} = 683123,56 \text{ N}$ aus Kapitel 3.9.1 verwendet. Der reduzierte Lochdurchmesser $d'_L = 12,6 \text{ mm}$ wird mit der Gleichung (3.39) berechnet, dass hierfür benötigte $\nu = 0,7$ wird aus der Abbildung 3.19 ermittelt. Der Hilfwert $Z = 92016 \text{ mm}^3$ wird mit der Gleichung (3.44) berechnet. Anschließend wird der Hebelarm $a = 38 \text{ mm}$ mithilfe der Gleichung (3.45) berechnet. Mit diesen Werten wird der Flanschwiderstand $W = 360537,44 \text{ mm}^3$ durch die Gleichung (3.46) errechnet. Mit der Gleichung (3.50) kann die notwendige Flanshhöhe $h_F = 81,77 \text{ mm}$ ermittelt werden. Damit ist der Flansch mit einer Höhe von $h_{F,vor} = 82 \text{ mm}$ ausreichend dimensioniert. Um die Flanshhöhe zu senken, kann der Flansch statt aus CuNi30Mn1Fe aus S355 gefertigt werden. Die Flanshhöhe sinkt dann zwar, es muss aber auch auf die Mischschweißnaht geachtet werden. In diesem Bereich kann es schnell zu Korrosion kommen. Es müsste eine Dichtung über die komplette Schweißnaht gelegt werden, damit das Seewasser nicht in Kontakt mit dieser kommt. Darum wird bei dem CuNi30Me1Fe verblieben.

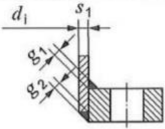
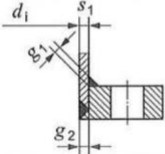
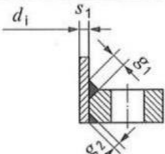
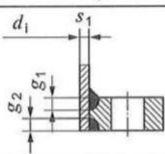
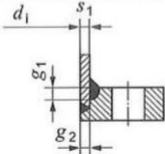
3.11 Schweißausführung an Anschluss- und Umlenkdeckel gem. AD 2000, B8 [1]

Die Flanschringe sind an den Klöpperböden angeschweißt, die Schweißnaht muss dicht sein und den Kräften der Schraubverbindung standhalten. Die Schweißnähte werden mit den Anforderungen aus Tabelle 3.26 überprüft.

Tabelle 3.26: Anforderungen der Schweißnähte

Anforderung	Wert
$p_{P,W}$	75 bar
$d_{i,K}$	266 mm
g_1	18 mm
g_2	23 mm
s_1	18 mm

Zunächst wird die Schweißnahtdicke ermittelt, diese wird anhand der Schweißnahtausführung in der Abbildung 3.21 bestimmt.

Nahtausführung	Schweißnahtdicke	Begrenzung $d_i \cdot p$ mm bar
1. 	$g_1 + g_2 \geq 1,4 s_1$	10000
2. 	$g_1 + g_2 \geq 1,4 s_1$	10000
3. 	$g_1 + g_2 \geq 2 s_1$	20000
4. 	$g_1 + g_2 \geq 2 s_1$	-
5. 	$g_1 + g_2 \geq 2 s_1$	-

Der Unterschied zwischen g_1 und g_2 darf nicht mehr als 25 % betragen.

Abbildung 3.21: Schweißnahtdicke AD 2000, B8, S11 [1]

Dabei wird die Schweißausführung mit

$$d_i \cdot p_p \quad (3.59)$$

begrenzt.

Der Klöpperboden hat eine Schweißnaht von $g_1 = 18$ mm und $g_2 = 23$ mm, damit erfüllt er die Bedingung

$$g_1 + g_2 = 41 \geq 2s_1 = 36 \quad (3.60)$$

und die Schweißnaht ist ausreichend dimensioniert.

3.12 Kopfhalter

Die Kopfhalter werden auf die Querkräfte hin, mit den Anforderungen aus Tabelle 3.27, überprüft. Um eine Schockfestigkeit von 16 G zu gewährleisten.

Tabelle 3.27: Anforderungen des Kopfhalters

Anforderungen	Wert
m_{KMV}	400 kg
m_{R134a}	40 kg
m_{Wasser}	40 kg
g	9,81 m/s ²
e_y	94 mm
l_H	547 mm
σ_{zul}	70 mm
I_x	247807585,50 mm ⁴

Dafür wird zunächst die angreifende Kraft berechnet, die Masse des KMV wird mit $m_{\text{KMV}} = 450$ kg abgeschätzt, dazu kommen noch die Masse des Kältemittels und des Wassers. Die Masse des Kältemittels im KMV beträgt ca. $m_{\text{R134a}} = 40$ kg, die Masse des Wassers beträgt ca. $m_{\text{Wasser}} = 40$ kg. Dies ergibt eine Gesamtmasse von $m_{\text{ges}} = 530$ kg. Die Flächenträgheitsmomente werden mit dem Programm Inventor mit Hilfe einer Skizze errechnet.

Der größte Abstand vom Schwerpunkt bis zur äußeren Faser in Y-Richtung beträgt $e_y = 94$ mm, der Abstand vom Mittelpunkt des Kondensators bis zur Oberkante des Halters beträgt $l_H = 547$ mm. Der Halter ist aus S235JR gefertigt und hat damit eine Streckgrenze, bei schwelenden Belastungen, von $\sigma_{\text{zul}} = 70$ N/mm².

Die Kraft F wird mit

$$F = \frac{m_{\text{ges}} \cdot g}{2} \quad (3.61)$$

berechnet, welche halbiert wird, weil die Kraft sich auf zwei Halter aufteilt. Dies führt zu einer Kraft von $F = 2599,65$ N. Für die weiteren Berechnungen wird die resultierende Kraft $F_R = 3676,46$ N mit

$$F_R = \sqrt{F^2 + F^2} \quad (3.62)$$

benötigt. Das Widerstandsmoment $W_x = 2636250,91$ mm³ wird mit

$$W_x = \frac{I_x}{e_y} \quad (3.63)$$

berechnet. Daraus folgt dann mit

$$\sigma_{vorh.} = \frac{F_R \cdot l_H}{W_x} \quad (3.64)$$

eine Spannung von $\sigma_{vorh.} = 0,763 \text{ N/mm}^2$. Die vorhandene Schockfestigkeit wird mit

$$G_{vor} = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{vor.}} \quad (3.65)$$

$G_{vor} = 91,76$ berechnet, damit ist die vorgegebene Schockfestigkeit von 16 G gewährleistet.

3.13 Sicherheitsventil nach DIN EN 13136 [4]

Die Sicherheitsventile sorgen dafür, dass der Druck in dem Kältemittelverflüssiger nicht zu hoch ist, da ansonsten der KMV oder andere Geräte kaputt gehen könnten. Wenn der Druck $p_{set} = 18 \text{ bar}$ erreicht, lösen die Ventile aus, öffnen sich und lassen das Kältemittel in den Raum ab. Im Raum herrscht ein Druck von $p_{atm} = 1 \text{ bar}$. Die zur Ermittlung, des Sicherheitsventils, benötigten Anforderungen sind in Tabelle 3.28 dargestellt.

Tabelle 3.28: Anforderungen der Sicherheitsventile

Anforderung	Wert
$d_{a,M}$	298,5 mm
l_M	1840 mm
$d_{a,RB}$	390 mm
φ_V	10 kW/m ²
$d_{i,V}$	18,7 mm
C	2,5
K_{dr}	0,5
K_b	1

Die für die Berechnungen benötigte Fläche $A_{Beh} = 1,951 \text{ m}^2$ errechnet sich durch

$$A_{Beh} = A_M + A_{gB} \quad (3.66)$$

berechnet. Diese ergibt sich aus der Oberfläche des Mantelrohres

$$A_M = \pi \cdot d_{a,M} \cdot l_M \quad (3.67)$$

$A_M = 1,725 \text{ m}^2$ und der Oberfläche der zwei glatten Böden $A_{gB} = 0,233 \text{ m}^2$, welche sich mit

$$A_{gB} = \frac{\pi}{4} d_{a,RB} \cdot 2 \quad (3.68)$$

ergeben. Der tatsächliche Abblasedruck $p_0 = 20,8$ bar wird mit

$$p_0 = 1,1 \cdot p_{set} + p_{atm} \quad (3.69)$$

berechnet. damit kann die Verdampfungsenthalpie beim tatsächlichen Abblasedruck $h_{vap} = 125,78$ kJ/kg ermittelt werden. Dieser wurde mit dem Programm Solkane ermittelt.

t	p	ρ'	ρ''	v'	v''	h'	h''	r	s'	s''
°C	bar	kg/dm ³	kg/m ³	dm ³ /kg	dm ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kgK	kJ/kgK
69,22	20,80	1,001	112,89	0,999	8,86	302,82	428,60	125,78	1,3298	1,6963

Abbildung 3.22: Auszug aus Solkane bei tatsächlichem Abblasedruck

Die Verdampfungsenthalpie ist die Differenz zwischen der Enthalpie im gasförmigen und der Enthalpie im flüssigen Zustand:

$$h_{vap} = h'' - h' \quad (3.70)$$

Zudem beträgt der Normwärmestrom nach DIN EN 13136 [4] $\varphi_V = 10$ kW/m², damit wird nun die Mindestabblaseleistung $Q_{md} = 560,214$ kg/h mit

$$Q_{md} = \frac{3600 \cdot \varphi_V \cdot A_{Beh}}{h_{vap}} \quad (3.71)$$

berechnet. Die Abbildung 3.23 zeigt, dass das Sicherheitsventil T21 bei einem $p_{set} = 21$ bar eine Abblaseleistung von 3637 kg/h hat. Dies bedeutet, dass die Abblaseleistung des Ventils größer ist als die Mindestabblaseleistung und damit ausreichend ist.

P_{SET}	T21	T21...FA	T23 DN15/20	T23 DN25	T23 DN32	T23 DN40	T23 DN50	T23...FA DN25
bar(g)	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h
2,5							2416	
3,0							2758	
3,5	737						3099	
4	817						3439	
4,5	898		604	1173	1655	2711	3778	
5	979		658	1279	1803	2955	4118	
6	1140	769	767	1489	2100	3441	4795	
7	1301	878	875	1699	2396	3926	5472	
8	1462	986	983	1910	2693	4412	6149	
9	1623	1095	1092	2120	2990	4899	6828	
10	1785	1204	1201	2332	3288	5387	7508	2332
11	1947	1314	1310	2543	3587	5877	8190	2543
12	2110	1424	1420	2756	3887	6368	8875	2756
13	2274	1534	1530	2970	4188	6862	9563	2970
14	2439	1645	1640	3185	4491	7359	10255	3185
15	2604	1757	1752	3401	4797	7859	10952	3401
16	2771	1870	1864	3620	5104	8363	11655	3620
17	2940	1984	1978	3840	5415	8872	12365	3840
18	3111	2099	2093	4063	5729	9387	13082	4063
19	3283	2215	2209	4288	6047	9908	13808	4288
20	3459	2333	2327	4517	6370	10437	14544	4517
21	3637	2453	2446	4750	6698	10974	15293	4750
22	3818	2576	2568	4987	7032	11521	16056	4987
23	4003	2701	2693	5229	7373	12080	16835	5229
24	4194	2829	2821	5477	7724	12655	17635	5477
25	4390	2961	2953	5733	8084	13245	18459	5733
26	4592	3098	3090	5998	8458	13858	19312	5998
27	4804	3241	3232	6274	8847	14495	20200	6274
28	5026	3391						
29	5261	3549						
30	5513	3719						
31	5788	3905						
32	6095	4112						
33	6448	4350						
34	6874	4638						

Abbildung 3.23: Abblaseleistung des T21 Ventils bei R134a S.21 [8]

Für die Berechnung des tatsächlichen Massenstroms wird die Fläche des engsten Querschnitts A_e benötigt. In der Regel ist dieser der Anschlussnippel bzw. der Anschluss des Ventils, welches in diesem Fall einen Innendurchmesser von $d_{i,v} = 18,7$ mm hat. Damit ergibt sich mit

$$A_e = \frac{\pi}{4} d_{i,v}^2 \quad (3.72)$$

eine Fläche von $A_e = 274,5$ mm². Weiterhin wird noch der Korrekturfaktor bei einer kritischen Strömung $K_b = 1$, einen näherungsweise bestimmten Ausflusskoeffizient $K_{dr} = 0,5$ benötigt, da es zu dem Ausflussstrom keine Herstellerangaben gibt. Die Funktion des Isentropenexponenten $C = 2,5$ wird in der Tabelle A.1 in der DIN EN 13136 [4] für das Kältemittel R134a ermittelt. Das spezifische Volumen des Dampfes beim tatsächlichen Abblasedruck $v_0 = 0,0086$ m³/kg wird wieder mit dem Programm Solkane ermittelt werden, siehe Abbildung 3.22.

Der tatsächliche Massenstrom wird mit

$$Q_m = 0,2883 \cdot C \cdot A_e \cdot K_{dr} \cdot K_b \cdot \sqrt{\frac{p_0}{v_0}} \quad (3.73)$$

errechnet und beträgt $Q_m = 4865,08$ kg/h. Das Ventil entspricht den Anforderungen.

4 Konstruktion

In diesem Kapitel werden die Besonderheiten in der Konstruktion dargestellt (siehe Abbildung 4.24), angefangen mit dem Mantel Abschnitt 4.1, den Rohrstutzen Abschnitt 4.2, die Rippenrohren Abschnitt 4.3, den Flanschen Abschnitt 4.4, der Halterung Abschnitt 4.5 und zum Schluss den Sicherheitsventilen Abschnitt 4.6.

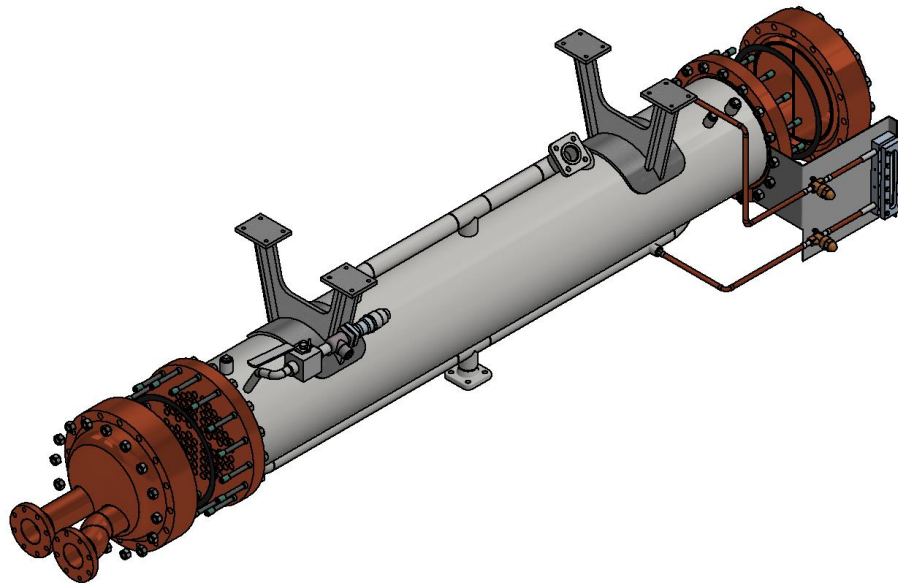


Abbildung 4.24: Kältemittelverflüssiger

Der Kondensator wird wie ein normaler Rohrbündel-Wärmetauscher aufgebaut, es wird jedoch ein besonderes Augenmerk auf die Drucklagen, die Korrosion sowie die durch z.B. Manöver hervorgerufene Kräfte gelegt. Diese Materialien ermöglichen einen wartungsarmen und stabilen Zusammenbau. Um den Kräften standzuhalten sind die Flansche extra überbemaßt. Die Anschlüsse für das Seewasser sind so dimensioniert, dass das Seewasser genügend Kühlleistung hat, um das Kältemittel zu kühlen. Verwendet wird R134a. Der gesamte Kältemittelverflüssiger wird mit einem Restschock von 16 G ausgelegt.

4.1 Mantel

Der Mantel wird aus P235GH N TC1 gefertigt. Das Mantelrohr hat mehrere Ausschnitte, an diese werden Stutzen angeschweißt, welche zum Befestigen von Sensoren benötigt werden (siehe Abbildung 4.25).

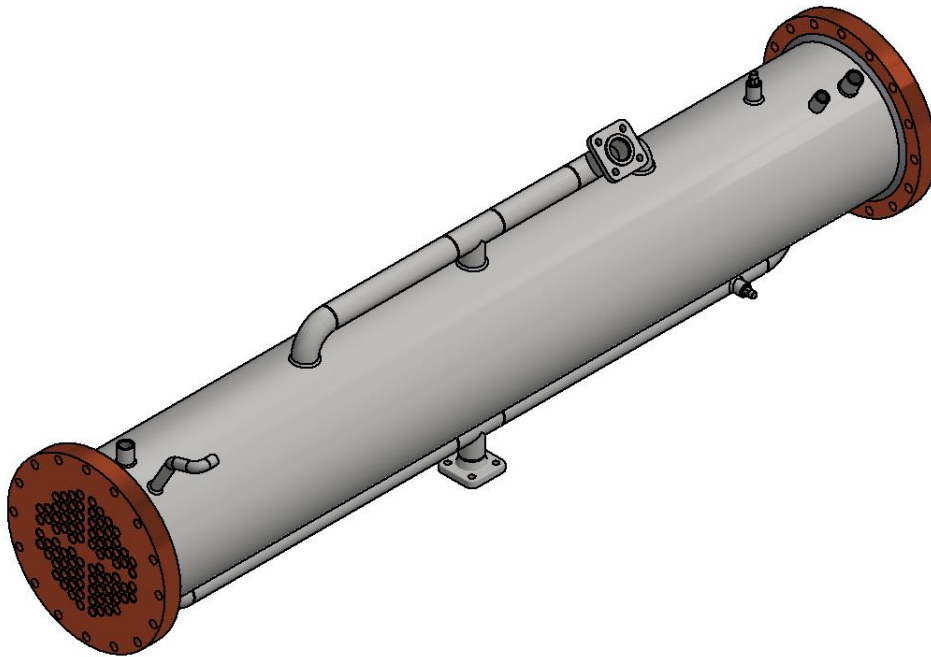


Abbildung 4.25: Zusammengebautes Mantelrohr

4.2 Rohrstützen Seewasser

Die Rohrstützen waren anfangs in einem 16° Winkel nach außen befestigt und mit einem Knick im Rohr, wie in der Abbildung 4.26, um die Flansche eben an die Rohre Schweißen zu können. Diese Idee wurde im Verlauf des Konstruierens verworfen, der Winkel erschwert die Berechnungen der Querschnittsflächen. Zudem haben scharfkantige Knicke einen negativen Einfluss auf den Fluss des Wassers.

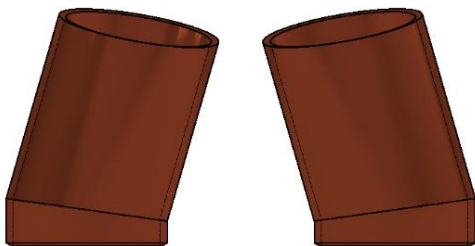


Abbildung 4.26: Rohrstützen fürs Seewasser mit Knick

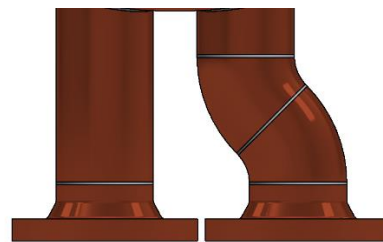


Abbildung 4.27: Rohrstützen für Seewasser mit Bogen

Daraufhin wurden die Stützen, mit Knicken, durch gerade Stützen und 45° Bögen, wie in Abbildung 4.27 zu sehen, ersetzt.

4.3 Rippenrohre

Die Rippenrohre haben, wie der Name schon sagt, Rippen (siehe Abbildung 4.28). Diese sorgen für eine bessere Wärmeübertragung. Im Fall, dass sich zu viel Sediment abgelagert hat, wird der Kondensator rückläufig geschaltet und auf voller Last gefahren. Dadurch wird er wieder frei gespült und kann dann im normalen Betrieb verwendet werden.

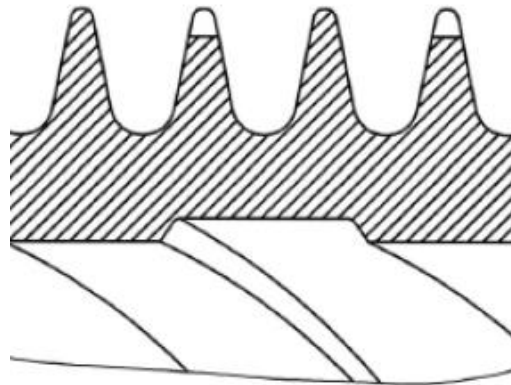


Abbildung 4.28: Rippenrohr
Wieland-Werke AG Zng-Nr:837.00885

Die Rippenrohre sind in die Rohrböden eingewalzt, sowie in die Stützbleche eingelötet, um eine bessere Stabilität zu erhalten.

4.4 Flansche und Anschlüsse

Die Kältemittelflansche sind AWP Aufschweißflansche (siehe Abbildung 4.29), diese sind kleiner als Standard ISO 7005-Flansche (siehe Abbildung 4.30). Ein ISO-Flansch hat einen Außendurchmesser von 155 mm, die AWP Flansche haben lediglich eine Breite von 92 mm.

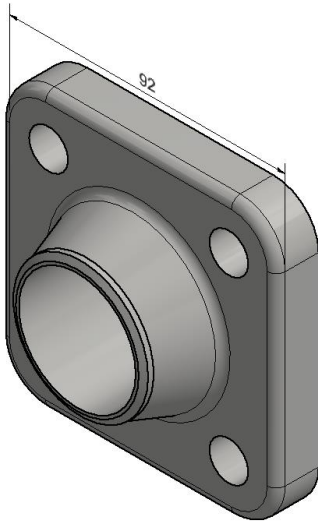


Abbildung 4.29: AWP Flansch

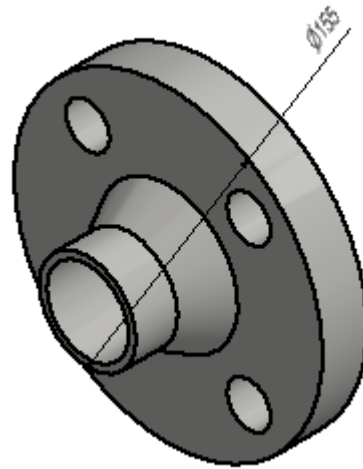


Abbildung 4.30: ISO 7005 Flansch

Zum Anschließen des Sichtglases und der Sicherheitsventile werden Sattel- und Schweißmuffen verwendet.

4.5 Halterung

Die Halterung ist so konstruiert, dass noch Leitungen über dem Kondensator selbst geführt werden können. Der Kopfhalter wird mit M10 Schrauben fixiert und ist zudem so konstruiert, dass er den Schockstößen, die auftreten können, standhält. Die Aussparung, zu sehen in Abbildung 4.31, wurde aus Stabilitätsgründen entfernt. Diese hatten eine zu starke Kerbwirkung.

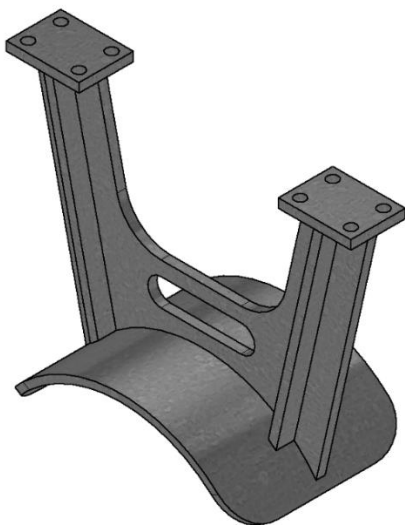


Abbildung 4.31: Kopfhalter mit Ausschnitt

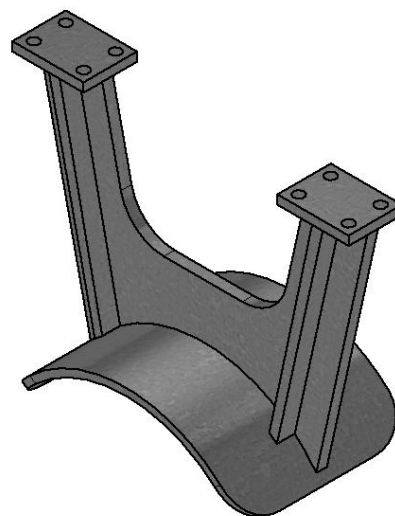


Abbildung 4.32: Kopfhalter

Der Kopfhalter wurde als Schweißkonstruktion entwickelt, siehe Abbildung 4.33, um Problemen beim Anschweißen an den KMV zu umgehen und Reparaturen zu vereinfachen.

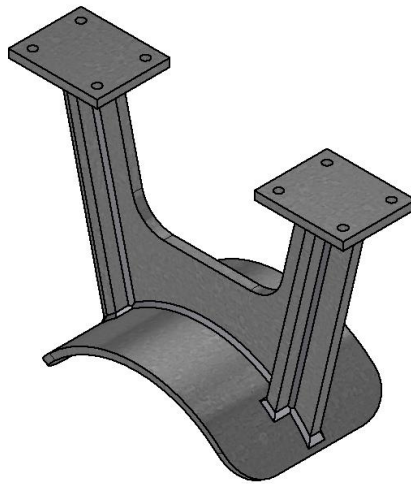


Abbildung 4.33: Kopfhalter geschweißt

4.6 Sicherheitsventile

Die Ausgewählten Herl T21.FA Sicherheitsventile von Parker sorgen dafür, dass kein Überdruck entsteht (siehe Abbildung 4.34). Die Sicherheitsventile blasen in das Innere des Raums aus. Das Kältemittel ist zwar gesundheitsgefährdend, aber andere Möglichkeiten gibt es nicht. Es könnte zwar noch ins Wasser abgelassen werden, dies würde aber zu einer erheblichen Geräusentwicklung führen. Vor den Sicherheitsventilen sind offen verplombte Absperrventile. In der Marine ist dieser Aufbau erlaubt. Dies wird gemacht, weil das Unterseeboot in jeder Situation fahrtüchtig bleiben muss.

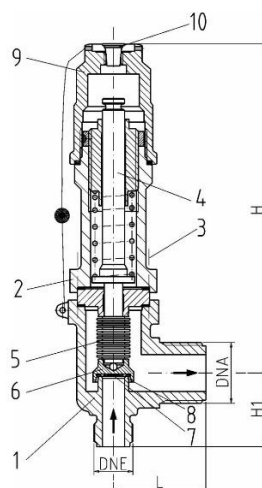


Abbildung 4.34: T21.FA Sicherheitsventil [8]

5 Fazit und Ausblick

Ziel der Arbeit war es einen Kältemittelverflüssiger (KMV) für den maritimen Einsatz zu konstruieren. Dazu wurde bei den Berechnungen ein besonderes Augenmerk auf Korrosion, Wartungsarmut und Kompaktheit gelegt.

Die Berechnungen aus Kapitel 3 zeigen, dass der KMV ausreichend und sogar überdimensioniert ist. Die Materialien CuNi10 und CuNi30 korrodieren, bei Seewasserkontakt nicht. Der Werkstoff P235GH wiederum ist sehr gut für den Druckbehälterbau geeignet. Durch die Überdimensionierung ist der KMV sehr wartungsarm und widerstandsfähig. Die Kühlleistung des KMV ist, trotz seiner Kompaktheit, den Vorgaben entsprechend ausgelegt. Durch die Verwendung von Seewasser ist immer genügend kaltes Kühlmittel vorhanden, um das Kältemittel runter zu kühlen. Die in dieser Arbeit genannten Drücke werden nicht überschritten. In den Situationen, in denen höhere Drücke erzeugt werden, als die hier verwendeten, wäre das U-Boot schon zerstört. Aufgrund dessen wurde mit dem Prüfdruck gerechnet. Der KMV hält dem Druck bis zur gesamten Zerstörung des U-Bootes stand. Durch das verwendete Kältemittel mit der Sicherheitsklasse A1 wird das Risiko von Bränden, welche fatale Folgen haben könnten, reduziert. Aus diesen Gründen ist der KMV die beste Lösung, für dieses Einsatzgebiet.

Mit neuen Materialien und neuen Kältemitteln können in der Zukunft noch effizientere, leichtere und kompaktere Verflüssiger konstruiert werden. Es werden Materialien mit besserer Wärmeleitfähigkeit und derselben bzw. geringeren Dichte und ähnlichen oder höheren Streck- bzw. Dehngrenzen benötigt, um einen effizienteren KMV zu konstruieren. Das Kältemittel R134a wird auf Grund seines hohen GWP von 1430, zukünftig nicht mehr bei Neuanlagen erlaubt sein. Es wird ein Reinstoffkältemittel, mit einem niedrigeren GWP, nicht toxisch, nicht brennbar und mit der gleichen oder gar besseren Wärmeübertragung erforderlich sein.

Fortfolgend können noch Prüfungen durchgeführt werden, welche Schwachstellen des KMV sichtbar machen könnten. Woraufhin Anpassungskonstruktionen gemacht werden können. Zudem könnten mit den vorher genannten neuen Materialien einzelne Bauteile neu konstruiert werden.

Literaturverzeichnis

Literatur

- [1] 2006. *AD 2000. Taschenbuch - Ausgabe 2006*. Beuth Praxis. Beuth, Berlin.
- [2] *DIN EN 2505:1964-10 Vornorm Flanschverbindung*. Beuth Verlag GmbH.
- [3] *DIN 28011:2012-06, Gewölbte Böden_ - Klöpperform*. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [4] *DIN EN 13136:2001-09, Kälteanlagen und Wärmepumpen_ - Druckentlastungseinrichtungen und zugehörige Leitungen_ - Berechnungsverfahren; Deutsche Fassung EN_ 13136:2001+A1:2005*. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [5] Wegener, E. 2002. *Festigkeitsberechnung verfahrenstechnischer Apparate*. Wiley-VCH, Weinheim.
- [6] Wittel, H., Muhs, D., Jannasch, D., and Voßiek, J. 2013. *Roloff/Matek Maschinenelemente*. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden.
- [7] 2013. *VDI-Wärmeatlas. Mit 320 Tabellen*. Springer Reference. Springer Vieweg, Berlin.

Quellen

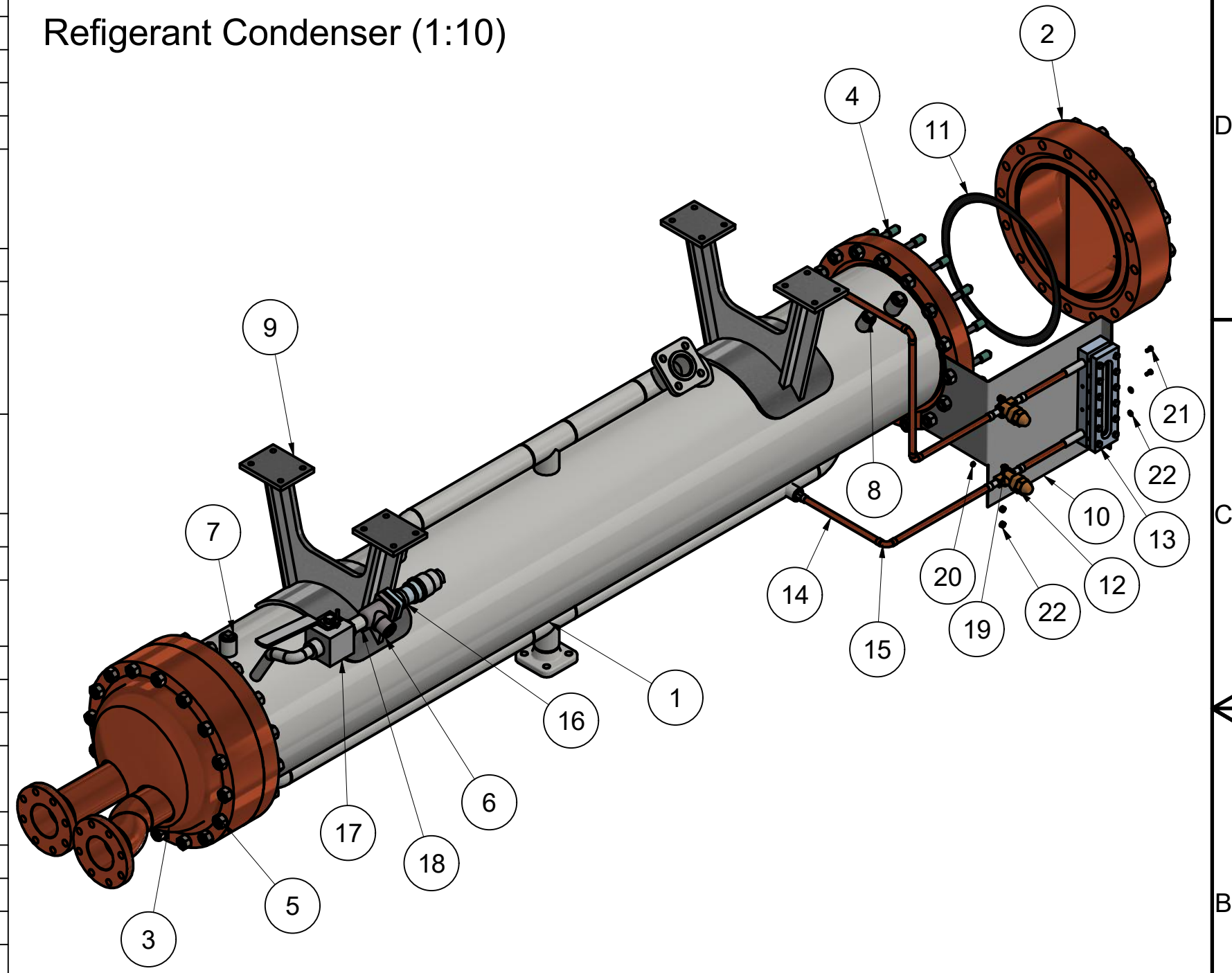
- [8] Parker. *Absperrventile*.
- [9] Danfoss A/S. *Einführung in die Grundlagen der Kältetechnik*.
- [10] *Eucaro Shipbuilding Catalog*.
- [11] cnara. Fließgeräusche in Heizungsanlagen.
- [12] GEA AWP GmbH. *GEA AWP Katalog*.
- [13] F. REYHER Nchfg. GmbH & Co. 2020. *REYHER_Katalog*. <https://www.reyher.de/fileadmin/epaper/Katalog/index.html>. Accessed 26 January 2021.
- [14] cold.world GmbH. 2020. *Kältewissen - R134a Kältemittel*. <https://cold.world/de/know-how/r134a-kaltemittel>. Accessed 25 November 2020.
- [15] Schweizer. 2020. *Schraubenverbindung bei verschiedenen Belastungsfälle mit Berechnungsprogramm*. <https://www.schweizer-fn.de/maschinenelemente/schraube/schraubenverbindung.php>. Accessed 20 November 2020.
- [16] Schweizer. 2020. *Spannungen in einer Rohrleitung*. <https://www.schweizer-fn.de/rohr/festigkeit/festigkeit.php>. Accessed 23 November 2020.
- [17] Schweizer. 2020. *Strömungstechnik - Formelsammlung u. Berechnungsprogramme*. <https://www.schweizer-fn.de/stroemung/druckverlust/druckverlust.php>. Accessed 20 November 2020.
- [18] 2020. *Tetrafluorethan*. <https://www.chemie.de/lexikon/Tetrafluorethan.html>. Accessed 13 December 2020.
- [19] 2020. *ThermalS | online platform - Login*. <https://thermals.wieland-thermalsolutions.com/app/>. Accessed 24 November 2020.

Anhang

Anhang 1: Fertigungszeichnung..... IX

Parts List			
Object	Number	Partnumber	Discription
1	1	Tube Bundle	
2	1	Reverse Cover	
3	1	Torospheric Cover	
4	32	Bolts with Reduced Shank M16x150 DIN 2510	
5	64	DIN 2510 - M16	
6	1	Safety Valve	Herl T21
7	2	ISO 4144 Plug P1 3/4	Piping - stainless steel fittings with thread according to ISO 7-1
8	1	ISO 4144 Plug P1 1/2	Piping - stainless steel fittings with thread according to ISO 7-1
9	2	Holder	
10	1	Holder Sight Glas	
11	2	Dichtung Flansch Mantel	
12	2	Valve	
13	1	Sight Glas	PG-173
14		Copper Pipe	
15	4	Copper Elbow 90° 5002a	Solder Fitting
16	1	Clamp	
17	1	Shut-Off Valve	
18	1	Sleeve 1/2"	
19	4	ISO 4017 - M4 x 16	
20	4	Placeholder M4	Washer 5mm thick
21	2	ISO 4017 - M4 x 10	
22	2	ISO 7091 - ST 4 - 100 HV	Washer

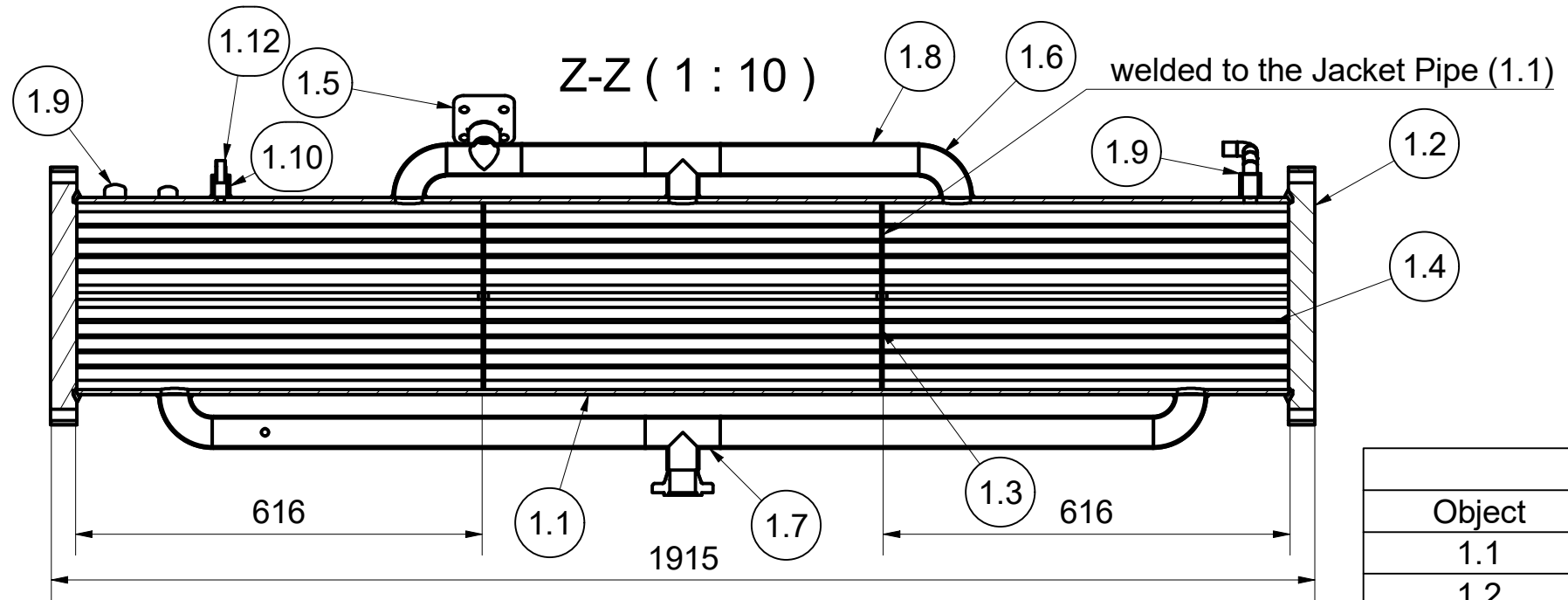
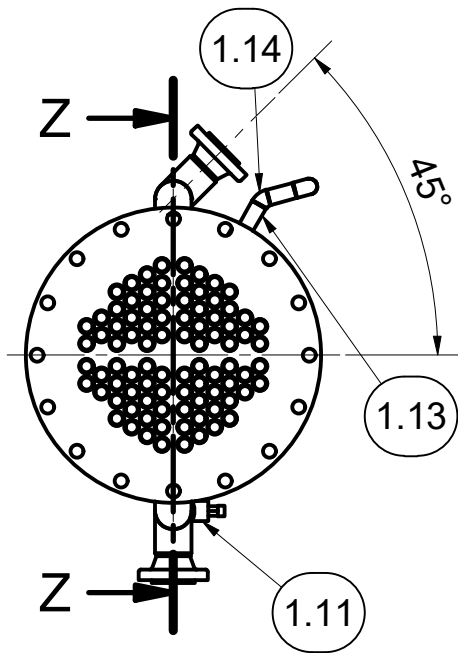
Refrigerant Condenser (1:10)



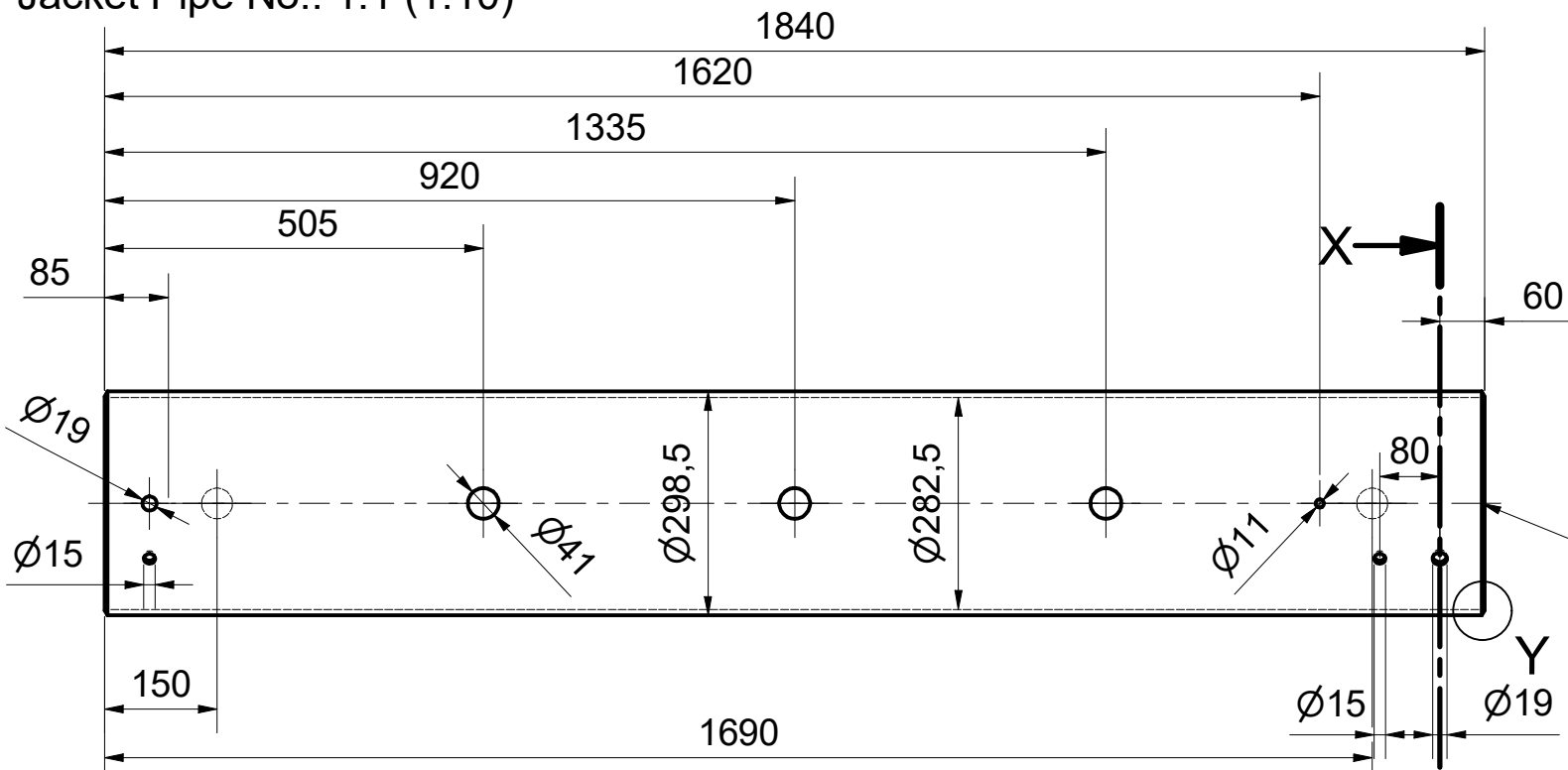
This drawing is the intellectual property of AERIUS. According to §§1,2 and §§11ff of UrhG (copyright) and §823 of the BGB, it is not permitted to use the document either to invite tenders, to allow a third party to look at them, or to communicate in any way as regards content without AERIUS's approval.

<small>Copying of this document, and giving it to others and the using or communication of the contents thereof, are forbidden without express authority. Offenders are liable to the payment of damages. All rights are reserved in the event of grant of a patent or the registration of a utility model or design. Weitergabe sowie Vervielfältigen dieser Unterlagen, Verwertung und Mitteilung ihres Inhaltes sind nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmuster-Eintragung vorbehalten.</small>		0	15.12.2020	MSR	STE	First Issue
INDEX	DATE	DRAWN	CHECKED	TYPE OF MODIFICATION		
D:\Bachelorarbeit\FZ8630-1000-001.idw						
	NAME	DATE	TITLE Refrigerant Condenser			
DRAWN	MSR	15.12.2020				
CHECKED	STE	16.02.2021				
A3	 GENERAL TOLERANCE ISO 2768m	FZ8630-1000-001	8630-1000-001	0	1	13
SIZE		FILE	DRAWING NO.	INDEX	SHEET	OF SHEET

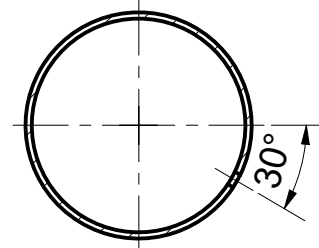
Tube Bundle No.: 1



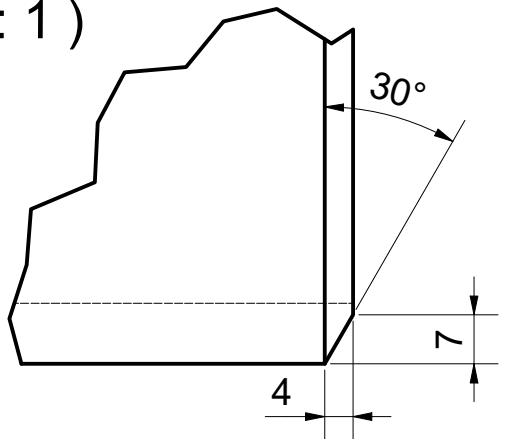
Jacket Pipe No.: 1.1 (1:10)



X-X (1:10)



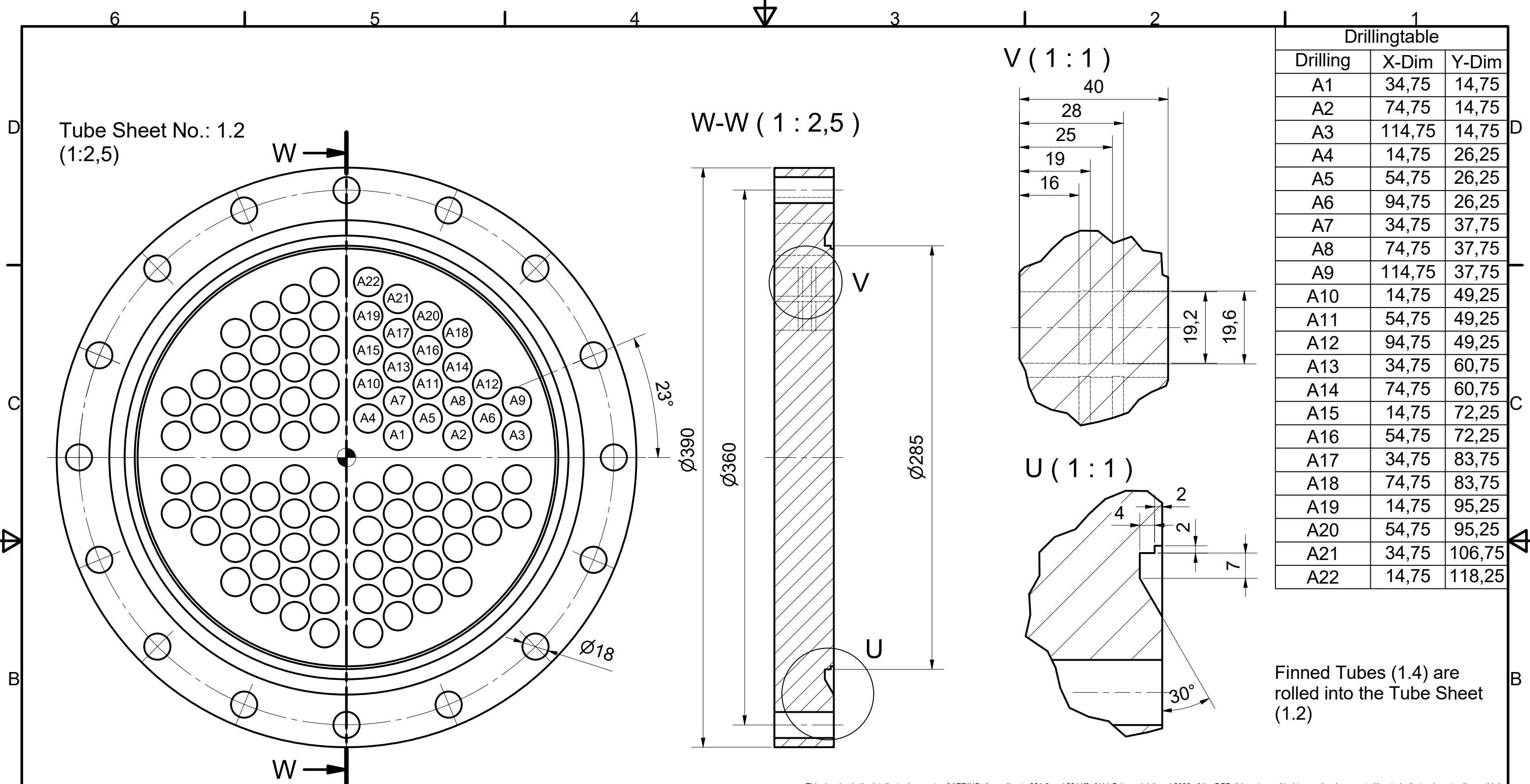
Y (1:1)



Partlist Tube Bundle		
Object	Number	Partnumber
1.1	1	Jacket Pipe
1.2	2	Tube Sheet
1.3	2	Support Sheet
1.4	88	Finned Tube
1.5	2	Flange DN40 AWP-FL F
1.6	4	Elbow DN40 DIN EN 10253-2
1.7	3	T-Piece DN40 DIN EN 10253-2
1.8	4	Pipe DN40 EN 10216-5 TC 1
1.9	2	Sleeve 3/4"
1.10	2	Sleeve 1/2"
1.11	1	Saddle Sleeve 1/2"
1.12	2	Transition Nipple 4243G
1.13	3	Pipe
1.14	2	Elbow

This drawing is the intellectual property of AERIUS. According to §§1,2 and §§11ff of UrhG (copyright) and §823 of the BGB, it is not permitted to use the document either to invite tenders, to allow a third party to look at them, or to communicate in any way as regards content without AERIUS's approval.

<small>Copying of this document, and giving it to others and the using or communication of the contents there of, are forbidden without express authority. Offenders are liable to the payment of damages. All rights are reserved in the event of grant of a patent or the registration of a utility model or design. Weitergabe sowie Vervielfältigen dieser Unterlagen, Verwertung und Mitteilung ihres Inhaltes sind nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmuster- Eintragung vorbehalten.</small>		0	15.12.2020	MSR	STE	First Issue
INDEX	DATE	DRAWN	CHECKED	TYPE OF MODIFICATION		
D:\Bachelorarbeit\FZ8630-1000-001.idw						
	NAME	DATE	TITLE Refrigerant Condenser			
DRAWN	MSR	15.12.2020				
CHECKED	STE	16.02.2021				
A3	 GENERAL TOLERANCE ISO 2768m	FZ8630-1000-001	8630-1000-001	0	2	13
SIZE		FILE	DRAWING NO.	INDEX	SHEET	OF SHEET



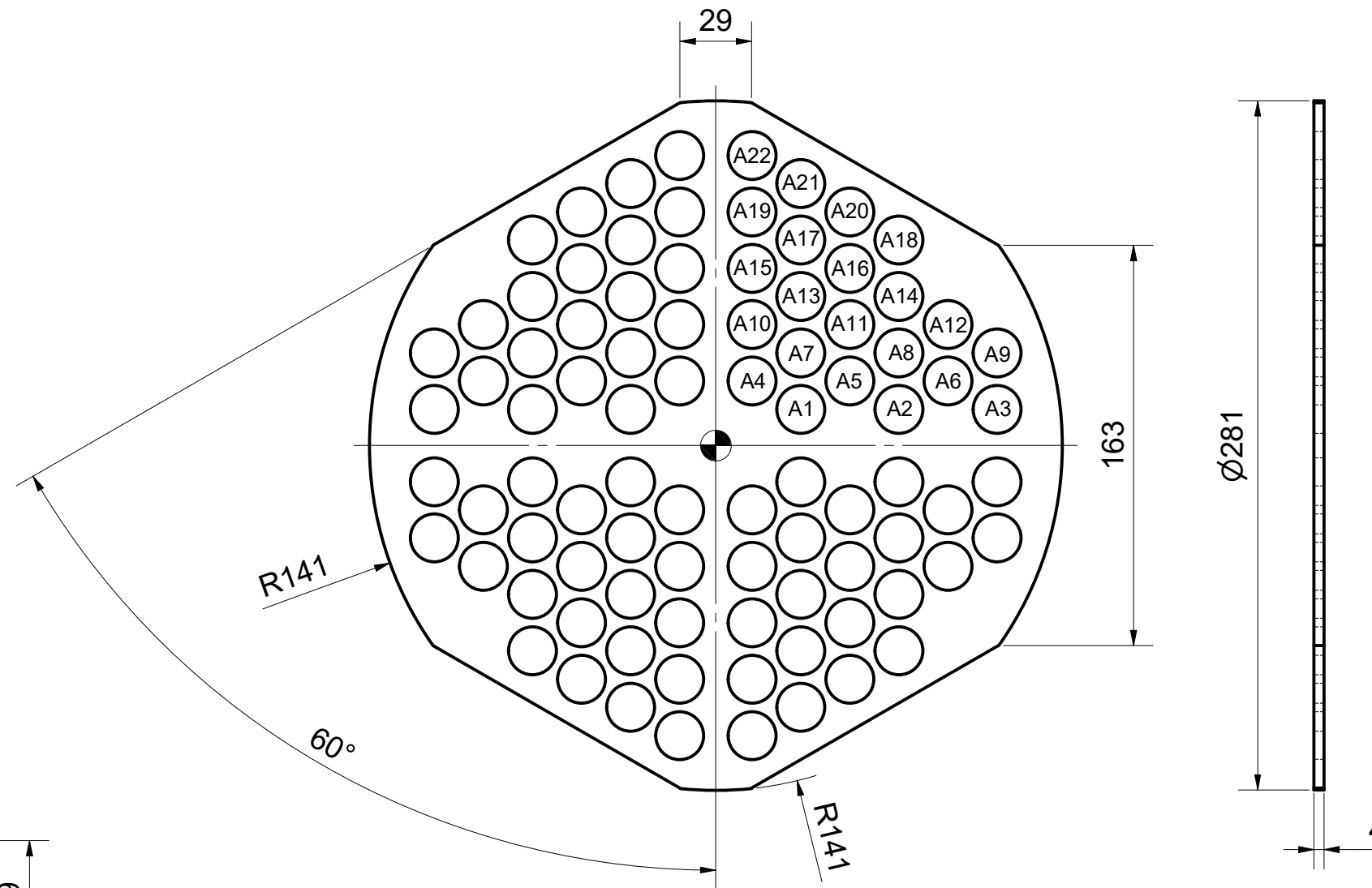
Drillingtable		
Drilling	X-Dim	Y-Dim
A1	34,75	14,75
A2	74,75	14,75
A3	114,75	14,75
A4	14,75	26,25
A5	54,75	26,25
A6	94,75	26,25
A7	34,75	37,75
A8	74,75	37,75
A9	114,75	37,75
A10	14,75	49,25
A11	54,75	49,25
A12	94,75	49,25
A13	34,75	60,75
A14	74,75	60,75
A15	14,75	72,25
A16	54,75	72,25
A17	34,75	83,75
A18	74,75	83,75
A19	14,75	95,25
A20	54,75	95,25
A21	34,75	106,75
A22	14,75	118,25

Finned Tubes (1.4) are rolled into the Tube Sheet (1.2)

This drawing is the intellectual property of AERIUS. According to §§1,2 and §§11ff of UrhG (copyright) and §823 of the BGB, it is not permitted to use the document either to invite tenders, to allow a third party to look at them, or to communicate in any way as regards content without AERIUS's approval.

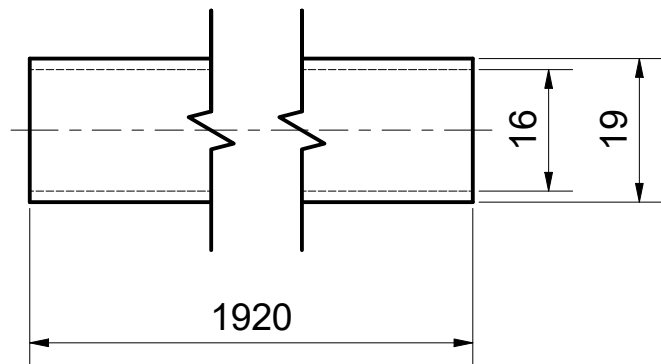
<small>Copying of this document, and giving it to others and the using or communication of the contents there of, are forbidden without express authority. Offenders are liable to the payment of damages. All rights are reserved in the event of grant of a patent or the registration of a utility model or design. Weitergabe sowie Vervielfältigen dieser Unterlagen, Verwertung und Mitteilung ihres Inhaltes sind nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmuster- Eintragung vorbehalten.</small>		0	15.12.2020	MSR	STE	First Issue
INDEX	DATE	DRAWN	CHECKED	TYPE OF MODIFICATION		
D:\Bachelorarbeit\FZ8630-1000-001.idw						
	NAME	DATE	TITLE Refrigerant Condenser			
DRAWN	MSR	15.12.2020				
CHECKED	STE	16.02.2021				
A3	 GENERAL TOLERANCE ISO 2768m	FZ8630-1000-001	8630-1000-001	0	3	13
SIZE		FILE	DRAWING NO.	INDEX	SHEET	OF SHEET

Support Sheet No.: 1.3
(1:2,5)



Drillingtable		
Drilling	X-Dim	Y-Dim
A1	34,75	14,75
A2	74,75	14,75
A3	114,75	14,75
A4	14,75	26,25
A5	54,75	26,25
A6	94,75	26,25
A7	34,75	37,75
A8	74,75	37,75
A9	114,75	37,75
A10	14,75	49,25
A11	54,75	49,25
A12	94,75	49,25
A13	34,75	60,75
A14	74,75	60,75
A15	14,75	72,25
A16	54,75	72,25
A17	34,75	83,75
A18	74,75	83,75
A19	14,75	95,25
A20	54,75	95,25
A21	34,75	106,75
A22	14,75	118,25

Finned Tube No.: 1.4
(1:1)

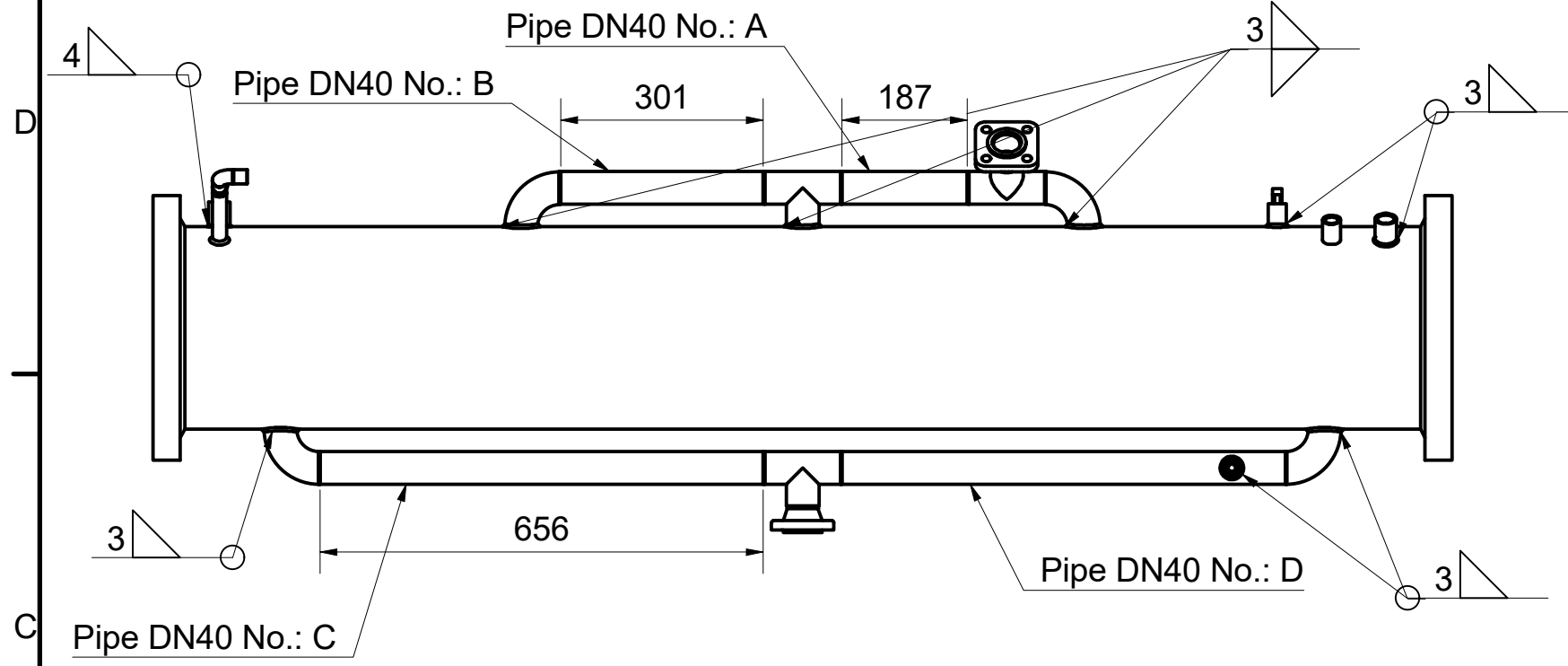


More Informations in the manufacturer's drawing Drw.-No.: 837.00885. Because of the roll in the length of the Finned Tubes (1.4) has to be 5 mm longer than the total length of the Jacket Pipe (1.1) with the Tube Sheets (1.2).

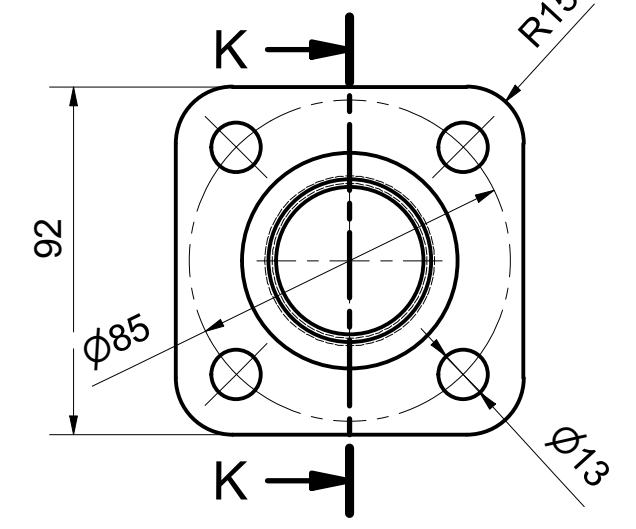
This drawing is the intellectual property of AERIUS. According to §§1,2 and §§11ff of UrhG (copyright) and §823 of the BGB, it is not permitted to use the document either to invite tenders, to allow a third party to look at them, or to communicate in any way as regards content without AERIUS's approval.

<small>Copying of this document, and giving it to others and the using or communication of the contents there of, are forbidden without express authority. Offenders are liable to the payment of damages. All rights are reserved in the event of grant of a patent or the registration of a utility model or design. Weitergabe sowie Vervielfältigen dieser Unterlagen, Verwertung und Mitteilung ihres Inhaltes sind nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmuster-Eintragung vorbehalten.</small>		0	15.12.2020	MSR	STE	First Issue
INDEX	DATE	DRAWN	CHECKED	TYPE OF MODIFICATION		
D:\Bachelorarbeit\FZ8630-1000-001.idw						
	NAME	DATE	TITLE Refrigerant Condenser			
DRAWN	MSR	15.12.2020				
CHECKED	STE	16.02.2021				
A3	 GENERAL TOLERANCE ISO 2768m	FZ8630-1000-001		8630-1000-001		0
SIZE		FILE	DRAWING NO.		INDEX	SHEET OF SHEET
						4
						13

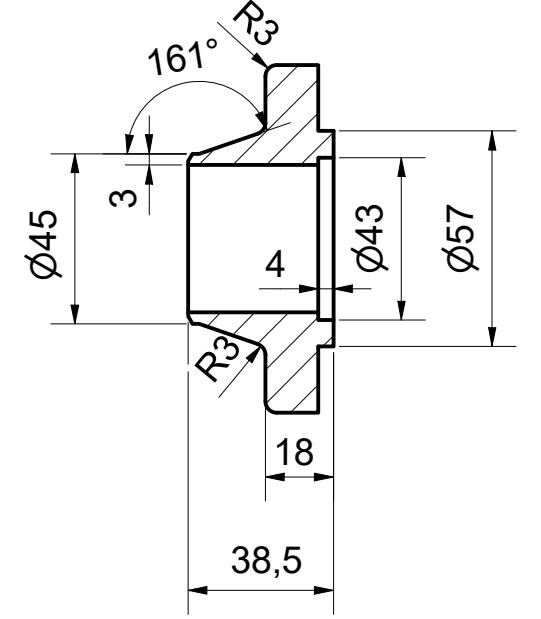
Tube Bundle No.: 1



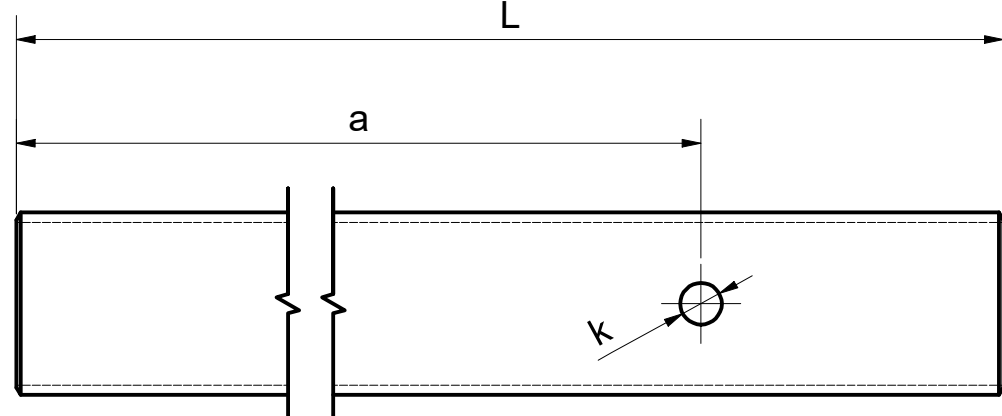
Flange DN40 AWP-FL F
No.: 1.5



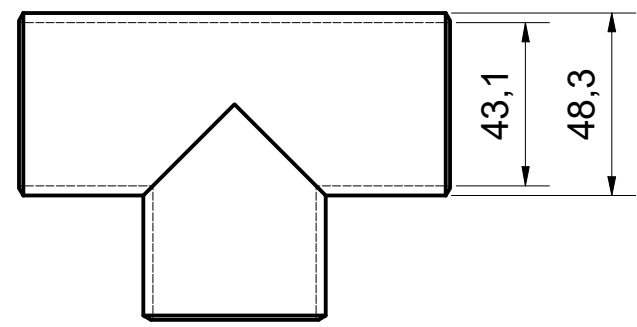
K-K (1:2)



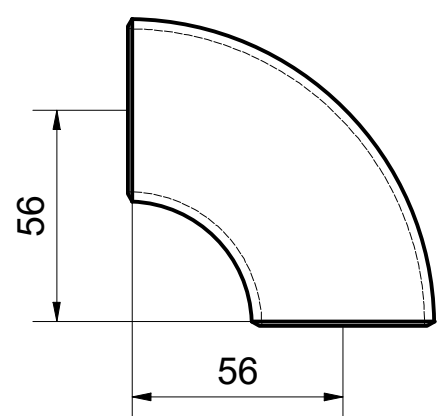
Pipe DN40 EN 10216-5 TC 1
No.: 1.8 (1:2)



T-Piece DN40 DIN EN 10253-2
No.: 1.7 (1:2)



Elbow DN40 DIN EN 10253-2
No.: 1.6 (1:2)



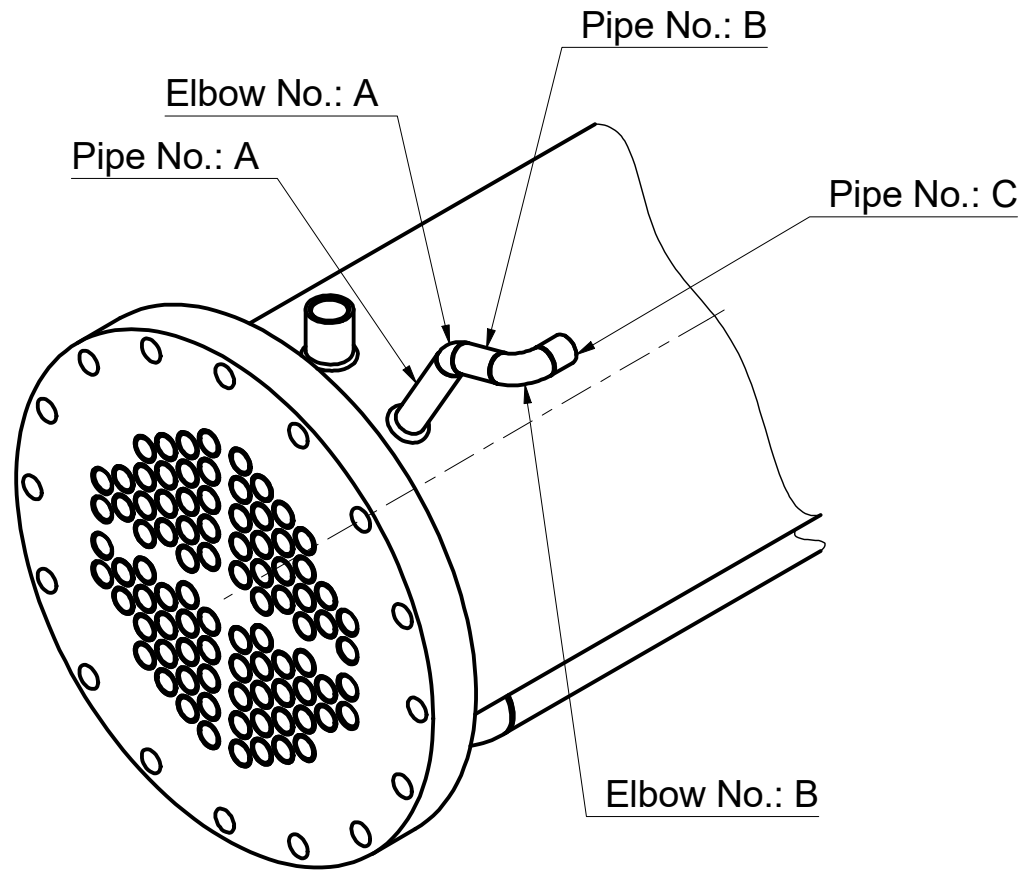
The Pipes (1.8) has to be welded together with the T-Piece (1.7) and the Elbows (1.6) after manufacturers standards.

Pipe No.	L [mm]	a [mm]	k [mm]
A	187	-	-
B	301	-	-
C	656	-	-
D	656	576	11

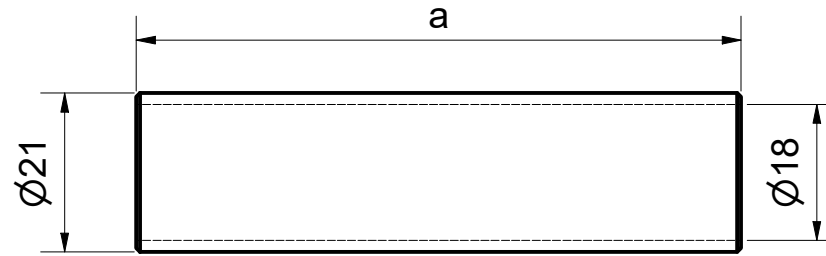
This drawing is the intellectual property of AERIUS. According to §§1,2 and §§11ff of UrhG (copyright) and §823 of the BGB, it is not permitted to use the document either to invite tenders, to allow a third party to look at them, or to communicate in any way as regards content without AERIUS's approval.

<small>Copying of this document, and giving it to others and the using or communication of the contents there of, are forbidden without express authority. Offenders are liable to the payment of damages. All rights are reserved in the event of grant of a patent or the registration of a utility model or design. Weitergabe sowie Vervielfältigen dieser Unterlagen, Verwertung und Mitteilung ihres Inhaltes sind nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmuster-Eintragung vorbehalten.</small>		0	15.12.2020	MSR	STE	First Issue
INDEX	DATE	DRAWN	CHECKED	TYPE OF MODIFICATION		
D:\Bachelorarbeit\FZ8630-1000-001.idw						
NAME		DATE		TITLE		
DRAWN MSR		15.12.2020		Refrigerant Condenser		
CHECKED STE		16.02.2021				
A3	 GENERAL TOLERANCE ISO 2768m	FZ8630-1000-001		8630-1000-001		0
SIZE		FILE	DRAWING NO.		INDEX	SHEET OF SHEET
						5
						13

Tube Bundle No.: 1

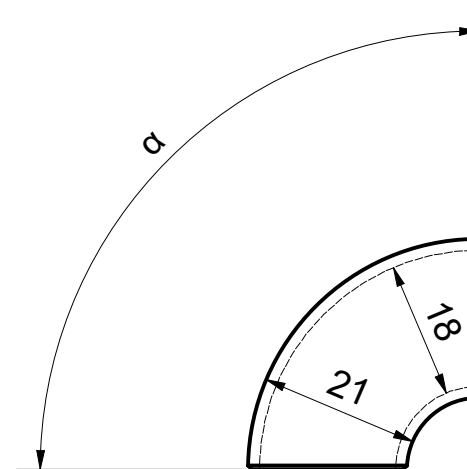


Pipe 18mm No.: 1.13 (1:1)



Pipe No.	a [mm]
A	80
B	36
C	21

Elbow 18mm No.: 1.14 (1:1)



Elbow No.	α [°]
A	45
B	90

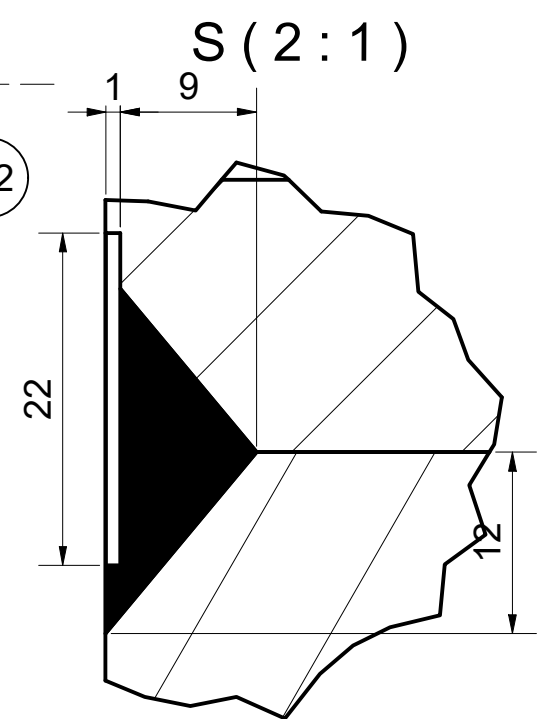
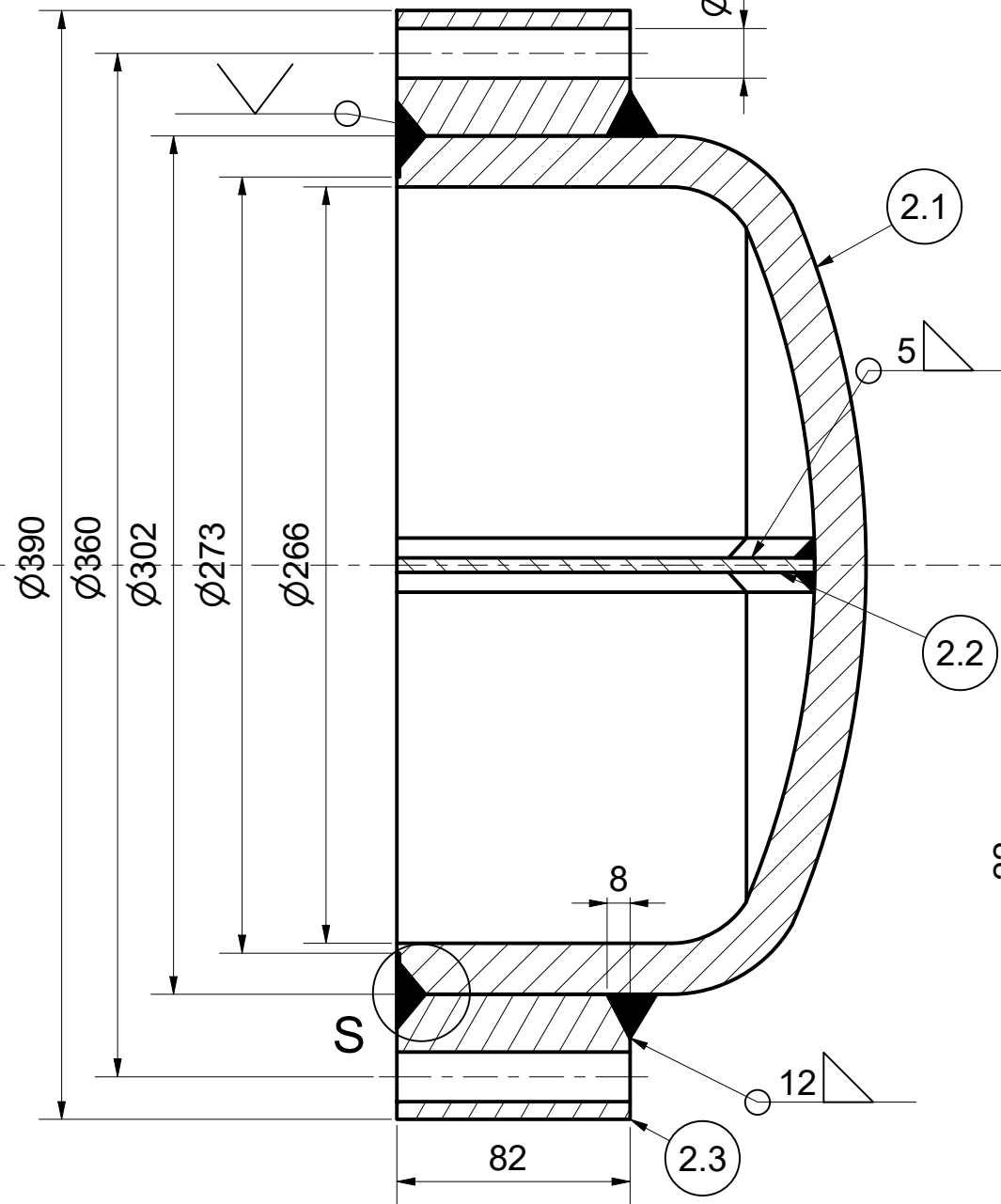
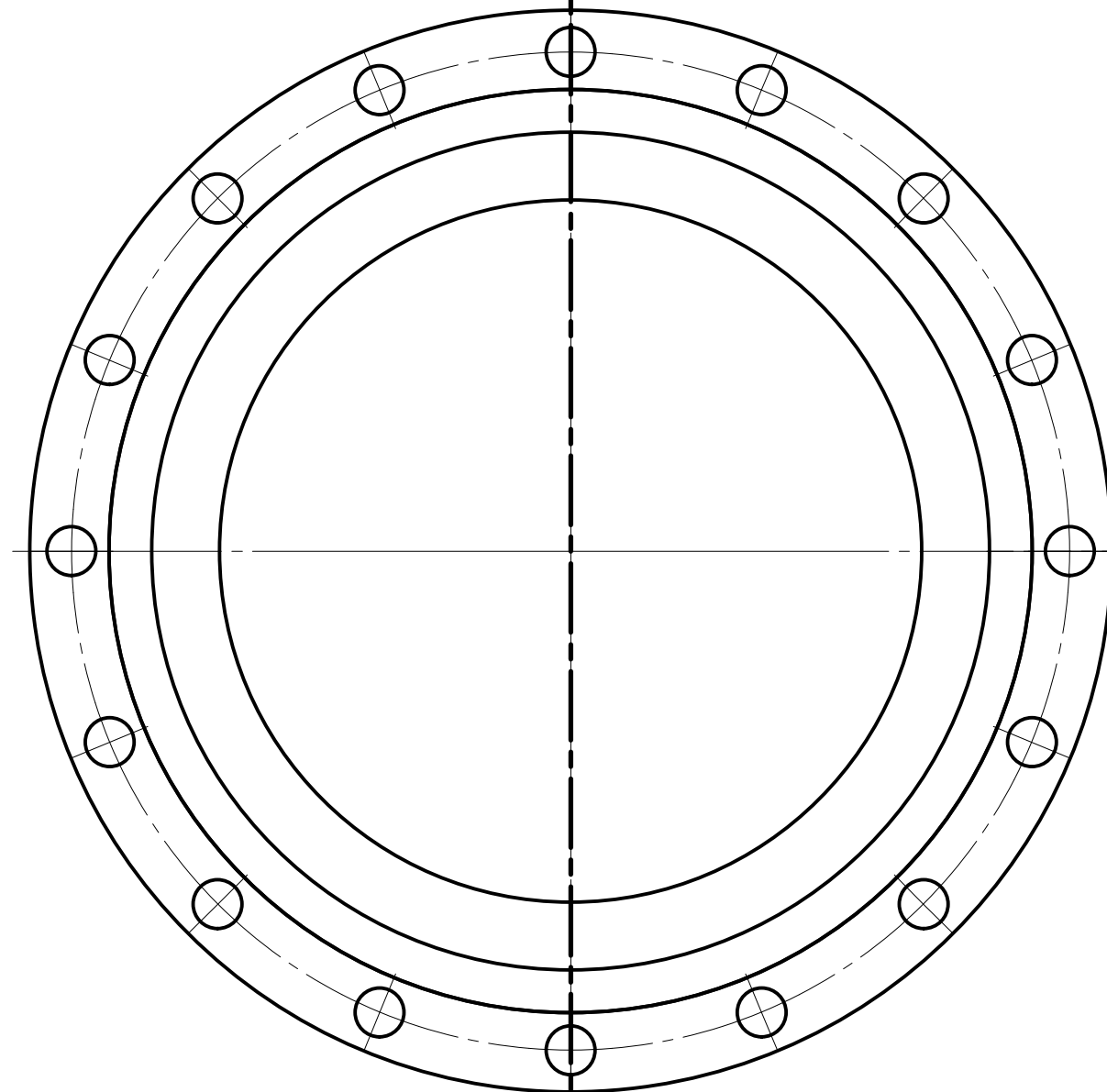
This drawing is the intellectual property of AERIUS. According to §§1,2 and §§11ff of UrhG (copyright) and §823 of the BGB, it is not permitted to use the document either to invite tenders, to allow a third party to look at them, or to communicate in any way as regards content without AERIUS's approval.

<small>Copying of this document, and giving it to others and the using or communication of the contents there of, are forbidden without express authority. Offenders are liable to the payment of damages. All rights are reserved in the event of grant of a patent or the registration of a utility model or design. Weitergabe sowie Vervielfältigen dieser Unterlagen, Verwertung und Mitteilung ihres Inhaltes sind nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmuster-Eintragung vorbehalten.</small>			0	15.12.2020	MSR	STE	First Issue
INDEX	DATE	DRAWN	CHECKED	TYPE OF MODIFICATION			
D:\Bachelorarbeit\FZ8630-1000-001.idw							
	NAME	DATE	TITLE Refrigerant Condenser				
DRAWN	MSR	15.12.2020					
CHECKED	STE	16.02.2021					
A3	 GENERAL TOLERANCE ISO 2768m	FZ8630-1000-001	8630-1000-001	0	6	13	
SIZE		FILE	DRAWING NO.	INDEX	SHEET	OF SHEET	

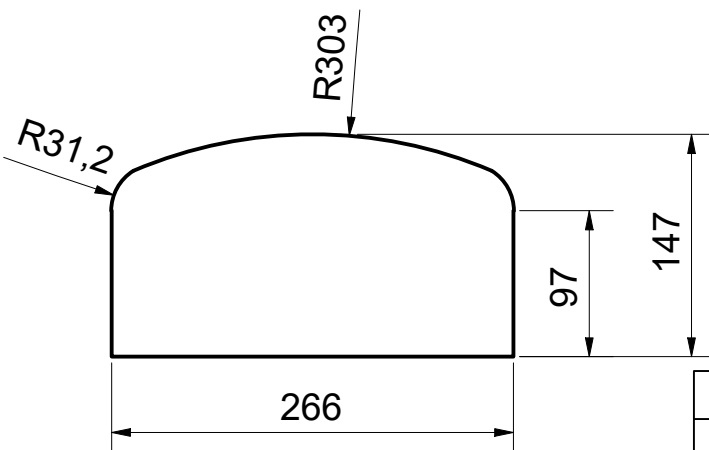
The Pipes (1.13) has to be welded together with the Elbows (1.14) after manufacturers standards.

Reversing Cover No.: 2

T-T (1 : 2,5)



Separator R. Cover No.: 2.2 (1:5)



Partlist Reversing Cover No.: 4

Object	Number	Partnumber
2.1	1	Reversing Sheet
2.2	1	Separator R. Cover
2.3	1	Flange Pipe

This drawing is the intellectual property of AERIUS. According to §§1,2 and §§11ff of UrhG (copyright) and §823 of the BGB, it is not permitted to use the document either to invite tenders, to allow a third party to look at them, or to communicate in any way as regards content without AERIUS's approval.

		0	15.12.2020	MSR	STE	First Issue
<small>Copying of this document, and giving it to others and the using or communication of the contents there of, are forbidden without express authority. Offenders are liable to the payment of damages. All rights are reserved in the event of grant of a patent or the registration of a utility model or design. Weitergabe sowie Vervielfältigen dieser Unterlagen, Verwertung und Mitteilung ihres Inhaltes sind nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmuster-Eintragung vorbehalten.</small>		INDEX	DATE	DRAWN	CHECKED	TYPE OF MODIFICATION
D:\Bachelorarbeit\FZ8630-1000-001.idw						
		TITLE Refrigerant Condenser				
DRAWN MSR 15.12.2020		CHECKED STE 16.02.2021				
A3	 GENERAL TOLERANCE ISO 2768m	FZ8630-1000-001		8630-1000-001		0 7 13
SIZE		FILE	DRAWING NO.		INDEX	SHEET OF SHEET

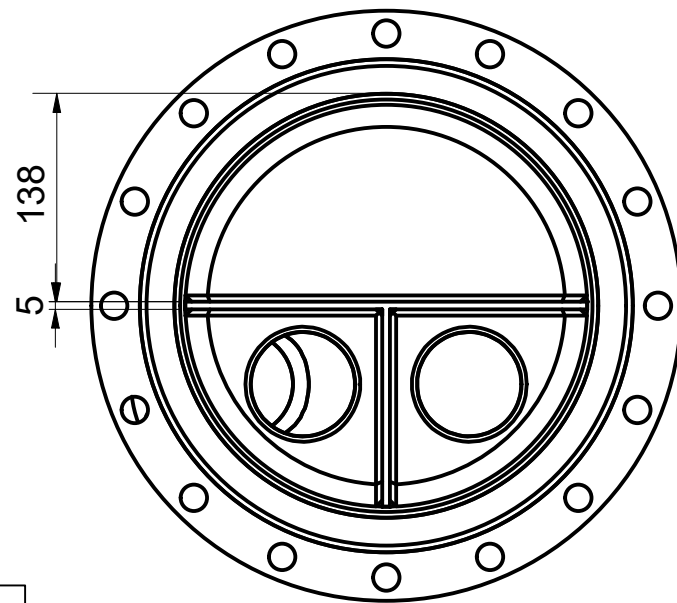
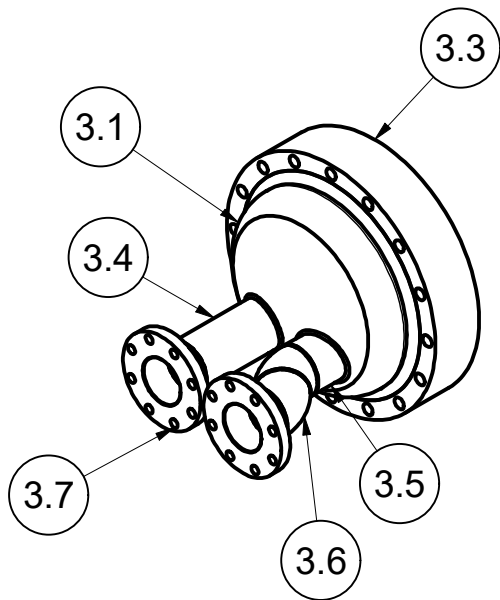
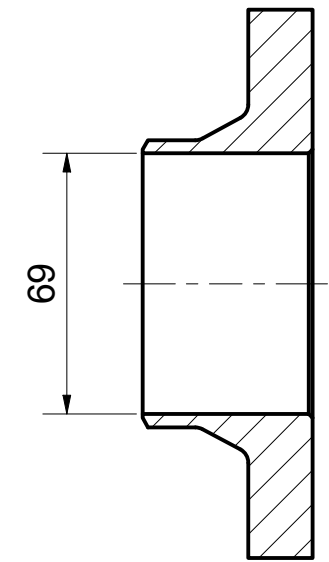
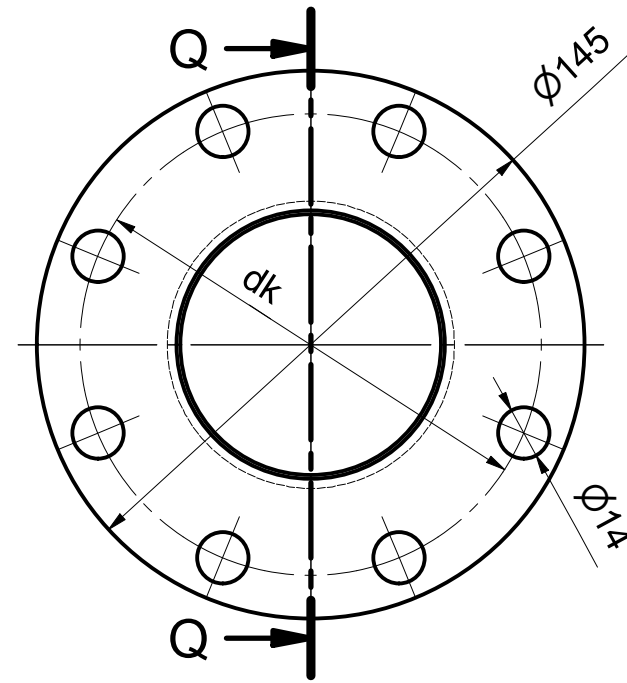
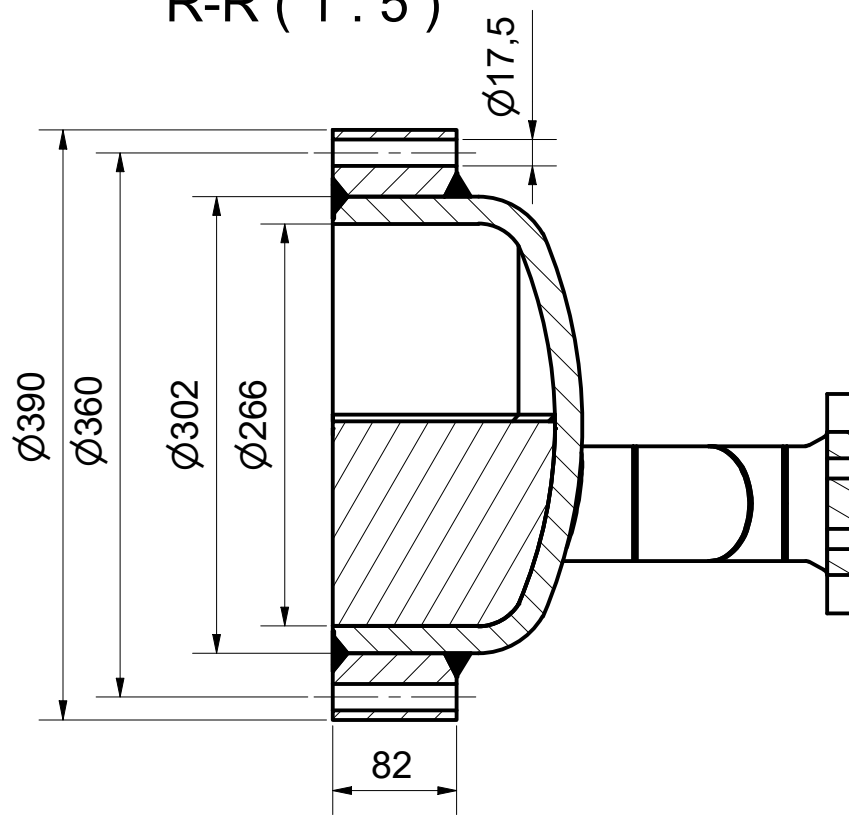
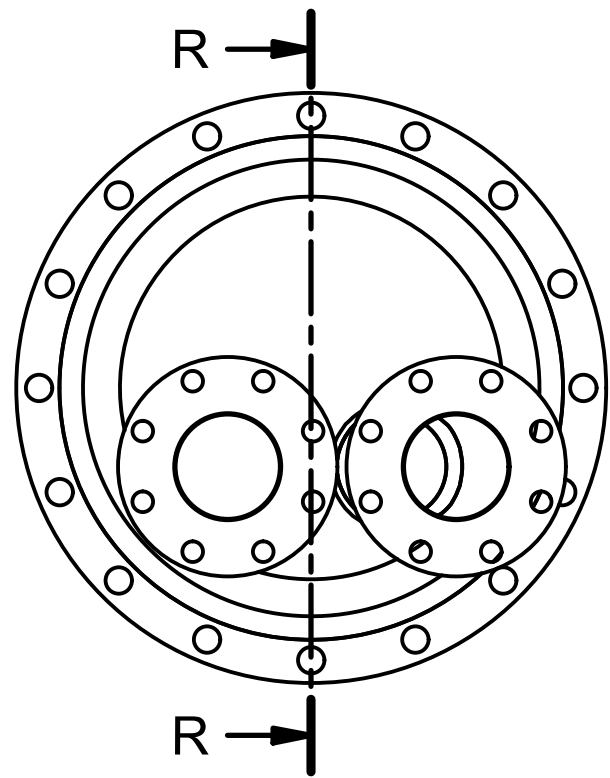
Torospherical Cover No.: 3

Flange DN70 T.
Cover No.: 3.5
(1:2)

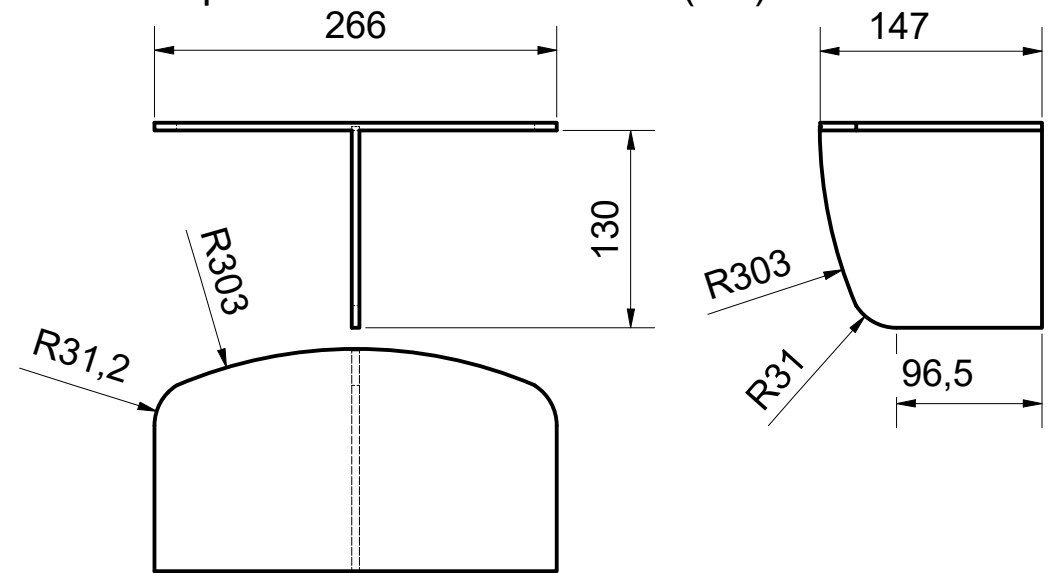
Restricted Standard

Q-Q (1 : 2)

R-R (1 : 5)



Separator T. Cover No.: 3.2 (1:5)



This drawing is the intellectual property of AERIUS. According to §§1,2 and §§11ff of UrhG (copyright) and §823 of the BGB, it is not permitted to use the document either to invite tenders, to allow a third party to look at them, or to communicate in any way as regards content without AERIUS's approval.

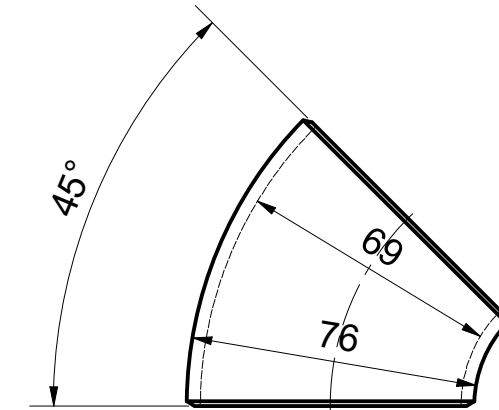
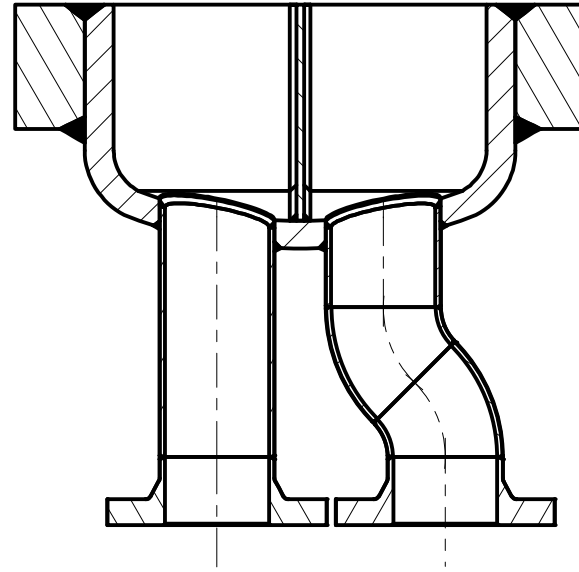
Partlist Terospherica Cover No.:3		
Object	Number	Partnumber
3.1	1	Torospherical Sheet
3.2	1	Separator T. Cover
3.3	1	Flange Pipe
3.4	1	Nozzle Left DN70
3.5	1	Nozzle Right DN70
3.6	2	Elbow 45° DN70
3.7	2	Flange DN70 T. Cover

<small>Copying of this document, and giving it to others and the using or communication of the contents there of, are forbidden without express authority. Offenders are liable to the payment of damages. All rights are reserved in the event of grant of a patent or the registration of a utility model or design. Weitergabe sowie Vervielfältigen dieser Unterlagen, Verwertung und Mitteilung ihres Inhaltes sind nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmuster- Eintragung vorbehalten.</small>		0	15.12.2020	MSR	STE	First Issue
	INDEX	DATE	DRAWN	CHECKED	TYPE OF MODIFICATION	
D:\Bachelorarbeit\FZ8630-1000-001.idw						
	NAME	DATE	TITLE Refrigerant Condenser			
DRAWN	MSR	15.12.2020				
CHECKED	STE	16.02.2021				
A3	 GENERAL TOLERANCE ISO 2768m	FZ8630-1000-001	8630-1000-001	0	8	13
SIZE		FILE	DRAWING NO.	INDEX	SHEET	OF SHEET

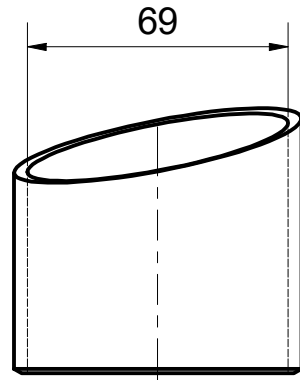
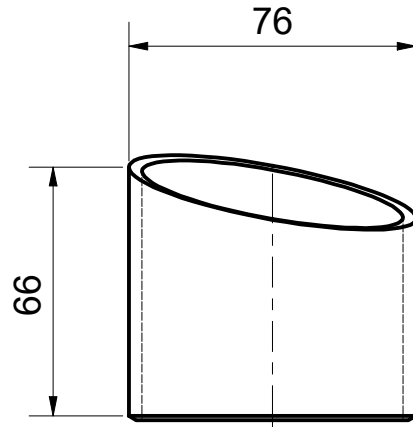
Torospherical Cover No.: 3

This flange ring is welded like the flange ring from the Reversing Cover (2) as seen on sheet 6.
The groove for the sealing is placed identically like the groove of the Reversing Cover (2) as seen on sheet 7.

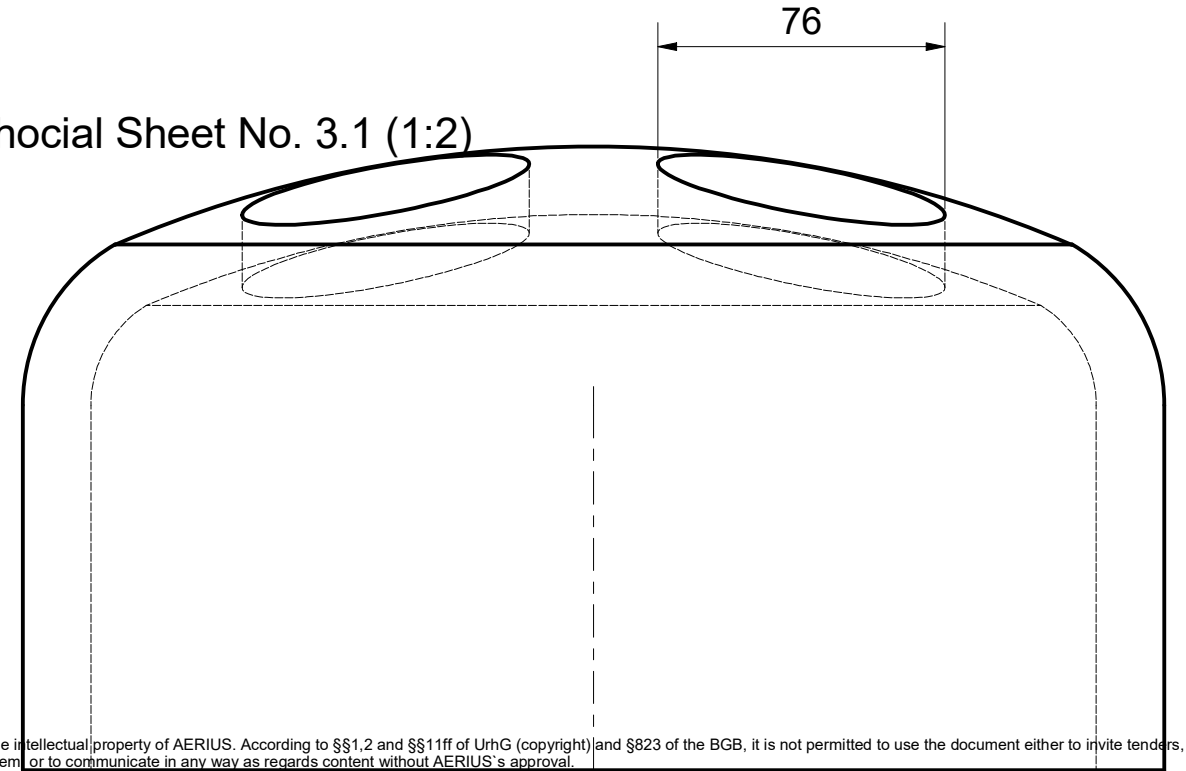
Elbow 45° DN70 No.: 3.6 (1:2)



Nozzle Right DN70 No.: 3.4 (1:2)

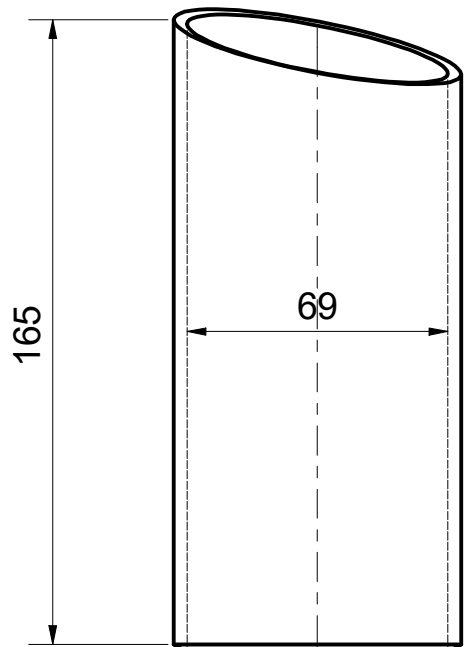
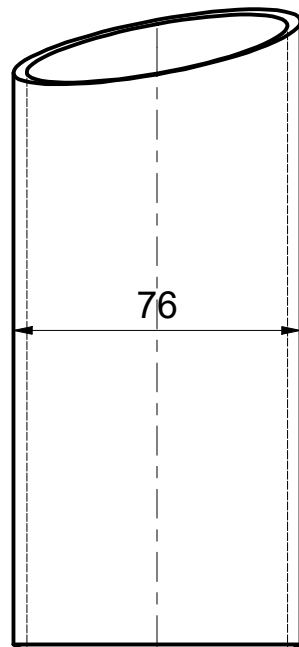


Torospherical Sheet No. 3.1 (1:2)



Outcuts on the top of the Nozzles (3.4) and (3.5) like the inside of the Torospherical Sheet (3.1)

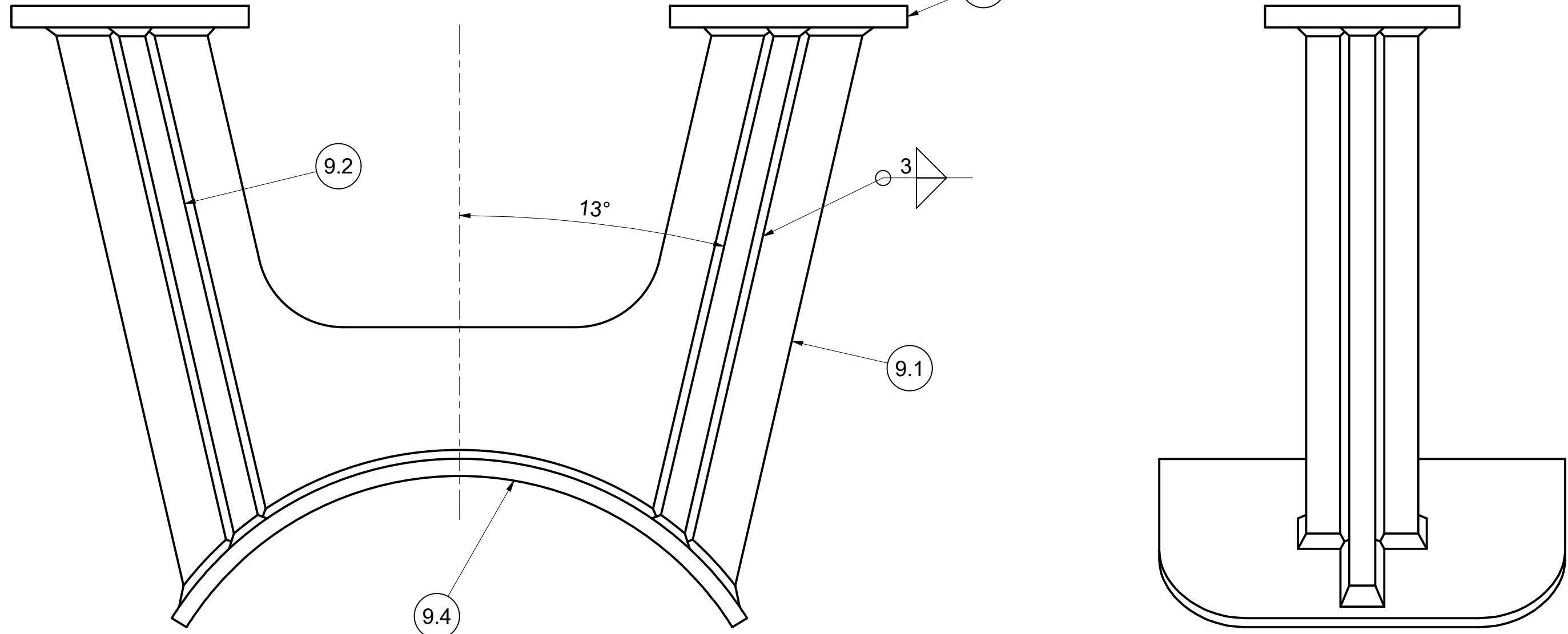
Nozzle Left DN70 No.: 3.5 (1:2)



This drawing is the intellectual property of AERIUS. According to §§1,2 and §§11ff of UrhG (copyright) and §823 of the BGB, it is not permitted to use the document either to invite tenders, to allow a third party to look at them or to communicate in any way as regards content without AERIUS's approval.

<small>Copying of this document, and giving it to others and the using or communication of the contents there of, are forbidden without express authority. Offenders are liable to the payment of damages. All rights are reserved in the event of grant of a patent or the registration of a utility model or design. Weitergabe sowie Vervielfältigen dieser Unterlagen, Verwertung und Mitteilung ihres Inhaltes sind nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmuster-Eintragung vorbehalten.</small>		0	15.12.2020	MSR	STE	First Issue	
		INDEX	DATE	DRAWN	CHECKED	TYPE OF MODIFICATION	
		D:\Bachelorarbeit\FZ8630-1000-001.idw					
	NAME	DATE	TITLE Refrigerant Condenser				
DRAWN	MSR	15.12.2020					
CHECKED	STE	16.02.2021					
A3		GENERAL TOLERANCE ISO 2768m	FZ8630-1000-001	8630-1000-001	0	9	13
SIZE			FILE	DRAWING NO.	INDEX	SHEET	OF SHEET

Holder No.: 9 (1:2)



This drawing is the intellectual property of AERIUS. According to §§1,2 and §§11ff of UrhG (copyright) and §823 of the BGB, it is not permitted to use the document either to invite tenders, to allow a third party to look at them, or to communicate in any way as regards content without AERIUS's approval.

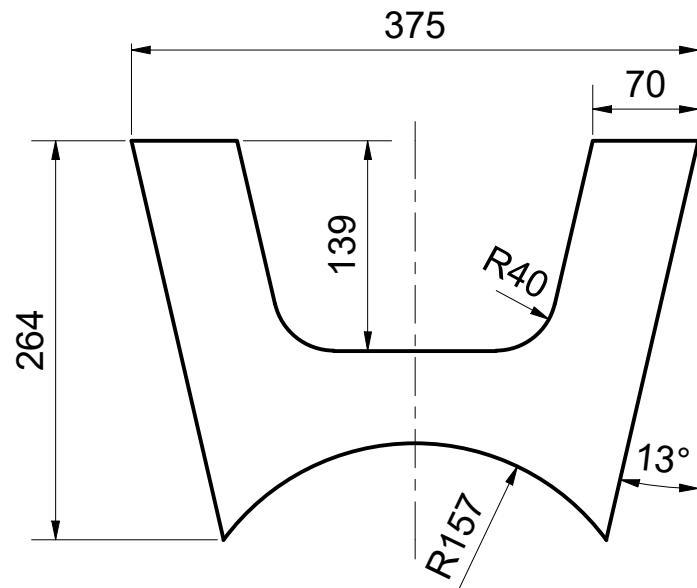
<small>Copying of this document, and giving it to others and the using or communication of the contents there of, are forbidden without express authority. Offenders are liable to the payment of damages. All rights are reserved in the event of grant of a patent or the registration of a utility model or design. Weitergabe sowie Vervielfältigen dieser Unterlagen, Verwertung und Mitteilung ihres Inhaltes sind nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmuster-Eintragung vorbehalten.</small>			0	15.12.2020	MSR	STE	First Issue
INDEX	DATE	DRAWN	CHECKED	TYPE OF MODIFICATION			
D:\Bachelorarbeit\FZ8630-1000-001.idw							
	NAME	DATE	TITLE Refrigerant Condenser				
DRAWN	MSR	15.12.2020					
CHECKED	STE	16.02.2021					
A3	 GENERAL TOLERANCE ISO 2768m	FZ8630-1000-001	8630-1000-001	0	10	13	
SIZE		FILE	DRAWING NO.	INDEX	SHEET	OF SHEET	

Partlist Holder No.:9

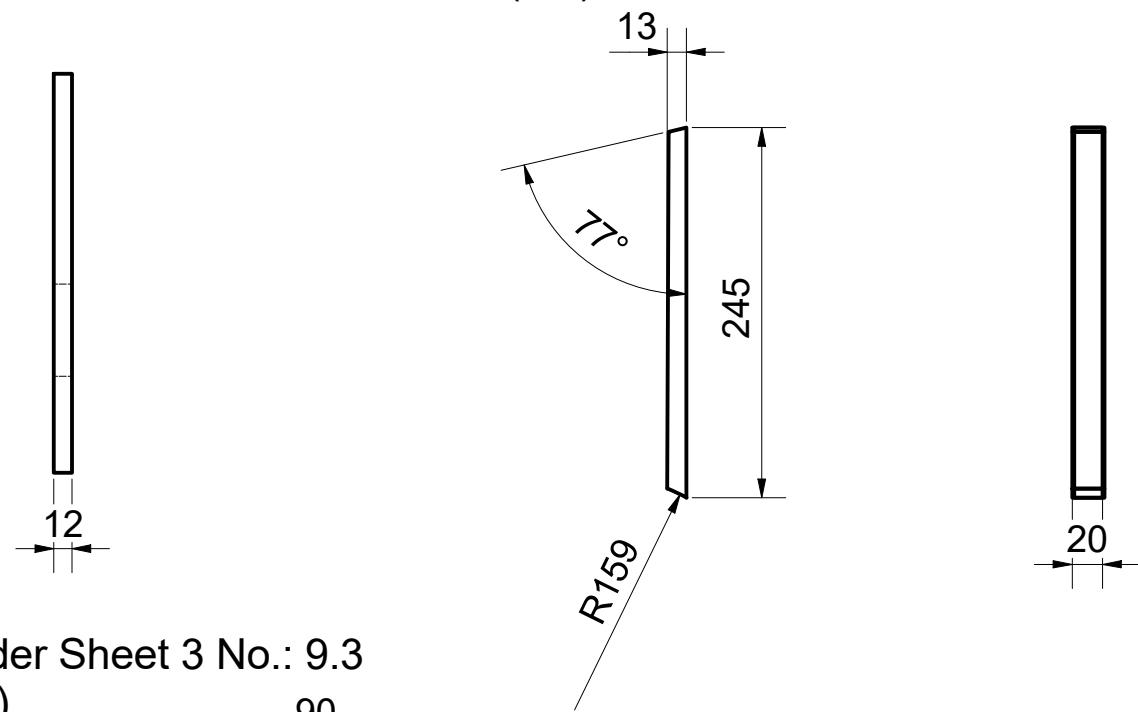
Object	Number	Partnumber
9.1	1	Holder-Sheet 1
9.2	4	Holder-Sheet 2
9.3	2	Holder-Sheet 3
9.4	1	Holder-Sheet 4

Holder No.: 9

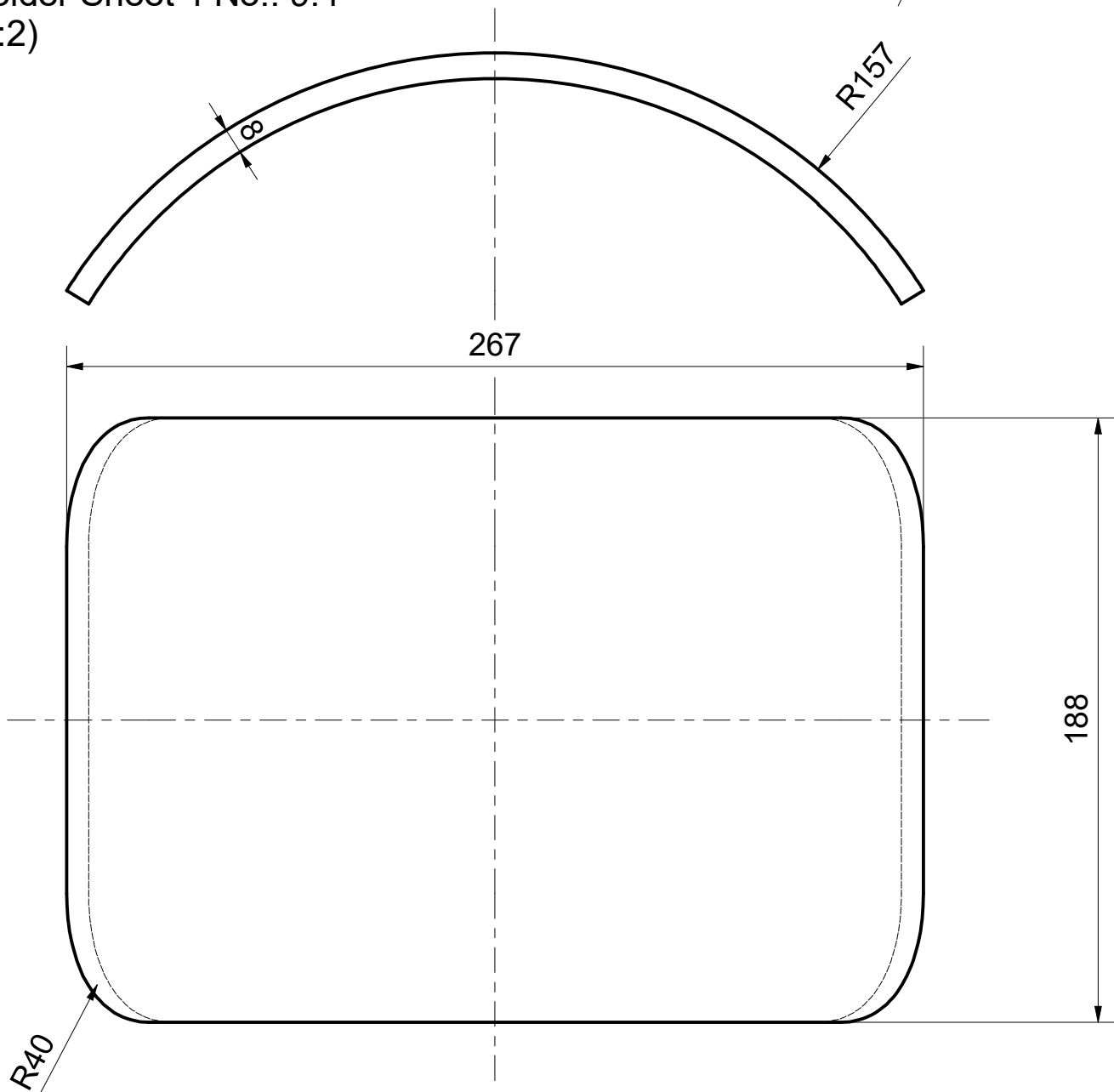
Holder Sheet 1 No.: 9.1
(1:5)



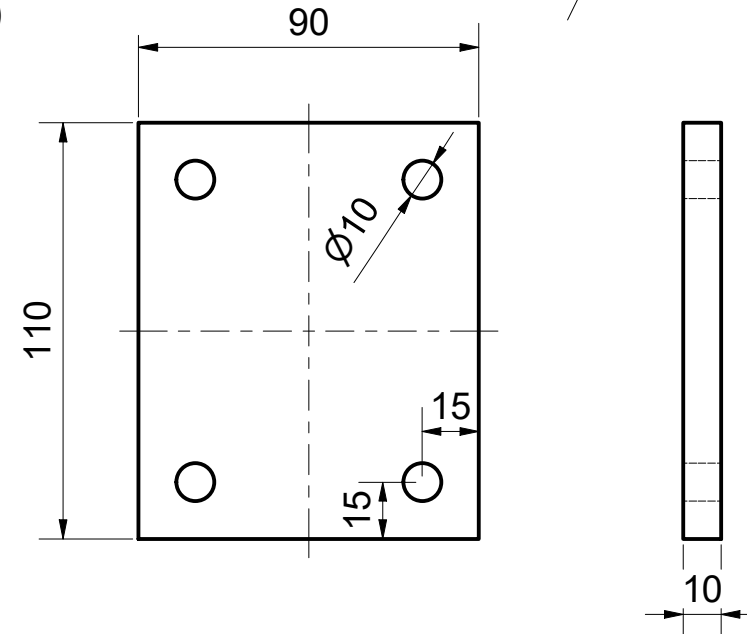
Holder Sheet 2 No.: 9.2
(1:5)




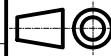
Holder Sheet 4 No.: 9.4
(1:2)



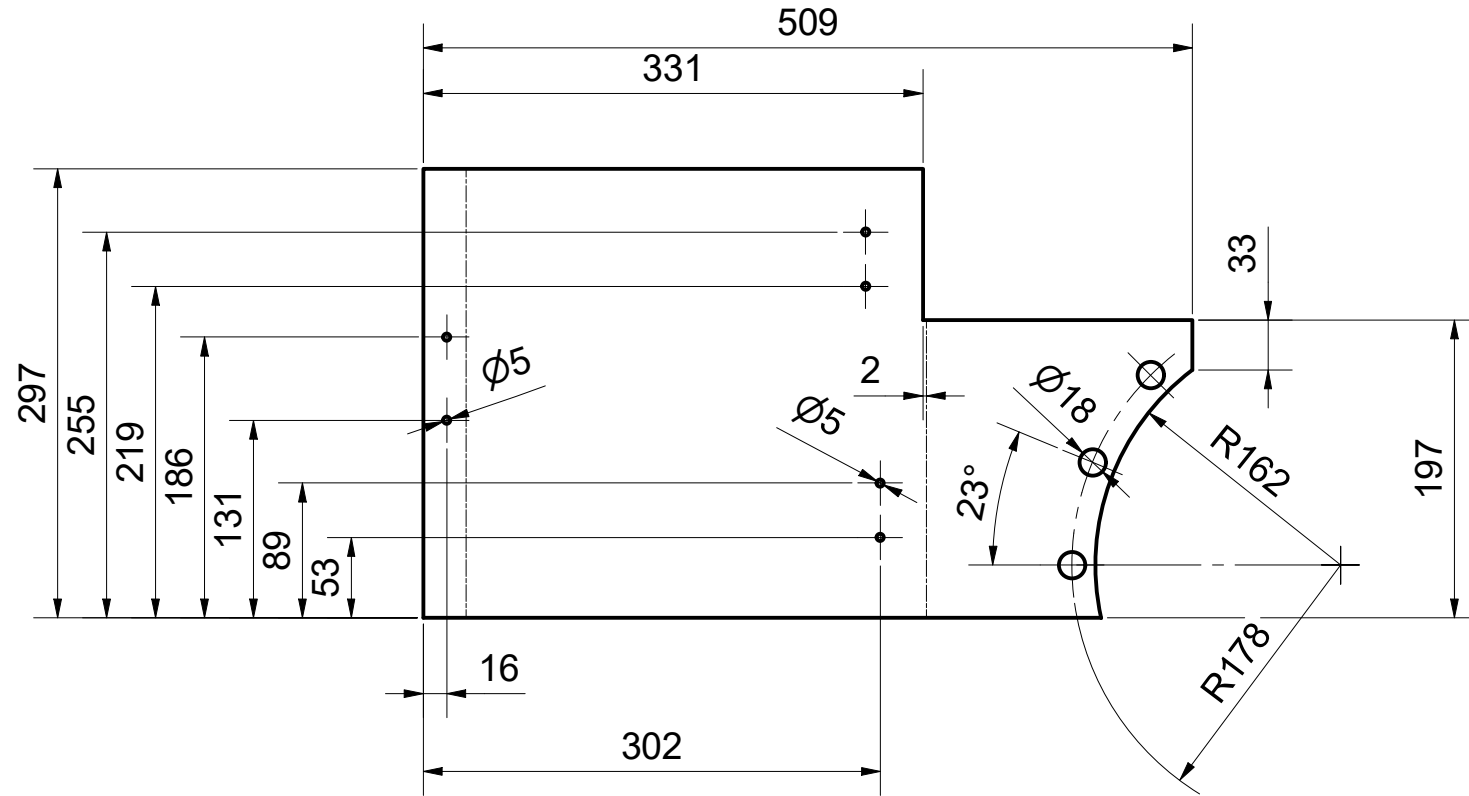
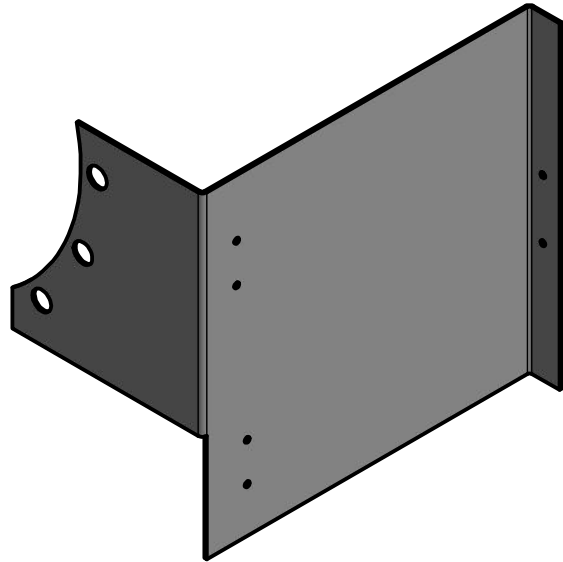
Holder Sheet 3 No.: 9.3
(1:5)



This drawing is the intellectual property of AERIUS. According to §§1,2 and §§11ff of UrhG (copyright) and §823 of the BGB, it is not permitted to use the document either to invite tenders, to allow a third party to look at them, or to communicate in any way as regards content without AERIUS's approval.

 <p>AERIUS Marine HVAC since 1858</p>						
<small>Copying of this document, and giving it to others and the using or communication of the contents there of, are forbidden without express authority. Offenders are liable to the payment of damages. All rights are reserved in the event of grant of a patent or the registration of a utility model or design. Weitergabe sowie Vervielfältigen dieser Unterlagen, Verwertung und Mitteilung ihres Inhaltes sind nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmuster-Eintragung vorbehalten.</small>		0	15.12.2020	MSR	STE	First Issue
		INDEX	DATE	DRAWN	CHECKED	TYPE OF MODIFICATION
		D:\Bachelorarbeit\FZ8630-1000-001.idw				
	NAME	DATE	TITLE Refrigerant Condenser			
DRAWN	MSR	15.12.2020				
CHECKED	STE	16.02.2021				
A3	 GENERAL TOLERANCE ISO 2768m	FZ8630-1000-001	8630-1000-001	0	11	13
SIZE		FILE	DRAWING NO.	INDEX	SHEET	OF SHEET

Holder Sight Glas No.: 10
(1:5)

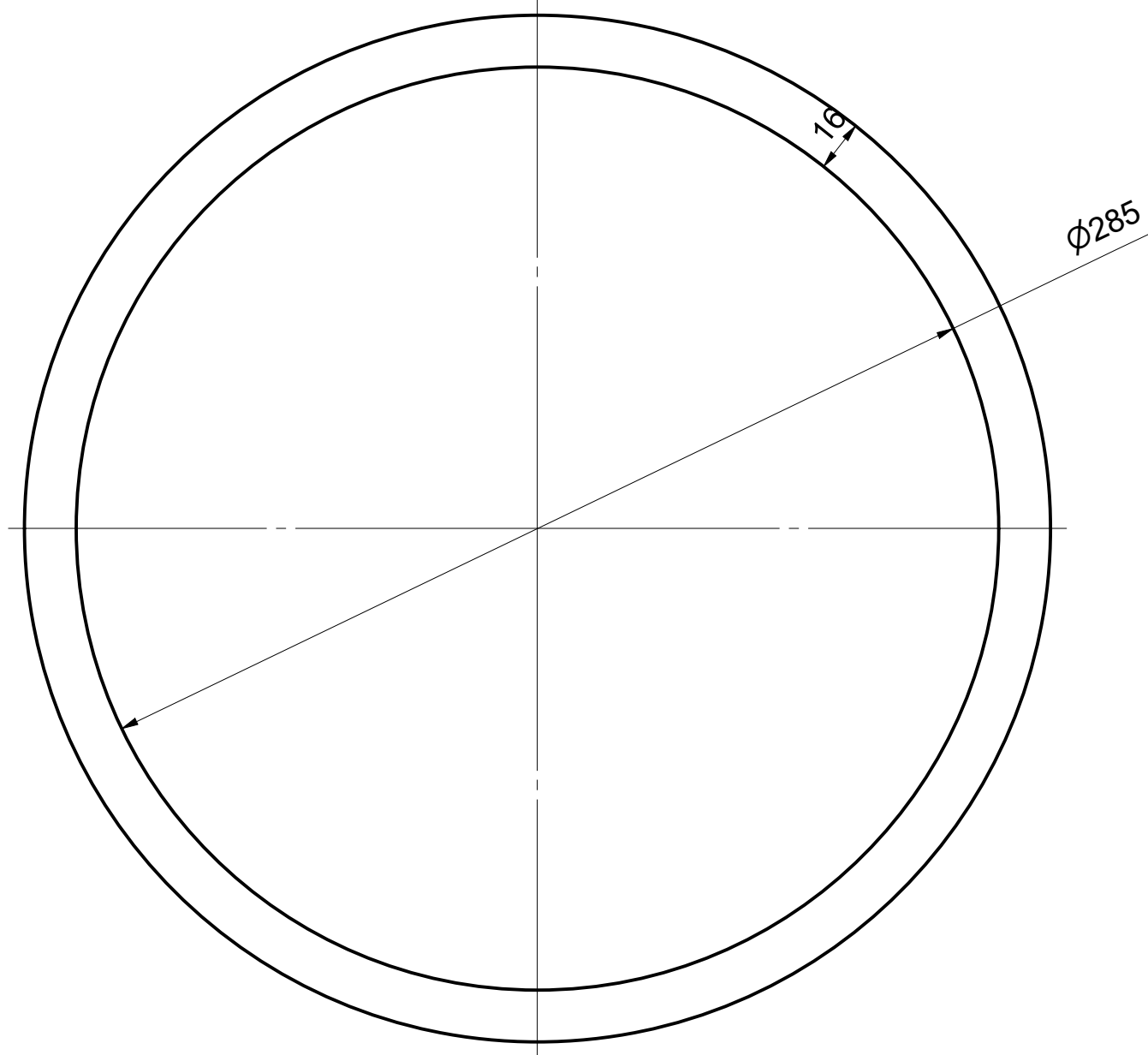


This drawing is the intellectual property of AERIUS. According to §§1,2 and §§11ff of UrhG (copyright) and §823 of the BGB, it is not permitted to use the document either to invite tenders, to allow a third party to look at them, or to communicate in any way as regards content without AERIUS's approval.


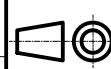
<small>Copying of this document, and giving it to others and the using or communication of the contents thereof, are forbidden without express authority. Offenders are liable to the payment of damages. All rights are reserved in the event of grant of a patent or the registration of a utility model or design. Weitergabe sowie Vervielfältigen dieser Unterlagen, Verwertung und Mitteilung ihres Inhaltes sind nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmuster-Eintragung vorbehalten.</small>			0	15.12.2020	MSR	STE	First Issue
INDEX	DATE	DRAWN	CHECKED	TYPE OF MODIFICATION			
D:\Bachelorarbeit\FZ8630-1000-001.idw							
	NAME	DATE	TITLE Refrigerant Condenser				
DRAWN	MSR	15.12.2020					
CHECKED	STE	16.02.2021					
A3	 GENERAL TOLERANCE ISO 2768m	FZ8630-1000-001	8630-1000-001	0	12	13	
SIZE		FILE	DRAWING NO.	INDEX	SHEET	OF SHEET	

Flange Sealing No.: 11
(1:2)

Material: PTFE



This drawing is the intellectual property of AERIUS. According to §§1,2 and §§11ff of UrhG (copyright) and §823 of the BGB, it is not permitted to use the document either to invite tenders, to allow a third party to look at them, or to communicate in any way as regards content without AERIUS's approval.

							
<small>Copying of this document, and giving it to others and the using or communication of the contents there of, are forbidden without express authority. Offenders are liable to the payment of damages. All rights are reserved in the event of grant of a patent or the registration of a utility model or design. Weitergabe sowie Vervielfältigen dieser Unterlagen, Verwertung und Mitteilung ihres Inhaltes sind nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmuster- Eintragung vorbehalten.</small>			0	15.12.2020	MSR	STE	First Issue
INDEX	DATE	DRAWN	CHECKED	TYPE OF MODIFICATION			
D:\Bachelorarbeit\FZ8630-1000-001.idw							
	NAME	DATE	TITLE Refrigerant Condenser				
DRAWN	MSR	15.12.2020					
CHECKED	STE	16.02.2021					
A3	 GENERAL TOLERANCE ISO 2768m	FZ8630-1000-001	8630-1000-001	0	13	13	
SIZE		FILE	DRAWING NO.	INDEX	SHEET	OF SHEET	

Versicherung über Selbstständigkeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Hamburg, den

