KUKATE34M

Bauanleitung

für die OPEN WINDMILL Membranpumpe KUKATE34M

Engineering construction of a diaphragm pump for a windturbine with assembly instructions

Green Desert

Projekt: **OPEN WINDMILL KUKATE34M**

Präsentation einer Studienleistung, mit deren Hilfe viele Menschen auf diesem Planeten die Bewässerung ihrer Felder selbständig und eigenverantwortlich durchführen können.

team@green-desert.info

https://open-windmill.com/#

OPEN WINDMILL
Green Desert e.V.
Bremer Innovations- und Technologiezentrum
Fahrenheitstraße 1
28359 Bremen

Vorwort

Die Grundidee der Windanlage“ KUKATE34M ist von Prof. Dr. Horst Crome, Bremen, Germany, entwickelt worden. Sandra Göbel und Hakar Abdal haben sie konstruiert.
Diese Membranwindpumpe dient vorrangig in den Entwicklungsländern zur Wasserversorgung im Bereich der Landwirtschaft.

Wir, die gemeinnützige Organisation „Green Desert e.V“- OPEN WINDMILL, entwickeln verschiedene technische Lösungen in den Bereichen Wasser-, Agrar- und Energieinfrastruktur. Das Ziel unserer Organisation ist es, diese Bauanleitung für eine Membranpumpe weltweit allen Interessenten in den Entwicklungsländern kostenlos verfügbar zu machen.

Die Idee zu dieser hochinteressanten Pumpe haben wir schon lange. An geeigneten Stellen kann sie viel Land bewässern. Gerne kannst du der erste sein, der sie baut und ausprobiert.

Wir bieten hier eine Konstruktion an – zum Teil sogar mit Varianten einiger Komponenten – und warten auf Erfahrungs- und Verbesserungsberichte zu unserem Entwicklungs- und Forschungsvorhaben „OPEN WINMILL Membranpumpe KUKATE34M“

Wir werden diese Konstruktion weiter optimieren.
Im Fokus steht der Austausch von erworbenem Wissen mit Dritten. Wir sind dankbar für jeden Hinweis und werden ihn auf unserer Website *https://open-windmill.com/#* diskutieren, gegebenenfalls integrieren und so die Baupläne immer mehr verbessern.

- Die Membranpumpe ist einfach zu fertigen.
- Das verwendete Material ist weltweit verfügbar und kostengünstig.
- Die Lebensdauer ist groß und die Materialen sind recyclingfähig.
- Die Fertigung ist mit einfachen Werkzeugen möglich.
- Die KUKATE34M ist leicht zu transportieren und kann ohne Kran aufgebaut werden.
- Es sind keine hydraulischen, pneumatischen und elektrische Komponenten erforderlich.
- Sie verbraucht keinen Treibstoff oder elektrischen Strom.
- Der Wind selbst regelt sicher ihren Betrieb.

Die KUKATE34-Pumpen sind modular aufgebaut. Wir können hier deshalb 70% der Baupläne von der KUKATE34Kolbenpumpe übernehmen:

Dazu gehören neben den technischen Zeichnungen auch die dreidimensionalen Abbildungen der Teile und Baugruppen in der Bauanleitung, die Materiallisten, die Werkzeuglisten sowie die Bau- sowie Montageanleitungen der KUKATE34K-Kolbenpumpe.
Es wird nur die Kolbenpumpe gegen die Membranpumpe ausgetauscht.

Bei den Fertigungs- und Montageanleitungen beschreiben wir die einzelnen Schritte.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grundfunktion der mechanischen Antriebe einer Membranpumpe [4] 2
Abbildung 2: Windanlage „KUKATE34“ – Vorderansicht und Seitenansicht [1] 3
Abbildung 3: Bemaßungen des Rohres der Pumpenstange (6.14) 17
Abbildung 4: Membranpumpe – Vorderansicht 20
Abbildung 5: Membranpumpe – Draufsicht 20
Abbildung 6: Saugkorb – Seitenansicht und Querschnitt 21
Abbildung 7: Ebene Rohrleitungen – Vorderansicht und Seitenansicht 22
Abbildung 8: Ebene Rohrleitungen - Querschnitt von der Vorderansicht 23
Abbildung 9: Rohrleitungswinkel 90° – Vorderansicht 23
Abbildung 10: Ventil – Vorderan- / Draufsicht sowie Montage in den Rohrleitung 24
Abbildung 11: Rohrleitung Vergrößerung – Vorderansicht und Draufsicht 24
Abbildung 12: Pumpenkörper – Vorderansicht im Querschnitt 26
Abbildung 13: Die innere Abdeckung – 3D-Ansicht 26
Abbildung 14: Die äußere Abdeckung – 3D-Ansicht 27
Abbildung 15: Pumpmechanismus – Vorderansicht und Seitenansicht 28
Abbildung 16: Pumpenaufnehmer – Vorderansicht und Seitenansicht 29
Abbildung 17: Pumpengestell – 3D-Ansicht 30
Abbildung 18: Pumpenstange – Vorderansicht und Seitenansicht 31
Abbildung 19: Führungsstange – Vorderansicht und Draufsicht 32
Abbildung 20: Exzenter - Vorderansicht 32
Abbildung 21: Rohrbohrvorrichtung – Vorderansicht und Seitenansicht 33
Abbildung 22: Saugkorb – 3D-Explosionszeichnung 37
Abbildung 23: Ebene Rohrleitung – 3D-Explosionszeichnung 38
Abbildung 24: Rohrleitungswinkel 90°- 3D Explosionszeichnung 1 40
Abbildung 25: Rohrleitung Winkel 90° – 3D Explosionszeichnung 2 41
Abbildung 26: Ventil – 3D Explosionszeichnung 44
Abbildung 27: Rohrleitung Vergrößerung – 3D Explosionszeichnung 1 45
Abbildung 28: Vergrößerung der Rohrleitung – 3D Explosionszeichnung 2 45
Abbildung 29: Gestell (6.19.1) – 3D-Ansicht 1 49
Abbildung 30: Gestell (6.19.1) – 3D-Ansicht 2 50
Abbildung 31: Gestellt (6.19.1) – 3D-Ansicht 3 50
Abbildung 32: Rohrbefestigung (6.19.3) – 3D-Ansicht 50
Abbildung 33: Rohraufnehmer (6.19.2) – 3D-Ansicht 1 50

Abbildung 34: Rohraufnehmer (6.19.2) – 3D-Ansicht 2 51
Abbildung 35: Rohrbohrvorrichtung (6.19) – 3D-Ansicht 51
Abbildung 36: Rohrverbinder (6.8.2) – 3D-Ansicht 55
Abbildung 37: Pumpmechanismus (6.8) – 3D-Ansicht 1 55
Abbildung 38: Innere Abdeckung (6.6.3) – 3D-Ansicht 59
Abbildung 39: Äußere Abdeckung (6.6.2) – 3D-Ansicht 1 60
Abbildung 40: Äußere Abdeckung (6.6.2) – 3D-Ansicht 2 60
Abbildung 41: Pumpenkörper (6.6)) – 3D-Ansicht 61
Abbildung 42: Pumpengestell (6.13) – 3D-Ansicht 1 63
Abbildung 43: Pumpengestell (6.13) – 3D-Ansicht 2 63
Abbildung 44: Pumpengestell (6.13) – 3D-Ansicht 64
Abbildung 45: Pumpengestell (6.13) – 3D-Ansicht 4 64
Abbildung 46: Pumpenaufnehmer (6.11) – 3D-Ansicht 1 66
Abbildung 47: Pumpenaufnehmer (6.11) – 3D-Ansicht 2 67
Abbildung 48: Steckverbindung (6.8.3) – Vorderansicht und Querschnitt 71
Abbildung 49: Pumpenstange (6.14) – 3D-Ansicht 1 72
Abbildung 50: Pumpenstange (6.14) – 3D-Ansicht 2 72
Abbildung 51: Pumpenstange (6.14) – 3D-Ansicht 3 72
Abbildung 52: Pumpenstange (6.14) – 3D-Ansicht 4 73
Abbildung 53: Pumpenstange (6.14) – 3D-Ansicht 5 73
Abbildung 54: Montage der oberen Stangenlagerung (6.16-2) – 3D-Ansicht 76
Abbildung 55: Montage der unteren Stangenlagerung (6.16-3) – 3D-Ansicht 76
Abbildung 56: Führungsstange (6.16) – 3D-Ansicht 77
Abbildung 57: Wellenlager (6.18.2) – 3D-Ansicht 1 80
Abbildung 58: Wellenlager (6.18.2) – 3D-Ansicht 2 80
Abbildung 59: Exzenter (6.18) – 3D-Ansicht 80
Abbildung 60: Membranpumpe aus unterschiedlichen Ansichten 81
Abbildung 61: Zusammenbau der Membranpumpe D mit einem Querschnitt 82
Abbildung 62: Zusammenbau der Membranpumpe E 83
Abbildung 63: Zusammenbau der Membranpumpe J 83
Abbildung 64: Zusammenbau der Membranpumpe F 83
Abbildung 65: Zusammenbau der Membranpumpe K (unteres Rohrsystem) 84
Abbildung 66: Zusammenbau der Membranpumpe I 84
Abbildung 67: Zusammenbau der Membranpumpe L (Das obere Rohrsystem) 85

Abbildung 68: Zusammenbau der Membranpumpe H 85

Abbildung 69: Endmontage der Membranpumpe A in der Windkraftanlage [1] 86

Abbildung 70: Endmontage der Membranpumpe C in der [1] 87

Haftungssausschlusss am Ende der Bauanleitung

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Komponenten aus der Windanlage – In Anlehnung an [1] 3
Tabelle 2: Lastenheft – In Anlehnung an [2] 4
Tabelle 3: Pflichtenheft - In Anlehnung an [2] 5
Tabelle 4: Morphologischer Kasten – Verbindungsstellen 1 7
Tabelle 5: Morphologischer Kasten – Verbindungsstellen 2 7
Tabelle 6: Morphologischer Kasten – Pumpengestell (6.13) 8
Tabelle 7: Morphologischer Kasten – Rohrleitung Vergrößerung (6.5) 9
Tabelle 8: Morphologischer Kasten – Ventil (6.4) 10
Tabelle 9: Morphologischer Kasten – Pumpenstange (6.14) 12
Tabelle 10: Parameter der Windanlage – In Anlehnung an [2] 13
Tabelle 11: Ermittelte Werte der Windanlage – In Anlehnung an [2] 13
Tabelle 12: Die Maße des Autoreifens vom VW Golf – In Anlehnung an [2] 14
Tabelle 13: Werkzeugliste zur Bearbeitung der Membranpumpe [1] 34
Tabelle 14: Werkzeugliste – Saugkorb (6.1) [1] 34
Tabelle 15: Stückliste – Saugkorb (6.1) 35
Tabelle 16: Arbeitsplan – Blindflansch (6.1-2) 35
Tabelle 17: Arbeitsplan – Lochblech (6.1-4) 36
Tabelle 18: Werkzeugliste – Ebene Rohrleitung (6.2) [1] 37
Tabelle 19: Stückliste - Ebene Rohrleitung (6.2) 37
Tabelle 20: Arbeitsplan – PVC-U Rohre DIN 100 (6.2-2) 38
Tabelle 21: Werkzeugliste – Rohrleitungswinkel 90° (6.3) [1] 39
Tabelle 22: Stückliste – Rohrleitungswinkel 90° (6.3) 39
Tabelle 23: Arbeitsplan – PVC-U-Rohre DIN 100 (6.3-2**)** 40
Tabelle 24: Werkzeugliste – Ventil (6.4**)** [1] 41
Tabelle 25: Stückliste – Ventil (6.4**)** 41
Tabelle 26: Arbeitsplan – Ventilboden (6.4-1**)** 42
Tabelle 27: Arbeitsplan – Gummiventilhalter (6.4-2**)** 42
Tabelle 28: Arbeitsplan - Gummiventil (6.4-3) 43
Tabelle 29: Werkzeugliste – Vergrößerung der Rohrleitung (6.5**)** [1] 44
Tabelle 30: Stückliste – Vergrößerung der Rohrleitung (6.5) 44
Tabelle 31: Arbeitsplan – PVC-U Rohre DIN 125 (6.5-3**)** 44
Tabelle 32: Werkzeugliste – Rohrbohrvorrichtung (6.19) [1] 46
Tabelle 33: Stückliste – Rohrbohrvorrichtung (6.19) 47

Tabelle 34: Stückliste – Gestell (6.19.1) 47
Tabelle 35: Arbeitsplan – Profilbefestigung (6.19.1-2 47
Tabelle 36: Arbeitsplan – Flachstahl oben (6.19.1-4) 48
Tabelle 37: Stückliste – Rohraufnehmer (6.19.2) 48
Tabelle 38: Arbeitsplan – Bohrführung (6.19.2-2) 48
Tabelle 39: Stückliste – Rohrbefestigung (6.19.3) 49
Tabelle 40: Arbeitsplan – Greifer (6.19.3-1) 49
Tabelle 41: Werkzeugliste – Verbindungsrohre (6-9 & 6-12) [1] 51
Tabelle 42: Stückliste – Verbindungsrohren (6-9 & 6-12) 52
Tabelle 43: Arbeitsplan – Verbindungsrohr (6-9) 52
Tabelle 44: Arbeitsplan – Verbindungsrohr (6-12) 52
Tabelle 45: Werkzeugliste – Pumpmechanismus (6.8) [1] 53
Tabelle 46: Stückliste – Pumpmechanismus (6.8) 53
Tabelle 47: Arbeitsplan – Pumpmechanismusplatte (6.8-1) 53
Tabelle 48: Stückliste – Rohrverbinder (6.8.2) 54
Tabelle 49: Arbeitsplan – Rohr (6.8.2-1) 54
Tabelle 50: Werkzeugliste – Pumpenkörper (6.6) [1] 56
Tabelle 51: Stückliste – Pumpenkörper (6.6) 56
Tabelle 52: Tabelle 43: Stückliste – Äußere Abdeckung (6.6.2) 56
Tabelle 53: Arbeitsplan – Abdeckplatte (6.6.2-1) 56
Tabelle 54: Stückliste – Innere Abdeckung (6.6.3) 58
Tabelle 55: Arbeitsplan – Ring (6.6.3-1) 58
Tabelle 56: Werkzeugliste – Pumpengestell (6.13) [1] 61
Tabelle 57: Stückliste – Pumpengestell (6.13) 61
Tabelle 58: Arbeitsplan – Rohr (6.13-5) 62
Tabelle 59: Arbeitsplan – Flachstahl (6.13-6) 62
Tabelle 60: Werkzeugliste – Pumpenaufnehmer (6.11) [1] 65
Tabelle 61: Stückliste – Pumpenaufnehmer (6.11) 65
Tabelle 62: Arbeitsplan – Pumpenplatte (6.11-1) 65
Tabelle 63: Werkzeugliste – Pumpenstange (6.14) [1] 67
Tabelle 64: Stückliste – Pumpenstange (6.14) 67
Tabelle 65: Arbeitsplan – Rohstange (6.14-1) 67
Tabelle 66: Arbeitsplan – Rohrstange (6.14-2) 68
Tabelle 67: Arbeitsplan – Rohrstangen-Verbindung (6.14-4) 69

Tabelle 68: Arbeitsplan – Rohrstange (6.14-6) 69

Tabelle 69: Arbeitsplan – Gewindestange (6.14-7) 69

Tabelle 70: Stückliste – Steckverbindung (6.8.3) 70

Tabelle 71: Arbeitsplan – Verbindungselement (6.8.3-1) 70

Tabelle 72: Arbeitsplan – Verbindungsplatte (6.8.3-2) 70

Tabelle 73: Werkzeugliste – Führungsstange (6.16 & 6.17) [1] 73

Tabelle 74: Stückliste – Führungsstange (6.16) 74

Tabelle 75: Arbeitsplan – L-Profil (6.16-1) 74

Tabelle 76: Arbeitsplan – Stangenlagerung oben (6.16-2) 74

Tabelle 77: Arbeitsplan – Stangenlagerung Unten (6.16-3) 75

Tabelle 78: Werkzeugliste – Exzenter (6.18) [1] 77

Tabelle 79: Stückliste – Exzenter (6.18) 77

Tabelle 80: Arbeitsplan – Rotorwelle (6.18-1) 77

Tabelle 81: Stückliste – Wellenlager (6.18.2) 78

Tabelle 82: Arbeitsplan – Verbindungsplatte (6.18.2-1) 78

Tabelle 83: Arbeitsplan – Kurbelzapfen (6.18.2-2) 79

Tabelle 84: Arbeitsplan – Verbindungsrohr (6.18-3) 79

Tabelle 85: Stückliste – Membranpumpe (6.0) 81

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Symbol/Abkürzung	Beschreibung	Einheit
mm	Millimeter	mm
m	Meter	1000 mm
λ	Schnelllaufzahl	λ
mbar	Millibar	Pa
°C	Celsius-Temperatur	Grad Celsius "T"
N	Newton	N
s	Sekunde	s
min	Minute	60 s
n	Drehzahl	1/min
W	Watt	W
$\approx$	Circa	–
Ø	Durchmesser eines Kreises	mm
ca.	Circa	–
L	Liter	L
45°	Winkel	Grad "°"
v_{wind}	Windgeschwindigkeit	m/s
r_{ex}	Kurbelradius des Exzenters	mm
η_R	Rotorwirkungsgrad	–
η_{mech}	Mechanischer Wirkungsgrad	–
η_{Pumpe}	Pumpenwirkungsgrad	–
$\eta_{ges,max}$	Gesamtwirkungsgrad	–
$P_{Antrieb}$	Antriebsleistung	W
$M_{Antrieb}$	Drehmoment	Nm
M_{Anfahr}	Anfahrmoment	Nm
P_{hydr}	Hydraulische Leistung	W
Q_{th}	Theoretische Volumenstrom	l/s
g	Fallbeschleunigung	kg/m^3
ϱ	Wasserdichte	$\frac{kg}{m^3}$
H	Förderhöhe	m
V_{Hub}	Hubvolumen	m^3
s	Hub	mm
A	Fläche	m^2
d	Innendurchmesser	mm
π	Phi	–
v	Strömungsgeschwindigkeit	m/s

$F_{K,th}$	Theoretische Kolbenkraft	N
F_K	Knickkraft	N
$s_k = l_p$	Knicklänge	mm
E	Elastizitätsmodul	N/mm^2
$I_{äq}$	Flächenträgheitsmoment	mm^4
s_m	Sicherheit	–
$PVC - U$	PVC = Polyvinylchlorid U = Standardausführung	–
EVA	Ethylen Vinylacetat Copolymer	–
$S235JR$	Unlegierter Baustahl	–
Rd	Rundstahl	mm

Inhaltsverzeichnis

Vorwort ..... **II**

Abbildungsverzeichnis ..... **III**

Tabellenverzeichnis ..... **VI**

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis ..... **IX**

1 Einleitung **1**

2 Einführung in das Thema **2**

2.1 Die Funktionsweise einer Membranpumpe 2

2.2 Windanlage “KUKATE34“ 2

3 Anforderungen **4**

3.1 Lastenheft 4

3.2 Pflichtenheft 5

4 Varianten in der Konstruktion **7**

5 Berechnungen der Membranpumpe **13**

5.1 Eckdaten der Windanlage 13

5.2 Eckdaten der Windanlage 13

5.3 Ermittlung des Exzenterradius 14

5.4 PCV-Rohrdurchmesser 15

5.5 Knickung der Pumpenstange 16

6 Konstruktion der Membranpumpe **19**

6.1 Saugkorb 21

6.2 Ebene Rohrleitung 22

6.3 Rohrleitungswinkel 90° 23

6.4 Ventil 24

6.5 Vergrößerung der Rohrleitung 24

6.6 Pumpenkörper 26

6.7 Pumpmechanismus 27

6.8 Pumpenaufnehmer 28

6.9 Pumpengestell 29

6.10 Pumpenstange 30

6.11 Führungsstangen 31

6.12 Exzenter 32

6.13 Rohrbohrvorrichtung 33

7 Fertigung und Zusammenbau der Unterbaugruppen **34**

7.1 Werkzeuge 34

7.2 Saugkorb 34
7.3 Ebene Rohrleitung 37
7.4 Rohrleitungswinkel 90° 39
7.5 Ventil 41
7.6 Vergrößerung der Rohrleitung 44
7.7 Rohrbohrvorrichtung 46
7.7.1 Gestell 47
7.7.2 Rohraufnehmer 48
7.7.3 Rohrbefestigung 49
7.8 Verbindungsrohr 51
7.9 Pumpmechanismus 53
7.9.1 Rohrverbinder 54
7.10 Pumpenkörper 56
7.10.1 Äußere Abdeckung 56
7.10.2 Innere Abdeckung 58
7.11 Pumpengestell 61
7.12 Pumpenaufnehmer 65
7.13 Pumpenstange 67
7.13.1 Steckverbindung 69
7.14 Führungsstangen 73
7.15 Exzenter 77
7.15.1 Wellenlager 78
8 Zusammenbau der Membranpumpe 81
9 Endmontage der Membranpumpe 86
10 Zusammenfassung 88
Literaturverzeichnis i
Anhang ..... Fehler! Textmarke nicht definiert.

1 Einleitung

Hier beschreiben wir die Konstruktion einer vom Wind angetriebenen Membranpumpe. Die einzelnen Baugruppen sind mit elementaren Mitteln und Kenntnissen zu fertigen. Einfache Möglichkeiten der Metallverarbeitung reichen dafür aus.

Varianten der Ventile: Wir bieten verschieden Ventile für die Pumpe an, um eine Auswahl zu ermöglichen und Erfahrungen zu sammeln.

Die Windanlage KUKATE34 kann verschiedene Pumpen antreiben.
Eine Möglichkeit ist eine Kolbenpumpe (KUKATE34K). Sie pumpt bei 6-7m/s Windgeschwindigkeit 1l/Wasser pro Sekunde aus 10m Tiefe.
Diese Membranpumpe (KUKATE34M) fördert pro Hub etwa dreimal mehr Wasser als die Kolbenpumpe. Die Förderhöhe der Pumpe beträgt nur 2 bis 4 Meter und die Fördermenge bei einer Windgeschwindigkeit von 6-7 m/s liegt deshalb bei 3Litern Wasser pro Sekunde.

Die Fertigungs- und Montageanleitung für die Baugruppen der Membranpumpe beschreiben wir in einer Schritt-für-Schritt-Anleitung. In dieser Anleitung sind bildliche Darstellung der Konstruktionen mit einem erklärenden Text dargestellt.
Ein wichtiger Bestandteil der Anleitung sind die Arbeitspläne für die Bauteile. In den Arbeitsplänen nennen wir die erforderlichen Werkzeuge.
Das nötige Material und die technischen Daten werden in den Stücklisten in Form von Tabellen angegeben. Es werden ausschließlich Materialien verwendet, die weltweit verfügbar sind.

Die Membranpumpe kann von erfahrenen Handwerkern und talentierten Menschen hergestellt und montiert werden. Das Schweißen muss von Facharbeitern durchgeführt werden.
Die technischen Zeichnungen der Membranpumpe sind nicht nach den DIN-Fertigungszeichnungen (Deutsche Industrie Norm) erstellt. Praktiker können jederzeit beim Bau und Betrieb der KUKATE34M erfolgreich improvisieren. Wir sind dankbar für jeden Verbesserungsvorschlag.

Im ersten Teil beschreiben wir die Funktionsweise der Membranpumpe und die Windkraftanlage. Daraufhin listen wir die Anforderungen in Tabellen auf. Die wichtigen Daten für die Berechnungen der Membranpumpe zeigen wir anhand der angegebenen Parameter und der ermittelten Werte der Windenergieanlage.
Anschließend beschreiben wir die gesamte Konstruktion der Membranpumpe. Im nächsten Schritt zeigen wir Stücklisten, Werkzeuglisten und die Arbeitspläne.
Dann wird der Zusammenbau der einzelnen Baugruppen veranschaulicht und beschrieben.
Zuletzt stellen wir die Endmontage der Membranpumpe mit der Windanlage dar.

2 Einführung in das Thema

2.1 Die Funktionsweise einer Membranpumpe

Die Membranpumpe gehört zu den Verdrängerpumpen. Dabei ist das Fördermedium durch eine Membran vom Antriebsmechanismus getrennt. Die Förderung mit Hilfe der Verdrängung erfolgt dabei über ein Ausdehnen und Zusammendrücken des Volumens.

Damit eine Membranpumpe funktionsfähig ist, werden zwei Ventile und das zu fördernde Medium vorausgesetzt (siehe Abbildung 1). Die Pumpenstange ist mit dem Exzenter und der Pleuelstange verbunden. Die beiden Komponenten sind mit einem Rotor verbunden, so dass sich die Pumpenstange auf und ab bewegt. Mit der Abwärtsbewegung der Pumpenstange nimmt das Volumen des zweiten Bereichs ab. Das Hochziehen der Membran füllt den Bereich 2. Der Unterdruck schließt dabei das zweite Ventil. Es wird Flüssigkeit aus dem ersten Bereich durch das erste Ventil angesaugt. Mit der

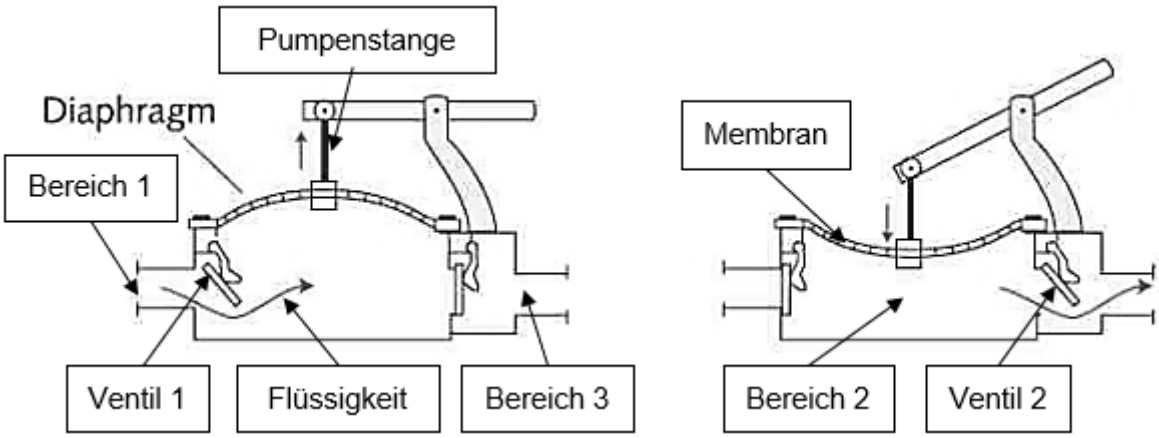


Abbildung 1: Grundfunktion der mechanischen Antriebe einer Membranpumpe [4]

Aufwärtsbewegung der Pumpenstange kehrt sich der Druckzustand um. Die Membran bewegt sich nach oben. Dabei wird das zweite Ventil geschlossen. Flüssigkeit links vor dem ersten Ventil fließt in den zweiten Bereich.

2.2 Windanlage "KUKATE34"

Die Membranpumpe wird mit Komponenten einer KUKATE34K-Windanlage betrieben. Bei der Konstruktion der Membranpumpe muss auf ihre vorhandene Konstruktion geachtet werden. Die Windenergieanlage besteht aus mehreren Baugruppen, die zusammen montiert werden, wie das Fundament, der Mast, die Gondel und die Steuerfahnen. Sie werden alle übernommen.
(siehe Abbildung 2). Der Mast hat eine Höhe von ca. 10 m und der Rotor einen Durchmesser von ca. 3,4 m. Der Mast (**1.1**) wird aus Winkelstahl als Fachwerk gebaut. Der Mast wird im Erdboden mithilfe eines Fundaments (**5**) gegründet. Auf den Mast werden die Gondel (**2**) und die Steuerfahnen (**3.1** und **3.2**) montiert. Für unsere Anwendung hier wird die Kolbenpumpe (**4**) nicht betrachtet.
Die Rotation des Rotors wird mit der angebrachten Exzentervorrichtung in eine lineare Schub- und Zugbewegung umgewandelt. Diese translatorische Bewegung wird über das Pumpgestänge auf die Membrane der Pumpe überragen.

Zusätzlich zu den oberen Baugruppen werden in der Tabelle 1 weitere Komponenten aus der Windanlage in den kommenden Kapiteln erwähnt, die mit der Membranpumpe einen direkten Bezug bei der Montage und bei der Beschreibung der KUKATE34M haben. Die Membranpumpe erhält bei der Nummerierung der KUKATE34M die Sachnummer (**6**).

Tabelle 1: Komponenten aus der Windanlage – In Anlehnung an [1]

Name	Sachnummer
Diagonalstreben	1.1-12
Kurbeltrieb	2.3
Pleuel	2.3.2
Zapfenverbindung	2.3.3

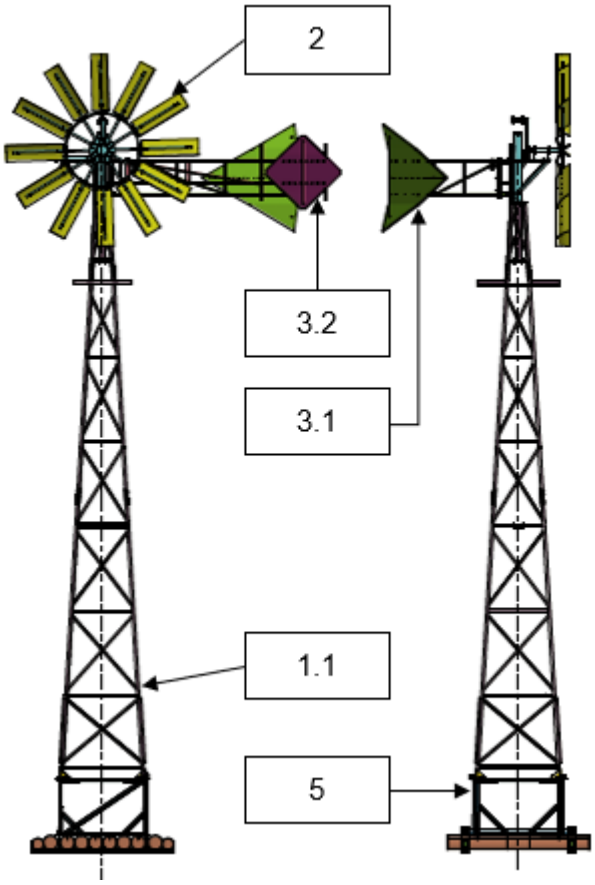


Abbildung 2: Windenergieanlage „KUKATE34“ – Vorderansicht und Seitenansicht [1]

3 Anforderungen

Die Anforderungen des Lastenheftes und Pflichtenheftes werden der Bachelorarbeit von Frau Sandra Göbel entnommen [2].

3.1 Lastenheft

In der *Tabelle 2* sind die Anforderungen an die Membranpumpe aufgelistet, die als Leitfaden für die Konstruktion dienen. In der Anforderungsliste sind wichtige relevante Daten und Forderungen an die Membranpumpe schriftlich niedergelegt. Die Anforderungen des Lastenheftes wurden von Anfragen zukünftiger Betreiber an die Pumpe abgeleitet.

Tabelle 2: Lastenheft – In Anlehnung an [2]

Lastenheft	
Projekt: Membranpumpe	
Anforderungen	
Funktion	Werte, Daten, Erläuterungen, Änderungen
Allgemein	
Aufbau	Modular
Auslegungswindgeschwindigkeit	$\nu_{\mathrm{wind}} = 6 - 7\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$
Bauliche Gegebenheiten	
Antrieb der Pumpe	Gradlinige Bewegung über Exzenter an der Rotorwelle
Masthöhe	10m (auch 8,5 oder 7m möglich)
Fundamenttiefe	Ca. 1,5m
Fundamentfläche	2,5m x 2,5m
Fundamentmaterial	Stahlfundamentkorb, Beton- oder Bohlenfundament
Rotordurchmesser	3,4m
Schnelllaufzahl	1,1
Fügelanzahl 12	12
Flügelmaterial	Eisen- oder Alublech, Stahlrohr
Profilform	Gewölbte Platte ca.1:9
Getriebeübersetzung	Kein Getriebe
Kurbelradius des Exzenters	$\mathrm{r_{ex}} = \mathrm{ca.}\,0{,}03\ \mathrm{m}$
Rotorwirkungsgrad	$\eta_{\mathrm{R}} = 0{,}3$
Mechanischer Wirkungsgrad	$\eta_{\mathrm{mech}} = 0{,}8$
Pumpenwirkungsgrad	$\eta_{\mathrm{Pumpe}} = 0{,}8$
Gesamtwirkungsgrad	$\eta_{\mathrm{ges,max}} = 0{,}2$
Transportweg	Nach Bedarf

Pumpe	
Pumphöhe	2-4 m
Pumpleistung	3l/s

3.2 Pflichtenheft

Das von OPEN-WINDMILL entworfene Pflichtenheft ist in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Pflichtenheft

		Pflichtenheft	F = Forderung W = Wunsch Z = Ziel
Projekt: Membranpumpe			
Anforderungen			
Nr.	F; W; Z	Bezeichnung	Werte, Daten, Erläuterungen, Änderungen
1.	**Funktion**		
1.1	F	Pumpe	Membranpumpe aus einem alten Autoreifen
1.2	F	Aufstellung der Pumpe	Mit einem Gestell am Mast der Windanlage anbringen
1.3	F	Erzeugung der Pumpbewegung	Rotationsbewegung der Windanlage in translatorische Bewegung über Exzenter
1.4	F	Ausrichten im Wind	Steuer- und Seitenfahne
1.5	F	Sturmsicherheit	Steuer- und Seitenfahne
1.6	F	Drehzahlbegrenzung	Steuer- und Seitenfahne
1.7	Z	Korrosionsschutz	Materialauswahl/Schutzlackierung
1.8	F	Wartung	Holzlager, Ventilmembran
1.9	Z	Anlaufgeschwindigkeit	Ca. 3m/s
2.	**Technische Daten**		
2.1	F	Lebensdauer	> 20 Jahre
2.2	F	Liter/Sekunde bei Windgeschwindigkeit/Sekunde	3 l/s bei 6-7 m/s
2.3	F	Förderhöhe	3 m
2.4	Z	Pumpenwirkungsgrad	0,8
2.5	Z	Gesamtwirkungsgrad	0,2
2.6	F	Getriebeübersetzung	1:1
3.	**Einsatz und Lagerbedingungen**		
3.1	Z	Einsatzgebiete Klima besondere Belastung	Korrosion- und UV-beständige Materialien, Sandunempfindliche Bauteile und Kapselung
3.2	Z	Einsatztemperaturbereich	1°C bis 50°C

3.3	Z	Lagertemperatur	-20°C bis 60°C
4.	**Material**		
4.1	F	Werkstoffeinsatz	PVC-Rohre, Eisenprofile, Bleche, Kleinmaterial
4.2	F	Maschinenelemente	Verschraubungen, Stehlager
4.3	Z	Materialien	Weltweit Beschaffbar, recyclingfähig
5.	**Fertigung**		
5.1	F	Fertigungsniveau mechanisch	Elementarer Maschinenbaustandard
5.2	F	Qualifikation der Arbeitskräfte mechanisch	Metallarbeiter, Schweißbefähigung
5.3	Z	Werkstattausrüstung mechanisch	Schlossereiwerkstatt
5.4	Z	Qualifikation elektrisch	Gering
5.5	F	Werkstattausrüstung elektrisch	Strom, Schweißgerät, Bohrmaschine
5.6	F	Fertigungsverfahren	Bohren, Schweißen, Fügen, Abtragen, Montieren
5.7	Z	Aufbau und Installationsverfahren	Modular
6.	**Montage und Wartung**		
6.1	F	Baugruppen	Ja
6.2	Z	Montageverfahren	Verschrauben, verkleben
6.3	Z	Wartung	Ventile, Holzlager
6.4	W	Bereitstellungszeit	Ortsabhängig
6.5		Transportart zum Aufstellungsort	LKW, alternativ: Mannkraft/Handwagen
7.	**Sicherheit**		
7.1	F	Mechanischer Schutz gegen Überlastung des Windrades	Steuer- und Seitenfahne
7.2	F	Maximale Geschwindigkeit	50 m/s
7.3	F	Korrosionsbeständigkeit	Farbe, Fett
7.4	Z	Schutz gegen Blitz	Bei Bedarf: Bereich der Gondel 2m angespitzter Stab
7.8	Z	Schutz gegen Hagel	100% Schutz
8	**Sonstiges**		
8.1	Z	Schallemission	Kleiner als 41dB
8.2	W	Aussehen/Design	funktional

4 Varianten in der Konstruktion

In diesem Kapitel werden die Lösungen von Teilfunktionen gezeigt. Einige Bauteile lassen verschieden Lösungen zu – je nach Anwendungsfall

Verbindungsstelle 1

In Tabelle 4 wird die Verbindung zwischen der oberen Platte des Pumpenkörpers (**6.6**),(**6.6.2**) und dem dreieckigen Pumpmechanismus (**6.8**) mit drei Verbindungsrohren (**6-9**) gezeigt. Die dreieckige Platte nimmt die Kolbenkraft $F_{K,th}$ der Pumpenstange (**6.14**) auf.

Tabelle 4: Kopplung Ventilplatte und Kolbenstange

Teilfunktion	Lösung
Verbindungsstelle 1 zwischen (6.6, 6-9 und 6.8)	A1

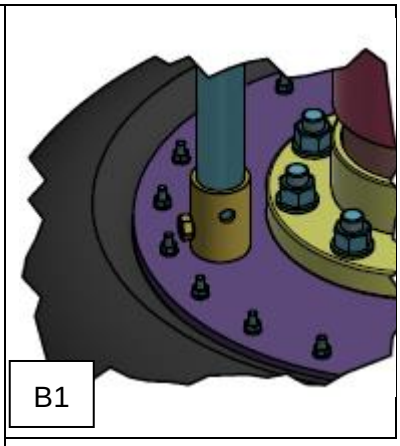
Bei *A1* hat die Konstruktion innen 915mm Platz. Zwischen den drei Verbindungsrohren und zwischen den „Platten“ können die PVC-Rohrleitungen in mehreren Richtungen ausgerichtet werden..

Verbindungsstelle 2

Bei der Verbindungsstelle 2 geht es um die Verbindung der Verbindungsrohre mit der äußeren Abdeckung des Pumpenkörpers (siehe Tabelle 5). Bei der Lösungsvariante *B1* bietet sich eine kraftschlüssige Verbindung an. Auf den Pumpenkörper werden drei Rohrverbinder geschweißt. In den Rohrverbinder werden die Verbindungsrohre eingeführt und angeschraubt. Der Vorteil dabei ist, dass der Pumpenkörper dicht bleibt. Die Höhe zwischen den Pumpmechanismus und dem Pumpenkörper kann je nach Bedarf verändert werden.

Tabelle 5:– Verbindungsstelle 2

Teilfunktion	Lösung

Verbindungs-stelle 2 zwi-schen (6.6 und 6-9)	 B1

B1 zeigt die Verbindung der Kupplungsrohre mit der oberen Membranpumpenplatte

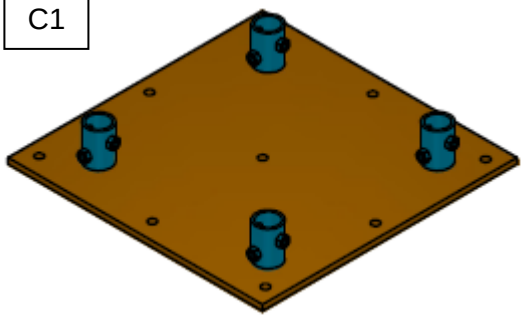
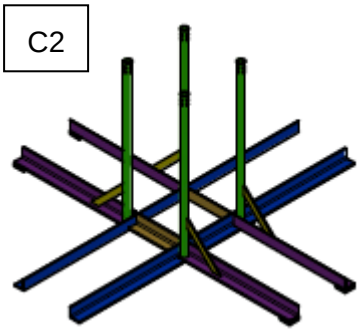
Pumpengestell

Zunächst werden in der Tabelle 6 zwei Lösungsvarianten zur Konstruktion des Pumpengestelles (**6.13**) dargestellt. Die erste Variante *C1* besteht aus einer Stahlplatte und vier Rohrverbindern. Die Rohrverbinder werden auf die Stahlplatte geschweißt. In die Rohrverbinder werden die Verbindungsrohre (**6-12**) eingeführt und verschraubt. Mit der anderen Seite der Verbindungsrohre wird der Pumpenaufnehmer (**6.11**) verschraubt. Bei dieser Variante muss die Fundamentplatte aus Beton sein, damit die Platte dort verschraubt werden kann.
Bei der zweiten Variante *C2* wird aus mehreren Winkelprofilen und Rohren ein Gestell zusammengeschweißt. Die Winkelprofile werden mit dem Mast der Windanlage verschweißt. Die 4 Rohre haben denselben Durchmesser wie die vier (kurzen) Rohre auf der Stahlplatte C1. Mit den Rohren wird die untere Platte der Membranpumpe befestigt.

Fazit:

Die beiden Varianten sind jeweils für unterschiedliche Anforderungen geeignet.
Wenn eine Betonplatte vorhanden ist, wird die Variante *C1* gewählt. Diese Konstruktion ist einfacher als C zu fertigen.
Die *C2*-Variante ist bei normalen Böden erforderlich – wenn keine Betonplatte vorhanden ist. Dann muss die Membranpumpe mit der Konstruktion der Windanlage mit Winkelstahlprofilen befestigt werden.

Tabelle 6: Varianten Grafik – Pumpengestell (6.13)

Teilfunktion	Lösungsvarianten	
Pumpengestell (6.13)	C1 	C2 

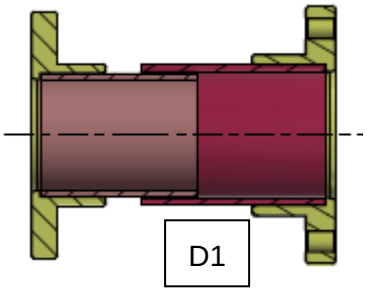
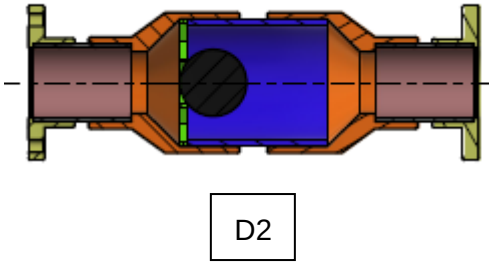
Vergrößerung der Rohrleitung im Ventilbereich

Bei der Vergrößerung der Rohrleitung (**6.5**) werden in der Tabelle 7 zwei Lösungsvarianten veranschaulicht, die den Querschnitt der Rohrleitungen vergrößern können. Beim Einsetzen des Ventils (**6.4**) wird der Querschnitt der Rohrleitung verkleinert. Damit genügend Wasser durchfließen kann, wird der Querschnitt der Rohrleitung im Ventilbereich vergrößert. Bei der Variante *D1* werden zwei Rohre ineinandergesteckt und verklebt. Der Innendurchmesser eines der Rohre gleicht dem Außendurchmesser des anderen Rohrs. Bei der Variante *D2* werden Reduziermuffen verwendet. Diese sollen den Querschnitt des Rohres vergrößern. Die Reduziermuffen werden mit einem zusätzlichen Rohr zusammengebunden. Die Rohre werden miteinander verklebt.

Fazit:

Bei den beiden Varianten handelt es sich um eine gute Möglichkeit, den Querschnitt der Rohrleitungen zu vergrößern. Der Vorteil der Variante *D1* gegenüber der Variante *D2* ist, dass das Ventil außerhalb der Konstruktion liegt. Bei der Variante *D2* liegt es innerhalb der Rohrleitung, was zu einem Nachteil bei der Wartung führt. Bei einer möglichen Wartungsarbeit müssen mehrere Bauteile der Variante *D2* beschädigt werden. Zudem sind die Reduziermuffen teurer als normale Rohre, die ineinandergesteckt und verklebt werden. Mit den genannten Vorteilen lässt sich die Konstruktion der Variante *D1* empfehlen.

Tabelle 7: Varianten Rohrleitung Querschnittsvergrößerung (6.5)

Teilfunktion	**Lösungsvarianten**	
Rohrleitung Vergrößerung (6.5)		

Ventil

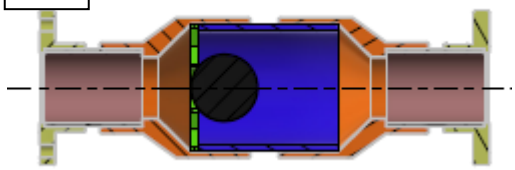
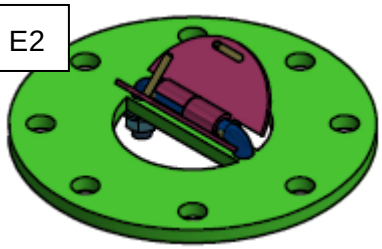
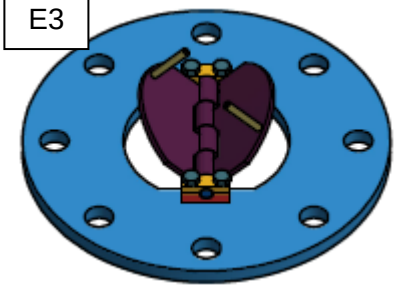
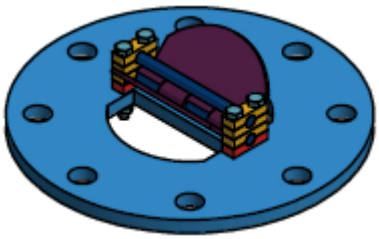
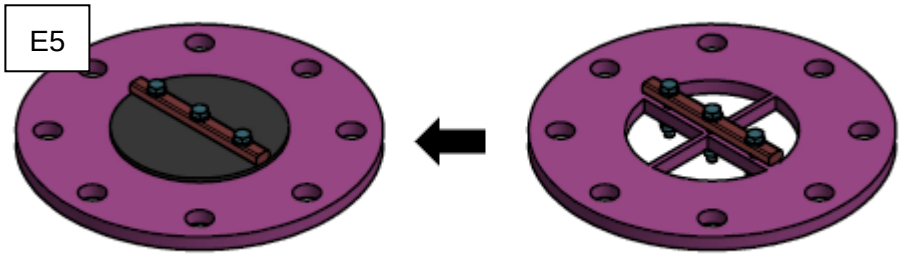
In Tabelle 8 werden unterschiedliche Varianten für das Ventil anschaulich dargestellt. Die Lösungsvarianten des Ventils sind von der Bauweise identisch, außer bei der Lösungsvariante *E*1. Bei der Lösungsvariante *E1* handelt es sich um ein spezielles Ventil, bei welchem sich eine Kugel in der Rohrleitung befindet.
Der Ventilboden bzw. die Platte der Ventile hat einen Außendurchmesser von 230 mm. Auf dem Ventilboden werden acht Bohrungen in einem Kreis und einem Abstand von 45° gebohrt. Der Abstand einer Bohrung zu der gegenüberliegenden Bohrung liegt bei 180 mm. Die Größe und die Abstände der Bohrungen zueinander werden von den Bemaßungen der Bohrungen des Festflansches entnommen.

In der Tabelle 7 beschriebenen Variante *D2* wird ein Ventil *E*1 eingesetzt. In den verklebten Rohren und Reduziermuffen befindet sich eine Kugel und eine Abstandscheibe. Die Abstandscheibe wird vor der Verklebung in das blaue Rohr gelegt und dort positioniert. In der Abstandscheibe sind mehrere Löcher, damit die Flüssigkeit durchfließen kann. Wenn der Abfluss von der linken Seite der *E1* fließt, dann wird die Kugel das rechte Abflussloch abschließen. Andersherum wird das rechte Abflussloch nicht abgeschlossen, weil die Abstandscheibe die Kugel aufhalten wird.

Bei der Variante *E2* handelt es sich um ein Ventil, welches auf der Funktion von Türscharnieren aufgebaut ist. Die Platte wird in eine Form von zwei Halbkreisen geschnitten. Der Abstand zwischen den

Halbkreisen beläuft sich auf 10 mm. Der gebogene Zapfen wird durch die Platte gesteckt und am anderen Ende der Platte verschraubt. Der Zapfen ist ein Rundstahl. Die Laschen werden vorher auf Maß geschnitten und vorbereitet und in den gebogenen Zapfen eingehämmert, sodass die Bleche einklemmen und funktionsfähig sind. Die Bleche müssen sich nach oben und nach unten bewegen können. Auf die Laschen werden Halter geschweißt, damit die Laschen, wenn der Abfluss von den unteren Seiten des Ventils fließt, nicht über den Kipppunkt fallen.
Nachdem alle Bauteile positioniert wurden, werden in dem Zapfen Gewindestifte mit Innensechskant verschraubt, damit die Laschen positioniert sind. Wenn der Abfluss von der oberen Seite des Ventils strömt, werden die Laschen auf die Platte gedrückt und somit das Ventil geschlossen.

Tabelle 8: Varianten – Ventil (6.4)

Teilfunktion	**Lösungsvarianten**	
Ventil (6.4)	E1 	E2 
	E3 	E4 
	E5  Variante *E5* ohne das Gummiventil	

Bei der Variante *E3* wird die Platte in der entsprechenden Form bearbeitet, die zu den Laschen passt. Die Laschen werden passend zu der Form der Platte gefertigt und gekantet, damit sie durch einen Rundstahl geführt werden können. Der Rundstahl wird an den beiden Seiten mit vier Befestigungsschellen positioniert. Auf beiden Seiten werden Befestigungsschellen aufeinander mit dem Rundstahl verschraubt. Die Bohrungen zwischen den Befestigungsschellen sind etwas größer als der Durchmesser des Rundstahles, damit der Rundstahl sich drehen kann. Mit dem Halter wird verhindert, dass die Laschen zusammengeklappt werden.

Die nächste Überlegung ist die Variante *E4*, die große Ähnlichkeit mit der Variante *E3* hat. Die Vorgehensweise ist identisch. Die Idee hierbei ist, auf den Abstand-Halter zu verzichten. Die Aufgabe des

Halters wurde bei den Varianten *E2* und *E3* beschrieben. Bei E4 werden vier Befestigungsböcke anstatt verwendet und zwei Rundstähle anstatt einem. Mit dem oberen Rundstahl wird das Zusammenklappen der Laschen ebenfalls verhindert. (In der Abbildung ist die eine Klappe falsch eingezeichnet, damit man den oberen Rundstahl als Abstandhalter gut sehen kann.)

In der letzten Variante des Ventils *E5* wird an der Platte ein Gummiventil verschraubt. Das Gummiventil hat einen Durchmesser von 90 mm und eine Dicke von 3 mm. Die Mitte der Platte, wo das Wasser abfließen soll, wird in vier Teile unterteilt, damit das Gummiventil nicht durch den Druck angesaugt wird. Wenn der Abfluss von den oberen Seiten strömt, wird das Gummiventil auf die Platte gedruckt. Andererseits wird das Gummiventil durch den Gummiventilhalter in Position gehalten. Der Gummiventilhalter verbindet das Gummiventil mit der Platte.

Fazit:

Alle fünf Varianten des Ventils sind hochwertig und erfüllen den Zweck der Aufgaben eines Ventils. Hierbei wird auf den wirtschaftlichen Aspekt geachtet. Die Variante *E1* ist aufgrund der Reduziermuffen am teuersten, weil es sich um eine formschlüssige Verbindung handelt. Bei den Varianten *E2*, *E3* und *E4* werden durch die Fertigungskosten mehr Kosten verursacht als bei der Variante *E5*.

Hingegen werden bei E5 die Wartungsarbeiten und Wartungskosten gering sein, da es lediglich um den Austausch von einem Gummiventil geht.
Bei der Kolbenpumpe der KUKATE34K hat sich die Variante E5 als die günstigste erwiesen. Die Gummischeibe ist leicht zu warten und auszutauschen. Besonders dann, wenn man einige von ihnen auf Vorrat hat.

Ist in den Zeichnungen und Stücklisten noch anders dargestellt!

Pumpenstange

In der letzten Tabelle 9 werden zwei Varianten dargestellt, die von dem Querschnitt der Rohrstange abhängen. Die gesamte Länge der Rohrstange wird ca. 10 m lag sein. So müssen die Rohre geteilt werden. Dabei hängt die Dimensionierung von der berechneten Kolbenkraft $F_{K,th}$ ab. Die Größe der zulässigen Kolbenkraft hängt von dem Querschnitt des Rohres ab. Die Holzlager im Mast führen das Gestänge und verhindern ein Knicken.

In der ersten Variante F1 wird eine Rohrbemaßung von 30 x 3 mm² genommen.

Es reicht, wenn die Teilrohrlängen 3m – wie bei der Kolbenpumpe – bleiben (nicht 1m! – wie im Text angegeben). Die einzelnen Rohrstangen werden mithilfe eines vollen Zylinders ineinandergesteckt und verschraubt.

Wird NICHT gebaut!

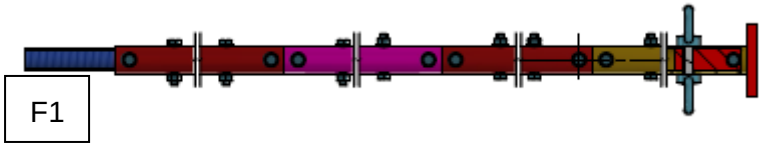
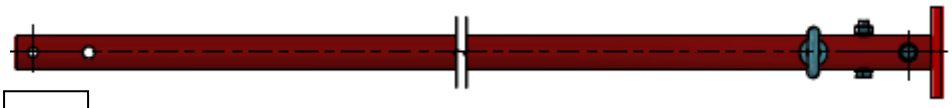
Bei der zweiten Variante F2 wird ein Rohr berechnet, das die Bemaßung von 60mm x 5 mm hat. Durch die Berechnung der Schubkraft kann es eine Länge von ca. 3 m haben und die volle Kraft des Exzenters ohne zu knicken übertragen. Die Vorgehensweise, wie die Rohre miteinander verbunden werden, ist identisch zur Variante F1.

Fazit:

Beide Varianten Vor und Nachteile. Ein Vorteil der Variante *F1* (30mm-Aluminiumrohr) besteht beim leichteren Gewicht und der leichteren und billigeren Fertigung und Montage. Diese soll gebaut werden.

Bei der Variante F2 ist wegen der größeren Dimensionierung (60-mm-Rohr) die Kolbenstange mehr als doppelt so schwer und teuer. Der Exzenter kann das größere Gewicht jedenfalls bewegen. Auch dieses größere Gewicht würde – ebenso wie bei der 30mm Rohrausführung - durch die Vorspannung der beiden Gummiseile im Mast zwischen Maststruktur und Kolbenstange kompensiert.

Tabelle 9: Varianten Pumpenstange (6.14)

Teilfunktion	Lösungsvarianten
Pumpenstange (6.14)	 F1
	 F2

5 Berechnungen der Membranpumpe

In diesem Kapitel werden mehrere Berechnungen durchgeführt, damit die Sicherheit der gesamten Konstruktion gewährleistet wird. Begonnen wird mit den vorgegebenen Eckdaten, die bei der Berechnung betrachtet werden müssen. Das Grundkonzept der Berechnung wird aus der Arbeit von Frau Sandra Göbel hergeleitet [2].

5.1 Eckdaten der Windanlage

Für die diversen Berechnungen der Windanlage werden festgelegte Parameter und Werte verwendet (siehe Tabelle 10). Diese Parameter und Werte wurden von den Studierenden und Herrn Crome bei den verschiedenen Bachelorarbeiten festgelegt und optimiert. Für die Membranpumpe wurde in der Tabelle 11 eine Windgeschwindigkeit von 7 m/s mit den zugehörigen Werten hervorgehoben. [2]

Tabelle 10: Parameter des KUKATE34-Rotors – In Anlehnung an [2]

Parameter	Eingabedaten
Außendurchmesser	3,4 m
Innendurchmesser	1,4 m
Schnelllaufzahl	1,1 λ
Flügelanzahl	12 Stück
Flügelprofil	KUKATE34, Wölbung ca.1:9
Luftdruck	1013 mbar
Temperatur	15 °C

Tabelle 11: Ermittelte Werte des KUKATE34-Rotors– In Anlehnung an [2]

Windgeschwindigkeit v_{wind} $[m/s]$	Drehzahl n $[1/min]$	Leistung $P_{Antrieb}$ $[W]$	Drehmoment $M_{Antrieb}$ $[Nm]$	Anfahrmoment M_{Anfahr} $[Nm]$
1	6,2	2	3	3
2	12,4	14	11	13
3	18,5	47	24	29
4	24,7	111	43	52
5	30,9	216	67	81
6	37,1	373	96	117
7	43,3	598	131	159
8	49,4	885	171	208
9	55,6	1260	216	263
10	61,8	1728	267	325

5.2 Eckdaten der Windanlage

Die Maße wurden exemplarisch von einem Autoreifen übernommen (siehe Tabelle 12). Hierbei handelt es sich um einen Autoreifen des Modells *VW Golf*. Die Maße weichen bei unterschiedlichen Golf-Modellen voneinander ab. Der Autoreifen hat die Kennziffern 195/65 R15 91H. [2]

Tabelle 12: Die Maße des Autoreifens vom VW Golf – In Anlehnung an [2]

Parameter	**Einheiten** [mm]
Reifenbreite	195
Reifenhöhe	126,75
Innendurchmesser	381
Wulstlänge	15
Wulstbereite	10

5.3 Ermittlung des Exzenterradius

Durch die berechnete Antriebsleistung $P_{Antrieb}$ und den gesamten Wirkungsgrad η_{ges} wird die benötigte hydraulische Leistung P_{hydr} in der Gleichung (1) [6] der Membranpumpe ermittelt.

$$\mathrm{P_{hydr} = P_{Antrieb} * \eta_{ges}} \tag{1}$$

$$\mathrm{P_{hydr} = 598\ W * 0{,}2} \tag{1.1}$$

$$\mathrm{P_{hydr} = 119{,}6\ W} \tag{1.2}$$

Mit der berechneten hydraulischen Leistung lässt sich in der Gleichung (2) [7] der theoretische Volumenstrom Q_{th} berechnen.

$$\mathrm{P_{hydr} = Q_{th} * H * \varrho * g} \tag{2}$$

Es wird umgestellt zu:

$$\mathrm{Q_{th} = \frac{P_{hydr}}{H * \varrho * g}} \tag{2.1}$$

Die Fallbeschleunigung g liegt bei $9{,}81\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}}$ und die Dichte ϱ des Wassers bei einer Temperatur von 15 °C beträgt $0{,}99913\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}}$ [8]. Für die Förderhöhe H wird eine beanspruchte Länge von 3 m eingesetzt [2]. Die hydraulische Leistung kann auch als $119{,}6\ \frac{\mathrm{kg}}{s}$ angegeben werden.

$$\mathrm{Q_{th} = \frac{119{,}6\ \frac{kg}{s}}{3m * 0{,}99913\ \frac{kg}{m^3} * 9{,}81\ \frac{m}{s^2}}} \tag{2.1}$$

$$\mathrm{Q_{th} = 4{,}067\ \frac{m}{s} = 4{,}067 * 10^{-3}\ \frac{m^3}{s} \cong 4\ \frac{L}{s}} \tag{2.1}$$

Mit dem theoretischen Volumenstrom und der Drehzahl $\mathrm{n = 43{,}3\ \frac{1}{min} \cong 0{,}72\ \frac{1}{s}}$ kann nach Gleichung (3) das Hubvolumen V_{Hub} [6] des Autoreifens ermittelt werden:

$$\mathrm{V_{Hub} = \frac{Q_{th}}{n}} \tag{3}$$

$$V_{Hub} = 5{,}65\ m^3 \tag{3.1}$$

Das Hubvolumen kann ebenfalls mit der Gleichung (4) [6] berechnet werden:

$$V_{Hub} = s * A \tag{4}$$

Der Hub s ist der Abstand zwischen den beiden äußeren Abdeckungen des Autoreifens. Die wirksame Fläche A ergibt sich aus dem Durchmesser des Autoreifens [6]. Der Innendurchmesser d des Autoreifens wird mit 400 mm angenommen [2].
Die Kreiszahl π, auch Phi genannt, wird mit einem Wert von 3,14159 gewählt [9].

Mit dem Gleichsetzen der Gleichungen (3) und (4) können die Werte des Hubes in der Gleichung (5) bestimmt werden:

$$s * A = \frac{Q_{th}}{n} \tag{5}$$

$$s = \frac{Q_{th}}{A * n} \tag{5.1}$$

$$s = \frac{Q_{th}}{\frac{d^2 * \pi}{4} * n} \tag{5.2}$$

$$s = \frac{4{,}067 * 10^{-3}\ \frac{m^3}{s} * 4}{(0{,}4\ m)^2 * \pi * 0{,}72\ \frac{1}{s}} \tag{5.3}$$

$$s = 0{,}044\ m \cong 44\ mm \tag{5.4}$$

Mit dem Wert des Hubes wird in der Gleichung (6) [10] der Exzenterradius r_{ex} ermittelt:

$$s = 2 * r_{ex} \tag{6}$$

$$r_{ex} = \frac{s}{2} \tag{6.1}$$

$$r_{ex} = 0{,}022\ m \tag{6.2}$$

Die Länge des Exzenterradius beträgt 22 mm.

5.4 PCV-Rohrdurchmesser

In diesem Abschnitt wird der Durchmesser des PVC-Rohres bestimmt. Zuerst wird durch den theoretischen Volumenstrom Q_{th} und die Fläche $A = A_1$ des Autoreifens die Strömungsgeschwindigkeit $v = v1$ ermittelt.

$$Q_{th} = v * A \tag{7}$$

In der Gleichung (7) wird nach der Strömungsgeschwindigkeit umgestellt [11]:

$$v = \frac{Q_{th}}{A} \tag{7.1}$$

$$v = \frac{4{,}067 * 10^{-3}\ \frac{m^3}{s} * 4}{\pi * (0{,}4\ m)^2} = 0{,}032\ \frac{m}{s} \tag{7.2}$$

Der Massenerhaltungssatz besagt, dass das Volumen pro Zeiteinheit, das bei der Fläche A_1 in den Strom eintritt, gleichzeitig bei der Fläche A_2 wieder ausfließen muss. Dies wird in der Gleichung (8) dargestellt. [11]

$$A_1 * v_1 = A_2 * v_2 \tag{8}$$

$$A_2 = A_1 * \frac{v_1}{v_2} \tag{8.1}$$

Im Durchschnitt liegt die Geschwindigkeit bei Wasser zwischen 2 m/s und 5 m/s. [12]

$$A_2 = \frac{\pi * (0{,}4\ m)^2}{4} * \frac{0{,}032\ \frac{m}{s}}{0{,}5\ \frac{m}{s}} = 8 * 10^{-3}\ m^2 \tag{8.2}$$

$$A\ 2 = \frac{{D_2}^2 * \pi}{4} \tag{8.3}$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 * 8 * 10^{-3}\ m^2}{\pi}} = 0{,}1\ m \tag{8.4}$$

Der Durchmesser der Rohre beträgt 100 mm. Daher werden bei der Konstruktion der Membranpumpe Rohre nach DIN 100 verwendet.

5.5 Knickung der Pumpenstange

Zur Berechnung der Knickung des Rohres der Pumpenstange wird die theoretische Kolbenkraft $F_{K,th}$ benötigt. Dies lässt sich in der Gleichung (9) berechnen [11].

$$F_{K,th} = \frac{M}{l} = \frac{M_{Antrieb}}{r_{ex}} \tag{9}$$

$$F_{K,th} = \frac{131Nm}{0{,}022m} = 5954{,}5\ N \tag{9.1}$$

Das Drehmoment des Antriebes *M* wird aus der Tabelle 11 entnommen. Der Exzenterradius $r_{ex} = l$ wurde im Abschnitt 5.3 ermittelt.

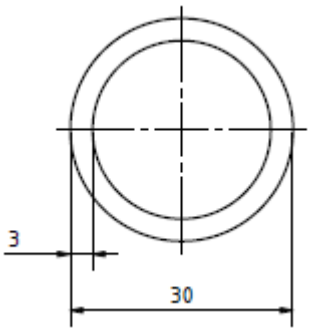


Abbildung 3: Bemaßungen des Rohres der Pumpenstange (6.14)

Um die Knickbeanspruchung zu berechnen, wird zuerst der Knickfall bestimmt. Beim Rohr der Pumpenstange wird der Knickfall 2 ausgewählt. Dadurch ist die freie Knicklänge $s_k = l_p$ gleichzeitig die Länge der gesamten Pumpenstangen. Die Länge der Pumpenstangen liegt bei $\mathrm{l_p} = 9345\ \mathrm{mm}$. In der Gleichung (10) wird die Knickkraft F_K nach Euler berechnet. [11]

$$\mathrm{F_K} = \frac{\mathrm{E} * \mathrm{I_{äq}} * \pi^2}{\mathrm{l_p}^2} \tag{10}$$

Da die Rohre aus einer Aluminium-Legierung AlMg1SiCu gefertigt werden, ist das Elastizitätsmodul E angegeben. Das Elastizitätsmodul wird aus dem Datenblatt mit einem Wert von $70000 \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{mm}^2}$ abgelesen [13]. Das Flächenträgheitsmoment $I_{äq}$ von einem Rohr wird mithilfe der Abbildung 3 ermittelt (siehe Gleichung (11)). [11]

$$\mathrm{I_{äq}} = \frac{\pi}{64} * \left({D_r}^4 - {\mathrm{d}_r}^4\right) \tag{11}$$

Das Außendurchmesser D_r liegt bei 30 mm und der Innendurchmesser d_r bei 24 mm.

$$\mathrm{I_{äq}} = \frac{\pi * ((30\ \mathrm{mm})^4 - (24\ \mathrm{mm})^4)}{64} = 23474{,}76\ \ \mathrm{mm}^4 \tag{11.1}$$

Somit wird die Knickkraft F_K berechnet:

$$\mathrm{F_K} = \frac{\mathrm{E} * \mathrm{I_{äq}} * \pi^2}{\mathrm{l_p}^2} = \frac{70000\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{mm}^2} * 23474{,}76\ \ \mathrm{mm}^4 * \pi^2}{(9345\ \mathrm{mm})^2} 185{,}71\ \mathrm{N} \tag{10.1}$$

Die theoretische Kolbenkraft $F_{K,th}$ ist deutlich größer als die Knickkraft F_K. Das wird dazu führen, dass das Rohr zusammenknickt. Im Bereich Maschinenbau muss eine Sicherheit $s_m \approx 3 \ldots 10$ gegeben sein [11]. In der Gleichung (12) wird die Sicherheit

gegen Knicken berechnet:

$$\mathrm{s_m} = \frac{\mathrm{F_K}}{\mathrm{F_{K,th}}} = \frac{185{,}71\ \mathrm{N}}{5954{,}5\ \mathrm{N}} = 0{,}03 \tag{12}$$

Diese Sicherheit ist sehr klein, daher wird die Sicherheit mit dem Wert 3 gewählt.

$$F_K = F_{K,th} * s_m = 5954{,}5\ N * 3 = 17863{,}5\ N \tag{12.1}$$

Um die Knicklänge l_p zu bestimmen wird die Gleichung (10) umgestellt:

$$l_p = \sqrt{\frac{E * I_{äq} * \pi^2}{F_K}} = \sqrt{\frac{70000\ \frac{N}{mm^2} * 23474{,}76\ mm^4 * \pi^2}{17863{,}5\ N}} = 952{,}83\ mm \tag{10.2}$$

Mit dieser Knicklänge von 950 mm müssten die Rohre in einem Meter Abstand durch Lager im Mast abgestützt werden, damit eine Sicherheit von 3 gewährleistet ist und das Knicken der Rohre vermieden wird.

Trotzdem kann man die gleiche Kolbenstangenvariante von 3m Rohrstücken wie bei der KUKTE34K anwenden, weil die Kraft von 5955N in axialer Richtung nie auftreten kann. Diese große Kraft kann sich nur zu einem kleinen Teil aufbauen, weil die Gummimembran der Kolbenpumpe sich unter dem Einfluss einer viel geringeren Kraft nach unten bewegt.

Zur Sicherheit kann man ein weiteres Holzlager im Mast installieren. Dieses stützt die Kolbenstange zusätzlich.

6 Konstruktion der Membranpumpe

Die Konstruktion der Membranpumpe besteht aus mehreren Baugruppen, die mehrmals wiederverwendet werden. Die Höhe der Konstruktion ohne die
Pumpenstange (**6.14**) beträgt 2019 mm (siehe Abbildung 4) Die Bereite liegt bei
16175 mm (siehe Abbildung 5). Mit der Pumpenstange liegt die Länge der Konstruktion bei 11460 mm. Zudem liegt die Breite bei 16175 mm. Dies lässt sich von der Anzahl der ebenen Rohrleitung (**6.2**) schnell verändert, da die Länge der einzelnen Rohrleitung 5 m beträgt. Zur Erhöhung der Flexibilität und zur Erleichterung der Wartungsarbeiten werden die einzelnen Komponenten und Baugruppen kraftschlüssig miteinander verbunden. Um die gesamten Rohrleitungen abzudichten, werden zwischen den Baugruppen Flanschdichtungen eingefügt. Beim Einsetzen dieser Flanschdichtungen wird der Außendurchmesser der Rohrleitungen berücksichtigt. Hierfür werden Flanschdichtungen nach DIN 100 (**6-7**) und DIN 125 (**6-10**) eingesetzt.

Die Pumpenstange wird die rotierende Bewegung des Kolbenantriebes (**2.3**), der in der Baugruppe Gondel (**2**) eingebaut ist, aufnehmen. Die eingeleitete theoretische Kurbelkraft $F_{K,th}$ beträgt 5954,4 N. Dieser Kraftfluss wird durch den Pumpmechanismus (**6.8**) aufgenommen. Mithilfe der Verbindungsrohre (**6-9**) werden die rotierenden Bewegungen an den Pumpenkörper (**6.6**) übertragen. Die Verbindungsrohre müssen eine Mindesthöhe von 915 mm haben, damit das Rohrleitungssystem darunter passt. Ein Teil dieser Kraft wird durch die Verbindungsrohre (**6.12**) an den Pumpenaufnehmern (**6.11**) eingeführt. Die Verbindungsrohre müssen eine Mindesthöhe von 915 mm haben, damit das Rohrleitungssystem darunter passt.

Der Pumpenaufnehmer wird mithilfe einer Steckverbindung mit dem Pumpengestell (**6.13**) befestigt. Zur Stabilisierung der Konstruktion der Membranpumpe wird das Pumpengestell auf den bereitstehenden Mast (**1**) verschweißt. In dem Pumpenkörper entsteht durch das Einpressen ein Druck, der das Wasser nach oben führt. In den Rohrleitungen befinden sich zwei Ventile (**6.4**). Damit das Wasser weitergeführt werden kann, wird beim Einpressen des Pumpenkörpers das obere Ventil (**6.4-2**) geöffnet und gleichzeitig das untere Ventil (**6.4-1)** geschlossen. Der Querschnitt der Rohrleitung wird vergrößert (**6.5**), um größere Mengen von Wasser hoch zu fördern.

Der Zusammenbau des Rohrleitungssystems der gesamten Konstruktion ist leicht gebaut. Das Wasser wird durch den Druck, der im Pumpenkörper einstanden ist, in dem Saugkorb (**6.1**) eingesaugt. Mit der Ebene Rohrleitungen (**6.2**) und Rohrleitungswinkeln 90° (**6.3**) wird das Wasser transportiert. Bei Reparaturarbeiten können die Rohrleitungen mit dem Blindflansch (**6.15**) zugemacht werden. Des Weiteren wird in diesem Kapitel der Aufbau der Membranpumpe vorgestellt. Zur verfeinerten Beschreibung ist die komplette Membranpumpe in ausgewählte Baugruppen unterteilt.

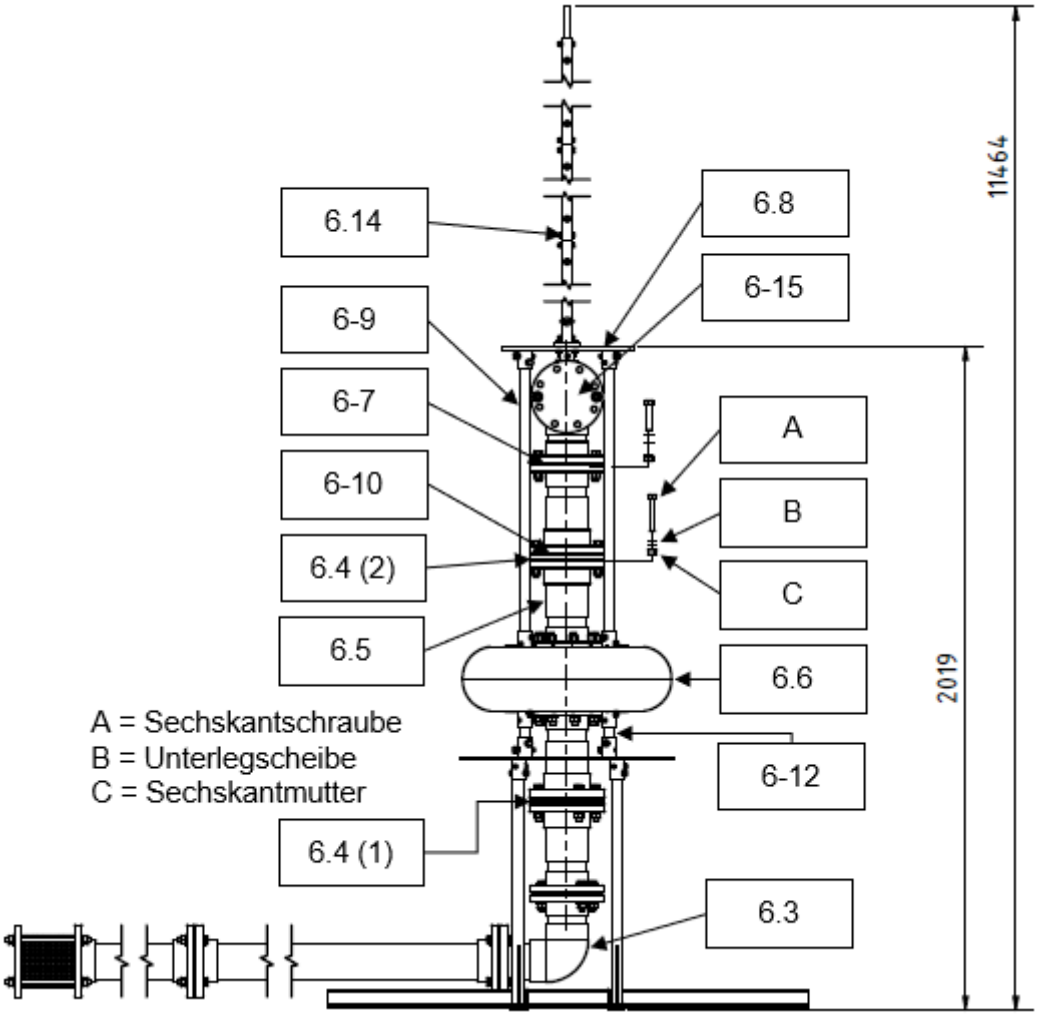


Abbildung 4: Membranpumpe – Vorderansicht

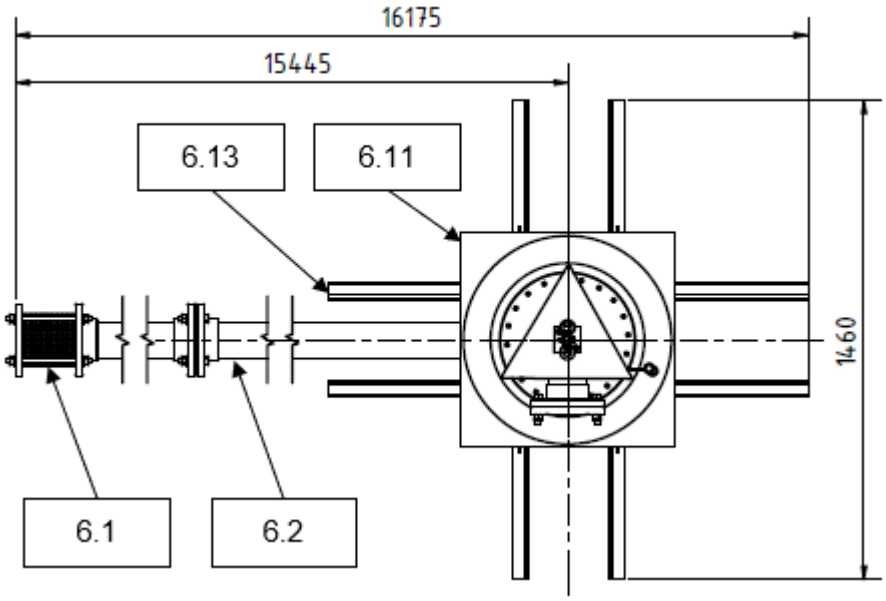


Abbildung 5: Membranpumpe – Draufsicht

6.1 Saugkorb

Die Hauptaufgabe des Saugkorbes (**6.1**) ist der Schutz des gesamten Rohrleitungssystems vor dem Eindringen von groben Verunreinigungen wie z. B. Blättern, die das gesamte Pumpensystem verstopfen können. Hauptsächlich wird das Ventil (**6.4**) blockiert. Die Position des Saugkorbes befindet sich unter Wasser. Das Grundgestell besteht aus mehreren Komponenten: Festflansch DIN 100 (**6.1-1**), Blindflansch (**6.1-2**), vier Gewindestangen (**6.1-3**) und Lochblech (**6.1-4**). Der Festflansch DIN 100 hat eine Bundbuchse und ist ein Normteil. Der Außendurchmesser beträgt 220 mm und der Innendurchmesser 110 mm. In dem Innendurchmesser der Bundbuchse wird ein
PVC-U Rohr (**6.2-2**) von der ebenen Rohrleitung (**6.2**) eingeführt und verklebt. Der Blindflansch hat ebenfalls einen Außendurchmesser von 220 mm (siehe Abbildung 6). Der Blindflansch und der Festflansch sind aus PVC-Material. Mit den M16-Gewindestangen werden die beiden Flansche miteinander verschraubt. Vor dem Einführen der Gewindestangen wird ein rundes Lochblech dazwischen gelegt. Das Lochblech dient als Abstand zwischen den beiden Flanschen. Durch die Gewindestangen wird das Lochblech ebenfalls fixiert. Durch die Bohrungen Ø12 mm fließt das Wasser in die Rohrleitungen.

Alle Festflansche und alle Rohre haben PVC-U als Material. PVC-U besitzt eine hohe mechanische Festigkeit, Steifigkeit und Härte. Der Temperaturbereich liegt zwischen 0 °C und ca. +60°C. Zudem lässt sich PVC-U gut verkleben und verschweißen. [14]

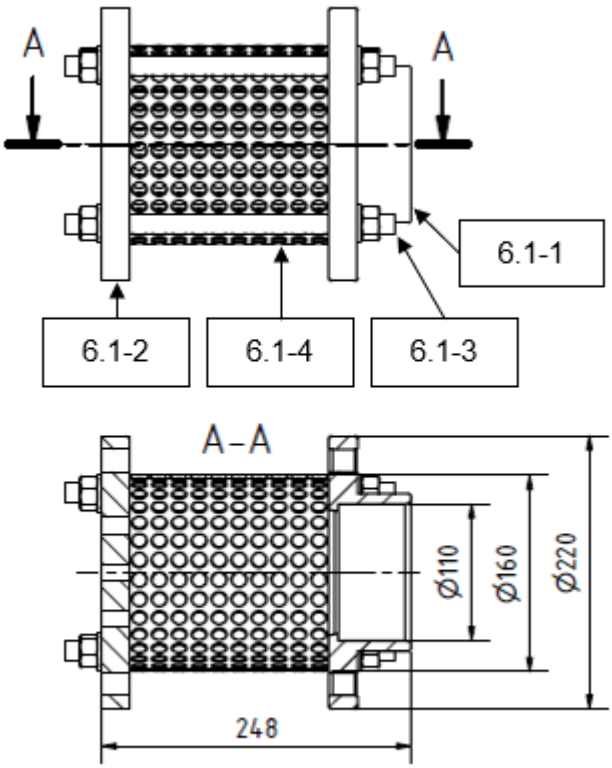


Abbildung 6: Saugkorb – Seitenansicht und Querschnitt

6.2 Ebene Rohrleitung

Die ebenen Rohrleitungen (**6.2**) haben die Aufgabe, das Gewässer bis zur Membranpumpe und über das Land zuführen. Die Gesamtlänge der Rohrleitungen beträgt 15046 mm (siehe Abbildung 7). Zum Vereinfachen der Gesamtkonstruktion und um den sicheren Transport zu gewährleisten, werden die ebenen Rohrleitungen in drei Unterbaugruppen unterteilt. Die Längen der Rohre (**6.2-2**) werden 5 m betragen. Das Konzept der Rohrleitungen wird eine Steckverbindung sein, um den Zusammenbau der Konstruktion zu vereinfachen. Der Festflansch (**6.2-1**) und das Rohr sind Normteile. Die beiden Komponenten werden nach DIN 100 hergestellt. Der Außendurchmesser des Rohres beträgt 110 mm. Das Rohr wird an beiden Enden im Innendurchmesser des Festflansches bis zum Anschlag eingeführt und anschließend verklebt. Zum Schluss werden die Unterbaugruppen zusammengeschraubt (siehe Abbildung 8). Zur Dichtung der ebenen Rohrleitungen werden Flanschdichtungen (**6.2-3**) passend zum DIN 100 verwendet. Die Flanschdichtungen werden zwischen den Unterbaugruppen angesetzt und verschraubt. Die Flanschdichtung ist ein Normteil und besteht aus EVA.

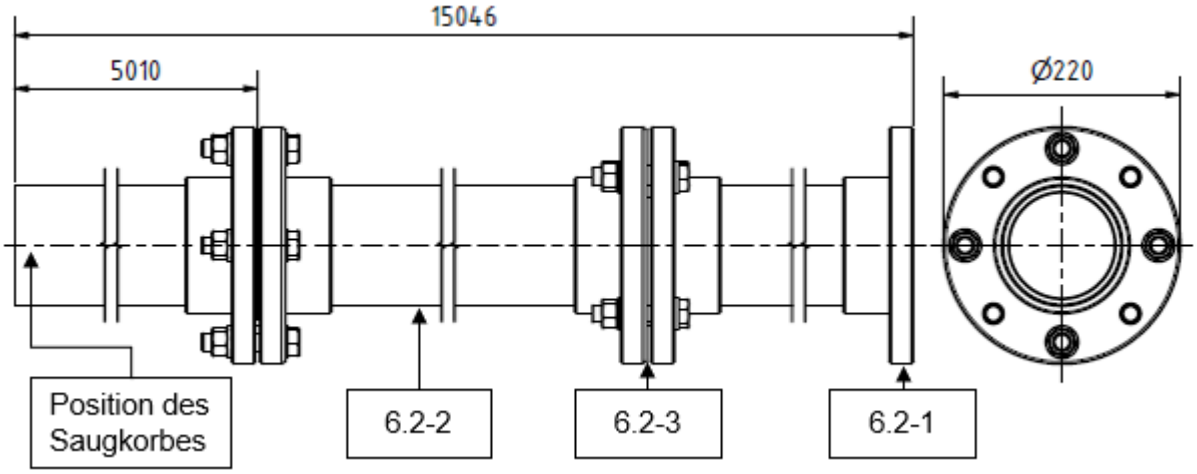


Abbildung 7: Ebene Rohrleitungen – Vorderansicht und Seitenansicht

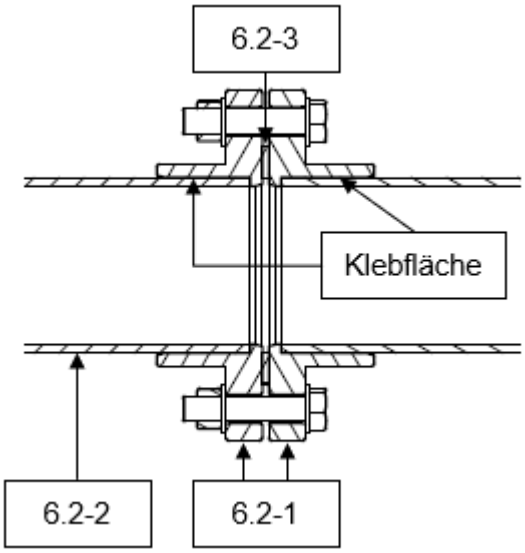


Abbildung 8: Ebene Rohrleitungen - Querschnitt von der Vorderansicht

6.3 Rohrleitungswinkel 90°

Zur Förderung des Wassers auf die vertikale Ebene wird ein Rohrwinkel 90° (**6.3-3**) benötigt (siehe Abbildung 9). Der Rohrleitungswinkel 90° (**6.3**) hat eine Höhe und eine Breite von jeweils 203 mm. Die zwei Rohre (**6.3-2**) werden an einer Seite in den Festflanschen (**6.3-1**) eingeführt und geklebt. Zunächst werden die freien Seiten der Rohre in den Rohrwinkel 90° eingeführt und festgeklebt. Alle Komponenten der Rohrleitungswinkel 90° sind aus PVC-U. Der DIN-Norm 100 bleibt ebenfalls einheitlich.

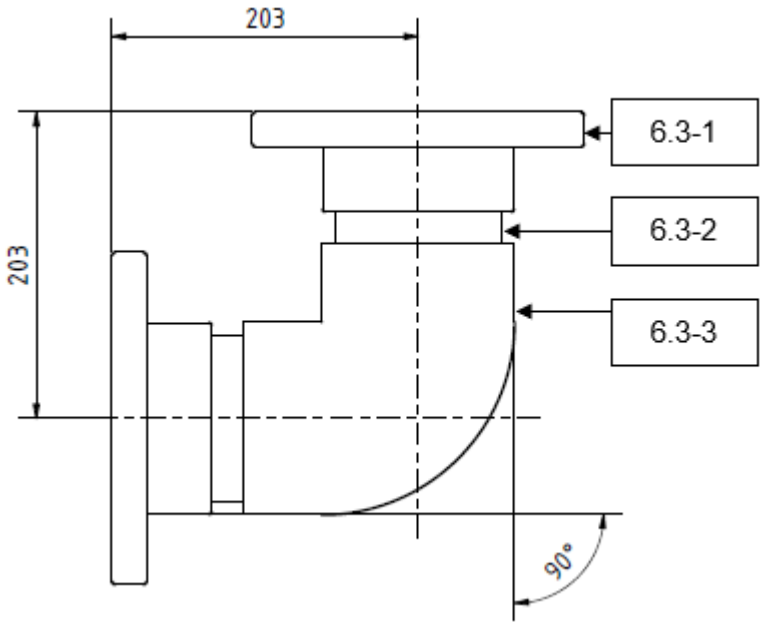


Abbildung 9: Rohrleitungswinkel 90° – Vorderansicht

6.4 Ventil

Das Ventil (**6.4**) nimmt eine wichtige Rolle in der Funktion der Membranpumpe ein. Um die rotierende Bewegung des Kolbenantriebs (**2.3**) (siehe Tabelle 1) nutzen zu können, werden zwei Ventile benötigt. Diese werden vertikal in das Rohrleitungssystem eingebaut. Die beiden Ventile lassen das Wasser, das durch den Saugkorb fließt, nach oben weiter strömen. Sobald der Pumpenkörper (**6.6**) zusammengepresst wird, verriegelt sich das unterste Ventil (**6.4-1**). Das obere Ventil (**6.4-2**) bleibt weiterhin geöffnet. Die gesamte Konstruktion besteht aus einem Ventilboden (**6.4-1**), einem Gummiventilhalter (**6.4-2**) und einem Gummiventil (**6.4-3**) (siehe Abbildung 10-Links). Der Ventilboden wird an den Festflanschen der Baugruppe „Vergrößerung der Rohrleitung (**6.5**)“ montiert (siehe Abbildung 10-Rechts). Die Komponenten Gummiventilhalter und Gummiventil werden zusammen an den Ventilboden verschraubt. Das Gummiventil besteht aus Gummi und lässt sich somit elastisch verformen. Wenn das Wasser von der unteren Fließrichtung strömt, dehnt sich das Gummiventil so weit wie es möglich ist. Der Gummiventilhalter hält das Gummiventil in Position. Für den Fall, dass das Wasser von der oberen Seite strömt, wird das Gummiventil auf den Ventilboden gedrückt. Somit wird das untere Ventil verriegelt. Zum Dichten des Ventils in dem Rohrleitungssystem wird unter und über das Ventil eine Flanschdichtung eingelegt. Der Formteil dieser Flanschdichtungen ist DIN 125.

6.5 Vergrößerung der Rohrleitung

Die Aufgabe der Vergrößerung der Rohrleitung (**6.5**) ist es, den berechnete theoretische Volumenstrom Q_{th} von 4 L/s zu fördern. Der Innendurchmesser der bisherigen Rohre nach DIN 100 ist 99,4 mm. Beim Einsetzen der Ventile wird dieser Querschnitt zusätzlich verkleinert. Um den Querschnitt zu vergrößern, werden die Komponenten in DIN 100 und DIN 125 unterteilt. Das untere Rohr (**6.5-1**) und der Festflansch

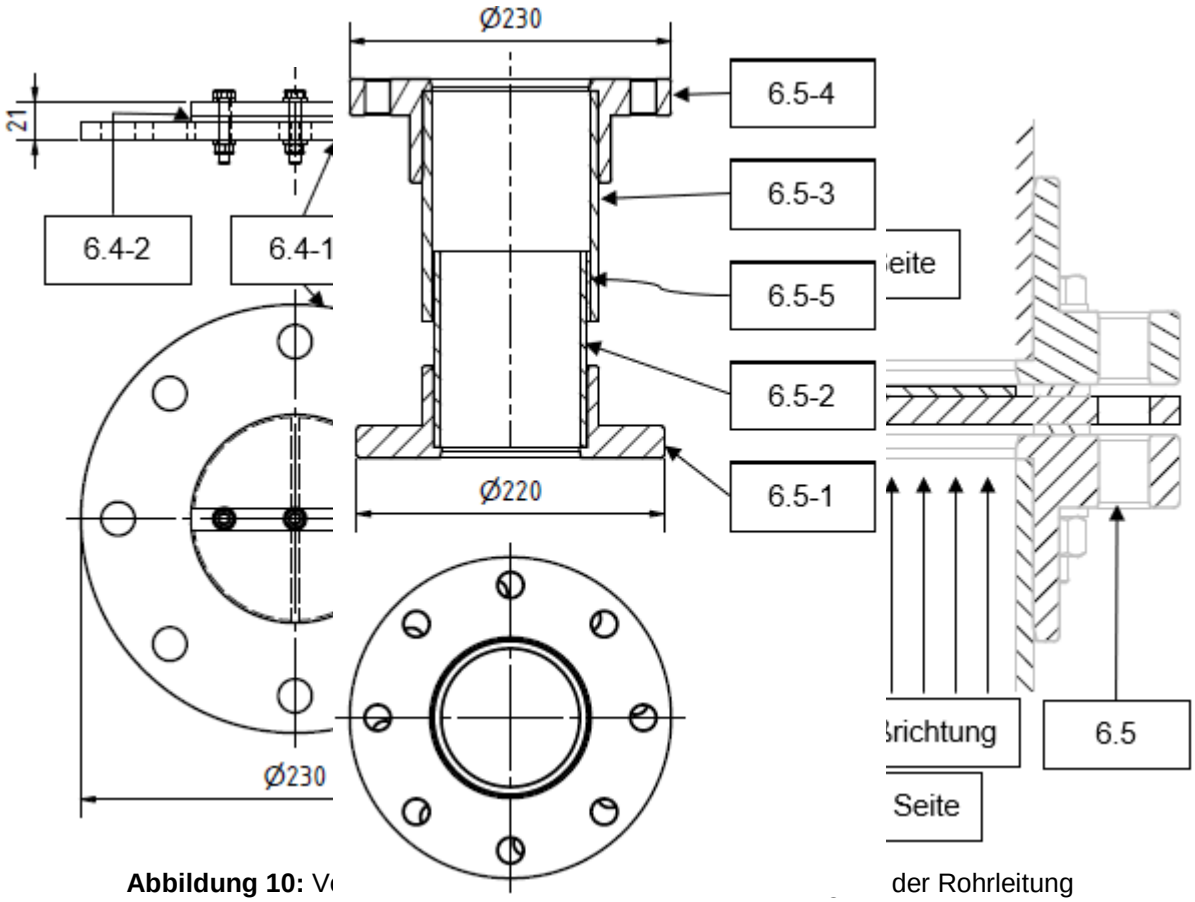


Abbildung 10: V der Rohrleitung

Abbildung 11: Rohrleitung Vergrößerung – Vorderansicht und Draufsicht

(**6.5-2**) werden nach DIN 100 bereitgestellt. Der obere Festflansch (**6.5-4**) und das Rohr (**6.5-3**) werden einen DIN 125 haben. Das Rohr nach DIN 125 hat einen Innendurchmesser von 113 mm und einen Außendurchmesser von 125 mm. Der Festflansch nach DIN 125 hat einen Außendurchmesser von 230 mm und einen Innendurchmesser von 125 mm (siehe Abbildung 11). Alle Rohre werden in den jeweiligen Festflansch eingeführt und verklebt. Zum Schluss wird das Rohr nach DIN 100 in das Rohr nach DIN 125 eingeführt und verklebt. Die Differenz zwischen den beiden Rohren ist 3 mm. Vor dem Einführen in das Rohr (**6.5-3**) wird Gummiband (**6.5-5**) um den Außendurchmesser des Rohres (**6.5-2**) gewickelt und verklebt.

6.6 Pumpenkörper

Der Pumpenkörper (**6.6**) setzt sich aus dem Autoreifen VW Golf (**6.6-1)** und sowie eine äußere Abdeckung (**6.6.2**) und innere Abdeckung (**6.6.3**). Der Autoreifen hat einen Außendurchmesser von 635 mm und einen Innendurchmesser von 381mm. Die innere und die äußere Abdeckung werden aus S235JR gefertigt. Die innere und äußere Abdeckung werden auf beiden auf beiden Seiten des Autoreifens montiert. Der Außendurchmesser der beiden Abdeckungen liegt bei 410 mm.

Um den Autoreifen abzudichten, werden die innere und äußere Abdeckung zusammengeschraubt und verklebt (siehe Abbildung 12). Auf den Pumpenkörper wird ein großer Druck ausgeübt, daher werden für die Verschraubung der gesamten Konstruktion 20 M6-Schrauben verwendet. Beim Festziehen der M6-Muttern muss darauf geachtet werden, dass sie über Kreuz angezogen werden, damit der Druck beim Festziehen gleichförmig verteilt wird. Damit die Verschraubungen den Autoreifen vollständig abdichten, wird der Autoreifenrand zusätzlich mit der Abdeckung rundherum verklebt.

Die inneren und äußeren Abdeckungen des Aufbaus sind nicht identisch. Was jedoch identisch sein muss, sind die 20 Bohrungen, die für die Verschraubung verwendet werden. Die beiden Abdeckungen werden übereinandergelegt und befestigt. Anschließend werden beide Komponenten durchgebohrt.

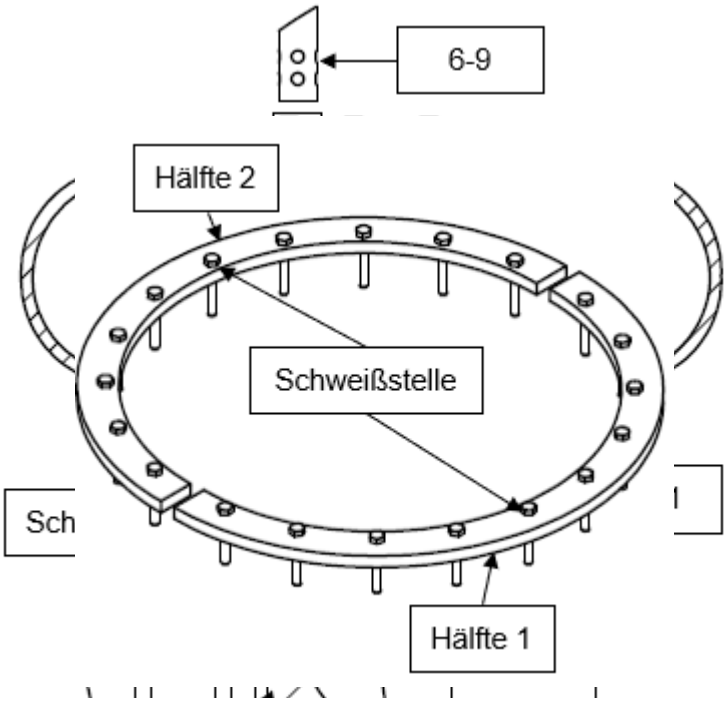


Abbildung 13: Die innere Abdeckung – 3D-Ansicht

Abbildung 12: Pumpenkörper – Vorderansicht im Querschnitt

Die Bohrungen haben einen Durchmesser von 6 mm. Die innere Abdeckung wird zuerst als komplette Ringe gefertigt. Der Außendurchmesser beträgt 410 mm und der Innendurchmesser 350 mm. Um Verformungen zu vermeiden, wird eine Dicke von 10 mm gewählt. Damit die innere Abdeckung dicht ist, werden die M6 verklebt und danach die Schraubenköpfe verschweißt. Zur Vermeidung von Verformungen wird die Methode Punktschweißen angewendet. Da der Innendurchmesser des Reifens kleiner als 410 mm ist, muss die innere Abdeckung in zwei Hälften gesägt werden (siehe Abbildung 13).

Die äußere Abdeckung besteht aus einer Abdeckplatte (**6.6.2-1**), einem Rohrverbinder (**6.6.2-3**) und mehreren Verbindungsschrauben (**6.6.2-2**) (siehe Abbildung 14). In der Mitte der Abdeckplatte befindet sich ein Loch mit einem Durchmesser von 100 mm. Mit diesem Durchmesser kann das Wasser

weiterbefördert werden. Dazu werden die Verbindungsschrauben durch die acht Bohrungen, die einen Durchmesser von 16 mm haben, eingeführt. Diese Verbindungsschrauben werden, wie bei der inneren Abdeckung, verklebt und verschweißt. Die Verbindungsschrauben dienen zur Befestigung des Festflansches (**6.5-1**) aus der Baugruppe „Rohrleitung Vergrößerung“ des Rohrleitungssystems. Zwischen der äußeren Abdeckung und dem Festflansch wird eine Flanschdichtung nach DIN 100 (**6.7**) gelegt. Im weiteren Verlauf wird der Festflansch mit M16-Muttern und Unterlegscheiben montiert.

Auf der Abdeckplatte werden drei Rohrverbinder verschweißt. Diese dienen zur flexiblen Befestigung der Verbindungsrohre (**6-9**). Die Verbindungsrohre werden in den jeweiligen Rohrverbinder bis zum

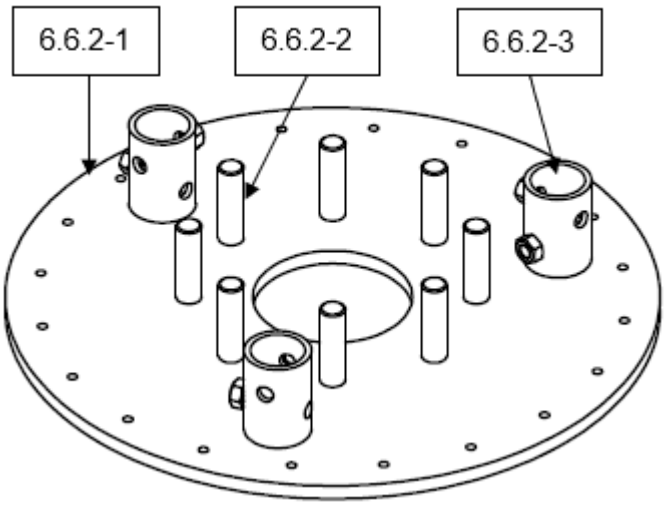


Abbildung 14: Die äußere Abdeckung – 3D-Ansicht

Anschlag eingefügt. Der Außendurchmesser der Verbindungsrohre ist 33,7 mm. Der Innendurchmesser der Verbindungsrohre beträgt 34,4 mm. In den beiden Rohren werden zwei Bohrungen mit derselben Bemaßung gebohrt. Der Durchmesser dieser Bohrungen ist 11 mm. Durch diese Methode können beide Rohre mit einer M10-Schraube miteinanderverschraubt werden. Die Verbindungsrohre (**6-12**) werden auf der anderen Seite des Pumpenkörpers mit derselben Vorgehensweise montiert.

Durch diese Technik werden die Verbindungsrohre nicht direkt an der äußeren Abdeckung verschweißt. Dadurch wird der Aufwand für Wartungsarbeiten deutlich reduziert, da der Pumpenkörper als Fundament der gesamten Konstruktion gilt. Mit den dazwischen verschweißten Rohrverbindern wird dies verhindert, da die gesamte Konstruktion aus einer Baugruppe besteht. Zusätzlich wird der Autoreifen durch die Rohrverbinder nicht verschleißen, da keine Berührungsstellen mit dem Pumpenaufnehmer (**6.11**) vorkommen. Ein weiterer Vorteil dieser Konstruktion mit den Abdeckungen ist, dass die Autoreifen unterschiedliche Durchmesser haben können.

6.7 Pumpmechanismus

Der Pumpmechanismus (**6.8**) dient als Bindestelle zwischen der Konstruktion mit der Membranpumpe und der Windanlage. Zudem nimmt der Pumpmechanismus die Kurbelkraft auf. Anschließend wird diese Kraft durch die Verbindungsrohre (**6-9**) weiter übertragen. Der Pumpmechanismus besteht aus einer Pumpmechanismusplatte
(**6.8-1**) und einem Rohrverbinder (**6.8.2**) (siehe Abbildung 15). Die gesamte Konstruktion wird aus S235JR hergestellt. Die Verbindungsrohre verbinden zusätzlich die äußere Abdeckung des Pumpenkörpers (**6.6**) mit der Pumpmechanismusplatte. Hierfür wird die dieselbe Technik mit dem Rohrverbinder angewendet, wie sie im Abschnitt 6.6 beschrieben ist. Die Positionen aller sechs Rohrverbinder, sowohl beim Pumpmechanismus als auch auf dem Pumpenkörper, müssen identisch sein, damit

diese Technik funktionsfähig wird. Die Pumpmechanismusplatte wird in einer dreieckigen Form gefertigt. Diese Form wurde ausschließlich aufgrund der Bearbeitung ausgewählt. Eine Platte in einer dreieckigen Form lässt sich leichter bearbeiten als eine runde Form. In der Mitte der

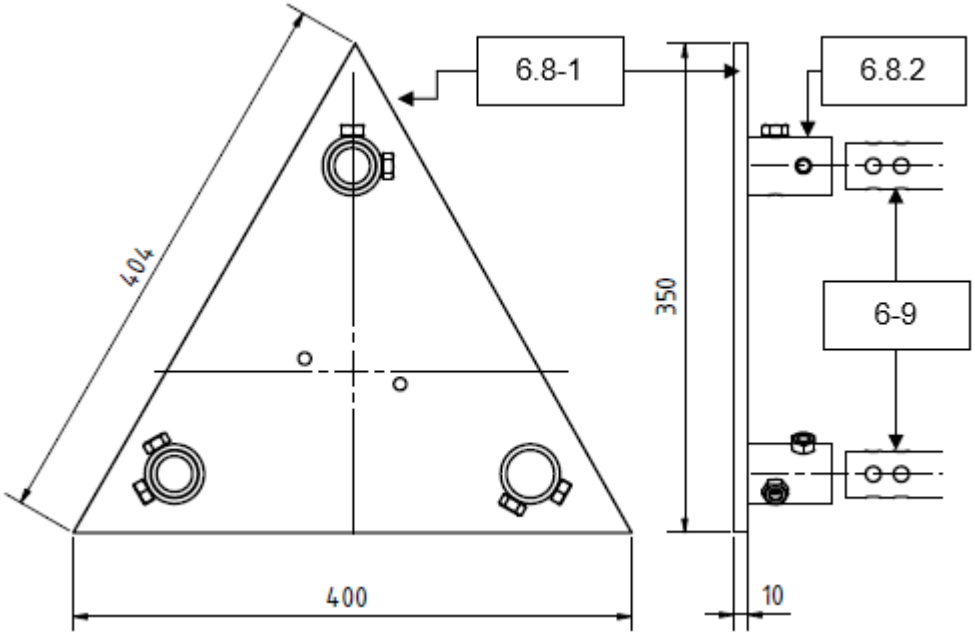


Abbildung 15: Pumpmechanismus – Vorderansicht und Seitenansicht

Pumpmechanismusplatte wird die Steckverbindung durch die Bohrungen verschraubt, um die hohe Kurbelkraft aufzunehmen. Die Pumpmechanismusplatte hat die Bemaßung von (400 x 10 x 350) mm³ und eine Dicke von 10 mm.

6.8 Pumpenaufnehmer

Der Pumpenaufnehmer (**6.11**) stellt die Verbindungen zwischen dem Pumpenkörper und dem Pumpengestell (**6.13**) dar. Innerhalb des Pumpenaufnehmers und des Pumpenkörpers werden mehreren Verbindungsrohre angesetzt. Der Pumpenaufnehmer nimmt die Kraft der Verbindungsrohre auf. Die gesamte Konstruktion besteht aus einer Pumpenplatte (**6.11-1**) und einem Rohrverbinder (**6.11.2**). Alle Bauteile werden aus S235JR gefertigt. Die Pumpenplatte hat eine Bemaßung von 650 mm x 650 mm
(siehe Abbildung 16). Damit sich die Pumpenplatte nicht verbiegt, wird eine Dicke von 10 mm gewählt. Das Loch in der Mitte der Pumpenplatte ist erforderlich, damit das Rohrleitungssystem durchpasst. Das Loch hat einen Durchmesser von 240 mm. Das Loch hat einen Mindest-Durchmesser von 230 mm. Auf beiden Seiten der Pumpenplatte werden Rohrverbinder verschweißt. Die Strukturierungen der Rohrverbinder sind unterschiedlich. Auf einer Seite wird ein Dreieck gebildet. Auf der zweiten Seite wird ein Rechteck passend zu der Bemaßung des Gestelles geschweißt. Die Abstände zwischen den Rohrverbindern liegen bei 300 mm. Die Rohrverbinder werden auf dieselben Weise, wie in dem Abschnitt 6.6 beschrieben wurde, angewendet. Mithilfe der Rohrverbinder und der Verbindungsrohre wird der Pumpenaufnehmer mit dem Pumpenkörper und dem Pumpengestell verbunden.

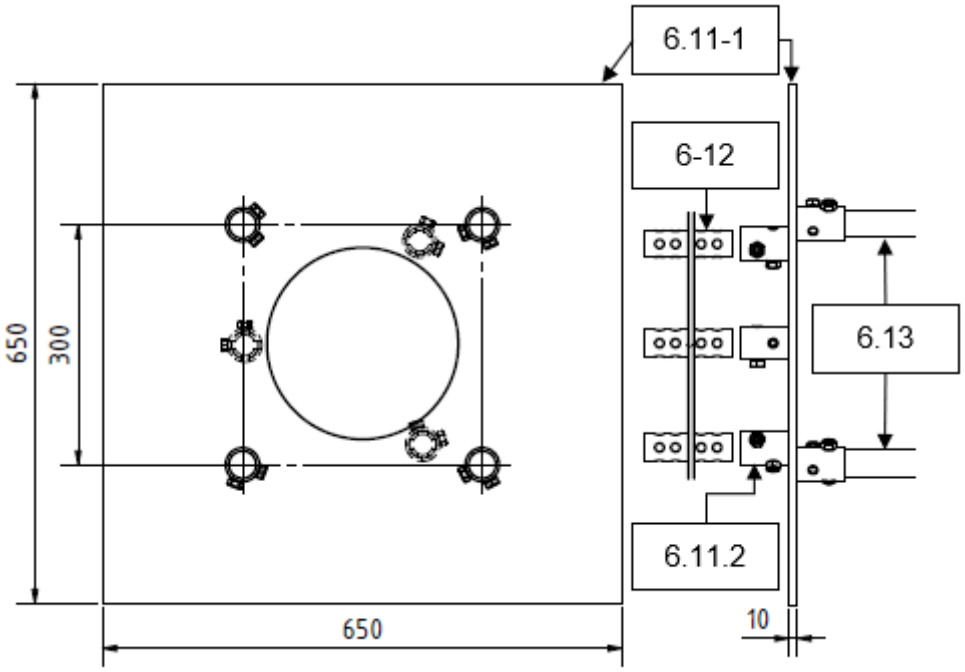


Abbildung 16: Pumpenaufnehmer – Vorderansicht und Seitenansicht

6.9 Pumpengestell

Das Pumpengestell (**6.13**) besteht aus mehreren Winkelprofilen, Flachstählen und Rohren. Alle Komponenten werden aus unlegiertem Baustahl gefertigt. Das Pumpengestell wird zur Stabilisierung der Konstruktion der Membranpumpe an den Mast verschweißt, daher werden die Bemaßungen angepasst. Die Bereite und die Länge werden mit einem Maß von 1460 mm gefertigt. Die Höhe liegt bei 761 mm. Die Höhe ist von den Stäben der Maststruktur abhängig. Alle Winkelprofile haben eine Bemaßung von 50 mm x 50 mm, deren Dicke liegt bei 5 mm. Das Winkelprofil (**6.13-1**) wird als Ganzes mit der Länge von 1460 mm geschnitten. Das nächste Winkelprofil
(**6.13-2**) hat eine Länge von 592 mm. Diese beiden Winkelprofile werden, wie in der Abbildung 17 gezeigt wird, verschweißt. Zur Stabilisierung wird dazwischen ein weiteres Winkelprofil (**6.13-3**) verschweißt. Die Bemaßungen der Abstände der verschweißten Rohre (**6.13-5**) voneinander liegt bei 300 mm. Dieses Maß lässt sich von den Abständen der Rohrverbinder aus der Baugruppe „Pumpenaufnehmer“ entnehmen. Die Bohrungen an den Rohren dienen dazu, das Pumpengestell mit dem Pumpenaufnehmer zu verbinden. Hierfür wird ebenfalls die Technik der Steckverbindung angesetzt. Des Weiteren werden Flachstähle (**6.13-6**) an den Rohren verschweißt. Diese dienen dazu, die Rohre zu stabilisieren. Zum Schluss wird unter den Winkelprofilen eine Unterlegplatte (**6.13-4**) verschweißt. Die Unterlegplatten haben eine Bemaßung von (50 x 50 x 5) mm^3. Mit den Unterlegplatten kann die gesamte Konstruktion in Balance gehalten werden. Die Anzahl der Unterlegplatten hängt von der Neigung des Mastes ab.

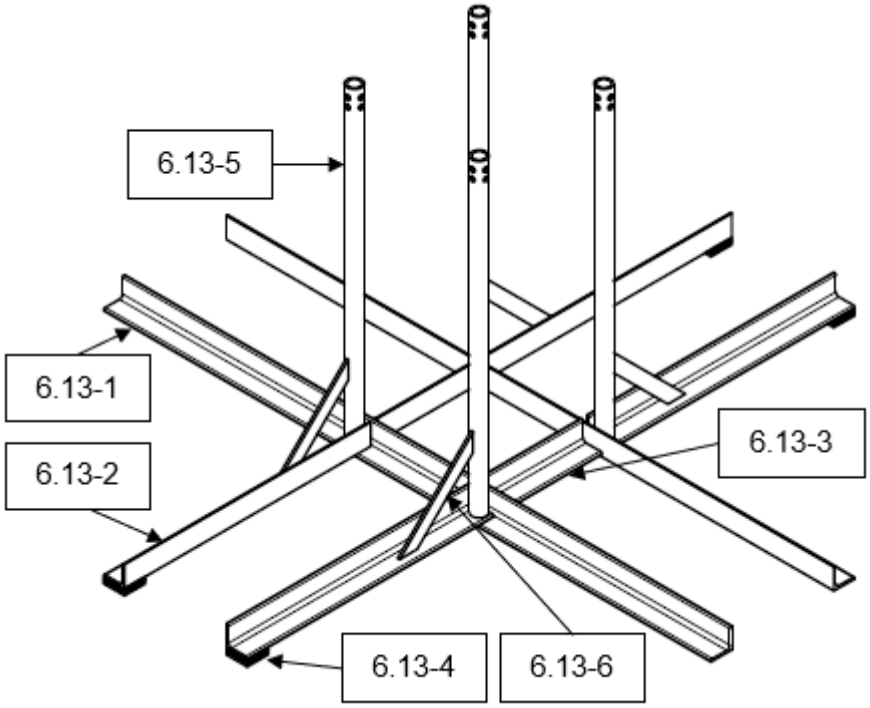


Abbildung 17: Pumpengestell – 3D-Ansicht

6.10 Pumpenstange

Die Pumpenstange (**6.14**) verbindet die Membranpumpe mit der Windanlage. Die Aufgabe der Pumpenstange ist die Kraftübertragung. Durch die oszillierende Bewegung des Kolbenantriebs schwingt die Pumpenstange auf dem Pumpenkörper. Im eingebauten Zustand beträgt die Länge insgesamt 9445 mm (siehe Abbildung 18) [1]. Aufgrund der höheren Zugfestigkeit und guten Korrosionsbeständigkeit werden die Rohrstangen aus einer Aluminium-Legierung AlMg1SiCu gefertigt [13].

Die Pumpenstange besteht aus mehrerer Rohrstangen, die durch eine Rohrstangen-Verbindung (**6.14-4**) miteinander verschraubt werden. Die Rohrstangen-Verbindung, die einen Durchmesser von 24 mm und eine Länge von 200 mm aufweist, wird jeweils zur Hälfte in die Rohrstangen gesteckt und in diesen kraftschlüssig befestigt. Die berechnete Knickkraft F_K der Aluminium-Rohrstangen liegt bei 185,71 N, daher wird die Länge der einzelnen Rohrstangen von 950 mm festgelegt. Die Rohrstangen (**6.14-1** und **6.14-2**) werden mit der Länge 950 mm gesägt. Bei der Rohrstange (**6.14-6**) wird eine Ausnahme gemacht, weil diese als Ergänzungsstange fungiert, damit die Gesamtlänge von 9445 mm erreicht wird. Die Rohrstange (**6.14-6**) wird mit einem Maß von 30 mm x 3 mm und einer Länge von 785 mm gesägt.

Zur Entlastung und Stabilisierung der Rohrstangen werden Gummiseile verwendet [1]. Diese Gummiseile verbinden die Pumpenstangen mit dem Mast der Windanlage [1]. Dazu wirken die Gummiseile als Gegengewicht der Pumpenstange und erhöhen somit die Leistung der Anlage [1]. Um diese Verbindung möglich zu machen, wird eineM10-Gewindestange (**6.14-5**) durch die Bohrung mit dem Durchmesser 11 mm der Rohrstangen (**6.14-2**) eingeführt. Die Gewindestange wird auf beiden Seiten mit einer Ringmutter befestigt. Die Ringmuttern werden als Verbindungstelle mit den Gummiseilen eingesetzt.

An einem Ende der Pumpenstange wird die Steckverbindung (**6.14.3**) verschraubt. Die Steckverbindung besteht aus einer Platte mit der Bemaßung 80 mm x 80 mm und hat eine Dicke von 10 mm. Das zugehörige Verbindungselement hat einen Durchmesser von 24 mm und eine Länge von 90 mm. An dem unteren Ende dieser Steckverbindung muss die Verbindung zum Pumpenmechanismus hergestellt werden. Diese wird realisiert, indem die Steckverbindung mit dem Pumpmechanismus verschraubt wird. An dem anderen Ende der Pumpenstange wird eine Gewindestange (**6.14-7**) verschraubt. Diese Stange hat einen Durchmesser von 24 mm. Die Gewindestange wird die Pumpenstange mit der Gondel (**2**) verbinden, um die oszillierende Bewegung einzuleiten.

6.11 Führungsstangen

Die Führungsstangen (**6.16** und **6.17**) dienen zum Schutz der Gesamtlänge der Rohrstangen der ge-

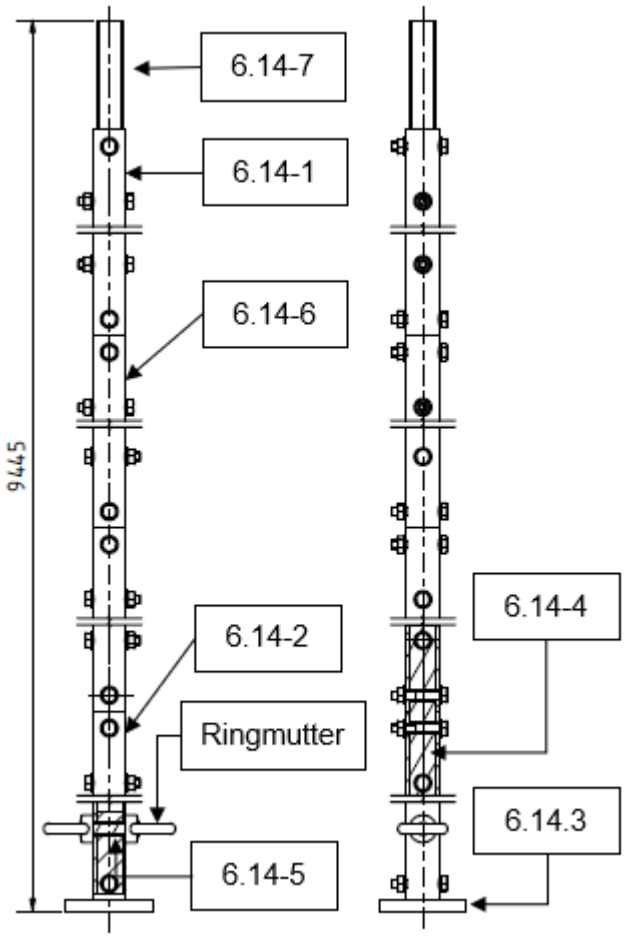


Abbildung 18: Pumpenstange – Vorderansicht und Seitenansicht

samten Windanlage. Diese Länge beträgt 9445 mm. Die Führungsstangen werden an den Mast mit den Abständen von ca. 2500-3000 mm verschweißt/verschraubt. Die Funktion und der Zusammenbau aller Führungsstangen sind identisch. Der einzige Unterschied liegt bei der Länge des Winkelprofils (**6.16-1**), weil der Mast eine Fachwerkform hat. Die Konstruktion der Führungsstange besteht aus mehreren Stangenlagerungen („Holzklötzen“) (**6.16-2** und **6.16-3**), die zusammen mithilfe einer Gewindestange verschraubt werden. Die Stangenlagerung lässt sich in zwei Bauteile unterteilen, die unterschiedliche Maße haben. Dazu kommen zwei Winkelprofile. Die Winkelprofile haben die Bemaßung 40 x 40 x 4 mm³ und eine Länge von 1120 mm (siehe Abbildung 19). Die Stangenlagerung Oben Aufgrund des Zusammenbaus der Holzklötze bildet sich ein Loch mit einem Durchmesser von 31 mm. Die Pumpenstange wird durch dieses Loch geführt.

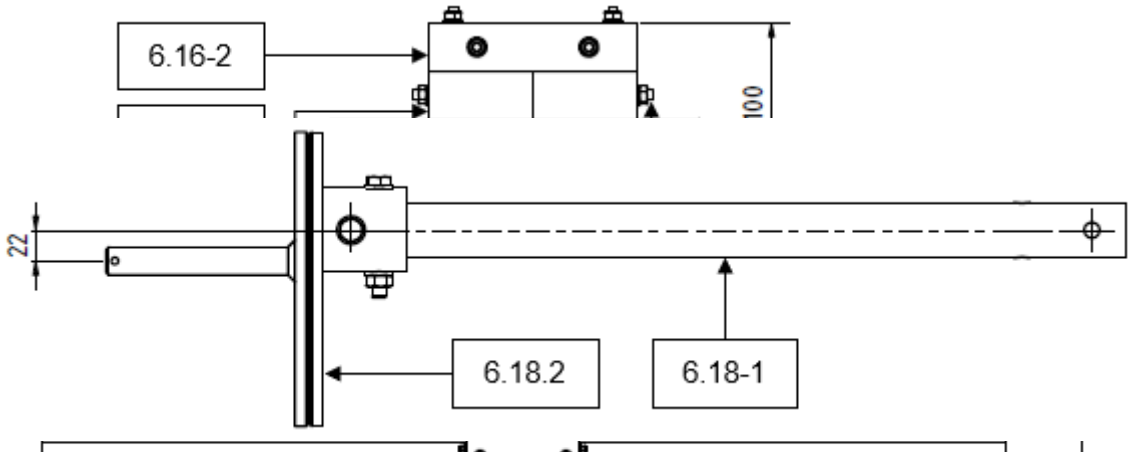


Abbildung 20: Exzenter - Vorderansicht

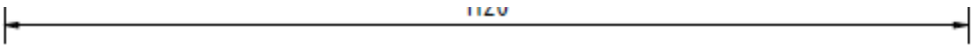


Abbildung 19: Führungsstange – Vorderansicht und Draufsicht

6.12 Exzenter

Der Exzenter (**6.18**) wird außerhalb der Konstruktion der Membranpumpe eingebaut. In dem Kurbeltrieb (**2.3**) wird der Exzenter eingebaut [1]. Der Exzenter dient dazu, die Drehbewegung des Rotors in eine oszillierende Bewegung des Gestänges umzuwandeln. Die gesamte Konstruktion wird aus S235JR gefertigt. Das Wellenlager (**6.18.2**) besteht aus zwei Verbindungsplatten (**6.18.2-1**), einem Kurbelzapfen (**6.18.2-2**) und
einem Verbindungsrohr (**6.18.2-3**), die miteinander verschweißt werden
(siehe Abbildung 20). Der Kurbelzapfen stellt die Verbindung zum Pleuel (**2.3.2**) her. Die Verbindungsplatte besitzt die Maße 80 x 210 x 10 mm³. Die beiden Verbindungsplatten können, wenn es möglich ist, aus einem Bauteil hergestellt werden.

Das Maß 22 mm zwischen den Kurbelzapfen und dem Verbindungsrohr entspricht der Länge des Hubes des Exzenterradius r_{ex}. Dieses wurde im Abschnitt 5.3 „Ermittlung des Exzenterradius“ ermittelt. Das Verbindungsrohr stellt die Verbindung zu der Rotorwelle her. Diese besitzt einen Innendurchmesser von 40,3 mm und eine Wandstärke von 10 mm. In diesem Verbindungsrohr wird die Rotorwelle (**6.18-1**) eingeführt und über Kreuz mit M10-Schrauben, Unterlegscheiben und Muttern verschraubt. Die Rotorwelle hat einen Außendurchmesser von 40 mm und eine Länge von 575 mm.

6.13 Rohrbohrvorrichtung

In mehreren Unterbaugruppen, wie der Pumpmechanismus, wird die Technik mit der Steckverbindung in Bezug auf die Rohrverbinder (**6.6.2.3**) mit den Verbindungsrohren (**6-9** und **6-12**) angewendet. Damit dies einwandfrei funktioniert, werden die Bohrungen an den beiden Bauteilen mit derselben Vorrichtung gebohrt. Die Rohrbohrvorrichtung (**6.19**) wird aus dem Material S235JR gefertigt. Die Vorrichtung wird aus einem Gestell (**6.19.1**), einem Winkelprofil (**6.19.2-1**), einer Bohrführung (**6.19.2-2**), einem Rohranschlag (**6.19.2-3**), einer Rohrbefestigung (**6.19.5**) und zuletzt einer Sechskantschraube zusammengebaut (siehe Abbildung 21).

Im Gestell wird eine V-Form angesägt, sodass das Winkelprofil daraufgestellt wird und fixiert ist. Zur Flexibilität werden die beiden Bauteile nicht miteinander verschweißt. An beiden Enden des Profils

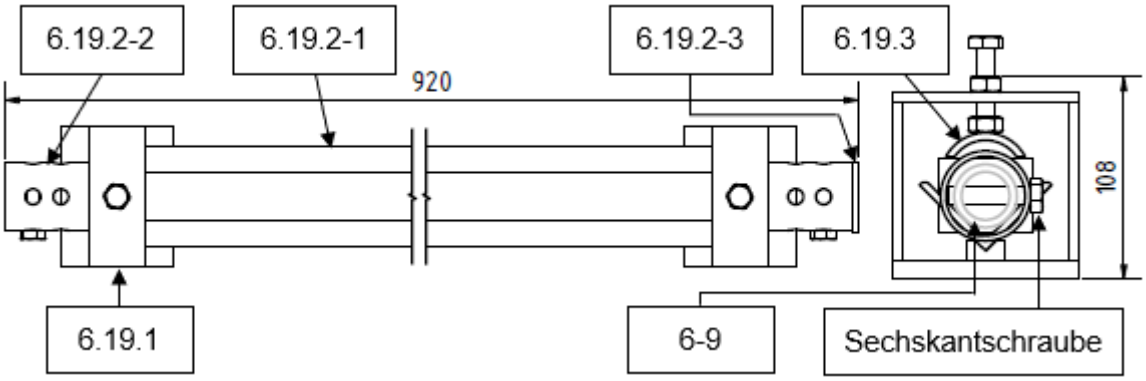


Abbildung 21: Rohrbohrvorrichtung – Vorderansicht und Seitenansicht

wird jeweils eine Bohrführung eingeschweißt. Die Bohrführung hat einen Innendurchmesser von 42,5 mm und eine Länge von 60 mm. Die Verbindungsrohre und das Rohr (**6.6.2.3-1**) des Rohrverbinders werden durch die Bohrführung geführt. Dieses Rohr (**6.6.2.3-1**) hat einen Außendurchmesser von 42,4 mm. In dieser Bohrführung sind Bohrungen mit den Abständen von 20 mm über Kreuz gebohrt. Der Durchmesser liegt bei 11 mm. Durch diese Bohrungen werden alle Abstände der Bohrungen der Steckverbindung identisch sein. Zur Fixierung des Rohres wird an einem Ende der Bohrführung einen Rohranschlag verschweißt. Die Länge des Winkelprofils der beiden Bohrführung und des Rohranschlages hat die gleiche Länge wie das Verbindungsrohr (**6-9**). Somit kann das Verbindungsrohr auf beiden Seiten gleichzeitig gebohrt werden. Des Weiteren wird das Verbindungsrohr befestigt. Hierfür werden eine Rohrbefestigung und eine Sechskantschraube benötigt. Mit der Rohrbefestigung wird das Rohr befestigt. Mit der M10-Sechskantschraube wird festgestellt, dass die Bohrungen über Kreuz (90°) zueinander liegen.

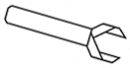
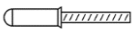
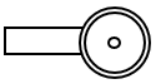
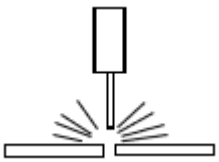
7 Fertigung und Zusammenbau der Unterbaugruppen

In diesem Kapitel werden die Fertigung und der Zusammenbau der einzelnen Unterbaugruppen beschrieben. Des Weiteren werden Arbeitspläne von den einzelnen Bauteilen erstellt, in denen die genauen Arbeitsschritte beschrieben werden. Von den Normteilen, wie der Festflansch nach DIN 100, werden keine Arbeitspläne erstellt. Außerdem werden in den Arbeitsplänen die Werte, die keine Einheit haben, in Millimeter-Einheit (mm-Einheit) betrachtet. Der Materialbedarf wird in den Stücklisten der Baugruppen belegt. Zusätzlich werden die benötigten Werkzeuge und Skizzen von den einzelnen Arbeitsschritten dargestellt. Zum Schluss wird der Zusammenbau der Baugruppen veranschaulicht und beschrieben.

7.1 Werkzeuge

Für den Zusammenbau und die Fertigung der einzelnen Bauteile werden einige Werkzeuge in Form von Symbolen dargestellt. Des Weiteren werden die Symbole in der Tabelle 1 aufgelistet. Bei der Tabelle werden ausschließlich die wesentlichen Werkzeuge erwähnt. Die Hilfswerkzeuge, wie eine Reißnadel und ein Körner, werden nicht betrachtet. Die Werkzeuge werden so ausgewählt, dass sie auf der ganzen Welt vorhanden sind.

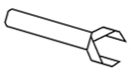
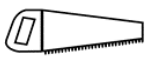
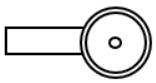
Tabelle 13: Werkzeugliste zur Bearbeitung der Membranpumpe [1]

				
Gummihammer	Schraubenschlüssel	Metallsäge	Kleber	Flachfeile
–	SW 10; 13; 15; 17; 24	–	–	–
				
Maßband	Bohrer	Zirkel	Winkelschleifer	Schere
5000 mm	Ø 6; 10; 14; 12; 18	–	–	–
				
Holzmeißel	Schweißgerät	Stahlmaß	Wasserwaage	Flachwinkel
–	135 / 111	300 mm	–	90°

7.2 Saugkorb

Werkzeuge:

Tabelle 14: Werkzeugliste – Saugkorb (6.1) [1]

Bohrer	Schraubenschlüssel	Metallsäge	Winkelschleifer	Flachfeile
Ø 12; 18	SW 24	–	–	–

Stückliste:

Tabelle 15: Stückliste – Saugkorb (6.1)

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.1-1	1	Festflansch PVC-U DIN 100	D = 220; di=110	PVC	1
6.1-2	2	Blindflansch	D = 220; DIN 100	PVC	1
6.1-3	3	Gewindestange	M16 x 165	S235JR	4
6.1-4	4	Lochblech	Blech 2	S235JR	1
	5	Unterlegscheibe	di= 16	S235JR	8
	6	Sechskantmutter	M16	S235JR	8

Hinweis: Werte ohne Einheit werden in mm-Einheit angenommen

Arbeitsplan:

Tabelle 16: Arbeitsplan – Blindflansch (6.1-2)

Sach-Nr.: 6.1-2	**Name:** Blindflansch	**Standard:** D = 220; DIN 100

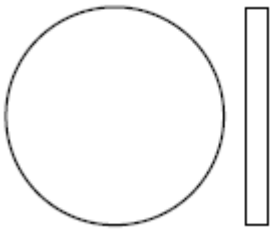
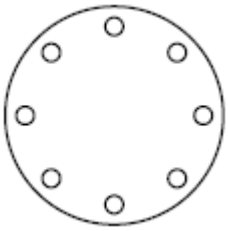
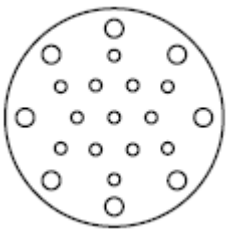
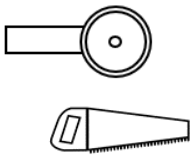
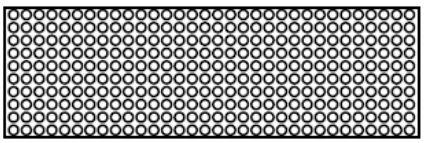
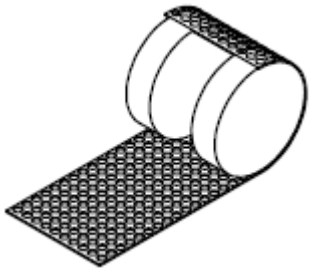
Nr.	Fertigungsschritt	Werkzeug	Bearbeitungsskizze
1	Auf Maß zusägen Ø 220; t = 22		
2	Kanten entgraten		–
3	Bohrungen für die Verschraubungen Ø 18		
4	Restliche Bohrungen Ø 12		

Tabelle 17: Arbeitsplan – Lochblech (6.1-4)

Sach-Nr.: 6.1-4	**Name:** Lochblech		**Standard:** Blechdicke 2
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Blech auf Maß zuschneiden Bemaßung: 160 x 520		
2	Kanten entgraten		
3	Die Löcher mit einer Ø 12 bohren		
4	Bohrungen entgraten		
5	Blech verbiegen Ø 160	Hilfswerkzeug: Holzklötze Ø 156	

Zusammenbau:

Beim Zusammenbau des Saugkorbes (**6.1**) wird das Lochblech (**6.1-4**) zwischen den Festflansch (**6.1-1**) und den Blindflansch (**6.1-2**) platziert, wie in der Abbildung 22 zu sehen ist. Durch die Bohrungen des Festflansches und Blindflansches werden Gewindestangen (**6.1-3**) eingeführt. Diese Gewindestangen positionieren das Lochblech fest. Zum Schluss werden alle vier Bauteile zusammen an beiden Seiten mit Muttern und Unterlegscheiben befestigt. Für die Befestigung von M24-Muttern wird ein Schraubenschlüssel, der eine Schlüsselweite *SW* von 24 mm hat, verwendet.

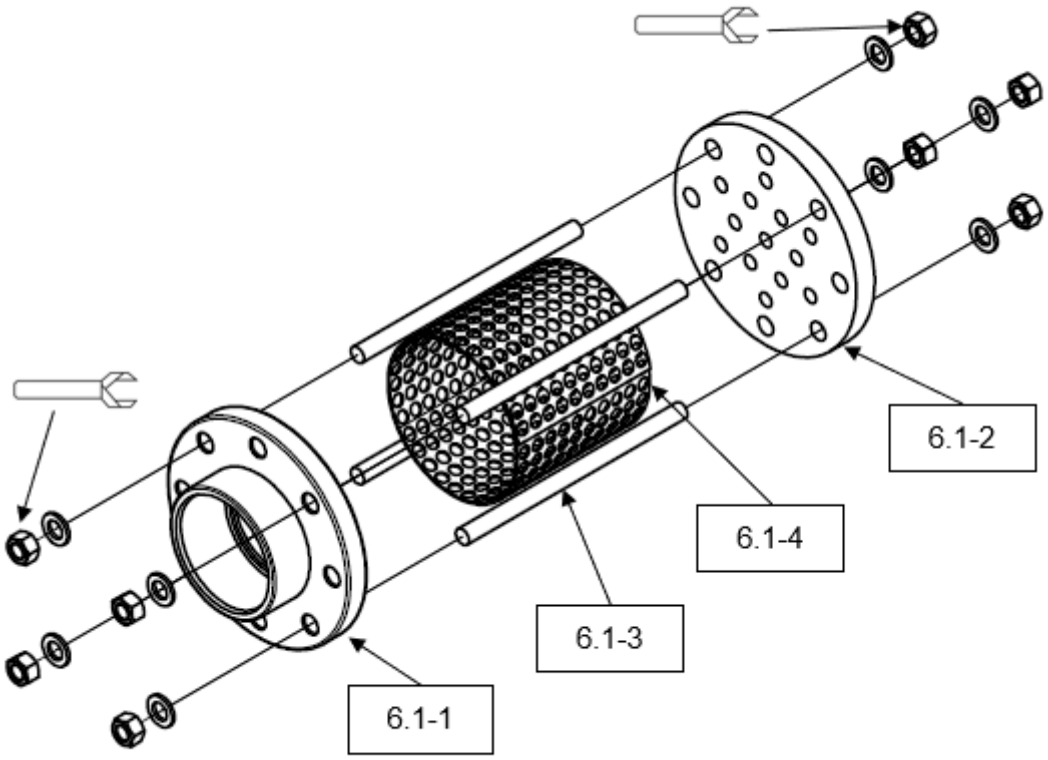


Abbildung 22: Saugkorb – 3D-Explosionszeichnung

7.3 Ebene Rohrleitung

Werkzeuge:

Tabelle 18: Werkzeugliste – Ebene Rohrleitung (6.2) [1]

Gummihammer	Schraubenschlüssel	Metallsäge	Kleber	Flachfeile
–	SW 24	–	–	–

Stückliste:
Tabelle 19: Stückliste - Ebene Rohrleitung (6.2)

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.2-1	1	Festflansch PVC-U DIN 100	D= 220; di=110	PVC	5
6.2-2	2	PVC-U Rohre DIN 100	110 x 5,3 x 5000	PVC	3
6.2-3	3	Flanschdichtung DIN 100	di= 110	EVA	2
	4	Unterlegscheibe	di= 16	S235JR	16
	5	Sechskantschraube	M16 x 80	S235JR	8
	6	Sechskantmutter	M16	S235JR	8

Arbeitsplan:

Tabelle 20: Arbeitsplan – PVC-U Rohre DIN 100 (6.2-2)

Sach-Nr.: 6.2-2	**Name:** PVC-U Rohre DIN 100	**Standard:** 110 x 5,3 x 5000	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Rohr auf Maß absägen L = 5000		
2	Eine Fase feilen und ihre Kanten entgraten.		

Zusammenbau:

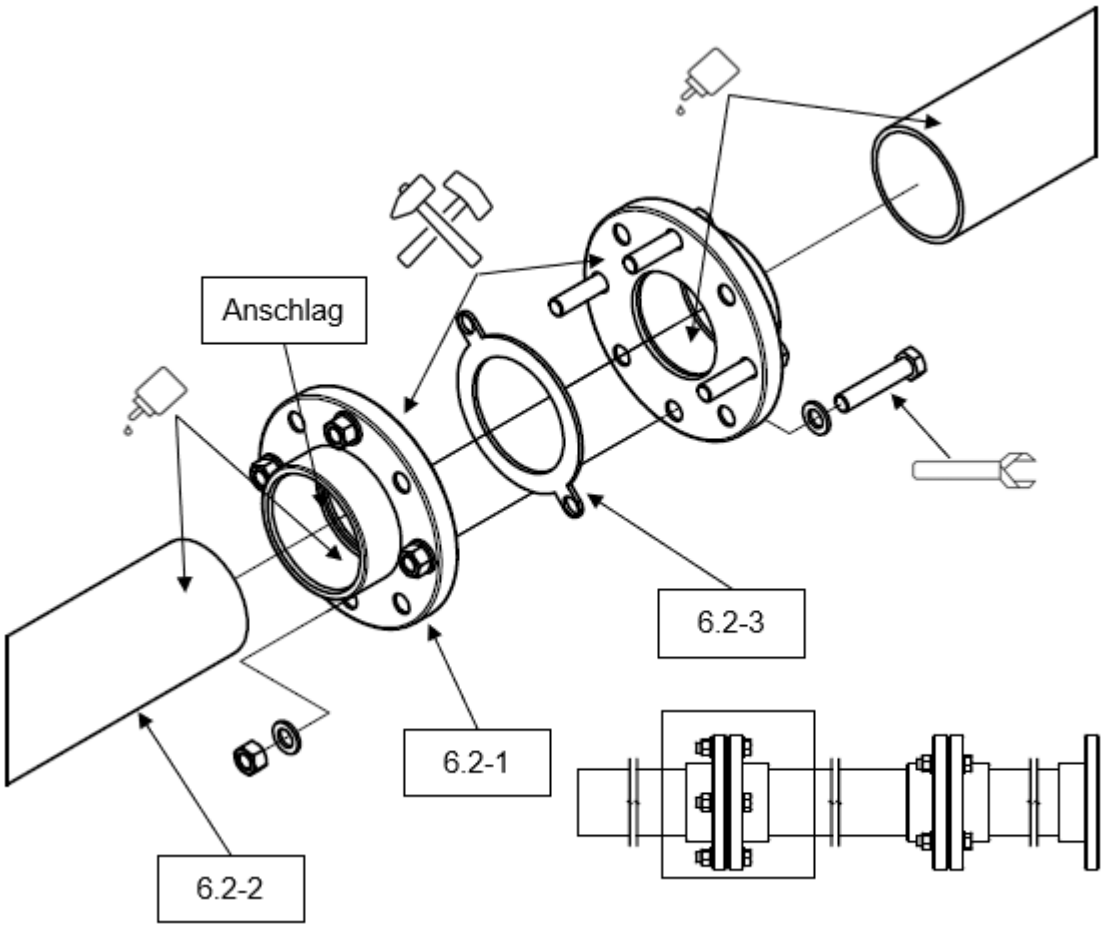


Abbildung 23: Ebene Rohrleitung – 3D-Explosionszeichnung

Bei der ebenen Rohrleitung (**6.2**) muss die Fertigung, aufgrund der Gesamtlänge von 15 m, in drei Arbeitsschritten erfolgen. Die Vorgehensweise bei den einzelnen Arbeitsschritten ist identisch. Zunächst werden die Klebstellen der PVC-U-Rohre (**6.2-2**) und der Festflansche (**6.2-1**) von Staub gereinigt. Auf der Außen-Oberfläche des Rohres und der Innen-Oberfläche des Flansches wird ein Klebstoff verteilt. Zum Schluss wird das Rohr bis zum Anschlag des Flansches eingeführt (siehe Abbildung 23). Bei Schwierigkeiten bei der Einführung wird ein Gummihammer zur Hilfe genommen. Auf diese Weise werden in dem gesamten Rohrleitungssystem die Festflansche mit den Rohren verklebt.

Um die Rohrleitung abzudichten, werden Flanschdichtungen (**6.2-3**) zwischen den verklebten Bauteilen eingesetzt. Die verklebten Bauteile und die Flanschdichtung werden zusammen verschraubt. Die Flanschdichtung besitzt zwei Bohrungen, damit diese beim Pumpen das Wasser nicht verrutschen. Hierbei wird einen Schraubenschlüssel von einer SW von 24 mm verwendet.

7.4 Rohrleitungswinkel 90°

Werkzeuge:

Tabelle 21: Werkzeugliste – Rohrleitungswinkel 90° (6.3) [1]

Gummihammer	Metallsäge	Kleber	Wasserwaage	Flachfeile
–	–	–	–	–

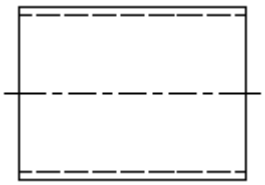
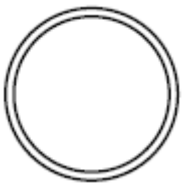
Stückliste:

Tabelle 22: Stückliste – Rohrleitungswinkel 90° (6.3)

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.3-1	1	Festflansch PVC-U DIN 100	D= 220; di=110	PVC	2
6.3-2	2	PVC-U-Rohre DIN 100	110 x 5,3 x 140	PVC	2
6.3-3	3	PVC- Rohrwinkel 90° DIN 100	di= 110	PVC	1

Arbeitsplan:

Tabelle 23: Arbeitsplan – PVC-U-Rohre DIN 100 (6.3-2**)**

Sach-Nr.: 6.3-2	**Name:** PVC-U Rohre DIN 100	**Standard:** 110 x 5,3 x 140	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Rohr auf Maß absägen L = 140		
2	Kanten entgraten		

Zusammenbau:

Der Zusammenbau der Rohrleitungswinkel 90° (**6.3**) wird in zwei Abschnitte unterteilt. Im ersten Abschnitt werden zuerst der Festflansch (**6.3-1**) und das Rohr (**6.3-2**) zusammen verklebt. Das Rohr hat eine Länge von 140 mm, wie in der Tabelle 23 eingetragen ist. Die Art und Weise wie die beiden Bauteile verklebt werden, wurde zuvor im Abschnitt 7.3 beschrieben. Es muss darauf geachtet werden, dass die Bohrungen in allen Festflanschen identisch aufeinander liegen, wie in der Abbildung 23 zu sehen ist, damit die Verschraubung bei der Montage reibungslos abläuft. Die andere Seite des Rohres wird in einem Rohrwinkel (**6.3-1**) verklebt (siehe Abbildung 24). Mit einer Wasserwaage wird der Rohrwinkel in einem Winkel von 90° gehalten.

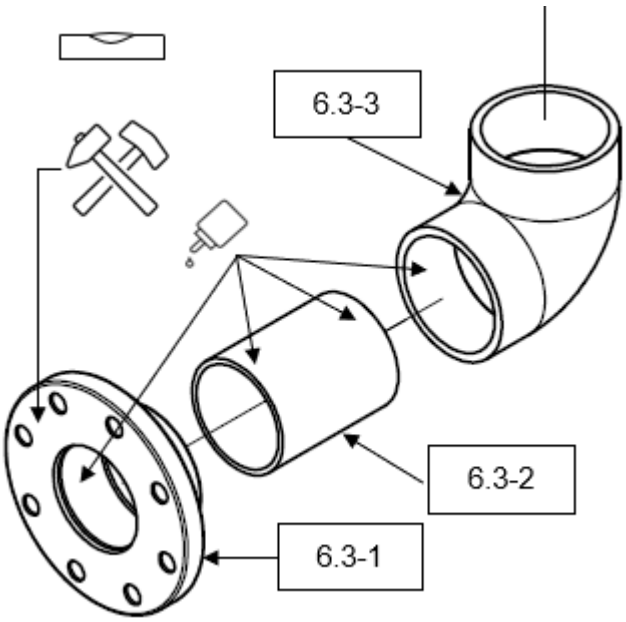


Abbildung 24: Rohrleitungswinkel 90°- 3D Explosionszeichnung 1

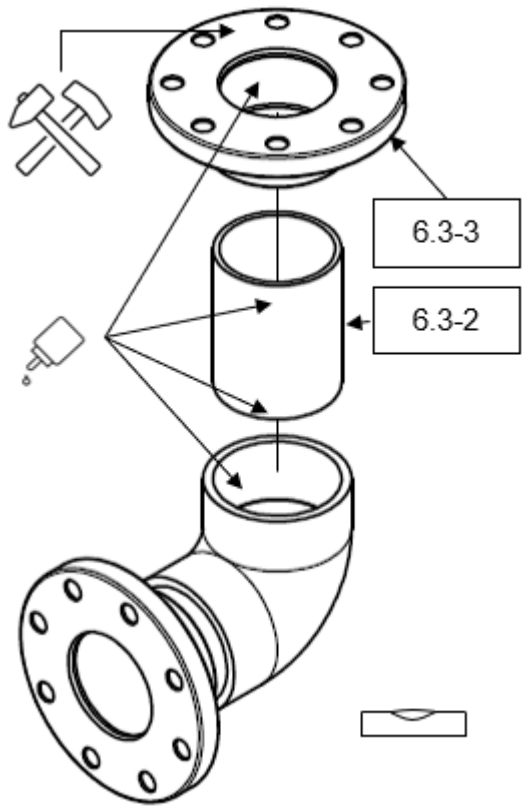


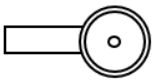
Abbildung 25: Rohrleitung Winkel 90° – 3D Explosionszeichnung 2

Im zweiten Abschnitt werden wie im ersten Abschnitt ein Festflansch und ein Rohr zusammengeklebt. Das zweite Ende des Rohres wird an der freien Seite des Rohrwinkel 90° verklebt (siehe Abbildung 25).

7.5 Ventil

Werkzeuge:

Tabelle 24: Werkzeugliste – Ventil (6.4**)** [1]

						
Bohrer	Schere	Zirkel	Winkelschleifer	Metallsäge	Stahlmaß	Flachfeile
Ø 6,5 ;8; 18	–	–	–	–	300 mm	–

Stückliste:

Tabelle 25: Stückliste – Ventil (6.4**)**

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.4-1	1	Ventilboden	D=230; di=55	PVC	1
6.4-2	3	Gummiventil	D= 112	Gummi Schwarz	1
6.4-3	2	Gummiventilhalter	Rundstahl 10 x 112	S235JR	
	4	Sechskantmutter	M6	S235JR	3
	5	Unterlegscheibe	di= 6	S235JR	6
	6	Sechskantschraube	M6 x 35	S235JR	3

Arbeitsplan:

Tabelle 26: Arbeitsplan – Ventilboden (6.4-1**)**

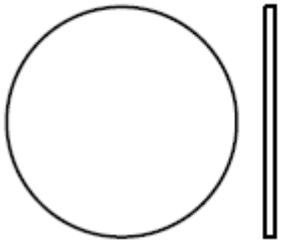
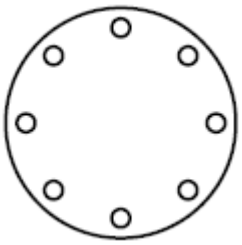
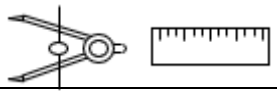
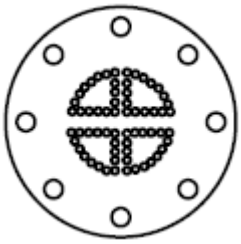
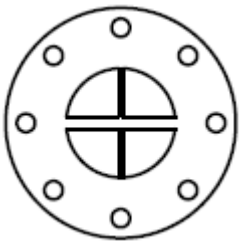
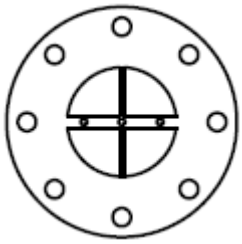
Sach-Nr.: 6.4-1	**Name:** Ventilboden	**Standard:** D=230; di=55	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Ventilboden auf Maß zuschneiden Ø 230; t = 10		
2	Kanten entgraten		
3	Bohrungen für die Verschraubungen in einem Kreis von 180 mm bohren Ø18		
4	Innere Konturen anreißen Ø 55		
5	Innere Konturen anbohren Ø 8-10		
6	Reststück absägen		
7	Innere Konturen auf Maß abfeilen und entgraten		
8	Bohrungen für die Befestigung des Gummiventilhalters und des Gummiventils anbohren Ø 6,5		

Tabelle 27: Arbeitsplan – Gummiventilhalter (6.4-2**)**

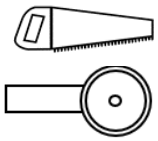
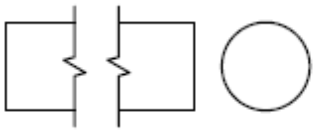
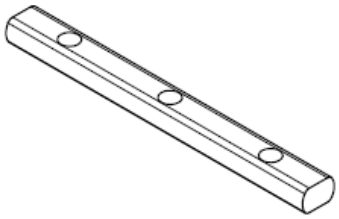
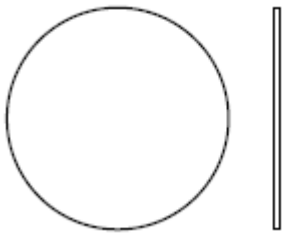
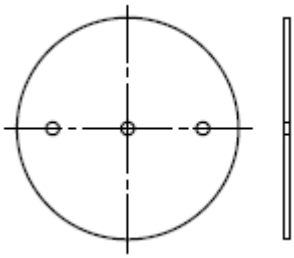
Sach-Nr.: 6.4-2	**Name:** Gummiventilhalter	**Standard:** Rundstahl 10 x 112	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Gummiventilhalter in Form von Rundstahl absägen Rd. 10 x 112		
2	Gummiventilhalter in zwei Seiten 2 mm flach abfeilen		
3	Auf der Länge von 112 mm ein Radius abfeilen und entgraten		
4	Bohrungen zur Befestigung des Gummiventils bohren Ø 6,5		

Tabelle 28: Arbeitsplan - Gummiventil (6.4-3)

Sach-Nr.: 6.4-3	**Name:** Gummiventil	**Standard:** D= 112	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Gummiventil auf Maß abschneiden Ø 112		
2	Bohrungen zur Befestigung des Gummiventils bohren Ø 6,5		

Zusammenbau:

Das Ventil wird aus mehreren Bauteilen kraftschlüssig zusammengeschraubt. Der Ventilboden (**6.4-1**) ist das Hauptbauteil. Auf dem Ventilboden werden die restlichen Bauteile verschraubt. Zuerst wird das Gummiventil (**6.4-2**) daraufgelegt. Anschließend wird der Gummiventilhalter (**6.4-3**) daraufgelegt, damit das Gummiventil in befestigt wird. Für die Verbindung werden M6-Schrauben, Scheiben und Muttern verwendet (siehe Abbildung 26).

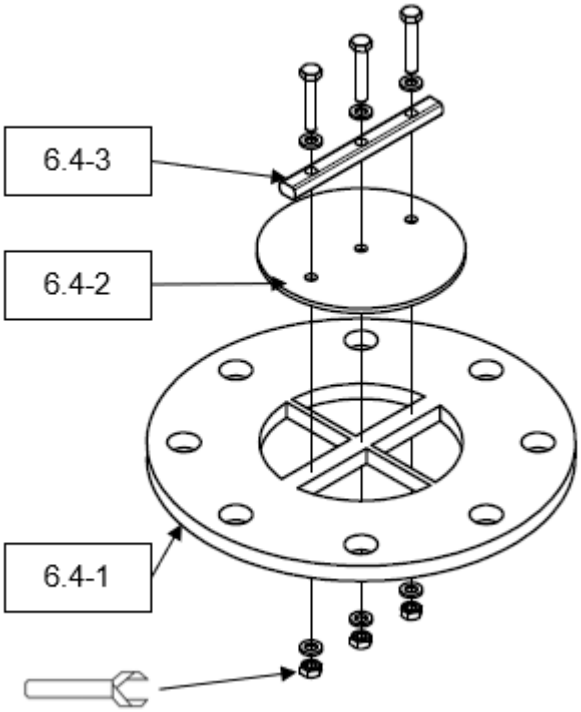


Abbildung 26: Ventil – 3D Explosionszeichnung

7.6 Vergrößerung der Rohrleitung

Werkzeuge:

Tabelle 29: Werkzeugliste – Vergrößerung der Rohrleitung (6.5**)** [1]

Gummihammer	Metallsäge	Kleber	Flachfeile
–	–	–	–

Stückliste:

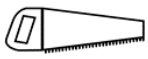
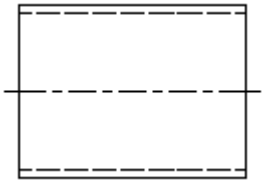
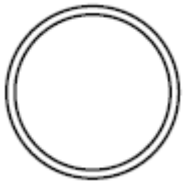
Tabelle 30: Stückliste – Vergrößerung der Rohrleitung (6.5)

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.5-1	1	Festflansch PVC-U DIN 100	D= 220; di=110	PVC	1
6.5-2	2	PVC-U Rohr DIN 100	110 x 5,3 x 140	PVC	1
6.5-3	3	PVC-U Rohre DIN 125	125 x 6 x 165	PVC	1
6.5-4	4	Festflansch PVC-U DIN 125	D= 230; di=125	PVC	1
6.5-5	5	Gummiband	Breite= 3	Gummi Silikon	1

Arbeitsplan:

Tabelle 31: Arbeitsplan – PVC-U Rohre DIN 125 (6.5-3**)**

Sach-Nr.: 6.5-3		**Name:** PVC-U Rohre DIN 125	**Standard:** 125 x 6 x 165
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**

1	Rohr auf Maß absägen L = 165		
2	Kanten entgraten		

Zusammenbau:

Bei der Rohrleitung Vergrößerung (**6.5**) werden zwei Rohre und Festflansche in unterschiedlichen DIN (100 & 125) zusammengeklebt (siehe Tabelle 30). Nachdem das Rohr (**6.5-2**) und der Festflansch (**6.5-1**) verklebt sind, wird am anderen Ende des Rohres (**6.5-2**) mit einem Gummiband (**6.5-5**) verklebt. Das Gummiband wird um das Rohr solange gewickelt bis das Rohr einen Außendurchmesser von 133 mm erreicht hat (siehe Abbildung 27).

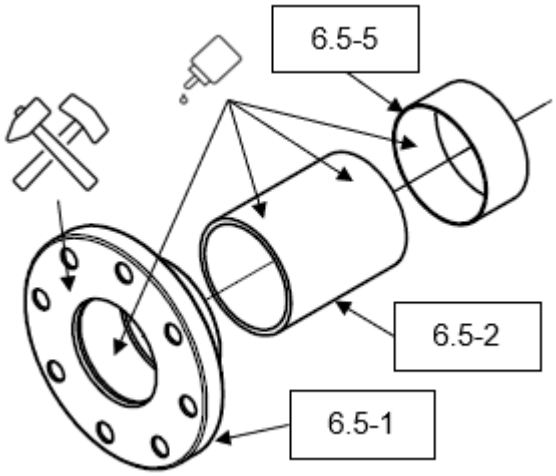


Abbildung 27: Rohrleitung Vergrößerung – 3D Explosionszeichnung 1

Im nächsten Schritt wird ein Rohr (**6.5-3**) und ein Festflansch (**6.5-4**) in DIN 125 verklebt. Das Rohr hat einen Innendurchmesser von 113 mm. Die beiden Abschnitte werden zum Schluss zusammengeklebt (siehe Abbildung 28).

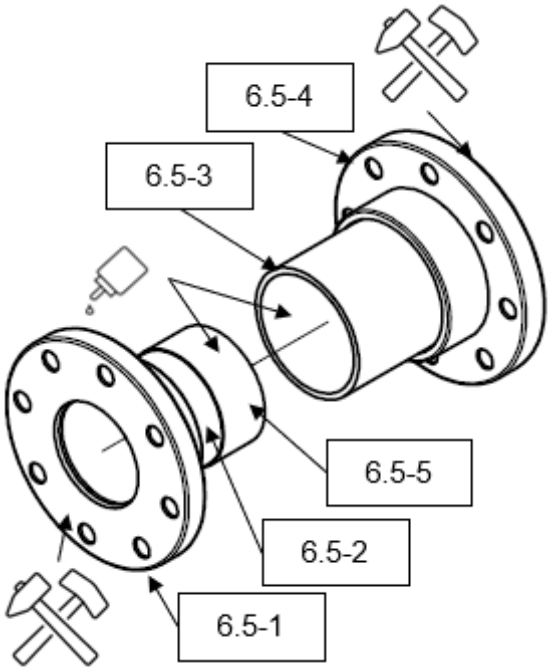
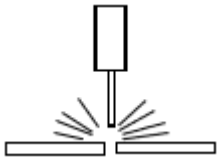
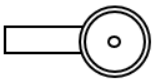
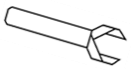


Abbildung 28: Vergrößerung der Rohrleitung – 3D Explosionszeichnung 2

7.7 Rohrbohrvorrichtung

Werkzeuge:

Tabelle 32: Werkzeugliste – Rohrbohrvorrichtung (6.19) [1]

				
Schweißen	Winkelschleifer	Schraubenschlüssel	Metallsäge	Bohrer
135 / 111	–	SW 17	–	Ø 11
Maßband	Flachwinkel	Flachfeile		
5000 mm	90°	–		

Stückliste:

Tabelle 33: Stückliste – Rohrbohrvorrichtung (6.19)

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.19.1	1	Gestell		S235JR	2
6.19.2	2	Rohraufnehmer	L = 920	S235JR	1
6.19.3	3	Rohrbefestigung		S235JR	2
6-9	4	Verbindungsrohr	33,7 x 4- 915	S235JR	1
	5	Sechskantschraube	M10 x 45	S235JR	4

7.7.1 Gestell

Stückliste:

Tabelle 34: Stückliste – Gestell (6.19.1)

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.19.1-1	1	Grundplatte	80 x 10 x 100	S235JR	1
6.19.1-2	2	Profilbefestigung	20 x 10 x 20	S235JR	1
6.19.1-3	3	Flachstahl Seitlich	40 x 5 x 85	S235JR	2
6.19.1-4	4	Flachstahl Oben	40 x 5 x 100	S235JR	1
6.19.1-5	5	Sechskantmutter	M10	S235JR	1

Arbeitsplan:

Tabelle 35: Arbeitsplan – Profilbefestigung (6.19.1-2**)**

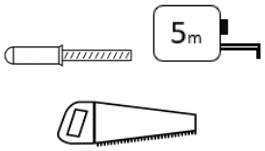
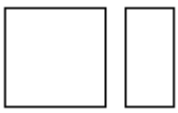
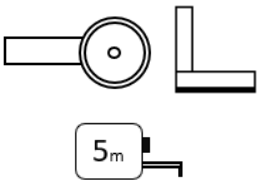
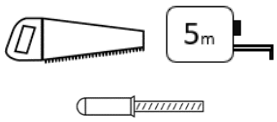
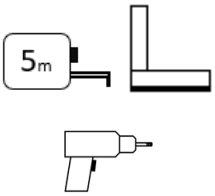
Sach-Nr.: 6.19.1-2	**Name:** Profilbefestigung	**Standard:** 20 x 10 x 20	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Profilbefestigung auf Maß absägen und entgraten		
2	In der Mitte eine V-Form abtrennen Maße: 10 x 5		

Tabelle 36: Arbeitsplan – Flachstahl oben (6.19.1-4)

Sach-Nr.: 6.19.1-4	**Name:** Flachstahl oben	**Standard:** 40 x 5 x 100	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Den Flachstahl auf Länge absägen und entgraten 40 x 5 x 100		
2	Mittig in der Mitte eine Bohrung mit dem Durchmesser von 11 mm bohren		

7.7.2 Rohraufnehmer

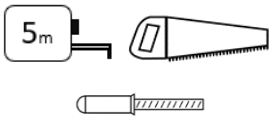
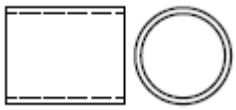
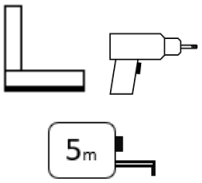
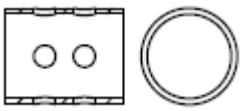
Stückliste:

Tabelle 37: Stückliste – Rohraufnehmer (6.19.2)

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.19.2-1	1	L-Profil	L50 x 50 x 4 - 795	S235JR	1
6.19.2-2	2	Bohrführung	48,3 x 2,9 - 60	S235JR	2
6.19.2-3	3	Rohranschlag	40 x 5 x 50	S235JR	1

Arbeitsplan:

Tabelle 38: Arbeitsplan – Bohrführung (6.19.2-2)

Sach-Nr.: 6.19.2-2	**Name:** Bohrführung	**Standard:** 48,3 x 2,9 - 60	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Bohrführung auf Maß absägen und entgraten 48,3 x 2,9 - 60		
2	Bohrungen Ø11 über Kreuz für die Verstellung von 90° anbohren		

7.7.3 Rohrbefestigung

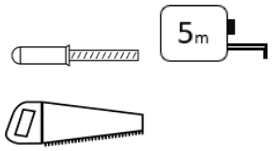
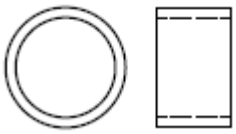
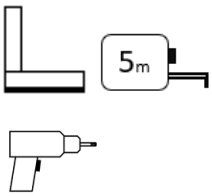
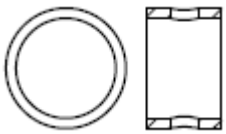
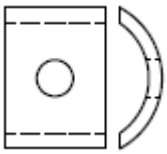
Stückliste:

Tabelle 39: Stückliste – Rohrbefestigung (6.19.3)

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.19.3-1	1	Greifer	48,3 x 4 - 30	S235JR	1
6.19.3-2	2	Sechskantmutter	M10	S235JR	1

Arbeitsplan:

Tabelle 40: Arbeitsplan – Greifer (6.19.3-1)

Sach-Nr.: 6.19.3-1	**Name:** Greifer	**Standard:** 48,3 x 4 - 30	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Das Rohr auf Maß absägen und entgraten 48,3 x 4 - 30		
2	Das Rohr in der Mitte durchbohren Ø11		
3	Das Rohr über die Hälfe hinaus abtrennen		
4	Das Rohr entgraten		-

Zusammenbau:

Bei der Rohrbohrvorrichtung (**6.19**) wird zuerst das Gestell (**6.19.1**) zusammengeschweißt. Die Profilbefestigung (**6.19.1-2**) wird mittig auf die Grundplatte (**6.19.1-1**) geschweißt. Hierfür wird ein Flachstahl benötigt (siehe Abbildung 29).

Das Schweißverfahren in der gesamten Konstruktion wird entweder mit Metallaktivgasschweißen *MAG* (135) oder Lichtbogenhandschweißen *E-Schweißen* (111) geschweißt.

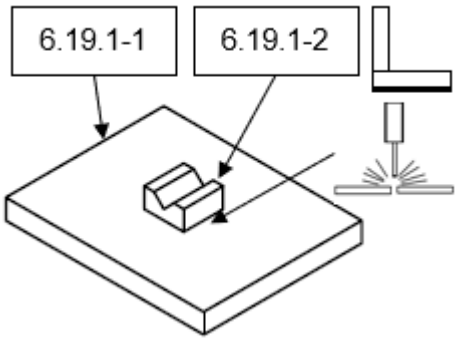


Abbildung 29: Gestell (6.19.1) – 3D-Ansicht 1

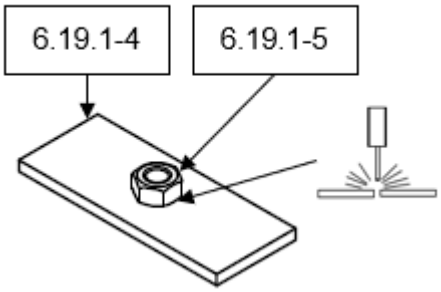


Abbildung 30: Gestell (6.19.1) – 3D-Ansicht 2

In der Abbildung 30 wird eine M10-Mutter (**6.19.1-5**) mit dem oberen Flachstahl (**6.19.1-4**) verschweißt. Die Mutter wird in der Mitteachse der Bohrung, die in der Mitte vom oberen Flachstahl gebohrt wurde, positioniert.

Zum Schluss wird das Gestell zusammengeschweißt. Auf beiden Seiten der Grundplatte werden zwei Flachstähle (**6.19.1-3**) geschweißt. Diese werden bündig mit der Außenkante geheftet. Die Flachstähle liegen mittig von der Grundplatte. Auf die beiden seitlichen Flachstähle wird die Konstruktion von der Abbildung 30 geheftet. Zunächst werden die Flachstähle mit dem Flachwinkel auf ihre Rechtwinkligkeit hin geprüft und anschließend geschweißt (siehe Abbildung 31).

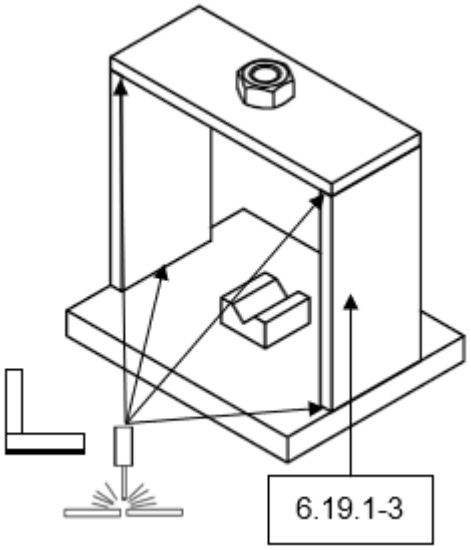


Abbildung 31: Gestellt (6.19.1) – 3D-Ansicht 3

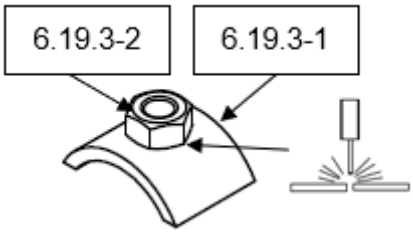


Abbildung 32: Rohrbefestigung (6.19.3) – 3D-Ansicht

Im weiteren Schritt wird die Rohrbefestigung (**6.19.3**) gefertigt. Auf den Greifer (**6.19.3-1**) wird eine M10-Mutter (**6.19.3-2**) geschweißt. In der Mitte des Greifers wurde eine Bohrung vorgenommen. Die Bohrung und die Mutter haben dieselbe Drehachse (siehe Abbildung 32).

Des Weiteren wird der Rohraufnehmer (**6.19.2**) zusammengeschweißt. Zuerst wird, wie in der Abbildung 33 zu sehen ist, die Bohrführung (**6.19.2-2**) mit dem Rohranschlag (**6.19.2-3**) geschweißt. Es reicht, wenn der Rohranschlag auf beiden Seiten geheftet wird. Der Rohranschlag wird annähernd mittig von der Bohrführung liegen. Darüber hinaus müssen zwei Bohrungen vertikal um 90° nach oben zeigen.

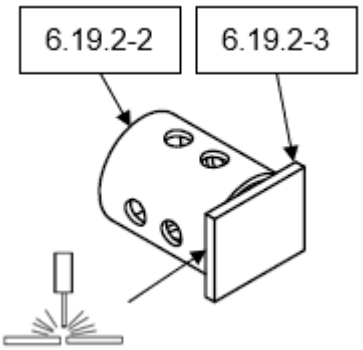


Abbildung 33: Rohraufnehmer (6.19.2) – 3D-Ansicht 1

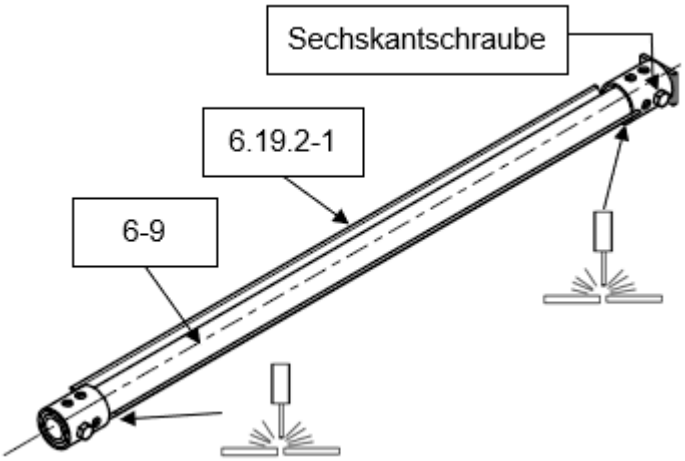


Abbildung 34: Rohraufnehmer (6.19.2) – 3D-Ansicht 2

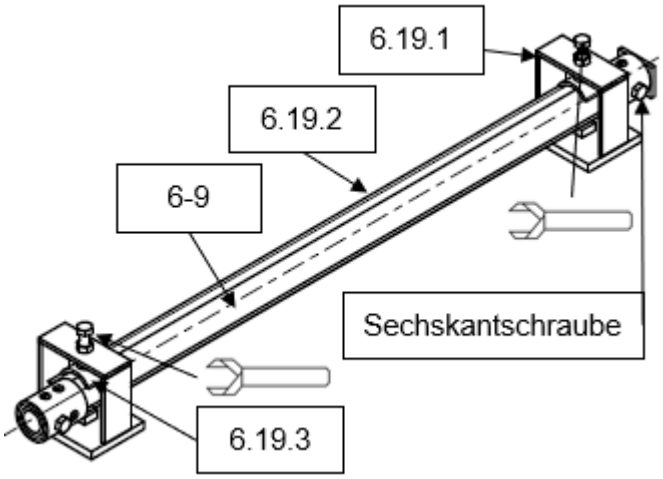


Abbildung 35: Rohrbohrvorrichtung (6.19) – 3D-Ansicht

Als nächstes wird die Konstruktion in der Abbildung 33 auf beide Seiten eines Winkelprofils (**6.19.2-1**) geschweißt. Damit die Mittelache der Konstruktion und des Winkelprofiles identisch ist, wird das Verbindungsrohr (**6-9**) zur Hilfe genommen (siehe Abbildung 34).

Das Verbindungsrohr muss zuvor nach den Angaben der technischen Zeichnung gebohrt werden. Die Bohrungen der Bohrführung und des Verbindungsrohrs müssen die gleiche Führung haben. Das wird durch das Stecken der M10-Sechskantschraube in den beiden Bohrungen erreicht. Im weiteren Schritt werden die Bohrführungen an das Winkelprofil geschweißt. Zum Schluss werden alle Unterbaugruppen zusammengebaut. Das Gestell und die Rohrbefestigung werden über eine M10-Sechskantschraube eine bewegliche Funktion bilden (siehe Abbildung 35). Diese Funktion sorgt dafür, dass das zu bohrende Rohr, wie das Verbindungsrohr (**6-12**), befestigt wird. Mit einem Schraubenschlüssel SW 17 wird die Schraube entweder gelockert oder befestigt.

7.8 Verbindungsrohr

Werkzeuge:

Tabelle 41: Werkzeugliste – Verbindungsrohre (6-9 & 6-12) [1]

Metallsäge	Maßband	Flachfeile	Rohrbohrvorrichtung
–	5000 mm	–	Ø 11

Stückliste:

Tabelle 42: Stückliste – Verbindungsrohren (6-9 & 6-12)

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6-9	9	Verbindungsrohr	33,7 x 4- 915	S235JR	3
6-12	12	Verbindungsrohr	33,7 x 4 - 150	S235JR	3

Arbeitsplan:

Tabelle 43: Arbeitsplan – Verbindungsrohr (6-9)

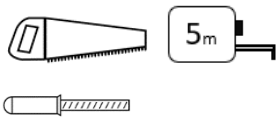
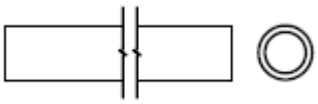
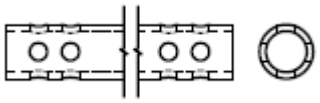
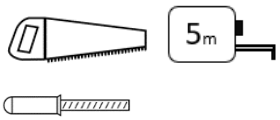
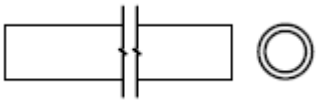
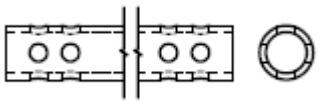
Sach-Nr.: 6-9	**Name:** Verbindungsrohr	**Standard:** 33,7 x 4- 915	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Verbindungsrohr auf Maß absägen und entgraten L = **915** mm		
2	Bohrungen Ø 11 für die Steckverbindung bohren	 Rohrbohrvorrichtung	

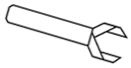
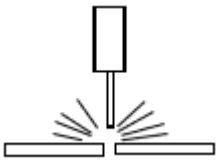
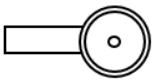
Tabelle 44: Arbeitsplan – Verbindungsrohr (6-12)

Sach-Nr.: 6-12	**Name:** Verbindungsrohr	**Standard:** 33,7 x 4 - 150	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Verbindungsrohr auf Maß absägen und entgraten L = **150** mm		
2	Bohrungen Ø 11 für die Steckverbindung bohren	 Rohrbohrvorrichtung	

7.9 Pumpmechanismus

Werkzeuge:

Tabelle 45: Werkzeugliste – Pumpmechanismus (6.8) [1]

					
Schrauben-schlüssel	Schweißen	Maßband	Winkelschleifer	Flachfeile	Bohrer
SW 13; 17	135 / 111	5000 mm	–	Rundfeile	Ø 9; 11

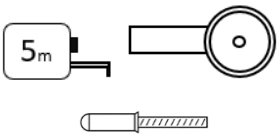
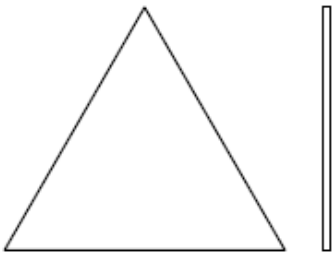
Stückliste:

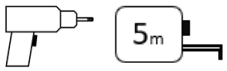
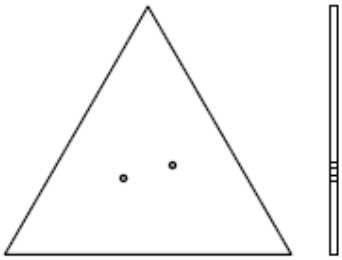
Tabelle 46: Stückliste – Pumpmechanismus (6.8)

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.8-1	1	Pumpmechanismusplatte	400 x 350 x 10	S235JR	1
6.8.2	2	Rohrverbinder	42,4 x 4 - 60	S235JR	3

Arbeitsplan:

Tabelle 47: Arbeitsplan – Pumpmechanismusplatte (6.8-1)

Sach-Nr.: 6.8-1	**Name:** Pumpmechanismusplatte	**Standard:** 400 x 10	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Die Maße der Pumpmechanismus-platte aufnehmen 400 x 350 x 10		
2	Die Pumpmechanismusplatte auf Maß abflexen und entgraten 400 x 400		

3	Zuletzt die Bohrungen mit einem Durchmesser von 9 mm bohren. Erst nachbohren, wenn das Bauteil (Steckverbindung / 6.8.3) positioniert ist.		

7.9.1 Rohrverbinder

Stückliste:

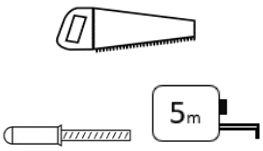
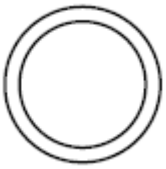
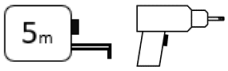
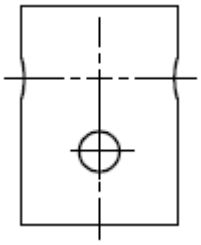
Tabelle 48: Stückliste – Rohrverbinder (6.8.2)

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.8.2-1	1	Rohr	42,4 x 4 - 60	S235JR	1
6.8.2-2	2	Sechskantmutter	M10	S235JR	2

Hinweis: Der Rohrverbinder wird in mehreren Baugruppen eingebaut, wie Beispielweise **6.6.2** und **6.11**. Insgesamt werden von den Rohrverbindern 16 Stücke gefertigt.

Arbeitsplan:

Tabelle 49: Arbeitsplan – Rohr (6.8.2-1)

Sach-Nr.: 6.8.2-1	**Name:** Rohr	**Standard:** 42,4 x 4 - 60	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Das Rohr auf Maß absägen Ø 42,4; L = 60		
2	Die Bohrungen Ø 11 für die Steckverbindung mit einem Abstand von 20 mm bohren.	Rohrbohrvorrichtung 	

Zusammenbau:

Bei der Konstruktion des Pumpmechanismus (**6.8**) wird zuerst der Rohrverbinder (**6.8.2**) gefertigt. Die Bohrungen in das Rohr (**6.8.2-1**) werden mithilfe der Rohrbohrvorrichtung gebohrt. Die Bohrungen und die M10-Muttern (**6.8.2-2**) haben dieselbe Mittelachse. Dies kann durch eine M10-Schraube positioniert werden. Anschließend werden die Bohrungen an dem Rohr geheftet (siehe Abbildung 37).

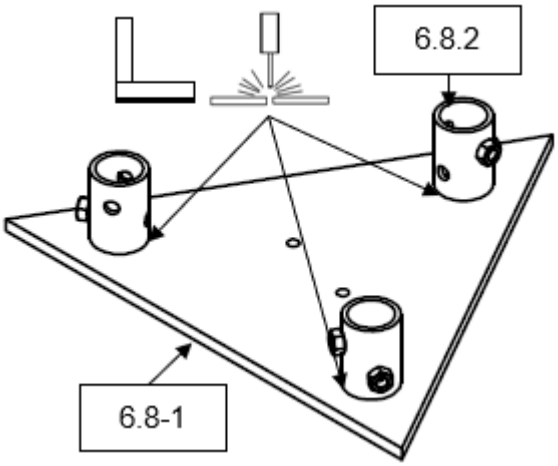


Abbildung 36: Pumpmechanismus (6.8) – 3D-Ansicht 1

Auf einer Seite der Pumpmechanismusplatte (**6.8-1**) werden die Rohrverbinder verschweißt. Diese Rohrverbinder werden als Muster für die Fertigung der restlichen Rohrverbinder verwendet. Die Rohrverbinder werden als Dreiecksform mit den Abständen von 254,5 mm zueinander verschweißt. Die Abstände werden von der Mittelachse des Rohres gemessen. Die Rohrverbinder werden nicht durchschweißt, damit keine Verformungen entstehen. Sie werden ringsumlaufend geschweißt. Die Nähte haben die Bemaßung (3 x 15 mm). Die Bemaßung bedeutet, dass drei Nähte mit der Länge von 15 mm geschweißt werden. Die Richtungen der Muttern sollen nach außen zeigen, damit der Pumpmechanismus bei der Montage ohne Schwierigkeiten montiert werden kann (siehe Abbildung 36).

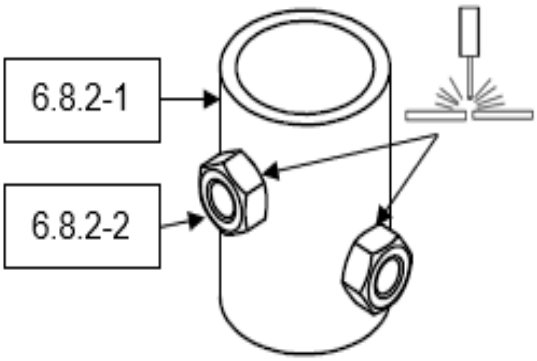
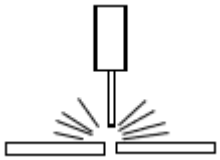
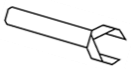
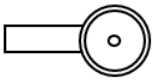


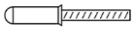
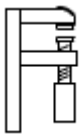
Abbildung 37: Rohrverbinder (6.8.2) – 3D-Ansicht

7.10 Pumpenkörper

Werkzeuge:

Tabelle 50: Werkzeugliste – Pumpenkörper (6.6) [1]

				
Schweißen	Schraubenschlüssel	Winkelschleifer	Kleber	Zirkel
135 / 111	SW 10	–	–	–

						
Bohrer	Flach-winkel	Maßband	Flachfeile	Metallsäge	Schraubzwinge	Stahlmaß
Ø 6; 10; 14; 18	90°	5000 mm	–	–	–	300 mm

Stückliste:

Tabelle 51: Stückliste – Pumpenkörper (6.6)

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.6-1	1	Autoreifen VW Golf	D= 634; di= 381	S235JR	1
6.6.2	2	Äußere Abdeckung	410 x 99 x 10	S235JR	2
6.6.3	3	Innere Abdeckung	410 x 350 x 10	S235JR	4
	4	Sechskantmutter	M6	S235JR	40
	5	Unterlegscheibe	di= 6	S235JR	40

7.10.1 Äußere Abdeckung

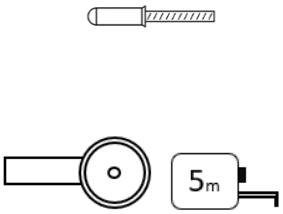
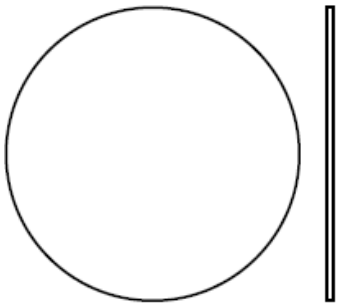
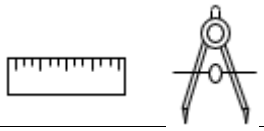
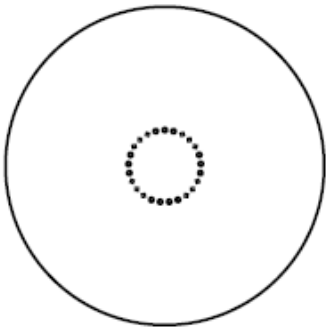
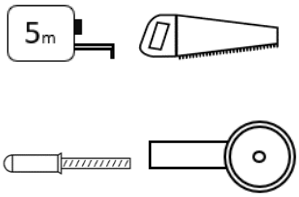
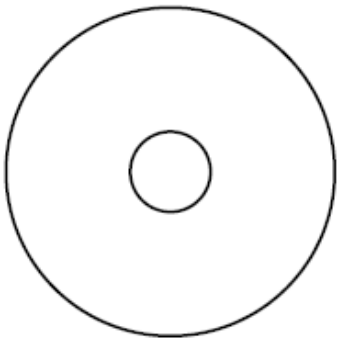
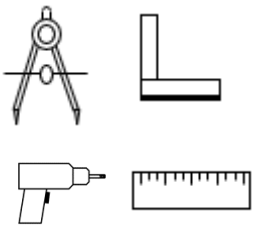
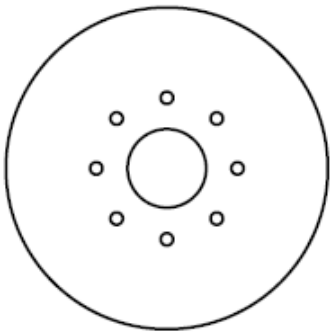
Stückliste:

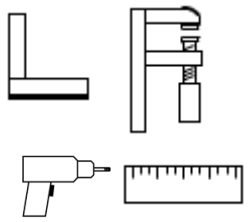
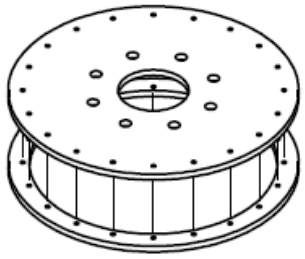
Tabelle 52: Tabelle 43: Stückliste – Äußere Abdeckung (6.6.2)

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.6.2-1	1	Abdeckplatte	410 x 99 x 10	S235JR	1
6.6.2-2	2	Verbindungsschraube	M16 x 65	S235JR	8
6.6.2.3	3	Rohrverbinder	42,4 x 4 - 60	S235JR	16

Arbeitsplan:

Tabelle 53: Arbeitsplan – Abdeckplatte (6.6.2-1)

Sach-Nr.: 6.6.2-1	**Name:** Abdeckplatte	**Standard:** 410 x 99 x 10	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Den Außendurchmesser auf Maß bearbeiten Ø 410; t = 10		
2	Den Innendurchmesser anreißen Ø 55		
3	Bohren um einen Kreis von Ø 95, damit die Kontur des Innendurchmessers Ø 100 gebildet wird	 Ø 10	
4	Reststück abflexen und den Innendurchmesser Ø 100 mm auf Maß feilen und entgraten		
5	Bohrungen für die Verschraubungen des Festflansches mit einem Kreisdurchmesser von 180 mm bohren Ø 18		

6	Die Bohrungen für die Verschraubung der äußeren und inneren Abdeckung werden gleichzeitig durchgebohrt. Die Bohrungen werden im Kreisdurchmesser von 180 mm gebohrt.		

7.10.2 Innere Abdeckung

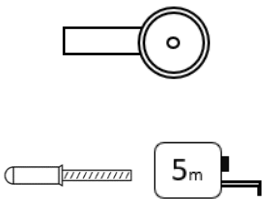
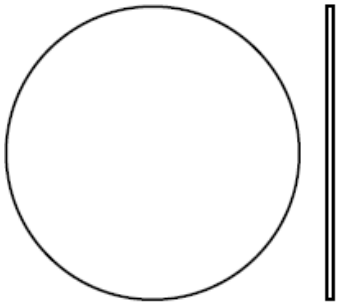
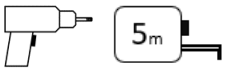
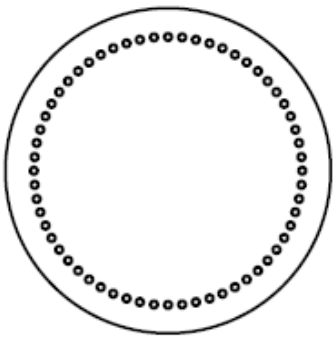
Stückliste:

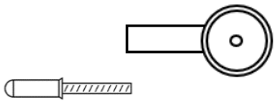
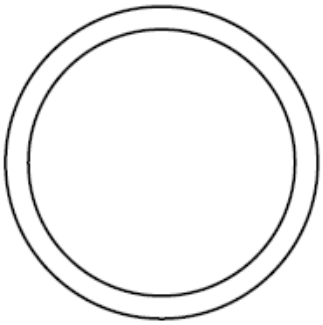
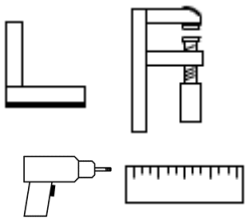
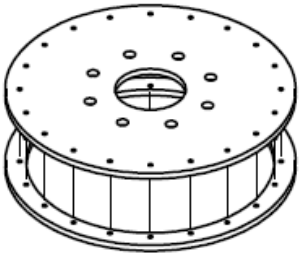
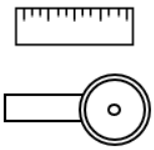
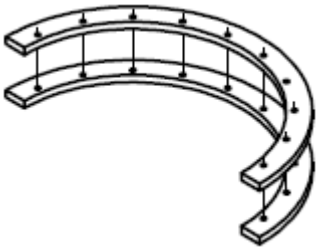
Tabelle 54: Stückliste – Innere Abdeckung (6.6.3)

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.6.3-1	1	Ring	410 x 350 x 10	S235JR	1
6.6.3-2	2	Verbindungsschraube	M6 x 45	S235JR	10

Arbeitsplan:

Tabelle 55: Arbeitsplan – Ring (6.6.3-1)

Sach-Nr.: 6.6.3-1	Name: Ring	Standard: 410 x 350 x 10	
Nr.	Fertigungsschritt	Werkzeug	Bearbeitungsskizze
1	Den Außendurchmesser auf Maß bearbeiten Ø 410; t = 10		
2	Bohren um einen Kreis von Ø 340, damit die Kontur des Innendurchmessers gebildet wird		

3	Reststück abflexen und den Innendurchmesser Ø 350 mm anschließend auf Maß feilen. Zum Schluss wird entgratet.		
4	Die Bohrungen für die Verschraubung der äußeren und inneren Abdeckung werden gleichzeitig durchgebohrt (siehe Arbeitsplan von **6.6.2-1**)		
6	Den Ring in zwei identischen Hälften abflexen.		

Zusammenbau:

Aus den zwei Hälften des Ringes (**6.6.3-1**) wird die innere Abdeckung (**6.6.3**) hergestellt. Auf dem Ring sind Bohrungen mit dem Durchmesser von 6,5 mm gebohrt. Durch diese Bohrungen werden M6-Verbindungsschrauben
(**6.6.3-2**) gesteckt. Die Länge beträgt 45 mm. Damit die Bohrungen dicht sind, werden die Verbindungsschraube und der Ring zuerst verklebt. Anschließend wird der Schraubenkopf auf den Ring geheftet (siehe Abbildung 38).

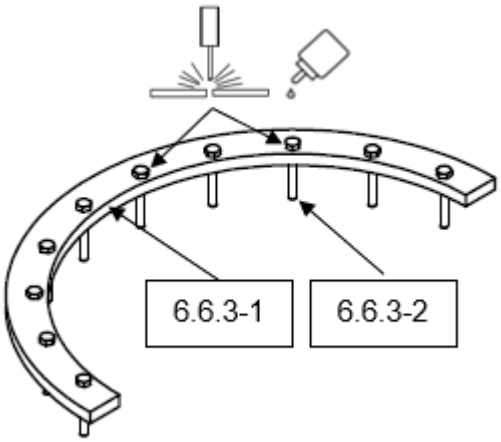


Abbildung 38: Innere Abdeckung (6.6.3) – 3D-Ansicht

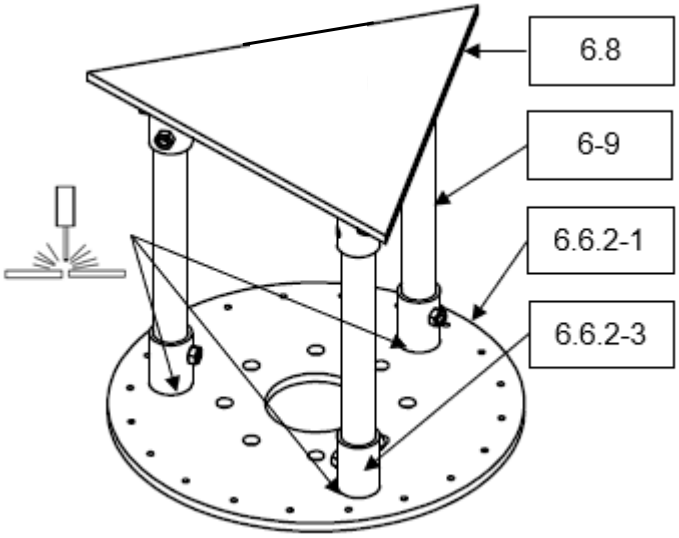


Abbildung 39: Äußere Abdeckung (6.6.2) – 3D-Ansicht 1

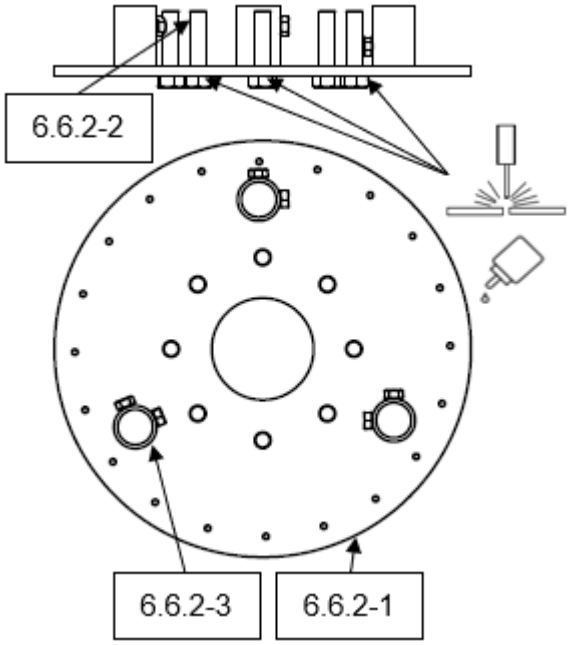


Abbildung 40: Äußere Abdeckung (6.6.2) – 3D-Ansicht 2

Im nächsten Schritt wird die äußere Abdeckung (**6.6.2**) gefertigt. Es werden zuerst die Rohrverbinder (**6.6.2.3**) auf der Abdeckplatte (**6.6.2-1**) geschweißt. Damit die Bemaßung der Rohrverbinder mit der auf dem Pumpmechanismus identisch ist (siehe Abbildung 39), werden Hilfskomponenten verwendet. Zu den Hilfskomponenten gehören die Verbindungsrohre (**6-9**) und der Pumpmechanismus selbst. Dazu werden Sechskantschrauben verwendet, um die Richtung der Mutter des Rohrverbinders zu bestimmen. Die Ausrichtung soll durchgehend nach außen zeigen, damit die Verschraubung in der Montage reibungslos vorgenommen werden kann. Inzwischen werden die Rohrverbinder geheftet. Nachdem die Hilfskomponenten entfernt wurden, werden die Rohrverbinder nach Angaben der technischen Zeichnung geschweißt.

In der Abbildung 40 werden die Verbindungsschrauben (**6.6.2-2**) auf der Abdeckplatte angebracht. Zuerst werden die Verbindungsschrauben verklebt, damit die Verbindungsstellen – in dem Fall die Bohrungen – dicht werden. Anschließend werden die Schraubenköpfe geheftet. Die Aufgabe der Verbindungsschrauben ist die Verbindung mit der Unterbaugruppe „Vergrößerung der Rohrleitung“ herzustellen. Durch diese Schrauben wird der Festflansch (**6.5-1**) befestigt.

Abschließend werden die beschriebenen Baugruppen des Pumpenkörpers zusammengeklebt und verschraubt (siehe Abbildung 41). Zuerst werden die zwei Hälften der inneren Abdeckung in den Autoreifen (**6.6-1**) gesteckt. Die äußere Abdeckung wird auf den Autoreifen gestellt. Es muss darauf geachtet werden, dass die Rohrverbinder nach außen zeigen. Die Verbindungsschrauben der inneren

Abdeckung dienen hierbei zur Orientierung. Damit der innere Hohlraum des Autoreifens dicht ist, werden vor der Verschraubung alle Komponenten zusammengeklebt (Abbildung 41-Abschnitt B). Auf dieselbe Art und Weise wird die andere Seite des Autoreifens bearbeitet.

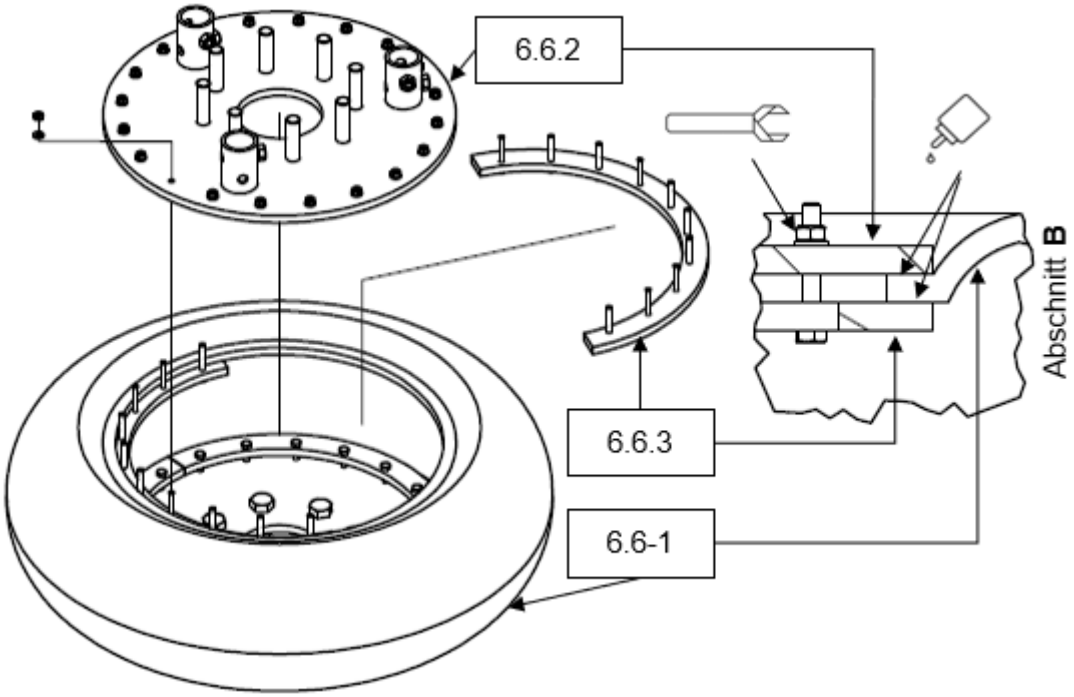


Abbildung 41: Pumpenkörper (6.6)) – 3D-Ansicht

7.11 Pumpengestell

Werkzeuge:

Tabelle 56: Werkzeugliste – Pumpengestell (6.13) [1]

Maßband	Schweißen	Winkel-messer	Metallsäge	Bohrer	Flachwinkel	Flachfeile
5000 mm	135 / 111	180°	–	Ø 11	90°	Rundfeile

Stückliste:

Tabelle 57: Stückliste – Pumpengestell (6.13)

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.13-1	1	L-Profil	L50 x 50 x 5 - 1460	S235JR	2
6.13-2	2	L-Profil	L50 x 50 x 5 - 592	S235JR	4
6.13-3	3	L-Profil	L50 x 50 x 5 - 245	S235JR	2
6.13-4	4	Unterlegplatte	50 x 50 x 5	S235JR	12
6.13-5	5	Rohr	33,7 x 4 - 741	S235JR	4
6.13-6	6	Flachstahl	30 x 5 x 250	S235JR	4

Arbeitsplan:

Tabelle 58: Arbeitsplan – Rohr (6.13-5)

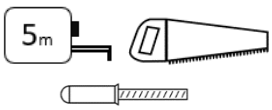
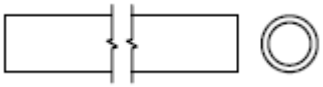
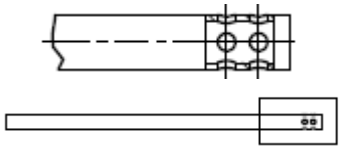
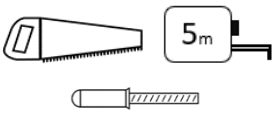
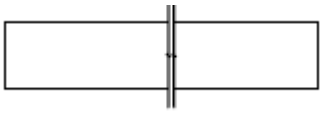
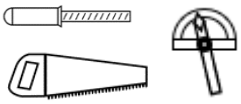
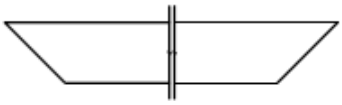
Sach-Nr.: 6.13-5	**Name:** Rohr	**Standard:** 33,7 x 4 - 741	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
	Das Rohr auf Maß absägen und entgraten Maße: 33,7 x 4 - 741		
	Die Bohrungen für die Verschraubung des Pumpengestelles mit dem Pumpenaufnehmer (6.11)	Rohrbohrvorrichtung 	

Tabelle 59: Arbeitsplan – Flachstahl (6.13-6)

Sach-Nr.: 6.13-6	**Name:** Flachstahl	**Standard:** 30 x 5 x 250	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
	Den Flachstahl auf die Länge absägen und entgraten Maße: 30 x 5 x 250		
	Eine Gehrung mit 45° auf beiden Seiten schneiden.		

Zusammenbau:

Beim Pumpengestell (**6.13**) werden zuerst Winkelprofile zusammengeschweißt (siehe Abbildung 42). Zwei Winkelprofile (**6.13-2**) werden, von der Mitte mit einem anderen Winkelprofil (**6.13-1**), auf einen Abstand von 245 mm geschweißt. Vor dem Schweißen wird die Rechtwinkligkeit mit einem Flachwinkel geprüft. Diese Schritte werden insgesamt zweimal wiederholt.

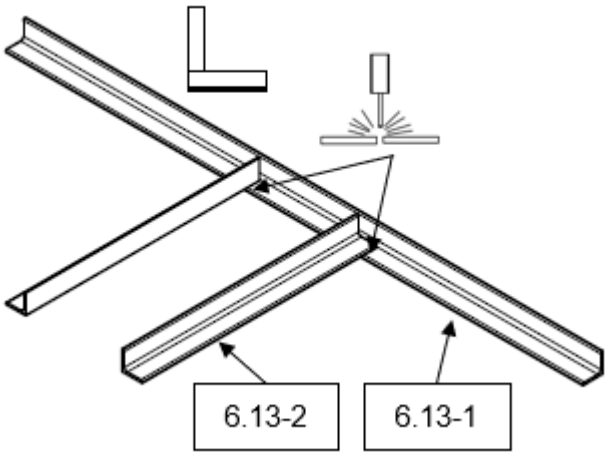


Abbildung 42: Pumpengestell (6.13) – 3D-Ansicht 1

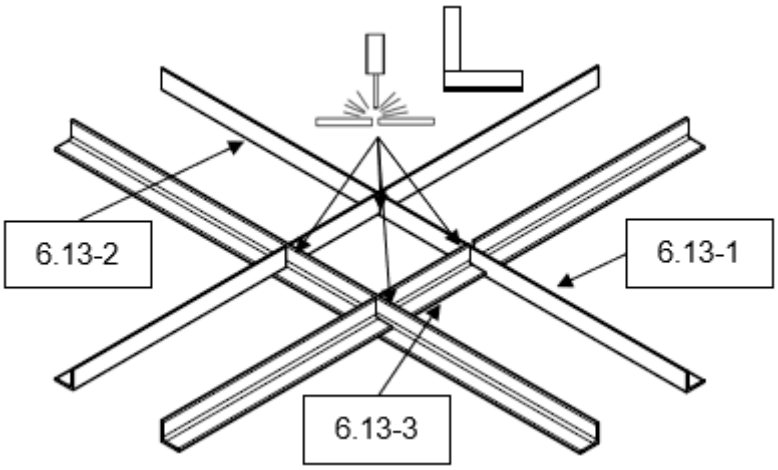


Abbildung 43: Pumpengestell (6.13) – 3D-Ansicht 2

Als nächstes werden in der Abbildung 43 die geschweißten Konstruktionen in der Abbildung 42, mithilfe eines dritten Winkelprofils (**6.13-3**) zusammengeschweißt. Hierbei muss sowohl die Rechtwinkligkeit geprüft als auch die gesamte Konstruktion auf ihre Geradheit hin geprüft werden, weil die Winkelprofile sich durch das Schweißen verformen können. In die Mitte der Konstruktion, die in der Abbildung 43 dargestellt wird, werden vier Rohre (**6.13-5**) geschweißt. Dazu werden zur Orientierung die Winkelprofile (**6.13-2**) genommen. Die Abstände zwischen den einzelnen Rohren liegen bei 300 mm. Die Rohre haben eine Länge von 741 mm, daher müssen die Rohre geheftet und auf Rechtwinkligkeit geprüft werden. Dazu werden die Abstände gemessen. Anschließend werden die Rohre geschweißt (siehe Abbildung 44).

Zur Stabilisierung der gesamten Konstruktion werden vier Fachstähle (**6.13-6**) zusätzlich geschweißt. Die Fachstähle weisen auf beiden Seiten einen Schnittwinkel von 45° auf. Die Fachstähle werden auf die Rohre und die Winkelprofile (**6.13-2**) geschweißt. Das Pumpengestell wird auf die Mast (**1.1**) [1] geschweißt. Die Konstruktion des Mastes hat eine Neigung von 3,4° [1]. Damit die Membranpumpe eben ist, werden Unterlegplatten (**6.13-4**) unter die Winkelprofile (**6.13-2**) geschweißt. Es werden so viele Unterlegplatten verwendet, bis die gesamte Konstruktion waagerecht ist (siehe Abbildung 45).

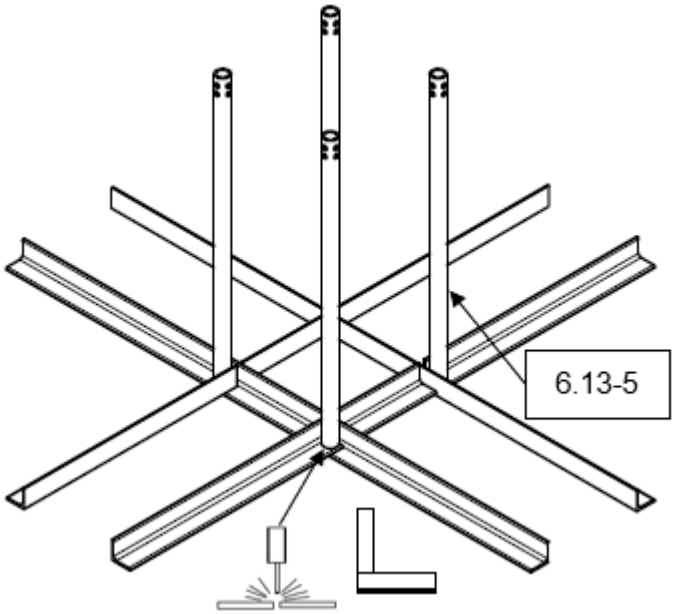


Abbildung 44: Pumpengestell (6.13) – 3D-Ansicht

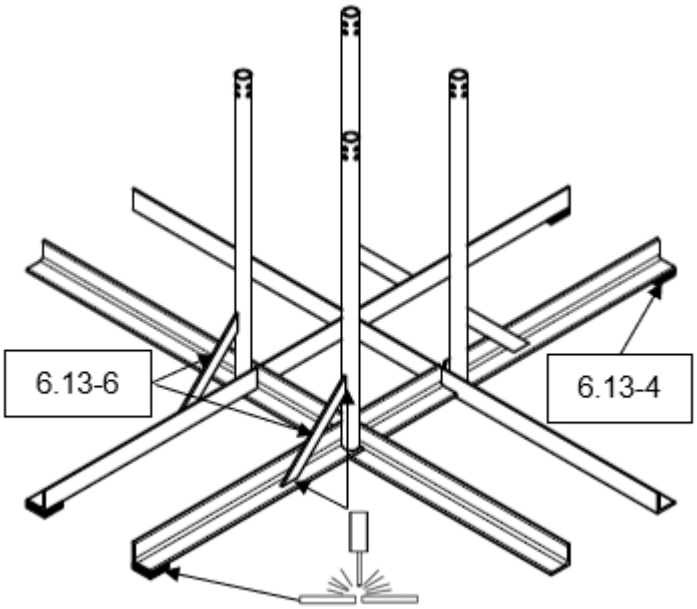
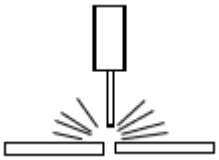
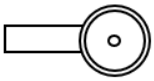


Abbildung 45: Pumpengestell (6.13) – 3D-Ansicht 4

7.12 Pumpenaufnehmer

Werkzeuge:

Tabelle 60: Werkzeugliste – Pumpenaufnehmer (6.11) [1]

				
Maßband	Schweißen	Winkelschleifer	Flachwinkel	Flachfeile
5000 mm	135 / 111	–	90°	Rundfeile
Zirkel	Bohrer			
–	Ø 11			

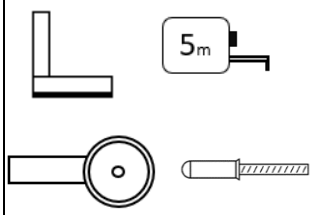
Stückliste:

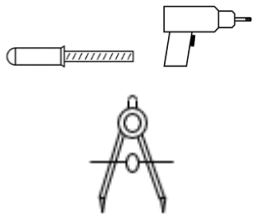
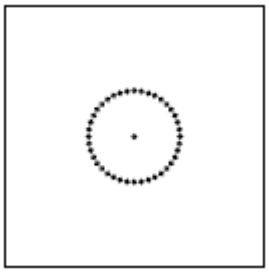
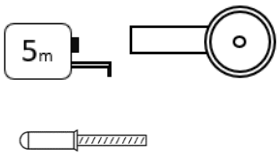
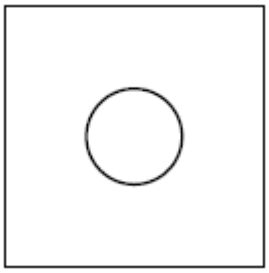
Tabelle 61: Stückliste – Pumpenaufnehmer (6.11)

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.11-1	1	Pumpenplatte	650 x 650 x 10	S235JR	1
6.11.2	2	Rohrverbinder	42,4 x 4 - 60	S235JR	7

Arbeitsplan:

Tabelle 62: Arbeitsplan – Pumpenplatte (6.11-1)

Sach-Nr.: 6.11-1	**Name:** Pumpenplatte	**Standard:** 650 x 650 x 10	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Die Pumpenplatte auf Maß abflexen und entgraten 650 x 650 x 10		

2	Bohren in einem Kreis von Ø 230, damit die Kontur des Innendurchmessers Ø 240 gebildet wird		
3	Reststück abflexen und den Innendurchmesser Ø 240 mm auf Maß feilen und entgraten		

Zusammenbau:

Zur Fertigung der Pumpenaufnehmer (**6.11**) werden ebenfalls Hilfskomponenten benötigt, damit alle Rohrverbinder (**6.11.2**) die gleichen Bemaßungen haben. Auf einer Seite der Pumpenplatte (**6.11-1**) werden die Rohrverbinder mithilfe der äußeren Abdeckung (**6.6.2**) und einem Verbindungsrohr (**6-12**) positioniert und geschweißt.

Davor werden die Richtungen der Rohrverbinder mit einer Sechskantschraube bestimmt. (siehe Abbildung 46).

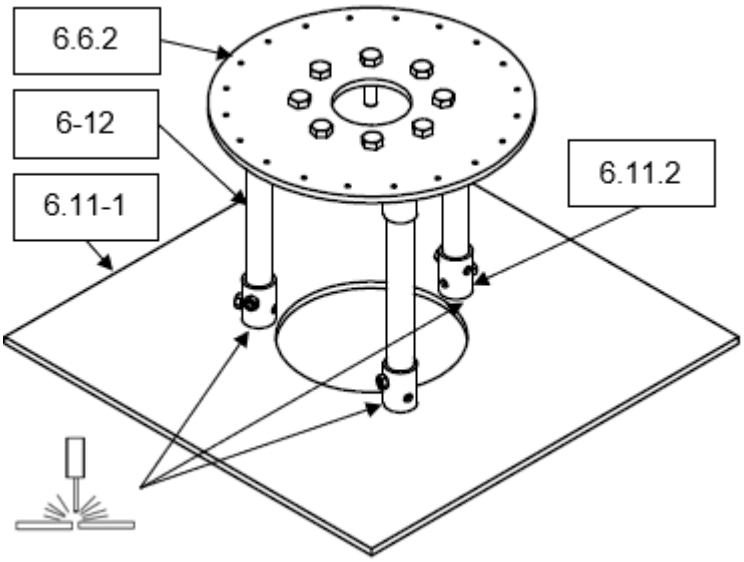


Abbildung 46: Pumpenaufnehmer (6.11) – 3D-Ansicht 1

Auf der anderen Seite werden die Rohrverbinder mithilfe der Pumpengestelle (**6.13**) positioniert. Dieses Mal haben die Rohrverbinder eine Quadratform. Die Bemaßung zwischen den Rohrverbindern liegt bei 300 mm. Der Abstand wird von den Mittelpunkten der Rohre gemessen. Ebenso werden bei dieser Konstruktion die Richtungen der Rohrerbinder durch Sechskantschrauben bestimmt. Anschließend werden die Rohrverbinder geheftet und das Pumpengestell herausgenommen. Danach werden die Rohre verschweißt (siehe Abbildung 47).

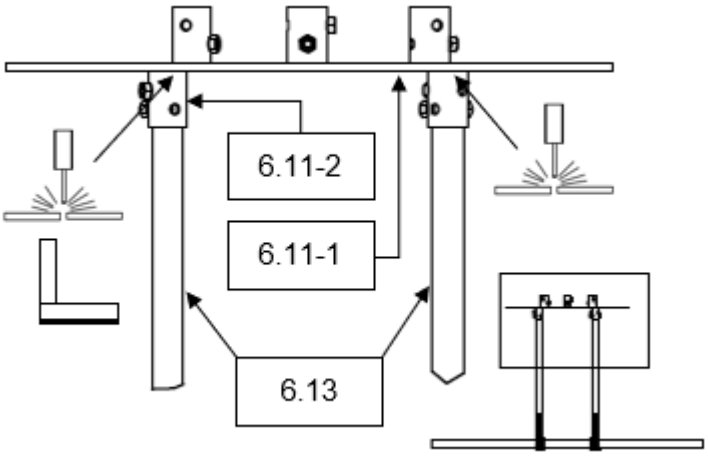


Abbildung 47: Pumpenaufnehmer (6.11) – 3D-Ansicht 2

7.13 Pumpenstange

Werkzeuge:

Tabelle 63: Werkzeugliste – Pumpenstange (6.14) [1]

Maßband	Schraubenschlüssel	Metallsäge	Bohrer	Rundfeile
5000 mm	–	–	Ø 9; 11	–

Stückliste:

Tabelle 64: Stückliste – Pumpenstange (6.14)

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.14-1	1	Rohstange	30 x 3 - 950	Aluminium 6061	5
6.14-2	2	Rohstange	30 x 3 - 950	Aluminium 6061	4
6.14.3	3	Steckverbindung		Aluminium 6061	1
6.14-4	4	Rohrstangen-Verbindung	24 x 200	Aluminium 6061	9
6.14-5	5	Gewindestange	M10 x 60	Aluminium 6061	4
6.14-6	6	Rohstange	30 x 3 - 785	Aluminium 6061	1
6.14-7	7	Gewindestange	M24 x 200	Aluminium 6061	1
	8	Ringmutter	M10 x 1,5	Aluminium 6061	8
	9	Unterlegscheibe	di = 8	Aluminium 6061	72
	10	Sechskantschraube	M8 x 45	Aluminium 6061	36
	11	Sechskantmutter	M8	Aluminium 6061	36

Arbeitsplan:

Tabelle 65: Arbeitsplan – Rohstange (6.14-1)

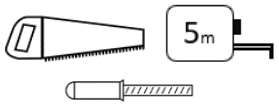
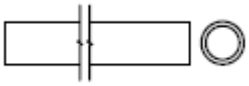
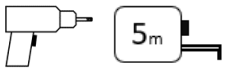
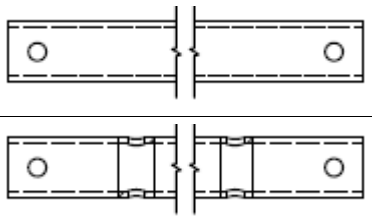
Sach-Nr.: 6.14-1	**Name:** Rohstange	**Standard:** 30 x 3 - 950	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Rohrstange auf Maß absägen und entgraten 30 x 3 - 950		
2	Die Bohrungen Ø 9 auf beiden Seiten über Kreuz bohren. Diese sind für die Befestigung mit den anderen Rohrstangen		

Tabelle 66: Arbeitsplan – Rohrstange (6.14-2)

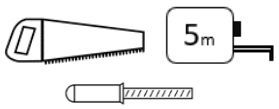
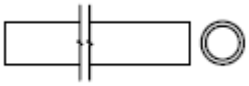
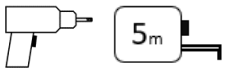
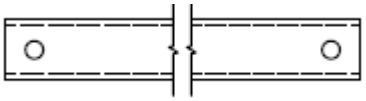
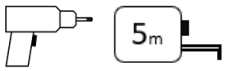
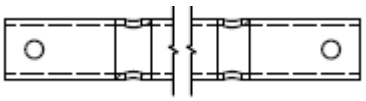
Sach-Nr.: 6.14-2	**Name:** Rohstange	**Standard:** 30 x 3 - 950	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Rohrstange auf Maß absägen und entgraten 30 x 3 - 950		
2	Auf einer Seite mit dem Ø 9 bohren		
3	Auf der überkreuzten Seite mit dem Ø 11 bohren, damit die Gewindestande (**6.14-5**) eingeführt werden kann		

Tabelle 67: Arbeitsplan – Rohrstangen-Verbindung (6.14-4)

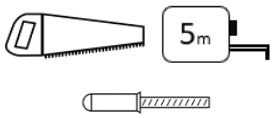
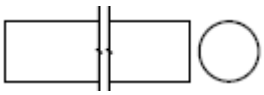
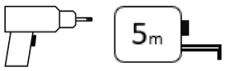
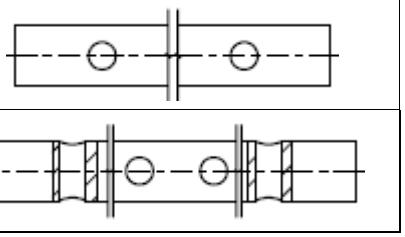
Sach-Nr.: 6.14-4	**Name:** Rohrstangen-Verbindung		**Standard:** 24 x 200
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Das Rohr aus dem vollen Material auf Maß absägen und entgraten		
2	Mit denselben Maßen wie bei den Rohrstangen die Bohrungen über Kreuz mit dem Ø 11 bohren		

Tabelle 68: Arbeitsplan – Rohrstange (6.14-6)

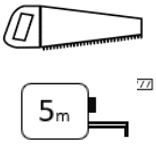
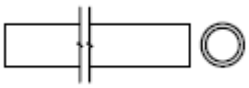
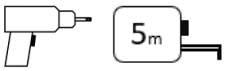
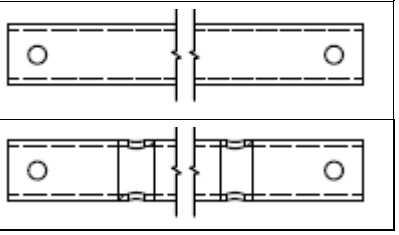
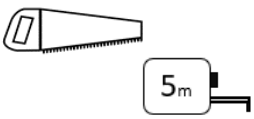
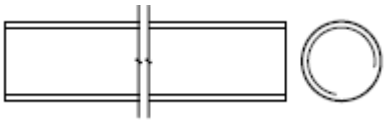
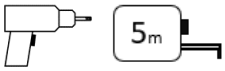
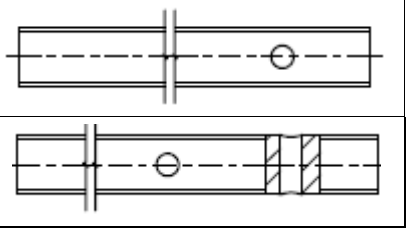
Sach-Nr.: 6.14-6	**Name:** Rohrstange		**Standard:** 30 x 3 - 785
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Rohrstange auf Maß absägen und entgraten 30 x 3 - 785		
2	Die beiden Seiten der Rohrstangen über Kreuz mit dem Ø 9 bohren		

Tabelle 69: Arbeitsplan – Gewindestange (6.14-7)

Sach-Nr.: 6.14-7	**Name:** Gewindestange		**Standard:** M24 x 200
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Gewindestange auf Maß absägen und entgraten 24 x 200		
2	Auf einer Seite der Gewindestange mit den gleichen Bemaßungen der Rohstangen über Kreuz bohren (Ø 9)		

7.13.1 Steckverbindung

Stückliste:

Tabelle 70: Stückliste – Steckverbindung (6.8.3)

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.14.3-1	1	Verbindungselement	Rd. 20 x 90	S235JR	1
6.14.3-2	2	Verbindungsplatte	80 x 80 x 10	S235JR	1

Arbeitsplan:

Tabelle 71: Arbeitsplan – Verbindungselement (6.8.3-1)

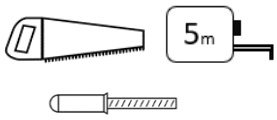
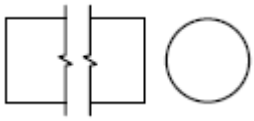
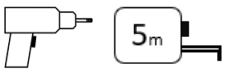
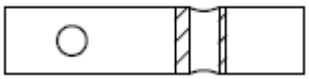
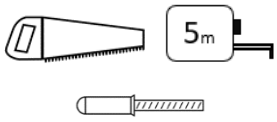
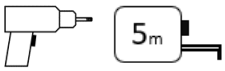
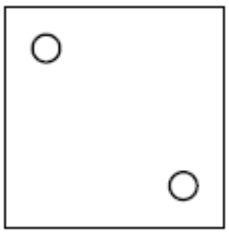
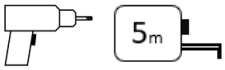
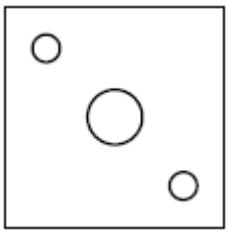
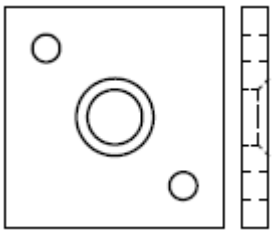
Sach-Nr.: 6.14.3-1	**Name:** Verbindungselement	**Standard:** Rundstahl 20 x 90	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Das Verbindungselement auf Maß absägen und entgraten L = 90		
2	Bohrungen Ø 9 für die Verbindung mit der Pumpenstange		

Tabelle 72: Arbeitsplan – Verbindungsplatte (6.8.3-2)

Sach-Nr.: 6.14.3-2	**Name:** Verbindungsplatte	**Standard:** 80 x 80 x 10	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Die Platte auf Maß absägen und entgraten 80 x 80 x 10		
2	Die Bohrungen Ø 10 für die Verschraubung mit der Pumpmechanismusplatte bohren		
3	Das Loch Ø20 mm in der Mitte zur Positionierung des Verbindungselements **6.8.3-1** bohren	 Ø 10, 14, 20	

4	An einer Seite der Platte eine Fase in der Bohrung für die Schweißnaht setzen		

Zusammenbau:

Als erstes wird die Steckverbindung (**6.14.3**) bearbeitet. In der Mitte der Verbindungsplatte (**6.14.3-2**) ist eine Bohrung mit einem Durchmesser von 24 mm gebohrt. In diese Bohrung wird das Verbindungselement (**6.14.3-1**) gesteckt. Die beiden Bauteile sind bündig (siehe Abbildung 48). Damit die Bauteile beim Schweißen miteinander verbunden werden, ist eine Fase auf einer Seite der Bohrung eingebracht. Anschließend wird um die Fase geschweißt. Im Folgenden wird die Naht geschliffen bis die Verbindungsplatte gerade ist.

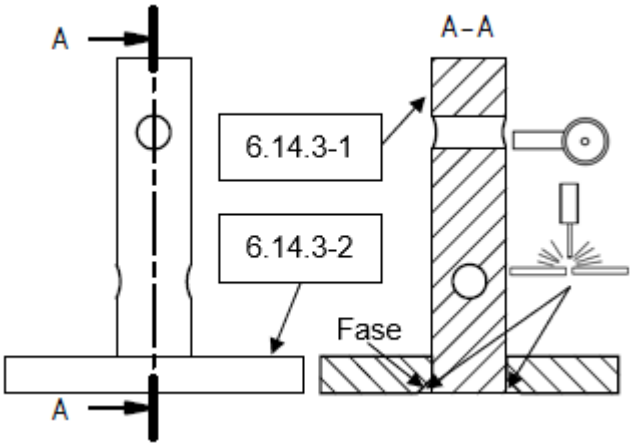


Abbildung 48: Steckverbindung (6.8.3) – Vorderansicht und Querschnitt

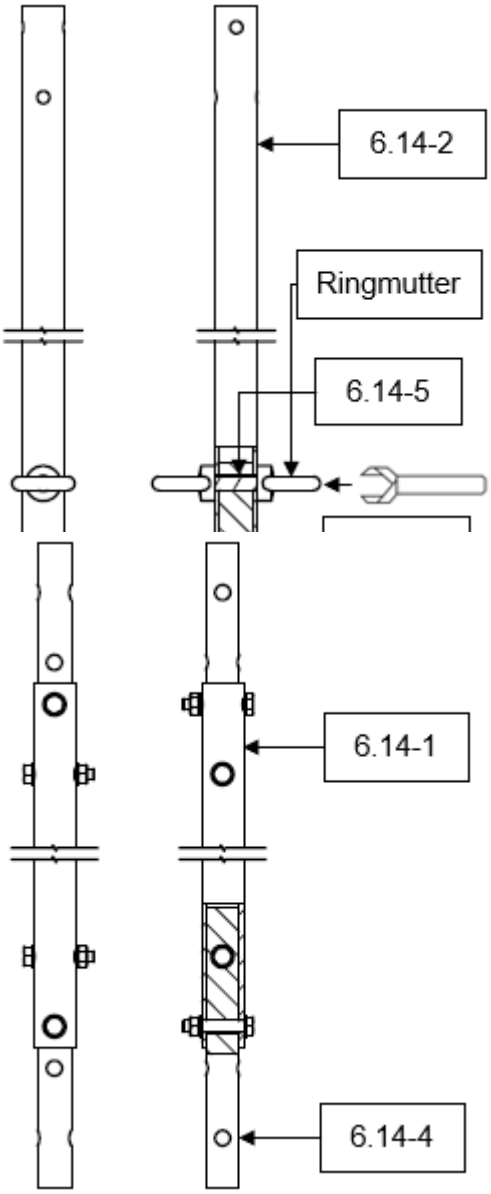


Abbildung 50: Pumpenstange (6.14) – 3D-Ansicht 2

Des Weiteren wird auf den überkreuzten Bohrungen die Steckverbindung (**6.14.3**) verschraubt. Die überkreuzten Bohrungen werden die Kräfte, die auf die Steckverbindung wirken, besser aufnehmen und aufteilen. In der entsprechenden Bohrung der Rohrstange (**6.14-2**) wird eine Gewindestange (**6.14-5**) eingeführt. (siehe Abbildung 49). Die Gewindestange wird auf beiden Seiten mit einer Ringmutter befestigt.

Die Bohrungen der Steckverbindung (**6.14.3**) (siehe Tabelle 72) werden verwendet, um die entsprechenden Bohrungen auf dem Pumpmechanismus zu markieren. Die markierten Bohrungen werden zur Verbindung mit der Pumpenstange eingesetzt.

In der Abbildung 50 werden zwei Rohrstangen-Verbindungen (**6.14-4**) auf beiden Seiten der Rohrstange (**6.14-1**) verschraubt. Dieser Schritt wird mit den restlichen Rohrstangen wiederholt.

Anschließend wird der Zusammenbau der Abbildung 49, 48 und 50 ineinandergesteckt. Mit diesem Vorgang wird die Pumpenstange zusammengebaut (siehe Abbildung 51)

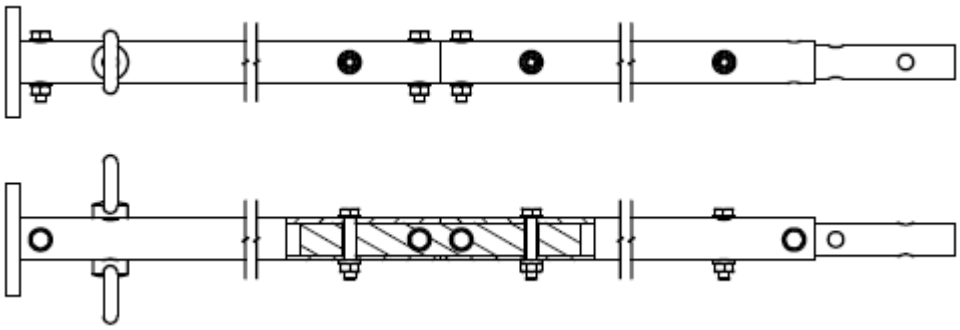


Abbildung 51: Pumpenstange (6.14) – 3D-Ansicht 3

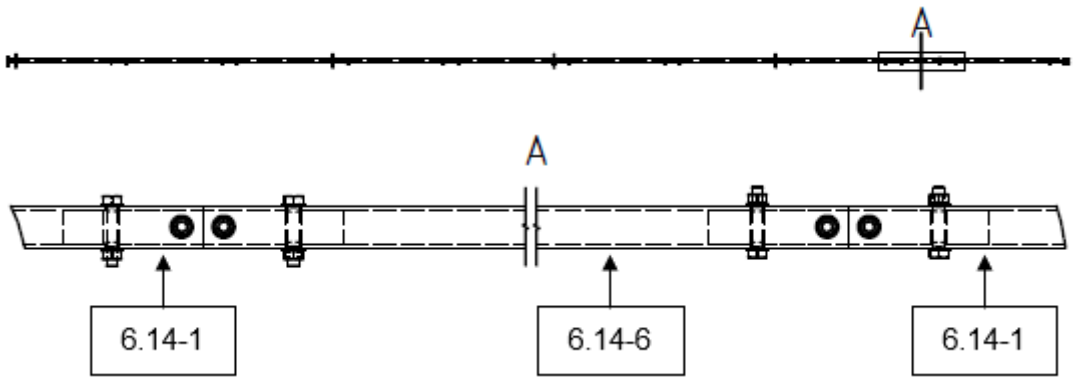


Abbildung 52: Pumpenstange (6.14) – 3D-Ansicht 4

Bei den letzten drei Rohrstangen wird die Rohrstange (**6.14-6**) eingesetzt (siehe Abbildung 52). Am Ende der Rohrstangen werden keine Ringmuttern eingesetzt, weil die Konstruktion des Mastes kleiner wird. Dazu muss die Pumpenstange durch die Konstruktion der Gondel hingeführt werden.

Bei den letzten Rohrstangen (**6.14-1**) wird anstatt einer Rohrstangen-Verbindung eine Gewindestange (**6.14-7**) verschraubt (siehe Abbildung 53). Die Gewindestange wird die Pumpenstange mit der Gondel verbinden.

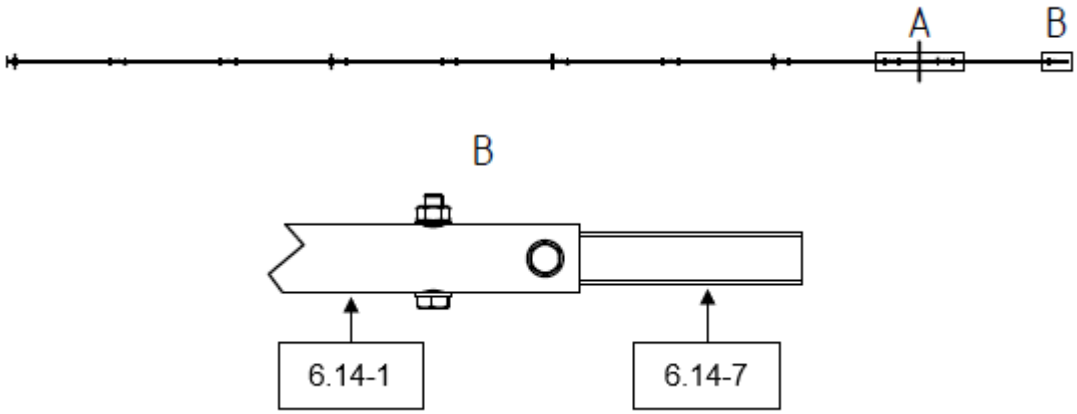


Abbildung 53: Pumpenstange (6.14) – 3D-Ansicht 5

7.14 Führungsstangen

Werkzeuge:

Tabelle 73: Werkzeugliste – Führungsstange (6.16 & 6.17) [1]

Bohrer	Schraubenschlüssel	Metallsäge	Holzmeißel	Flachfeile
Ø 6,5	SW 10	Holzsäge	–	–

Stückliste:

Tabelle 74: Stückliste – Führungsstange (6.16)

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.16-1	1	L-Profil	L40 x 40 x 4 - 1120	S235JR	2
6.16-2	2	Stangenlagerung Oben	90 x 130 x 30	Holz	2
6.16-3	3	Stangenlagerung Unten	180 x 65 x 30	Holz	2
6.16-4	4	Gewindestange	M6 x 84	S235JR	4
6.16-5	5	Gewindestange	M5 x 200	S235JR	2
6.16-6	6	Gewindestange	M6 x 150	S235JR	2
	7	Sechskantmutter	M6	S235JR	16
	8	Unterlegscheibe	di= 6	S235JR	16

Arbeitsplan:

Tabelle 75: Arbeitsplan – L-Profil (6.16-1)

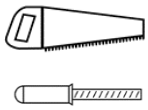
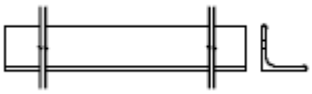
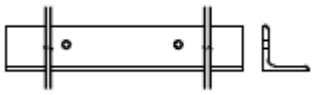
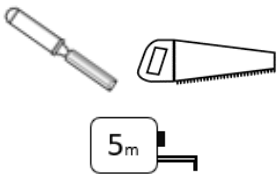
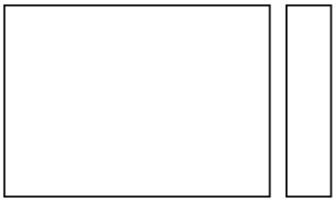
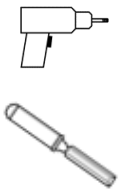
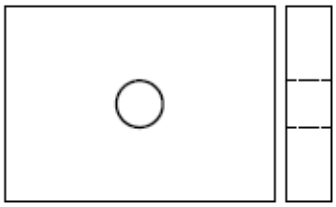
Sach-Nr.: 6.16-1	**Name:** L-Profil	**Standard:** L40 x 40 x 4 - 1120	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Winkelprofil auf Länge absägen und entgraten L40 x 40 x 4 - 1120		
2	Bohrungen Ø 6,5 mittig zentriebt bohren		

Tabelle 76: Arbeitsplan – Stangenlagerung oben (6.16-2)

Sach-Nr.: 6.16-2	**Name:** Stangenlagerung oben	**Standard:** 90 x 130 x 30	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Holzklotz auf Maß abschneiden 90 x 130 x 30	 Holzsäge	
2	Eine Bohrung mit einem Ø 31 einbringen		

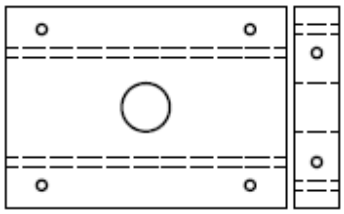
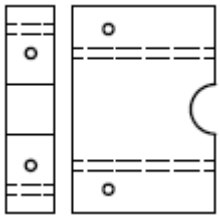
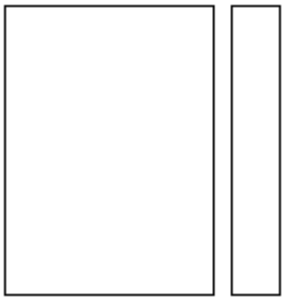
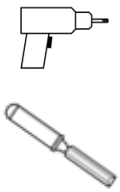
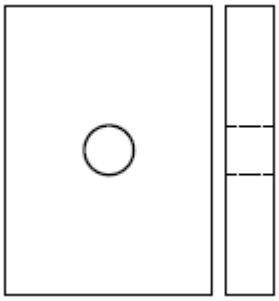
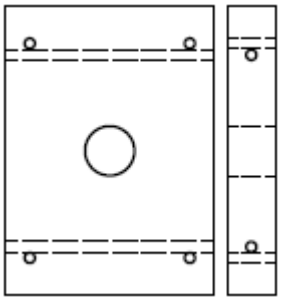
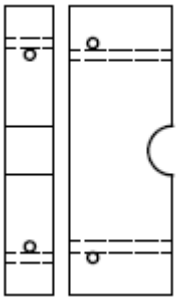
3	Bohrungen Ø 6,5 für die Verschraubung mit der unteren Stangenlagerung bohren		
4	Den Holzklotz mittig abschneiden	Holzsäge	

Tabelle 77: Arbeitsplan – Stangenlagerung Unten (6.16-3)

Sach-Nr.: 6.16-3	**Name:** Stangenlagerung unten	**Standard:** 180 x 65 x 30	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Holzklotz auf Maß abschneiden 180 x 65 x 30	Holzsäge	
2	Ein Loch in der Mitte mit einem Durchmesser von 31 mm einbringen		
3	Bohrungen Ø 6,5 für die Verschraubung mit dem oberen Stangenlagerung bohren		

4	Den Holzklotz mittig trennen	Holzsäge	

Zusammenbau:

Die Fertigung aller Führungsstangen (**6.16** & **6.17**) ist identisch. Zuerst werden die oberen Stangenlagerungen (**6.16-2**) zusammenmontiert. Hierfür werden die Stangenlagerungen mithilfe von Gewindestangen Ø 6, Unterlegscheiben und Sechskantmuttern befestigt (siehe Abbildung 54)

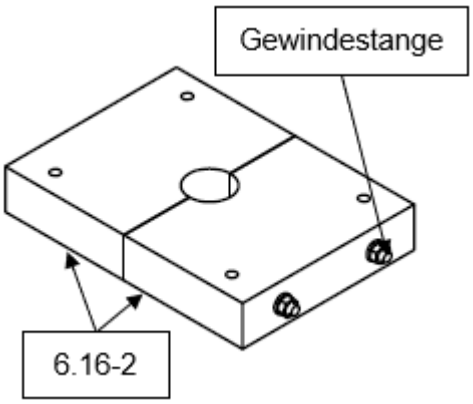


Abbildung 54: Montage der oberen Stangenlagerung (6.16-2) – 3D-Ansicht

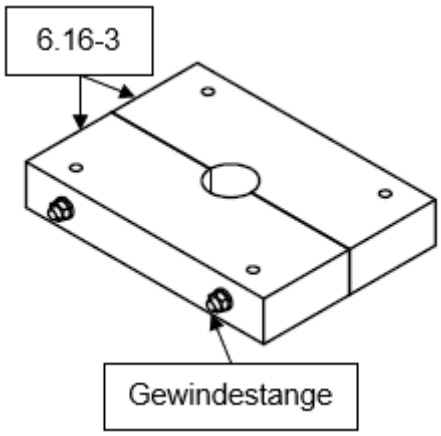


Abbildung 55: Montage der unteren Stangenlagerung (6.16-3) – 3D-Ansicht

Auf dieselbe Art und Weise, wie bei der Montage der oberen Stangenlagerungen, werden die unteren Stangenlagerungen (**6.16-3**) montiert (siehe Abbildung 55).

Im letzten Schritt werden die oberen und unteren Stangenlagerungen auf die Winkelprofile (**6.16-1**) gelegt. Auf den Winkelprofilen sind Bohrungen mit dem Durchmesser von 6,5 mm gebohrt. Durch diese Bohrungen werden die beiden Stangenlagerungen mit den Winkelprofilen montiert. Hierfür werden ebenfalls Gewindestangen Ø 6, Unterlegscheiben und Sechskantmuttern verwendet (siehe Abbildung 56).

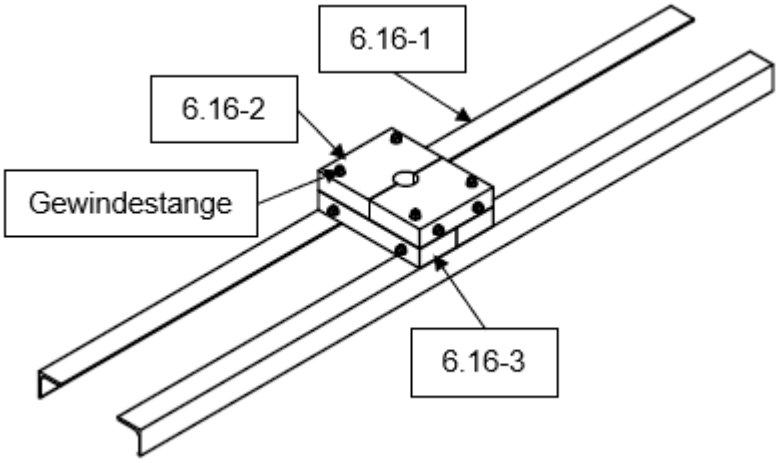


Abbildung 56: Führungsstange (6.16) – 3D-Ansicht

7.15 Exzenter

Werkzeuge:

Tabelle 78: Werkzeugliste – Exzenter (6.18) [1]

Metallsäge	Schweißgerät	Flachfeile	Maßband	Flachwinkel
-	135 / 111	Rundfeile	5000 mm	90°
Schraubenschlüssel	Bohrer			
SW 17	Ø 5; 11			

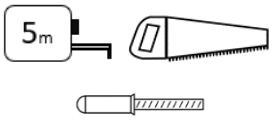
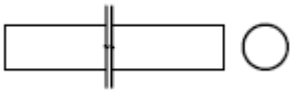
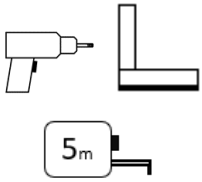
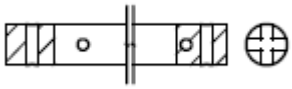
Stückliste:

Tabelle 79: Stückliste – Exzenter (6.18)

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.18-1	1	Rotorwelle	Rundstahl 40 x 575	S235JR	1
6.18.2	2	Wellenlager		S235JR	1
	3	Sechskantschraube	M10 x 80	S235JR	2
	4	Sechskantmutter	M10	S235JR	2
	5	Unterlegscheibe	di= 10	S235JR	4

Arbeitsplan:

Tabelle 80: Arbeitsplan – Rotorwelle (6.18-1)

Sach-Nr.: 6.18-1	**Name:** Rotorwelle	**Standard:** Rundstahl 40 x 575	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Rotorwelle auf Maß absägen und entgraten Maße: 40 x 575		
2	Auf beiden Seiten der Rotorwelle Bohrungen über Kreuz mit einem Ø 11 bohren		

7.15.1 Wellenlager

Stückliste:

Tabelle 81: Stückliste – Wellenlager (6.18.2)

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.18.2-1	1	Verbindungsplatte	80 x 210 x 10	S235JR	2
6.18.2-2	2	Kurbelzapfen	Rd 20 x 145	S235JR	1
6.18.2-3	3	Verbindungsrohr	60,3 x 10 - 60	S235JR	1

Arbeitsplan:

Tabelle 82: Arbeitsplan – Verbindungsplatte (6.18.2-1)

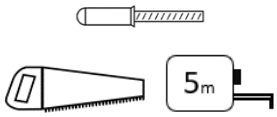
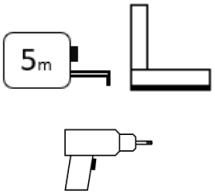
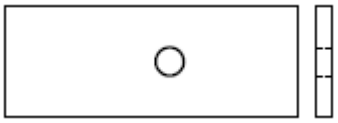
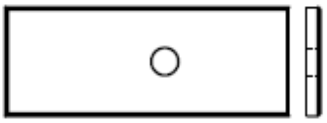
Sach-Nr.: 6.18.2-1	**Name:** Verbindungsplatte	**Standard:** 80 x 210 x 10	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
1	Platte auf Maß abschneiden und entgraten 80 x 210 x 10		
2	Eine Bohrung mit einem Ø 20. Hierbei muss das Maß 22 mm gehalten werden (siehe Abschnitt6.12)		
3	Auf einer Seite eine Fase feilen		
4	Auf der anderen Seite eine Fase an der Bohrung feilen		

Tabelle 83: Arbeitsplan – Kurbelzapfen (6.18.2-2)

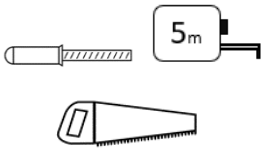
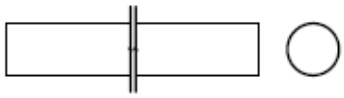
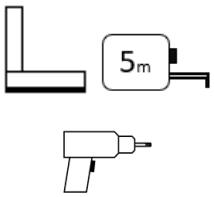
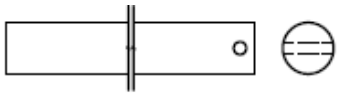
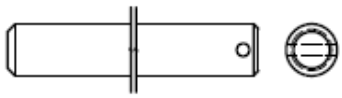
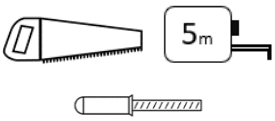
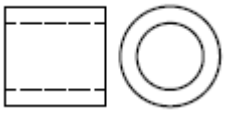
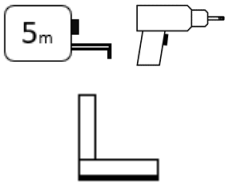
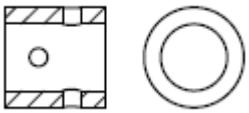
Sach-Nr.: 6.18.2-2	**Name:** Kurbelzapfen	**Standard:** Rundstahl 20 x 145	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
	Kurbelzapfen auf die Länge absägen und entgraten Maße: 20 x 145		
	Auf eine Seite eine Bohrung Ø 5 einbringen		
	Fasen auf beiden Seiten feilen		

Tabelle 84: Arbeitsplan – Verbindungsrohr (6.18-3)

Sach-Nr.: 6.18.2-3	**Name:** Verbindungsrohr	**Standard:** 60,3 x 10 - 60	
Nr.	**Fertigungsschritt**	**Werkzeug**	**Bearbeitungsskizze**
	Verbindungsrohr auf Länge von 60 mm absägen und entgraten		
	Bohrungen Ø 11 über Kreuz für die Verschraubung der Rotorwelle bohren		

Zusammenbau:

Bei Exzenter (**6.18**) wird vorerst das Wellenlager (**6.18.2**) gefertigt. Im ersten Schritt werden die Verbindungsplatten (**6.18.2-1**) aufeinandergelegt und der Kurbelzapfen (**6.18.2-2**) durch die Bohrungen gesteckt (siehe Abbildung 57). Zuerst wird die Konstruktion lediglich geheftet. Es wird erst geschweißt, nachdem die Konstruktion auf Rechtwinkligkeit geprüft würde. Es wird auf beiden Seiten des Kurbelzapfens geschweißt. Auf der Seite, wo die Fase ist, wird die Schweißnaht mit einem Winkelschleifer gerade geschliffen, um die Konstruktion weiter bearbeiten zu können.

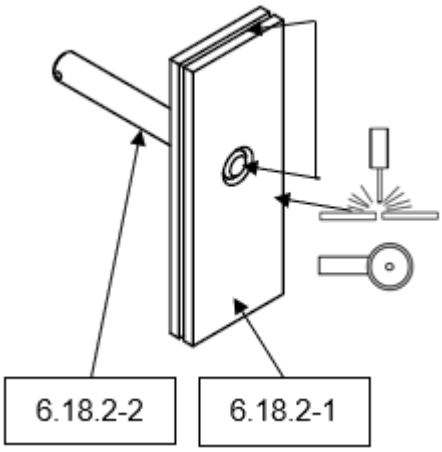


Abbildung 57: Wellenlager (6.18.2) – 3D-Ansicht 1

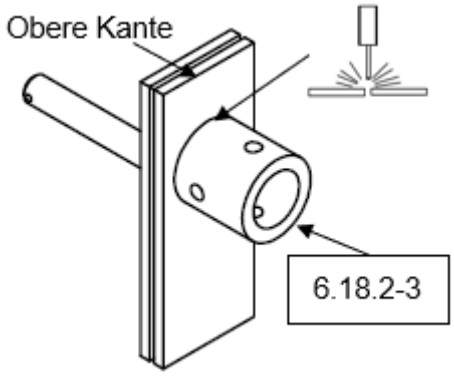


Abbildung 58: Wellenlager (6.18.2) – 3D-Ansicht 2

Als nächstes wird das Verbindungsrohr (**6.18.2-3**) auf der freien Seite der Verbindungsplatte geschweißt (siehe Abbildung 58). Das Rohr wird mittig und von der oberen Kante mit einem Abstand von 70 mm geschweißt. Nach diesen Angaben muss das Rohr geschweißt werden, damit der Achsenabstand des Verbindungsrohrs und des Kurbelzapfens 22 mm ist (siehe Kapitel 5 - Gleichung (6)).

Zunächst werden die Komponenten zusammenmontiert (siehe Abbildung 59). Die Rotorwelle wird in das Verbindungsrohr eingeführt und mit M10-Sechskantschrauben und Unterlegscheiben verschraubt.

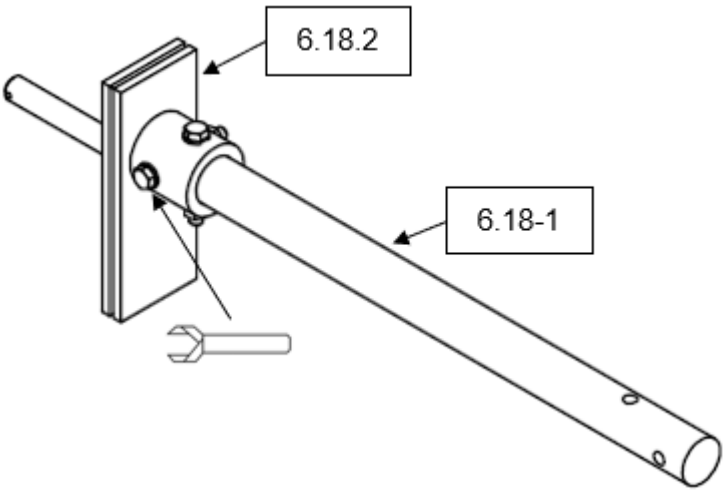


Abbildung 59: Exzenter (6.18) – 3D-Ansicht

8 Zusammenbau der Membranpumpe

In diesem Kapitel wird bildlich dargestellt, wie die gefertigten und zusammengebauten Unterbaugruppen im Kapitel 7 zusammenmontiert werden. Zur Endmontage wird das Kapitel 9 in Betracht gezogen. Die Baugruppen werden ausschließlich kraftschlüssig miteinander verbunden. Davon ausgeschlossen sind die Baugruppen 6.1 und 6.2, die miteinander verklebt werden. In der Abbildung 60 werden die einzelnen Schritte mit Buchstaben markiert. Diese dienen zur Veranschaulichung bei der Beschreibung der Montage. In der Stückliste (siehe Tabelle 85) werden der Materialbedarf und die Stückzahl der Unterbaugruppen aufgelistet.

Tabelle 85: Stückliste – Membranpumpe (6.0)

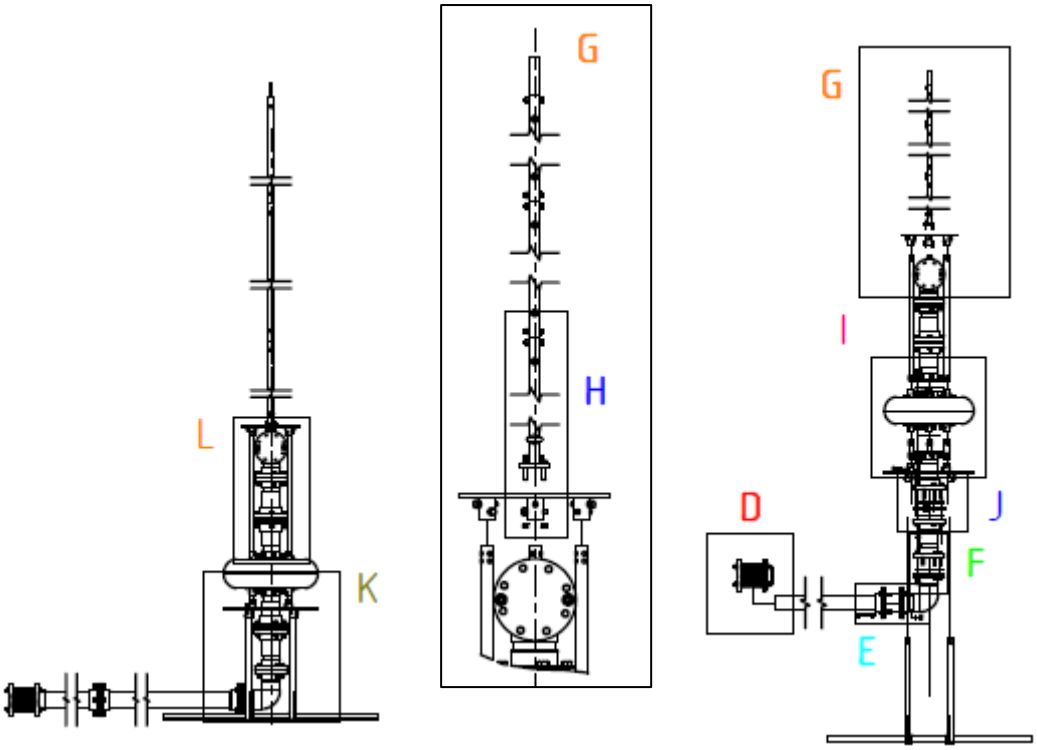


Abbildung 60: Membranpumpe aus unterschiedlichen Ansichten

Sach-Nr.	Pos.	Name	Standard	Material	Anz.
6.1	1	Saugkorb	220 x 250		1
6.2	2	Ebene Rohrleitung	L= 15m		1
6.3	3	Rohrleitungswinkel 90°	H= 202		2
6.4	4	Ventil	D= 230		2
6.5	5	Rohrleitung Vergrößerung	DIN 100 zu 125	PVC	4
6.6	6	Pumpenkörper			1
6-7	7	Flanschdichtung DIN 100	Di= 110	EVA	5
6.8	8	Pumpmechanismus		S235JR	1
6-9	9	Verbindungsrohr	33,7 x 4- 915	S235JR	3
6-10	10	Flanschdichtung DIN 125	di=125	EVA	4
6.11	11	Pumpenaufnehmer		S235JR	1

6-12	12	Verbindungsrohr	33,7 x 4 - 150	S235JR	3
6.13	13	Pumpengestell		S235JR	1
6.14	14	Pumpenstange	L= 9445	Aluminium 6061	1
6-15	15	Blindflansch	D=220; DIN 100	PVC	1
	16	Unterlegscheibe	di= 16	S235JR	60
	17	Sechskantschraube	M16 x 80	S235JR	14
	18	Sechskantmutter	M16	S235JR	38
	19	Sechskantschraube	M16 x 100	S235JR	8
	20	Sechskantschraube	M10 x 60	S235JR	8
	21	Sechskantschraube	M8 x 45	S235JR	2
	22	Unterlegscheibe	di = 8	S235JR	4
	23	Sechskantmutter	M8	S235JR	2

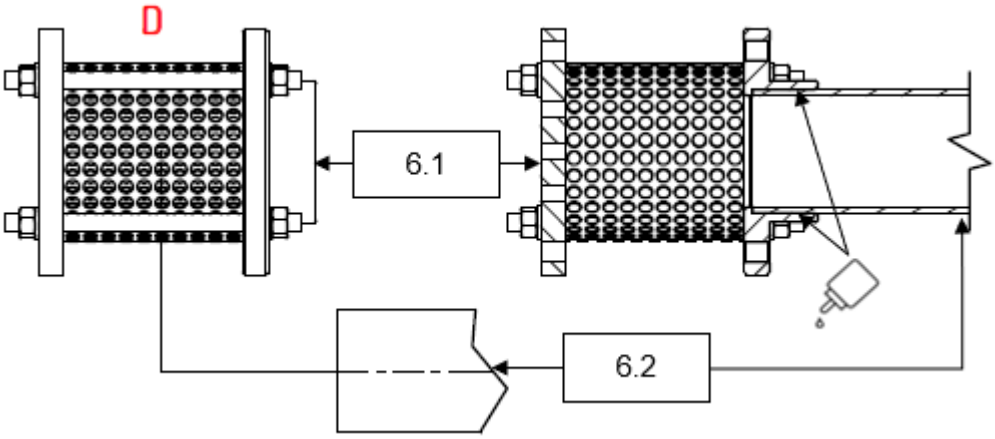


Abbildung 61: Zusammenbau der Membranpumpe D mit einem Querschnitt

Zunächst werden der Saugkorb (**6.1**) und die 15 m lange ebene Rohrleitung (**6.2**) zusammengeklebt (siehe Abbildung 61). Nachdem die Vorbereitungen zum Verkleben abgeschlossen sind, wird das PVC-U-Rohr der ebenen Rohrleitung in dem Festflansch des Saugkorbes bis zum Anschlag eingeführt.

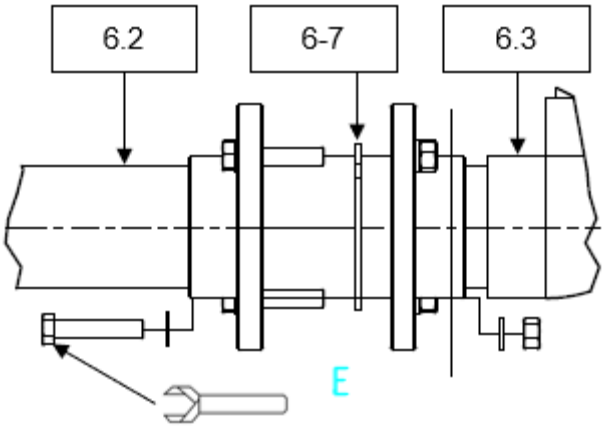


Abbildung 62: Zusammenbau der Membranpumpe E

Im nächsten Schritt wird die andere Seite der ebenen Rohrleitung mit der Rohrleitungswinkel 90° (**6.3**) verbunden. Zwischen den beiden Rohrsystemen wird eine passende Flanschdichtung (**6-7**) gelegt, damit die Verbindung dicht wird. Anschließend werden die Rohrsysteme mit vier M16-Schrauben, Unterlegscheiben und Sechskantmuttern verschraubt. Hierfür wird ein Schraubenschlüssel SW 24 verwendet (siehe Abbildung 62).

Des Weiteren wird durch die Rohrleitung Winkel 90° in der vertikalen Ebene gearbeitet. Auf der freien Seite der Rohrleitung Winkel 90° wird die Rohrleitung Vergrößerung (**6.5**) montiert (siehe Abbildung 63). Dazwischen wird zur Dichtung eine Flanschdichtung positioniert. Bei der Verschraubung wird bei der Rohrleitung Vergrößerung die Seite des Festflansches nach DIN 100 verwendet.

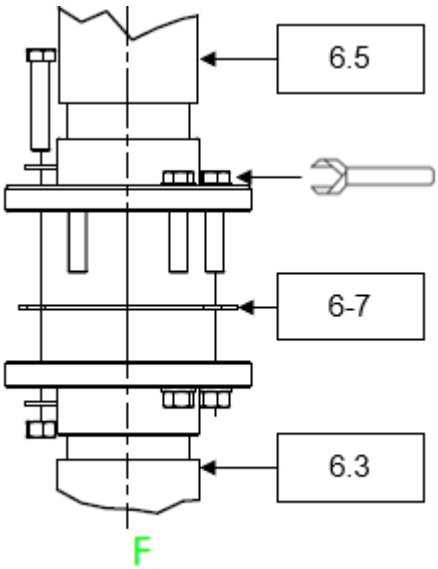


Abbildung 63: Zusammenbau der Membranpumpe F

Wie in der Abbildung 64 dargestellt ist, wird das Ventil (**6.4**) zwischen den zwei Baugruppen wird die „Rohrleitung Vergrößerung“ montiert. Die beiden Festflansche, die das Ventil verschrauben werden, sind nach DIN 125 gefertigt worden. Damit die Verbindung vollständig abgedichtet ist, werden ebenfalls auf beiden Seiten des Ventils DIN 125 Flanschdichtungen (**6-10**) positioniert.

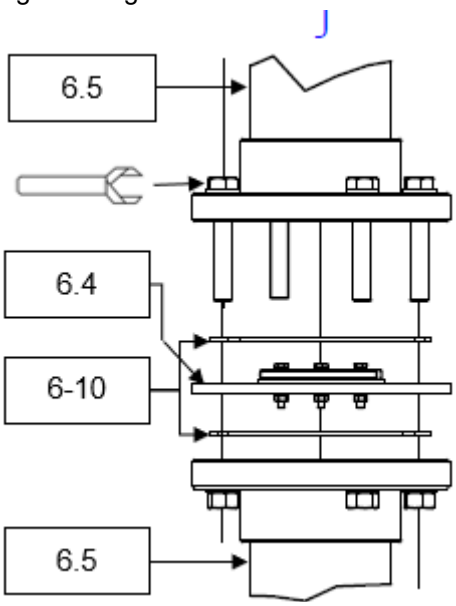
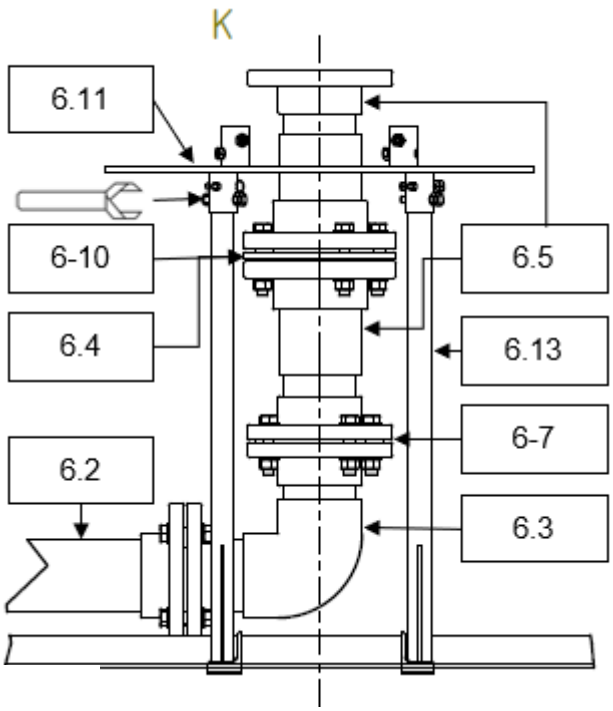


Abbildung 64: Zusammenbau der Membranpumpe J

Mit der Montage in der Abbildung 64 ist das untere Rohrsystem (**6.2** bis **6.5**) zusammengestellt. Zunächst wird der Pumpenaufnehmer (**6.11**) mittels der Rohrverbinder (**6.11.2**) mit dem Pumpengestell (**6.13**) verschraubt (siehe Abbildung 65). Anschließend wird das untere Rohrsystem durch den Pumpenaufnehmer geführt.



ng 65: Zusammenbau der Membranpumpe K (unteres Rohrsystem)

Auf dem Pumpenaufnehmer werden zuerst die Verbindungsrohre (**6-12**) verschraubt. Auf der anderen Seite der Verbindungsrohre wird der Pumpenkörper (**6.6**) eingeführt
(siehe Abbildung 66). Zunächst werden die Bauteile nicht verschraubt. Die Bohrungen des Festflansches werden in die Verbindungsschraube (**6.6.2-2**) der äußeren Abdeckung (**6.6.2**) des Pumpenkörpers eingeführt. Zuvor wird dazwischen eine Flanschdichtung gelegt. Nachdem alle Bauteile in der einsprechenden Position sind, werden sie zusammengeschraubt. Die andere Seite des Pumpenkörpers wird mit derselben Vorgehensweise verschraubt und verdichtet.

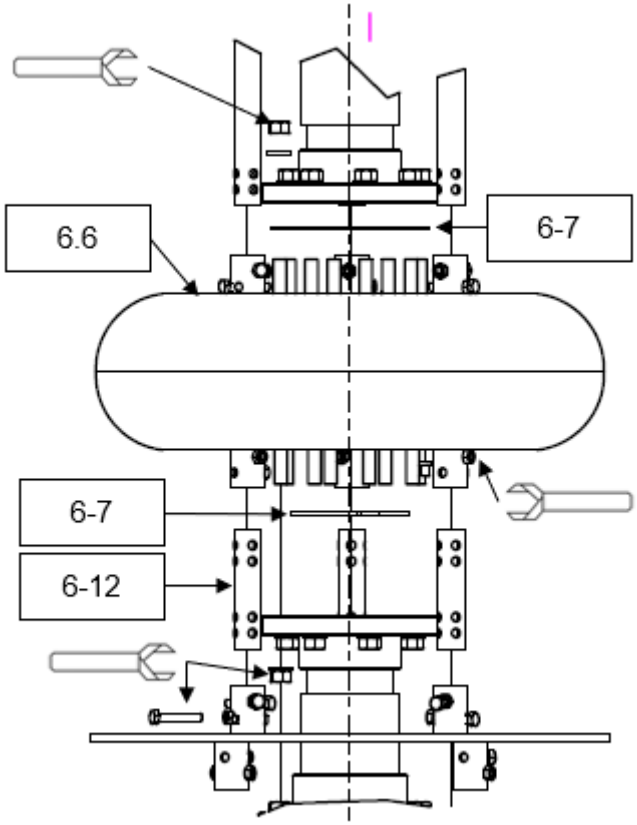


Abbildung 66: Zusammenbau der Membranpumpe I

Der Aufbau des oberen Rohrsystems in der Abbildung 67 entspricht dem Aufbau in der Abbildung 65. Es wird auf die gleiche Weise vorgegangen. Der Unterschied liegt in der Reihenfolge, wie die Baugruppen aufeinander aufgebaut sind. Die Membranpumpe wird mit einem Blindflansch (**6.15**) abgeschlossen, wenn sie außer Betrieb ist. Die Rohrleitung Vergrößerung (**6.5**) wird zur Sicherheit abgeschlossen, damit keine Tiere und kein Dreck in das Rohrsystem hineinkommen und das Ventil blockieren. Zudem werden auf dem Pumpenkörper die Verbindungsrohre (**6-9**) verschraubt.

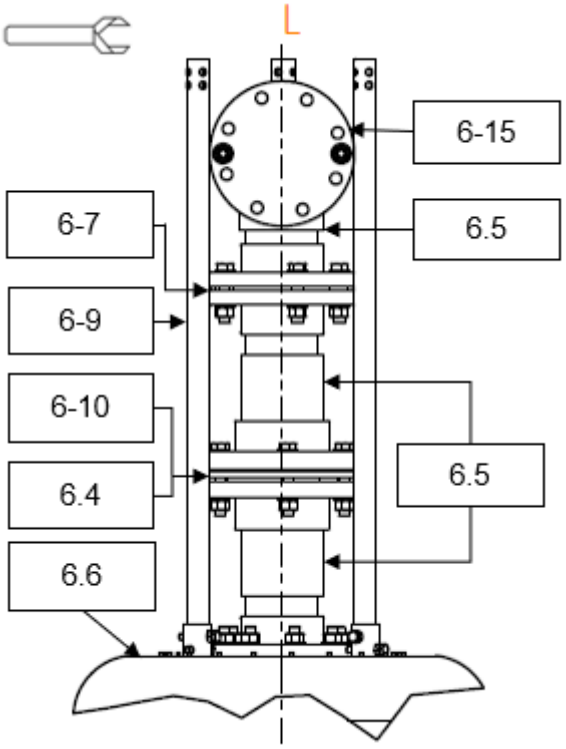


Abbildung 67: Zusammenbau der Membranpumpe L (Das obere Rohrsystem)

Zum Schluss werden der Pumpmechanismus (**6.8**) und die 9445 mm lange Pumpenstange (**6-14**) verschraubt. In die Verbindungsrohren werden die Rohrverbinder (**6.8.2**) des Pumpmechanismus passend eingeführt und verschraubt (siehe Abbildung 68).

Die Pumpenstange wird zuerst mit der Konstruktion der Gondel (**2**) verschraubt. Anschließend werden die Bohrungen für die Steckverbindung an der Pumpmechanismusplatte markiert und gebohrt. Als letztes wird die Pumpenstange mit dem Pumpmechanismus verschraubt.

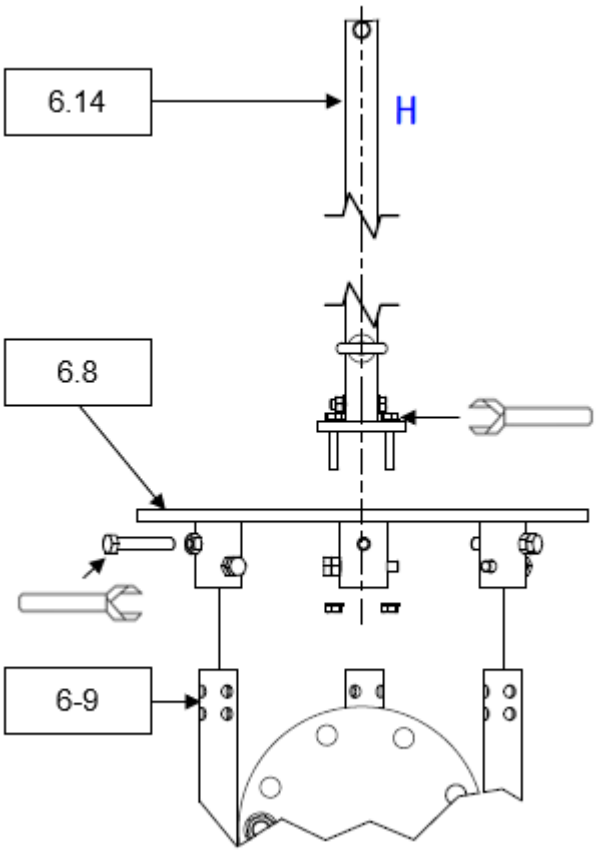


Abbildung 68: Zusammenbau der Membranpumpe H

9 Endmontage der Membranpumpe

Zum Schluss wird die Membranpumpe (**6.0**) an die bereits stehende Windkraftanlage „KUKATE34“ montiert. Bei der Montage der Unterbaugruppen der Membranpumpe (siehe Kapitel 8) spielt die Neigung des Mastes (**1.1**) der Windkraftanlage eine wichtige Rolle. Die komplette Montage der Membranpumpe wird durch den Mast leicht beschränkt, weil die Konstruktion durch die Streben nicht passen wird. Hierbei werden zwei Möglichkeiten bzw. Varianten zur Montage der Membranpumpe in Betracht gezogen. Die erste Variante ist es, den Mast auf dem Erdboden zu kippen. Dies wurde in dem Abschnitt 1.1 der Bachelorarbeit von P. Dornieden ausführlich beschrieben [1]. Diese Variante ist kompliziert, da auf dem Mast noch weitere Baugruppen montiert sind. Die zweite Variante ist es, die Diagonalstreben (**1.1-12**) von einer Seite des Mastes zu trennen, damit die Membranpumpe in dem Mast montiert werden kann (siehe Abbildung 69). Anschließend kann die Membranpumpe, wie es in Kapitel 8 beschrieben ist, montiert werden. Im Abschluss werden die Diagonalstreben an den entsprechenden Stellen erneuert geschweißt.

Nachdem die Membranpumpe vollkommen in dem Mast zusammengebaut ist, wird die Pumpenstange (**6.14**) mit der Zapfenverbindung (**2.3.3**), die in der Gondel (**2**) montiert ist, zuerst verschraubt (siehe Abbildung 70).

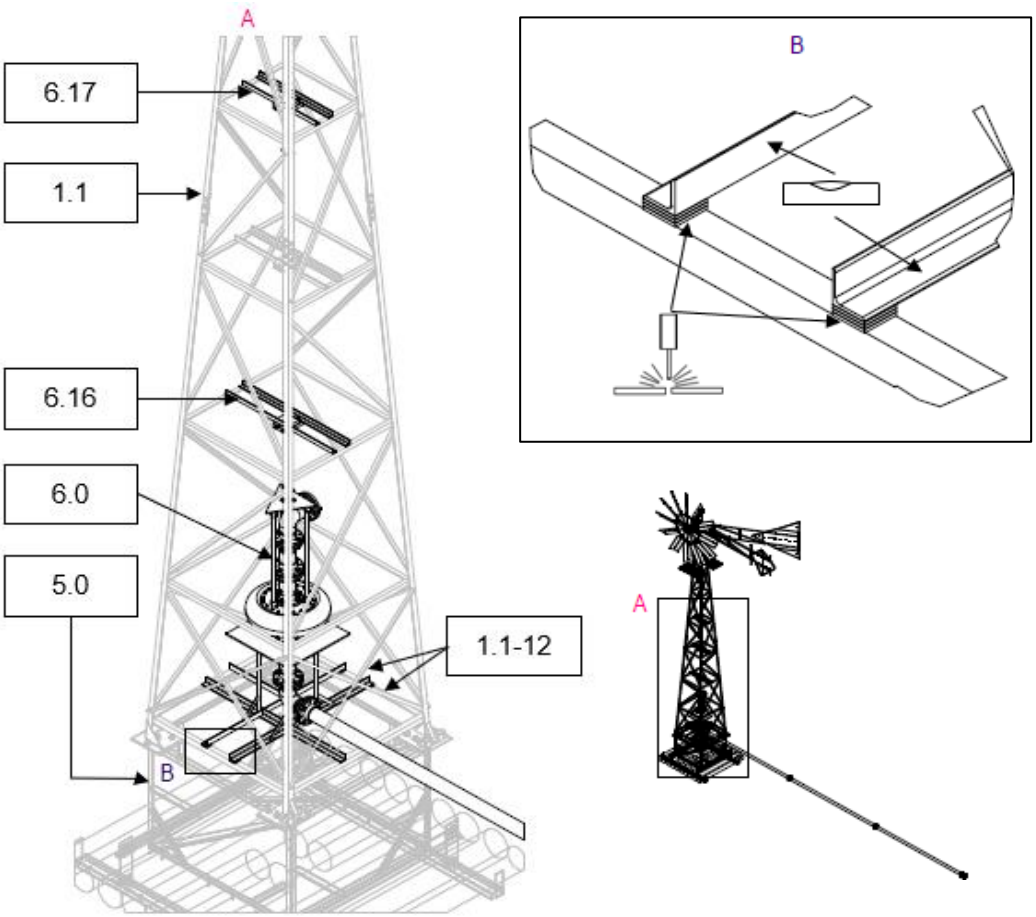


Abbildung 69: Endmontage der Membranpumpe A in der Windkraftanlage [1]

Die Montage der Führungsstangen kann in zwei Varianten erfolgen. Die erste Variante ist, die Führungsstangen vor der Verschraubung bei den jeweiligen Positionen durch die Pumpenstange zu führen. Hierbei wird die Führungsstange vorher zusammengebaut. Bei der zweiten Variante ist die Führungsstange unabhängig von der Montage der Pumpenstange. In diesem Fall werden Führungsstangen nach der Montage der Pumpenstange zusammenmontiert. Die Aufgabe der Führungsstangen ist es, die gesamten Rohrstangen zu stabilisieren. Nach der Montage der Pumpenstange werden auf dem Pumpmechanismus durch die Steckverbindung die Bohrungen für die Verbindung markiert und gebohrt. Anschließend werden die Pumpenstangen mit dem Pumpmechanismus verschraubt.

Im nächsten Schritt wird das Pumpengestell an den Mast geschweißt. Vor dem Schweißen wird die Ebenheit des Pumpengestells geprüft. Der Anzahl der Unterlegplatten beim Pumpengestell wird von der Ebenheit der Konstruktion auf dem Mast abhängen (siehe Abbildung 69-B). Zuerst werden die Unterlegplatten unter dem Pumpengestell geschweißt und zunächst auf dem Mast geschweißt.

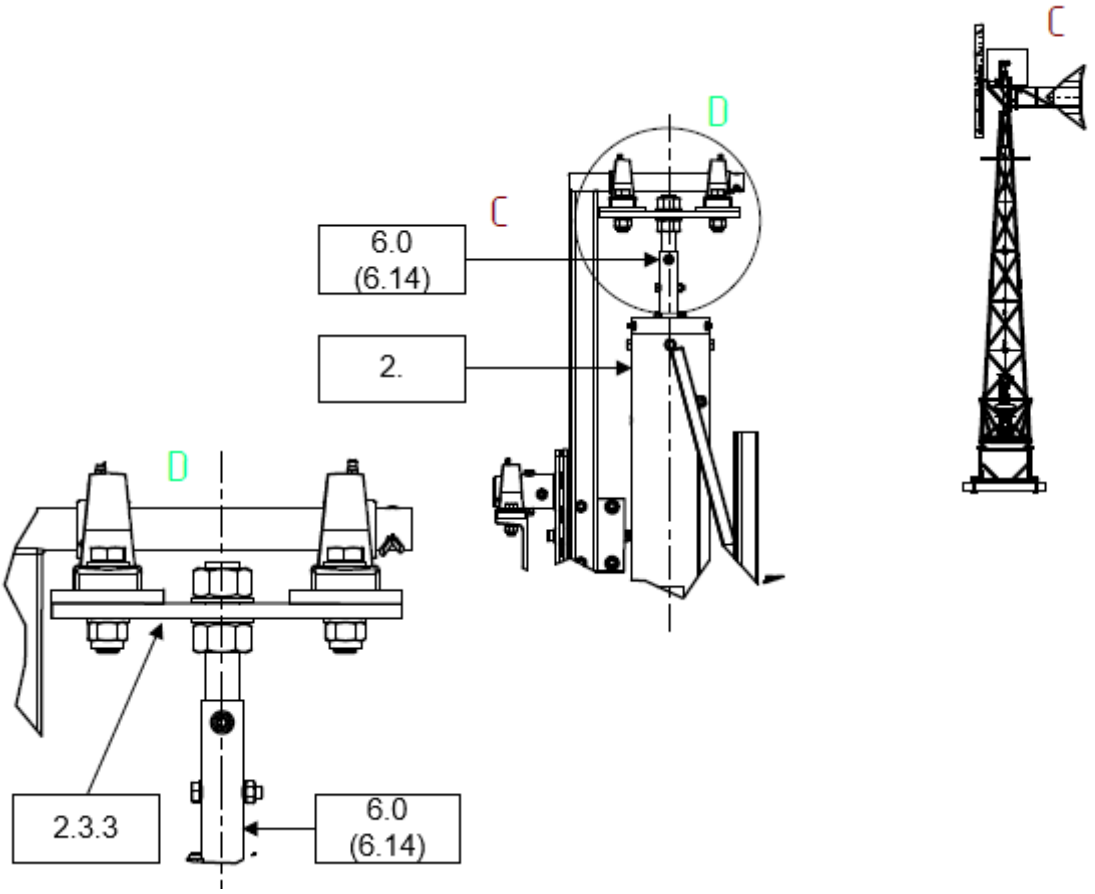


Abbildung 70: Endmontage der Membranpumpe C in der [1]

10 Zusammenfassung

Dieser Bauanleitung lag die Zielsetzung zugrunde, die zuvor von Sandra Göbel konstruierte Membranpumpe neu zu konstruieren, zu beschreiben und zu optimieren. Dazu wurde eine ausführliche Fertigungs- und Montageanleitung der Membranpumpe erstellt. Die Konstruktion der Membranpumpen ist an die Windanlage KUKTE34K angepasst worden. Die gesamte Anlage mit der Pumpe wird in Entwicklungsländern mit den Menschen vor Ort zusammengebaut, daher werden bestimmte Anforderungen gestellt. Diese Anforderungen haben die Konstruktion erschwert. Demzufolge soll die Fertigung und Montage der Membranpumpe einfach sein.

Um die Zielsetzung verwirklichen zu können, wurden zuerst Lösungsvarianten von Baugruppen erstellt. Diese wurden analysiert, miteinander verglichen und beschrieben. Bei der Auswahl eines Konzeptes stand die Einfachheit der Fertigung im Vordergrund. Dazu kamen die Lebensdauer und Bezahlbarkeit der Konstruktion.

Zunächst wurden Berechnungen durchgeführt, die Sicherheit der Konstruktion gewährleisten zu können und die Anforderungen an die Membranpumpe erfüllen zu können.

Anhand der Konzepte und der ermittelten Werte wurden die Konstruktion der Membranpumpe sowie die Einzelteile und Baugruppen mittels CAD erstellt. Beim Konstruieren stand die Einfachheit der Fertigung im Fokus.
Als nächstes wurde die Fertigungs- und Montageanleitung der Membranpumpe beschrieben. In der Fertigungsanleitung wurden die einzelnen Arbeitsschritte der Fertigung in einem tabellarischen Arbeitsplan aufgelistet. Im Arbeitsplan wurden die benötigten Werkzeuge erwähnt.
Es wurde vor jeder Baugruppe die Stückliste angegeben, um den Materialbedarf darzustellen. Zum Schluss wurde die Montage der Membranpumpe mit der Windanlange bildlich mit einem kurzen Text beschrieben.

Beim Konstruieren wurde vermieden, teure Materialien zu verwenden. Darum sind die meisten Bauteile aus unlegiertem Baustahl *S235JR* gefertigt worden. Sie wurden so angeordnet, dass keine Verformungen beim Schweißen stattfinden sollen. Hierbei war es auch die Absicht, die Abhängigkeit von den Fachkenntnissen eines Facharbeiters zu minimieren.
Oft wurden Schraubenverbindungen eingesetzt. Mit den Schraubenverbindungen wird die Flexibilität der Konstruktion gesteigert.

Aufgrund der Vielzahl an Verbindungsrohren und Rohrverbindern, die ineinander geführt werden, wurde eine Rohrbohrvorrichtung konstruiert. Mit der Vorrichtung werden die Bohrungen genau ausgeführt.

Die hier vorliegende Beschreibung der Fertigungs- und Montageanleitung bietet zusammen mit den technischen Zeichnungen eine komplette Anleitung zum Bau der Membranpumpe.

Literaturverzeichnis

[1] P. Dornieden, „Konstruktion einer Windkraftanlage, sowie die Erstellung von Informationen und Medien zum Aufbau einer Website für den Nachbau," Hochschule Bremen, Bremen, 2020.

[2] S. Göbel, „Konstruktion einer windenergiebetriebenen Membranpumpe," Hochschule Bremen, Bremen, 2017.

[3] „Green Desert e.V.," [Online]. Verfügbar: http://www.greendesert.eu/. [Zugriff am 26 Juli 2021].

[4] W. Mascha, „Paul Guckelsberger," 19 März 2013. [Online]. Verfügbar: http://www.paulguckelsberger.de/WasserProjekte/IP.Wembacher.Pumpen.Entwicklungshilfe.pdf. [Zugriff am 23 Juli 2021].

[5] E. Wolfgang, S. Eberhard, S. Ulrich und W. Gotthard, Küttner Kolbenmaschinen, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009.

[6] W. Eifler, E. Schlücker, U. Spicher und G. Will, Küttner Kolbenmaschinen, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009.

[7] P. Fritsch, W. Knaus, G. Merkl, E. Preininger, J. Rautenberg, M. Weiß und B. Wricke, Mutschmann/Stimmelmayr Taschenbuch der Wasserversorgung "Wasserförderung", Wiesbaden: Vieweg+ Teubner, 2011.

[8] H.-J. Liebscher, „Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH," 2000. [Online]. Verfügbar: http://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/wasser/17946. [Zugriff am 15 Juli 2021].

[9] U. Fischer, R. Gomeringer, M. Heinzler, R. Kilgus, F. Näher, S. Oesterle, H. Paetzold und A. Stephan, Tabellenbuch Metall, Nourney: Verlag Europa-Lehrmittel, 2011.

[10] J. Dietrich, Praxis der Umformtechnik "Exzenter-und Kurbelpressen", Wiesbaden: Springer Vieweg, 2018.

[11] A. Böge, Formeln und Tabellen zur Technischen Mechanik, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2011.

[12] „Schweizer-fn," [Online]. Verfügbar: https://www.schweizer-fn.de/helpdat/stroemung/help_druckverlust.php. [Zugriff am 16 Juli 2021].

[13] „Bikar-Metalle GmbH," [Online]. Verfügbar: https://www.bikar.com/fileadmin/user_upload/aluminium/bleche-platten/6061-komplett.pdf. [Zugriff am 15 Juli 2021].

[14] „Gebr. DOLLE GmbH: PVC-U (POLYVINYLCHLORID),“ [Online]. Verfügbar: https://www.dolle-kunststoff.de/produkte/technische-kunststoffe/pvc-u-polyvinylchlorid. [Zugriff am 09 Juni 2021].

[15] „Kern GmbH "Kunststoffwerke",“ [Online]. Verfügbar: https://www.kern.de/de/technisches-datenblatt/polyvinylchlorid-pvc-u?n=2690_1. [Zugriff am 16 Juli 2021].

[16] H. Foysi, „Universität Siegen "Messung von Volumen- und Massenstrom",“ 2020. [Online]. Verfügbar: https://www.mb.uni-siegen.de/lfst/lehre/dokumente/sose2020_v5_volumenstrom.pdf. [Zugriff am 16 Juli 2021].

OPEN WINDMILL hat hier weitgehend eine ingenieurwissenschaftliche Arbeit übernommen.

Mit diesen KUKATE34M Materialien werden sich zusammen mit dem Windrad der KUKATE34K (Kolbenpumpe) Windpumpen zur Landbewässerung bauen lassen. Wie sich die Gummireifen, die (unterschiedlichen) Ventile und die anderen Komponenten bewähren, werden wir zukünftig erfahren.

Wir sind Dir dankbar für jeden konstruktiven Hinweis auf Verbesserungen und auf wertvolle Erfahrungsberichte mit dieser ideal für den Selbstbau und die Selbstversorgung geeigneten OPEN WINDMILL KUKATE34M.

OPEN WINDMILL
Green Desert e.V.
Bremer Innovations- und Technologiezentrum
Fahrenheitstraße 1
28359 Bremen

Spendenkonto

Green Desert e.V.

Hannoversche Volksbank

IBAN: DE 26251900010605535400
BIC: VOHADE2HXXX

Wir suchen immer nach engagierten Menschen, die bereit sind in einem netten Team Aufgaben zu übernehmen und sich langfristig als Mitglied in unsere Projekte einzubringen.

Schreibt uns einfach – Kontakt:

team@green-desert.info

HAFTUNGSAUSSCHLUSS bezüglich der Bauanleitungen

Wichtiger Hinweis

Ausdrücklich sei hier angemerkt, dass die *Hinweise* und *Bauanleitungen* auf diesen Seiten für so komplexe Anlagen wie Windkonverter trotz aller Sorgfalt wahrscheinlich nicht ganz frei von Fehlern sind, die sich möglicherweise erst beim Anwender herausstellen.

Deshalb möchten die Verfasser nicht falsch verstanden werden, wenn sie trotz aller Sorgfalt bei der Zusammenstellung dieser Materialien *keine Haftung* für enthaltene Mängel und deren Folgen übernehmen. Alle Anregungen beruhen auf Berechnungen und langjährigen Erfahrungen, wobei viele mögliche Störfälle berücksichtigt wurden; verständlicherweise sind jedoch nicht alle Einflüsse und Risiken vorhersehbar.

Die Autoren gehen davon aus, dass die Nutzer dieser Seiten alle im Bereich des Baus und Betriebs der KUKATE-Windkonverter geltenden Gesetze, gesetzlichen und gängigen Sicherheitsvorschriften und Arbeitsregeln einhalten, die den Bau und Betrieb der KUKATE-Windenergiekonverter betreffen.

URHEBERRECHT / COPYRIGHT

1. Nutzung der Inhalte

Die Inhalte werden hier von OPEN-WIND/Green Desert für den Nachbau der KUKATE Windenergieanlagen und mit einer in diesem Zusammenhang stehenden Präsentation veröffentlicht. Sie sind für den privaten, wissenschaftlichen und nichtgewerblichen Gebrauch für eine eigene Nutzung sowie für die berufliche Ausbildung zusammengestellt worden.

Soweit möglich, müssen die verbreiteten Inhalte aus der Website Copyright-Hinweise und Quellenangaben enthalten.

Die Autoren gehen davon aus, dass die Nutzer dieser Seiten alle für den Bereich des Baus und Betriebs der KUKATE-Windkonverter geltenden Gesetze, gesetzlichen und gängigen Sicherheitsvorschriften und Arbeitsregeln einhalten.

2. Alle Rechte vorbehalten, all rights reserved,

Der Bau der KUKATE Windenergieanlagen ist gewünscht. Trotzdem sind diese Online-Dokumente und Webseiten einschließlich ihrer Teile urheberrechtlich geschützt.

Die Autoren behalten alle Rechte an den Inhalten, die hier veröffentlicht werden, insbesondere an den von ihnen entwickelten Konstruktionen, angefertigten Bilder, Grafiken, Darstellungen, Berechnungen, Diagrammen und Texten etc.

DISCLAIMER regarding the construction instructions

Important note

It should be expressly noted here that the notes and construction instructions on these pages for such complex systems as wind converters are, despite all care taken, probably not entirely free of errors which may only become apparent when the user uses them.

Therefore, the authors do not wish to be misunderstood if, despite all care taken in compiling these materials, they do not accept any liability for defects contained therein and their consequences. All suggestions are based on calculations and many years of experience, and many possible incidents have been taken into account; understandably, however, not all influences and risks can be foreseen.

The authors assume that the users of these pages comply with all applicable laws, legal and common safety regulations and work rules concerning the construction and operation of KUKATE wind energy converters.

COPYRIGHT

1. use of the contents

The contents are published here by OPEN-WIND/Green Desert for the purpose of rebuilding the KUKATE wind energy converters and with a presentation in this context. They have been compiled for private, scientific and non-commercial use for personal use as well as for professional training.

As far as possible, the distributed contents from the website must contain copyright notes and source references.

The authors assume that the users of these pages comply with all laws, legal and common safety regulations and work rules applicable to the field of construction and operation of KUKATE wind converters.

2. all rights reserved, all rights reserved,

The construction of the KUKATE wind turbines is desired. Nevertheless, these online documents and web pages including their parts are protected by copyright.

The authors retain all rights to the contents published here, in particular to the designs developed by them, images, graphics, representations, calculations, diagrams and texts, etc., which they have produced.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)