

Diplomarbeit

Ausleihexemplar

Name:

Michaelis

Vorname:

Felix

Studiengang:

Maschinenbau

vorgelegt am:

13.01.2012

Erstprüfer:

Frau Prof. Dr.-Ing. Heike Frischgesell

Zweitprüfer:

Herr Dipl.-Ing. Niels Eiben

Thema:

Auslegung eines wärmegeführten Biomethan-BHKW



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

*Hamburg University of Applied Sciences
Fachbereich Maschinenbau und Produktion*

Aufgabenstellung

für die Diplomarbeit

von Herrn/Frau **Felix Michaelis**

Matrikel-Nummer: 1778967

Thema: **Auslegung eines wärmegeführten Biomethan-BHKW**

Schwerpunkte:

- Auslegung bzw. Auswahl der Komponenten wie z.B.: eines passenden Generators, Pumpen, Mischer, Ausdehnungsgefäße, Gasregelstrecke, Abgasschalldämpfer...
- Konstruktion eines Grundrahmens zur Aufnahme des Gesamtaggregate sowie einiger Komponenten der Peripherie (Motor, Generator und z.B. AWT, Pumpen, Mischer)
- Auslegung und Auswahl des Abgaswärmetauschers
- Auslegung und Auswahl der Lüftungsbauteile und Ventilatoren
- Berechnung und Angabe der zu erwartenden physikalischen Größen
- Erstellung einer Fertigungszeichnung inkl. RI-Fließbild
- Betreuung der Fertigung

Technische Vorgaben:

- Industriemotor: MAN E 0834 LE302
- Gebäudeinstallation
- Betrieb mit Erdgas/Biomethan
- Schnittstelle ist Plattenwärmetauscher
- Vorgabe des zulässigen Schalldruckpegels der Einzelkomponenten nach Abstimmung

Datum

1. Prüfer/in



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Diplomarbeit

Auslegung eines wärmegeführten Biomethan-BHKW



Studiengang: Maschinenbau

Fachrichtung: Entwicklung und Konstruktion

Vorgelegt von: Felix Michaelis
Matrikelnummer: 1778967
Erstprüferin: Prof. Dr. -Ing. Heike Frischgesell
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Niels Eiben

Diese Diplomarbeit wurde bei der Deyer & Bosse Kraftwerke GmbH,
Streßelfeld 1, 29475 Gorleben durchgeführt.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis	V
Symbolverzeichnis	VI
Abkürzungen	VIII
1 Einleitung	9
1.1 Was ist ein BHKW	9
1.2 Biomethan	10
1.3 68kW Biomethan BHKW Gorleben	12
2 Auslegung	14
2.1 Randbedingungen	14
2.1.1 MAN-Gasmotor E0834	14
2.1.2 Bauliche Gegebenheiten	14
2.2 Generator	15
2.3 Gasregelstrecke	15
2.4 Luftfilter	16
2.5 Abgasanlage	17
2.5.1 Schalldämpfer	17
2.5.2 Abgaswärmetauscher (AWT)	17
2.5.3 Kompensator	27
2.6 Plattenwärmetauscher (PWT)	27
2.7 Motorkühlwasserkreislauf	30
2.7.1 Bestimmung des Wasserinhaltes des Motorkreises	31
2.7.2 Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeiten im Motorkreis	31
2.7.3 Bestimmung des Druckverlustes im Motorkreis	32
2.7.4 Motorkühlwasserpumpe	35
2.7.5 Massenausdehnungsgefäß (MAG)	37
2.7.6 Sicherheitsventile	39
2.7.7 Kompensatoren	39
2.7.8 Abschätzung der Aufheizzeit bis 100°C ohne Wärmeabnahme	40
2.8 NT-Kreis	41
2.8.1 Temperaturen im NT-Kreis	42
2.8.2 Kühlwasser Kühler NT-Kreis	42

2.8.3	Bestimmung des Wasserinhaltes des NT-Kreises.....	42
2.8.4	Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeiten im NT-Kreis	43
2.8.5	Bestimmung des Druckverlustes im NT-Kreis.....	43
2.8.6	NT-Kreis-Pumpe.....	46
2.8.7	Massenausdehnungsgefäß (MAG)	46
2.8.8	Sicherheitsventil	47
2.9	Sensorik	48
2.9.1	Sicherheitstemperaturbegrenzer (STB).....	48
2.9.2	Wassermangelsicherung (WMS)	48
2.9.3	Liste der verbauten Sensorik	49
2.10	Schwingungsdämpfer	50
2.11	Lüftung des Maschinenraumes	54
3	Komponentenanordnung/Rahmen	56
3.1	Nachweis der Tragfähigkeit des Motorrahmens.....	58
4	Fertigung.....	61
	Literaturverzeichnis.....	LXIV
	Anhang	65
A-1	Fließbild	65
A - 1.1	Legende	65
A - 1.2	Fließbild	66
A-2	Zeichnungen	67
A - 2.1	Gesamtzusammenbau.....	67
A - 2.2	E-Pack Zusammenbau	68
A - 2.3	Block Zusammenbau	69
A - 2.4	Motorrahmen.....	70
A - 2.5	Ölauffangwanne-klein	71
A - 2.6	Ölauffangwanne-groß	72
A - 2.7	Rahmen-Block.....	73
A - 2.8	MAN Motor	74
A - 2.9	Abgaswärmetauscher.....	75
A - 2.10	Gasregelstrecke	76
A - 2.11	Schalldämpfer - Position der Konsolen ARNS 35 + ADNS 40.....	77
A - 2.12	Schalldämpfer – ARNS 35	78
A - 2.13	Schalldämpfer – ADNS 40.....	79
A - 2.14	Grundriss des Gebäudes.....	80

A-3	Datenblätter	81
A - 3.1	Motor.....	81
A - 3.2	Generator	87
A - 3.3	Abgaswärmetauscher.....	88
A - 3.4	Plattenwärmetauscher	89
A - 3.5	Wilo IPL 50/130-2,2/2	92
A - 3.6	Wilo TOP- S 30/10 3~ PN10.....	93
A - 3.7	TIP Luftherhitzer	94
A-4	Stoffwerte.....	95
A - 4.1	Eon Gasanalyse.....	95
A - 4.2	Glysantin (40%Glysantin, 60%Wasser).....	96
A-5	Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung.....	102

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1 Definition und Abgrenzung der BHKW-Komponenten	
Quelle: DIN 6280-14 S.5	10
Abbildung 1-2 Darstellung der Aufbereitung von Biogas zu Biomethan	
Quelle: D&B AMINselect	11
Abbildung 2-1 Wirkungsgradverlauf bei 50Hz Betrieb LSA 43.2 L8	
Quelle: Leroy Somer S.4	15
Abbildung 2-2 Luftfilterkennlinie	
Quelle: MANN + HUMMEL Luftfilter S.122	16
Abbildung 2-3 Skizze Kühlwasserkreis.....	25
Abbildung 2-4 Skizze PWT Einbindung	27
Abbildung 2-5 Motorkühlwasserkreis (schematische Darstellung)	
Quelle: MAN Einbauanleitung S.45.....	30
Abbildung 2-6 Wassersäule über der Pumpe.....	35
Abbildung 2-7 Empfohlener Einbaupunkt des Ausdehnungsgefäßes in einem Heizsystem	
Quelle: EN 12828 S.34.....	37
Abbildung 2-8 Skizze NT-Kreis	41
Abbildung 2-9 Schwerpunkte des schwingenden Systems	50
Abbildung 2-10 Lagerkräfte.....	51
Abbildung 2-11 optimale Luftführung im Motorraum	
Quelle: MAN Einbauanleitung S.18.....	55
Abbildung 3-1 erster Entwurf für ein Rahmenkonzept	56
Abbildung 3-2 Das umgesetzte Konzept im Überblick	57
Abbildung 3-4 U-Profil	
Quelle: Tabellenbuch Metall S.146	58
Abbildung 3-3 Motorrahmen links isometrisch, rechts Draufsicht	58
Abbildung 3-5 Kräfte an Profil 4	59
Abbildung 3-6 Kräfte an Profil 6	59
Abbildung 4-1 Montage des Motors	61
Abbildung 4-2 Motor- und Blockrahmen mit Komponenten	61
Abbildung 4-3 Rahmen verschraubt, Leitungen teilweise lackiert.....	62
Abbildung 4-4 Verrücken der Anlage mit dem Stapler	63
Abbildung 4-5 Fertigungsstand vom 29.12.2011	63
Tabelle 2-1 Sicherheitsventilgrößen bei Wärmeleistung	
Quelle: pr EN12828 Anhang E4.5 S.48	39

Symbolverzeichnis

b	Breite
c	Strömungsgeschwindigkeit
$\cos \varphi$	Leistungsfaktor
c_p	spezifische Wärmekapazität
d	Durchmesser
F	Kraft
g	Erdbeschleunigung
h	Höhe
H_i	Heizwert
K_V	K_V -Wert
k	Kennwert der Wandrauhigkeit
l	Länge
M	molare Masse
m	Masse
\dot{m}	Massenstrom
P	Leistung
p	Druck
\dot{Q}	Wärmestrom
R	ideale Gaskonstante
Re	Reynoldzahl
s	Materialstärke
S	Sicherheit
t	Temperatur [°C]
T	Temperatur [K]
V	Volumen
\dot{V}	Volumenstrom
W_y	Widerstandsmoment in Y-Richtung
z	Zeit

Griechische Symbole

φ	relative Luftfeuchtigkeit
δ	Dicke der laminaren Grenzschicht
ζ	Widerstandbeiwert (Rohr- Formstücke)
η	dynamische Viskosität / Isoliergrad
λ	Luftverhältnis / Rohrreibungszahl
ν	stöchiometrisch Zahl / kinematische Viskosität
ν_e	Eigenschwingungszahl
ν_{err}	Erregerschwingzahl

ξ	Massenanteil (hochgestellt die Bezugsgröße, tiefgestellt die anteilige Größe)
ρ	Dichte
σ	Biegespannung
ψ	Mengenanteil

Indizes (auch in Kombination)

'	Wert ist auf ein kg Brennstoff bezogen
Ab	Abgas
AWT	Abgaswärmetauscher
B	Brennstoff
D	Dampf
e	end
erf	erforderlich
G	Erdgas / Generator
ges	gesamt
HT	HT-Gemischkühler
L	Luft
M	Motor
MAG	Ausdehnungsgefäß
max	maximal Wert
min	mindest
n	Nennwert der Größe
N	auf Norm bezogen
NT	NT-Gemischkühler
P	Primärseite
PWT	Plattenwärmetauscher
R	Rücklauf
s	Sättigungszustand
S	Sekundärseite
st	stöchiometrisch
t	trocken
tot	total
V	Vorlauf
v	Verlust
W	Wasser
WR	Wasservorlage

Abkürzungen

AWT	Abgaswärmetauscher
BHKW	Blockheizkraftwerk
D&B	Dreyer & Bosse Kraftwerke GmbH
HT	hoch Temperatur (bezieht sich auf den Gemischkühler)
KWK	Kraft- Wärmekopplung
NPSH	Haltedruckhöhe
NT	nieder Temperatur (bezieht sich auf den Gemischkühler)
PWT	Plattenwärmetauscher
STB	Sicherheitstemperaturbegrenzer
usw.	und so weiter
vgl.	vergleiche
WMS	Wassermangelsicherung

1 Einleitung

1.1 Was ist ein BHKW

Blockheizkraftwerke (BHKW) sind Anlagen, die Strom und Wärme erzeugen. Sie bestehen aus einem Antriebsaggregat, in der vorliegenden Arbeit einem Verbrennungsmotor, und einem Stromgenerator. Der Generator wird von dem Verbrennungsmotor angetrieben und erzeugt Strom. Die Abwärme des Verbrennungsmotors wird zu Heizzwecken vor Ort genutzt. Dieses Prinzip wird als Kraft-Wärmekopplung (KWK) bezeichnet.

Der Vorteil von KWK-Anlagen ist der höhere Gesamtwirkungsgrad durch die Nutzung der Wärme, die bei der Erzeugung mechanischer oder elektrischer Energie anfällt, aber in konventionellen Anlagen meist ungenutzt bleibt. Zum Beispiel geben die meisten Großkraftwerke ihre Prozesswärme an die Umgebung ab und heizen damit Luft und Gewässer auf. Auch Kraftfahrzeuge mit Verbrennungsmotoren geben die anfallende Wärme an die Umgebungsluft ab.

Bei dem Motor, der in dieser Arbeit behandelten Anlage, ist die Heizleistung aus Motorkühlwasser, HT- und NT-Gemischkühler 63kW, die Abgaswärme bis 120°C ist mit 33kW angegeben, die Brennstoffleistung ist 177kW und die abgegebene mechanische Leistung 68kW¹.

Das heißt, der Motor hat in einer KWK-Anlage mit Abgaswärmetauscher bei einer Abkühlung des Abgases auf 120°C einen Wirkungsgrad von $\frac{63kW+33kW+68kW}{177kW} = 0,92$ gegenüber einem Wirkungsgrad von $\frac{68kW}{177kW} = 0,38$ beim Betrieb als reine Kraftmaschine. Der Wirkungsgrad hat sich also mehr als verdoppelt.

Ein BHKW ist nach DIN 6280-14 in die Einheiten BHKW-Aggregat und BHKW-Modul unterteilt.

Das BHKW-Aggregat besteht aus den Hauptkomponenten eines BHKW, dem Motor und dem Generator. Verbindungs- und Lagerungselemente dieser Komponenten werden ebenfalls dem Aggregat zugeordnet.

Das BHKW-Modul besteht aus einem BHKW-Aggregat, den zugehörigen Kühl- und Schmierkreislaufkomponenten, Wärmetauschern, der Sensorik, dem Ansaug- und Abgassystem und der Kraftstoffversorgung.

Als BHKW wird nach Norm eine Anlage bezeichnet, die aus einem oder mehreren BHKW-Modulen mit allen zum Betrieb nötigen Hilfs-, Schalt- und Steuereinrichtungen besteht.

¹ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.3

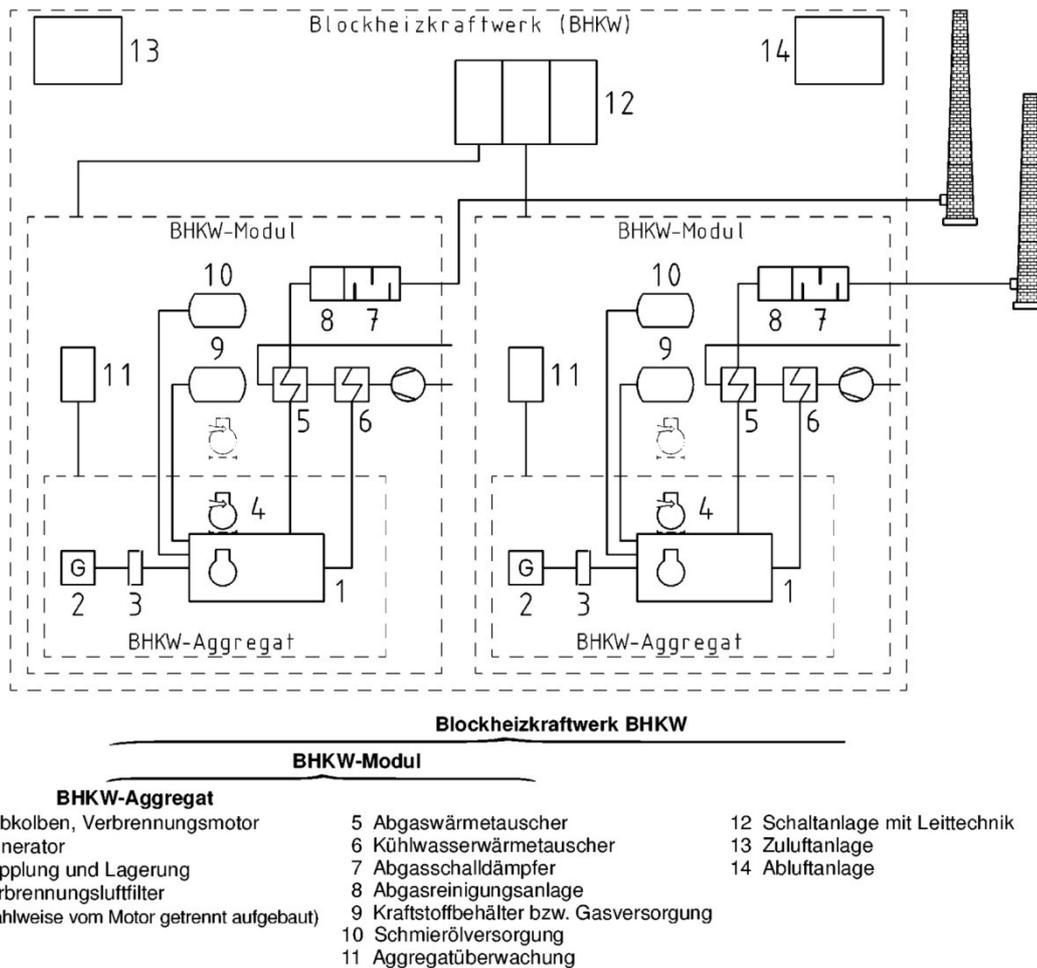


Abbildung 1-1 Definition und Abgrenzung der BHKW-Komponenten²

1.2 Biomethan

Methan biologischen Ursprungs wird mit dem Kunstbegriff "Biomethan" oder auch "Bioerdgas" bezeichnet.

In Biogasanlagen wird aus Biomasse so genanntes Biogas erzeugt, dieses besteht zu 45 bis 70 Prozent aus Methan, 25 bis 50 Prozent sind Kohlendioxid. Weitere Bestandteile sind Schwefelwasserstoffe, Ammoniak und Wasserdampf³. Dieses Biogas wird in einer der Biogasanlage nachgeschalteten Aufbereitungsanlage durch Entschwefelung, Abtrennung des Kohlendioxids und Trocknung des Gases so aufbereitet, dass es der Qualität von Erdgas entspricht. Gegebenenfalls findet noch eine Brennwertanpassung mittels Beimischen von Flüssiggas oder Luft statt. Da der Methananteil im Gas nach der Aufbereitung größer 98 Prozent ist wird dieses Gas Biomethan genannt.

Biomethan unterscheidet sich also von fossilem Methan nicht in der chemischen Zusammensetzung (CH₄), sondern nur in der Herkunft.

² vgl. DIN 6280-14 S.5

³ vgl. dena

Die Dreyer & Bosse Kraftwerke GmbH arbeitet bei der Kohlendioxidabtrennung mit dem Aminwäscheverfahren. Anders als bei konkurrierenden Anlagen dieser Art erfolgt das Auswaschen des Kohlendioxids in zwei Absorptionsstufen statt in einer. Die erste Stufe ist wie bei anderen Anlagen „drucklos“, in einem Bereich bis 200mbar. Die zweite Stufe arbeitet mit einem Druck von 1,5bar bis 4bar. Dreyer & Bosse ist damit die einzige Firma am Markt, die eine Aminwäsche unter Druck anbietet.

Mit diesem Verfahren wird eine sehr hohe Gasreinheit bei geringem Methanschlupf erreicht.

Durch das von Dreyer & Bosse entwickelte „Vario Heat“ Verfahren kann der Wärmebedarf der Aufbereitungsanlage flexibel der aktuellen Verfügbarkeit von Wärme angepasst werden. Wird der Druck in der Anlage erhöht, sinkt der Wärmebedarf des Prozesses, bei einer Druckreduzierung steigt er wieder. Bei höherem Druck ist aber der Strombedarf der Verdichter größer.

So kann zum Beispiel die Heizleistung eines BHKW im Winter zum Heizen von Gebäuden und im Sommer für die Gasaufbereitung verwendet werden.

Der Aufbereitungsprozess, wie er in der Aufbereitungsanlage von Dreyer & Bosse in Dannenberg abläuft, ist in der untenstehenden Abbildung schematisch dargestellt.

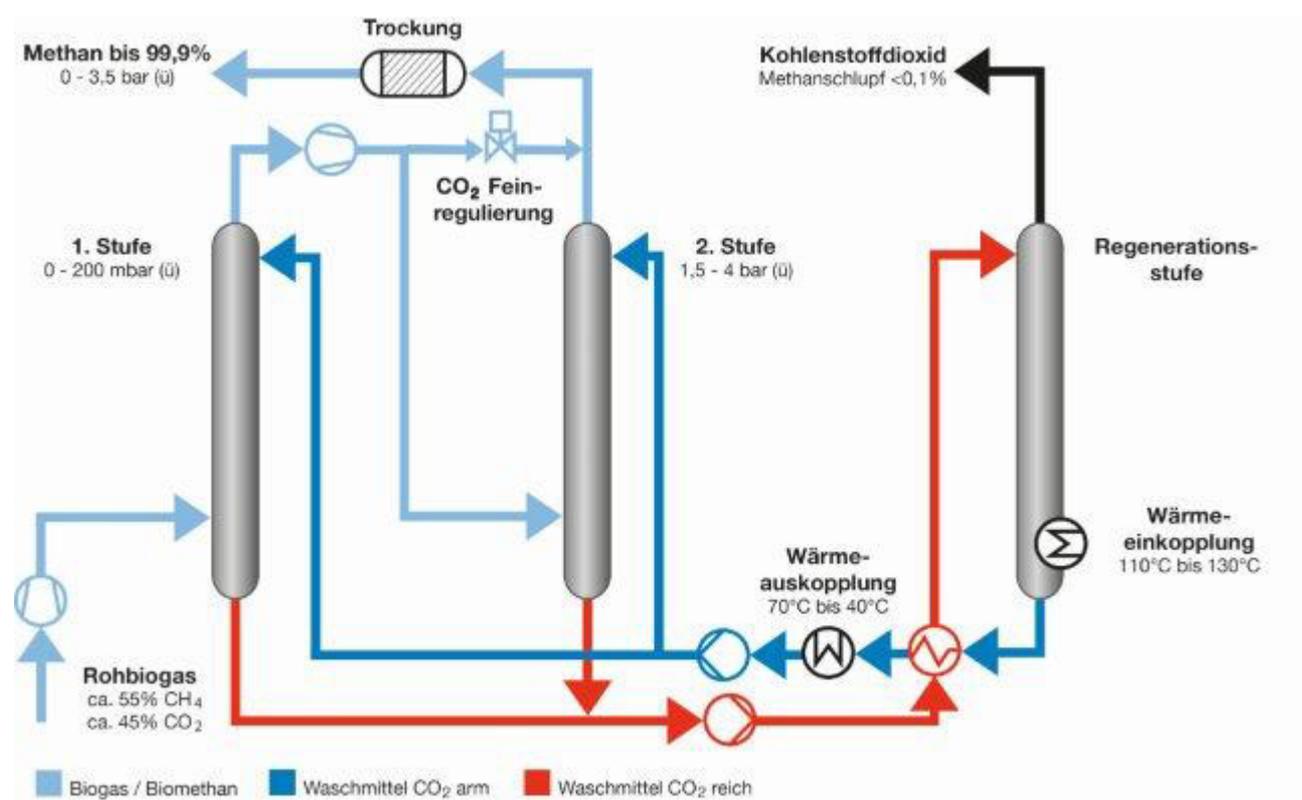


Abbildung 1-2 Darstellung der Aufbereitung von Biogas zu Biomethan⁴

Die Deutsche Energie-Agentur GmbH hat Dreyer & Bosse für dieses effiziente Gasaufbereitungsverfahren mit dem „Innovationspreis 2011“ ausgezeichnet.

⁴ vgl. D&B AMINselect

Da Biomethan der Qualität von Erdgas entspricht, kann es ins bestehende Erdgasnetz eingespeist werden. So können auch Anlagen mit Biomethan betrieben werden, die sich nicht in unmittelbarer Nähe zu einer Biogasanlage befinden. Dadurch wird ermöglicht, dass mit Biokraftstoff betriebene KWK-Anlagen an Orten installiert werden können, an denen ein Bedarf an elektrischer Energie und Wärme besteht, aber eine Biogasanlage nicht betrieben werden kann.

Das in dieser Arbeit behandelte Biomethan BHKW in Gorleben wird über das Erdgas H Netz von der Aufbereitungsanlage in Dannenberg versorgt. Da natürlich in Gorleben ein Gemisch aus Biomethan und Erdgas aus der Leitung entnommen wird, wird in dieser Arbeit mit Erdgas H als Brennstoff gerechnet.

1.3 68kW Biomethan BHKW Gorleben

Dreyer & Bosse hat 2011 eine neue Fertigungshalle in Betrieb genommen. Als Heizungsanlage soll ein wärmegeführtes BHKW in Verbindung mit einer Gastherme dienen.

Die Grundlast wird von dem BHKW bereitgestellt, Spitzenlasten an sehr kalten Tagen werden von der Gastherme aufgefangen.

Die Fertigungshalle ist mit einer Fußbodenheizung ausgestattet. Der Betonboden ist so dick, dass er als Pufferspeicher fungiert.

Bei Dreyer & Bosse werden Biogas-BHKW mit Leistungen von 70kW bis 2MW hergestellt, diese werden mit Biogas betrieben und sind stromgeführt. Die Firma ist also kein Neuling im Bau von BHKW. Es existieren gewisse Standards, auf die in dieser Arbeit auch zurückgegriffen wird. So werden in der Regel Komponenten von Herstellern verwendet, die auch in aktuellen D&B Biogas-BHKW verbaut werden.

Die wärmegeführte Betriebsweise ist ein wesentlicher Unterschied zu den stromgeführten Biogas-BHKW die Dreyer & Bosse herstellt. Durch diese Betriebsweise ist das BHKW nicht durchgängig in Betrieb, sondern nur wenn Wärmebedarf besteht, also im Winter. Das heißt aber auch, dass der gesamte Sommer für Wartungsarbeiten zur Verfügung steht. Es macht deshalb keinen Sinn das BHKW mit einer Ölwannenerweiterung auszustatten um die Wartungsintervalle zu verlängern. Außerdem ist ein Notkühler überflüssig, da das BHKW gedrosselt, bzw. ausgeschaltet wird, wenn die Wärme nicht mehr abgenommen wird.

Als Antrieb soll ein 68kW MAN-Industriemotor Verwendung finden. Dieser wurde schon vor Jahren für eine andere Anlage gekauft, die dann aber nicht realisiert wurde.

Die Brennstoffversorgung wird von der Biogasaufbereitungsanlage in Dannenberg übernommen. Hier wird Biogas zu Biomethan aufbereitet und ins Erdgasnetz eingespeist. In Gorleben werden entsprechende Mengen wieder entnommen und zur Befeuerung des BHKW verwendet.

Eine Schwierigkeit waren die teilweise sehr langen Lieferzeiten einzelner Komponenten. So mussten einige Komponenten bestellt werden bevor geklärt war, wie die Anlage letztlich aufgebaut sein wird.

Aus diesem Grund wird z.B. am Abgaswärmetauscher der vorgesehene radiale Abgasaustritt durch einen axialen ersetzt.

Bei dieser Anlage handelt es sich um einen Prototypen, der auf dem Werksgelände betrieben wird. Es ist also ständig kompetentes Personal zur Wartung und Überwachung vor Ort. Daher können bei diesem Projekt mit geringem Risiko einige Neuerungen ausprobiert werden.

So wird der Mischer zur Temperaturregelung im Motorkreis auf der Sekundärseite des Plattenwärmetauschers installiert, dies hat den Vorteil, dass die Vorlauftemperatur im Heizkreis konstant gehalten wird und nur der Volumenstrom variiert. Der Nachteil ist, dass die Temperaturregelung des Motorkreises träger wird als wenn der Mischer auf der Primärseite, also direkt im Motorkreis installiert wäre.

Die Abgastemperatur wird deutlich reduziert, was dem Gesamtwirkungsgrad der Anlage zugute kommt. Außerdem wird versucht die Temperaturregelung des NT-Kreises nur über den Lüfter des Kühlers zu steuern.

2 Auslegung

2.1 Randbedingungen

2.1.1 MAN-Gasmotor E0834

Bei dem 68kW Gasmotor von MAN handelt es sich um einen Vier- Zylinder- Reihenmotor, der im Viertaktverfahren arbeitet. Der Motor ist mit einem Abgasturbolader und einer zweistufigen Gemischkühlung ausgestattet.

Die Hochtemperaturstufe (HT) des Gemischkühlers arbeitet auf dem Temperaturniveau des Motorkühlwasserkreises und wird in diesen mit eingebunden. Da die Niedertemperaturstufe (NT) des Gemischkühlers deutlich niedrigere Temperaturen benötigt, ist ein separater Kühlkreislauf erforderlich.⁵ Dies ist auch im Fließbild⁶ dargestellt.

Die vollständigen technischen Daten können dem Motordatenblatt⁷ entnommen werden.

2.1.1.1 Zündanlage und Gasmischer

Der Motor wird ohne Zündanlage und Gasmischer geliefert. Diese Komponenten werden bei der Firma Motortech unter Angabe des Motortyps und des Brennstoffs bestellt.

2.1.2 Bauliche Gegebenheiten

Das BHKW soll in einem Anbau untergebracht werden. Der Raum, der hierfür vorgesehen ist, hat eine Grundfläche von 3m x 10m und ein Tor mit einer Breite von 2,5m.⁸

Der Heizungsbauer hat die Spreizung auf der Sekundärseite des Plattenwärmetauschers mit 60°C-80°C vorgegeben.

Der Schallschutz soll 45dBA in einem Abstand von 40m gereicht werden.

⁵ vgl. MAN Einbauanleitung S.53

⁶ siehe A - 1 Fließbild

⁷ siehe A - 3.1 Motordatenblatt

⁸ siehe A - 2.14 Grundriss des Gebäudes

2.2 Generator

Es wird ein Drehstrom-Synchrongenerator für den Netz-Parallelbetrieb benötigt. Dieser soll soweit möglich mit Leistungsfaktor $\cos \varphi = 1$ betrieben werden.

Als Ausgangsdaten für die Auswahl des Generators dienen einige Motorkenndaten:

- mech. Leistung $P_n = 68 \text{ kW}$
- Anschlußflansch: SAE 2
- Anschluss an der Schwungscheibe: SAE 11,5

Bei D&B werden Generatoren von Leroy Somer verbaut. Aus deren Produktpalette wurde entsprechend der oben stehenden Daten der Generator LSA 43.2 L8 ausgewählt und nach Rücksprache mit der Elektrotechnikabteilung von D&B bestellt.

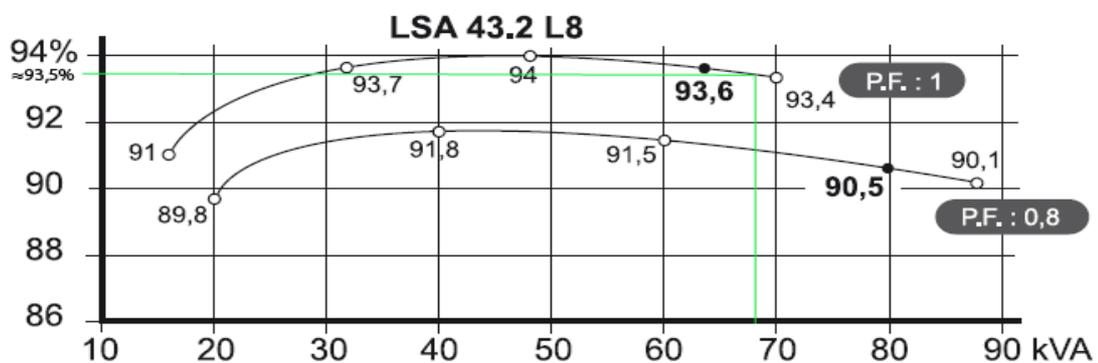


Abbildung 2-1 Wirkungsgradverlauf bei 50Hz Betrieb LSA 43.2 L8⁹

Der LSA 43.2 L8 hat im Volllastbetrieb, also bei 68 kW einen Wirkungsgrad von ca. 93,5%.

2.3 Gasregelstrecke

Nach DIN 6280-14 müssen alle BHKW mindestens mit einem Meßstutzen zur Feststellung des Anschlußdruckes vor dem Gasdruckregelgerät, einem Gasfilter, einem Gasdruckregelgerät, einem Druckwächter, zwei automatischen Sicherheitsabsperrentilen und einer entsprechenden Überwachungseinrichtung ausgerüstet sein. Eine Dichtheitskontrolleinrichtung für die automatischen Absperrentile wird erst ab einer Wärmeleistung von 350kW empfohlen. Sie wird also nicht benötigt.

Da der Gasmischer eingangsseitig Umgebungsdruck benötigt, wird als letztes Element der Gasregelstrecke ein Nulldruckregler verbaut.

Ausschlaggebend für die Größe der Gasregelstrecke ist der Volumenstrom, der sich wie folgt aus der Brennstoffleistung des Motors und dem Heizwert des Gases berechnet.

Brennstoffleistung des Motors¹⁰: 177 kW

Heizwert Erdgas H_i ¹¹: 10,041 kWh/m³

$$\rightarrow \text{benötigter Gasvolumenstrom: } \dot{V}_G = \frac{177 \text{ kW}}{10,041 \text{ kWh/m}^3} = 17,63 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 18 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Entsprechend dieser Randbedingungen wurde die Gasregelstrecke bei der Firma Dungs bestellt.

⁹ vgl. Leroy Somer S.4

¹⁰ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.3

¹¹ siehe A - 4.1 eon Gasanalyse

2.4 Luftfilter

Der Luftfilter ist so ausulegen, dass folgende Bedingungen erfüllt werden:

- Einhaltung des maximal zulässigen Ansaugdrucks von 15 mbar¹²
- Für die Kurbelgehäuseentlüftung ist ein Mindestansaugdruck von 10mbar erforderlich¹³
- Es muss ein Luftdurchsatz von mindestens 348 kg/h¹⁴ (Ansaugmassenstrom) unter Betriebsbedingungen möglich sein
- Der Abscheidegrad des Filters muss so gut sein, dass der Motor ein ähnliches Verschleißbild zeigt wie ein Motor, der vollkommen partikelfreie Ansaugluft zur Verfügung hat¹⁵
- ein Trockenluftfilter ist einzusetzen¹⁶

Der Luftdurchsatz wird vom Luftfilterhersteller als Volumenstrom angegeben. Dieser errechnet sich mit:

- der Dichte von Luft¹⁷ bei Normbezugsbedingungen (25°C und 100kPa)¹⁸ $\rho_{Ln} = 1,685 \text{ kg/m}^3$
- dem Ansaugmassenstrom von $\dot{m}_L = 348 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$

$$\text{zu } \dot{V}_L = \frac{\dot{m}_L}{\rho_{Ln}} = \frac{348 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{1,685 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 206,528 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 3,5 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Aus der Produktpalette von MANN + Hummel wurde entsprechend dieser Daten der Luftfilter Piclon 4516592444 bestellt.

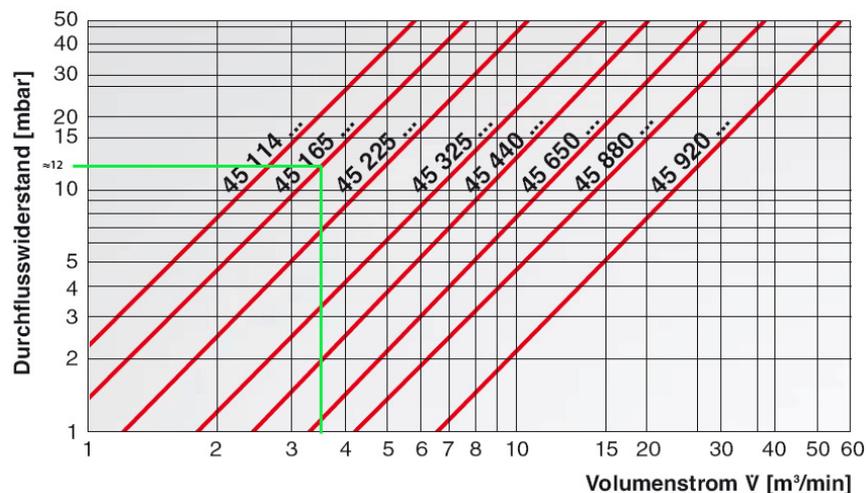


Abbildung 2-2 Luftfilterkennlinie¹⁹

Aus der oben stehenden Abbildung wird deutlich dass bei einem Volumenstrom von 3,5m³/min ein Unterdruck von ≈12 mbar zu erwarten ist. Dieser Wert liegt in dem geforderten Bereich von 10-15 mbar.

¹² siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.2

¹³ vgl. MAN Einbauanleitung S.32

¹⁴ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.2

¹⁵ vgl. MANN + HUMMEL Luftfilter S.122

¹⁶ vgl. MAN Einbauanleitung S.31

¹⁷ vgl. VDI Wärmeatlas Ddd5

¹⁸ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.2 und DIN 6280-14 S.7

¹⁹ vgl. MANN + HUMMEL Luftfilter S.46

2.5 Abgasanlage

Die Abgasanlage muss das Abgas nach außen abführen und dabei im Wesentlichen zwei Kriterien gerecht werden:

- der Abgasgegendruck darf nicht größer als 40 mbar sein²⁰
- die Schalldämpfung muss ausreichend sein um der vorgegebenen Schallschutzklasse (45bBA in 40m)²¹ gerecht zu werden

Ausschlaggebend für den Abgasgegendruck sind Schalldämpfer und Abgaswärmetauscher (AWT). Wobei der Abgaswärmetauscher angepasst werden kann, wohingegen die Schalldämpfer aufgrund des Motorschallpegels und der zu erfüllenden Schalldämpfung relativ wenig Variationen zulassen. Insbesondere da die Abmessungen der Schalldämpfer möglichst kompakt gehalten werden sollen. Daher werden als erstes die Schalldämpfer ausgelegt. Danach ist bekannt wie viel Abgasgegendruck der Abgaswärmetauscher maximal erzeugen darf.

2.5.1 Schalldämpfer

Die Auslegung der Schalldämpfer wird von deren Hersteller durchgeführt. Dreyer & Bosse arbeitet hier mit Firma Adam-Stahlbau zusammen.

Für die Auslegung wurden folgende Daten an Firma Adam übermittelt:

- Motor Typ: E0834
- Abgasmassenstrom²²: 361 m³/h
- Schallschutzklasse²³: 40dBA in 40m

Es sind zwei Schalldämpfer nötig um den Anforderungen gerecht zu werden, ein ARNS 35/DN100 nach dem Reflexions- und Absorptionsprinzip und ein ADNS 40/DN100 nach dem Absorptionsprinzip.

Die beiden Schalldämpfer werden in Reihe geschaltet. Insgesamt fällt ein Abgasgegendruck von 20mbar in den Schalldämpfern an.

Die Schalldämpfer werden ohne Konsolen bestellt. Die Konsolen werden von Dreyer & Bosse vor Ort gefertigt. Aus den Fertigungszeichnungen²⁴ geht hervor, wie die Konsolen anzubringen sind.

2.5.2 Abgaswärmetauscher (AWT)

Der Auslegung des Abgaswärmetauschers geht eine grundsätzliche Überlegung voraus:

Welche Abgastemperatur soll nach dem Abgaswärmetauscher vorliegen?

→ empfohlen wird eine Abgastemperatur von 180°C²⁵. Je tiefer aber die Abgastemperatur ist, desto mehr Leistung wird nutzbar gemacht, der Gesamtwirkungsgrad der Anlage steigt. Allerdings besteht die Gefahr das Kondensat anfällt.

Das Ziel ist also dem Abgas möglichst viel Energie zu entziehen, jedoch möglichst ohne dass Kondensat anfällt.

Um diesbezüglich ein Aussage treffen zu können, wurde folgende Rechnung durchgeführt:

²⁰ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.2

²¹ siehe 2.1.2 Bauliche Gegebenheiten

²² siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.3

²³ siehe 2.1.2 Bauliche Gegebenheiten

²⁴ siehe A - 2.11 Schalldämpfer - Position der Konsolen ARNS35 + ADNS 40

²⁵ vgl. MAN Einbauanleitung S.43

2.5.2.1 Berechnung des Kondensatanfalls

In dieser Rechnung wird Luft als ideales Gasgemisch von trockener Luft und Wasserdampf betrachtet, entsprechend wird das Abgas behandelt.

Es wird von idealer, vollständiger Verbrennung ausgegangen, Verbrennungsprodukte wie Kohlenmonoxid oder Stickoxide werden nicht berücksichtigt.

Ausgangsdaten:

Gaszusammensetzung²⁶:

Stoff	Anteil in mol %
C ₆ +	0,012
N ₂	3,819
CH ₄	88,848
CO ₂	1,292
C ₂ H ₆	4,909
C ₃ H ₈	0,914
C ₄ H ₁₀	0,18
C ₅ H ₁₂	0,026

molare Massen [kg/kmol]²⁷:

C	M _C	= 12,0107
O ₂	M _{O₂}	= 31,9988
N ₂	M _{N₂}	= 28,0134
H ₂	M _{H₂}	= 2,01588
Luft	M _L	= 28,9654
H ₂ O	M _{H₂O}	= 18,0153

ideale Gaskonstanten [kJ/kgK]²⁸:

Luft	R _L	=0,28705
Wasser	R _W	=0,46152

Brenntechnische Kenndaten:

Erdgas²⁹:

Heizwert Erdgas [kWh/m ³]	H _i	= 10,041
Dichte Erdgas [kg/m ³]	ρ _{Gn}	= 0,801

Luftzusammensetzung in Massenanteilen:

Anteil O ₂	ξ _{O₂} ^L	= 0,232
Anteil N ₂	ξ _{N₂} ^L	= 0,768

Motor³⁰:

Luftverhältnis	λ	= 1,62
Brennstoffleistung [kW]:	P _B	= 177
Brennstoffleistung [kW]:	P _B	= 177

Umgebung (Normbezugsbedingungen³¹):

Luftdruck [kPa]	p _u	= 100
Temperatur [°C]	t _u	= 25
relative Luftfeuchtigkeit	φ _n	= 30%

Sättigungsdruck bei 25°C³² p_{WS}ⁿ = 3,1697 kPa

²⁶ siehe A - 4.1 eon Gasanalyse

²⁷ vgl. Baehr S.615 Tabelle 10.6.

²⁸ vgl. Baehr S.615 Tabelle 10.6.

²⁹ siehe A - 4.1 eon Gasanalyse

³⁰ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.2

³¹ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.3

³² vgl. VDI Wärmeatlas Dba3 Tabelle 2

Gaszusammensetzung:

Die Gaszusammensetzung ist in mol% angegeben, das heißt, der Wert muss durch 100 geteilt werden um den Stoffmengenanteil zu erhalten:

Gaszusammensetzung in Mengenanteilen:

ψ_{C_6+}	= 0,00012	$\psi_{C_2H_6}$	= 0,04909
ψ_{N_2}	= 0,03819	$\psi_{C_3H_8}$	= 0,00914
ψ_{CH_4}	= 0,88848	$\psi_{C_4H_{10}}$	= 0,0018
ψ_{CO_2}	= 0,01292	$\psi_{C_5H_{12}}$	= 0,00026

Die molare Masse ergibt sich aus der chemischen Zusammensetzung der Stoffe. Die molaren Massen der enthaltenen Elemente werden entsprechend ihrer Anzahl addiert³³.

$$M = \sum_{i=1}^{i=n} (M_i \cdot \psi_i)$$

Beispielrechnung:

$$M_{CH_4} = M_C + M_{H_2} \cdot 2 = 12,0107 \frac{kg}{kmol} + 2 \cdot 2,01588 \frac{kg}{kmol} = 16,04246 \frac{kg}{kmol}$$

molare Masse [kg/kmol]

M_{C_6+}	=72,0642	$M_{C_3H_8}$	=44,09562
M_{CH_4}	=16,04246	$M_{C_4H_{10}}$	=58,1222
M_{CO_2}	=44,0095	$M_{C_5H_{12}}$	=72,14878
$M_{C_2H_6}$	=30,06904		

Die molare Masse von Erdgas ergibt sich in gleicher Weise als Summe der molaren Massen seiner Bestandteile unter Berücksichtigung der Mengenverhältnisse:

$$\begin{aligned} M_G &= M_{C_6+} \cdot \psi_{C_6+} + M_{N_2} \cdot \psi_{N_2} + M_{CH_4} \cdot \psi_{CH_4} + M_{CO_2} \cdot \psi_{CO_2} + M_{C_2H_6} \cdot \psi_{C_2H_6} + M_{C_3H_8} \cdot \psi_{C_3H_8} \\ &+ M_{C_4H_{10}} \cdot \psi_{C_4H_{10}} + M_{C_5H_{12}} \cdot \psi_{C_5H_{12}} \\ &= 72,0642 \cdot 0,00012 + 28,013 \cdot 0,03819 + 16,04246 \cdot 0,88848 + 44,0095 \cdot 0,01292 \\ &+ 30,06904 \cdot 0,04909 + 44,09562 \cdot 0,00914 + 58,1222 \cdot 0,0018 + 72,14878 \cdot 0,00026 \\ &= 17,90297 \frac{kg}{kmol} \end{aligned}$$

³³ vgl. Gieck O8

Über die molaren Massen werden die Mengenanteile in Massenanteile umgerechnet.

$$\xi_i = \frac{M_i}{M} \cdot \psi_i$$

Beispielrechnung:

$$\xi_{CH_4} = \frac{M_{CH_4}}{M_G} \cdot \psi_{CH_4} = \frac{16,04246}{17,9029} \cdot 0,88848 = 0,79615$$

Gaszusammensetzung in Massenanteilen:

ξ_{C6+}	= 0,00048	ξ_{C2H6}	= 0,08245
ξ_{N2}	= 0,05976	ξ_{C3H8}	= 0,02251
ξ_{CH4}	= 0,79615	ξ_{C4H10}	= 0,00584
ξ_{CO2}	= 0,03176	ξ_{C5H12}	= 0,00105

Erdgas besteht aus den vier Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff. Deren Massenanteile sich aus der chemischen Zusammensetzung der einzelnen Gase und ihrem Massenanteil an Erdgas ergeben.

Beispielrechnung:

$$\begin{aligned} \xi_C &= \xi_{C6+} + \xi_{CH_4} \cdot \frac{M_C}{M_{CH_4}} + \xi_{CO_2} \cdot \frac{M_C}{M_{CO_2}} + \xi_{C_2H_6} \cdot \frac{2 \cdot M_C}{M_{C_2H_6}} + \xi_{C_3H_8} \cdot \frac{3 \cdot M_C}{M_{C_3H_8}} + \xi_{C_4H_{10}} \cdot \frac{4 \cdot M_C}{M_{C_4H_{10}}} \\ &+ \xi_{C_5H_{12}} \cdot \frac{5 \cdot M_C}{M_{C_5H_{12}}} = 0,00048 + 0,79615 \cdot \frac{12,0107 \frac{kg}{kmol}}{16,04246 \frac{kg}{kmol}} + 0,03176 \cdot \frac{12,0107 \frac{kg}{kmol}}{44,0095 \frac{kg}{kmol}} \\ &+ 0,08245 \cdot \frac{2 \cdot 12,0107 \frac{kg}{kmol}}{30,06904 \frac{kg}{kmol}} + 0,02251 \cdot \frac{3 \cdot 12,0107 \frac{kg}{kmol}}{44,09562 \frac{kg}{kmol}} + 0,00584 \cdot \frac{4 \cdot 12,0107 \frac{kg}{kmol}}{58,1222 \frac{kg}{kmol}} \\ &+ 0,00105 \cdot \frac{5 \cdot 12,0107 \frac{kg}{kmol}}{72,14878 \frac{kg}{kmol}} = 0,69518 \end{aligned}$$

Massenanteile der Elemente im Erdgas:

ξ_C^G	= 0,69518
$\xi_{O_2}^G$	= 0,02309
$\xi_{N_2}^G$	= 0,05976
$\xi_{H_2}^G$	= 0,22197

Luftbedarf:

N₂ und CO₂ gehen keine verbrennungsrelevanten Reaktionen ein.

Reaktionsgleichungen	stöchiometrische Zahl
$C_{6+} + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2$	$\rightarrow \nu^{C_{6+}} = 6$
$CH_4 + 2 O_2 \rightarrow CO_2 + 2 H_2O$	$\rightarrow \nu^{CH_4} = 2$
$2 C_2H_6 + 7 O_2 \rightarrow 4 CO_2 + 6 H_2O$	$\rightarrow \nu^{C_{6+}} = 3,5$
$C_3H_8 + 5 O_2 \rightarrow 3 CO_2 + 4 H_2O$	$\rightarrow \nu^{C_{6+}} = 5$
$2 C_4H_{10} + 13 O_2 \rightarrow 8 CO_2 + 10 H_2O$	$\rightarrow \nu^{C_{6+}} = 6,5$
$C_5H_{12} + 8 O_2 \rightarrow 5 CO_2 + 6 H_2O$	$\rightarrow \nu^{C_{6+}} = 8$

Die stöchiometrische Zahl gibt an, wie viel mol Sauerstoff pro mol des Bezugsstoffes für eine vollständige Verbrennung benötigt werden. Die stöchiometrische Zahl für Erdgas ergibt sich zu:

$$\begin{aligned} \nu^G &= \frac{n_{O_2st}}{n_G} = \nu^{C_{6+}} \cdot \psi_{C_{6+}} + \nu^{CH_4} \cdot \psi_{CH_4} + \nu^{C_2H_6} \cdot \psi_{C_2H_6} + \nu^{C_3H_8} \cdot \psi_{C_3H_8} + \nu^{C_4H_{10}} \cdot \psi_{C_4H_{10}} \\ &+ \nu^{C_5H_{12}} \cdot \psi_{C_5H_{12}} = 6 \cdot 0,00012 + 2 \cdot 0,88848 + 3,5 \cdot 0,04909 + 5 \cdot 0,00914 + 6,5 \cdot 0,0018 \\ &+ 8 \cdot 0,00026 = 2,00898 \end{aligned}$$

Es werden also 2,00898 mol Sauerstoff für die stöchiometrische Verbrennung von einem mol Erdgas benötigt.

Über die molaren Massen lassen sich wieder die Massenanteile errechnen. Man erhält den massebezogenen, stöchiometrischen Sauerstoffbedarf.

$$\xi'_{Ost} = \frac{m_{O_2st}}{m_G} = \nu^G \cdot \frac{M_{O_2}}{M_G} = 2,00898 \cdot \frac{31,9988}{17,90297} = 3,59073$$

Es werden also 3,59073 kg Sauerstoff für die stöchiometrische Verbrennung von einem kg Erdgas benötigt.

Der stöchiometrische Luftbedarf ergibt sich mit dem Massenanteil von Sauerstoff in der Luft zu:

$$\xi'_{Lst} = \frac{O_{st}}{\xi_{O_2}^L} = \frac{3,59073}{0,232} = 15,4773$$

Mit dem Luftverhältnis λ errechnet sich der Luftbedarf des Motors pro kg Erdgas:

$$\xi'_L = \frac{m_L}{m_G} = \lambda \cdot l_{st} = 1,62 \cdot 15,4773 = 25,07322$$

Der Luftbedarf bezieht sich auf trockene Luft. Die Luft nach Normbezugsbedingungen hat aber eine relative Luftfeuchtigkeit von 30%, also: $\varphi_n=0,3$.

Um diese addieren zu können wird die Wasserdampfmasse pro kg trockene Luft, die Wasserdampfbeladung, benötigt.

$$X_L = \frac{m_W}{m_L} = \frac{R_L}{R_W} \cdot \frac{p_{ws}^n}{\varphi_n \cdot p_u - p_{ws}^n} = \frac{0,2871 \frac{kJ}{kg K}}{0,4615 \frac{kJ}{kg K}} \cdot \frac{3,1697 kPa}{\frac{100 kPa}{0,3} - 3,1697 kPa} = 0,0096$$

Das über die Luftfeuchtigkeit aufgenommene Wasser pro kg Erdgas ergibt sich also zu:

$$\xi'_W = \frac{m_W}{m_G} = X_L \cdot \xi'_L = 0,0096 \cdot 25,07322 = 0,2407$$

Der Gasmassenstrom ergibt sich aus dem Heizwert des Erdgases und der Brennstoffleistung des Motors.

$$\dot{m}_G = P_B \cdot \frac{\rho_{Gn}}{H_i} = 177 \text{ kW} \cdot \frac{0,801 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{10,041 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}} = 14,11981 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Dieser Wert kommt dem im Motordatenblatt angegebenen Wert von 13kg/h sehr nahe.

Damit ergibt sich der Massenstrom der trockenen Luft zu:

$$\dot{m}_{Lt} = \dot{m}_G \cdot \xi'_L = 14,11981 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 25,07322 = 354,02875 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

und der Massenstrom der feuchten Luft zu:

$$\dot{m}_L = \dot{m}_G \cdot (\xi'_L + \xi'_W) = 14,11981 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot (25,07322 + 0,2497) = 357,42739 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Abgaszusammensetzung:

Der Abgasmassenstrom ergibt sich aus den Massenströmen von Gas und Luft:

$$\dot{m}_{Ab} = \dot{m}_L + \dot{m}_G = 357,42739 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 14,11981 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 371,54719 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Davon sind:

$$\dot{m}_{N_2} = \xi_{N_2}^G \cdot \dot{m}_G + \xi_{N_2}^L \cdot \dot{m}_{Lt} = 0,05976 \cdot 14,11981 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 0,768 \cdot 354,02875 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 272,73784 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{O_2} = \xi_{O_2}^L \cdot \dot{m}_{Lt} - \xi_{O_2}^{st} \cdot \dot{m}_G = 0,232 \cdot 354,02875 \frac{\text{kg}}{\text{h}} - 3,59073 \cdot 14,11981 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 31,43426 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{CO_2} = \dot{m}_G \cdot \xi_C^G \cdot \left(1 + \frac{M_{O_2}}{M_C}\right) = 14,11981 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 0,69518 \cdot \left(1 + \frac{31,9988 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{12,0107 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}\right) = 35,96679 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{H_2O} = \dot{m}_G \cdot \left(\xi_{H_2}^G \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \frac{M_{O_2}}{M_{H_2}}\right) + \xi'_W \right)$$

$$= 14,11981 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \left(0,22197 \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{31,9988 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{2,01588 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}\right) + 0,2407 \right) = 31,40831 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Der trockene Abgasmassenstrom ist:

$$\dot{m}_{Abt} = \dot{m}_{Ab} - \dot{m}_{H_2O} = 371,54719 \frac{\text{kg}}{\text{h}} - 31,40831 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 340,13888 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

in Massenanteilen:

$$\xi_{N_2}^{Abt} = \frac{\dot{m}_{N_2}}{\dot{m}_{Abt}} = \frac{272,73784 \frac{kg}{h}}{340,13888 \frac{kg}{h}} = 0,80184$$

$$\xi_{O_2}^{Abt} = \frac{\dot{m}_{O_2}}{\dot{m}_{Abt}} = \frac{31,43426 \frac{kg}{h}}{340,13888 \frac{kg}{h}} = 0,09242$$

$$\xi_{CO_2}^{Abt} = \frac{\dot{m}_{CO_2}}{\dot{m}_{Abt}} = \frac{35,96679 \frac{kg}{h}}{340,13888 \frac{kg}{h}} = 0,10574$$

molare Masse Abgas:

$$M_{Ab} = \frac{1}{\frac{\xi_{N_2}^{Abt}}{M_{N_2}} + \frac{\xi_{O_2}^{Abt}}{M_{O_2}} + \frac{\xi_{CO_2}^{Abt}}{M_{CO_2}}} = \frac{1}{\frac{0,80184}{28,013 \frac{kg}{kmol}} + \frac{0,09242}{31,9988 \frac{kg}{kmol}} + \frac{0,10574}{44,0095 \frac{kg}{kmol}}} = 29,4861 \frac{kg}{kmol}$$

Wasserdampfbeladung:

$$X_{Ab} = \frac{\dot{m}_{H_2O}}{\dot{m}_{Abt}} = \frac{28,36326 \frac{kg}{h}}{307,16227 \frac{kg}{h}} = 0,09234$$

Partialdruck des Wassers:

$$p_W = \frac{p_U \cdot X_{Ab}}{\frac{R_{Ab}}{R_{H_2O}} + X_{Ab}} \quad \text{mit} \quad R_i = \frac{R_m}{M_i} \quad \rightarrow \quad p_W = \frac{p_U \cdot X_{Ab}}{\frac{M_{H_2O}}{M_{Ab}} + X_{Ab}}$$

$$p_W = \frac{p_U \cdot X_{Ab}}{\frac{M_{H_2O}}{M_{Ab}} + X_{Ab}} = \frac{100 \text{ kPa} \cdot 0,09234}{\frac{18,0153 \frac{kg}{kmol}}{29,4857 \frac{kg}{kmol}} + 0,09234} = 13,30313 \text{ kPa} \approx 0,13 \text{ bar}$$

Aus der Stoffwertetabelle³⁴ von Wasser ergibt sich, dass der Sättigungszustand unter diesen Bedingungen bei 51,4°C erreicht wird. Bei höheren Temperaturen fällt kein Kondensat an.

Es wird aber eine deutlich höhere Abgastemperatur benötigt um die Abgasanlage oberhalb dieser Temperatur zu halten.

Nach Rücksprache mit D&B wurde die Abgastemperatur auf 100°C festgelegt.

³⁴ vgl. VDI Wärmetlas Dba3 Tabelle 2 (interpoliert)

Um eine Anfrage an den Hersteller des Abgaswärmetauschers zu schicken fehlen noch folgende Daten:

- Kühlwassertemperatur vor dem AWT
- Kühlwasservolumenstrom
- Abgastemperatur vor dem AWT
- Abgasvolumenstrom

Die abgasbezogenen Daten können dem Motordatenblatt³⁵ entnommen werden:

- Abgastemperatur vor AWT / nach Motor: 410°C
- Abgasmassenstrom: 361 kg/h

Aus dem Fließbild im Anhang ist ersichtlich, dass der HT Gemischkühler dem Motor im Kühlwasserkreis parallel geschaltet wird. Daher entspricht der Kühlwasservolumenstrom durch den Abgaswärmetauscher dem Volumenstrom durch den Motor (175l/min)³⁶ plus dem Volumenstrom durch den HT Gemischkühler (45l/min)³⁷:

- Kühlwasservolumenstrom durch den AWT: $175 \frac{l}{min} + 45 \frac{l}{min} = 220 \frac{l}{min} = 13,2 \frac{m^3}{h}$

Die Temperatur vor dem Abgaswärmetauscher ergibt sich aus der Kühlwassertemperatur vor Motor und HT Gemischkühler, den jeweils zugeführten Leistungen und den Volumenströmen.

³⁵ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.3

³⁶ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.2

³⁷ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.2

2.5.2.2 Berechnung der Kühlmitteltemperatur vor dem Abgaswärmetauscher:

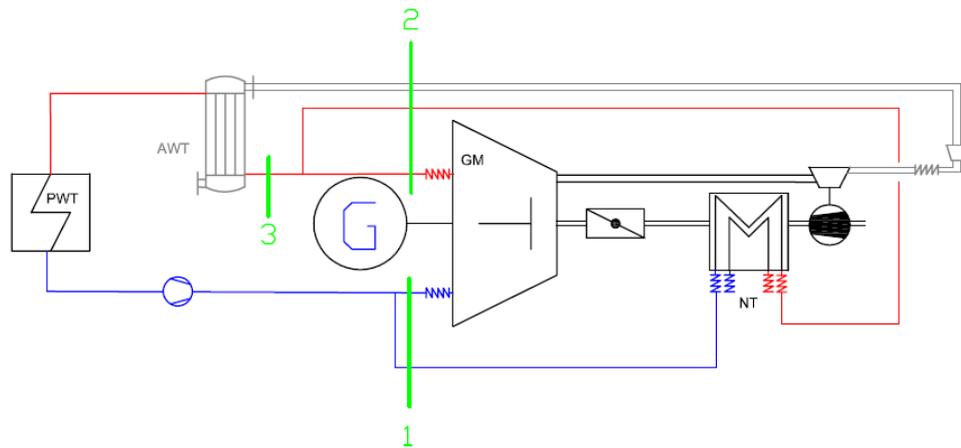


Abbildung 2-3 Skizze Kühlwasserkreis

Ausgangsdaten Motor ³⁸ :	Kühlwasserwärmestrom:	$\dot{Q}_M = 54 \text{ kW}$
	Gemischwärmestrom HT:	$\dot{Q}_{HT} = 7 \text{ kW}$
	Kühlwasserumlaufmenge:	$\dot{V}_M = 175 \text{ l/min}$
	min. Gemischkühlwasserumlaufmenge HT:	$\dot{V}_{HT} = 45 \text{ l/min}$
	Kühlwassertemperatur Motoreintritt:	$t_1 = 80^\circ\text{C}$
Stoffwerte Kühlmittel ³⁹ :	spezifische Wärmekapazität:	$c_p \approx 3,78 \text{ kJ/kg K}$
	Dichte bei 80°C:	$\rho = 1,023 \text{ g/cm}^3$

Kühlwassertemperatur nach dem Motor:

$$\dot{m}_M = \dot{V}_M \cdot \rho = 175 \frac{\text{l}}{\text{min}} \cdot 1,023 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 2,98 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$t_{2M} = \frac{\dot{Q}_M}{\dot{m}_M \cdot c_p} + t_1 = \frac{54 \text{ kW}}{2,98 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 3,78 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}} + 80^\circ\text{C} = 84,79^\circ\text{C}$$

Kühlwassertemperatur nach HT Gemischkühler:

$$\dot{m}_{HT} = \dot{V}_{HT} \cdot \rho = 45 \frac{\text{l}}{\text{min}} \cdot 1,023 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 0,77 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$t_{2HT} = \frac{\dot{Q}_{HT}}{\dot{m}_{HT} \cdot c_p} + t_1 = \frac{7 \text{ kW}}{0,77 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 3,78 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}} + 80^\circ\text{C} = 82,41^\circ\text{C}$$

³⁸ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.2

³⁹ siehe A - 4.2 Stoffwerte Glysantin

Kühlwassertemperatur vor AWT:

$$\dot{m}_{ges} = \dot{m}_M + \dot{m}_{HT} = 2,98 \frac{kg}{s} + 0,77 \frac{kg}{s} = 3,75 \frac{kg}{s}$$

$$t_3 = \frac{\dot{Q}_M + \dot{Q}_{HT}}{\dot{m}_{ges} \cdot cp} + t_1 = \frac{54kW + 7kW}{3,75 \frac{kg}{s} \cdot 3,78 \frac{kJ}{kg K}} + 80^\circ C = 84,3^\circ C \approx 85^\circ C$$

2.5.2.3 Anfrage Daten/technische Daten Abgaswärmetauscher

Mit untenstehenden Daten wurde ein Angebot von der Firma Aprovis eingeholt.

Kühlwassertemperatur vor dem AWT	85°C
Kühlwasservolumenstrom	220 l/min
Abgastemperatur vor dem AWT	410°C
Abgastemperatur nach dem AWT	100°C
Abgasmassenstrom	361 kg/h

Der gelieferte Abgaswärmetauscher hat folgende Spezifikationen:

ABGASWÄRMETAUSCHER N-03-150/1500-1H-1AC-P

Austauschfläche	m²	2,9		
Leistung	kW	34	Sauber:	34,7 kW
Medium durch Rohre		Abgas (Erdgas)		
Menge	kg/h	361		
Eintrittstemperatur	°C	410		
Austrittstemperatur	°C	105	Sauber:	99 °C
max. Betriebstemperatur	°C	500		
max. Betriebsüberdruck	bar	0,1		
Druckverlust	mbar	15		
Anschlüsse	DN/PN	80/10		
Medium um Rohre		Wasser		
Menge	m ³ /h	13,2	Minimum:	11 m³/h
Eintrittstemperatur	°C	85		
Austrittstemperatur	°C	87,3		
max. Betriebstemperatur	°C	110		
max. Betriebsüberdruck	bar	6		
Druckverlust	mbar	80		
Anschlüsse	DN/PN	50/16		
Inhalt	ltr.	+/- 20		

2.5.3 Kompensator

Um Motor und Abgasanlage schwingungstechnisch zu trennen wird direkt nach dem Turbolader ein Stahlkompensator verbaut. Dieser muss für die Abgastemperatur von 410°C geeignet sein und wird entsprechend dem Nenndurchmessers des Turboladerflansches in DN65 bestellt.

Es kommt der SA-10 DN65 PN2,5 Stahlkompensator der Firma Stenflex zum Einsatz.

2.6 Plattenwärmetauscher (PWT)

Für die Auslegung des Plattenwärmetauschers sind folgende Daten relevant:

1. Temperatur vor dem Wärmetauscher
2. Solltemperatur nach dem Wärmetauscher
3. Sollspreizung auf der Sekundärseite
4. Volumenstrom auf der Primärseite
5. Volumenstrom auf der Sekundärseite

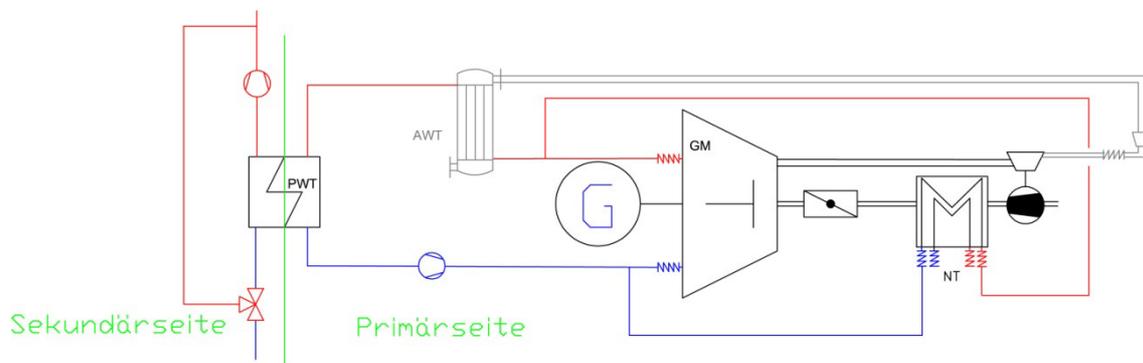


Abbildung 2-4 Skizze PWT Einbindung

zu 1. Temperatur vor dem Wärmetauscher

Die Temperatur vor dem Plattenwärmetauscher ist, wenn Leitungsverluste vernachlässigt werden, gleich der Temperatur nach dem AWT⁴⁰: 87,3°C

zu 2. Solltemperatur nach dem Wärmetauscher

Die Solltemperatur nach dem Wärmetauscher entspricht der mindest Motoreintrittstemperatur des Kühlwassers⁴¹: 80°C. Da aber kein Notkühler installiert wird, ist es wichtig die Kühlwassertemperatur mit dem Plattenwärmetauscher auch nach unten korrigieren zu können. Zu diesem Zweck wird der Plattenwärmetauscher etwas größer ausgelegt und die Austrittstemperatur auf 78°C festgelegt.

zu 3. Sollspreizung auf der Sekundärseite

Die Spreizung auf der Sekundärseite hat der Heizungsbauer mit 60°C-80°C vorgegeben.

zu 4. Der Volumenstrom auf der Primärseite entspricht dem des AWT⁴²: 13,2m³/h

⁴⁰ siehe A - 3.3 Datenblatt Abgaswärmetauscher

⁴¹ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.2

⁴² siehe A - 3.3 Datenblatt Abgaswärmetauscher

zu5. Volumenstrom auf der Sekundärseite

Der Volumenstrom auf der Sekundärseite ergibt sich aus dem Wärmestrom und der Spreizung auf der Sekundärseite. Der Wärmestrom ist durch Spreizung und Massenstrom auf der Primärseite vorgegeben.

Wärmestrom:

mit: Massenstrom Primärseite⁴³: $\dot{m}_P = \dot{m}_{ges} = 3,75 \frac{kg}{s}$
Temperaturdifferenz auf der Primärseite: $\Delta t_P = 87,3^\circ C - 78^\circ C = 9,3^\circ C$
spezifische Wärmekapazität bei $87,3^\circ C$ ⁴⁴: $cp \approx 3,79 \frac{J}{g \cdot K}$

$$\dot{Q}_{PWT} = \Delta t_P \cdot \dot{m}_P \cdot cp = 9,3^\circ C \cdot 3,75 \frac{kg}{s} \cdot 3,79 \frac{J}{g \cdot K} = 132,21 kW$$

Volumenstrom Sekundärseite:

mit: spezifische Wärmekapazität von Wasser bei $60^\circ C$ ⁴⁵:

$$cp_W = 4,183 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

Temperaturdifferenz auf der Sekundärseite: $\Delta t_S = 80^\circ C - 60^\circ C = 20K$

$$\dot{m}_S = \frac{\dot{Q}_{PWT}}{\Delta t_S \cdot cp_W} = \frac{132,21 kW}{20K \cdot 4,183 \frac{kJ}{kg \cdot K}} = 1,58 \frac{kg}{s}$$

Bei einer Temperatur von $60^\circ C$ und einem angenommenen statischen

Vordruck von einem bar hat Wasser eine Dichte von⁴⁶: $\rho_W \approx 982,77 \frac{kg}{m^3}$

Damit ergibt sich der Volumenstrom auf der Sekundärseite zu:

$$\dot{V}_S = \frac{\dot{m}_S}{\rho_W} = \frac{1,58 \frac{kg}{s}}{982,77 \frac{kg}{m^3}} = 5,79 \frac{m^3}{h}$$

⁴³ siehe 2.5.2.2 Berechnung der Kühlmitteltemperatur vor dem AWT

⁴⁴ siehe A - 4.2 Stoffwerte Glysantin

⁴⁵ vgl. VDI Wärmeatlas Dba5

⁴⁶ vgl. VDI Wärmeatlas Dda5 (interpoliert)

2.6.1.1 Anfrage Daten/technische Daten Plattenwärmetauscher

Mit untenstehenden Daten wurde ein Angebot von der Firma heat transfer eingeholt.

Kühlwassertemperatur vor dem PWT	87,3°C
Kühlwassertemperatur nach dem PWT	78°C
Volumenstrom auf Primärseite	120 l/min
Eintrittstemperatur Sekundärseite	60°C
Austrittstemperatur Sekundärseite	80°C

Der gelieferte Plattenwärmetauscher hat folgende Spezifikationen:

Auslegungsdaten für 1 x L57-30-GG-X

Betriebsdaten	Seite A	Seite B	
Medium:	Ethylen-Glycol 40 %	Wasser	
Zustand:	flüssig	flüssig	
Leistung:			129,1 kW
Massenstrom:			
Volumenstrom:	13,15	5,67	m ³ /h
Temperatur Eintritt:	87,3	60	°C
Temperatur Austritt:	78	80	°C
Druckverlust:	24,71	3,99	kPa
Flächenreserve:		116,7	%
Gesamthalt:		9	l
Wärmeübertragungsfläche:		4,2	m ²
Nenndruckstufe:		30	bar
Nenntemperatur:		200	°C

2.7 Motorkühlwasserkreislauf

Das Kühlwasser im Motorkreis kühlt den Motor, wird danach vom Abgaswärmetauscher zusätzlich aufgeheizt, um schließlich vom Plattenwärmetauscher wieder abgekühlt zu werden und den Kreislauf erneut zu beginnen. Der Plattenwärmetauscher gibt seinerseits die Energie auf der Sekundärseite an den Heizkreislauf ab.

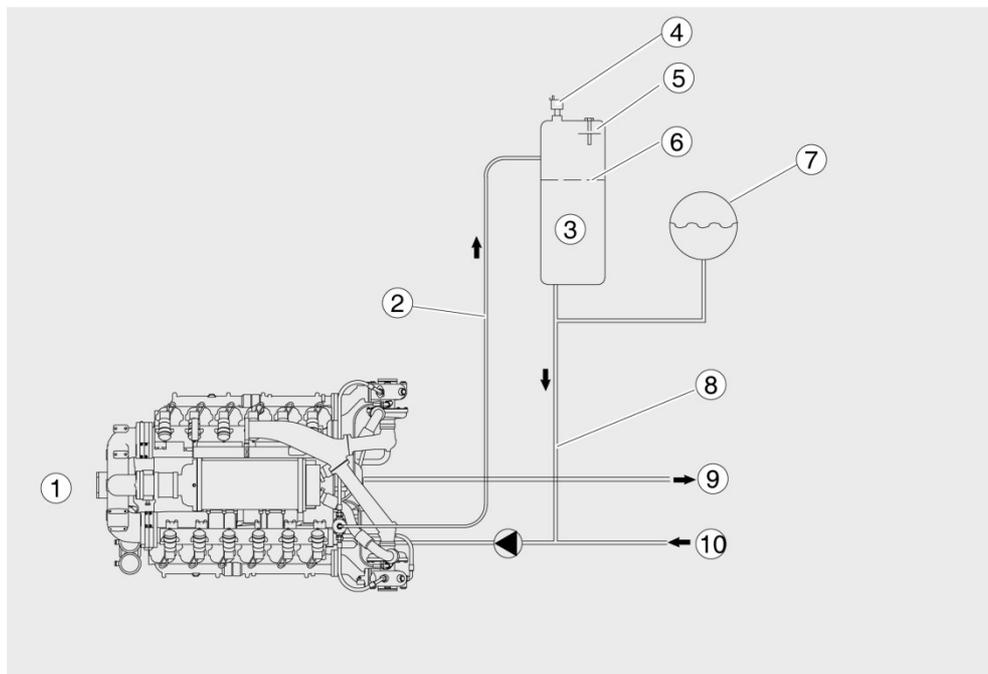
Idealerweise nimmt der Heizkreislauf den gesamten Wärmestrom des BHKW ab. Ist dies nicht der Fall, muss das BHKW gedrosselt oder im Extremfall ausgeschaltet werden.

Ist der Wärmebedarf des Heizkreislaufs größer als der Wärmestrom des BHKW wird auf der Sekundärseite des Plattenwärmetauscher über einen Mischer die Temperatur des Rücklaufs wieder soweit angehoben, dass die Kühlwassertemperatur am Motoreintritt die vorgeschriebenen 80°C hält.

Der Kühlwasserkreis muss entlüftet werden. Hierfür wird ein Entlüftungsbehälter mit Schnellentlüfter vorgesehen. Für einen konstanten Systemdruck sorgt ein Ausdehnungsgefäß.

Die unten stehende Abbildung zeigt schematisch den Kühlwasserkreis.

Im Fließbild⁴⁷ wird der gesamte Kreislauf dargestellt.



- | | |
|-----------------------------------|--|
| ① Motor | ⑦ Membran-Expansionsgefäß 0,6 bar |
| ② Entlüftungsleitung Ø 12 mm | ⑧ Verbindungsleitung zur Saugseite der Kühlmittelpumpe Ø 25 mm |
| ③ Entlüftungsbehälter | ⑨ Kühlmittelaustritt |
| ④ Selbsttätiges Entlüftungsventil | ⑩ Kühlmittelintritt |
| ⑤ Kühlmittelmangelsicherung | |
| ⑥ Platte mit 5x10 mm Bohrung | |

Überdruck-Sicherheitsventil	max.	3,5 bar
	min.	0,6 bar
Betriebsdruck:	max.	3,0 bar

Abbildung 2-5 Motorkühlwasserkreis (schematische Darstellung)⁴⁸

⁴⁷ siehe A - 1 Fließbild

Die niedrigste Temperatur im Motorkühlwasserkreis⁴⁹ ist 78°C, die höchst mögliche⁵⁰ ist 100°C, da dann der Sicherheitstemperaturbegrenzer auslöst. Der statische Vordruck der Anlage ist auf 0,55bar festgelegt, da dieser Druck mindestens nötig ist, um Kavitation an der Kühlmittel-Pumpe zu vermeiden⁵¹.

2.7.1 Bestimmung des Wasserinhaltes des Motorkreises

Der Wasserinhalt ergibt sich aus den jeweiligen Rohrleitungslängen und den Volumina der Komponenten. Die Rohrleitungslängen sind dem CAD-Model entnommen und gerundet.

Komponente	Volumen	
Motor ⁵²	13l	
AWT ⁵³	20l	
PWT ⁵⁴	4,5l	
	Länge	
Rohr DN50 (Innendurchmesser = 56,3mm)	4,5m	11,2l
Rohr DN40 (Innendurchmesser = 44,3mm)	2,3m	3,6l
Rohr DN20 (Innendurchmesser = 22,9mm)	3m	1,2l
	Summe: V _M =	53,5l

2.7.2 Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeiten im Motorkreis

Die Strömungsgeschwindigkeit errechnet sich aus dem Rohrinne Durchmesser und dem Volumenstrom.

$$c = \frac{4 \cdot \dot{V}}{d^2 \pi}$$

Rohr	Innendurchmesser d [mm]	Volumenstrom \dot{V} [m ³ /h]	Strömungsgeschwindigkeit c [m/s]
DN50	56,3	13,2	1,47
DN40	44,3	13,2	2,38
DN40	44,3	10,5	1,89
DN20	22,9	2,7	1,82

⁴⁸ vgl. MAN Einbauanleitung S.45

⁴⁹ siehe 2.6 Plattenwärmetauscher (PWT)

⁵⁰ siehe 2.9.1 Sicherheitstemperaturbegrenzer

⁵¹ siehe 2.7.4 Motorkühlwasserpumpe

⁵² siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.2

⁵³ siehe A - 3.3 Datenblatt Abgaswärmetauscher

⁵⁴ siehe A - 3.4 Datenblatt Plattenwärmetauscher

2.7.3 Bestimmung des Druckverlustes im Motorkreis

Zur Bestimmung des Strömungswiderstandes werden Temperatur und Dichte als konstant mit $t = 90^\circ\text{C}$ bzw. $\rho = 1017 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ angenommen.

2.7.3.1 Druckverluste durch Bauteile

Über den K_V -Wert eines Bauteils lässt sich die Druckerhöhung durch das Bauteil nach der VDI/VDE Richtlinie 2173 wie folgt errechnen⁵⁵.

$$\text{aus: } K_V = \dot{V} \cdot \sqrt{\frac{1\text{bar}}{\Delta p} \cdot \frac{\rho}{\rho_0}} \quad \rightarrow \quad \Delta p = \frac{\dot{V}^2}{K_V^2} \cdot \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 1\text{bar}$$

mit: ρ_0 Dichte von kaltem Wasser bei $15,6^\circ\text{C}$ und 1bar Druck⁵⁶: $\rho_0 = 998,32 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Bauteil	K_V -Wert ⁵⁷ [m ³ /h]	Volumenstrom [m ³ /h]	Druckerverlust [bar]
Absperrklappe DN50	90	13,2	0,022
Absperrklappe DN40	70	13,2	0,036

Die Druckverluste durch Motor, Abgaswärmetauscher und Plattenwärmetauscher sind vom Hersteller gegeben und den jeweiligen Datenblättern entnommen:

Bauteil	Druckverlust [bar]
Motor ⁵⁸	1,07
AWT ⁵⁹	0,08
PWT ⁶⁰	0,2471

2.7.3.2 Druckverluste in Rohrleitungen

Um den Druckverlust der Rohrleitungen zu berechnen wird die Reynoldzahl benötigt.

$$Re = \frac{c \cdot d \cdot \rho}{\eta} = \frac{c \cdot d}{\nu}$$

Die kinematische Viskosität des Glysantin-Wasser-Gemisches bei 90°C ist⁶¹:

$$\nu = 0,74 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

Rohr	Innendurchmesser d [mm]	Strömungsgeschwindigkeit c [m/s]	Reynoldzahl Re
DN50	56,3	1,47	111839
DN40	44,3	2,38	142478
DN40	44,3	1,89	113144

⁵⁵ vgl. VDI/VDE 2173 S.9

⁵⁶ vgl. VDI Wärmeatlas Dba2 (interpoliert)

⁵⁷ vgl. Belimo

⁵⁸ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.4

⁵⁹ siehe A - 3.3 Datenblatt Abgaswärmetauscher

⁶⁰ siehe A - 3.4 Datenblatt Plattenwärmetauscher

⁶¹ siehe A - 4.2 Stoffwerte Glysantin

Für die drei berechneten Strömungen gilt: $Re > 2320$. Es liegt also turbulente Strömung vor.

Die Ermittlung der Druckverluste erfolgt für turbulente Strömung nach Dubbel B50-B52.

Laminare Grenzschicht δ nach Prandtl⁶²:

$$\delta = \frac{34,2 \cdot d}{(0,5 \cdot Re)^{0,875}}$$

Die Wandrauigkeit ist⁶³ $k = 0,02\text{mm}$ für neue, gezogene, nahtlose Stahlrohre.

Rohr	Innendurchmesser d [mm]	Reynoldzahl Re	Grenzschicht δ [mm]	$\frac{\delta}{k}$	$65 \cdot \frac{d}{k}$
DN50	56,3	111839	0,135	6,751	182975
DN40	44,3	142478	0,086	4,298	143975
DN40	44,3	113144	0,105	5,2586	143975

Da $\delta/k \geq 1$ und $Re < 65 \cdot \frac{d}{k}$ gilt, liegen hydraulisch glatte Rohre vor⁶⁴.

Rohrreibungszahl nach der Formel von Nikuradse⁶⁵:

$$\lambda = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}}$$

Rohr	Reynoldzahl Re	Rohrreibungszahl λ
DN50	111839	0,0173
DN40	142478	0,0165
DN40	113144	0,0172

Mit den jeweiligen Rohrlängen ergibt sich der Druckverlust nach⁶⁶:

$$\Delta p_v = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho}{2} c^2$$

Rohr	Länge ⁶⁷ l [m]	Strömungsgeschwindigkeit c [m/s]	Rohrreibungszahl λ	Druckverlust Δp_v [mbar]
DN50	4,5	1,47	0,0173	15,16
DN40	1,3	2,38	0,0165	13,92
DN40	1	1,89	0,0172	7,06
Summe [bar]:				0,03614

Zu diesen Druckverlusten müssen noch die Druckverluste in Rohrbögen und T-Stücken addiert werden.

⁶² vgl. Dubbel B50

⁶³ vgl. Dubbel B51 Tabelle1

⁶⁴ vgl. Dubbel B50

⁶⁵ vgl. Dubbel B50

⁶⁶ vgl. Dubbel B50 Gleichung 11a

⁶⁷ die Rohrlängen wurden dem CAD-Modell entnommen

Es kommen nur Rohrbögen nach DIN EN 10253-2 Bauart 3D zum Einsatz.

Der Druckverlust errechnet sich zu: $\Delta p_v = \sum \zeta \cdot \rho \cdot \frac{c^2}{2}$

Anzahl	Einbauort	Typ	Strömungsgeschwindigkeit c [m/s]	Widerstandsbeiwert ⁶⁸ ζ	Druckverlust Δp_v [mbar]
1	Motorausgang	DN40 90°	1,89	0,21	3,81
1	vor Pumpe	T-Stück DN50	1,47	0,6	6,59
1	nach Pumpe	Etagenkrümmer DN50	1,47	0,84	9,23
5	nach AWT	DN50 90°	1,47	0,21	11,54
1	nach PWT	DN40 90°	2,38	0,21	6,05
Summe [bar]:					0,03722

Damit ergeben sich die Druckverluste aus den Rohrleitungen zu:

$$0,03614\text{bar} + 0,03722\text{bar} = 0,07336\text{bar} \approx 0,08\text{bar}$$

2.7.3.3 gesamter Druckverlust

Der Gesamte Druckverlust im Motorkreis ergibt sich aus der Summe der Druckverluste von Bauteilen und Rohrleitungen. Der dem Motor parallel geschaltete HT-Kühler wird bei dieser Rechnung nicht berücksichtigt. Über eine Drosselklappe im Zulauf des HT-Kühlers wird der Druckverlust so eingestellt, dass er bei dem vorhandenen Volumenstrom dem des Motors entspricht.

Quelle	Anzahl	Druckverlust [bar]	gesamt [bar]
Motor	1	1,07	1,07
AWT	1	0,08	0,08
PWT	1	0,2471	0,2471
Absperrklappe DN50	2	0,022	0,044
Absperrklappe DN40	2	0,036	0,072
Rohrleitungen			0,08
Summe:			1,5931 \approx 1,6

Der gesamt Druckverlust des Motorkreises ist also 1,6 bar.

⁶⁸ vgl. Dubbel B52 Bild 9 und 10

2.7.4 Motorkühlwasserpumpe

Es soll eine Pumpe der Firma Wilo eingesetzt werden. Die Pumpe wird mit Hilfe einer vom Hersteller zur Verfügung gestellten Auslegungssoftware ausgelegt. Als Ausgangsdaten werden folgende Werte in das Programm eingegeben:

zu fördernder Volumenstrom:	13,2 m ³ /h
Druckverlust im Motorkreis ⁶⁹ :	1,6 bar
Medium:	40%iges Wasser-Ethylenglykol-Gemisch
Fluidtemperatur ⁷⁰ :	85°C

Ausgewählt wurde die Pumpe Wilo IPL 50/130-2,2/2 mit dem zu erwartenden Betriebspunkt⁷¹:

Hydraulische Daten (Betriebspunkt)

Förderstrom	14,3	m ³ /h
Förderhöhe	18,5	m
Wellenleistung P2	1,38	kW
Drehzahl	2900	1/min
NPSH	1,06	m
Laufreddurchmesser	123	mm

2.7.4.1 Bestimmung des statischen Vordrucks im Motorkreis

Um Kavitation an der Pumpe zu verhindern, ist ein bestimmter Vordruck im Kreislauf nötig, dieser ist abhängig von dem NPSH-Wert (Net Positive Suction Head - Haltedruckhöhe) der Pumpe und dem Dampfdruck des Fördermediums.

Nach EN 12723 ist der NPSH-Wert als Differenz der absoluten statischen Energiehöhe und des Dampfdruckes bei zugehöriger Förderguttemperatur definiert⁷².

Der NPSH-Wert der Anlage (NPSHA - NPSH available) muss größer als der mindest NPSH-Wert der Pumpe (NPSHR - NPSH required) mit einem Sicherheitszuschlag von ca. 0,5m sein, um Kavitation zu vermeiden⁷³.

$$NPSHA \geq NPSHR + 0,5m$$

Der NPSHA-Wert errechnet sich nach⁷⁴:

$$NPSHA = \frac{p_{tot} - p_D}{\rho \cdot g}$$

Wobei p_{tot} der Druck im Ruhezustand gemessen in der Laufradmitte ist. Er ergibt sich aus dem statischen Vordruck und dem Druck der Wassersäule über der Pumpe:

$$p_{tot} = p_{st} + \rho \cdot g \cdot h_W$$

Die Höhe der Wassersäule wird gemessen von Pumpenmitte bis zum oberen

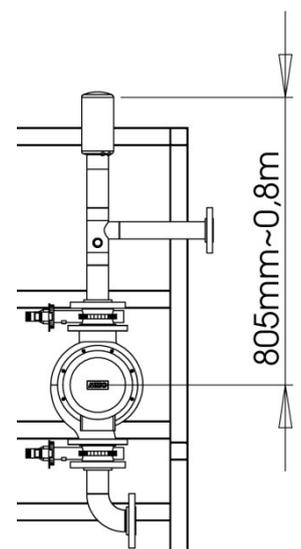


Abbildung 2-6 Wassersäule über der Pumpe

⁶⁹ siehe 2.7.3 Bestimmung des Druckverlustes im Motorkreis

⁷⁰ siehe 2.5.2.2 Berechnung der Kühlmitteltemperatur vor dem AWT

⁷¹ siehe A - 3.5 Datenblatt Wilo IPL50/130-2,2/2

⁷² vgl. EN 12723 S.12

⁷³ vgl. Dubbel R40

⁷⁴ vgl. Dubbel R39

Ende des Entlüftungsbehälters, an dieser Stelle ist die Wassermangelsicherung angebracht.

$$h_W \approx 0,8m$$

Mit der vorhergegangenen Bedingung ergibt sich der statische Vordruck zu:

$$p_{st} \geq (NPSHR + 0,5m - h_W) \cdot \rho \cdot g + p_D$$

mit: NPSHR-Wert der Pumpe⁷⁵: $NPSHR = 1,06m$

Dichte bei 85°C⁷⁶: $\rho = 1020 \frac{kg}{m^3}$

Dampfdruck des Fluids⁷⁷: $p_D = 0,43bar$

$$\begin{aligned} p_{st} &\geq (NPSHR + 0,5m - h_W) \cdot \rho \cdot g + p_D = (1,06m + 0,5m - 0,8m) \cdot 1020 \frac{kg}{m^3} \cdot g + 0,43bar \\ &= 0,506bar \approx 0,55bar \end{aligned}$$

Überprüfung des NPSHA-Wertes:

$$\begin{aligned} NPSHA &= \frac{p_{tot} - p_D}{\rho \cdot g} = \frac{p_{st} + \rho \cdot g \cdot h_W - p_D}{\rho \cdot g} = \frac{0,55bar + 1020 \frac{kg}{m^3} \cdot g \cdot 0,8m - 0,43bar}{1020 \frac{kg}{m^3} \cdot g} \\ &= 1,999m \approx 2m \end{aligned}$$

Es gilt also: $NPSHA = 2m > NPSHR + 0,5 = 1,06m + 0,5 = 1,56$

Der statische Vordruck wird also auf 0,55 bar festgelegt, er kann auch nicht wesentlich höher gewählt werden, da der maximale Betriebsdruck des Motors⁷⁸ von 2 bar nicht überschritten werden darf.

Mit den Druckverlusten des Motorkühlwasserkreises ergibt sich der Druck nach der Pumpe zu:

$$p_{max} = 0,55bar + 1,6bar = 2,15bar$$

Um den Motor nicht oberhalb seines Betriebsdrucks zu betreiben wird die Pumpe hinter dem Motor montiert. So befindet sich der Motor an der druckärmsten Position des Kreislaufs.

⁷⁵ siehe A - 3.5 Datenblatt Wilo IPL50/130-2,2/2

⁷⁶ siehe A - 4.2 Stoffwerte Glysantin

⁷⁷ siehe A - 4.2 Stoffwerte Glysantin

⁷⁸ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.2

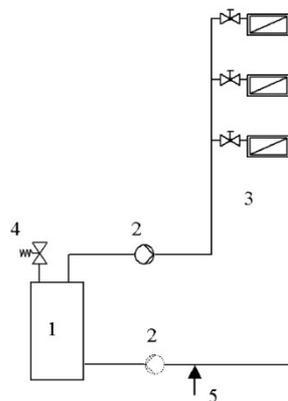
2.7.5 Massenausdehnungsgefäß (MAG)

In DIN 6280-14 ist festgelegt, dass jeder Wärmetauscher mit einem Ausdehnungsgefäß verbunden sein muss. Sind mehrere Wärmetauscher in einen Wasserkreislauf eingebunden, so können diese auch ein Ausdehnungsgefäß gemeinsam nutzen⁷⁹.

In diesem Fall müssen Absperrorgane, die zwischen den Wärmetauschern installiert sind, gegen unbeabsichtigtes Schließen gesichert werden.

"Bei handbedienbaren Absperrorganen genügt auch ein Schild mit dem Hinweis "Vor dem Schließen des Absperrorgans ist das BHKW außer Betrieb zu setzen!"⁸⁰

Die Absperrklappen an der Pumpe müssen folglich mit einem solchen Schild versehen werden.



Legende

- 1 Wärmeerzeuger
- 2 Umwälzpumpe
- 3 Heizkreis
- 4 Sicherheitsventil
- 5 empfohlener Einbaupunkt des Ausdehnungsgefäßes

Abbildung 2-7 Empfohlener Einbaupunkt des Ausdehnungsgefäßes in einem Heizsystem⁸¹

Die oben stehende Abbildung verdeutlicht den nach EN 12828 empfohlenen Einbaupunkt des MAG: Im kalten Rücklauf zum Wärmeerzeuger, also zwischen Plattenwärmetauscher und Motor.

Die Bestimmung der Größe des Ausdehnungsgefäßes erfolgt nach EN 12828 Anhang D:

- Vom Einstelldruck des Sicherheitsventils (2,5 bar)⁸² werden 10% abgezogen, um den Auslegungs- Enddruck zu erhalten⁸³: $p_e = 2,5bar - 10\% = 2,25bar$
- Der Auslegungs- Anfangsdruck p_0 ergibt sich aus dem statischen Vordruck (0,55 bar)⁸⁴ und dem Dampfdruck (0,38bar)⁸⁵ des Glysantin-Wasser-Gemische bei der im Rücklauf vorliegenden Temperatur (80°C). $p_0 = 0,55bar + 0,38bar = 0,93bar$

⁷⁹ vgl. DIN 6280-14 S.10

⁸⁰ vgl. DIN 6280-14 S.10

⁸¹ vgl. EN 12828 S.34

⁸² siehe 2.6.7 Sicherheitsventile

⁸³ vgl. EN 12828 S.33

⁸⁴ siehe 2.7.4 Motorkühlwasserpumpe

⁸⁵ siehe A - 4.2 Stoffwerte Glysantin

- Die maximale Überschwingtemperatur ist der Einstellwert des Sicherheitstemperaturbegrenzers (100°C)⁸⁶.
- Bei der Berechnung des Ausdehnungsvolumens wird von der Norm abgewichen, da ein Frostschutzmittel verwendet wird und sich die Norm auf reines Wasser bezieht.

Wie in der Norm wird von einer Befülltemperatur von 10°C ausgegangen.

Die Dichte des Wasser-Glyantin-Gemisches ist bei 10°C: $\rho_{10^\circ\text{C}} = 1,064 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

bei der maximalen Überschwingtemperatur 100°C ist sie: $\rho_{100^\circ\text{C}} = 1,009 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Damit ergibt sich das Ausdehnungsvolumen V_e mit dem Kühlmittelvolumen im Motorkreis⁸⁷
 $V_M = 53,5\text{l}$

$$\text{zu: } V_e = V_M \cdot \left(\frac{\rho_{10^\circ\text{C}}}{\rho_{100^\circ\text{C}}} - 1 \right) = 53,5\text{l} \cdot \left(\frac{1,064 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}{1,009 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} - 1 \right) = 2,92\text{l}$$

Nach Norm ergibt sich ein Ausdehnungsvolumen von $V_{eN} = e \cdot \frac{V_M}{100} = 4,21 \cdot \frac{53,5\text{l}}{100} = 2,25\text{l}$.

mit⁸⁸ $e = 4,21$ für 100°C maximale Überschwingtemperatur.

Es gilt also: $V_e > V_{eN}$

- Nach EN 12828 sollte das Ausdehnungsgefäß eine Wasservorlage V_{WR} aufnehmen, die eventuelle Wasserverluste des Systems ausgleichen kann. Diese Wasservorlage sollte bei Gefäßen, die größer als 15 Liter sind 0,5% des System Volumens betragen, jedoch mindestens 3l. Da $V_M \cdot 0,5\% = 53,5 \cdot 0,5\% = 0,27\text{l} < 3\text{l}$ wird mit einer Wasservorlage von $V_{WR} = 3\text{l}$ gerechnet.
- Das Mindestvolumen des Ausdehnungsgefäßes V_{MAGmin} errechnet sich nach⁸⁹:

$$V_{MAGmin} = (V_e + V_{WR}) \cdot \frac{p_e + 1}{p_e - p_0} = (2,92\text{l} + 3\text{l}) \cdot \frac{2,25\text{bar} + 1}{2,25\text{bar} - 0,93\text{bar}} = 14,57\text{l}$$

- Aus dem Program der Firma Reflex wird das nächst größere Ausdehnungsgefäß mit einem Volumen von $V_{MAG} = 18\text{l}$ gewählt.
- Die Wasservorlage ist demnach:

$$V_{WR} = V_{MAG} \cdot \frac{p_e - p_0}{p_e + 1} - V_e = 18\text{l} \cdot \frac{2,25\text{bar} - 0,93\text{bar}}{2,25\text{bar} + 1} - 2,92\text{l} = 4,39\text{l}$$

⁸⁶ siehe 2.9 Sensorik

⁸⁷ siehe 2.7.1 Bestimmung des Wasserinhaltes des Motorkreises

⁸⁸ vgl. EN 12828 Anhang D Tabelle D.2 S.36

⁸⁹ vgl. EN 12828 S.35

2.7.6 Sicherheitsventile

Nach DIN 6280-14 S.10 muss jeder Wärmetauscher mit einem Sicherheitsventil ausgerüstet sein. Wärmetauscher können zusammengeschaltet werden. In diesem Fall reicht ein Sicherheitsventil.

Es werden Sicherheitsventile mit "H"-Kennzeichnung und einem Ansprechdruck von 2,5 bar verwendet.

Ausgelegt wurden die Sicherheitsventile nach pr EN 12828 Anhang E.

Ventilgröße^a Nennweite DN	Maximale Wärmeleistung kW
15 (G ½)	50
20 (G ¾)	100
25 (G 1)	200
32 (G 1¼)	300
40 (G 1½)	600
50 (G 2)	900

^a Das Maß des Einlassanschlusses gilt als die Ventilgröße.

Tabelle 2-1 Sicherheitsventilgrößen bei Wärmeleistung⁹⁰

Die Wärmeleistung des Motors ist 54kW, der HT-Kreis hat 7kW, der Abgaswärmetauscher ist mit 34kW angegeben, zusammen also 95kW.

Der oben stehenden Tabelle ist zu entnehmen, dass für den Leistungsbereich zwischen 50 und 100 kW ein 3/4" Sicherheitsventil ausreicht. Es werden zwei Sicherheitsventile im Motorkreis installiert, eines zwischen Motor und Abgaswärmetauscher, ein weiteres zwischen Abgaswärmetauscher und Plattenwärmetauscher.

2.7.7 Kompensatoren

Wie in der Abgasleitung werden auch in den Wasserleitungen Kompensatoren zur schwingungstechnischen Trennung eingesetzt.

Es werden Willbrandt Gummikompensatoren Typ 50 DN40 rot verwendet.

Diese Kompensatoren sind für den Einsatz mit Frostschutzmittel geeignet und können bei einem Druck von bis zu 10 bar bis maximal 100°C eingesetzt werden⁹¹.

⁹⁰ vgl. prEN 12828 Anhang E4.5 S.48

⁹¹ vgl. Willbrandt S.25

2.7.8 Abschätzung der Aufheizzeit bis 100°C ohne Wärmeabnahme

Um die Zeit bis zum Erreichen von 100°C im Motorkreis abzuschätzen wird von einer mittleren Kühlwassertemperatur von 85°C ausgegangen, diese liegt zwischen der soll Vorlauftemperatur von 87,3°C und der soll Rücklauftemperatur von 80°C.

Es wird berechnet, in welcher Zeit sich der Wasserinhalt des Motorkreises 53,5l von der Ausgangstemperatur 85°C auf 100°C erhitzt. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Plattenwärmetauscher keine Wärme abnimmt und auch sonst keine Verluste auftreten, der Wärmeeintrag durch Motor 54kW, Abgaswärmetauscher 34kW und HT-Kühler 7kW aber konstant bleibt.

mit :	spezifischer Wärmekapazität bei 85°C ⁹² :	$cp_{85} = 3,78 \frac{kJ}{kgK}$
	Wärmestrom:	$\dot{Q}_{ein} = 54kW + 34kW + 7kW = 95kW$
	Temperaturdifferenz:	$\Delta T = 100^\circ C - 85^\circ C = 15K$
	Dichte bei 85°C ⁹³ :	$\rho_{85} = 1020 \frac{kg}{m^3}$
	Masse:	$m = 53,5l \cdot \rho = 54,57kg$

$$z_{100} = \frac{cp \cdot m \cdot \Delta T}{\dot{Q}_{ein}} = \frac{3,78 \frac{kJ}{kgK} \cdot 54,57kg \cdot 15K}{95kW} = 32,57s \approx 33s$$

Der Motorkühlwasserkreis braucht also in etwa 33s bis er sich auf 100°C aufgeheizt hat wenn plötzlich keine Wärme mehr von der Heizung abgenommen wird und das BHKW im Vollastbetrieb läuft. In dieser Zeit sollte die Lastregelung des BHKW bereits reagiert haben und die Leistung des BHKW drosseln um das Auslösen des Sicherheitstemperaturbegrenzers und damit eine Notabschaltung zu verhindern.

In der Regel wird die Wärmeabnahme von der Heizungsseite langsam abnehmen wenn der Wärmebedarf in der Werkhalle allmählich gedeckt ist. Dann wird die Leistung des BHKW entsprechend gedrosselt.

⁹² siehe A - 4.2 Stoffwerte Glysantin

⁹³ siehe A - 4.2 Stoffwerte Glysantin

2.8 NT-Kreis

Der Kühlwasserkreis für den Niedertemperatur-Gemischkühler besteht im Wesentlichen aus dem NT-Gemischkühler, dem Kühler, der Pumpe und dem Mischer.

Eine Übersicht gibt die unten stehende Abbildung, im Fließbild⁹⁴ wird der NT-Kreis mit allen Komponenten dargestellt.

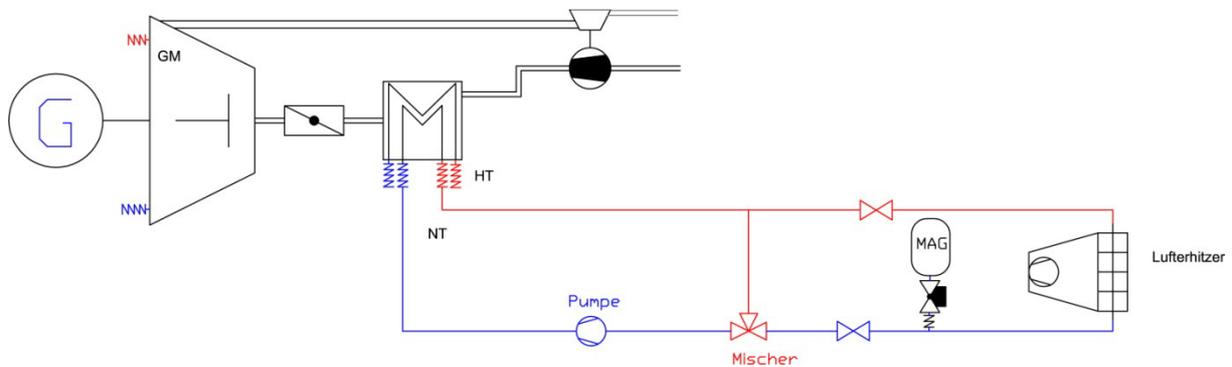


Abbildung 2-8 Skizze NT-Kreis

Um die Wärme zu nutzen, soll der Kühler in der Werkshalle installiert werden. Das hat zur Folge, dass die Rohrleitungslängen zwischen Kühler und Mischer noch nicht fest stehen. Da der Raum 10m lang ist, wird die Entfernung zwischen Kühler und BHKW mit 15m angenommen. Die Leitung mit Vor- und Rücklauf ist also ca. 30m lang.

Es bestehen zwei Möglichkeiten zur Temperaturregelung im NT-Kreis:

1. der Mischer
2. der Lüfter des Kühlers

Der Mischer kann die Kühlwassertemperatur im Rücklauf wieder anheben, wenn sie vom Kühler zu stark abgesenkt wurde.

Mit dem Lüfter des Kühlers kann die Kühlwassertemperatur nach Bedarf gesenkt werden, der Lüfter hat allerdings nur zwei Leistungsstufen. Aufgrund der langen Rohrleitungen wird die Regelung außerdem träge sein.

Wenn die Regelung über den Lüfter ausreichend Genau arbeitet, wird der Mischer nicht zum Einsatz kommen.

⁹⁴ siehe A - 1 Fließbild

2.8.1 Temperaturen im NT-Kreis

Vom Motorhersteller wird nur die maximale Rücklaufemperatur⁹⁵ mit $t_{NT Rmax} = 45^{\circ}C$ und der abzuführende Wärmestrom⁹⁶ mit $\dot{Q}_{NT} = 2kW$ vorgegeben. Um eine gewisse Sicherheit zu haben die Maximaltemperatur nicht zu erreichen wird die Regeltemperatur für den Rücklauf auf $t_{NT R} = 40^{\circ}C$ festgelegt.

Die Stoffwerte⁹⁷ dieser Rechnung werden mit $t = 45^{\circ}C$, $\rho = 1047 \frac{kg}{m^3}$, $cp = 3,65 \frac{kJ}{kg}$ als konstant angenommen.

Aus dem mindest Volumenstrom⁹⁸ $0,78 m^3/h$, der Rücklaufemperatur und dem Wärmestrom ergibt sich dann die Vorlaufemperatur zu:

$$t_{NT Vmin} = \frac{\dot{Q}_{NT}}{\dot{V}_{NT} \cdot \rho \cdot cp} + t_{NT R} = \frac{2kW}{0,78 \frac{m^3}{h} \cdot 1047 \frac{kg}{m^3} \cdot 3,65 \frac{kJ}{kg}} + 40^{\circ}C = 42,42^{\circ}C$$

$$t_{NT Vmax} = \frac{\dot{Q}_{NT}}{\dot{V}_{NT} \cdot \rho \cdot cp} + t_{NT Rmax} = \frac{2kW}{0,78 \frac{m^3}{h} \cdot 1047 \frac{kg}{m^3} \cdot 3,65 \frac{kJ}{kg}} + 45^{\circ}C = 47,42^{\circ}C$$

2.8.2 Kühlwasser Kühler NT-Kreis

Als Kühler im NT-Kreis soll ein vorhandener Lufterhitzer der Firma Kampmann vom Typ TIP 542036 verwendet werden. Der abzuführende Wärmestrom im NT-Kreis ist⁹⁹: $\dot{Q}_{NT} = 2kW$.

Die Leistung des Lufterhitzers ist dem Datenblatt für vorliegende Spreizung und Volumenstrom nicht genau zu entnehmen, liegt aber bei ca. $10kW$ ¹⁰⁰. Der Kühler ist also reichlich überdimensioniert.

Nach telefonischer Auskunft der Firma Kampmann hat der Lufterhitzer bei einem Volumenstrom von $13l/min$ einen Druckverlust von $\Delta p_{VTIP} = 0,36bar$.

2.8.3 Bestimmung des Wasserinhaltes des NT-Kreises

Der Wasserinhalt ergibt sich aus den jeweiligen Rohrleitungslängen und den Volumina der Komponenten. Durch die angenommene Rohrleitungslänge entsteht eine große Unsicherheit, daher wird der Wasserinhalt auf Grundlage folgender Daten geschätzt.

Komponente	Volumen	
TIP Lufterhitzer ¹⁰¹	1,6l	
	Länge	
Rohr DN25 (Innendurchmesser = 29,7mm)	30m	20,8l
Schlauch 3/4" (Innendurchmesser = 21,6mm)	1,2m	0,44l
	Summe:	22,84l

Der Wasserinhalt des NT-Kreises wird mit $V_{NT} = 25l$ angenommen.

⁹⁵ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.2

⁹⁶ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.3

⁹⁷ siehe A - 4.2 Stoffwerte Glysantin

⁹⁸ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.2

⁹⁹ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.3

¹⁰⁰ siehe A - 3.7 Datenblatt TIP Lufterhitzer

¹⁰¹ siehe A - 3.7 Datenblatt TIP Lufterhitzer

2.8.4 Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeiten im NT-Kreis

Die Strömungsgeschwindigkeit errechnet sich aus dem Rohrinne Durchmesser und dem Volumenstrom.

$$c = \frac{4 \cdot \dot{V}}{d^2 \pi}$$

Rohr	Innendurchmesser d [mm]	Volumenstrom ¹⁰² \dot{V} [m ³ /h]	Strömungsgeschwindigkeit c [m/s]
DN25	29,7	0,78	0,31
3/4"	21,6	0,78	0,59

2.8.5 Bestimmung des Druckverlustes im NT-Kreis

Zur Bestimmung des Strömungswiderstandes werden Temperatur und Dichte als konstant mit $t = 45^\circ\text{C}$ bzw. $\rho = 1047 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ angenommen.

2.8.5.1 Druckverluste durch Bauteile

Über den K_V -Wert werden wie schon bei der Berechnung der Druckverluste des Motorkreises, die Druckverluste von Mischer und Kugelhahn bestimmt.

$$\text{aus: } K_V = \dot{V} \cdot \sqrt{\frac{1\text{bar}}{\Delta p} \cdot \frac{\rho}{\rho_0}} \quad \rightarrow \quad \Delta p = \frac{\dot{V}^2}{K_V^2} \cdot \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 1\text{bar}$$

mit: ρ_0 Dichte von kaltem Wasser bei $15,6^\circ\text{C}$ und 1bar Druck¹⁰³: $\rho_0 = 998,32 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Bauteil	K_V - Wert ¹⁰⁴ [m ³ /h]	Volumenstrom [m ³ /h]	Druckverlust [bar]
Kugelhahn DN25	6,3	0,78	0,084
Mischer R518	6,3	0,78	0,016

Die Druckverluste durch NT-Gemischkühler und Lufterhitzer sind vom Hersteller gegeben.

Bauteil	Druckverlust [bar]
NT-Kühler ¹⁰⁵	0,240
Lufterhitzer ¹⁰⁶	0,36

¹⁰² siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.2

¹⁰³ vgl. VDI Wärmeatlas Dba2 (interpoliert)

¹⁰⁴ vgl. Belimo

¹⁰⁵ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.6

¹⁰⁶ Siehe 2.8.2 Kühlwasser Kühler NT-Kreis

2.8.5.2 Druckverluste in Rohrleitungen

Um die Druckverluste der Rohrleitungen zu berechnen, wird die Reynoldzahl benötigt.

$$Re = \frac{c \cdot d \cdot \rho}{\eta} = \frac{c \cdot d}{\nu}$$

Die kinematische Viskosität des Glysantin-Wasser-Gemisches bei 40°C ist¹⁰⁷: $\nu = 2,8 \frac{mm^2}{s}$

Rohr	Innendurchmesser d [mm]	Strömungsgeschwindigkeit c [m/s]	Reynoldzahl Re
DN25	29,7	0,31	3288
3/4"	21,6	0,59	4551

Für die zwei berechneten Strömungen gilt: $Re > 2320$. Es liegt also turbulente Strömung vor.

Die Ermittlung der Druckverluste erfolgt für turbulente Strömung nach Dubbel B50-B52.

Laminare Grenzschicht δ nach Prandtl¹⁰⁸:

$$\delta = \frac{34,2 \cdot d}{(0,5 \cdot Re)^{0,875}}$$

Die Wandrauigkeit ist¹⁰⁹ $k = 0,02mm$ für neue, gezogene, nahtlose Stahlrohre.

Rohr	Innendurchmesser d [mm]	Reynoldzahl Re	Grenzschicht δ [mm]	$\frac{\delta}{k}$	$65 \cdot \frac{d}{k}$
DN25	29,7	3288	1,559	77,95	96525
3/4"	21,6	4551	0,853	42,655	70200

Da $\delta/k \geq 1$ und $Re < 65 \cdot \frac{d}{k}$ gilt, liegen hydraulisch glatte Rohre vor¹¹⁰.

Rohrreibungszahl nach der Formel von Nikuradse¹¹¹:

$$\lambda = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}}$$

Rohr	Reynoldzahl Re	Rohrreibungszahl λ
DN25	3288	0,0356
3/4"	4551	0,0332

¹⁰⁷ siehe A - 4.2 Stoffwerte Glysantin

¹⁰⁸ vgl. Dubbel B50

¹⁰⁹ vgl. Dubbel B51 Tabelle1

¹¹⁰ vgl. Dubbel B50

¹¹¹ vgl. Dubbel B50

Mit den jeweiligen Rohrlängen ergibt sich der Druckverlust nach¹¹²:

$$\Delta p_v = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho}{2} c^2$$

Rohr	Länge l [m]	Strömungsgeschwindigkeit c [m/s]	Rohrreibungszahl λ	Druckverlust Δp [mbar]
DN25	30m	0,31	0,0356	18,103
3/4"	1,2m	0,59	0,0332	3,3631
Summe [bar]:				0,0215

Zu diesen Druckverlusten müssen noch die Druckverluste in den Rohrbögen addiert werden.

Es werden pauschal 10 Rohrbögen in DN25 angenommen.

mit: $c = 0,31 \frac{m}{s}$

$$\zeta = 0,21^{113}$$

$$\Delta p_{vBögen} = \sum \zeta \cdot \rho \cdot \frac{c^2}{2} = 10 \cdot 0,21 \cdot 1047 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{0,31 \frac{m}{s}}{2} = 1,056 \text{ mbar} = 0,0011 \text{ bar}$$

Damit ergeben sich die Druckverluste aus den Rohrleitungen zu:

$$0,0215 \text{ bar} + 0,0011 \text{ bar} = 0,023 \text{ bar}$$

2.8.5.3 gesamter Druckverlust

Der Gesamte Druckverlust im NT-Kreis ergibt sich aus der Summe der Druckverluste von Bauteilen und Rohrleitungen.

Quelle	Anzahl	Druckverlust [bar]	gesamt [bar]
NT-Kühler	1	0,240	0,240
Lufterhitzer	1	0,36	0,36
Kugelhahn DN25	2	0,084	0,168
Mischer R518	1	0,016	0,016
Rohrleitungen			0,023
Summe:			0,807 ≈ 0,8

Der gesamt Druckverlust des NT-Kreises ist also 0,8bar.

¹¹² vgl. Dubbel B50 Gleichung 11a

¹¹³ vgl. Dubbel B52 Bild 9

2.8.6 NT-Kreis-Pumpe

Es soll eine Pumpe der Firma Wilo eingesetzt werden. Die Pumpe wird mit Hilfe einer vom Hersteller zur Verfügung gestellten Auslegungssoftware ausgelegt. Als Ausgangsdaten werden folgende Werte in das Programm eingegeben:

zu fördernder Volumenstrom: 0,78m³/h
Druckverlust im Motorkreis¹¹⁴: 0,8 bar
Medium: 40%iges Wasser-Ethylenglykol-Gemisch
Fluidtemperatur¹¹⁵: 40°C

Ausgewählt wurde die Pumpe Wilo TOP-S 30/10 3~ PN10 mit dem zu erwartenden Betriebspunkt¹¹⁶:

Hydraulische Daten (Betriebspunkt)

Förderstrom	0,772	m ³ /h
Förderhöhe	7,55	m
Leistungsaufnahme P1	0,141	kW
Drehzahl	1800	1/min

Diese Pumpe kann mit drei Leistungsstufen betrieben werden, der Betriebspunkt bezieht sich auf die kleinste Leistungsstufe. Die Pumpe bietet also ausreichend Reserven.

Nach der Wilo Einbauanleitung¹¹⁷ ist für diese Pumpe bis 95°C ein Vordruck von 0,5 bar ausreichend um einen kavitationsfreien Betrieb zu gewährleisten.

Der Vordruck wird mit 1bar gewählt.

2.8.7 Massenausdehnungsgefäß (MAG)

Die Auslegung des Ausdehnungsgefäßes erfolgt wie schon bei der Auslegung des Ausgleichsgefäßes des Motorkreises nach EN 12828 Anhang D:

- Vom Einstelldruck des Sicherheitsventils (2,5 bar)¹¹⁸ werden 10% abgezogen um den Auslegungs-Enddruck zu erhalten¹¹⁹: $p_e = 2,5bar - 10\% = 2,25bar$
- Der Auslegungs-Anfangsdruck p_0 ergibt sich aus dem statischen Vordruck (1 bar)¹²⁰ und dem Dampfdruck (0,058bar)¹²¹ des Glyantin-Wasser-Gemische bei der im Rücklauf vorliegenden Regeltemperatur (40°C). $p_0 = 1bar + 0,058bar = 1,058bar$
- Die maximale Überschwingtemperatur ist die maximale Vorlauftemperatur $47,42°C \approx 48°C$
- Bei der Berechnung des Ausdehnungsvolumens wird von der Norm abgewichen, da ein Frostschutzmittel verwendet wird und sich die Norm auf reines Wasser bezieht.

¹¹⁴ siehe 2.7.3 Bestimmung des Druckverlustes im Motorkreis

¹¹⁵ siehe 2.5.2.2 Berechnung der Kühlmitteltemperatur vor dem AWT

¹¹⁶ siehe A - 3.6 Datenblatt Wilo TOP-S 30/10 3~ PN10

¹¹⁷ vgl. Wilo

¹¹⁸ siehe 2.8.8 Sicherheitsventil

¹¹⁹ vgl. EN 12828 S.33

¹²⁰ siehe 2.8.6 NT-Kreis-Pumpe

¹²¹ siehe A - 4.2 Stoffwerte Glyantin

Wie in der Norm wird von einer Befülltemperatur von 10°C ausgegangen.

Die Dichte des Wasser-Glyantin-Gemisches ist bei 10°C: $\rho_{10^\circ\text{C}} = 1,064 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

bei der maximalen Überschwingtemperatur 48°C ist sie: $\rho_{48^\circ\text{C}} = 1,03 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Damit ergibt sich das Ausdehnungsvolumen V_e mit dem NT-Kreisvolumen¹²² $V_{NT} = 25\text{l}$

zu:
$$V_e = V_M \cdot \left(\frac{\rho_{10^\circ\text{C}}}{\rho_{48^\circ\text{C}}} - 1 \right) = 25\text{l} \cdot \left(\frac{1,064 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}{1,03 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} - 1 \right) = 0,83\text{l}$$

- Nach EN 12828 sollte das Ausdehnungsgefäß eine Wasservorlage V_{WR} aufnehmen, die eventuelle Wasserverluste des Systems ausgleichen kann. Diese Wasservorlage sollte bei Gefäßen, die kleiner als 15 Liter sind 20% ihres Volumens betragen.
- Das Mindestvolumen des Ausdehnungsgefäßes V_{MAGmin} errechnet sich nach¹²³:

$$V_{MAGmin} = (V_e + V_{WR}) \cdot \frac{p_e + 1}{p_e - p_0} \quad \text{mit:} \quad V_{WR} = 0,2 V_{MAGmin}$$

$$\rightarrow V_{MAGmin} = \frac{V_e \cdot \frac{p_e + 1}{p_e - p_0}}{1 - 0,2 \cdot \frac{p_e + 1}{p_e - p_0}} = \frac{0,83\text{l} \cdot \frac{2,25\text{bar} + 1}{2,25\text{bar} - 1,058\text{bar}}}{1 - 0,2 \cdot \frac{2,25\text{bar} + 1}{2,25\text{bar} - 1,058\text{bar}}} = 5\text{l}$$

- Aus dem Programm der Firma Reflex wird das kleinste Ausdehnungsgefäß der Reflex N Baureihe mit einem Volumen von $V_{MAG} = 8\text{l}$ gewählt.
- Die Wasservorlage ist demnach:

$$V_{WR} = V_{MAG} \cdot \frac{p_e - p_0}{p_e + 1} - V_e = 8\text{l} \cdot \frac{2,25\text{bar} - 1,058\text{bar}}{2,25\text{bar} + 1} - 0,83\text{l} = 2,1\text{l}.$$

2.8.8 Sicherheitsventil

Das Sicherheitsventil wird hinter dem NT-Kühler eingebaut.

Es wird das nach EN 12828 kleinste zulässige¹²⁴ Sicherheitsventil DN 15 mit "H"-Kennzeichnung und einem Ansprechdruck von 2,5 bar verwendet. Dieses Sicherheitsventil ist zulässig bis Wärmeleistungen von 50kW¹²⁵.

¹²² siehe 2.7.1 Bestimmung des Wasserinhaltes des Motorkreises

¹²³ vgl. EN 12828 S.35

¹²⁴ vgl. EN 12828 S.17

¹²⁵ siehe Tabelle 2.1 oder vgl. pr EN 12828 Anhang E S.48

2.9 Sensorik

Die Sensorik wird nur im Fließbild eingezeichnet, ist also weder im CAD-Model noch auf den Fertigungszeichnungen zu finden.

Einige Sensoren werden von der Norm vorgeschrieben, andere sind nötig, um den Prozess regeln zu können. Je mehr Sensorik verbaut wird, desto besser kann der Prozess überwacht werden.

2.9.1 Sicherheitstemperaturbegrenzer (STB)

Nach EN 12828 ist ein Sicherheitstemperaturbegrenzer im Vorlauf der Anlage vorzusehen¹²⁶. Der Sicherheitstemperaturbegrenzer ist ein mechanisches Bauteil, das bei Überschreitung der maximal zulässigen Temperatur das BHKW ausschaltet. Die Anlage kann erst nach manueller Rückstellung des Sicherheitstemperaturbegrenzers wieder angefahren werden. Die Auslösetemperatur des Sicherheitstemperaturbegrenzers sollte ca. 10K über der maximal zulässigen Regeltemperatur liegen.¹²⁷

Die maximal zulässige Regeltemperatur ergibt sich bei gleicher Spreizung im Abgaswärmetauscher und einer maximalen Motoraustrittstemperatur von 88°C¹²⁸ zu: $88^{\circ}\text{C} + 2,3^{\circ}\text{C} = 90,3^{\circ}\text{C}$

Folglich wird der Sicherheitstemperaturbegrenzer auf 100°C eingestellt.

Im NT-Kreis ist kein Sicherheitstemperaturbegrenzer notwendig, da bis Temperaturen von 105°C auf der Primärseite des Wärmetauschers eine Vorrichtung zur Regelung der Betriebstemperatur ausreichend ist¹²⁹.

2.9.2 Wassermangelsicherung (WMS)

EN 12828 schreibt für geschlossene Anlagen eine Wassermangelsicherung zum Schutz vor unzulässigem Aufheizen im Fall von Wassermangel vor¹³⁰.

Die Wassermangelsicherung ist am höchsten Punkt des Kreislaufs anzubringen.

Es werden zwei Wassermangelsicherungen benötigt: eine im Motorkühlwasserkreis und eine weitere im NT-Kreis.

¹²⁶ vgl. EN 12828 S.16

¹²⁷ D&B

¹²⁸ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.2

¹²⁹ vgl. EN 12828 S.16

¹³⁰ vgl. EN 12828 S.17

2.9.3 Liste der verbauten Sensorik

Temperatursensoren

Bezeichnung	Medium - Einbaulage
T111	Kühlwasser - Motorblock
T112	Kühlwasser - Motorausstritt (max. 88°C)
T113	Kühlwasser - AWT-Eintritt
T114	Kühlwasser - Sicherheitstemperaturbegrenzer; AWT-Austritt
T115	Kühlwasser - AWT-Austritt/PWT-Eintritt
T121	Kühlwasser - PWT-Austritt/Motoreintritt (80°C)
T133	Kühlwasser - HT-Kühlerausstritt
T210	Kühlwasser - NT-Kühlereintritt
T211	Kühlwasser - NT-Kühlerausstritt
T212	Kühlwasser - NT-Kreis vor Mischer
T410	Gemisch - Motoreintritt (50°C)
T420	Ansaugluft - Luftfilteraustritt
T510	Abgas - Motorausstritt
T512	Abgas - Turboladeraustritt
T520	Abgas - AWT-Austritt
T610	Motoröl - Motorölwanne
T710	Kühlwasser - Vorlauf Sekundärkreis PWT-Ausgang
T711	Kühlwasser - Rücklauf Sekundärkreis PWT-Eingang
T810	Umgebungsluft - Raumtemperatur

Drucksensoren

Bezeichnung	Medium - Einbaulage
P110	Kühlwasser - Wassermangelsicherung; höchster Punkt im Motorkreis
P111	Kühlwasser - Motoreintritt (max. 2bar)
P112	Kühlwasser - Motorausstritt
P113	Kühlwasser - AWT-Eintritt
P115	Kühlwasser - AWT-Austritt/PWT-Eintritt
P132	Kühlwasser - HT-Kühlereintritt
P133	Kühlwasser - HT-Kühlerausstritt
P210	Kühlwasser - Wassermangelsicherung; höchster Punkt im NZ-Kreislauf
P212	Kühlwasser - NT-Kühlereintritt
P410	Gemisch - Motoreintritt/Ladeluftdruck
P420	Ansaugluft - Luftfilteraustritt/Ansaugunterdruck (max. 15mbar)
P512	Abgas - Turboladeraustritt/Abgasgegendruck (max. 40mbar)
P610	Motoröl - Motorölkreislauf/Schmieröldruck
P620	Motoröl - Ölfüllstand (Murphy)

Analyse

P810	Umgebungsluft - Gasmonitor
------	----------------------------

2.10 Schwingungsdämpfer

Die Schwingungsdämpfer sollen, ähnlich den Kompensatoren in den Rohrleitungen, die bewegten Teile Motor und Generator schwingungstechnisch vom Rahmen entkoppeln. Dabei müssen sie das Gewicht der Bauteile tragen können.

Für die Auslegung sind die wirkenden Kräfte zu ermitteln. Der Schwerpunkt und das Gewicht des Generators sind bekannt¹³¹, vom Motor ist nur das Gewicht bekannt, der Schwerpunkt wird geschätzt. Die Schwerpunkte werden in der folgenden Abbildung dargestellt:

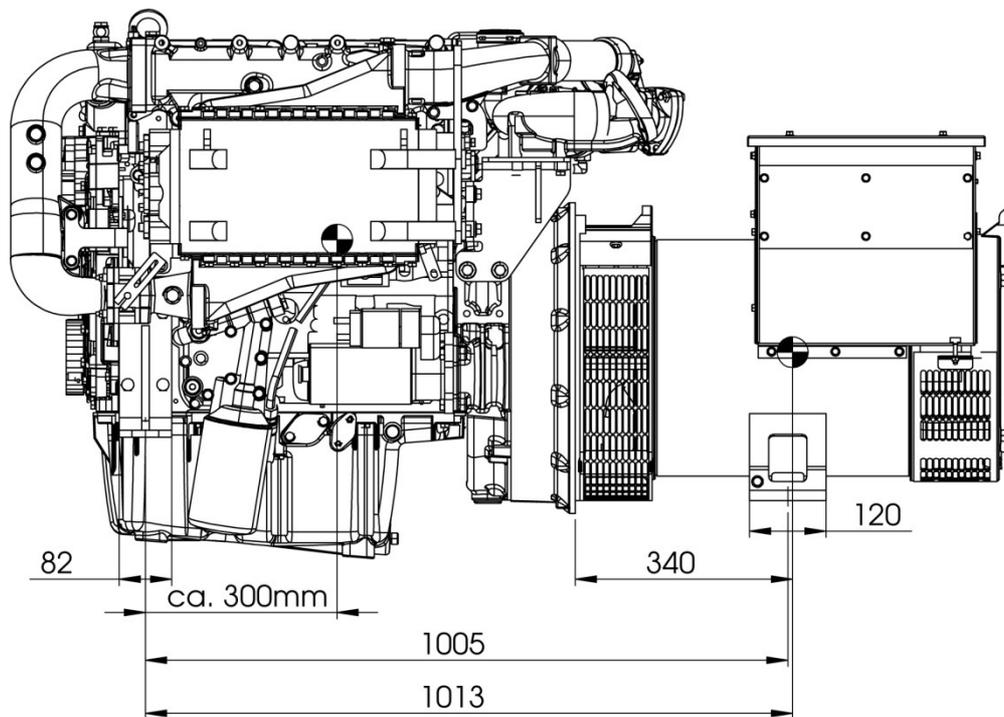


Abbildung 2-9 Schwerpunkte des schwingenden Systems

Die Gewichte sind:

- Motorgewicht ergibt sich aus¹³²:

1. Motortrockengewicht: 495kg
2. Füllmenge Schmieröl: 13l
3. Füllmenge Kühlwasser: 13l

(die Dichten von Kühlwasser und Schmieröl werden überschlägig mit 1kg/l angenommen)

$$m_M = 495\text{kg} + 13\text{kg} + 13\text{kg} = 521\text{kg}$$

- Generator¹³³: $m_G=320\text{kg}$
- Gesamt: $m_g=841\text{kg}$

¹³¹ vgl. Leroy Somer S.10

¹³² siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.2

¹³³ vgl. Leroy Somer S.10

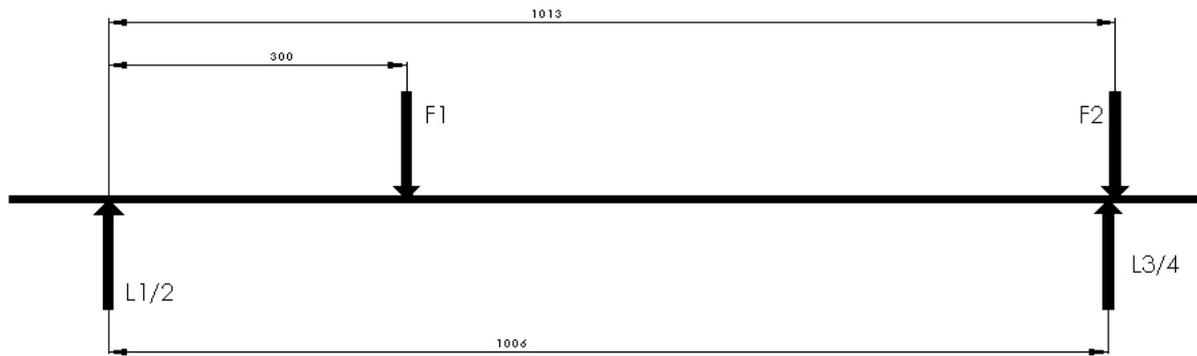


Abbildung 2-10 Lagerkräfte

$$F_1 = 521 \text{ kg} \cdot g = 5111,01 \text{ N} \approx 5115 \text{ N}$$

$$F_2 = 320 \text{ kg} \cdot g = 3139,2 \text{ N} \approx 3140 \text{ N}$$

$$\sum M_{1/2} = 0 = F_1 \cdot 300 \text{ mm} + F_2 \cdot 1013 \text{ mm} - L_{3/4} \cdot 1006 \text{ mm}$$

$$\rightarrow L_{3/4} = \frac{F_1 \cdot 300 \text{ mm} + F_2 \cdot 1013 \text{ mm}}{1006 \text{ mm}} = \frac{5115 \text{ N} \cdot 300 \text{ mm} + 3140 \text{ N} \cdot 1013 \text{ mm}}{1006 \text{ mm}} = 4687,2 \text{ N} \approx 4690 \text{ N}$$

$$\sum F_{\downarrow} = 0 = F_1 + F_2 - L_{1/2} - L_{3/4}$$

$$\rightarrow L_{1/2} = F_1 + F_2 - L_{3/4} = 5115 \text{ N} + 3140 \text{ N} - 4690 \text{ N} = 3565 \text{ N}$$

Quer zur Kurbelwelle liegen die Schwerpunkte mittig zwischen den Lagern, also auf der Kurbel- bzw. Generatorwelle. Die Kräfte $L_{1/2}$ und $L_{3/4}$ werden folglich noch einmal halbiert um die vier Lagerkräfte zu erhalten:

$$L_1 = L_2 = \frac{L_{1/2}}{2} = \frac{3565 \text{ N}}{2} = 1782,5 \text{ N}$$

$$L_3 = L_4 = \frac{L_{3/4}}{2} = \frac{4690 \text{ N}}{2} = 2345 \text{ N}$$

Es wird eine ContiTech Schwingmetall Schiene als Schwingungsdämpfer verwendet.

Die Auslegung erfolgt nach den Unterlagen des Herstellers.

Es ist ein Isoliergrad von $\eta > 0,75$ anzustreben.¹³⁴ Gewählt wurde $\eta_{\text{soll}} = 0,85$.

Die Erregerschwingzahl v_{err} ist gleich der Motornendrehzahl¹³⁵: $v_{\text{err}} = 1500 \text{ 1/min}$

¹³⁴ vgl. Schwingmetall S.3

¹³⁵ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.2

Aus dem Isoliergrad und der Erregerschwingzahl errechnet sich die erforderliche Eigenschwingungszahl $v_{e\text{ erf}}$:

$$\text{aus}^{136}: \eta = 1 - \frac{1}{\left(\frac{v_{err}}{v_e}\right)^2 - 1} \quad \text{für: } \eta \geq 0,85$$

$$v_{e\text{ erf}} \leq v_{err} \cdot \sqrt{\frac{1 - \eta_{soll}}{2 - \eta_{soll}}} = 1500 \frac{1}{\text{min}} \cdot \sqrt{\frac{1 - 0,85}{2 - 0,85}} = 541,74 \frac{1}{\text{min}} \approx 542 \frac{1}{\text{min}}$$

Die Standardschiene bei D&B ist Schiene Typ 1 100 x 80.

Die Länge der Schiene ergibt sich aus der Belastung. Pro cm Länge trägt die Schiene 500 N.¹³⁷

Die Länge ergibt sich also zu:

$$l_{1/2} = \frac{L_1}{500} = \frac{1782,5\text{N}}{500 \frac{\text{N}}{\text{cm}}} = 3,565\text{cm}$$

$$l_{3/4} = \frac{L_3}{500} = \frac{2345\text{N}}{500 \frac{\text{N}}{\text{cm}}} = 4,69\text{cm}$$

Gewählt wird als einheitliche Länge für alle vier Schienen $l=5\text{cm}$.

Pro cm Länge hat die Schiene eine Federsteifigkeit von $122 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$ ¹³⁸

Die vorliegende Federsteifigkeit ergibt sich zu: $c = 4 \cdot 5\text{cm} \cdot 122 \frac{\text{N/mm}}{\text{cm}} = 2440 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$

Überprüfung der Eigenschwingungszahl¹³⁹:

$$v_e = \frac{30}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{m_g} \cdot 1000} = \frac{30}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{2440 \frac{\text{N}}{\text{mm}}}{841 \text{kg}} \cdot 1000} = 514,36 \frac{1}{\text{min}}$$

$$v_e = 514,36 \frac{1}{\text{min}} < v_{e\text{ erf}} = 542 \frac{1}{\text{min}}$$

Die Eigenschwingungszahl ist also in Ordnung.

¹³⁶ vgl. Schwingmetall S.83

¹³⁷ vgl. Schwingmetall S.24

¹³⁸ vgl. Schwingmetall S.24

¹³⁹ vgl. Schwingmetall S.82

Überprüfung des Isolierungsgrads¹⁴⁰:

$$\eta = 1 - \frac{1}{\left(\frac{v_{err}}{v_e}\right)^2 - 1} = 1 - \frac{1}{\left(\frac{1500 \frac{1}{min}}{514,36 \frac{1}{min}}\right)^2 - 1} = 0,867$$

$$\eta = 0,867 > \eta_{soll} = 0,85$$

Der Isolierungsgrad ist ebenso in Ordnung.

¹⁴⁰ vgl. Schwingmetall S.83

2.11 Lüftung des Maschinenraumes

Für die Auslegung der Lüftung ist die Strahlungswärme der Komponenten relevant.

Die Strahlungswärme des Motors ist mit max.13 kW angegeben¹⁴¹. Die des Generators ergibt sich aus dem Wirkungsgrad (93,5%)¹⁴² zu: $68kW \cdot (1 - 0,935) = 4,42kW \approx 5kW$.

Für die Hilfseinrichtungen, wie Rohrleitungen, Mischer usw. werden überschlägig 6kW angenommen.

So ergibt sich für die gesamte Anlage eine Strahlungswärme von:

$$\dot{Q}_{BHKW} = 13kW + 5kW + 6kW = 24kW$$

Über die Lüftung muss also mindestens ein Wärmestrom von 24kW abgeführt werden. Zusätzlich muss die Verbrennungsluft dem Motor zugeführt werden¹⁴³: $\dot{V}_V = 206,528 \frac{m^3}{h} \approx 210 \frac{m^3}{h}$

Die Raumtemperatur im Maschinenraum soll sich maximal auf 30°C erwärmen, das heißt bei dieser Temperatur muss die Lüftung in der Lage sein die gesamte Strahlungswärme abzuführen.

Die Ansaugtemperatur wird mit 20°C angenommen. Es ist davon auszugehen, dass die Ansaugtemperatur in Wirklichkeit geringer ist, da das BHKW wärmegeführt ist, also nur zu Heizzwecken in der kalten Jahreszeit in Betrieb genommen wird.

Die Stoffwerte von Luft sind bei diesen Temperaturen und einem Druck von 100kPa nach Normbezugsbedingungen¹⁴⁴:

Temperatur:	$t_{ein} = 20^\circ C$	$t_{aus} = 30^\circ C$
spezifische Wärmekapazität ¹⁴⁵ :	$cp_{20} = 1,0064 \frac{kJ}{kg K}$	$cp_{30} = 1,0067 \frac{kJ}{kg K}$
Dichte ¹⁴⁶ :	$\rho_{20} = 1,1900 \frac{kg}{m^3}$	$\rho_{30} = 1,1504 \frac{kg}{m^3}$

Der abzuführende Volumenstrom ergibt sich so zu:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{ab} &= \frac{\dot{Q}_{BHKW}}{(cp_{30} \cdot t_{aus} - cp_{20} \cdot t_{ein}) \cdot \rho_{30}} = \frac{24kW}{\left(1,0067 \frac{kJ}{kg K} \cdot 30^\circ C - 1,0064 \frac{kJ}{kg K} \cdot 20^\circ C\right) \cdot 1,1504 \frac{kg}{m^3}} \\ &= 2,05 \frac{m^3}{s} \approx 7500 \frac{m^3}{h} \end{aligned}$$

Massenstrom:

$$\dot{m}_{ab} = \dot{V}_{ab} \cdot \rho_{30} = 7500 \frac{m^3}{h} \cdot 1,1504 \frac{kg}{m^3} = 8628 \frac{kg}{h}$$

Der zuzuführende Volumenstrom ergibt sich aus dem abzuführenden Massenstrom und der Verbrennungsluft:

$$\dot{V}_{zu} = \frac{\dot{m}_{ab}}{\rho_{20}} + \dot{V}_V = \frac{8628 \frac{kg}{h}}{1,1900 \frac{kg}{m^3}} + 210 \frac{m^3}{h} = 7460,42 \frac{m^3}{h} \approx 7500 \frac{m^3}{h}$$

¹⁴¹ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.3

¹⁴² siehe 2.2 Generator

¹⁴³ siehe 2.4 Luftfilter

¹⁴⁴ siehe A - 3.1 Motordatenblatt S.3

¹⁴⁵ vgl. VDI-Wärmeatlas Dbb 9 (interpoliert)

¹⁴⁶ vgl. VDI-Wärmeatlas Dbb 5 (interpoliert)

Die Belüftungsanlage kann also für Ein- und Austritt auf den gleichen Volumenstrom von

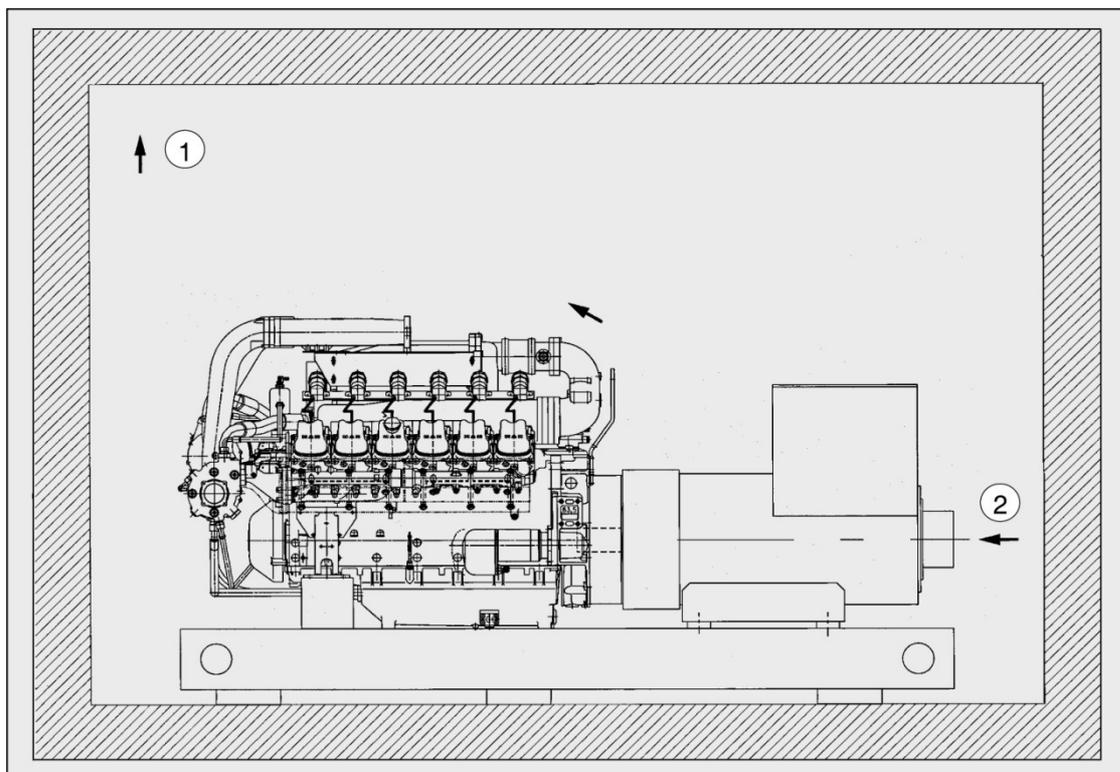
$$\dot{V}_L = 7500 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ ausgelegt werden.}$$

Nach MAN Einbauanleitung sollte der Luftaustausch im Raum nicht häufiger als 100 mal pro Stunde erfolgen¹⁴⁷, damit gilt für den Volumenstrom:

$$\dot{V}_L \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \leq 100 \cdot V_{\text{Raum}} [\text{m}^3]$$
$$7500 < 9000$$

Der Raum hat eine Grundfläche von 3m x 10m und ist 3m hoch, somit ergibt sich ein Volumen von 90m³.

Der Volumenstrom ist also in Ordnung.



- ① Abluft
- ② Zuluft

Abbildung 2-11 optimale Luftführung im Motorraum¹⁴⁸

Die obenstehende Abbildung zeigt die optimale Luftführung im Maschinenraum.

Die Kulissenschalldämpfer und Ventilatoren wurden nicht bestellt, da der Raum noch für weitere Geräte genutzt werden soll über die noch keine Informationen vorliegen, die aber auch eine Belüftung benötigen.

¹⁴⁷ vgl. MAN Einbauanleitung S.18

¹⁴⁸ vgl. MAN Einbauanleitung S.18

3 Komponentenordnung/Rahmen

Die Komponentenordnung war zu Beginn noch völlig offen. Es wurden Überlegungen angestellt einen Standardrahmen, wie er auch bei der Containerbauweise von D&B zum Einsatz kommt, zu verwenden und den Abgaswärmetauscher statt der Ölwanneerweiterung unter dem Motor unterzubringen. Die Nebenaggregate wären dann an der Wand des Maschinenraums angebracht worden.

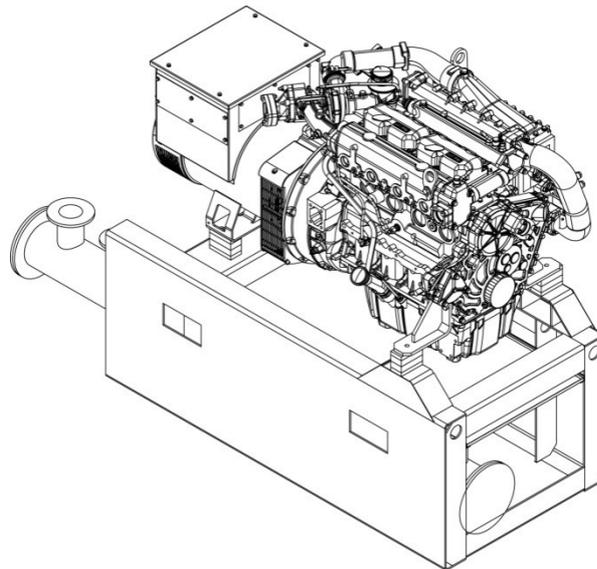


Abbildung 3-1 erster Entwurf für ein Rahmenkonzept

Es kam dann aber schnell der Wunsch auf, das BHKW als kompakte Einheit zu bauen. Es sollten nach Möglichkeit alle Komponenten auf möglichst geringem Raum zu einem Modul vereint werden, das dann mit einem Gabelstapler bewegt werden kann. So musste ein komplett neues Rahmenkonzept entwickelt werden.

Ein erster Vorschlag wurde von mir erarbeitet. In einem Gespräch mit meinem Betreuer und der Geschäftsführung wurden dann entsprechend der geäußerten Wünsche und Verbesserungsvorschläge Änderungen vorgenommen.

Bei der Anordnung der Bauteile sind einige Auflagen zu beachten:

Motor¹⁴⁹:

- Ölfilter und Ölablassschraube müssen gut zugänglich sein
- Ölwanne muss abnehmbar sein, das heißt, die Ölwanne darf nicht unterbaut werden
- Ölpeilstab und Öleinfüllstutzen müssen gut zugänglich sein

Peripherie:

- der Luftfilter sollte nach Möglichkeit vibrationsarm angebracht werden
- Gasleitungen müssen ausreichend Abstand zu heißen Bauteilen (insbesondere Abgasleitungen) haben

¹⁴⁹ siehe A - 2.8 Zeichnung MAN Motor

Einen Eindruck des verwirklichten Konzeptes vermittelt die unten stehende Abbildung. Die Fertigungszeichnungen sind im Anhang zu finden.

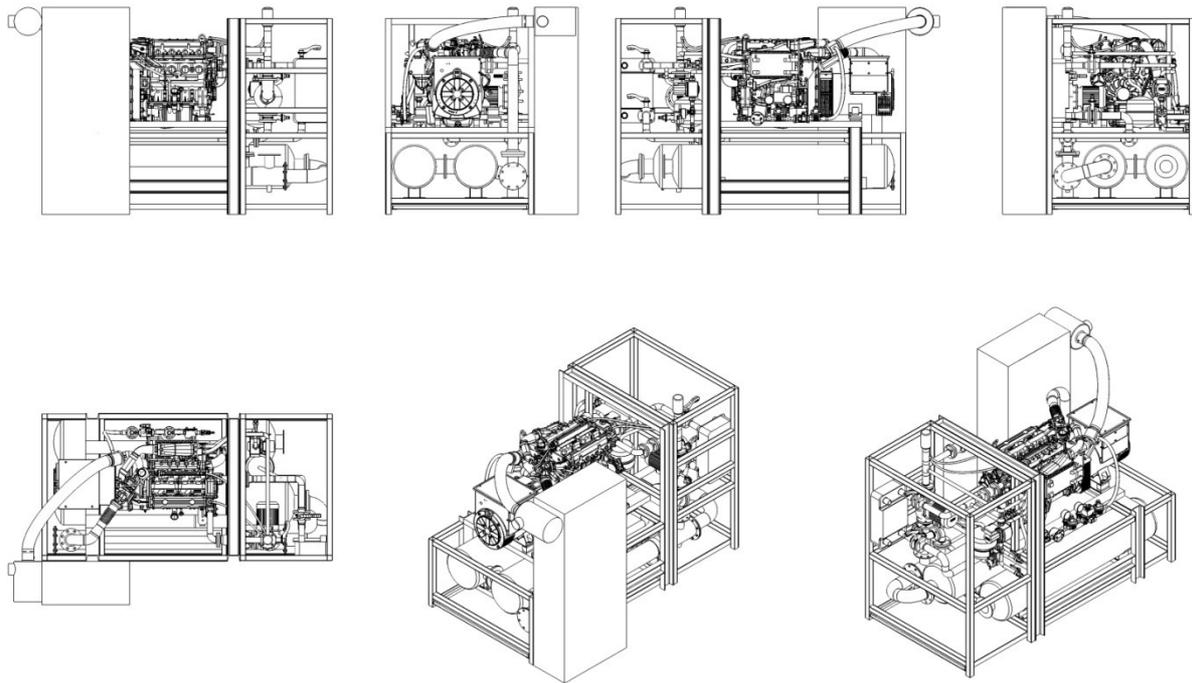


Abbildung 3-2 Das umgesetzte Konzept im Überblick

Motor und Generator sind zusammen mit dem Abgaswärmetauscher, den Schalldämpfern und der Gasregelstrecke auf einem Rahmen montiert. Plattenwärmetauscher, Motorkreispumpe, NT-Kreis-Mischer und NT-Pumpe werden in einem zweiten Rahmen angebracht. Die beiden Rahmen lassen sich verschrauben und als Einheit mit dem Gabelstapler bewegen.

Der Schaltschrank wird neben den Rahmen gestellt und an diesem mit Gummielementen befestigt.

Es gab die Überlegung die Schaltung auf zwei kleinere Schränke aufzuteilen und diese in den Rahmen zu integrieren. Dieser Gedanke wurde aber wieder verworfen.

Am Schaltschrank wird der Luftfilter angebracht, die Verbindung zwischen Luftfilter und Gasmischer wird mit einem Schlauch realisiert, so dass hier keine Vibrationen übertragen werden.

Die Gasregelstrecke wird auf der Ansaugseite des Motors unterhalb des Gemischkühlers am Rahmen angebracht.

Direkt unter dem Motor wird eine Ölauffangwanne angebracht, die für Wartungs- oder Reinigungsarbeiten wie eine Schublade herausgezogen werden kann.

Eine große Auffangwanne wird unter das gesamte Modul geschoben.

An dem Bügel am Motorrahmen kann bei Bedarf eine Schiene mit Laufkatze befestigt werden. Dies erleichtert ein Ausbauen des Generators am Aufstellort.

3.1 Nachweis der Tragfähigkeit des Motorrahmens

Die tragenden Elemente des Motorrahmens sind U-Profile DIN 1026-U120-S235J0.

Da die Auswahl der Profile konstruktive Gründe hatte und sie nicht nach ihrer Tragfähigkeit ausgewählt wurden ist der Rahmen aus statischer Sicht überdimensioniert. Die Breite der Profile wird als Auflagefläche für die Lager benötigt.

Die untenstehende Abbildung zeigt den Motorrahmen. Die nachfolgende Nummerierung der Profile bezieht sich auf die Abbildung.

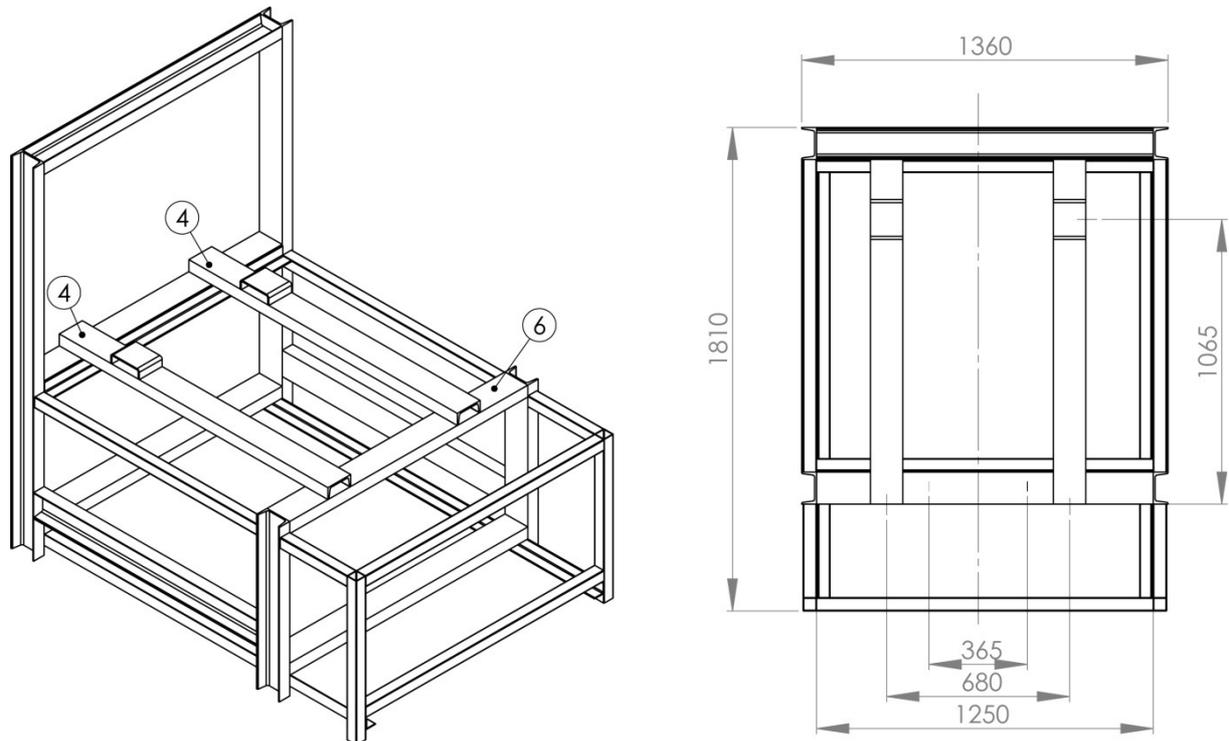


Abbildung 3-3 Motorrahmen links isometrisch, rechts Draufsicht

Es wird nur das Profil 6 nachgerechnet. Die Profile 4 und 6 tragen das Gewicht von Motor und Generator. Wobei Profil 6 am stärksten belastet ist, da es die zwei Lager des Generators und einen Teil der auf Profil 4 wirkenden Kraft trägt.

Die Kennwerte des U-Profils sind¹⁵⁰:

h	b	s	W_y	R_e
120mm	55mm	7mm	$43,2 \text{ cm}^3$	$235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

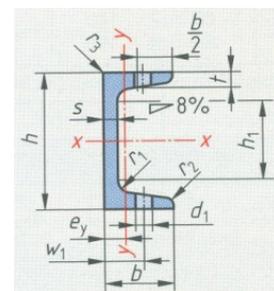


Abbildung 3-4 U-Profil¹⁵¹

¹⁵⁰ vgl. Tabellenbuch Metall S.146

¹⁵¹ vgl. Tabellenbuch Metall S.146

Profil 4:

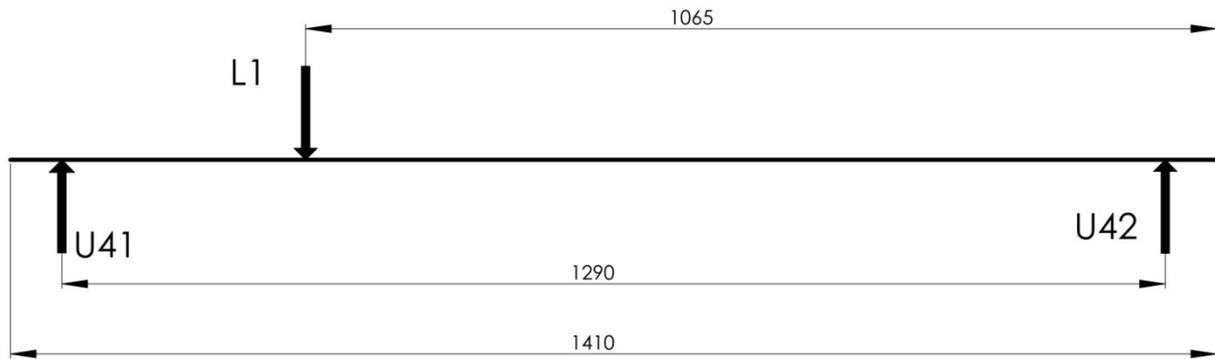


Abbildung 3-5 Kräfte an Profil 4

Hier ist nur die Kraft U_{42} von Interesse, da diese Profil 6 belastet.

mit: Kraft¹⁵² $L_1 = 1782,5N$

$$\sum M_{41} = 0 = 285mm \cdot L_1 - 1290mm \cdot U_{42}$$

$$\rightarrow U_{42} = \frac{285mm \cdot L_1}{1290mm} = \frac{285mm \cdot 1782,5N}{1290mm} = 393,8N \approx 395N$$

Profil6:

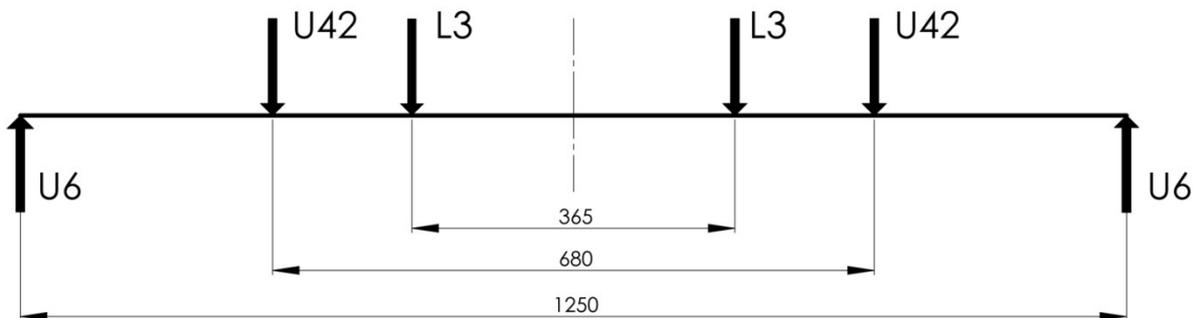


Abbildung 3-6 Kräfte an Profil 6

Da die Belastung an Profil 6 symmetrisch ist, sind auch Kräfte U_6 an den Enden des Profils gleich groß.

mit: Kraft¹⁵³ $L_3 = 2345N$

$$\sum F_{\downarrow} = 0 = (U_{42} + L_3 - U_6) \cdot 2$$

$$\rightarrow U_6 = \frac{(U_{42} + L_3) \cdot 2}{2} = U_{42} + L_3 = 395N + 2345N = 2740N$$

Aufgrund der Symmetrie ist das größte Biegemoment in der Mitte des Profils:

$$M_{max} = \frac{U_6 \cdot 1250mm - U_{42} \cdot 680mm - L_3 \cdot 365mm}{2} = 1150,2375Nm \approx 1150Nm$$

¹⁵² siehe 2.10 Schwingungsdämpfer

¹⁵³ siehe 2.10 Schwingungsdämpfer

Mit dem Widerstandsmoment des U-Profiles ergibt sich die Biegespannung zu:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_Y} = \frac{1150Nm}{43,2cm^3} = 26,62 \frac{N}{mm^2} \approx 27 \frac{N}{mm^2}$$

Es gilt also:

$$\sigma_{max} = 27 \frac{N}{mm^2} < R_e = 235 \frac{N}{mm^2}$$

Die Sicherheit ist¹⁵⁴:

$$S = \frac{R_e}{\sigma_{max}} = \frac{235 \frac{N}{mm^2}}{27 \frac{N}{mm^2}} = 8,7$$

¹⁵⁴ vgl. Dubbel C5

4 Fertigung

Die Rahmen wurden entsprechend der Fertigungszeichnungen bei Firma Axmann in Malk-Göhren gefertigt.

Bei Dreyer & Bosse wurden die Rahmen lackiert, die Komponenten montiert und die Rohrleitungen geschweißt und lackiert.

Bisher wurden folgende Fertigungsschritte durchgeführt:

- Montage des Motors auf dem Motorrahmen
- Montage des Generators auf dem Motorrahmen / verschrauben von Motor und Generator



Abbildung 4-1 Montage des Motors

- Lackieren des Blockrahmens
- Lackieren von Motorrahmen, Motor und Generator
- Montage von PWT und Motorkühlwasserpumpe nach Zeichnungen im Blockrahmen



Abbildung 4-2 Motor- und Blockrahmen mit Komponenten

- Verschrauben der Rahmen
- Montage des Abgaswärmetauschers
- Abgasleitung zwischen Motor und AWT geschweißt
- Schweißen der Kühlwasserleitungen
- Leitungen demontiert und lackiert



Abbildung 4-3 Rahmen verschraubt, Leitungen teilweise lackiert

- Montage des Ausdehnungsgefäßes
- Montage des NT-Kreises inklusive Mischer und Pumpe
- Montage der Schalldämpfer
- Schweißen der Abgasleitung zwischen den Schalldämpfern
- Montage von Gasregelstrecke, Gasmischer und Zündanlage
- Einschrauben der Sensoren
- System Abdrücken
- Auffüllen von Öl

Die Montage des BHKWs führten Mitarbeiter von Dreyer & Bosse einschließlich der anfallenden Schweiß- und Lackierarbeiten aus. Besonders bei der Montage der geschraubten Rohrverbindungen des NT-Kreises war es günstig auf das gut sortierte Teilelager von Dreyer & Bosse nach dem aktuellen Bedarf zurückgreifen zu können, so dass die Fertigung zügig voran ging.

Dadurch, dass die gesamte Anlage mit dem Gabelstapler bewegt werden kann, konnte sie auch während der Fertigung bequem bewegt werden.



Abbildung 4-4 Verrücken der Anlage mit dem Stapler

Aufgrund von Lieferschwierigkeiten bei den Schalldämpfern und Verzögerungen bei der Gebäudeinstallation verzögert sich die Inbetriebnahme der Anlage. Sie wird erst nach Abgabe dieser Arbeit in Betrieb genommen.

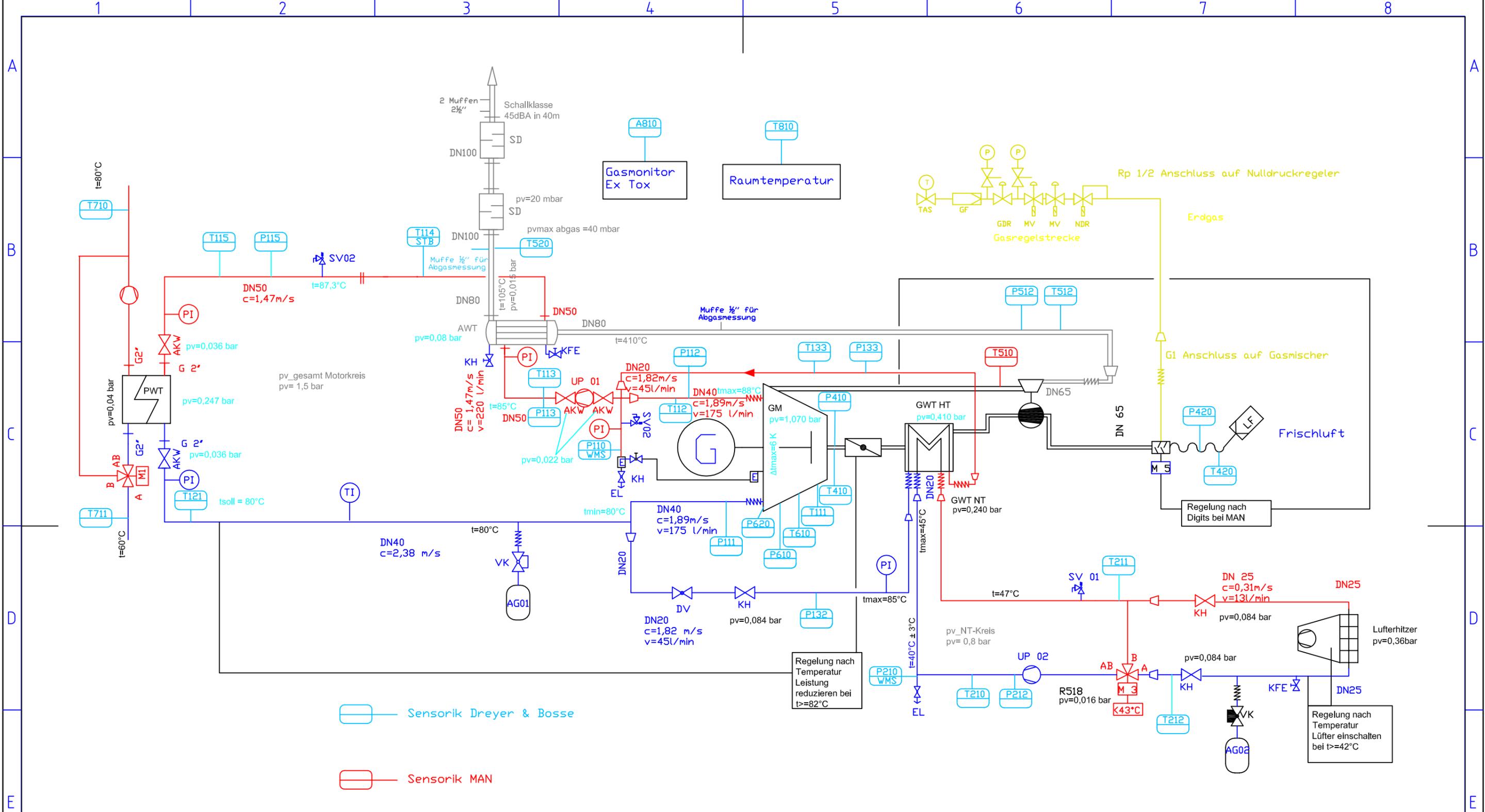
Den Fertigungsstand vom 29.12.2011 zeigt die folgende Abbildung.



Abbildung 4-5 Fertigungsstand vom 29.12.2011

Literaturverzeichnis

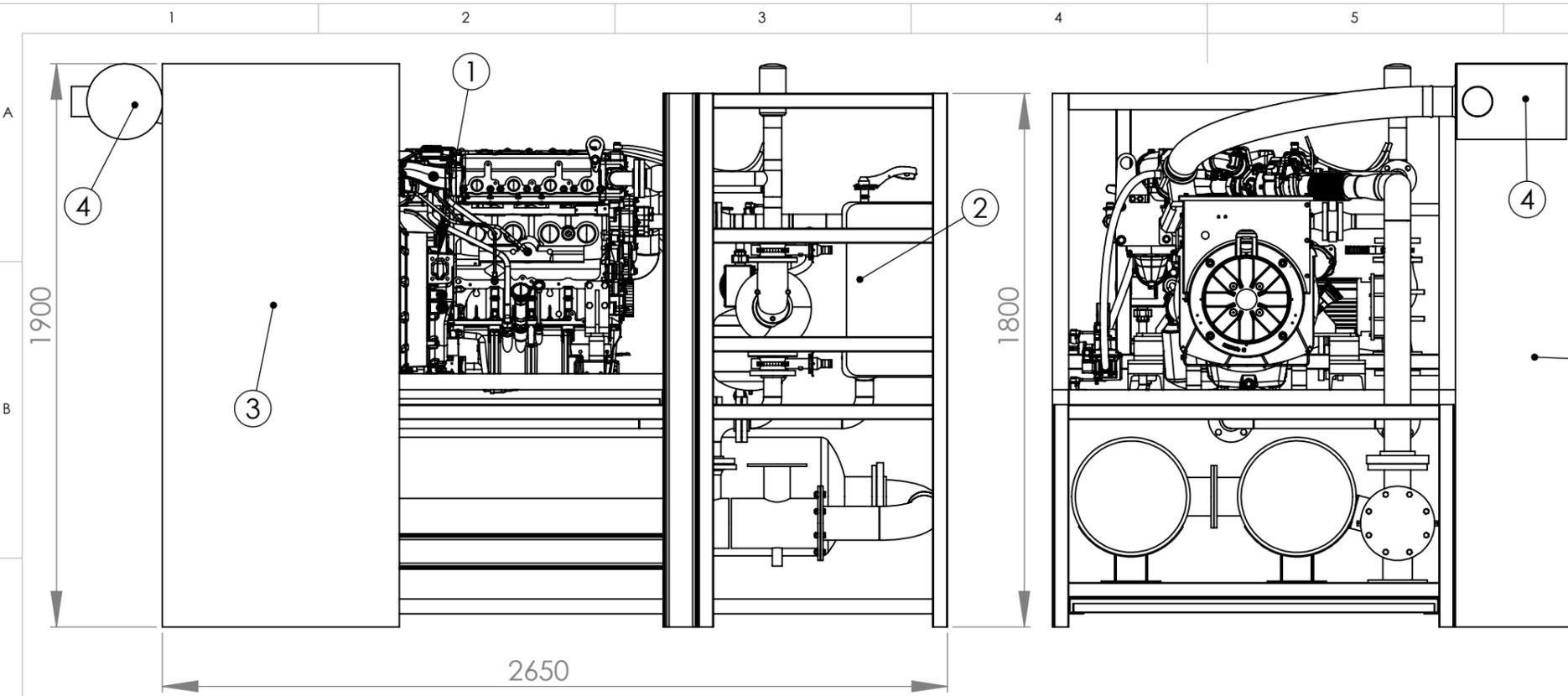
Baehr	Baehr, H. D.;Kabelac, S.; Thermodynamik Grundlagen und technische Anwendungen; 13. Auflage; Springer Verlag
Belimo	Belimo; Das komplette Sortiment für Wasseranwendungen 2011; Produktkatalog der Firma Belimo
D&B AMINselect	Dreyer & Bosse Kraftwerke GmbH; AMINselect; Produktinformation der Firma Dreyer & Bosse
dena	Deutsche Energie- Agentur; www.biogaspartner.de, Stand Dezember 2011; Informationsmaterial zum Thema Biomethan
DIN 6280-14	DIN 6280-14; August 1997
DIN EN 10253-2	DIN EN 10253-2; September 2008
Dubbel	Grote, K. H.; Feldhusen , J.; Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau; 21. Auflage; Springer Verlag
EN 12723	EN 12723; September 2000
EN 12828	EN 12828; Juni 2003
Gieck	Gieck, K. + R.; technische Formelsammlung; 31. Auflage; Gieck Verlag GmbH
Leroy Somer	Leroy Somer; Alternators LSA 43.2 - 4Pole; Produktkatalog 2011
MAN Einbauanleitung	MAN; Einbauanleitung MAN-Industrie-Gasmotoren für Blockheizkraftwerke; Stand September 2006
MANN + HUMMEL Luftfilter	MANN + HUMMEL; Luftfilter; Produktkatalog 2011
prEN 12828	prEN 12828; März 2011
Schwingmetall	Continental, ContiTech; Schwingmetall – Die Original Gummi-Metall-Verbindung von ContiTech; Produktkatalog der Firma ContiTech
Tabellenbuch Metall	Fischer, U.; u.a.;Tabellenbuch Metall; 43. Auflage; Verlag Europa Lehrmittel
VDI Wärmeatlas	Verein Deutscher Ingenieure; VDI Wärmeatlas; 10. Auflage; Springer Verlag
VDI/VDE 2173	VDI/VDE 2173; September 2007
Willbrandt	Willbrandt; Willbrandt - der Kompensatoren Katalog - Produktbeschreibungen, Technische Daten, Anwendungshinweise, Berechnungsgrundlagen; Produktkatalog 2011
Wilo	Wilo; Einbau- und Betriebsanleitung Wilo-TOP-S



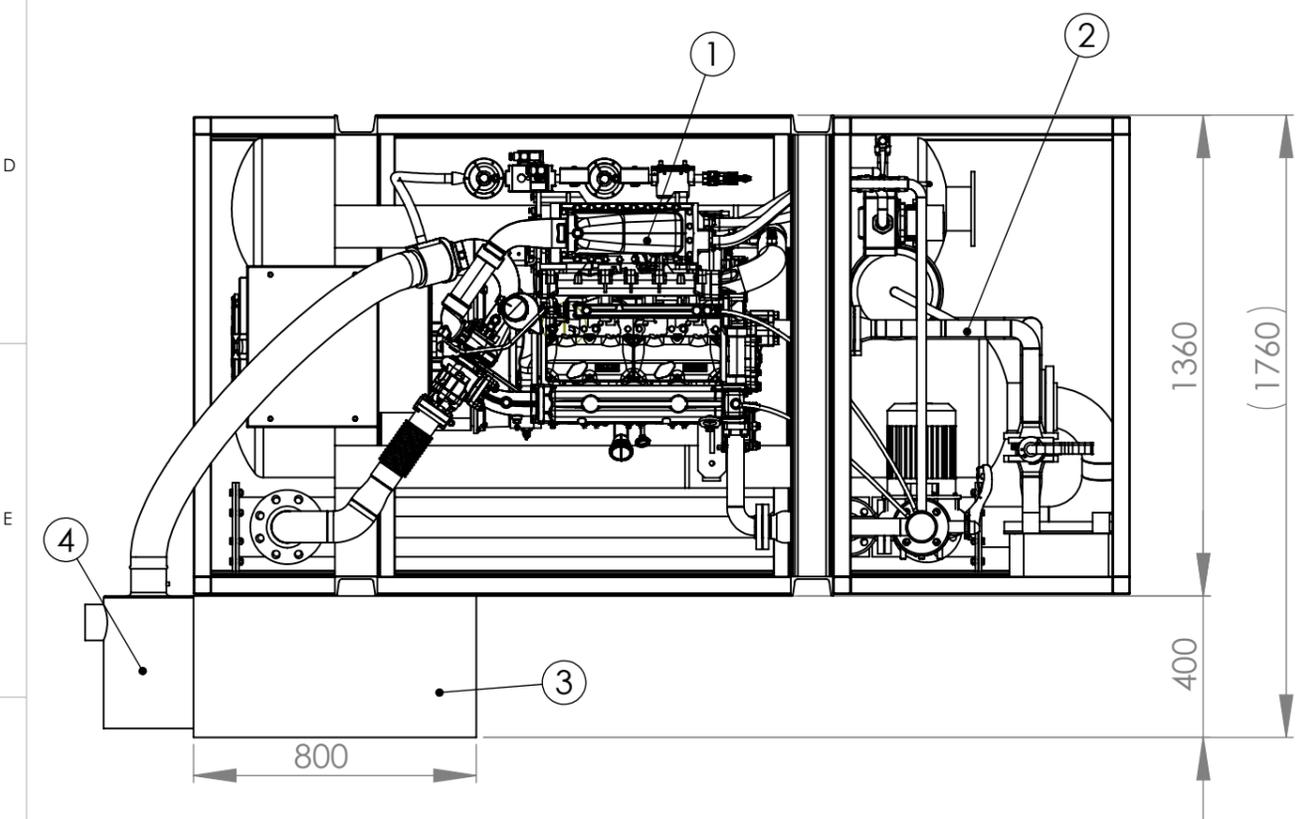
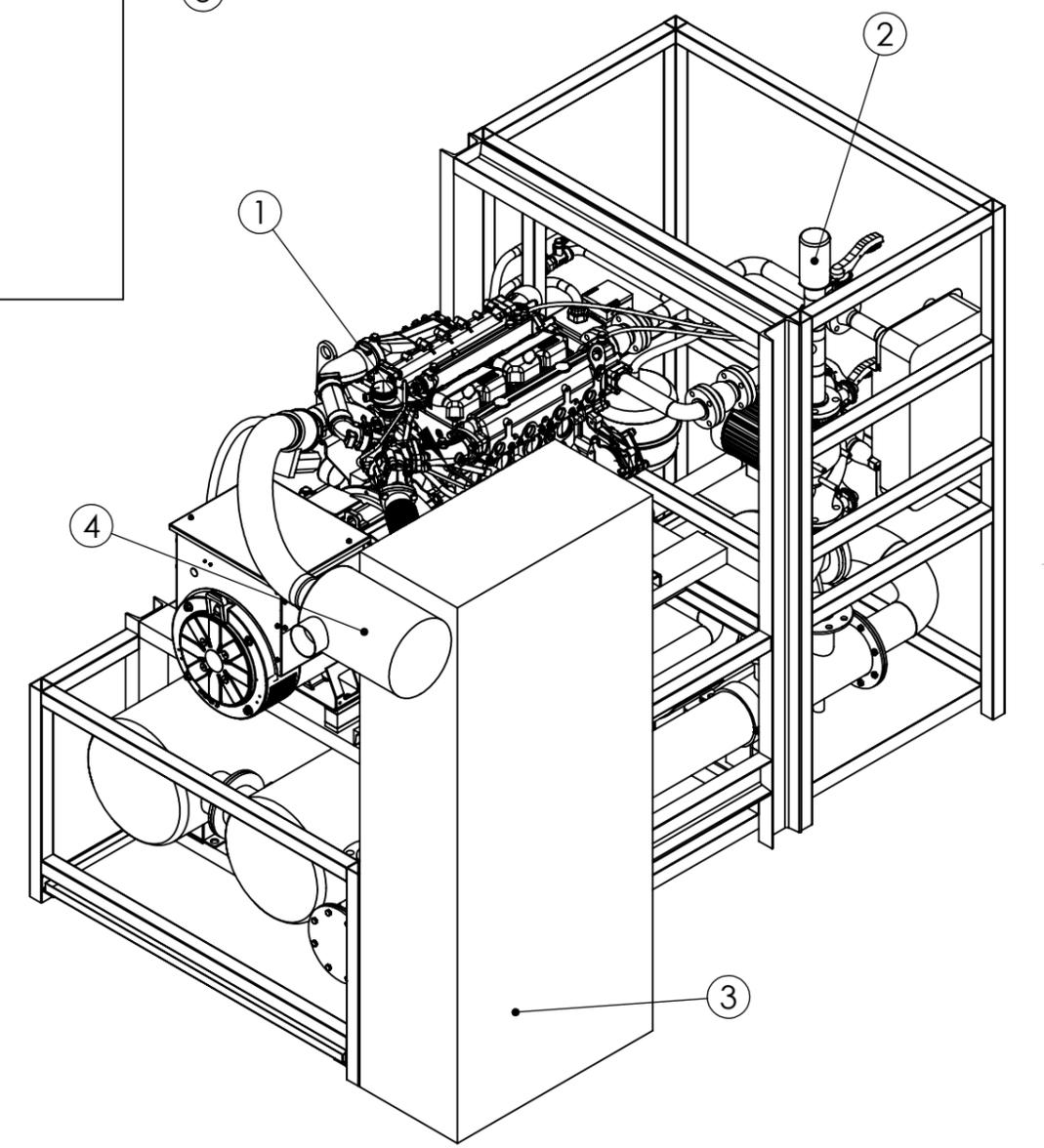
 Sensorik Dreyer & Bosse
 Sensorik MAN

(Verwendungsbereich)	(Zul. Abw.)	(Oberfl.)	Maßstab	(Gewicht)
110093 D&B 68kW BHKW			(Werkstoff, Halbzeug) (Rohteil-Nr) (Modell- oder Gesenk-Nr)	
	Datum	Name	 D&B 68 kW	
	Bearb. 05.12.2011	F.Michaelis		
	Gepr.	Norm		
			Fließbild	
Zust	Änderung	Datum	Name (Urspr.)	(Ers. f.)
				(Ers. d.)

Blatt
 Bl.

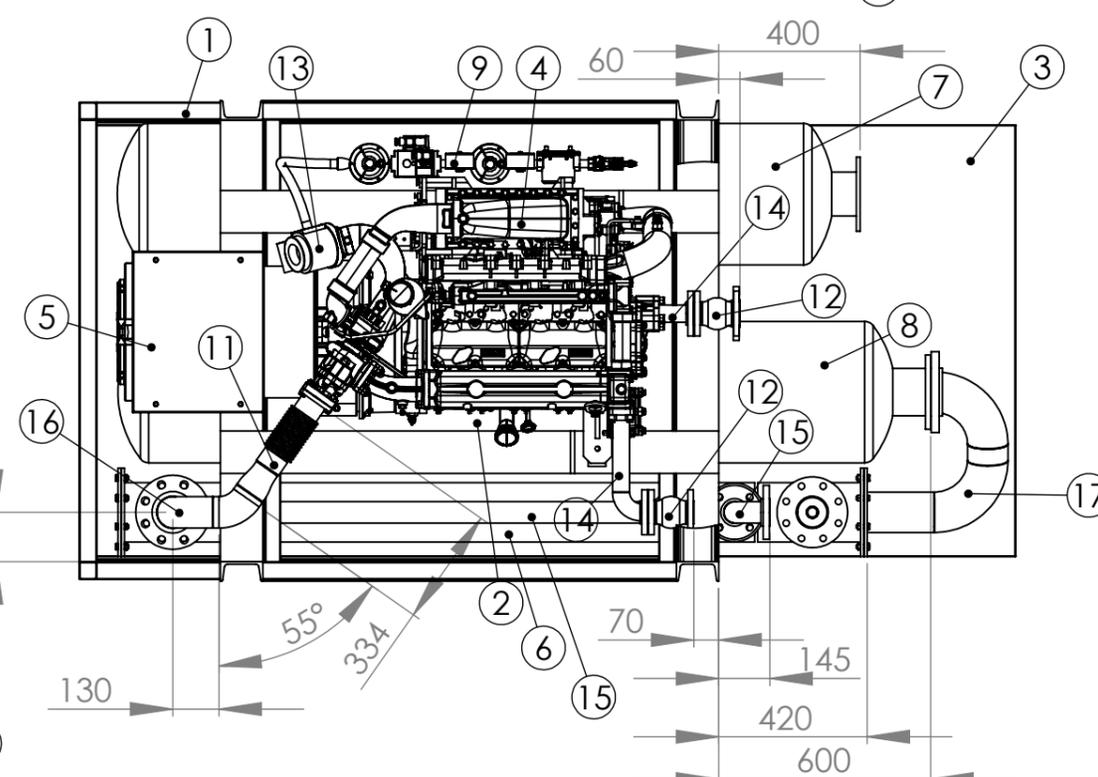
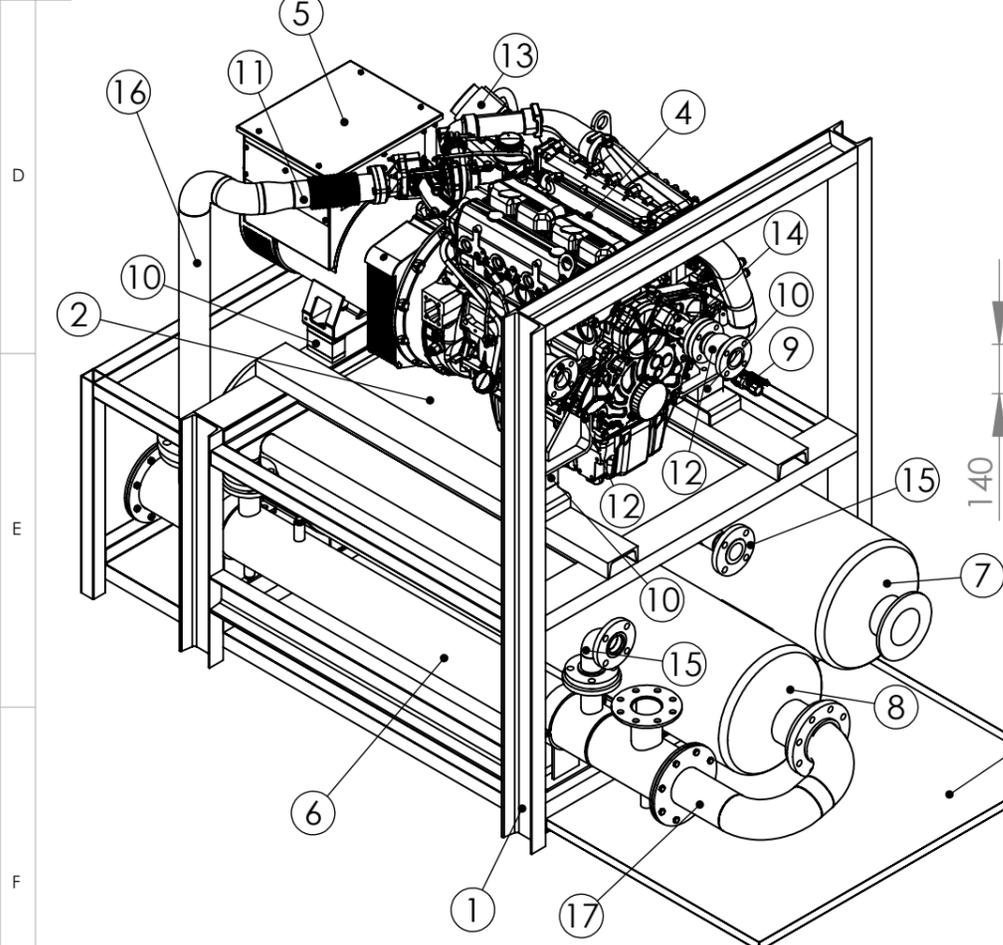
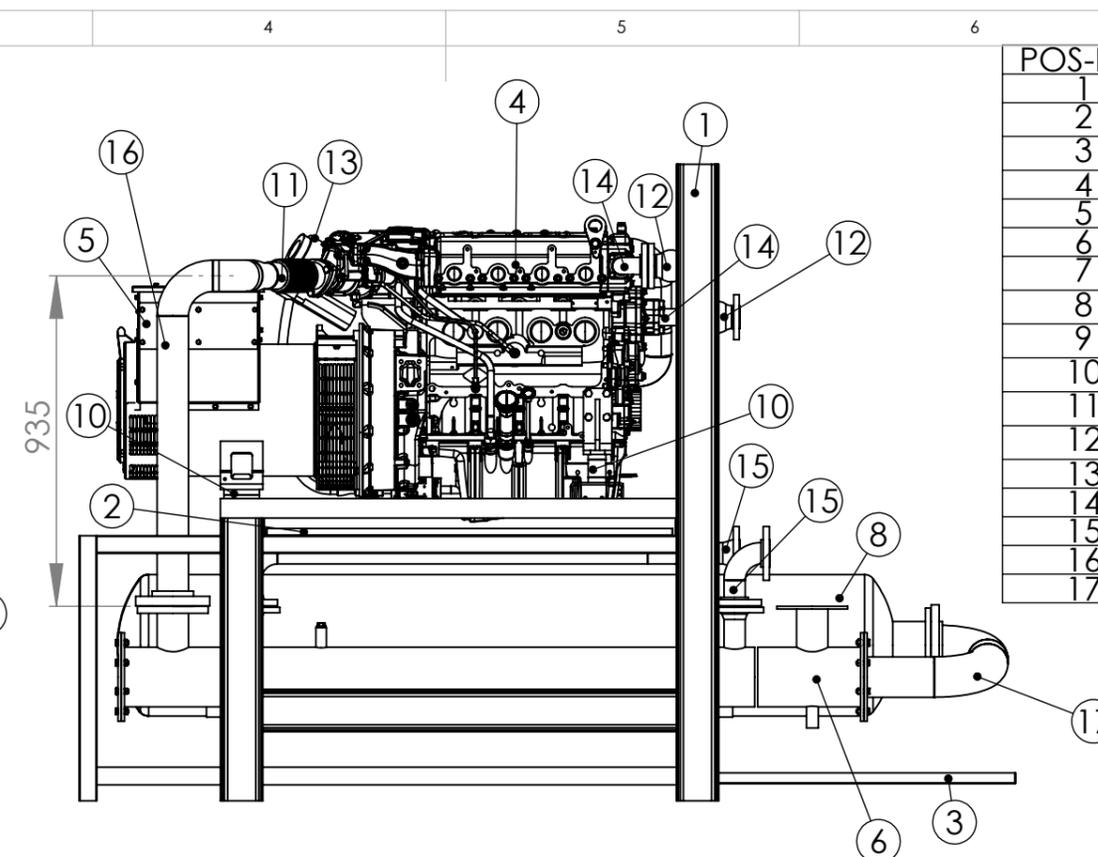
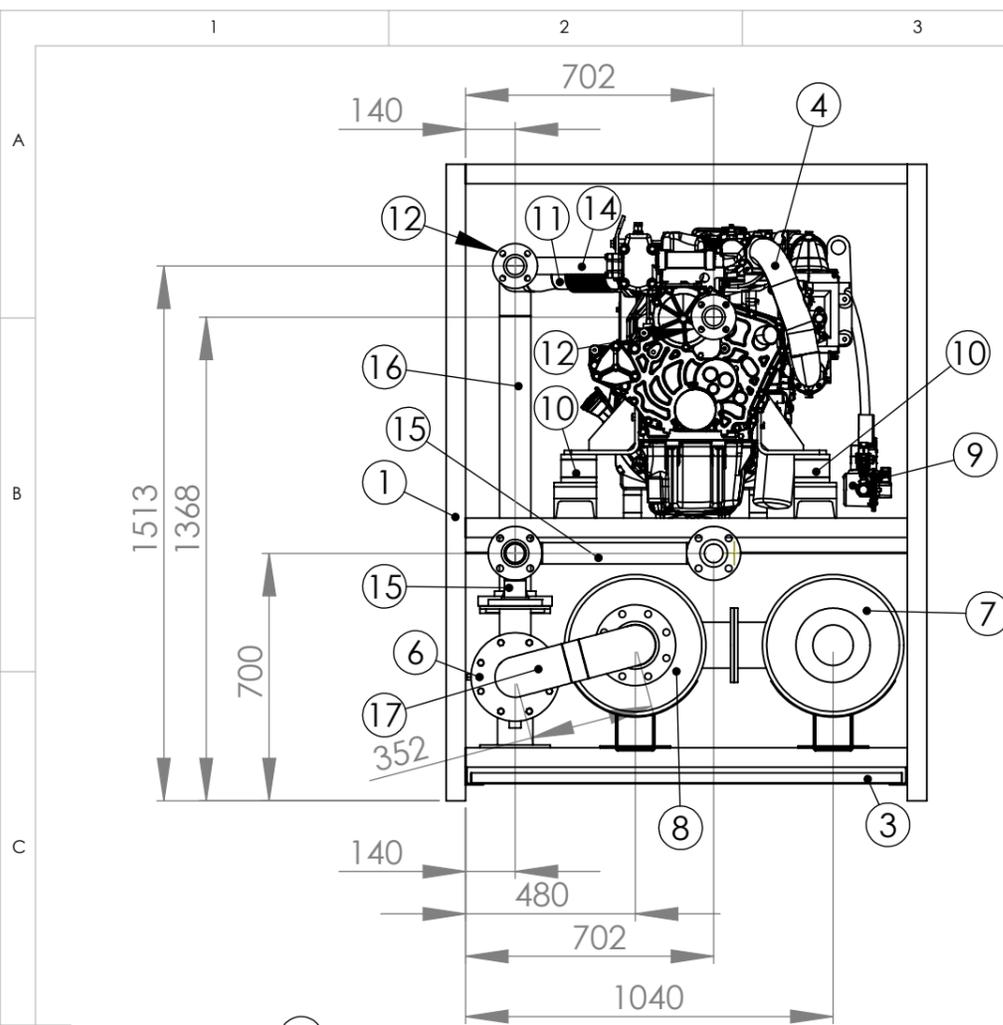


POS-NR.	BENENNUNG	MENGE
1	E-Pack	1
2	Block	1
3	Schaltschrank	1
4	Luffiltergehäuse	1



WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL:		OBERFLÄCHENGÜTE:		ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN		ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN		ÄNDERUNG	
GEZEICHNET	NAME Felix Michaelis	SIGNATUR	DATUM 04.10.2011	BENENNUNG: 68kW_BHKW_Gorleben-Gesamtzusammenbau					
GEPRÜFT				ZEICHNUNGSNR.					
GENEHMIGT				WERKSTOFF:					
PRODUKTION				GEWICHT:					
QUALITÄT				MASSSTAB:1:20					
						BLATT 1 VON 1			

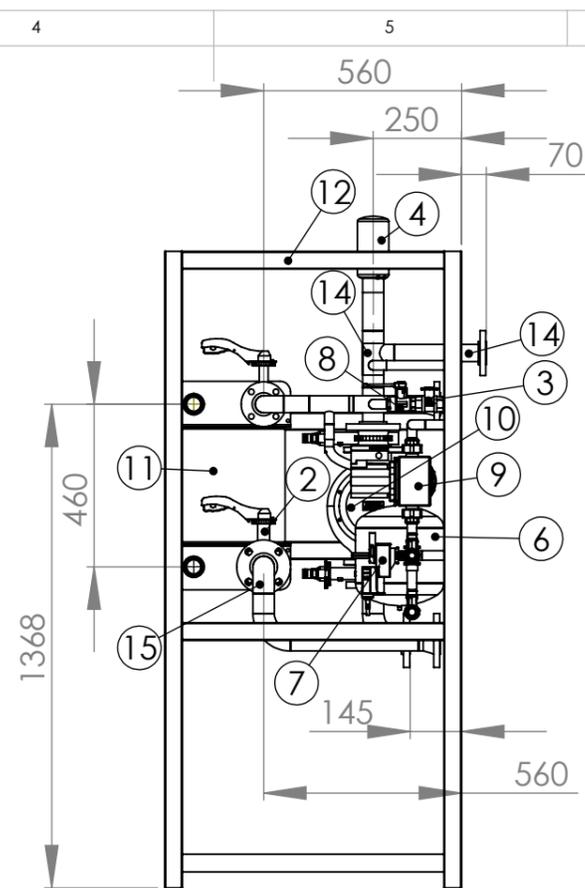
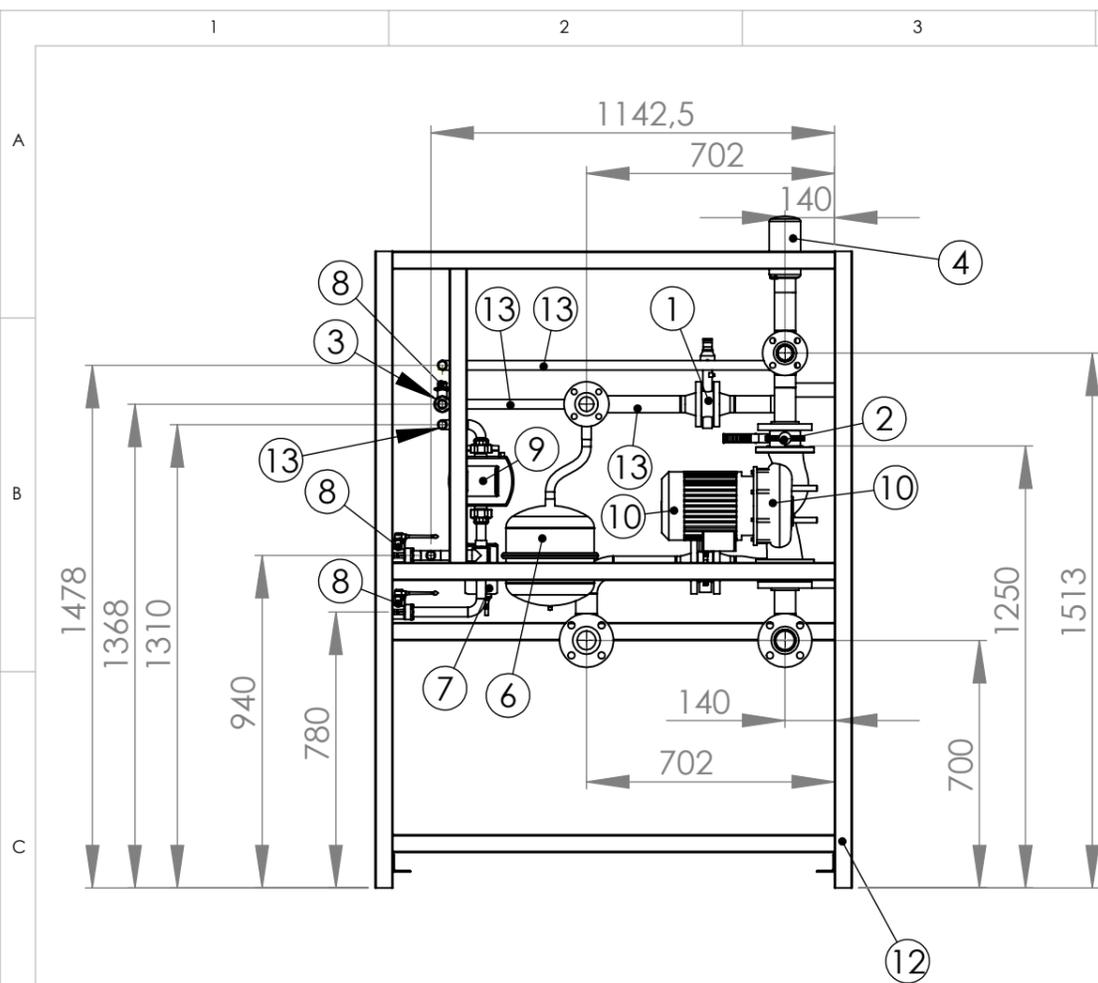
A3



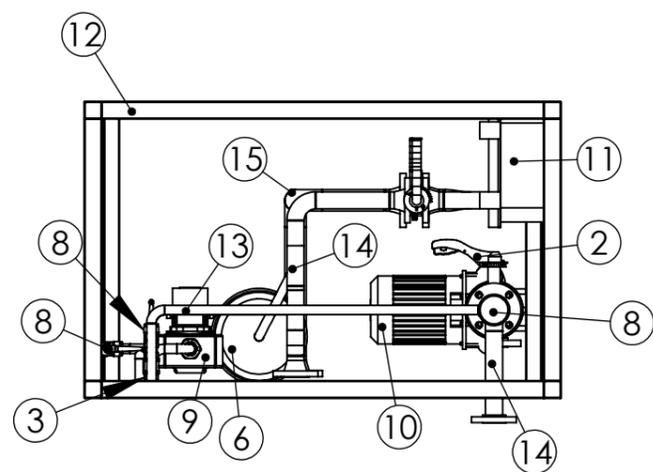
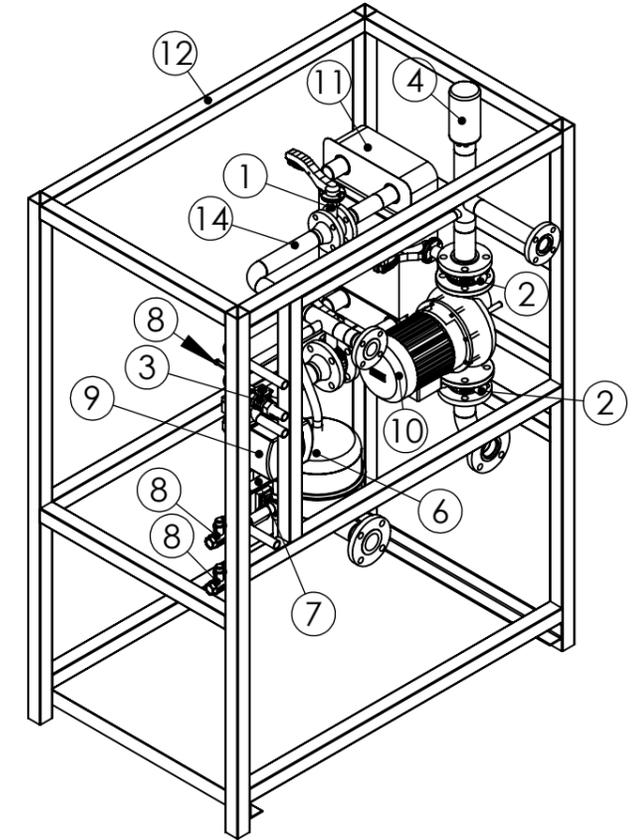
POS-NR.	BENENNUNG	MENGE
1	Rahmen_Motor	1
2	Ölauffangwanne	1
3	Ölauffangwanne_groß	1
4	Motor	1
5	Generator	1
6	AWT	1
7	Schalldämpfer ADNS 40 DN100	1
8	Schalldämpfer ARNS 35 DN100	1
9	Gasregelstrecke	1
10	MotorLager 100x80x50	4
11	Stahlkompensator DN 65	1
12	Gummikompensator DN 40	2
13	Gasmischer	1
14	Rohr DN40	
15	Rohr DN 50	
16	Rohr DN 80	
17	Rohr DN 100	

WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL:		OBERFLÄCHENGÜTE:		ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN		ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN		ÄNDERUNG	
NAME	SIGNATUR	DATUM	BENENNUNG: E_Pack-Zusammenbau						
GEZEICHNET Felix Michaelis		04.10.2011							
GEPRÜFT									
GENEHMIGT									
PRODUKTION									
QUALITÄT			WERKSTOFF:		ZEICHNUNGSNR.				
			GEWICHT:		MASSSTAB:1:20			BLATT 1 VON 1	

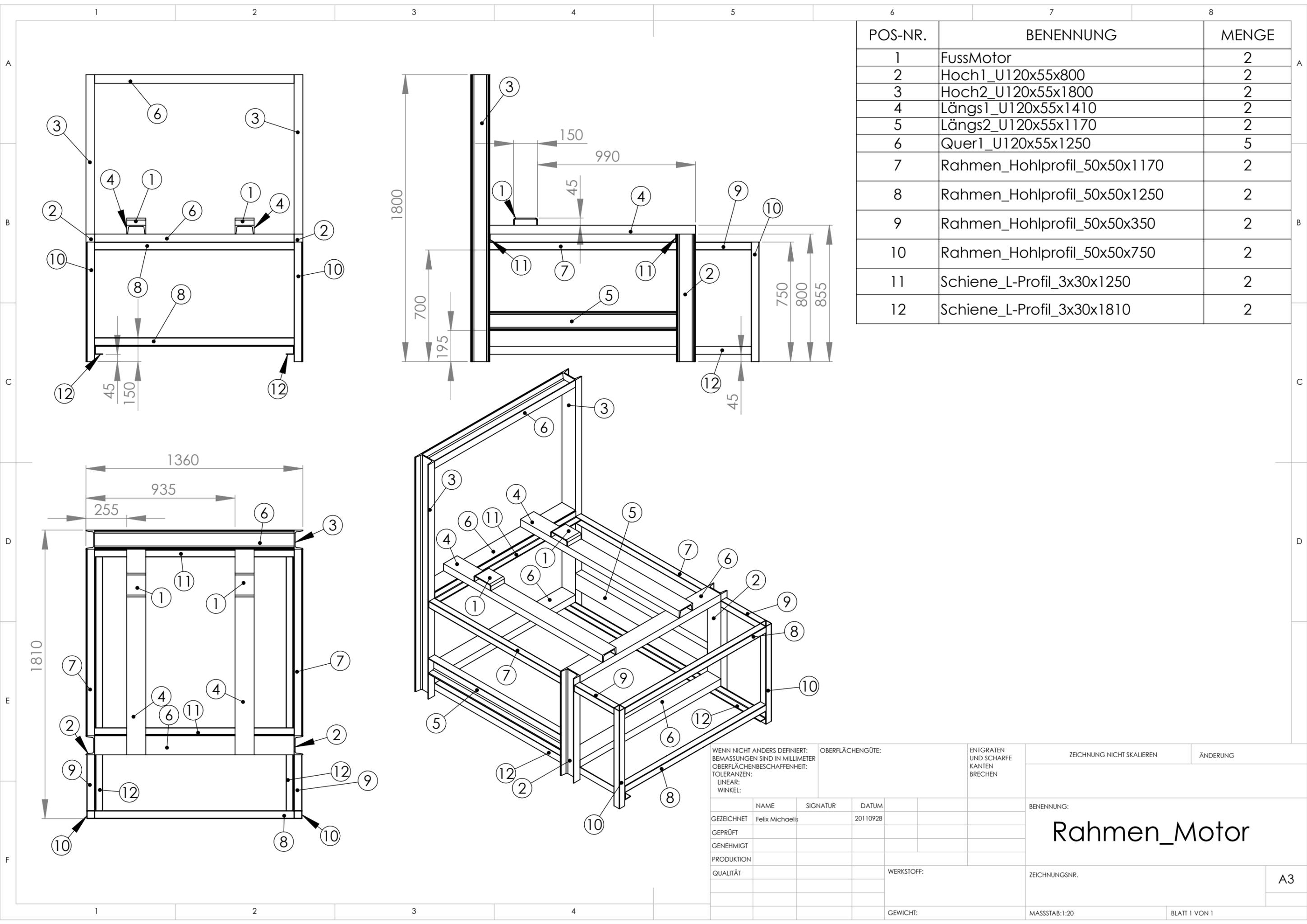
A3



POS-NR.	BENENNUNG	MENGE
1	Absperrklappe_DN40_PN6	1
2	Absperrklappe_DN50_PN6	3
3	Drosselventil DN20	1
4	Entlüftungsbehälter	1
6	MAG	1
7	Mischer R518_DN20_PN6_SR 24 A-SR	1
8	Kugelhahn	3
9	Pumpe Top-s25_10	1
10	Pumpe IPL 50_130-2	1
11	PWT	1
12	Rahmen_Block	1
13	Rohr 1 1/4"	
14	Rohr DN 40	
15	Rohr DN 50	

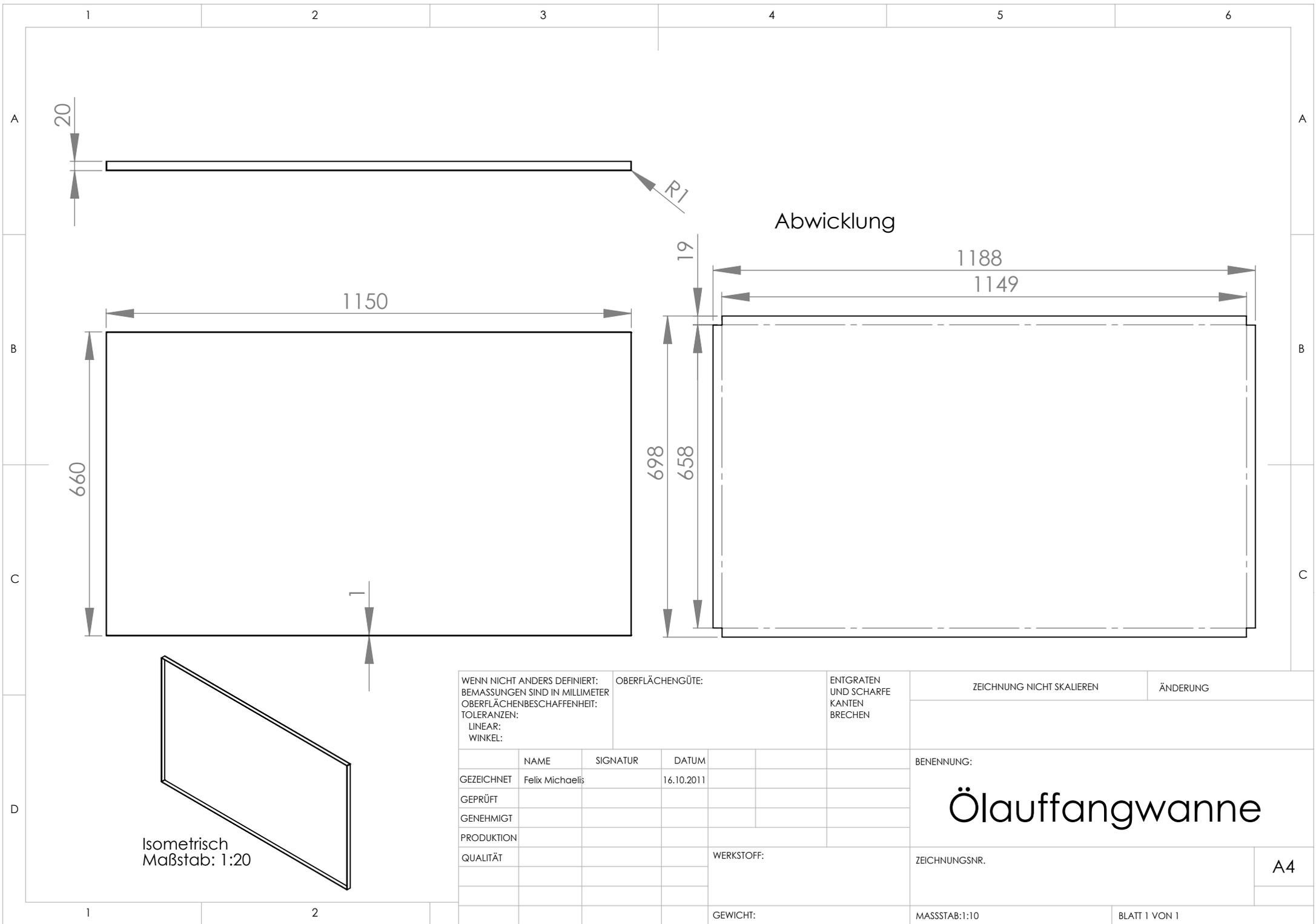


WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL:		OBERFLÄCHENGÜTE:		ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN		ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN		ÄNDERUNG	
NAME	SIGNATUR	DATUM		BENENNUNG:					
GEZEICHNET	Felix Michaelis	04.10.2011		<h1>Block</h1>					
GEPRÜFT									
GENEHMIGT									
PRODUKTION									
QUALITÄT				WERKSTOFF:		ZEICHNUNGSNR.		A3	
				GEWICHT:		MASSSTAB:1:20		BLATT 1 VON 1	



POS-NR.	BENENNUNG	MENGE
1	FussMotor	2
2	Hoch1_U120x55x800	2
3	Hoch2_U120x55x1800	2
4	Längs1_U120x55x1410	2
5	Längs2_U120x55x1170	2
6	Quer1_U120x55x1250	5
7	Rahmen_Hohlprofil_50x50x1170	2
8	Rahmen_Hohlprofil_50x50x1250	2
9	Rahmen_Hohlprofil_50x50x350	2
10	Rahmen_Hohlprofil_50x50x750	2
11	Schiene_L-Profil_3x30x1250	2
12	Schiene_L-Profil_3x30x1810	2

WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL:		OBERFLÄCHENGÜTE:		ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN		ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN		ÄNDERUNG	
GEZEICHNET	NAME	SIGNATUR	DATUM	BENENNUNG:					
GEPRÜFT	Felix Michaelis		20110928	<h1>Rahmen_Motor</h1>					
GENEHMIGT									
PRODUKTION				WERKSTOFF:		ZEICHNUNGSNR.			
QUALITÄT						A3			
GEWICHT:						MASSSTAB:1:20		BLATT 1 VON 1	



WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:
 BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER
 OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT:
 TOLERANZEN:
 LINEAR:
 WINKEL:

OBERFLÄCHENGÜTE:

ENTGRATEN
 UND SCHARFE
 KANTEN
 BRECHEN

ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN

ÄNDERUNG

	NAME	SIGNATUR	DATUM		
GEZEICHNET	Felix Michaelis		16.10.2011		
GEPRÜFT					
GENEHMIGT					
PRODUKTION					
QUALITÄT				WERKSTOFF:	

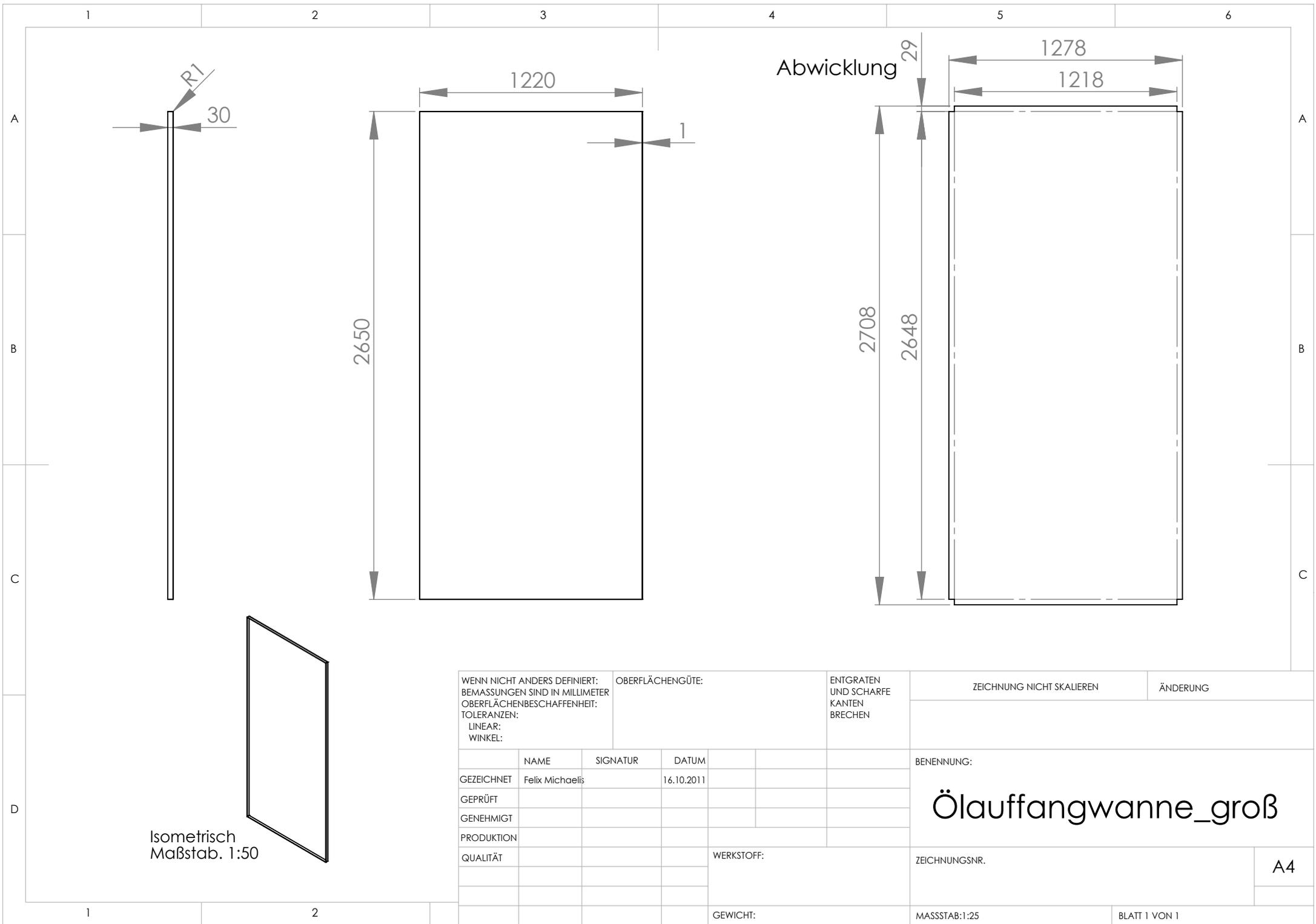
BENENNUNG:

Ölauffangwanne

ZEICHNUNGSNR.

A4

Isometrisch
 Maßstab: 1:20



Isometrisch
Maßstab. 1:50

WENN NICHT ANDERS DEFINIERT:
BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER
OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT:
TOLERANZEN:
LINEAR:
WINKEL:

OBERFLÄCHENGÜTE:

ENTGRATEN
UND SCHARFE
KANTEN
BRECHEN

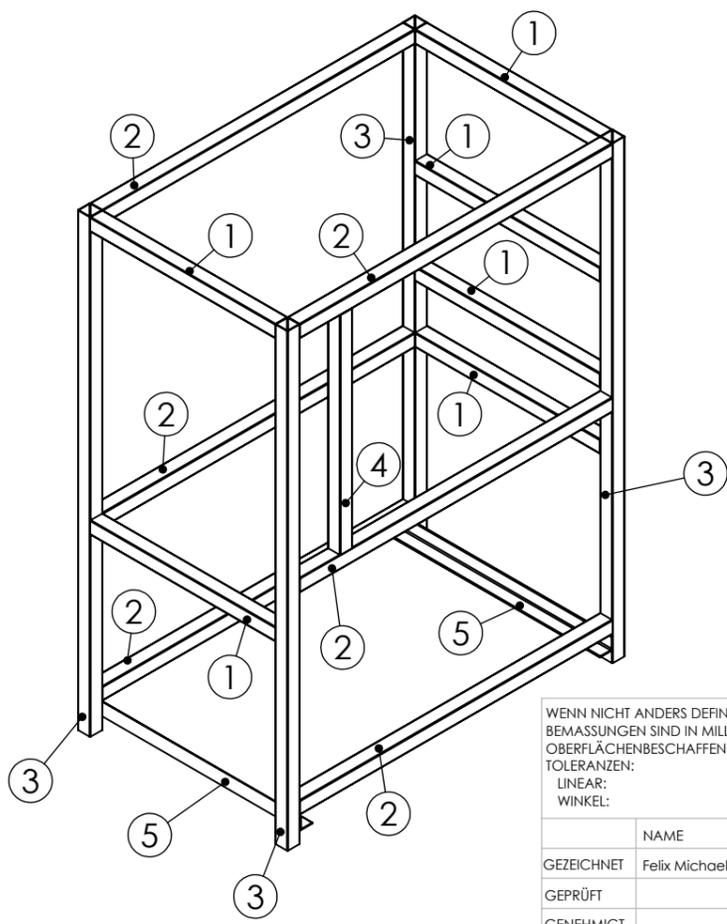
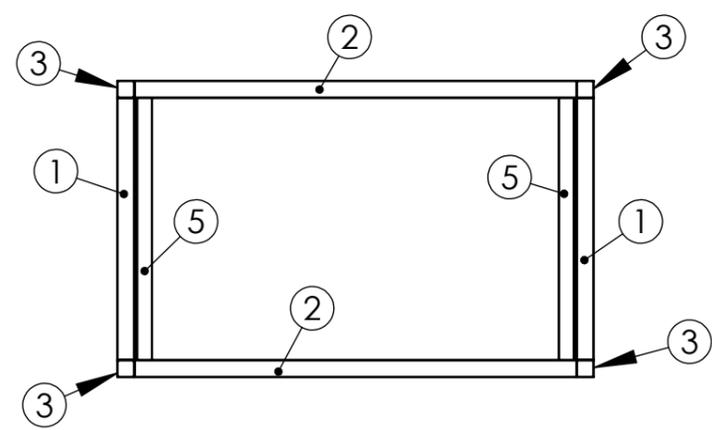
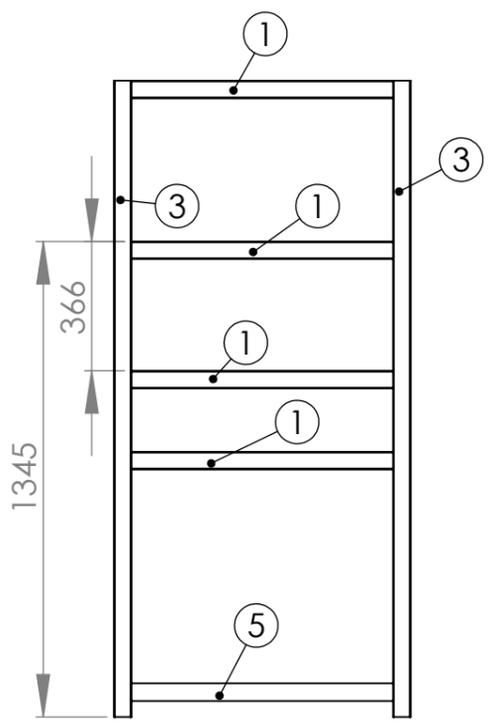
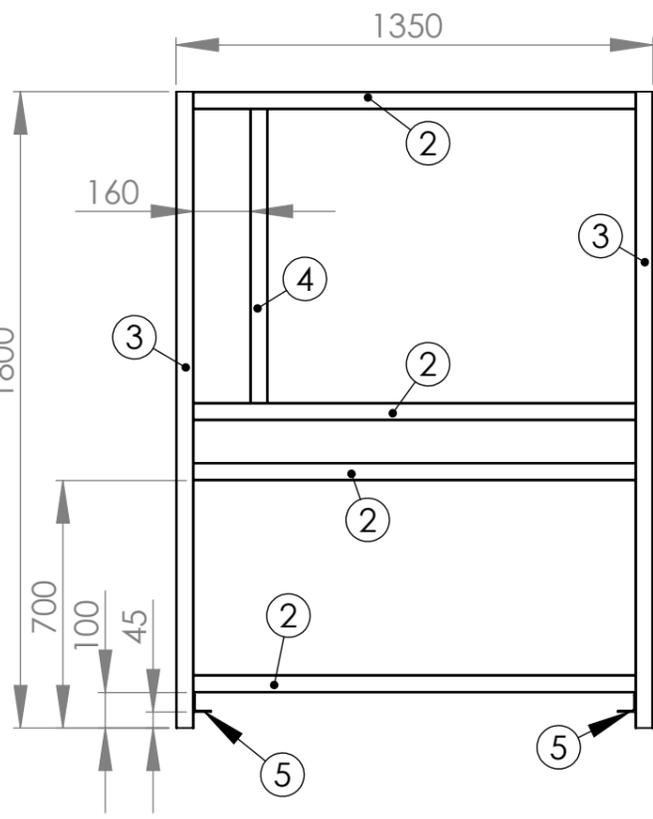
ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN

ÄNDERUNG

	NAME	SIGNATUR	DATUM		
GEZEICHNET	Felix Michaelis		16.10.2011		
GEPRÜFT					
GENEHMIGT					
PRODUKTION					
QUALITÄT				WERKSTOFF:	
				GEWICHT:	

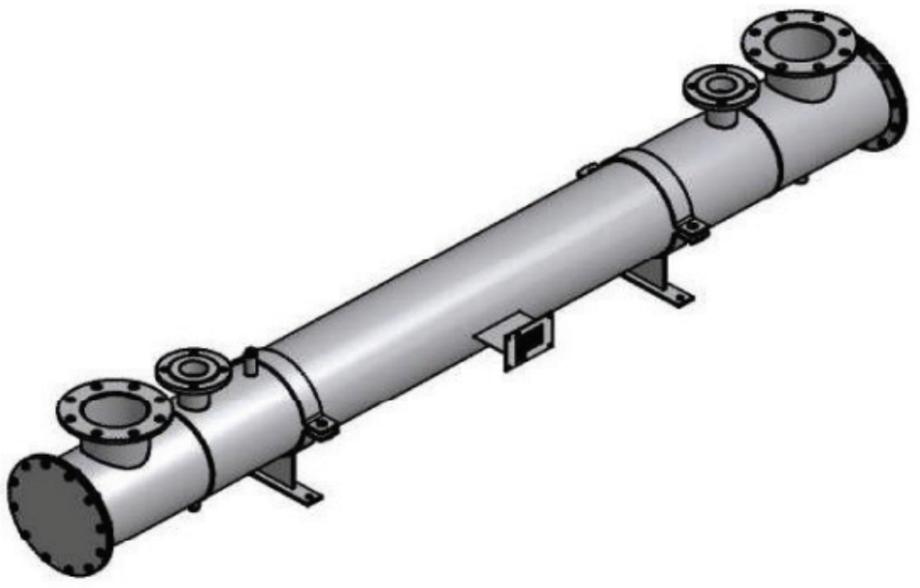
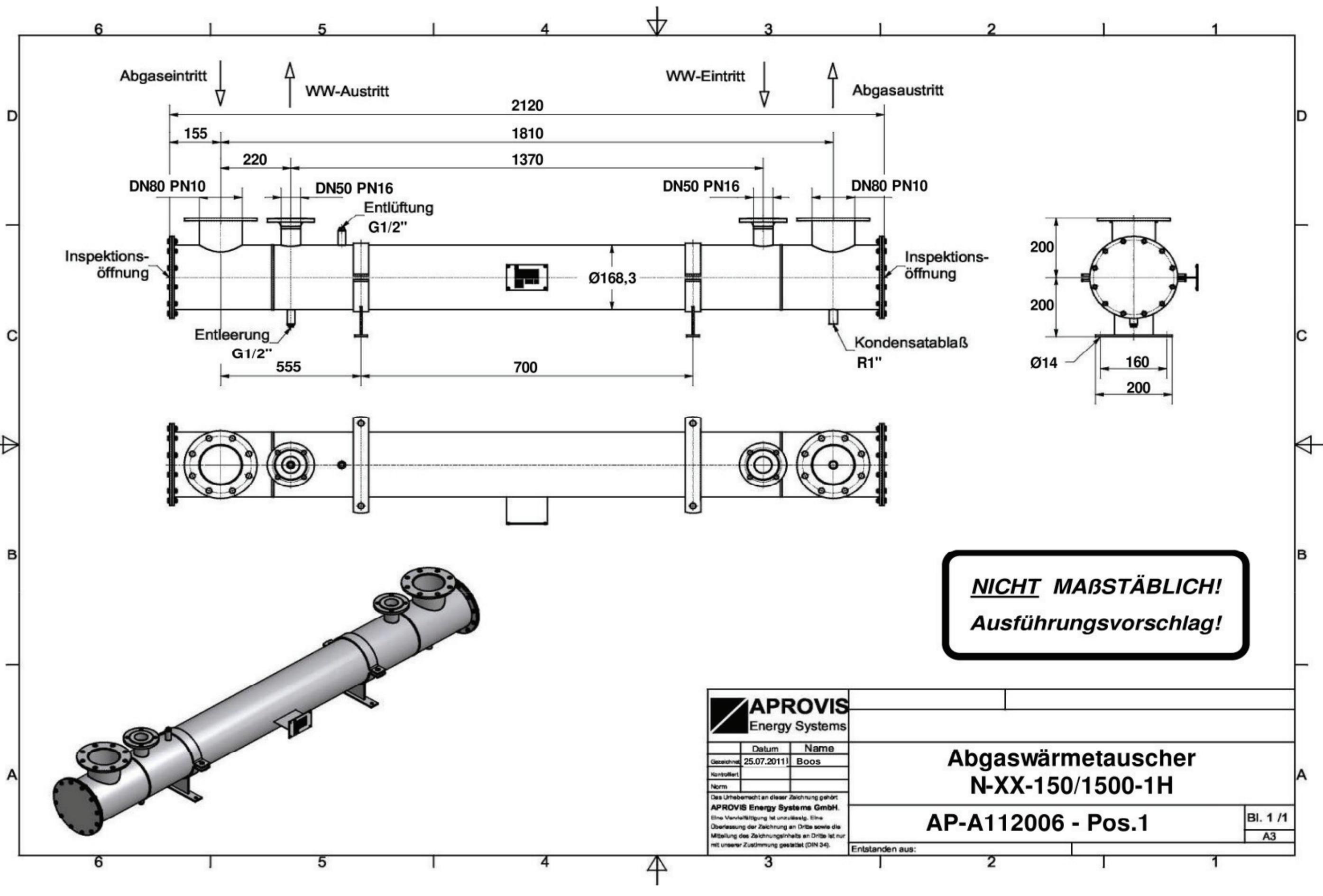
BENENNUNG:
Ölauffangwanne_groß

ZEICHNUNGSNR. A4



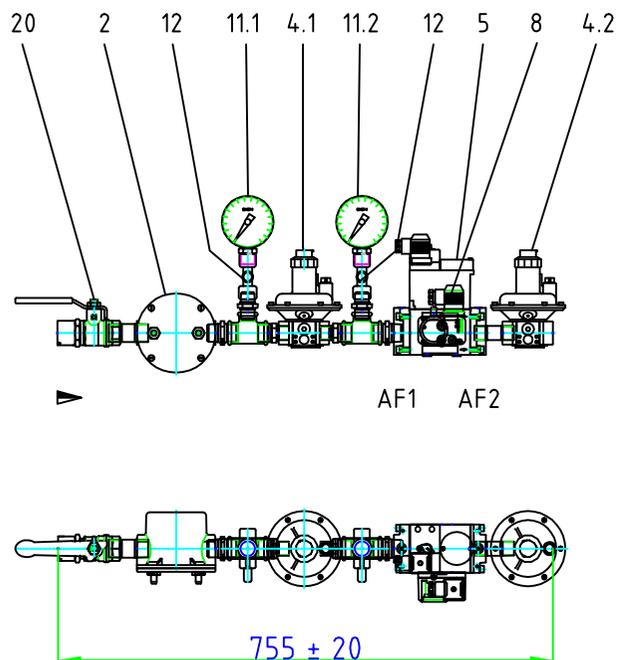
POS-NR.	BENENNUNG	MENGE
1	Rahmen_Hohlprofil_50x50x790	6
2	Rahmen_Hohlprofil_50x50x1250	6
3	Rahmen_Hohlprofil_50x50x1800	4
4	Rahmen_Hohlprofil_50x50x830	1
5	Schiene_L-Profil_3x30x840	2

WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL:		OBERFLÄCHENGÜTE:		ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN		ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN		ÄNDERUNG	
GEZEICHNET	NAME	SIGNATUR	DATUM	BENENNUNG:					
GEPRÜFT	Felix Michaelis		20110929	<h1>Rahmen_Block</h1>					
GENEHMIGT									
PRODUKTION				WERKSTOFF:		ZEICHNUNGSNR.			
QUALITÄT						A3			
GEWICHT:						MASSSTAB:1:20		BLATT 1 VON 1	



APROVIS Energy Systems	
Datum	Name
Gezeichnet: 25.07.2011	Boos
Kontrolliert:	
Norm:	
Das Urheberrecht an dieser Zeichnung gehört APROVIS Energy Systems GmbH. Eine Vervielfältigung ist unzulässig. Eine Überlassung der Zeichnung an Dritte sowie die Mitteilung des Zeichnungsinhalts an Dritte ist nur mit unserer Zustimmung gestattet (DIN 34).	
Entstanden aus:	

Abgaswärmetauscher	
N-XX-150/1500-1H	
AP-A112006 - Pos.1	
Bl. 1 / 1	
A3	



This design and/or document is proprietary and protected by copyright. It may not, without our prior express consent, be copied, retransmitted, or used in any way by any third party. It must be returned to us upon discharge of the order. Any infringements can be punished under § 18 of the German Unfair Competition Act.

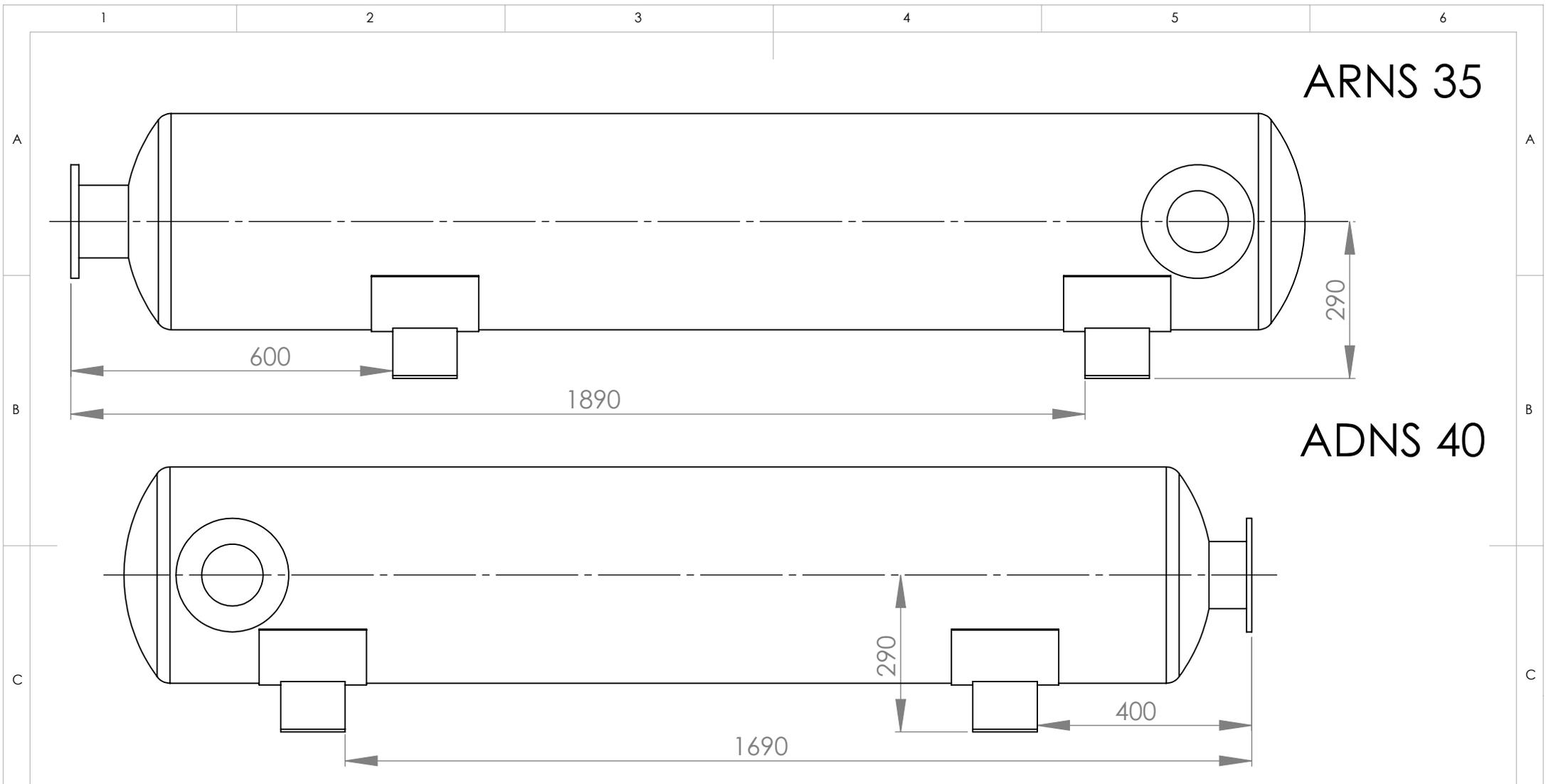
Diese Zeichnung und/oder Unterlagen ist unser Eigentum und für uns urheberrechtlich geschützt. Sie darf ohne unsere vorherige schriftliche Zustimmung weder vervielfältigt noch an Dritte weitergegeben werden und ist nach Erledigung des Auftrags an uns zurückzugeben. Verstöße sind nach § 18 UWG strafbar.

Medium:	medium:	Erdgas / Natural Gas
Volumenstrom:	gas flow:	18 Nm ³ /h
min. Eingangsdruck:	min. inlet pressure:	60 mbar
max. Eingangsdruck:	max. inlet pressure:	500 mbar
max. Betriebsdruck:	max. operating pressure:	500 mbar
Ausgangsdruck:	outlet pressure:	0 mbar
Spannung:	voltage:	24 VDC
elektr. Schutzart:	el. degree of protection:	IP 54
Fließrichtung: ◀▶	flow direction: ◀▶	links nach rechts / left to right
Temperatur:	temperature:	-10 ... +60°C
max. Schallpegel:	max. noise level:	-- db[A]

LEGENDE

Position	Armaturen	armatures	Typ / model	Nennweite / size
2.0	Gasfilter	Gasfilter	GF 507/1	Rp 3/4
4.1	Gasdruckregler	Pressure Regulator	FRS 505 (10 - 30 mbar)	Rp 1/2
4.2	Gasdruckregler	Pressure Regulator	FRNG 505	Rp 1/2
5.0	Doppelmagnetventil	Double Solenoid Valve	DMV-D 507/11	
8.0	min. Druckwächter	min. Pressure Switch	GW 150 A5 (vor / upstream V1)	
11.1	Manometer	Manometer	0 - 600 mbar	Rp 1/2
11.2	Manometer	Manometer	0 - 60 mbar	Rp 1/2
12.0	Druckknopfahh	Push Button Valve	DKH	Rp 1/2
20.0	Therm. Armaturensicherung	Therm. Shut off Valve	998NG-TAS	Rp 3/4
AF1	Anschlußflansch	Connecting Flange	AF DMV 507	Rp 3/4
AF2	Anschlußflansch	Connecting Flange	AF DMV 507	Rp 1/2

nicht tolerierte Maße nach		Maßstab	LK-Nr.	24279
Bohrungen H13 DIN EN 20273 Gewinde 6H/6g DIN 13 T.14 u. 15		Werkstoff	Oberfläche	
Datum		Kunde: Dreyer & Bosse		
Name		Benennung		
Bearb. 30.08.11		Gas System		
Gepr.				
Norm		Zeichn.-Nr.	Klass.-Nr.	Format
DUNGS®		259 770		3
Karl Dungs GmbH & Co. KG Kiebitzheide 34 D-49084 Osnabrück		Ers. f.	Ers. d.	Blatt
Index	Änderung	Datum	Name	B1

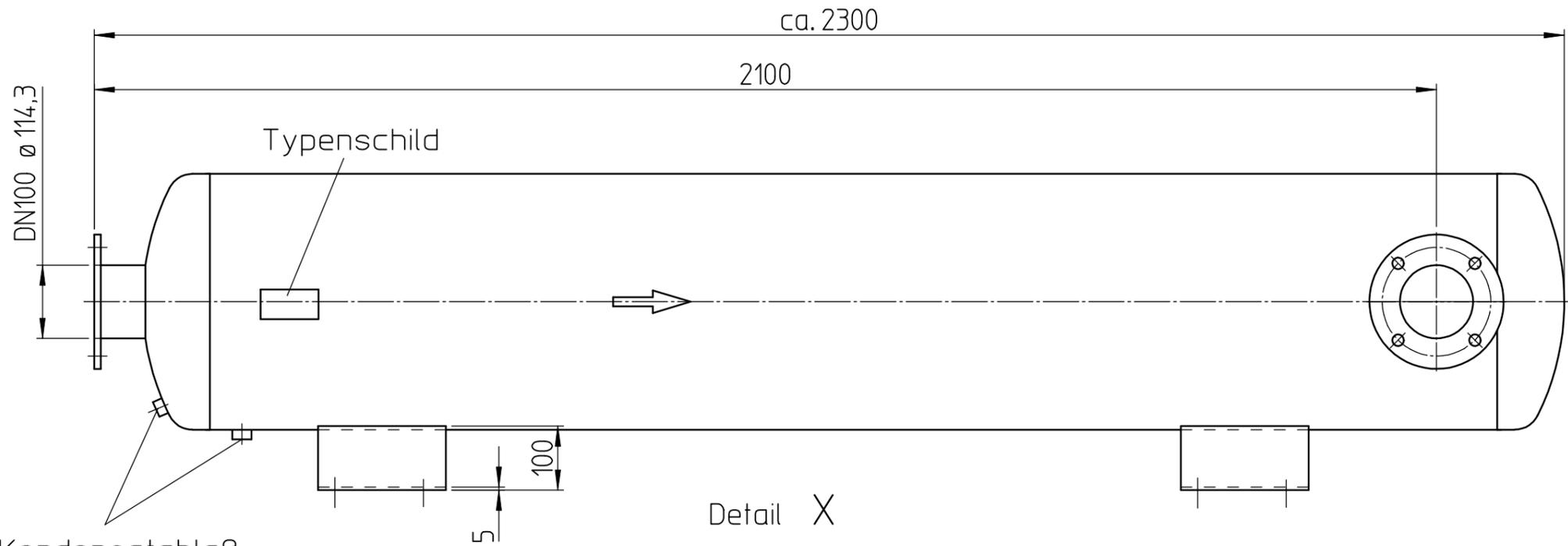
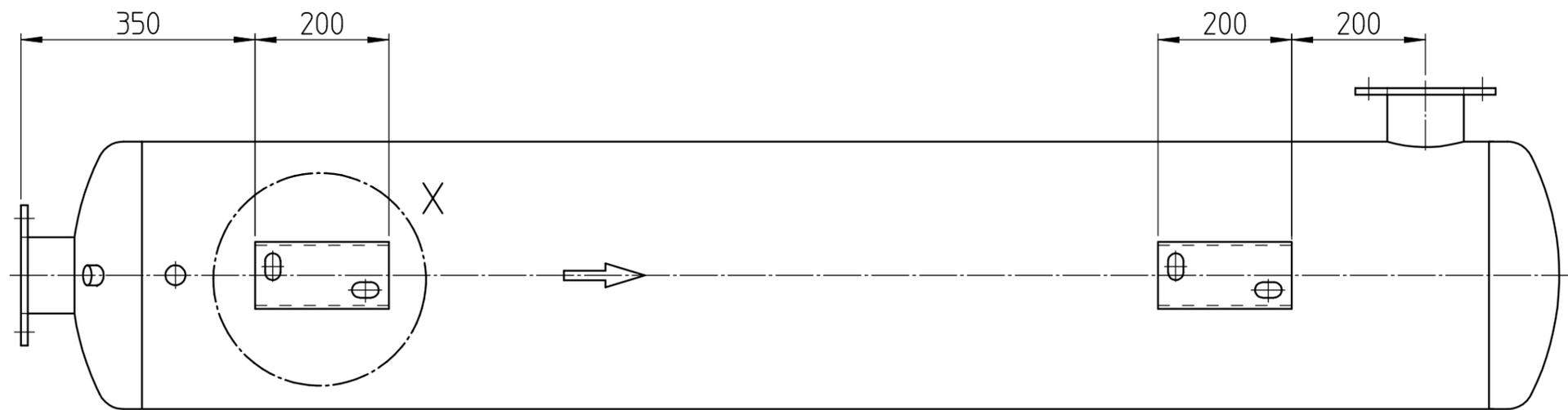


ARNS 35

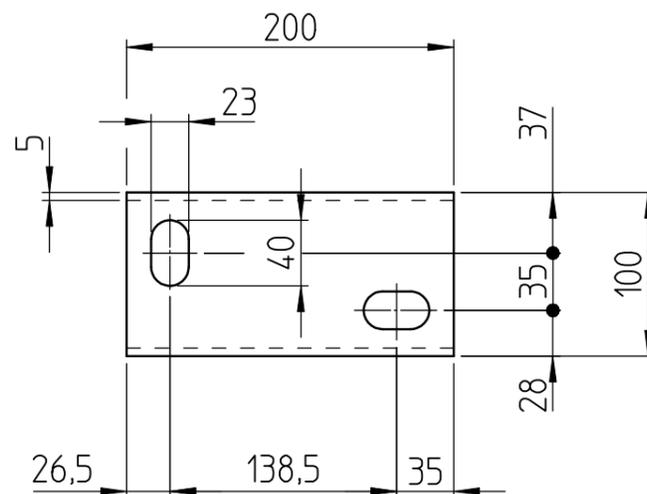
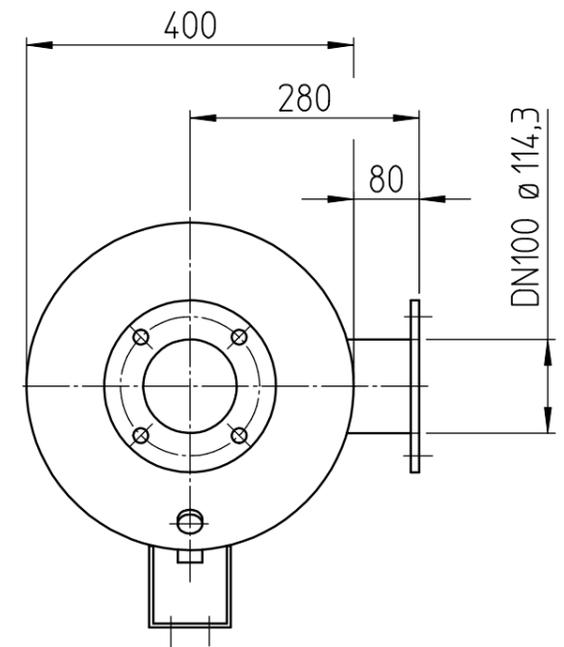
ADNS 40

WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL:		OBERFLÄCHENGÜTE:		ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN		ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN		ÄNDERUNG	
						BENENNUNG:			
GEZEICHNET Felix Michaelis		SIGNATUR		DATUM 16.10.2011		ZEICHNUNGSNR.		A4	
GEPRÜFT						MASSSTAB: 1:10		BLATT 1 VON 1	
GENEHMIGT						GEWICHT:			
PRODUKTION									
QUALITÄT									

Schalldämpfer

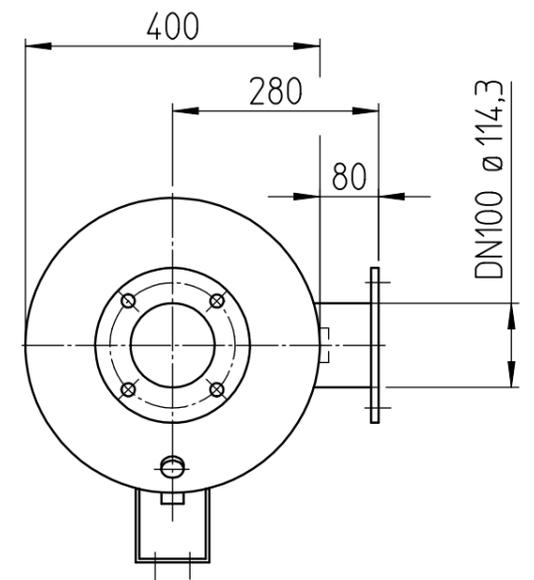
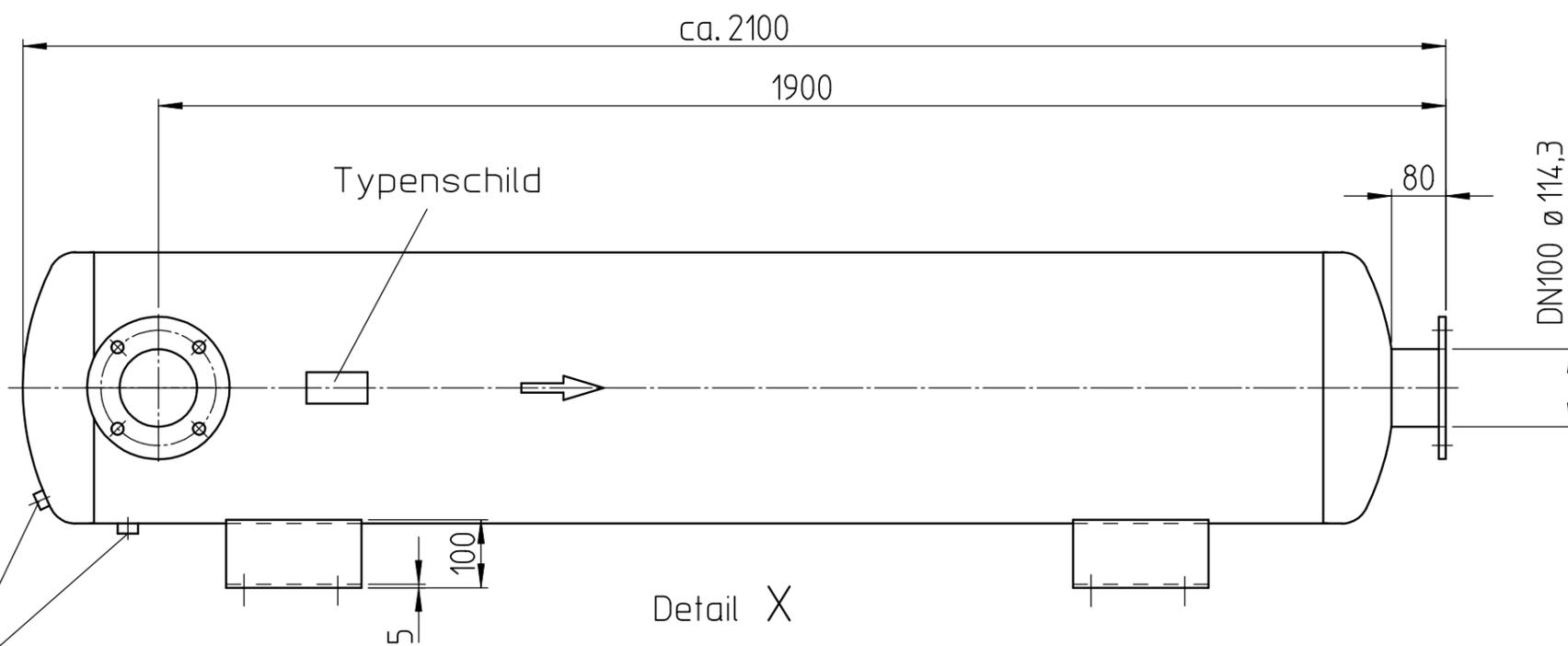
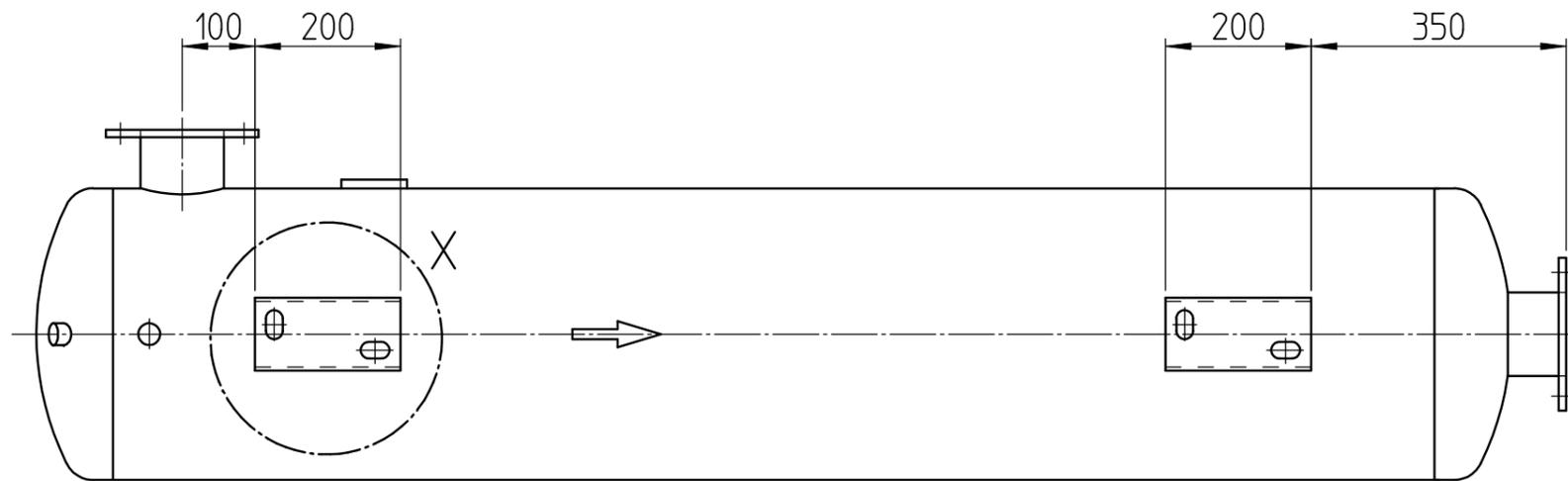


Kondensatablaß
R1/2" mit Stopfen

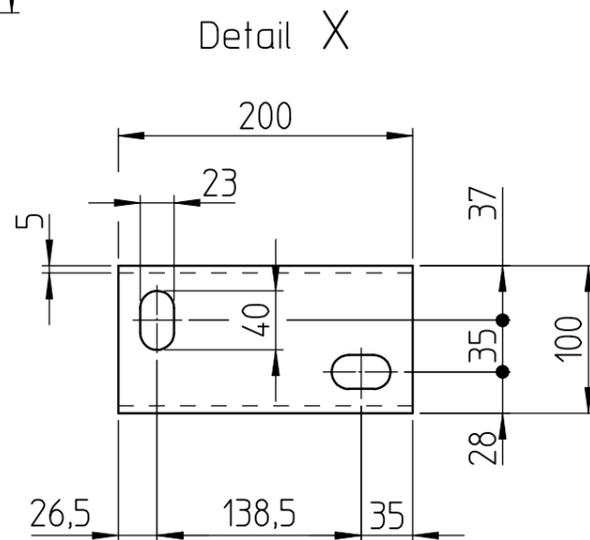


Flanschlochkreis nach DIN2573 (PN6)
mit Flansche

Martin Adam GmbH							entstanden aus: 7 11 6327 00 00 0A	
							Abgasschalldämpfer ARNS35 DN100	
C A D				Tag	Name	Diese Zeichnung darf weder kopiert noch dritten Personen mitgeteilt, noch anderweitig mißbräuchlich benutzt werden.(Gesetz v. 7.6.1909)		
				Bearb. 20.09.11	F. Runde			
				Gepr.				
				Norm.				
Ausgabe	Änderung	Tag	Name				7 11 6349 00 00 0 G	Maßstab :



Kondensatablaß
R1/2" mit Stopfen

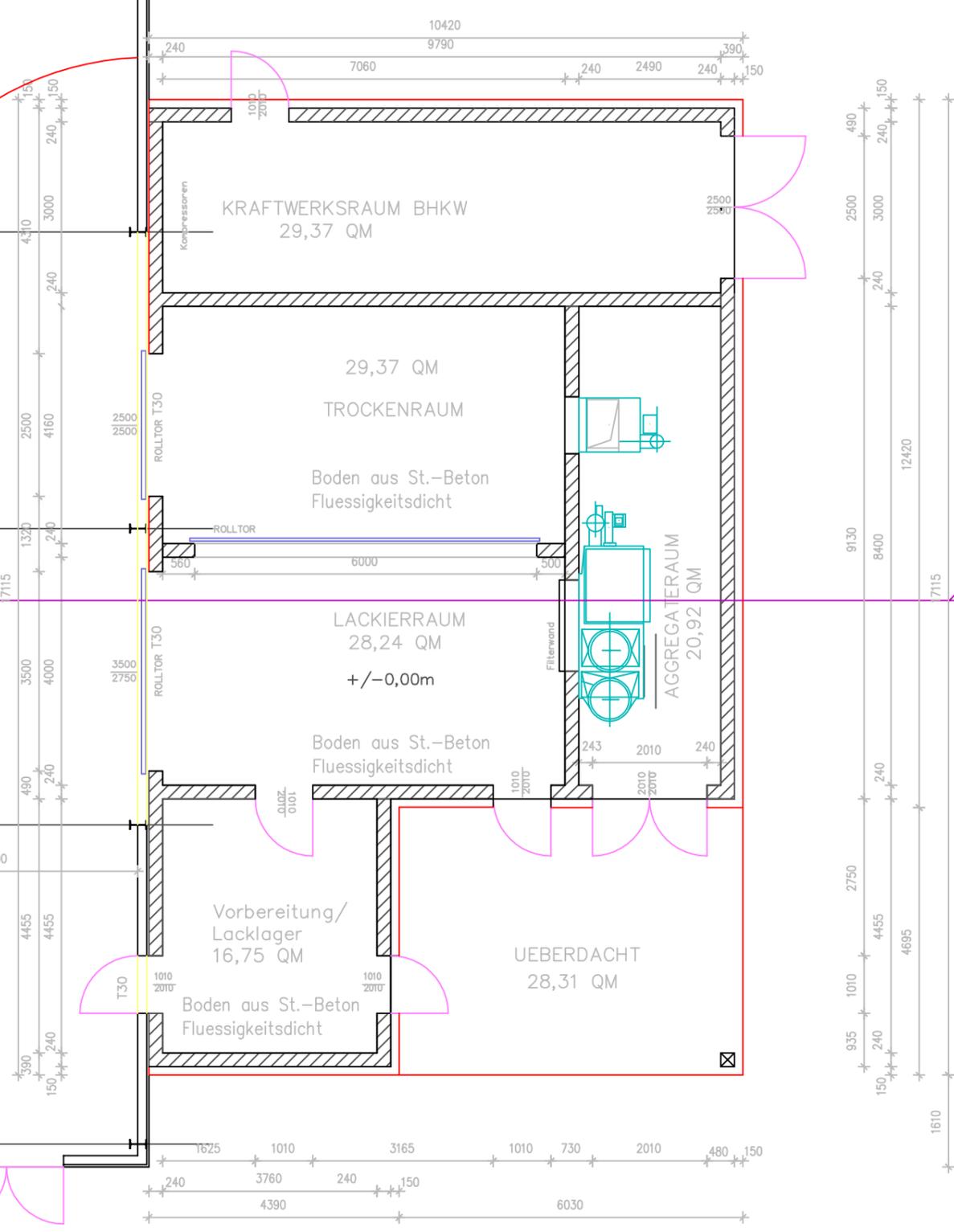
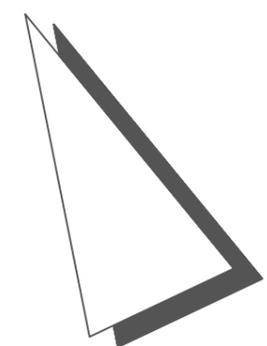


Flanschlochkreis nach DIN2573 (PN6)
mit Flansche

Martin Adam GmbH							entstanden aus: 7 11 6328 00 00 0A	
							Abgasschalldämpfer ADNS40 DN100	
C A D				Tag	Name	Diese Zeichnung darf weder kopiert noch dritten Personen mitgeteilt, noch anderweitig mißbräuchlich benutzt werden.(Gesetz v. 7.6.1909)		
				Bearb. 20.09.11	F. Runde			
				Gepr.				
				Norm.				
Ausgabe	Änderung	Tag	Name	7 11 6350 00 00 0 G			Maßstab :	

HALLE
464,80 qm
+/-0,00m

SCHUTZZONE, 5,00 m



Dreyer & Bosse Kraftwerke
NEUBAU EINER LACKIERANLAG

BAUHERR:
Dreyer & Bosse Streßelfeld 1
29475 Gorleben

PLANUNG:
Lothar Albrecht Seerau im Drawehn 5
Dipl. Ing. Architekt 29482 Kuesten
Tel. 05841 / 709527
Fax 05841 / 709528

GRUNDSTUECK: Gemeinde Gorleben
5062 qm Gemarkung Gorleben
Flur 5
Flurstueck 153/18, 153/23

MASZSTAB 1:100 DATUM
21.06.11

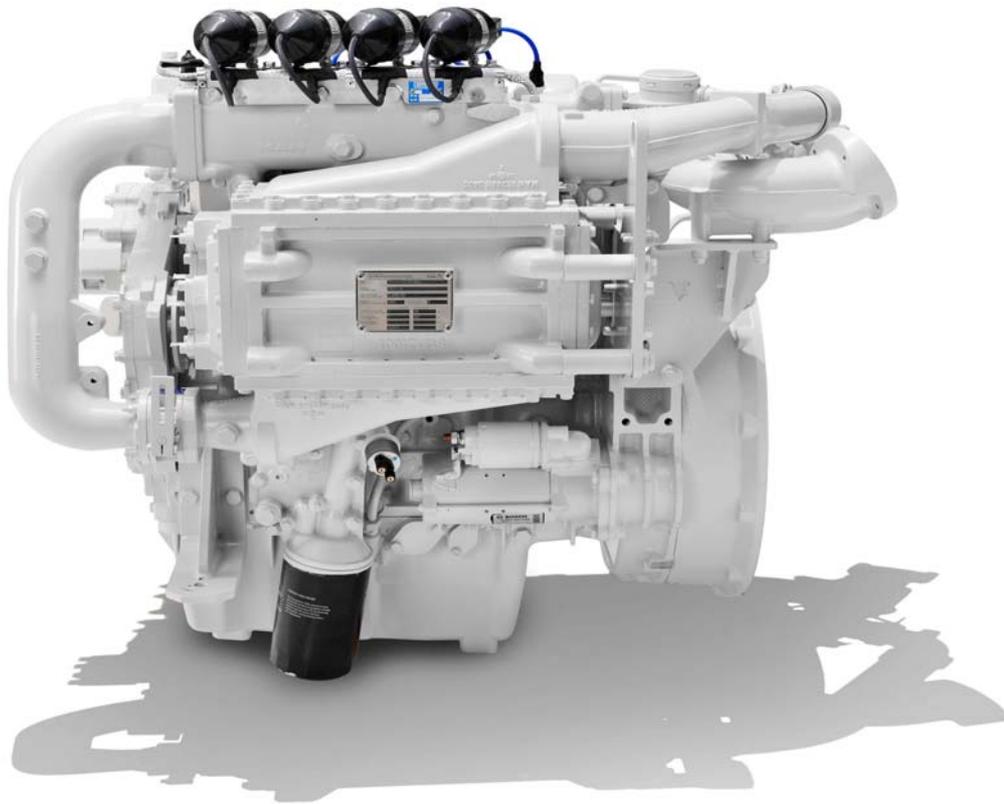
GRUNDRISS

BLATT
1



Erdgasmotor E 0834 LE 302 technische Daten

Seite 1
02 / 2011



Bauart:	Viertakt-Otto-Gasmotor
Zylinder:	4 in Reihe
Aufladung:	Abgasturbolader mit wärmeisoliertem Turbinengehäuse, druckölgeschmierten Lagern und wassergekühltem Lagerstuhl
Gemischkühlung:	Zweistufige Gemischkühlung mit Hoch- und Niedertemperaturkreis Ohne Gemischwasserpumpe, die Kühlwasserumläufe sind durch externe Kühlwasserpumpen mit Gemischtemperaturregelung auf 50 °C auszuführen
Motorkühlung:	Ohne Motorwasserpumpe, der Kühlwasserumlauf ist durch externe Wasserpumpe mit Temperaturregelung auszuführen.
Schmierung:	Druckumlaufschmierung durch Zahnradpumpe, auswechselbarem Schmierölfilter im Hauptstrom und Schmierölkühler im Kühlmittel- kreislauf des Motors eingebunden.
Zündkerzen:	Spezial Zündkerze für Industriegasmotoren
Anlasser:	Schub-Schraubtriebanlasser 24 V - 4,0 kW Anlassbatteriekapazität: 143 Ah, 24 V



Erdgasmotor E 0834 LE 302 technische Daten

Seite 2
02 / 2011

Gemischkühlung auf: 50 °C

Motordaten

50 Hz

$$\lambda = 1,62$$

Nenndrehzahl	min ⁻¹	1500
ISO-Standard-Leistung	kW	68
Luftverhältnis	λ	1,62
Bauart		Reihenmotor
Zylinderzahl		4
Bohrung	mm	108
Hub	mm	125
Hubraum	l	4,58
Drehrichtung auf Schwungrad gesehen		links
Schwungradgehäuse		SAE 2
Zahnkranz mit Zähnezahl	Z	129
Verdichtungsverhältnis	ϵ	11:1
mittl. effekt. Druck	bar	11,90
mittl. Kolbengeschwindigkeit	m/s	6,3
mittl. Schmierölverbrauch	kg/h	0,050
Verschleißgrenze Schmierölverbrauch	kg/h	0,100
Füllmenge Motoröl min./max.	l	9/13
Füllmenge Kühlwasser	l	13
max. Betriebsdruck	bar	2
Kühlwasserumlaufmenge min.	l/min	175
Kühlwassertemperatur min.	°C	80
Kühlwassertemperatur max.	°C	88
Differenz (Ein-Austritt max.)	K	6
Gemischtemperatureintritt nach Drosselklappe max.	°C	50
Gemischkühlwasser Eintrittstemperatur NT max.	°C	45
Gemischkühlwasserumlaufmenge NT min.	l/min	13
Gemischkühlwasser Eintrittstemperatur HT max.	°C	85
Gemischkühlwasserumlaufmenge HT min.	l/min	45
Ansaugunterdruck max.	mbar	15
Abgasgegendruck max.	mbar	40
Motorbreite	mm	809
Motorlänge	mm	1055
Motorhöhe	mm	866
Motorgewicht, trocken	kg	495

Schmieröl nach MAN - Werknorm M 3271-2 und Kühlmittel nach MAN - Werknorm M 324 Typ NF
Gasqualität nach MAN - Datenblatt - Mindestanforderung an die Gasqualität für MAN-Gasmotoren
Luftverhältnis gemessen mit Lambdameter ETAS LA 4_E



Erdgasmotor E 0834 LE 302 technische Daten

Seite 3
02 / 2011

Gemischkühlung auf: 50 °C

Leistungsdaten 50 Hz

$\lambda = 1.62$

Last	%	100	75	50
Zündzeitpunkt vor OT	grad	16	16	16
ISO-Standard-Leistung	kW	68	51	34
Kühlwasserwärme	kW	54	47	37
Gemischwärme HT	kW	7	4	2
Gemischwärme NT	kW	2	2	0
Abgaswärme bis 120 °C	kW	33	25	19
Strahlungswärme max.	kW	13	10	7
Brennstoffleistung	kW	177	139	99
Kraftstoffverbrauch	MJ/kWh	9,2	9,8	10,4

Wirkungsgrade

mechanisch	%	38,4	36,7	34,3
thermisch	%	53,1	54,7	58,6
gesamt	%	91,5	91,4	92,9

Massenströme

Verbrennungsluft	kg/h	348	266	188
Brennstoff	kg/h	13	10	7
Abgasmassenstrom, feucht	kg/h	361	276	195
Abgasvolumenstrom, trocken (0°C, 1013mbar)	Nm ³ /h	288	221	156

Temperaturen

Abgastemperatur	°C	410	390	370
-----------------	----	-----	-----	-----

Emissionswerte

NO _x	mg/Nm ³	< 500	bei 5 % Restsauerstoff
CO	mg/Nm ³	< 650	bei 5 % Restsauerstoff
HCHO (Formaldehyd)	mg/Nm ³	< 60	bei 5 % Restsauerstoff
NMHC	mg/Nm ³	< 150	bei 5 % Restsauerstoff
Motoroberflächengeräusch	dB (A)	100	Gesamtschalleistung
Abgasmündungsgeräusch	dB (A)	130	Gesamtschalleistung

Referenzgasmischer: Deltec 1604 921083 und Zündsystem Motortech MIC 500

Die technischen Daten sind bezogen auf Erdgas mit einem Heizwert von 10 kWh/Nm³ und einer Methanzahl größer 80.

Die technischen Daten sind auf Normbezugsbedingungen gemäß DIN ISO 3046-1 angegeben

Normbezugsbedingungen:	Luftdruck absolut:	100 kPa
	Lufttemperatur:	25 °C
	relative Luftfeuchtigkeit:	30 %

Leistungsanpassung bei Umgebungsbedingungen gemäß DIN ISO 3046-1

Die Toleranz für den spezifischen Kraftstoffverbrauch beträgt + 5 % bei Nennleistung

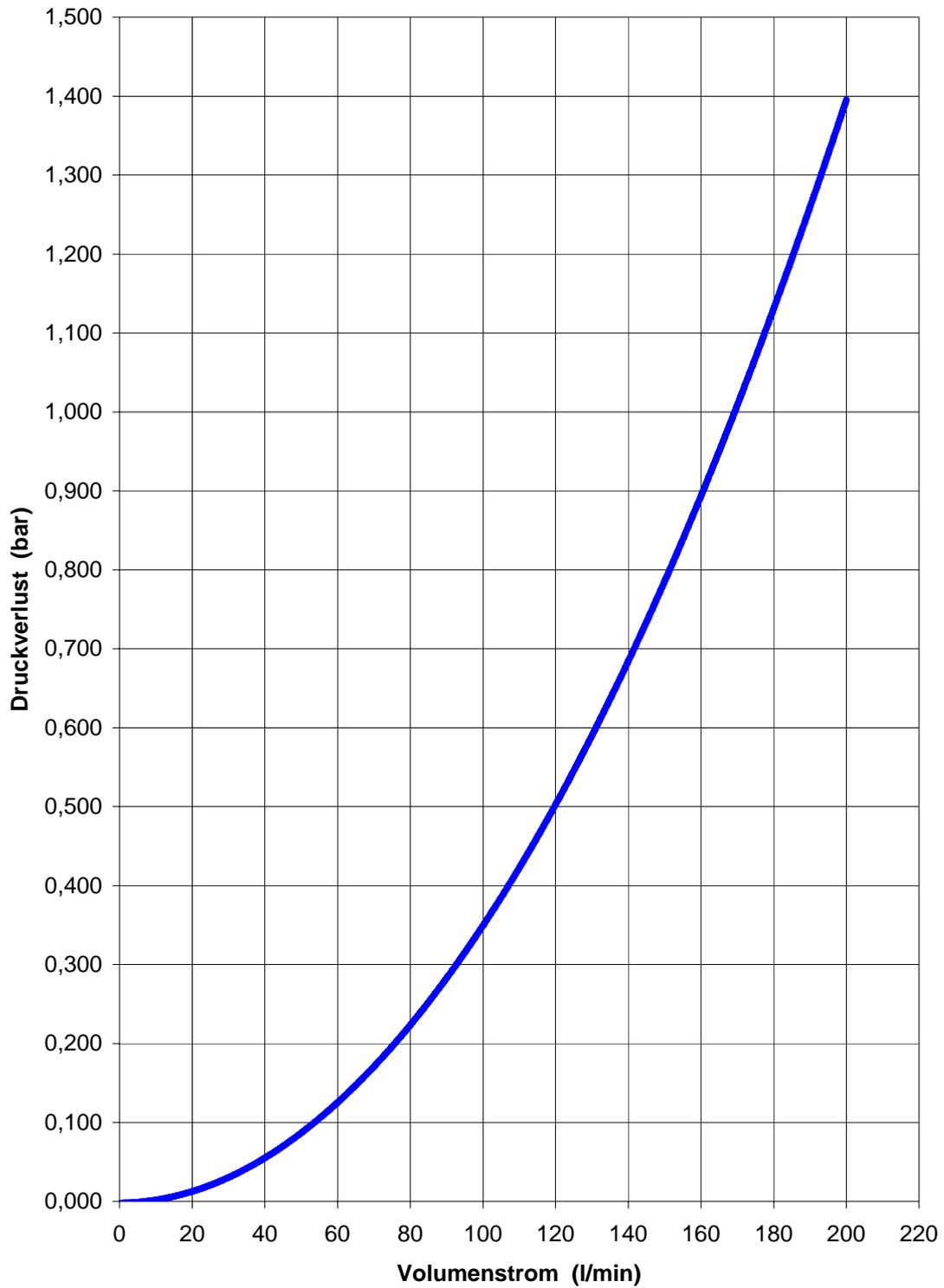
Die Toleranz für die nutzbaren Wärmeleistungen beträgt 7 % bei Nennleistung

Die Kühlwasserangaben sind bezogen auf einen Anteil von 40 % Gefrierschutzmittel



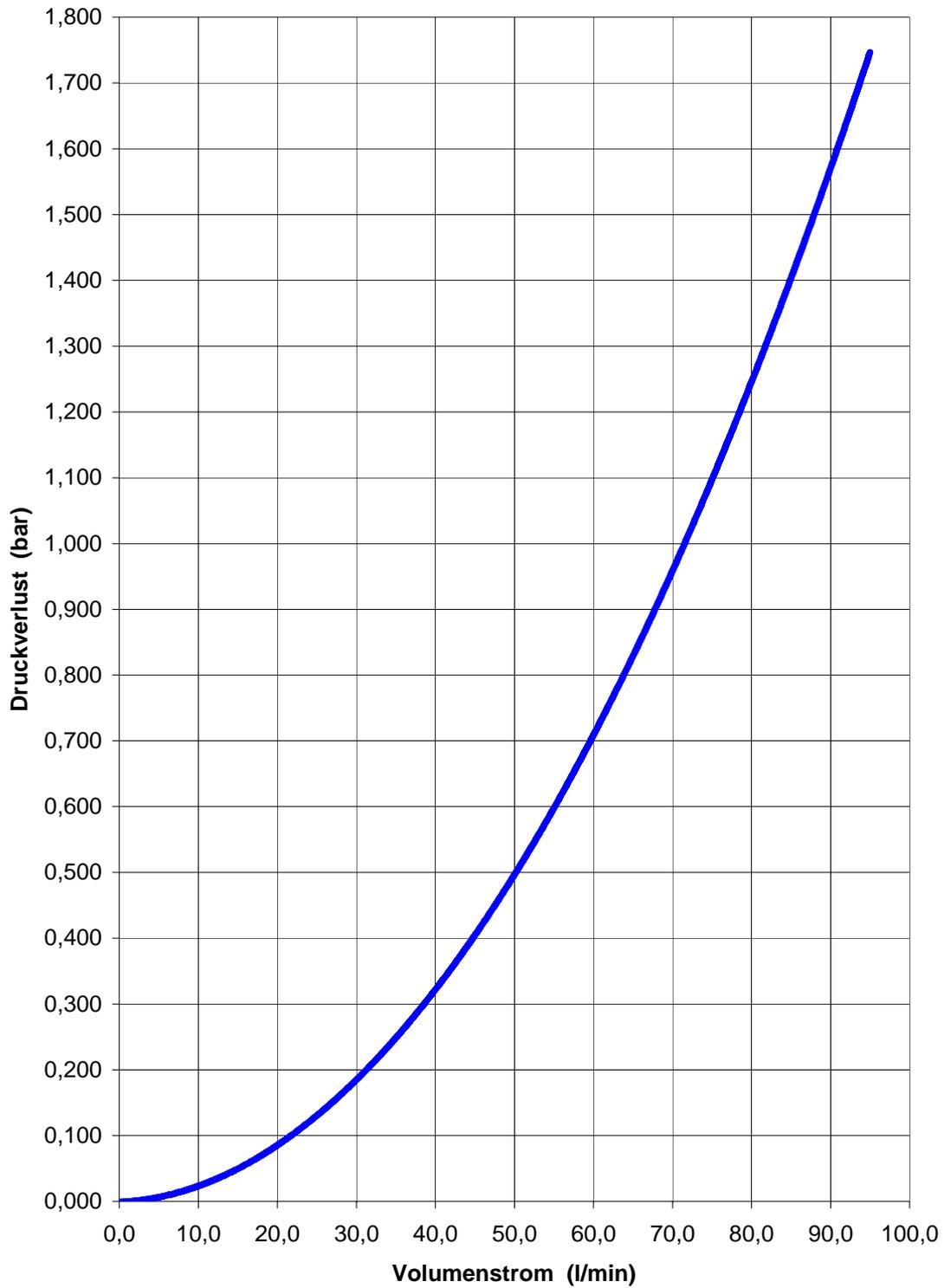
Erdgasmotor E 0834 LE 302

Widerstandslinie des Motors



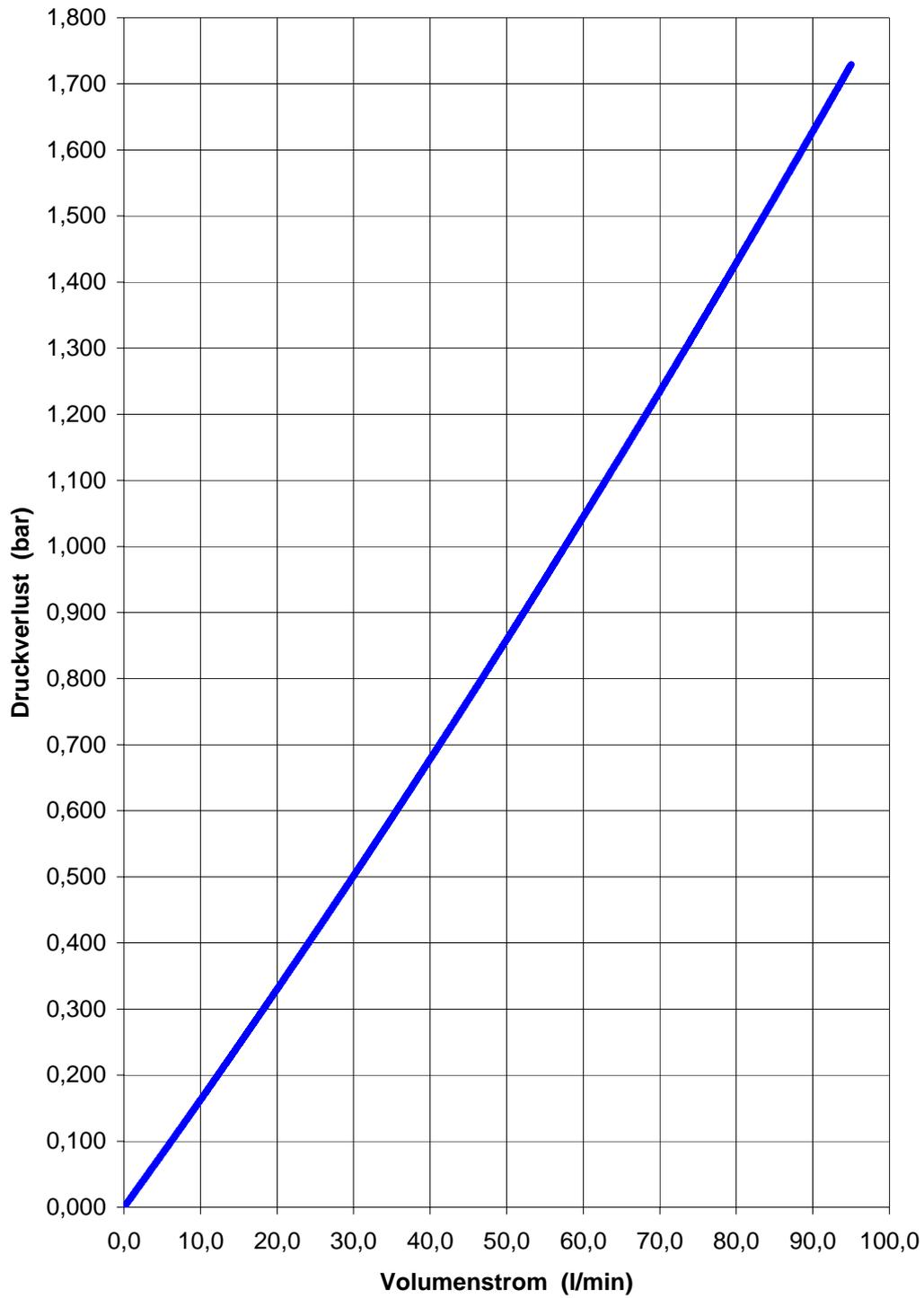


Erdgasmotor E 0834 LE 302
Widerstandslinie des HT-Gemischkühlers





Erdgasmotor E 0834 LE 302
Widerstandslinie des NT-Gemischkühlers



LEROY-SOMER	Tel. : 069-78 07 08-11	Datum : 03.08.2011
Marbaise GmbH	Fax : 069-78 07 08-51	Kunde : Dreyer & Bosse
Eschborner Landstraße 166		Projekt : Anfrage vom 03.08.2011
60489 Frankfurt am Main		Angebot N° : BO629-08-2011

Generator Typ : LSA 43.2 L8 / 4p

Anzahl : 1

Leistung (kVA) : 77

Cos phi : 0,8

Leistung (kWelek.) : 62

Leistung (kWmech.) : 68

Spannung : 400 Volt

Frequenz : 50 Hz

Drehzahl : 1.500 1/min

Aufstellbedingungen :

UT (°C) : 40

Aufstellhöhe : 1.000 m max

Isolationsklasse : H

Schutzart : IP23

Erwärmungsklasse : H

Betriebsart : Inselbetrieb (0F), Parallelbetrieb unter Generatoren und mit dem Netz (3F)

Mechanische Ausführung :

Antriebsart : Dieselmotor

Bauform : SAE 2-11 1/2"

Lagerung : Wälzlager

Lagerschmierung : lebensdauer geschmiert

Klemmenkasten : Standard

Kühlung Geno : Luft / 40 °C

$J \sim Mr^2$ (kg.m²): ~0,5826

Gewicht (kg) : ~320

Generatorschutz :

Temp. Fühler Stator : Ohne

Lager : ohne

Stillstandsheizung : Ohne

Spannung : ----

Wandlereinbau :

Regelung :

Regler Typ : R 438

Einbau : im Klemmenkasten

Erregungsart : AREP

Wirkungsgrad	4/4	3/4	2/4	1/4
cos phi 0,8	90,7	91,6	91,8	89,6
cos phi 1	93,7	94,0	93,6	90,7

Sonstiges :

Reaktanzen ungesättigt (%) : $X_d=273/X_q=164/X'd=19/X'q=281/X''d=9,6/X''q=12,1/X_2=10,9/X_o=1$

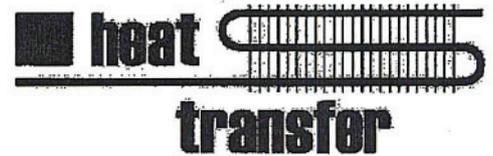
Reaktanzen gesättigt (%) : $X_{ds}=137/X_{qs}=82/X''ds=9,5/X''qs=141/X''ds=4,8/X''qs=6,1/X_2s=5,4/X_{os}=1$

max. Typenleistung bei Erwärmungsklasse H : 80 kVA bei F : 73 kVA

Qualität zählt !

Pos. 1 1 Stück **ABGASWÄRMETAUSCHER N-03-150/1500-1H-1AC-P**

Austauschfläche	m²	2,9			
Leistung	kW	34	Sauber:	34,7	kW
Medium durch Rohre			Abgas (Erdgas)		
Menge	kg/h	361			
Eintrittstemperatur	°C	410			
Austrittstemperatur	°C	105	Sauber:	99	°C
max. Betriebstemperatur	°C	500			
max. Betriebsüberdruck	bar	0,1			
Druckverlust	mbar	15			
Anschlüsse	DN/PN	80/10			
Medium um Rohre			Wasser		
Menge	m ³ /h	13,2	Minimum:	11	m³/h
Eintrittstemperatur	°C	85			
Austrittstemperatur	°C	87,3			
max. Betriebstemperatur	°C	110			
max. Betriebsüberdruck	bar	6			
Druckverlust	mbar	80			
Anschlüsse	DN/PN	50/16			
Inhalt	ltr.	+/- 20			
Werkstoffe					
Rohre		1.4571			
Rohrböden		1.4571			
Führungswände		Stahl			
Mantel		Stahl			
Kammer Abgaseintritt		Stahl			
Kammer Abgasaustritt		1.4571			
Dichtungen		Keramikband			
Gesamtlänge	mm	+/- 2200			
Manteldurchmesser	mm	168,3			
Gewicht (leer)	kg	+/- 100			
Abnahme		PED 97/23/EG in Verbindung mit AD-Merkblätter/TRD und Werkdruckprüfung			
Anstrich		Grundierung			



Angebotsnummer:
Kundenposition:

Datum: 26.07.2011
Projekt / Referenz:

Heattransfer gelöteter Plattenwärmetauscher

Dichtungsloser Plattenwärmetauscher bestehend aus formgepreßten Edelstahlplatten, die in einem Spezialverfahren unter Vakuum mit Kupfer hartverlötet werden. Strömungsrichtung parallel im Gegenstrom. Gefertigt nach dem Qualitätsmanagementsystem DIN ISO 9002. Die Berechnung und Werkstoffe entsprechen dem Modul B+D, AFS 1999:4 der Europäischen Druckgeräterichtlinie 97/23/EG (CE).

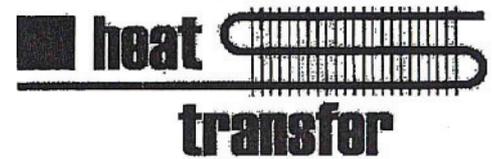
Auslegungsdaten für 1 x L57-30-GG-X

Betriebsdaten	Seite A	Seite B	
Medium:	Ethylen-Glycol 40 %	Wasser	
Zustand:	flüssig	flüssig	
Leistung:		129,1	kW
Massenstrom:			
Volumenstrom:	13,15	5,67	m ³ /h
Temperatur Eintritt:	87,3	60	°C
Temperatur Austritt:	78	80	°C
Druckverlust:	24,71	3,99	kPa
Flächenreserve:		116,7	%
Gesamtinhalt:		9	l
Wärmeübertragungsfläche:		4,2	m ²
Nenndruckstufe:		30	bar
Nenntemperatur:		200	°C

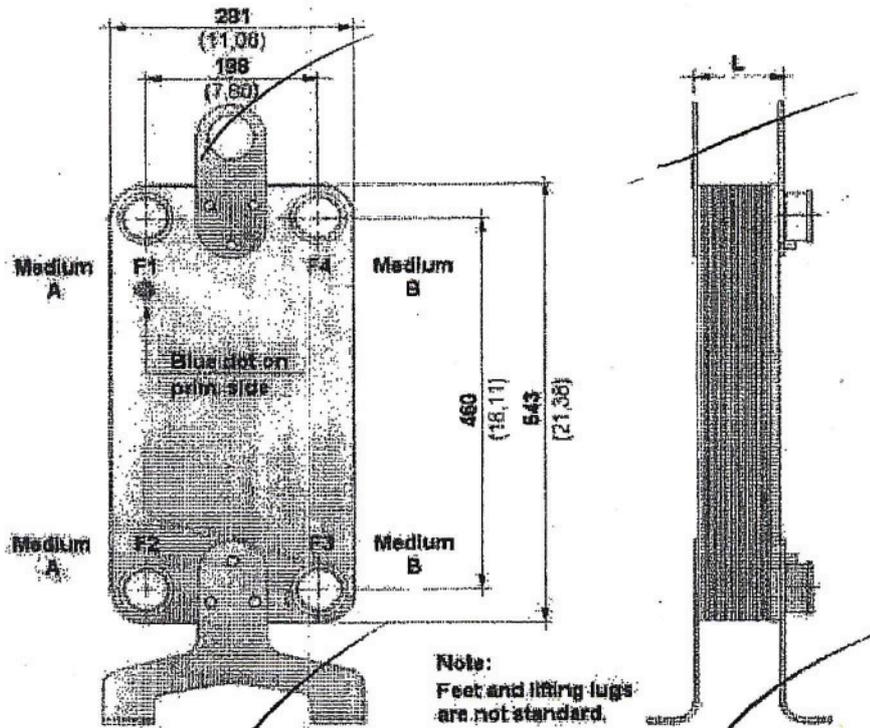
Konstruktive Daten

Größe (Höhe, Breite, Tiefe):	543	281	91	mm
Isolierungsausführung:	Polyurethan-Schaum-Isolierung			
Anschlußausführung:	GG			

Notiz: Bitte achten Sie darauf, daß die verwendeten Medien *nicht* kupferkorrosiv sind und überprüfen Sie die angegebenen Daten. Aufgrund der Kupferlötung ist der Einsatz von unedleren Metallen in Trinkwassernetzen z.B. verzinkte Stahlrohre im Warmwassernetz nach dem Wärmeaustauscher nicht gestattet / siehe DIN 1988.



Modell 57



Standardanschlüsse:

L2	Lötanschluß	l=37,5 mm	Di= 54,20 mm
G2	Aussengewinde	l=37,5 mm	G2" DIN ISO 228/1

Material:

Platten	W.-1.4401, AISI 316	Lot	Kupfer 99.9 %
---------	---------------------	-----	---------------

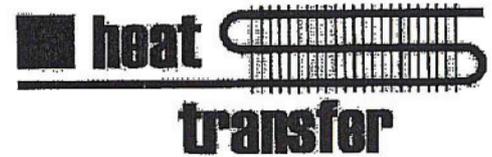
Standard:

Plattenanzahl [N]	L [mm / in]	Leergewicht [kg / lbs]	Inhalt (prim / sec) [Liter]
30	91.0 / 3.6	28.2 / 62.0	4.3 / 4.7
40	117.5 / 4.6	33.2 / 73.0	5.9 / 6.2
50	144.0 / 5.6	38.2 / 84.0	7.4 / 7.8
60	170.5 / 6.6	43.2 / 95.0	9.0 / 9.3
80	223.5 / 8.7	53.2 / 117.0	12.1 / 12.4
100	276.5 / 10.8	63.2 / 139.0	15.2 / 15.5
120	329.5 / 12.9	73.2 / 161.0	18.3 / 18.6

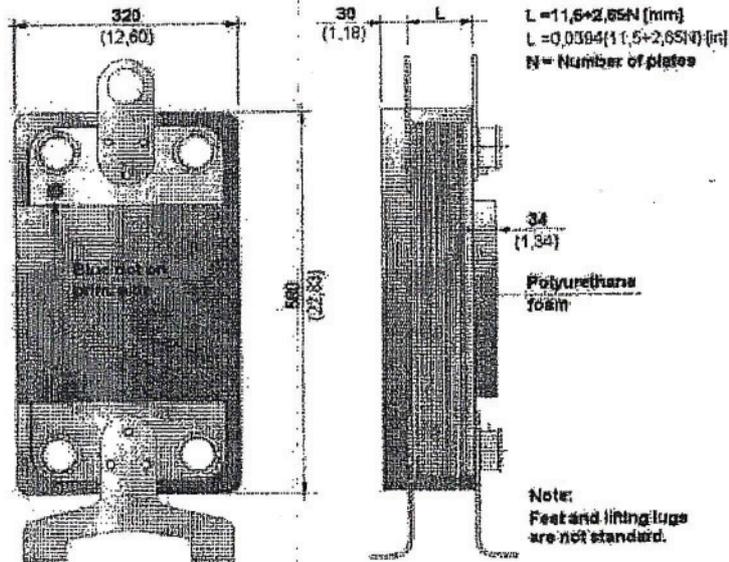
Betriebsbedingungen:

Ausführung Typ	Zulassung	Max. Betriebsdruck (prim / sec) [bar]	Betriebstemperatur (min / max) [°C]
0; 1; 2; 3; 3.1; 4; 5	PED 97/23/EC	31,6 / 35,9 30,6 / 34,8	-160 / 200

Heattransfer * Im Vogelsang 1 * D-56290 Beltheim(Fra) * Tel.: 06762/9616-20 * Fax: 06762/9616-36
www.heattransfer.de * info@heattransfer.de



Modell 57 mit diffusionsdichter aufgebrachtter PU-Schaumisolierung



Isolierung:

Polyurethan-Schaum, FCKW- frei, diffusionsdicht, nicht demontierbar, Prüfung des Brandverhaltens nach DIN 4102 Teil 1, Klasse B2 bestanden bestätigt durch die Forschungs- und Materialprüfungsanstalt. Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/mK.

Zubehör:

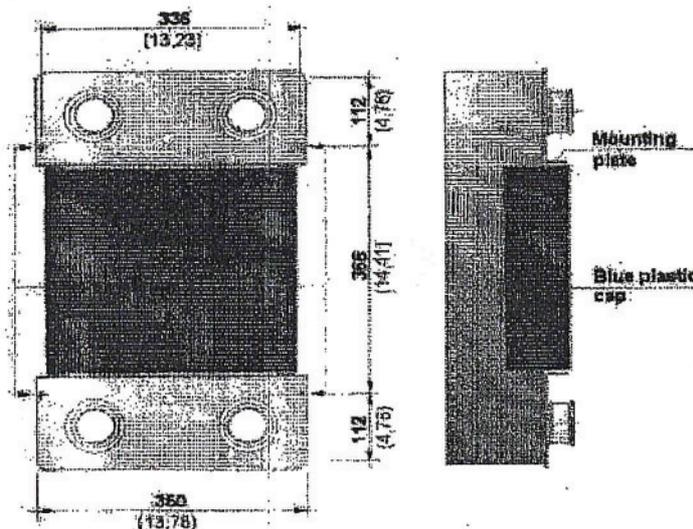
Zwei abgekantete Aluminiumplatten und eine blaue Abdeckkappe.

Befestigungshinweise:

Der Wärmetauscher wird mit dem Rücken zur Wand montiert und kann über Gewindestangen durch die Bohrungen der Aluminiumplatten fixiert werden. Des weiteren schützen die Aluminiumplatten die Isolierung während die Rohrleitungen angelötet werden. Die Abdeckkappe wird nach Montage des Apparates und der Rohrleitungen auf den Wärmetauscher aufgesetzt.

Der isolierte Wärmetauscher kann direkt auf die PU-Hartschaumisolierung gestellt werden.

Heattransfer empfiehlt den Einsatz der Standkonsole und Hebeösen. Diese sind als Zubehör erhältlich.



Telefon
Telefax

IPL 50/130-2,2/2
Anlage: Inlinepumpe

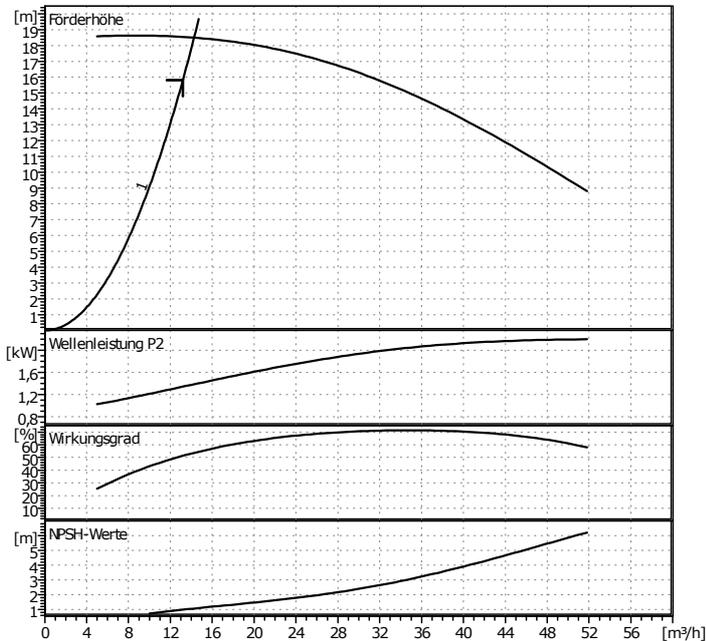


Kunde
Kunden Nr.
Ansprechpartner
Bearbeiter

Projekt
Projekt Nr.
Positions-Nr.
Einbauort
Datum

01.12.2011

Seite 1 / 1



Betriebsdatenvorgabe

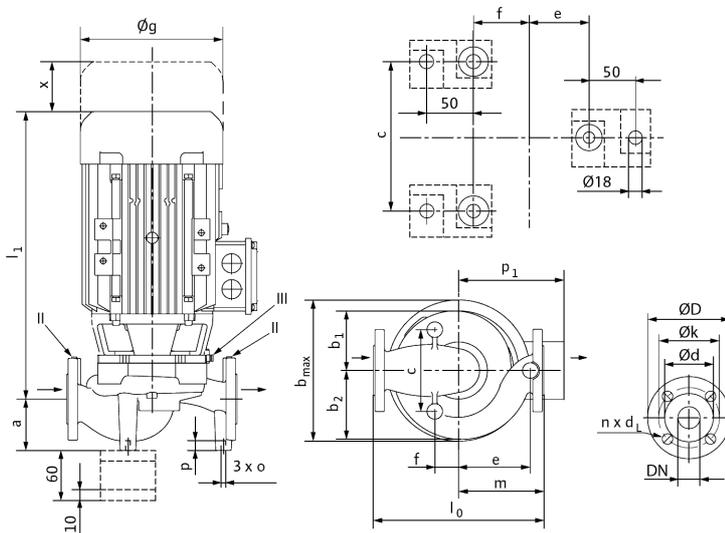
Förderstrom	13,2	m³/h
Förderhöhe	15,83	m
Fördergut	Ethylenglykol (40)	
Fluidtemperatur	85	°C
Dichte	1,03	kg/dm³
Kinematische Viskosität	0,5618	mm²/s
Dampfdruck	0,4394	bar

Pumpendaten

Fabrikat	WILO
Typ	IPL 50/130-2,2/2
Anlagenart	Einzelpumpe
Nenndruckstufe	PN10
Min. Fluidtemperatur	-20 °C
Max. Fluidtemperatur	120 °C

Hydraulische Daten (Betriebspunkt)

Förderstrom	14,3	m³/h
Förderhöhe	18,5	m
Wellenleistung P2	1,38	kW
Drehzahl	2900	1/min
NPSH	1,06	m
Laufreddurchmesser	123	mm



Werkstoffe / Dichtung

Gehäuse	EN-GJL-250
Welle	X 20 Cr 13 (1.4021)
Laufred	Kunststoff
Gleitringdichtung	Q1Q1X4GG (S1)
Laterne	EN-GJL-250
Steckwelle	X 20 Cr 13 (1.4021)
Steckwelle (Ausführung NX 2 Cr NiMo 1810)	

Abmessungen pro Pumpe

	mm					
a	86	l1	375,5	D	165	
b1	116	m	170	dL	19	
b2	131	o	M10	n	4	
bmax	247	Ø g	193	k	125	
c	104	p	20			
e	40	P1	151			
f	50	x	150			
l0	340	d	99			

Saugseite	DN 50 / PN10
Druckseite	DN 50 / PN10
Gewicht	34,5 kg

Motordaten pro Motor/Pumpe

Nennleistung P2	2,2	kW
Nenn Drehzahl	2900	1/min
Nennspannung	3~400 V, 50 Hz	
Max. Stromaufnahme	4,52	A
Schutzart	IP 55	
Zulässige Spannungstoleranz	+/- 10%	

Artikelnr. der Standardversion

Telefon
Telefax

TOP-S 30/10 3~ PN 10
Anlage: Standardpumpe

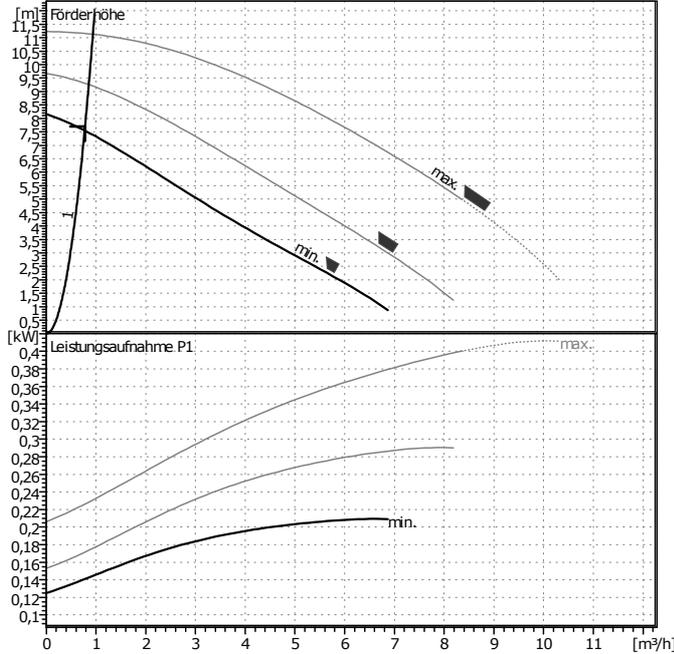


Kunde
Kunden Nr.
Ansprechpartner
Bearbeiter

Projekt
Projekt Nr.
Positions-Nr.
Einbauort
Datum

02.12.2011

Seite 1 / 1



Betriebsdatenvorgabe

Förderstrom	0,78	m ³ /h
Förderhöhe	7,703	m
Fördergut	Ethylenglykol (40)	
Fluidtemperatur	40	°C
Dichte	1,059	kg/dm ³
Kinematische Viskosität	1,742	mm ² /s
Dampfdruck	0,1	bar

Pumpendaten

Fabrikat	WILO
Typ	TOP-S 30/10 3~ PN 10
Anlagenart	Einzelpumpe
Nenndruckstufe	PN10
Min. Fluidtemperatur	-20 °C
Max. Fluidtemperatur	130 °C

Hydraulische Daten (Betriebspunkt)

Förderstrom	0,772	m ³ /h
Förderhöhe	7,55	m
Leistungsaufnahme P1	0,141	kW
Drehzahl	1800	1/min

Mindestzulaufhöhe

Temperatur	50	95	110	130	°C
Mindestzulaufhöhe	0,5	5	11	24	m

Werkstoffe / Dichtung

Gehäuse	EN-GJL 200
Welle	X 46 Cr 13
Laufrad	GF-verstärktes PP
Lager	Kohle, metallimprägniert

Abmessungen pro Pumpe

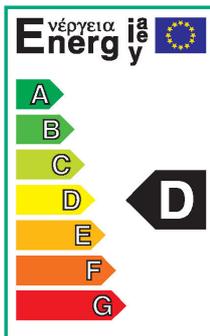
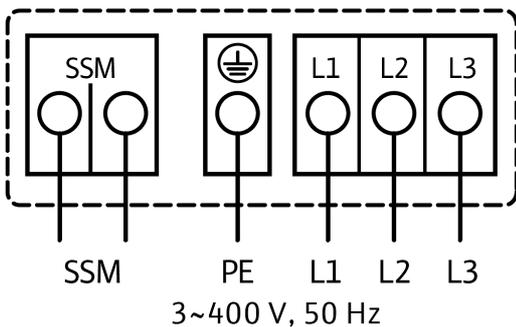
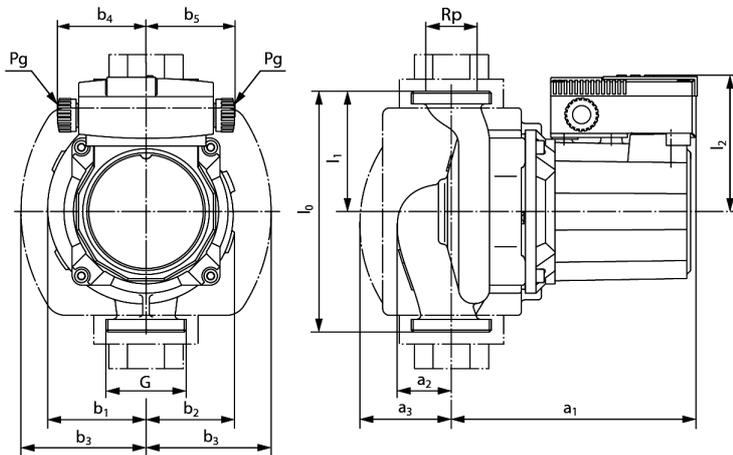
		mm			
a1	172	b3	92	I2	92
a2	45	b4	66	Pg	2 x 13,5
a3	68	b5	66	G	G2
b1	69	l0	180		
b2	68	l1	90		

Saugseite	Rp 1¼/G 2	/ PN 10
Druckseite	Rp 1¼/G 2	/ PN 10
Gewicht	6,3	kg

Motordaten pro Motor/Pumpe

Energieeffizienzklasse	D
Nennleistung P2	0,18 kW
Leistungsaufnahme P1	0,4 kW
Nenn Drehzahl	2610 1/min
Nennspannung	3~400 V, 50 Hz
Max. Stromaufnahme	0,79 A
Schutzart	IP 44
Zulässige Spannungstoleranz +/-	10%

Artikelnr. der Standardversion 2066133



Typ		5420__		5430__		5440__							
Schaltstufe		2	1	2	1	2	1						
2-stufig 400 V Drehstrom	Typ	542036 100 W/0,21A 90 W/0,12 A		543036 100 W/0,21 A 90 W/0,12 A		544036 100 W/0,21 A 90 W/0,12 A							
1-stufig 230 V Wechselstrom	Typ	542031 170 W/0,78 A		543031 170 W/0,78 A		544031 170 W/0,78 A							
Nenndrehzahl	1/min	1350	1050	1350	1050	1350	1050						
Luftvolumenstrom	m³/h	2360	1870	2140	1670	1890	1480						
Wandmontage													
Wurfweite	m	18	13	17	13	16	12						
Höhe bei Deckenmontage max. mit Luftlenkjalousie	m	5,5	4,7	5,2	4,5	4,8	4,1						
mit Luftverteiler	m	3,5	3,0	3,3	2,9	3,1	2,7						
Gewicht	kg	27	27	28	28	29	29						
Wasserinhalt	l	1,6	1,6	2,1	2,1	2,6	2,6						
Anschluss	Zoll	1"	1"	1"	1"	1"	1"						
Schalldruckpegel L _{PA} *	dB(A)	55	49	55	49	55	49						
Schallleistungspegel L _{WA}	dB(A)	71	65	71	65	71	65						
Wärmeleistungen													
Heizmedium	t ₁	Q	t ₂	Q	t ₂	Q	t ₂	Q	t ₂	Q	t ₂	Q	t ₂
	°C	kW	°C	kW	°C	kW	°C	kW	°C	kW	°C	kW	°C
PWW 55/45 °C	-15	16,5	3,7	14,7	5,9	21,0	11,2	18,2	14,1	23,8	18,6	20,4	21,7
	-10	15,2	7,4	13,5	9,5	19,3	14,4	16,8	17,1	21,9	21,3	18,7	24,1
	-5	13,8	11,1	12,3	13,0	17,6	17,5	15,3	20,1	19,9	23,9	17,1	26,6
	0	12,5	14,7	11,1	16,5	15,9	20,6	13,8	23,0	18,0	26,5	15,4	28,9
	5	11,2	18,3	9,9	19,9	14,2	23,7	12,3	25,8	16,1	29,0	13,7	31,2
	10	9,8	21,9	8,7	23,3	12,5	26,7	10,8	28,6	14,1	31,4	12,1	33,4
	15	8,5	25,4	7,5	26,7	10,8	29,6	9,4	31,3	12,2	33,7	10,4	35,5
	18	7,7	27,5	6,8	28,7	9,8	31,3	8,5	32,8	11,1	35,1	9,5	36,7
	20	7,1	28,9	6,3	30,0	9,1	32,5	7,9	33,9	10,3	36,0	8,8	37,5
PWW 70/55 °C	-15	19,4	6,9	17,2	9,6	24,7	15,8	21,4	19,2	28,0	24,5	23,9	28,1
	-10	18,1	10,7	16,1	13,2	23,0	19,0	20,0	22,3	26,0	27,2	22,3	30,7
	-5	16,7	14,4	14,9	16,8	21,3	22,3	18,5	25,3	24,1	29,9	20,6	33,2
	0	15,4	18,1	13,7	20,3	19,6	25,4	17,0	28,3	22,2	32,6	19,0	35,6
	5	14,1	21,8	12,5	23,8	17,9	28,5	15,5	31,2	20,2	35,2	17,3	38,0
	10	12,7	25,4	11,3	27,3	16,2	31,6	14,0	34,0	18,3	37,7	15,7	40,3
	15	11,4	29,0	10,1	30,7	14,5	34,6	12,6	36,8	16,4	40,1	14,0	42,5
	18	10,6	31,1	9,4	32,7	13,5	36,4	11,7	38,5	15,2	41,6	13,0	43,8
	20	10,0	32,5	8,9	34,0	12,8	37,6	11,1	39,5	14,5	42,5	12,4	44,6
PWW 70/60 °C	-15	20,5	8,2	18,2	11,0	26,1	17,6	22,7	21,2	29,6	26,7	25,3	30,6
	-10	19,2	12,0	17,0	14,6	24,4	20,8	21,2	24,3	27,6	29,5	23,7	33,2
	-5	17,9	15,7	15,9	18,2	22,7	24,1	19,7	27,3	25,7	32,3	22,0	35,7
	0	16,5	19,4	14,7	21,8	21,0	27,3	18,2	30,3	23,8	35,0	20,4	38,2
	5	15,2	23,1	13,5	25,3	19,3	30,4	16,8	33,3	21,9	37,6	18,7	40,6
	10	13,8	26,8	12,3	28,8	17,6	33,5	15,3	36,1	19,9	40,1	17,1	42,9
	15	12,5	30,4	11,1	32,2	15,9	36,5	13,8	39,0	18,0	42,6	15,4	45,2
	18	11,7	32,5	10,4	34,2	14,9	38,3	12,9	40,6	16,8	44,1	14,4	46,5
	20	11,2	33,9	9,9	35,6	14,2	39,5	12,3	41,7	16,1	45,0	13,7	47,3
PWW 75/65 °C	-15	21,9	9,7	19,4	12,7	27,8	19,7	24,2	23,6	31,5	29,4	27,0	33,6
	-10	20,5	13,5	18,2	16,4	26,1	23,0	22,7	26,7	29,6	32,3	25,3	36,2
	-5	19,2	17,3	17,0	20,0	24,4	26,3	21,2	29,8	27,6	35,1	23,7	38,8
	0	17,9	21,0	15,9	23,6	22,7	29,5	19,7	32,8	25,7	37,8	22,0	41,3
	5	16,5	24,7	14,7	27,1	21,0	32,7	18,2	35,8	23,8	40,5	20,4	43,7
	10	15,2	28,4	13,5	30,6	19,3	35,8	16,8	38,7	21,9	43,0	18,7	46,1
	15	13,8	32,0	12,3	34,0	17,6	38,8	15,3	41,5	19,9	45,6	17,1	48,4
	18	13,0	34,2	11,6	36,1	16,6	40,7	14,4	43,2	18,8	47,0	16,1	49,7
	20	12,5	35,6	11,1	37,5	15,9	41,9	13,8	44,3	18,0	48,0	15,4	50,6
PWW 90/70 °C	20	14,6	38,2	13,0	40,4	18,6	45,5	16,1	48,4	21,0	52,7	18,0	55,7

*im offenen Raum im Abstand von 5 m vom Gerät gemessen

Artikel-Nr. für DataNorm/EDV-Eingabe: 157 000 (Typ einsetzen)

Gasanalyse

Kennzeichnung der Probe

Probeort : **E.ON Avacon, Klötze**
 Datum der Probenahme : **1.1.2007**
 Uhrzeit der Probenahme : **00:24 Uhr**
 Probenehmer : **A. Kühn**

Gaszusammensetzung

Datum der Untersuchung : **1.1.2007**
 Uhrzeit der Untersuchung : **00:24 Uhr**

Hauptbestandteile : Hexan	C_6^+	mol %	0,012
Stickstoff	N_2	mol %	3,819
Methan	CH_4	mol %	88,848
Kohlenstoffdioxid	CO_2	mol %	1,292
Ethan	C_2H_6	mol %	4,909
Propan	C_3H_8	mol %	0,914
i-Butan	C_4H_{10}	mol %	0,079
n-Butan	C_4H_{10}	mol %	0,101
i-Pentan	C_5H_{12}	mol %	0,015
n-Pentan	C_5H_{12}	mol %	0,011
neo-Pentan	C_5H_{12}	mol %	0,000
Sauerstoff	O_2	mol %	-

Brenntechnische Kenndaten (berechnet aus der Gaszusammensetzung)

Brennwert :	$H_{S,n}$	kWh/m ³	11,119
Heizwert :	$H_{I,n}$	kWh/m ³	10,041
Normdichte :	ρ_{n}	kg/m ³	0,801
relative Dichte :	d		0,620
Wobbe-Index :	$W_{S,n}$	kWh/m ³	14,127

Bemerkung

Glysantin[®] Protect Plus

Eigenschaften

Glysantin Protect Plus ist ein Kühlerschutzmittel auf Ethylenglykolbasis. Es beinhaltet ein Hybridinhibitorenpaket auf Basis von Silikaten und Salzen organischer Säuren. Glysantin Protect Plus ist nitrit-, amin-, und phosphatfrei.

Glysantin Protect Plus schützt alle modernen Motoren hervorragend vor Frost, Rost und Überhitzung. Es verhindert wirkungsvoll Korrosion und Ablagerungen im Kühlsystem mit seinen wichtigen Bauteilen wie Kühlkanälen im Zylinderkopf und Motorblock, Kühler, Wasserpumpe und Heizungswärmetauscher.

Glysantin Protect Plus / G48 erfüllt folgende Spezifikationen: ASTM D 3306, AFNOR NF R 15-601 und BS 6580:1992. Darüber hinaus ist Glysantin Protect Plus / G48 zugelassen für:

- BMW BMW N 600 69.0
- Bundeswehr TL 6850-0038/1
- Deutz H-LV 0161 0188
- MAN MAN 324-NF
- Mercedes-Benz DBL 7700.20, Blatt 325.0
- MTU MTL 5048
- Opel/General Motors B 040 0240
- Saab 6901599
- VW/Audi/Seat/Skoda TL 774-C

Mischbarkeit

Glysantin Protect Plus sollte nach Möglichkeit nicht mit silikatfreien Kühlerschutzmitteln vermischt werden.

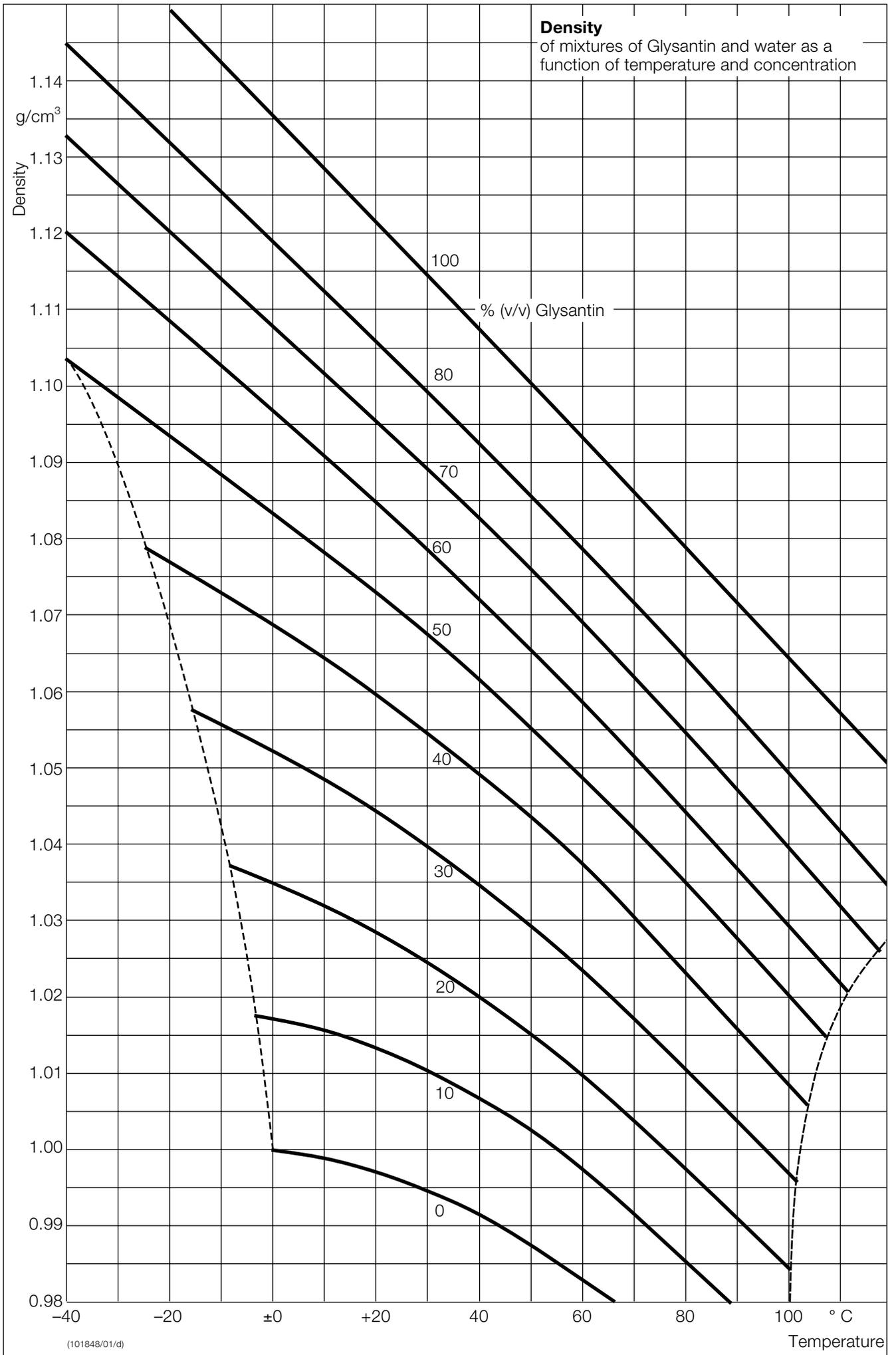
Glysantin Protect Plus sollte vor dem Einfüllen in den Kühlkreislauf mit Wasser* gemischt und in einer Konzentration von 33 bis 50 Vol.% eingesetzt werden.

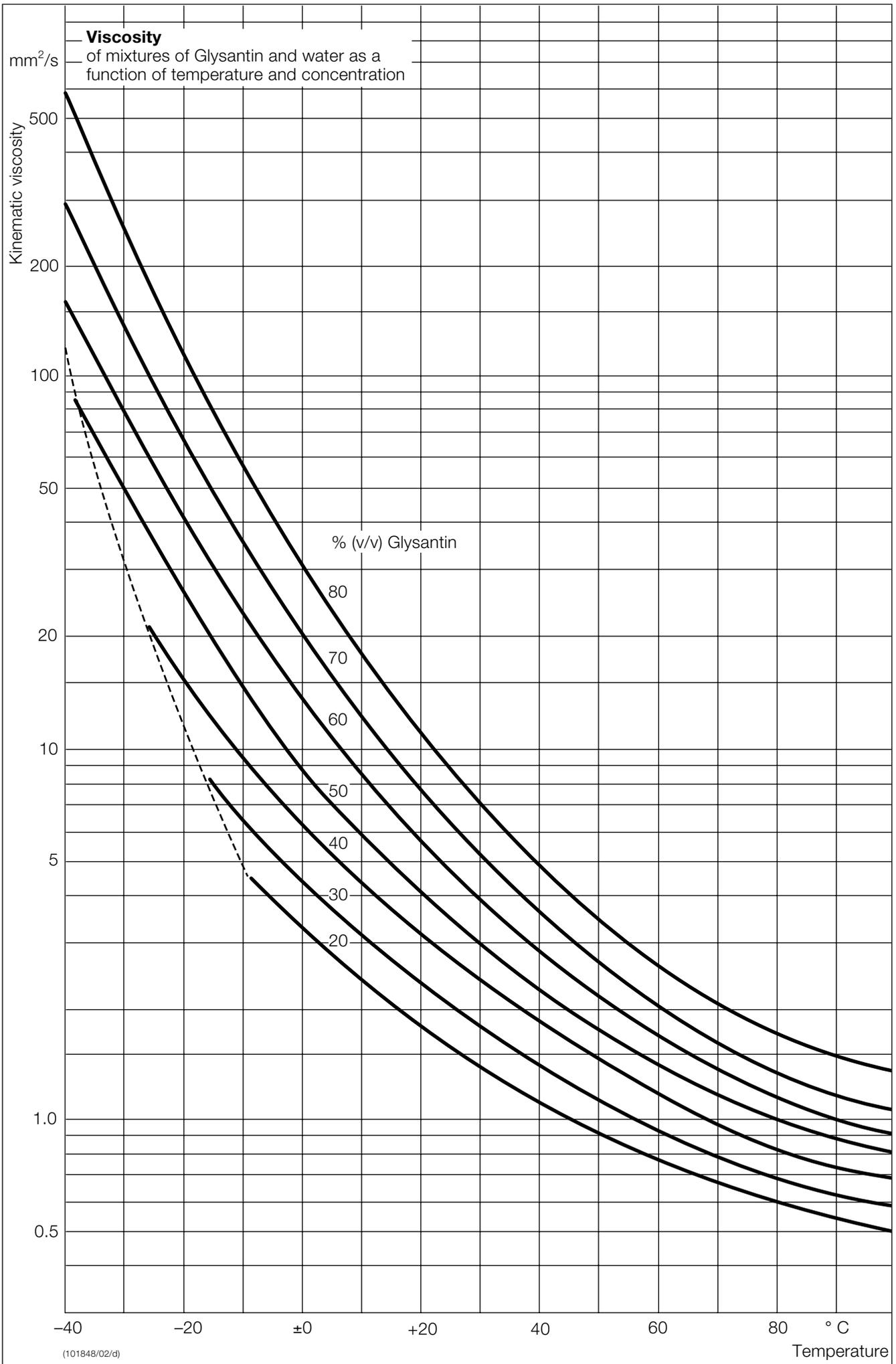
* Zur Aufbereitung des Kühlmittels muss sauberes, nicht allzu hartes Wasser verwendet werden. Nicht geeignet sind: Grubenwasser, Meerwasser, Brackwasser, Solen und Industrieabwasser.

Die Analysenwerte des Wassers dürfen folgende Grenzwerte nicht überschreiten:

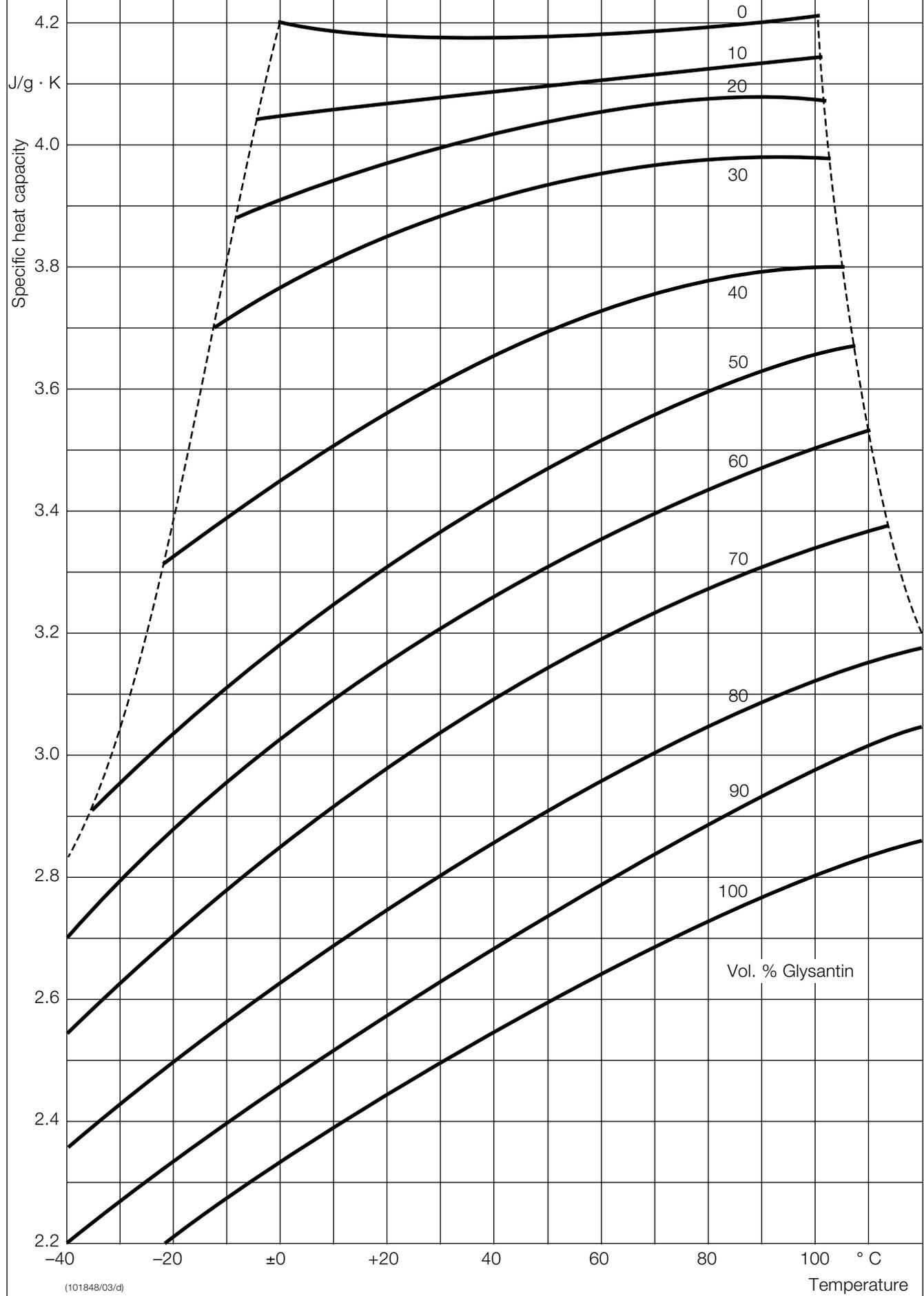
Wasserhärte: 0 bis 20 °dGH (0 – 3,6 mmol/l)
Choridgehalt: max. 100 ppm
Sulfatgehalt: max. 100 ppm

Überschreiten die Analysenwerte des Wassers die zulässigen Grenzwerte, so ist es in geeigneter Weise aufzubereiten wie z.B. durch Zumischen von weichem, destilliertem oder vollentsalztem (VE-) Wasser. Ein zu hoher Chlorid- oder Sulfatgehalt kann auf diese Weise einfach herabgesetzt werden.

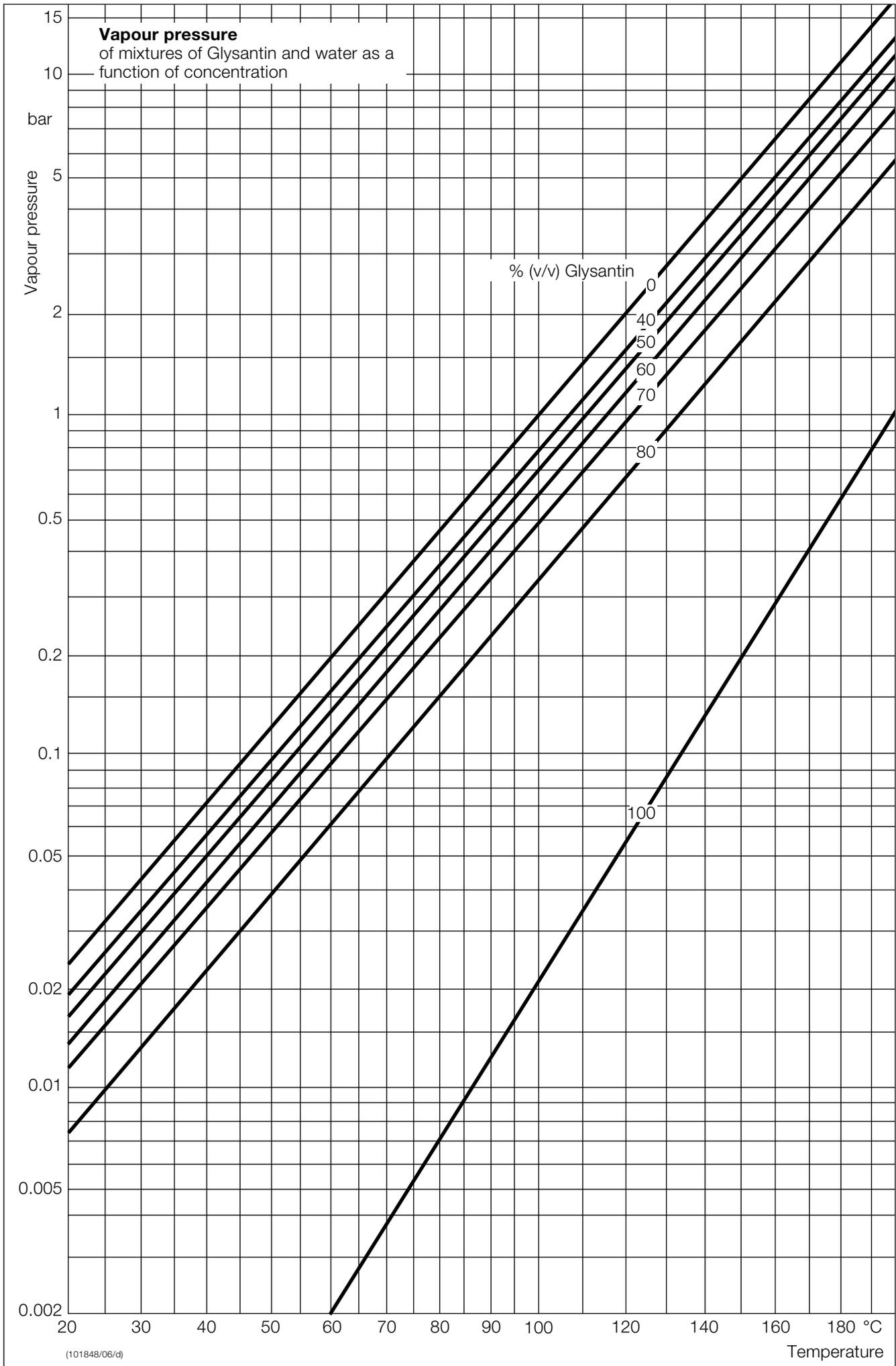


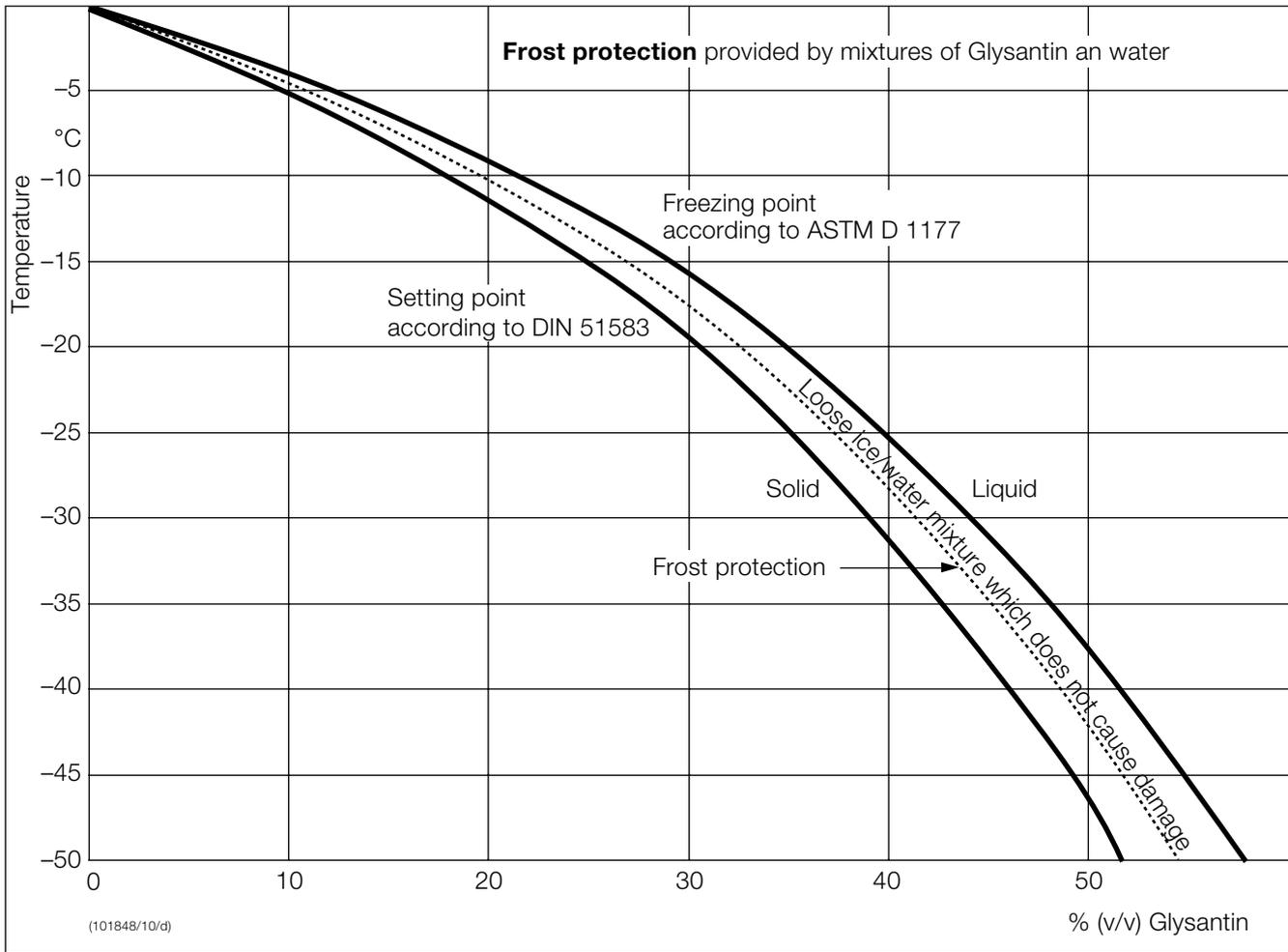


Specific heat capacity
of mixtures of Glysantin and water as a
function of temperature and concentration



(101848/03/d)





Note

The information submitted in this publication is based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application, these data do not relieve processors of the responsibility of carrying out their own tests and experiments; neither do they imply any legally binding assurance of certain properties or of suitability for a specific purpose. It is the responsibility of those to whom we supply our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed.

BASF Aktiengesellschaft
 Marketing Spezialchemikalien II
 67056 Ludwigshafen, Germany

BASF



Formblatt **Erklärung zur selbständigen Bearbeitung einer ausgeführten Diplomarbeit**

Zur Erläuterung des Zwecks dieses Blattes:

§ 27 Abs. 5 der Prüfungs- und Studienordnung M/P vom 13. November 2001 lautet:

„Zusammen mit der Diplomarbeit ist eine schriftliche Erklärung abzugeben, dass die Arbeit - bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit - ohne fremde Hilfe selbständig verfaßt und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Dieses Blatt mit der folgenden Erklärung ist nach Fertigstellung der Arbeit durch jede/n Kandidat/en/in auszufüllen und jeweils mit **Originalunterschrift** (keine Ablichtungen !) **als letztes Blatt des als Prüfungsexemplar der Diplomarbeit gekennzeichneten Exemplars einzubinden**.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann - auch nachträglich - zur Ungültigkeit der Diplomprüfung führen.

Erklärung

Hiermit versichere ich,

Name: Michaelis Vorname: Felix

daß ich die vorliegende Diplomarbeit mit dem Thema

Auslegung eines wärmegeführten Biomethan BHKW

ohne fremde Hilfe selbständig verfaßt und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Hamburg
Ort

Datum

Unterschrift im Original