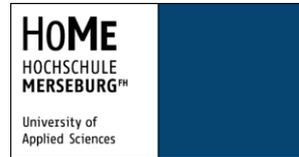


Bachelorarbeit



Konstruktiver Entwurf eines Ventilatoren-Belastungsprüfstandes für den Lehrbetrieb an der Hochschule Merseburg in Anlehnung an internationale Regelwerke

Maximilian Fränkel

Matrikelnummer 18697

29.01.2015

Prüfer

PROF. DR.- ING. MARTIN STAIGER

Zweitprüfer

DIPL.- ING. ANDREAS GOLDNER

Hochschule Merseburg

Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften

Lehrstuhl für Fluid- und Strömungstechnik

Aufgabe

Für den Lehr- und Praktikumsbetrieb des Studienganges Maschinenbau, soll ein Ventilatorenprüfstand mittlerer Größe gebaut werden. Die primäre Aufgabe des Prüfstandes ist die Kenndatenermittlung von Ventilatoren in verschiedenen Praktika.

Der hierfür benötigte konstruktive Entwurf eines saugseitigen Kammerprüfstandes soll unter Berücksichtigung der räumlichen Gegebenheiten vor allem in den Bereichen der Messebenen der Norm ISO 5801 entsprechen. Ein modularer Aufbau des Prüfstands soll die Nutzung in modifizierter Form für Praktikumsversuche mit anderen Themenstellungen gewährleisten. Des Weiteren sollen die Prüfstandskomponenten unter besonderer Beachtung der Dichtheit der Teile und deren Verbindung im Detail konstruiert werden. Gegebenenfalls müssen im Hinblick auf die Herstellbarkeit an der Hochschule Merseburg konstruktive Alternativen ausgearbeitet werden. Um die Kenndaten ermitteln zu können, gilt es die Messstellen und deren Instrumentierung zu planen. Für die Messebenen der Volumenstrommessung sollen alternative Entwürfe unter Berücksichtigung verschiedener Hilfsventilator-konzepte aufgezeigt werden.

Abstract

In dieser Bachelorarbeit wird ein konstruktiver Entwurf eines saugseitigen Kammerprüfstandes erarbeitet. Hierzu werden zuerst die Grundabmessungen an Hand von räumlichen Begebenheiten festgelegt. Im Anschluss werden alle Prüfstands-Komponenten genauer betrachtet und im Detail ausgelegt. Die Auslegung der Volumenstrommessebene wird unter der Voraussetzung alternativer Hilfsventilator-konzepte im Detail betrachtet. Ein wichtiger Bestandteil dieser Arbeit ist die Überprüfung der Verwendbarkeit von Holz als Messkammermaterial. Hierzu wird im Kapitel „Versuch“ der Werkstoff Multiplex näher betrachtet und an Hand eines Modells die Verwendbarkeit als Messkammermaterial bewiesen. Das erarbeitete Konzept kann Anhand der, in der Arbeit erzeugten, Fertigungsunterlagen umgesetzt werden. Aufgekommene Fragestellungen in Bezug auf die computergestützte Steuerung des Prüfstands, sowie die elektrische Verschaltung gilt es in Zukunft zu beantworten.

Inhaltsverzeichnis

1. GRUNDLAGEN	13
1.1 Einleitung	13
1.2 Prüfstands Aufbau nach Norm	14
1.3 Räumliche Begebenheiten, Prüfstandsspezifikationen	15
2. KONSTRUKTIVER ENTWURF	16
2.1 Messkammer	16
2.1.1 Abmessungen der Prüfkammer	16
2.1.2 Materialauslegung	17
2.1.3 Verbindungstechnik	21
2.1.4 Dichtungssystem der Prüfkammer	23
2.1.5 Verschraubung	25
2.1.6 Raster für die Strömungsberuhigung	26
2.2 Regeleinrichtung	27
2.2.1 Drosselement	27
2.2.2 Hilfsventilator	28
2.2.3 Strömungsgleichrichter	31
2.3 Luftführung	32

3. MESSEBENEN	33
3.1 Volumenstrommessebene	33
3.2 Prüfdruckmessebene	41
4. PRÜFSTANDS-KONZEPT	42
4.1 Prüfstand	42
4.2 Hilfsrahmen	43
5. VERSUCH	44

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1.1: SAUGSEITIGER KAMMERPRÜFSTAND NACH ISO 5801	14
ABBILDUNG 1.2: SCHEMA SAUGSEITIGER KAMMERPRÜFSTAND	15
ABBILDUNG 2.1: MAßE DER SAUGSEITIGEN PRÜFKAMMER	16
ABBILDUNG 2.2: MULTIPLEXPLATTE	17
ABBILDUNG 2.3: MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN VON MULTIPLEX	18
ABBILDUNG 2.4: RECHTECKPLATTE	18
ABBILDUNG 2.5: BEIWERT ZUR PLATTENBERECHNUNG	19
ABBILDUNG 2.6: AUSGEFÄLZTE NAGELUNG/VERSCHRAUBUNG	21
ABBILDUNG 2.7: STUMPFE NAGELUNG/VERSCHRAUBUNG	21
ABBILDUNG 2.8: GEDÜBELTE GEHRUNGSVERBINDUNG	22
ABBILDUNG 2.9: GEDÜBELTE ECKVERBINDUNG, STUMPFE ECKEN	22
ABBILDUNG 2.10: GEHRUNGSSCHNITT, EINGESETZTE FEDER	22
ABBILDUNG 2.11: GEHRUNGSSCHNITT, EINGESETZTE WINKELFEDER	22
ABBILDUNG 2.12: GEFEDERTE AUßENECKE	22
ABBILDUNG 2.13: FLACHDICHTUNGEN	23
ABBILDUNG 2.14: PROFILDICHTUNGEN, METALL	23
ABBILDUNG 2.15: PROFILDICHTUNGEN, WEICHSTOFF	23
ABBILDUNG 2.16: DICHTFLÄCHEN DER VERBINDUNG	24
ABBILDUNG 2.17: ABMESSUNG HOLZSCHRAUBE	25
ABBILDUNG 2.18: GEWINDEEINSATZ FÜR HOLZ	25
ABBILDUNG 2.19: RASTER ZUR STRÖMUNGSBERUHIGUNG	26

ABBILDUNG 2.20: LOCHBLECHE.....	27
ABBILDUNG 2.21: KENNLINIE AQA61-500-4D	29
ABBILDUNG 2.22: ABMESSUNGEN AQA61-500-4D.....	29
ABBILDUNG 2.23: RLE E6-4550-EC-06/M6	30
ABBILDUNG 2.24: RLE E6-4550-EC-06/M6 ABMESSUNGEN	30
ABBILDUNG 2.25: KENNFELD RLE E6-4550-EC-06/M6	30
ABBILDUNG 2.26: AMCA-ZELLENGLEICHRICHTER UND STERNFÖRMIGER STRÖMUNGSGLEICHRICHTER.....	31
ABBILDUNG 2.27: GRENZWERTE DICHTHEIT, DRUCKKLASSIFIZIERUNG RECHTECKKANAL.....	32
ABBILDUNG 2.28: RECHTECKKANAL GESCHWEIßT MIT ANGEFORMTEN RAHMEN	33
ABBILDUNG 3.1: DEBIMO-MESSSONDE	34
ABBILDUNG 3.2: MESSBLENDE	37
ABBILDUNG 3.3: WIDERSTANDSBEIWERTE.....	39
ABBILDUNG 3.4: DRUCKENTNAHMEBOHRUNG.....	40
ABBILDUNG 4.1: PRÜFSTANDS-KONZEPT.....	42
ABBILDUNG 5.1: SCHNITTQUALITÄT DER OBERFRÄSE	45
ABBILDUNG 5.2: DICHTMATERIAL	45
ABBILDUNG 5.3: VERSUCHSAUFBAU UND LECKAGESTELLE	45

Symbolverzeichnis

a	[mm]	Durchmesser der Druckmessbohrung
b	[mm]	Messkammerbreite, innen
c ₁	[-]	Beiwert für die Plattenberechnung in x-Richtung
c ₂	[-]	Beiwert für die Plattenberechnung in y-Richtung
c ₃	[-]	Beiwert für die Verformung
c ₅	[-]	Beiwert für die maximale Spannung am Plattenrand in y-Richtung
d ₁	[mm]	Schraubengewindedurchmesser
d ₅	[mm]	Durchmesser Blendenbohrung
d ₇	[mm]	Lochdurchmesser Lochblech
d _K	[mm]	Schraubenkopfdurchmesser
e	[mm]	Blechdicke
f _{max}	[mm]	maximale Verformung
h	[mm]	Plattendicke
l _R	[mm]	Länge vom Rohr D ₅
m ₇	[mm]	Lochabstand Lochblech
p	[Pa]	Druck
p _d	[Pa]	Dynamischer Druck
Δp	[Pa]	Wirkdruck
Δp _v	[Pa]	Druckverlust
q _v	[m ³ /s]	Volumenstrom
r _{Δp}	[-]	Differenzdruckverhältnis
w	[mm]	Zellenbreite Strömungsgleichrichter
Ø ₇	[-]	Versperrungsfaktor
A	[mm]	Messkammerlänge, innen
B _F	[-]	Blendenfaktor Debimo
D ₃	[mm]	Messkammerdurchmesser, entspricht b
D ₄	[mm]	Rohrdurchmesser beim Strömungsgleichrichter
D ₅	[mm]	Rohrdurchmesser Volumenstrommessstrecke
D _R	[mm]	entspricht D ₅
E	[N/mm ²]	E-Modul
H	[mm]	Messkammerhöhe, innen
K	[mm]	Rohrreibungsbeiwert
L	[mm]	Strömungsgleichrichterlänge
L _{gT}	[mm]	Teilgewindelänge
L _S	[mm]	Schraubenlänge
α	[-]	Durchflusszahl
β	[-]	Blendenverhältnis
ε	[-]	Expansionszahl
ζ	[-]	Widerstandsbeiwert
ζ _D	[-]	Widerstandsbeiwert der Debimosonde
ζ _E	[-]	Widerstandsbeiwert vom Eintritt
ζ _R	[-]	Widerstandsbeiwert vom Rohr mit dem Durchmesser D ₅
ζ _S	[-]	Widerstandsbeiwert vom Übergang in den Rechteckkanal
λ	[-]	Rohrreibungsbeiwert

μ	[Pas]	dynamische Viskosität von Luft
ρ_u	[kg/m ³]	Dichte Umgebungsluft
σ_x	[N/mm ²]	Spannung in x-Richtung
σ_y	[N/mm ²]	Spannung in y-Richtung
$\sigma_{y\max}$	[N/mm ²]	maximale Spannung in y-Richtung
$\sigma_{x\max}$	[N/mm ²]	maximale Spannung in x-Richtung

1. Grundlagen

1.1 Einleitung

Um die Leistungsdaten eines Ventilators präzise bestimmen zu können, ist es notwendig, diesen experimentell mit Hilfe von Prüfständen zu untersuchen. Da die Theorie der Strömung von Ventilatoren nur in Ansätzen bekannt ist, bzw. sich sehr komplex darstellt, ist der experimentelle Weg einfacher. In der Praxis wurde erkannt, dass die Leistungsdaten unter Umständen von der Art des Versuchsstandes und dessen Anordnung beeinflusst werden können. Um vergleichbare Leistungsdaten ermitteln zu können, wurden die Prüfstände in Nordamerika und Europa nach verschiedenen Normen und Richtlinien betrieben. Um auch in internationalen Geschäften vergleichbare Leistungsdaten gewährleisten zu können, wurde die ISO 5801 als internationale Norm im Jahr 1997 herausgegeben. Diese enthält viele verschiedene Prüfstandsvariationen und wird fortlaufend weiterentwickelt und verbessert. Sie dient als Hauptquelle für den in dieser Arbeit entwickelten saugseitigen Kammerprüfstand. Des Weiteren wurde die deutsche Norm DIN 24163 genutzt, da diese in manchen Punkten noch tiefer ins Detail geht.

1.2 Prüfstands Aufbau nach Norm

In diesem Teil der Arbeit wird der normgerechte Prüfstands Aufbau erläutert, um spätere Abweichungen des Entwurfes für den Lehrbetrieb an der Hochschule aufzeigen zu können. Nach der Norm ISO 5801 sollte ein saugseitiger Kammerprüfstand, wie im nachfolgenden Bild zu sehen, aufgebaut sein.

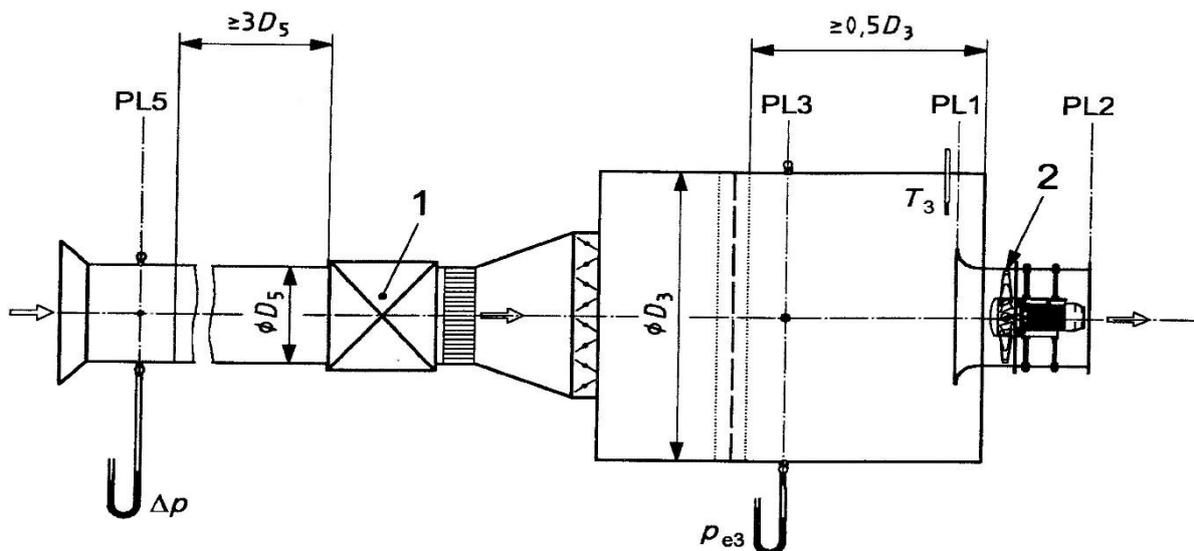


Abbildung 1.1: Saugseitiger Kammerprüfstand nach ISO 5801 (S.138)

Der saugseitige Kammerprüfstand besteht im Wesentlichen aus drei Hauptelementen, welche entlang der Strömungsrichtung erklärt werden. Das Prüfmedium (Luft) wird durch das erste Hauptelement gesaugt, die Volumenstrommesseinrichtung. Die Messeinrichtung kann verschiedenste Formen und Funktionsprinzipien haben. Im Bild ist ein trichterförmiger Eintritt zu sehen, welcher eine Option für die Volumenstrommessung darstellt. Das nächste wichtige Bauteil ist die Regeleinrichtung, welche aus Hilfsventilator (1) und Regeldrossel besteht. Der Hilfsventilator gleicht den vom Prüfstand selbst erzeugten Druckverlust aus. Dies ist ein sehr wichtiges Bauteil, da es perfekt auf den Prüfstand, vor allem auf die Volumenstrommessstrecke, angepasst sein muss. Der Hilfsventilator muss laut Norm immer mit einem Strömungsgleichrichter verbaut werden, um eine ungleichmäßige Strömung nach ihm auszugleichen. Die Regeldrossel wird meist in Form einer gegenläufigen Klappendrossel verbaut. Die wohl wichtigste Hauptkomponente eines Prüfstandes ist die Messkammer. Sie enthält Lochplatte, Bremssiebe, Druckmessung, sowie Temperaturmessung und die Aufnahme

für den Prüfventilator (2). Die genannten Bauteile eines saugseitigen Kammerprüfstandes sind im nachfolgenden Schema noch einmal aufgezeigt.

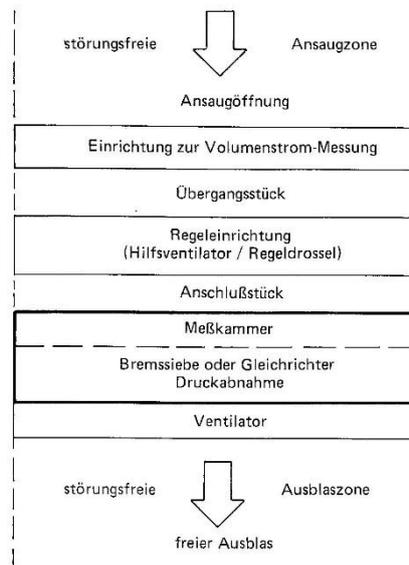


Abbildung 1.2: Schema saugseitiger Kammerprüfstand (DIN 24163 Teil 3, S.3)

1.3 Räumliche Begebenheiten, Prüfstandsspezifikationen

Für den Ventilatoren-Prüfstand der Hochschule Merseburg steht natürlich nicht unbegrenzt Platz zur Verfügung. In Zahlen ausgedrückt muss der Prüfstand auf einer Laborraumfläche von 29 m² seinen Platz finden. Der freie Raum besteht in Form eines Rechtecks mit den Kantenlängen 4500 mm und 6500 mm und einer Höhe von 2800 mm, jedoch sind nur 2540 mm auf Grund der Deckenbeleuchtung nutzbar. In dieses Platzangebot müssen alle festen Prüfstandsteile hineinpassen. Die freien Ansaug-, bzw. Ausblaszonen werden nicht mit eingerechnet, da hier lediglich dafür gesorgt werden muss, dass keine Gegenstände im Weg stehen. Es ist somit bereits im Voraus klar, dass ein normgerechter Prüfstand mit allen Komponenten hintereinander nicht in den Laborraum passen wird. Hier muss beim Konzept ein Kompromiss zwischen Norm und dem zur Verfügung stehenden Platz getroffen werden. Generell sollte der Platz jedoch für einen Ventilatorenprüfstand ausreichen, welcher Ventilatorengrößen von bis zu 500 mm prüfen kann. Hierzu sollten die Messebenen bis zu einem Volumenstrom von 10.000 m³/h mit möglichst hoher Messgenauigkeit arbeiten.

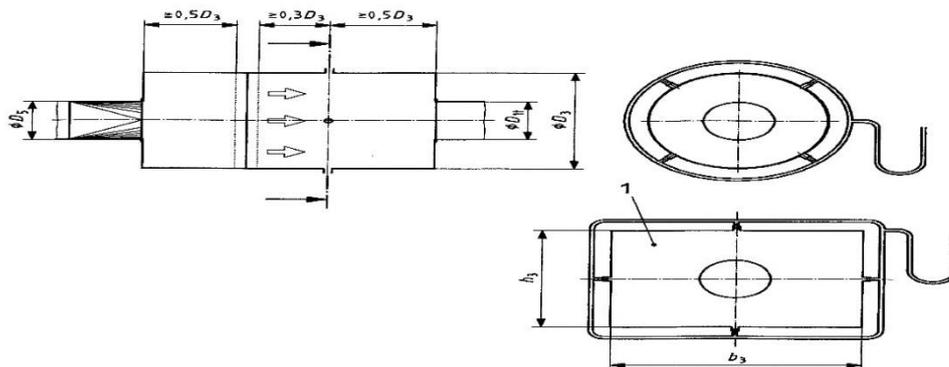
2. Konstruktiver Entwurf

2.1 Messkammer

Die Messkammer ist, wie bereits erwähnt, die wichtigste Komponente eines Kammerprüfstands und wird in diesem Abschnitt der Arbeit im Detail diskutiert. „Sie sollte dem Ansaugen aus dem freien Raum entsprechen und eine gleichmäßige Zuströmung zum Prüfventilator sicherstellen“ (DIN 24163 Teil 3, S.8). Ihr Querschnitt kann rund, quadratisch oder rechteckig sein. Die Länge sollte zur Aufnahme jedes zu prüfenden Ventilators ausreichen, ohne dabei von den im Abschnitt 2.1 aufgezeigten Mindestabständen abzuweichen (ISO 5801, S.126). Die Hauptteile der Messkammer sind die Druckmessebene und die Brems- und Gleichrichtvorrichtung. Um die Herstellbarkeit an der Hochschule zu gewährleisten und um die Kosten so gering wie möglich zu halten, wird in dieser Arbeit eine Machbarkeit aus Holz untersucht.

2.1.1 Abmessungen der Prüfkammer

Die Abmessungen der Messkammer sind in der nachfolgenden Abbildung aufgezeigt. Alle Maße orientieren sich am Durchmesser des Prüfventilators. Das heißt, je größer der zu prüfende Ventilator, desto größer muss auch der Prüfstand sein. Wie bereits im Abschnitt 1.3 erwähnt, wurde sich darauf geeinigt, den Prüfstand für Ventilatoren bis zu einer Größe von 500 mm zu bauen.



Legende

1 Dieses Bild zeigt eine rechteckige Kammer

ANMERKUNG 1 Durchmesser der Kammer $D_3 \geq 2,5D_{1t}$

ANMERKUNG 2 Äquivalenter Kammerdurchmesser $D_3 = \sqrt{h_3 b_3} \geq 2,5D_{1t}$

ANMERKUNG 3 $h_3 \text{ min. } \geq 2D_{1t}$

ANMERKUNG 4 $h_3 \text{ max. } \geq 1,6h_3$

Abbildung 2.1: Maße der saugseitigen Prüfkammer (ISO 5801, S.128)

Die inneren Abmessungen der quadratischen Kammer für die Hochschule Merseburg betragen wie folgt:

Breite b: 1250 mm

Höhe H: 1250 mm

Länge A: 2000 mm.

Mit der Breite und Höhe werden um Platz zu sparen gerade die Mindestmaße genutzt. Die Länge hingegen lässt ein wenig Spielraum für den Einbau der ersten Lochplatte, um eine gleichmäßige Strömung im Bereich der Druckmessung zu gewährleisten.

2.1.2 Materialauslegung

Die Anforderungen an das Material sind hoch. Es muss der Druckbelastung standhalten, eine glatte Oberfläche haben und eine druckdichte Verbindung zulassen. Weitere Anforderungen, wie die Verarbeitbarkeit mit Hochschul-Mitteln und möglichst geringe Kosten, bringen Holz als Werkstoff in den Hauptfokus. In Absprache mit einem Holzlieferanten und einem Tischlereibetrieb fiel die Wahl auf Multiplex-Sperrholz. Dieses besondere „Hightech-Holz“ besteht aus Furnierlagen¹ der gleichen dicke. Sie bestehen zumeist aus Buche, Birke, Fichte oder Ahorn mit Dicken von 0,8 mm bis 2,5 mm. Die Lagen werden mit wasserfestem Leim als Bindemittel gepresst und gegeneinander querverleimt, das heißt, die Furnierlagen werden kreuzweise um 90° versetzt verleimt (Teutoburger Sperrholz GmbH, Produktbroschüre Multiplex). Dieses Verfahren sorgt dafür, dass die Platten eine hohe Steifigkeit gegen Biegung bekommen. Die herausragenden mechanischen Eigenschaften von Multiplex werden durch keinen anderen Holzwerkstoff erreicht, weshalb es der einzige Holzwerkstoff ist, mit dem sich eine Prüfkammer realisieren lässt.



Abbildung 2.2: Multiplexplatte (Müller Holzgroßhandel, Produktbild)

¹ „Bei Furnier handelt es sich um dünne Blätter aus Holz (0,3 mm bis 6 mm), die durch Sägen, Messerschnitt oder Schälern vom Stamm abgetrennt werden.“ (www.furnier.de, Januar 2015)

Wie in Abbildung 2.2 zu sehen ist, gibt es Multiplex mit verschiedensten Decklagen. Diese werden mit farbigen Melaminharz getränkt, welches für eine sehr glatte Oberfläche sorgt. Im folgenden Bild sind die mechanischen Eigenschaften von Multiplex im Vergleich zu normalen Sperrholz aufgezeigt.

	Sperrholz (Schichtholz)	Multiplex-Sperrholz mit und ohne Außenbehandlung
Spezifisches Gewicht g/cm ³	0,75-0,80	0,78-0,88
E-Modul Biegung (Last I zur Plattenebene) N/mm ²	6500-14000	9000-16000
Schub-Modul (Last I zur Plattenebene) N/mm ²	400-450	600-800
Biegefestigkeit (Last I zur Plattenebene) N/mm ²	30-140	30-160
Druckfestigkeit (Last II zur Plattenebene) N/mm ²	25-36	30-35
Oberflächenhärte (Brinell) N/mm ²	0,2-0,5	0,3-0,6
Scherfestigkeit der Leimfugen N/mm ²	2-4	2-4

Abbildung 2.3: Mechanische Eigenschaften von Multiplex (Teutoburger Sperrholz GmbH, Produktdatenblatt Multiplex)

Mit diesen mechanischen Eigenschaften von Multiplex ist es nun möglich, die benötigte Plattendicke zu berechnen. Da ein Druck gleichmäßig und senkrecht auf alle Flächen wirkt, wird für die Auslegung eine Platte betrachtet. Die Berechnungen stammen aus dem Bereich der Flächentragwerke, genauer aus der Plattenberechnung.

Gleichmäßig belastete Platte

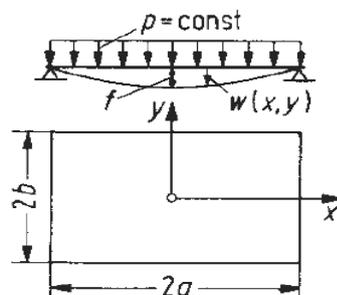


Abbildung 2.4: Rechteckplatte (Dubbel, S.C34)

Für die Berechnung werden die Beiwerte c_1 bis c_5 benötigt. Diese sind abhängig von den Plattenmaßen a und b .

a/b	Gelenkig gelagerte Platte				Ringsum eingespannte Platte			
	c_1	c_2	c_3	c_4	c_1	c_2	c_3	c_5
1,0	1,15	1,15	0,71	0,26	0,53	0,53	0,225	1,24
1,5	1,20	1,95	1,35	0,34	0,48	0,88	0,394	1,82
2,0	1,11	2,44	1,77	0,37	0,31	0,94	0,431	1,92
3,0	0,97	2,85	2,14	0,37	-	-	-	-
4,0	0,92	2,96	2,24	0,38	-	-	-	-
∞	0,90	3,00	2,28	0,38	0,30	1,00	0,455	2,00

Abbildung 2.5: Beiwert zur Plattenberechnung (Dubbel, S.C34)

Wie im vorstehenden Bild zu sehen, werden die Beiwerte nach zwei Kategorien bestimmt. Da die Platten in verbauter Form außen miteinander verschraubt werden, ist die Spalte der ringsum eingespannten Platten für diese Berechnung von Bedeutung. Zunächst muss das Größenverhältnis A/b bestimmt werden.

$$\frac{A}{b} = \frac{2000 \text{ mm}}{1250 \text{ mm}} = 1,6$$

Formel 1: Größenverhältnis a/b

Mit diesem Größenverhältnis erhält man über eine lineare Interpolation zwischen den Tabellenwerten 1,5 und 2,0 für die Beiwerte folgende Größen:

$$c_1 = 0,446 \quad c_2 = 0,892 \quad c_3 = 0,401 \quad c_5 = 1,84.$$

Die maximalen Spannungen und Durchbiegungen treten in der Plattenmitte auf und werden mit den nachfolgenden Formeln berechnet.

$$\sigma_x = \frac{c_1 p b^2}{h^2}$$

Formel 2: Spannung Plattenmitte x -Richtung (Dubbel, S.C34)

$$\sigma_y = \frac{c_2 p b^2}{h^2}$$

Formel 3: Spannung Plattenmitte y-Richtung (Dubbel, S.C34)

$$f_{max} = \frac{c_3 p b^4}{E h^3}$$

Formel 4: Durchbiegung in Plattenmitte (Dubbel, S.C34)

Die größten Biegespannungen treten in der Mitte des langen Randes auf und werden wie folgt berechnet.

$$\sigma_{ymax} = \frac{c_5 p b^2}{h^2}$$

Formel 5: Maximale Spannung in y-Richtung (Dubbel, S.C34)

$$\sigma_{xmax} = 0,3 \cdot \sigma_{ymax}$$

Formel 6: Maximale Spannung in x-Richtung (Dubbel, S.C34)

Anhand von Formel 5, welche die maximal auftretenden Spannungen beschreibt, lässt sich die mindestens benötigte Plattendicke bestimmen. Hierfür wird der in Abbildung 2.3 zu findende Festigkeitswert von 30 N/mm² als σ_{ymax} eingesetzt. Wird die Formel 5 nach der Plattendicke h umgestellt, so erhält man:

$$h = \sqrt{\frac{c_5 p b^2}{\sigma_{ymax}}}$$

Da der Druck in der Kammer vom Prüfventilator erzeugt wird, muss für den Druck eine Annahme getroffen werden. Mit Hilfe von verschiedenen Datenblättern von Ventilatoren wurde ein Wert von 2000 Pa ermittelt. Werden nun alle vorhanden Größen eingesetzt, ergibt sich für die Mindeststärke des Materials folgende Gleichung:

$$h = \sqrt{\frac{1,84 \cdot 0,002 \frac{N}{mm^2} \cdot 1250^2 mm^2}{30 \frac{N}{mm^2}}} = 13,84 mm$$

Die nächst größere verfügbare Plattenstärke beträgt 15 mm. Um jedoch spezielle Gewindeeinsätze nutzen zu können und die Dichtflächen größer zu machen wird eine Plattenstärke von

30 mm bevorzugt. Es entsteht somit eine Sicherheit von 2,16. Der Prüfstand sollte also auch höhere Drücke aushalten. Die maximale Verformung der Platte beträgt im Mittelpunkt 8 mm.

2.1.3 Verbindungstechnik

Die Verbindung der Platten stellt die größte Aufgabe dar, da die Verbindung möglichst so aufgebaut sein muss, dass sie mit steigenden Unterdrücken immer dichter wird. Eine Leckage muss natürlich bei einem Prüfstand ausgeschlossen werden. Es gibt verschiedenste Holzverbindungen, die sich in der Holztechnik bewährt haben. In diesem Abschnitt werden verschiedene Plattenverbindungen vorgestellt und eine favorisierte Auswahl getroffen. Grundsätzlich unterscheidet man geschraubte/genagelte, gedübelte und gefederte Eckverbindungen.

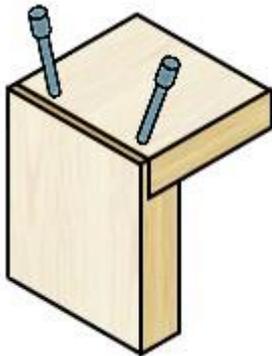


Abbildung 2.6: Ausgefälzte Nagelung/Verschraubung
(www.baumarkt.de, Januar 2015)

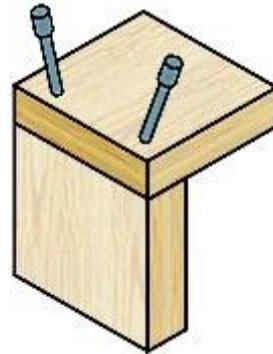


Abbildung 2.7: Stumpfe Nagelung/Verschraubung
(www.baumarkt.de, Januar 2015)

Die vorstehend gezeigten Schraub-/Nagelverbindungen stellen die einfachste Art der Plattenverbindungen dar. Ihr Vorteil besteht in der einfachen Umsetzung, welches ein Hauptparameter für den Bau des Prüfstandes ist. Im Hinblick auf die Dichtheit ist diese Art der Verbindung jedoch nicht sonderlich gut geeignet, da höhere Unterdrücke und einhergehende Materialverformungen zu Leckagen führen können. Die nachfolgend zu sehenden Dübelverbindungen eignen sich ebenfalls nur bedingt für den Prüfstand, da auch bei dieser Verbindung eine vollkommene Leckagefreiheit nicht gewährleistet werden kann und Dichtmaterialien sehr einfach in die Kammer hinein gezogen werden könnten.

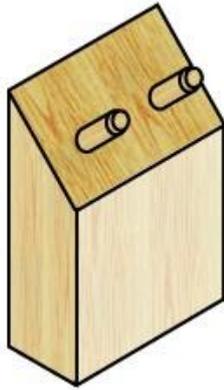


Abbildung 2.8: Gedübelte Gehrungsverbinding
(www.baumarkt.de, Januar 2015)

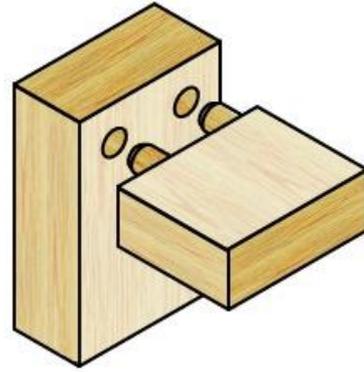


Abbildung 2.9: Gedübelte Eckverbinding, stumpfe Ecken
(www.baumarkt.de, Januar 2015)

Die wohl am besten geeigneten Verbindungen sind die Federverbindungen. Durch ihren Aufbau erzeugt man mehrere Dichtflächen, die eine Leckage verhindern. In den Abbildungen 2.10/2.11 sind zwei Federverbindungen mit eingesetzten Federn zu sehen.

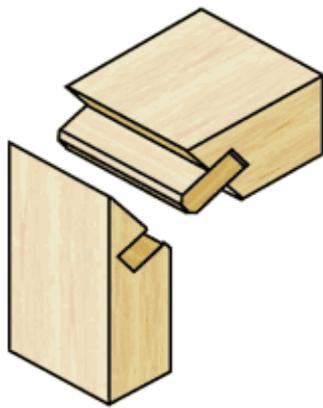


Abbildung 2.10: Gehrungsschnitt, eingesetzte Feder
(www.baumarkt.de, Januar 2015)

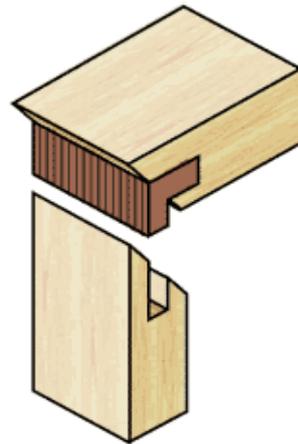


Abbildung 2.11: Gehrungsschnitt, eingesetzte Winkelfeder
(www.baumarkt.de, Januar 2015)

Die einfachste Nut-Federverbinding ist in der nachfolgenden Abbildung zu sehen. Sie erzeugt mehrere Flächen, die sich für die Abdichtung eignen und ist sehr einfach, auch von Hand, zu fertigen.

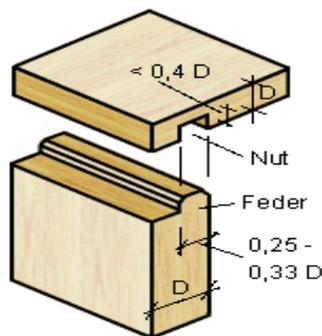


Abbildung 2.12: gefederte Außenecke
(www.baumarkt.de, Januar 2015)

Die Vorteile dieser Verbindung überwiegen, weshalb sie favorisiert für den Bau der Prüfkammer eingesetzt werden soll. Wie im Bild zu sehen ist, gibt es Vorschlagsabmessungen für die Feder und Nut. Bei einem Materialeinsatz von 30 mm Multiplex, sollte die Feder Abmessungen von 10 mm mal 10 mm haben.

2.1.4 Dichtungssystem der Prüfkammer

Um die Leckage gegen Null gehen zu lassen, ist es notwendig, einen geeigneten Dichtstoff für die Wandverbindungen der Prüfkammer zu finden. Die Hauptforderung an den Dichtstoff ist die möglichst vollkommene Anpassung an makroskopische und mikroskopische Unebenheiten der abzudichtenden Bauteile. Dichtungen werden generell in zwei Kategorien unterteilt, die berührenden und berührungslosen Dichtungen. Eine berührungslose Dichtung macht für den Anwendungsfall Prüfkammer wenig Sinn.

In diesem Abschnitt werden die berührenden Dichtungen näher betrachtet. Es wird zwischen statischen und dynamischen Dichtungen unterschieden. Während bei statischen Dichtungen die Dichtelemente keine Relativbewegung zueinander ausführen, müssen dynamische Dichtungen eine Relativbewegung in translatorischer bzw. in rotatorischer Richtung aushalten. Als statische Dichtungen stehen Flachdichtungen, Profildichtungen, stoffschlüssige Dichtungen und Dichtmassen zur Verfügung. Flachdichtungen werden für ebene Flächen eingesetzt und können verschiedenste Ausführungsformen haben. Profildichtungen finden vor allem Anwendung bei hohen Drücken. Sie weisen unterschiedlichste Formen auf, die wohl bekannteste Form ist der „O-Ring“. Die Dichtungen können aus Metall oder Weichstoffen bestehen.

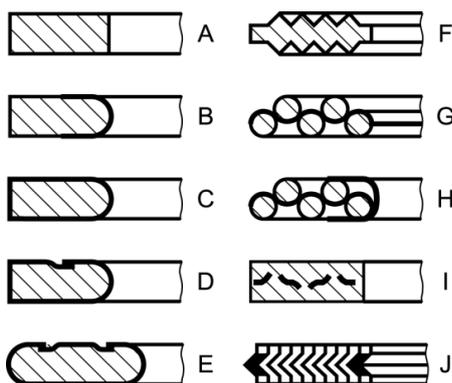


Abbildung 2.13: Flachdichtungen (Haas, S.7)

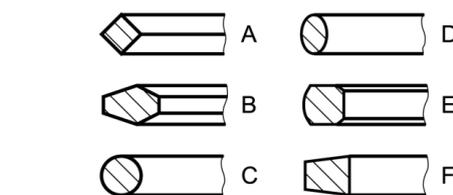


Abbildung 2.14: Profildichtungen, Metall (Haas, S.8)

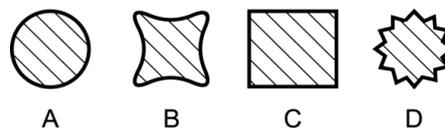


Abbildung 2.15: Profildichtungen, Weichstoff (Haas, S.11)

Verfahren, wie das Kleben, Schweißen oder Löten gehören zu denen, welche eine stoffschlüssige Dichtung als Ergebnis haben. Wenn möglich, sollten diese Verfahren favorisiert werden, da sie die höchste Dichtheit gewährleisten. Der größte Nachteil der genannten Verfahren ist hingegen, dass eine untrennbare Verbindung hergestellt wird. Abhilfe können hier die Dichtmassen schaffen. Sie werden meist flüssig verarbeitet und haften an den Dichtflächen. Vertreter sind zum Beispiel Silikone, Polyurethane oder Polysulfide. Diese Dichtmassen bieten den entscheidenden Vorteil, dass sie sich allen Formen und Oberflächen problemlos anpassen und nach Aushärtung trotzdem elastisch bleiben.

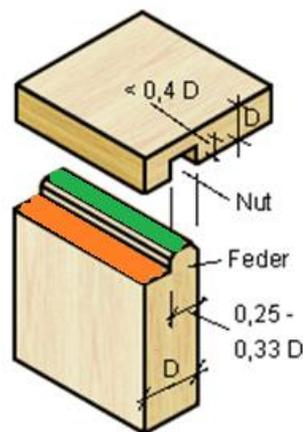


Abbildung 2.16: Dichtflächen der Verbindung

Für die Abdichtung der Prüfkammer werden zwei Dichtflächen genutzt, um die Möglichkeit einer Leckage noch weiter zu minimieren. Der Primärdichtbereich (grün) und der Sekundärdichtbereich (orange). Der Sekundärdichtbereich wird auch für die Verschraubung genutzt, welche die Verbindung somit komplettiert. Der favorisierte Dichtstoff ist Silikon. Er wird im Kapitel „Versuch“ näher auf seine Verwendbarkeit untersucht. Die zuvor geplante Abnehmbarkeit einer Seite der Kammer wurde wieder verworfen. Hier hätte ein Dichtband aus der Lüftungstechnik, welches auch bei den Kanalteilen verwendet wird, für die Abdichtung gesorgt. Diese Dichtbänder bestehen aus Polyäthylen-Schaumstoff mit geschlossenen Poren und sind auf einer Seite selbstklebend. Die Form der gewählten Verbindung sorgt bei steigenden Unterdrücken dafür, dass die Dichtflächen eine gleichbleibende Abdichtung gewährleisten können.

2.1.5 Verschraubung

Um die Feder-Nut-Verbindung zu verstärken wird sie zusätzlich verschraubt. Die Verschraubung erfolgt im orangenen Bereich, welcher in Abbildung 2.16 zu sehen ist. Die Firma „Spax“ bietet für Multiplexplatten der Stärke 30 mm die Schraube „T-Star Plus“ an. Das ist eine Holzbauschraube, welche ein Teilgewinde aufweist. Dieses Teilgewinde wird benötigt, um die Platten spaltfrei miteinander verbinden zu können. Da auf die Verbindung nur geringe Kräfte wirken, dienen die Schrauben der Lagestabilisierung und der Aufbringung der Dichtkraft. Die ausgewählte Schraube hat die folgenden Abmessungen:

$L_S = 60 \text{ mm}$, $d_1 = 5 \text{ mm}$, $L_{gT} = 37 \text{ mm}$ und $d_K = 9,7 \text{ mm}$.

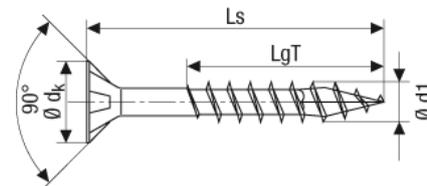


Abbildung 2.17: Abmessung Holzschraube (Spax-Produktblatt)

Multiplex ist ein sehr hartes Material, um ein Aufplatzen der Platten zu verhindern, muss mit einem Bohrungsdurchmesser von 3,5 mm vorgebohrt werden. Die Schrauben werden mit einem Abstand von ca. 50 mm mittig entlang der zuvor erwähnten orangenen Fläche gesetzt. Um zum Beispiel die Lochplatte zu wechseln, können die großen Öffnungen für Ventilatorplatte oder Drosselklappe genutzt werden. Da eine Holzschraube nur bedingt für das mehrmalige Lösen und Anziehen der Verbindung zwischen Messkammer und Drosselement geeignet ist, sollen Gewindeeinsätze verwendet werden. Diese Einsätze werden in die Platte geschraubt und ermöglichen so die Nutzung von herkömmlichen Sechskantschrauben mit metrischen Gewinde. Sie bestehen aus verzinktem Stahl und ermöglichen Gewindegrößen von M3 bis M16. Die ausgewählten Einsätze der Größe M6 haben nach DIN 7965 einen Außengewindedurchmesser und eine Länge von jeweils 12 mm. Die Bohrung für die Gewindeeinsätze sollte eine Größe von 9 mm bis 10,5 mm haben. Diese Einsätze sollen für eine lösbare Verschraubung der Drosselklappe mit der Messkammer sorgen.

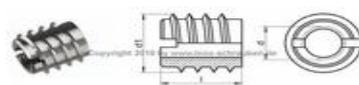


Abbildung 2.18: Gewindeeinsatz für Holz
(Inox-Schrauben Produktkatalog)

2.1.6 Raster für die Strömungsberuhigung

Für die Strömungsberuhigung und Vergleichmäßigung in der Messkammer ist es notwendig Raster einzubauen, die nach dem Eintritt in die Kammer für eine gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung vor der Druckmessung sorgen. Es können alle Kombinationen von Sieben oder perforierten Blechen angewendet werden, welche einen Abstand von $0,1D_{\text{hydraulisch}}$ und aufeinander folgende freie Flächen von 60 %, 50 % und 45 % haben (ISO 5801, S.130). Diese Lochplatten werden 625 mm hinter dem Kammereintritt angebracht. Der Lochdurchmesser d_7 sollte hierbei zwischen 3 mm und $D_5/200$ mm ($1250/200 = 6,25$ mm) liegen. Der Versperrungsfaktor Φ_7 sollte zwischen 0,3 und 0,4 sein (DIN 24163 Teil 2, S.15).

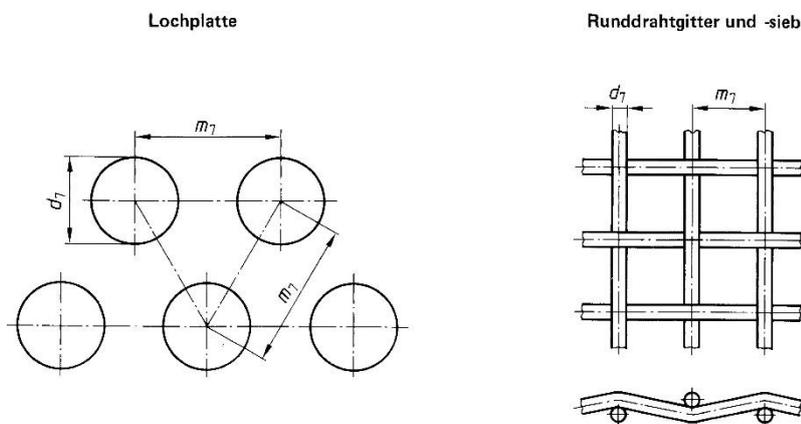


Abbildung 2.19: Raster zur Strömungsberuhigung (DIN 24163 Teil 2, S.15)

Der Versperrungsfaktor der Lochplatte berechnet sich wie folgt.

$$\Phi_{7\text{Lochplatte}} = 1 - \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot \left(\frac{d_7}{m_7}\right)^2$$

Formel 7: Versperrungsfaktor (DIN 24163 Teil 2, S.15)

Die Auswahl der Lochplatte ergab eine Platte mit dem Lochdurchmesser $d_7 = 3,8$ mm und dem Lochabstand $m_7 = 4,5$ mm. Der Versperrungsfaktor Φ_7 der Platte beträgt somit 0,353 und liegt im Mittel des vorgegebenen Bereichs. Die freie Fläche der Platte ist 65,29 % und liegt damit etwas höher als der in der Norm genannte Wert von 60%. Um diesen Wert jedoch trotzdem einzuhalten, wurde eine Platte mit dem Lochdurchmesser $d_7 = 4,1$ mm und dem Lochabstand $m_7 = 5$ mm ausgewählt. Der errechnete Versperrungsfaktor Φ_7 dieser Platte liegt mit 0,39 im oberen Bereich, die freie Fläche ist mit 60,98 % aber fast der geforderte Wert. Die Norm DIN 24163 gibt vor, nach der Lochplatte zwei Runddrahtsiebe zu verwenden. Die ISO 5801

empfiehlt drei Raster gleicher Art zu verwenden, welche die bereits erwähnten freien Flächen aufweisen. Eine Kombination aus beiden Arten ist zulässig. Um jedoch bei einem Hersteller bestellen zu können, wurden zwei weitere Lochbleche der Art Rv 6-8 und Rv 10-14 ausgewählt. Diese haben freie Flächen von 51,01 % und 46,27 % und sollten eine gleichmäßige Verteilung der Luft in der Messkammer garantieren. Der Abstand der Platten beträgt ein Zehntel des hydraulischen Durchmessers, welcher der Breite b des quadratischen Kammerquerschnittes entspricht. In Zahlen ausgedrückt ist das ein Lochblechabstand von 125 mm.

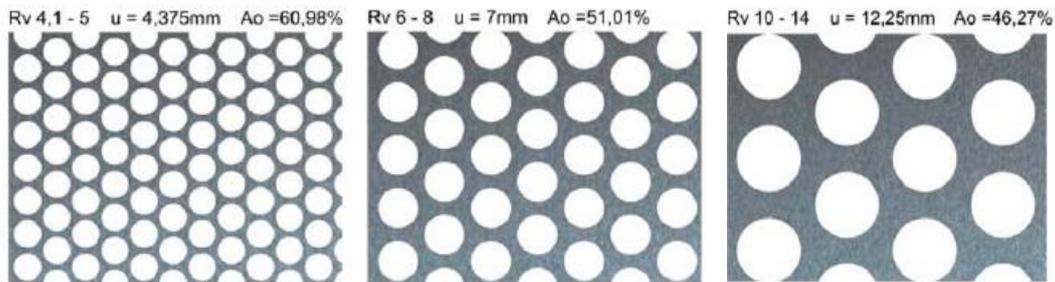


Abbildung 2.20: Lochbleche (www.Locheblech.de, Katalog S.9)

Die Platten werden in der Messkammer entweder durch abgekantete Seiten oder angeschweißte Blechnasen fest verschraubt. Ein Flattern der Platten während des Betriebs wird so vermieden. Ihre Stärke sollte 1 mm bis 2 mm betragen, um der Luftströmung genügend Festigkeit entgegen bringen zu können.

2.2 Regeleinrichtung

Die Regeleinrichtung sorgt für eine stetige, gleichmäßige Regelung des Volumenstroms und dient der Steuerung des Arbeitspunktes des Ventilators. Die Regeleinrichtung besteht aus einem Drosselement und einem Hilfsventilator.

2.2.1 Drosselement

Wie bereits erwähnt, dient das Drosselement der Steuerung des Arbeitspunktes und wird direkt hinter der Messkammer angebracht. Die Drossel sollte keine schwingenden Bauteile und bei voller Öffnung einen möglichst geringen Eigenwiderstand haben. Es wird zwischen den drei Arten Sieb-, Lochblechdrossel und Klappendrossel unterschieden. Bei Sieb- bzw. Lochblechdrosseln werden je zwei Elemente in einem Führungsgehäuse verbaut, sodass immer ein Sieb/Lochblech gegen das andere fein einstellbar bewegt werden kann. Somit werden die Löcher/Maschen unterschiedlich weit „geöffnet“. Bei einer gegenläufigen Klappendrossel geben die einzelnen Klappen durch Verdrehung unterschiedlich große Strömungsflächen frei.

Dem Prüfstand der Hochschule Merseburg steht aus alten Beständen eine Klappendrossel mit elektrischem Stellantrieb zur Verfügung. Die Abmessungen der Drossel sind 1000 mm mal 800 mm. Sie besitzt fünf Klappen und ist, wie bereits erwähnt, mit einem elektrischen Stellantrieb ausgestattet. Dieser ist von der Firma „Siemens“ mit der Typenbezeichnung GBB331.1E und ermöglicht es, den Prüfstand rechnergestützt zu steuern. Die technischen Daten, ein Plan zur elektrischen Verschaltung und das Maßbild des Motors sind in der Anlage 2 zu finden. Die Klappendrossel wird symmetrisch an die Messkammer mittels der genannten Gewindeeinsätze geschraubt und durch Dichtband abgedichtet. Das Verbindungsprofil der Drossel hat eine Breite von 35 mm und bietet somit genügend Platz für eine M6-Sechskantschraube mit Unterlegscheibe. Es werden 18, gleichmäßig über den Umfang verteilte, Schrauben verwendet.

2.2.2 Hilfsventilator

Der Hilfsventilator eines Ventilatoren-Belastungsprüfstands gleicht den von den Prüfstandsteilen erzeugten Druckverlust aus. Die Drehzahl und somit auch die Leistung des Hilfsventilators werden mittels eines Frequenzumrichters dem jeweiligen Volumenstrom angepasst. Für das Prüfstands-Konzept der Hochschule Merseburg sollten zwei Varianten von Hilfsventilatoren untersucht werden. Zum einen ein herkömmlicher Ventilator mit mittlerer Leistung und zum anderen die Nutzbarkeit eines bereits vorhandenen Ventilators. Der verwendete Hilfsventilator gibt die Dimensionierung der Volumenstrommesseinrichtung vor. Um die hohen Drücke erreichen zu können, bieten sich für diese Zwecke nur Radialventilatoren an. Es sollte jedoch versucht werden, einen Axialventilator zu nutzen.

Variante 1:

Als Variante 1 wird der bereits vorhandene Ventilator benutzt. Es ist ein Axialventilator der Firma Gebhardt mit der Modellbezeichnung AQA61-500-4D. Er hat eine Leistung von 600 W und schafft einen maximalen Druck von 240 Pa bei 400 Volt-Verschaltung. Das Gewicht beträgt 18 Kg.

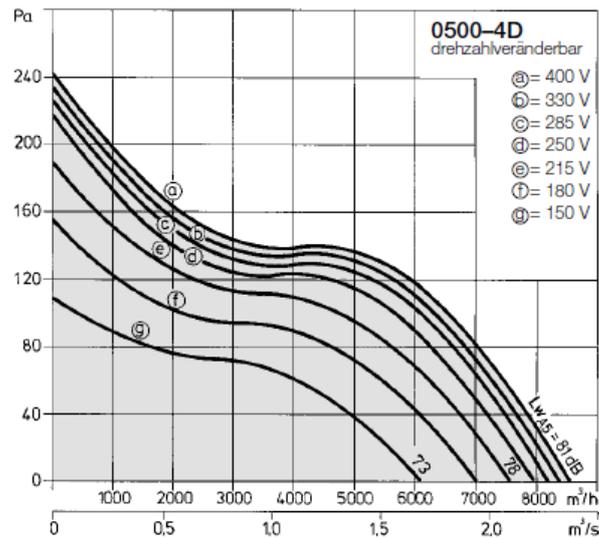


Abbildung 2.21: Kennlinie AQA61-500-4D (Datenblatt Gebhardt Ventilatoren)

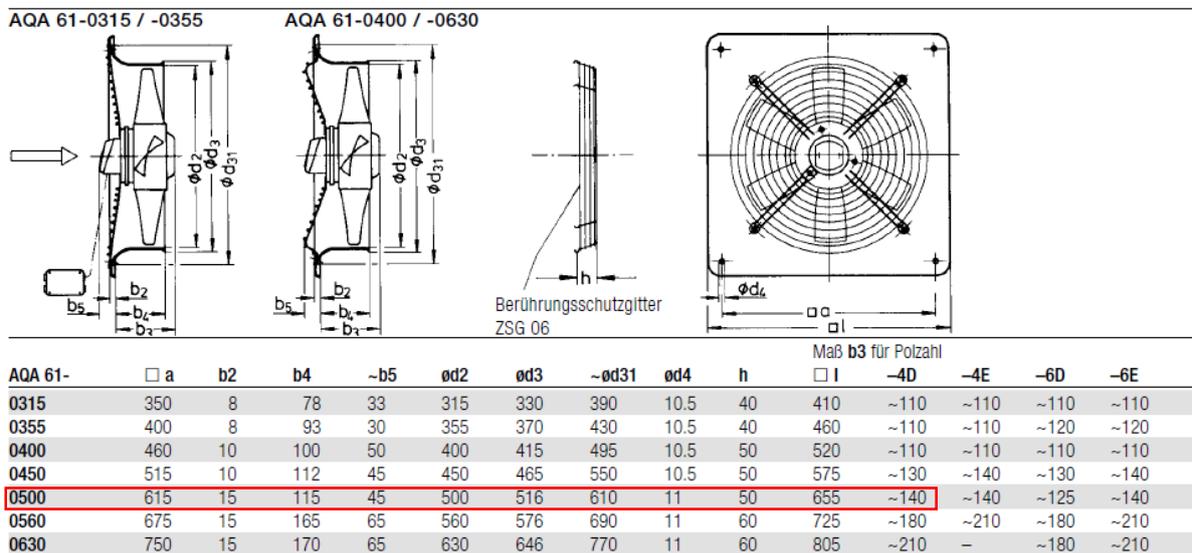


Abbildung 2.22: Abmessungen AQA61-500-4D (Datenblatt Gebhardt Ventilatoren)

Variante 2:

Die zweite Variante wäre ein einseitig saugendes Laufrad von der Firma Nicotra-Gebhardt vom Typ RLE E6-4550-EC-06/M6. Es ist in einem einbaufertigen Modul verbaut, welches in Abbildung 2.23 zu sehen ist.

Technische Daten:

Gewicht | 47 kg
 Leistung | 2 kW
 Schalleistungspegel | 80 dB
 Drehzahl | 1700 1/min



Abbildung 2.23: RLE E6-4550-EC-06/M6 (Nicotra-Gebhardt, Katalog RLE, S.22-23)

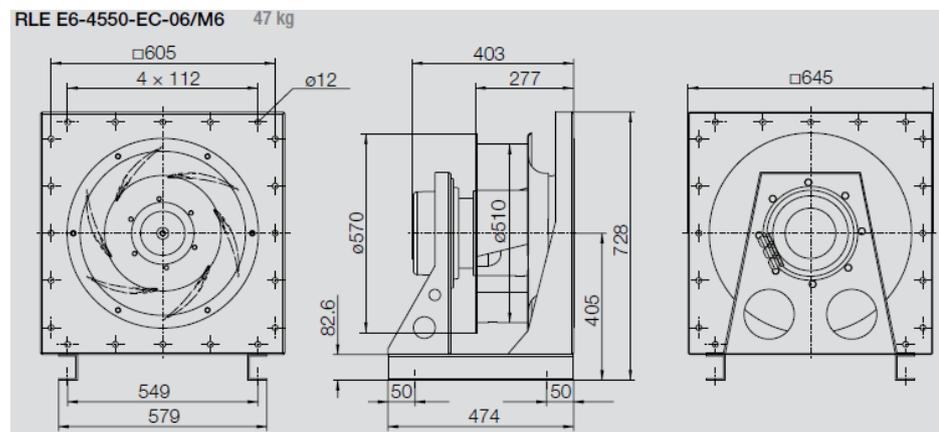


Abbildung 2.24: RLE E6-4550-EC-06/M6 Abmessungen (Katalog RLE, S.23)

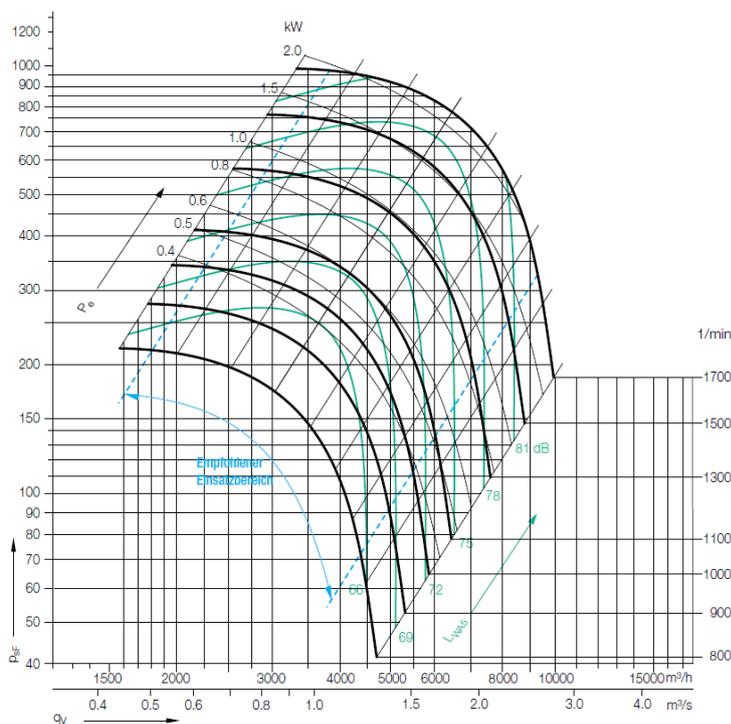


Abbildung 2.25: Kennfeld RLE E6-4550-EC-06/M6 (RLE Katalog, S.22)

2.2.3 Strömungsgleichrichter

Da die Strömung nach dem Hilfsventilator mit Drall behaftet ist und die Energie des Dralls nur teilweise in geraden Leitungen zurückgewonnen werden kann, ist es notwendig Strömungsgleichrichter einzusetzen, welche den Drall zu einer gleichförmigen Strömung umwandeln. Laut ISO 5801 dürfen zu diesem Zweck zwei Arten von Gleichrichtern verwendet werden. Der AMCA-Zellengleichrichter, verhindert das Anwachsen des Dralls, verbessert aber keine asymmetrischen Geschwindigkeitsverteilungen. Diese Vorrichtung hat einen sehr geringen Druckverlust und besteht aus einem Gitternetz an Zellen mit gleichem Querschnitt, von denen jede die Breite $w \approx 0,075D_4$ und die Länge $L \approx 0,45D_4$ hat. Die Dicke der Leitschaufeln e darf $0,005D_4$ nicht überschreiten (ISO 5801, S.114). Der sternförmige Gleichrichter hat größten Teils die gleichen Eigenschaften wie der AMCA-Zellengleichrichter. Durch ihn wird der statische Druck radial ausgeglichen und die Herstellung ist deutlich einfacher. Er besteht aus acht radialen Blechen mit einer Länge von $2D_4$ und einer Blechdicke unter $0,007D_4$. Dieser Gleichrichter wird in Rohrleitungen bevorzugt. Ist jedoch im geplanten rechteckigen Kanalquerschnitt nicht umzusetzen.

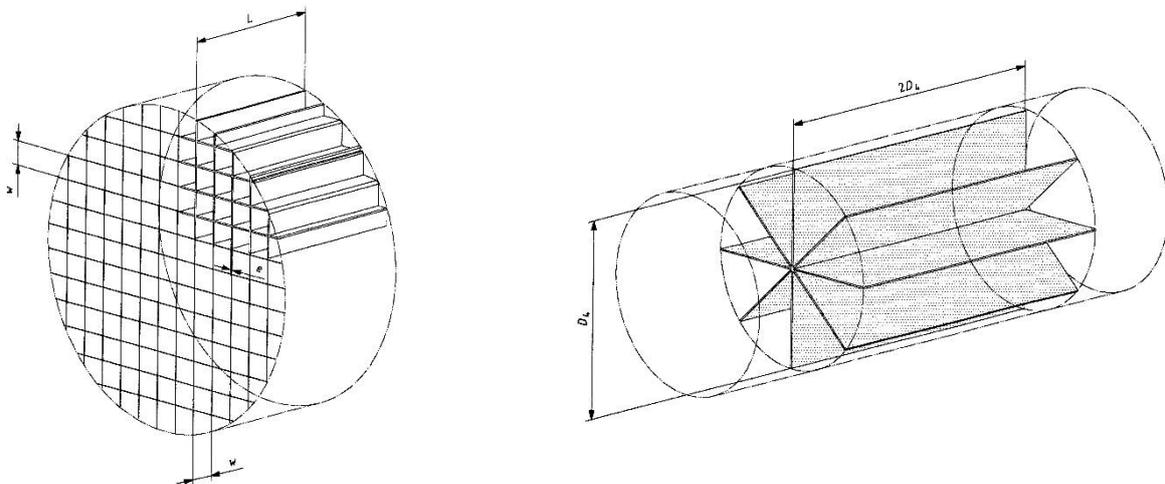


Abbildung 2.26: AMCA-Zellengleichrichter und sternförmiger Strömungsgleichrichter (ISO 5801, S.115-116)

Die Herstellung des AMCA-Zellengleichrichters für den Prüfstand der Hochschule kann in Handarbeit erfolgen. Benötigt werden ein Trennschneider mit 2 mm Trennscheibe und Kunststoffplatten mit 2 mm Stärke. Die Fertigungszeichnungen hierfür sind in Anlage 1 zu finden. Der Gleichrichter sollte aus Kunststoff gefertigt werden, weil er aus Blech zu schwer wäre.

2.3 Luftführung

Die Luftführung von der Volumenstrommessstrecke zur Messkammer soll in rechteckigen Kanälen erfolgen. Ihr Querschnitt wird vom Drossel-Querschnitt vorgegeben und beträgt somit 1000 mm mal 800 mm. Für die Luftführung bestand die Überlegung, sie wie die Messkammer aus Multiplex zu fertigen. Da für die Längen jede Menge Material benötigt würde und das Problem der Dichtheit bei diesen Kanälen ziemlich groß wäre, wurde entschieden, genormte Kanäle aus der Lüftungstechnik zu verwenden. In der Norm DIN EN 1507 sind Informationen zur Festigkeit und Dichtheit gegeben. Laut Norm wird zwischen vier Dichtheitsklassen unterschieden, der Klasse A bis D. Für einen Prüfstand kommt natürlich nur die Dichtheitsklasse D in Frage, um eine exakte Volumenstrommessung garantieren zu können. In der nachfolgenden Abbildung sind die Grenzwerte für die Dichtheit und Druckklassifizierung dargestellt. Bessere Werte werden von den Herstellern produktspezifisch angegeben.

Luftdicht- heitsklasse	Grenzwert des Leckluftvolumenstroms (f_{max}) $m^2 \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$	Grenzwert des statischen Druckes (p_s)			
		Negativ für alle Druck- klassen	Pa		
			Positiv bei Druckklasse		
			1	2	3
A	$0,027 \times p_{test}^{0,65} \times 10^{-3}$	200	400	1000	2000
B	$0,009 \times p_{test}^{0,65} \times 10^{-3}$	500	400	1000	2000
C	$0,003 \times p_{test}^{0,65} \times 10^{-3}$	750	400	1000	2000
D	$0,001 \times p_{test}^{0,65} \times 10^{-3}$	750	400	1000	2000

Abbildung 2.27: Grenzwerte Dichtheit, Druckklassifizierung Rechteckkanal (DIN EN 1507)

Geschweißte Kanäle der Dichtheitsklasse D werden von den meisten Herstellern zur Verfügung gestellt, welche in den Nennmaßen nach DIN EN 1505 bzw. auf Anfrage auch in abweichenden Größen geliefert werden können. Der bereits erwähnte Querschnitt von 1000 mm mal 800 mm ist ein Standardmaß nach DIN EN 1505, weshalb eine Kombination von verschiedenen Herstellern kein Problem darstellt. Der Hersteller „BerlinerLuft Technik GmbH“ gibt für diesen Kanalquerschnitt im Hochdruckbereich (geschweißt, Druck bis -2000 Pa) eine Blechdicke von 2 mm vor. Die Verbindung der Kanäle erfolgt über einen angeformten Rahmen, welcher die Verschraubung miteinander ermöglicht. Es sollte bei dieser Kanalgröße ein 30er-Profil verwendet werden. Der Rahmen wird vom Hersteller mit der Standardlochung, im Abstand von 125 mm zueinander, versehen.

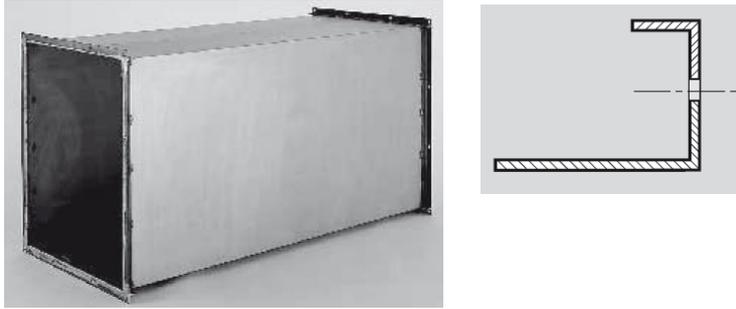


Abbildung 2.28: Rechteckkanal geschweißt mit angeformten Rahmen
(BerlinerLuft GmbH, Produktblatt Schweißkanal)

3. Messebenen

3.1 Volumenstrommessebene

Die Bestimmung der Durchflussrate kann mit vielen verschiedenen Methoden und Geräten erfolgen. Laut Norm ISO 5801 sind jedoch nur vier Verfahren zulässig. Die Methoden sind: die Messung mit Mehrfachdüsen in der Prüfkammer, die Messung mit konischem oder trichterförmigem Eintritt, die Messung mit einer Messblende und die Netzmessung mit Staudrucksonden. In diesem Kapitel der Arbeit werden die zwei interessantesten Methoden in Bezug auf die möglichen Hilfsventilatoren beschrieben und ausgelegt. Dabei gilt es immer einen guten Kompromiss zwischen Wirkdrücken, also der damit einhergehenden Messgenauigkeit und dem Druckverlust der Messstrecke zu finden. Als messbare Wirkdrücke werden Drücke ab 1 Pa angesehen. Es wird für jeden möglichen Hilfsventilator eine Volumenstrommessstrecke dimensioniert.

Variante 1:

In diesem Abschnitt soll eine mögliche Volumenstrommessebene für den ersten Hilfsventilator dimensioniert werden. Da es sich, wie bereits erwähnt, bei dem Hilfsventilator um einen Axialventilator handelt, muss auf Grund des geringen Druckes der erzeugt werden kann, ein Kompromiss getroffen werden. Die Druckverluste müssen so gering wie möglich sein. Das lässt sich nur mit Staudrucksonden, bzw. großen Rohrdurchmessern realisieren. Hier würden zum Beispiel das Prandt'l-Staurohr, was sogar normkonform wäre und die Debimo-Messsonde, welche nicht in der ISO 5801 enthalten ist, in Frage kommen.

• verfügbare Größen

Artikel	nutzbare Länge in mm
DEBIMO 100	100
DEBIMO 125	125
DEBIMO 160	160
DEBIMO 200	200
DEBIMO 250	250
DEBIMO 315	315
DEBIMO 400	400
DEBIMO 500	500
DEBIMO 630	630
DEBIMO 800	800
DEBIMO 1000	1000
DEBIMO 1500	1500
DEBIMO 2000	2000
DEBIMO 2500	2500
DEBIMO 3000	3000

Sonderlängen (zwischen 100 und 3000 mm) auf Anfrage möglich!

• Eigenschaften

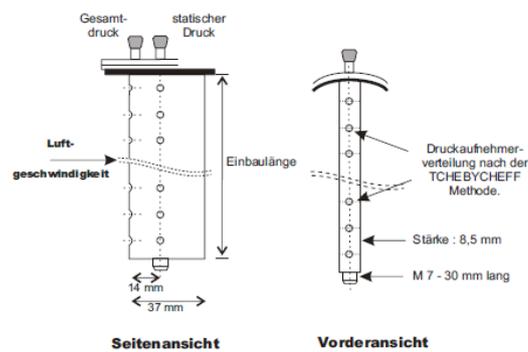


Abbildung 3.1: Debimo-Messsonde (KIMO Instruments Produktbeschreibung)

Der Volumenstrom einer Debimo-Messsonde wird wie folgt nach Herstellerangaben berechnet.

$$q_v = B_F \frac{\pi \cdot D_5^2}{4} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_u}}$$

Formel 8: Volumenstrom Debimo (KIMO Produktblatt)

Wird diese Formel nach Δp umgestellt, ergibt dies:

$$\Delta p = \frac{8 \cdot q_v^2 \cdot \rho_u}{(B_F \cdot \pi \cdot D_5^2)^2}$$

Der Blendenfaktor B_F wird vom Hersteller mit einem Wert von 0,816 angegeben und reduziert somit den gemessenen Volumenstrom nach unten.

Der dynamische Druck im Rohr wird wie folgt berechnet:

$$p_{d_{D_5}} = \frac{8 \cdot q_v^2 \cdot \rho_u}{\pi^2 \cdot D_5^4}$$

Formel 9: dynamischer Druck im Rohr (Bommes, S.437)

Der erzeugte Druckverlust wird als Produkt aus dem dynamischen Druck und den Widerstandsbeiwerten der Debimo-Sonde ζ_D , des Rohrs ζ_R , des Eintritts ζ_E und des Stoßverlustes ζ_S vom Rohr zum Rechteckkanal gebildet. Letzterer wird mit $\zeta_S = 1$ angenommen. Der Widerstandsbeiwert für ein offenes Rohr beträgt $\zeta_E = 1$, kann jedoch durch eine Art Rohrverdickung am Eintritt mittels einer Blende auf $\zeta_E = 0,5$ abgesenkt werden. Die Blende hat den Durchmesser $1,1D$ und eine Bohrung in Größe des Rohrdurchmessers D (Fried, S.48). Dies lässt sich sehr leicht umsetzen, da einfach Rohre mit schon angeschweißten Flanschverbindungen verwendet werden.

$$\Delta p_v = p_{d_{D_5}} \cdot (\zeta_D + \zeta_R + \zeta_E + \zeta_S)$$

Formel 10: Druckverlust Debimo-Messebene

Die Bestimmung des Rohrwiderstandsbeiwerts $\zeta_R = \lambda \cdot \frac{l_R}{D_R}$ ist komplexer, da hierfür der Rohrreibungsbeiwert λ berechnet werden muss. Dieser ist abhängig von der REYNOLDS-Zahl und wird für laminare Strömungen, also REYNOLDS-Zahlen die kleiner als 2320 sind wie folgt berechnet:

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

Formel 11: Rohrreibungsbeiwert für laminare Strömung

Ist die Strömung im Rohr turbulent, das heißt, die REYNOLDS-Zahl ist größer als 2320, dann gilt die von COLBROOK aufgestellte Näherungsformel.

$$\lambda = \frac{0,25}{[\lg(\frac{15}{Re} + \frac{K/D}{3,715})]^2}$$

Formel 12: Rohrreibungsbeiwert für turbulente Strömung

Die REYNOLDS-Zahl wird in diesem Fall nach folgender Gleichung berechnet:

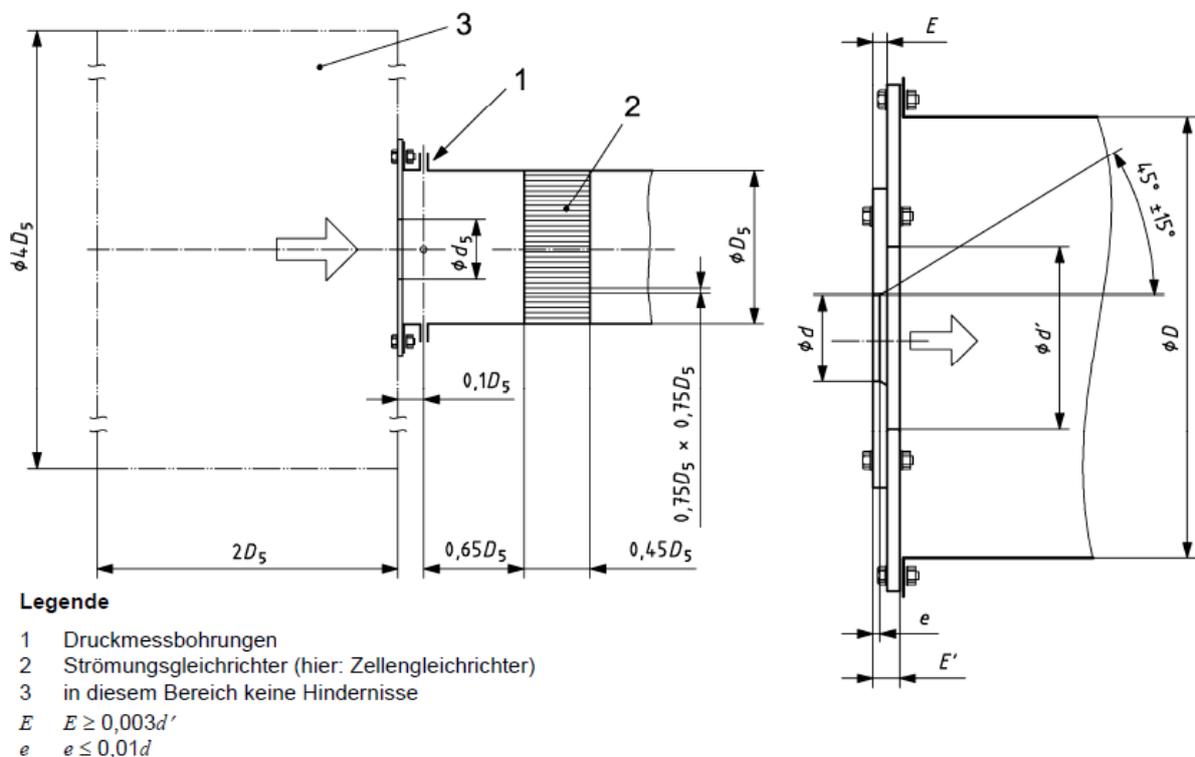
$$Re_{DR} = \frac{4q_v \rho_u}{\pi D_R \mu}$$

Formel 13: REYNOLDS-Zahl

Mit den vorstehenden Formeln ist es möglich, verschiedene Debimo-Sondengrößen auf ihren Druckverlust zu untersuchen unter der Vereinfachung, dass die dynamische Viskosität der Luft $\mu = 18 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, die Dichte $\rho_u = 1,20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ und die Rohrrauigkeit K eines verzinkten Stahlrohrs 0,1 mm beträgt. Die Dimensionierung erfolgte mit Excel, wobei schnell ersichtlich wurde, dass die erzeugten Druckverluste nur schwer mit einem Axialventilator, wie er zur Verfügung steht, ausgeglichen werden können. Es ist mit drei verschiedenen Größen machbar. Dabei müsste das größte Rohr einen Durchmesser von 700 mm haben, was zur Folge hätte, dass es 5,6 m lang sein müsste, um die vorgegebene Beruhigungsstrecke von 5D vor der Sonde und 3D hinter der Sonde einzuhalten. Das lässt sich natürlich mit dem zur Verfügung stehenden Platz nicht vereinbaren. Um mehr Druck erzeugen zu können, gibt es noch die Möglichkeit zwei der Ventilatoren in Reihe zu betreiben. Theoretisch wird dadurch der erzeugte Druck bei gleichbleibendem Volumenstrom verdoppelt. In der Praxis ist dies nicht ganz zu realisieren, da der zweite Ventilator durch eine nicht optimale Anströmung größere Verluste hat. Um die Verluste so gering wie möglich zu halten, wird zwischen die beiden Ventilatoren eine Art Gleichrichter geschaltet, der eine drallfreie Anströmung des zweiten Ventilators gewährleistet. Für die Auslegung der Messebene wird damit gerechnet, dass der zweite Ventilator etwa 90% der eigentlichen Kennlinie schafft. Ein Ausgleich der Druckverluste wäre bei einer Messebene mit drei Rohren und den passenden Debimo-Messsonden der Größe 160 mm, 300 mm und 630 mm möglich. Die Länge der Rohre richtet sich nach der Länge des größten Rohres, welche mindestens 5 m betragen müsste. Die Messebene wäre also selbst mit zwei Axialventilatoren nicht sonderlich kürzer. Dies hätte zur Folge, dass das Konzept um eine weitere Umlenkung geändert werden müsste. Die zwei verschiedenen Dimensionierungen sind in der Anlage 3 dargestellt. Eine Blendenmessstrecke, welche in das Raumangebot passen würde, hätte die größte Blende 490-700, also ein Rohrdurchmesser von 700 mm und eine Blendenöffnung von 490 mm. Jedoch sind auch bei dieser Version die Druckverluste im oberen Volumenstrombereich mit den Axialventilatoren, selbst wenn drei in Reihe verschaltet werden, nicht zu kompensieren. Es sollte also eher in einen Hilfsventilator, welcher genügend Druck in allen Messbereichen erzeugt, investiert werden.

Variante 2:

Diese Variante ist für den zweiten genannten Hilfsventilator dimensioniert. Da der RLE hohe Drücke in allen Volumenstrombereichen erzeugen kann, bietet sich als Volumenstrommessung eine Blendenmessstrecke im Eintritt an. Die Messblende sollte korrosionsbeständig sein und scharfe, gratfreie Kanten haben. Der Kantenradius sollte $0,0004d_5$ nicht überschreiten. Die Blendenöffnung muss in der Toleranz $\pm 0,0005d_5$ eine zylindrische Form aufweisen. Sie muss innerhalb von $\pm 1^\circ$ koaxial mit der Rohrleitung ausgerichtet sein (ISO 5801, S.93). In der nachfolgenden Abbildung sind alle notwendigen Maße der Messebene dargestellt. Auf Grund der Eindeutigkeit wird hier auf eine explizite Erläuterung jedes Maßes verzichtet.



ANMERKUNG 1 Anfasung für $E \geq 0,01d$.

ANMERKUNG 2 Wenn die Messblende auf eine Zusatzplatte genietet wurde: $d' \geq 1,25d + 4E'$.

Abbildung 3.2: Messblende (ISO 5801, S.96-97)

Der Massenstrom bei der Messung mit einer Messblende im Eintritt berechnet sich wie folgt:

$$q_m = \alpha \cdot \varepsilon \cdot \pi \cdot \frac{d_5^2}{4} \cdot \sqrt{2\rho_u \Delta p}$$

$$\text{mit: } \alpha = 0,598; \varepsilon = 1 - r_{\Delta p} \cdot (0,249 - 0,0757 \cdot r_{\Delta p}); r_{\Delta p} = \frac{p_{e5}}{p_5} = \frac{\Delta p}{p_u - \Delta p}$$

Formel 14: Durchflussbestimmung Messblende (ISO 5801, S.98)

Die Bedingung um Formel 14 anwenden zu können ist, dass $Re_D \geq 5 \cdot 10^4$ und $r_{\Delta p} \leq 0,3$ ist. Eine weitere Bedingung im Allgemeinen ist, dass das Blendenverhältnis $\beta = \frac{d_5}{D_5} \leq 0,7$ ist. Die REYNOLDS-Zahl Re des Rohrs wird mit Formel 13 unter der Vereinfachung, dass die dynamische Viskosität der Luft $\mu = 18 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ und die Dichte $\rho_u = 1,20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ beträgt, berechnet. Um die Messblenden dimensionieren zu können, müssen die Wirkdrücke und die abhängigen Druckverluste berechnet werden. Der Druckverlust Δp_v wird wie folgt aus dem dynamischen Druck p_{dD5} und dem Widerstandsbeiwert ζ als Produkt berechnet. Berechnungen zeigten, dass der Rohrreibungswiderstand so klein ist, dass er vernachlässigt werden kann, jedoch der Vollständigkeit halber in die Berechnungen implementiert wurden, sodass $\zeta = \zeta_{\text{Blende}} + \zeta_{\text{Rohr}}$ ist.

$$\Delta p_v = p_{dD5} \cdot \zeta$$

Formel 15: Druckverlust

Der dynamische Druck im Rohr p_{dD5} wird wie folgt berechnet:

$$p_{dD5} = \frac{8 \cdot q_v^2 \cdot \rho_u}{\pi^2 \cdot D_5^4}$$

Formel 16: dynamischer Druck im Rohr

Den Wirkdruck der Messblende erhält man, wenn Formel 8 nach Δp umgestellt wird.

$$\Delta p = \frac{8 \cdot q_m^2}{\alpha^2 \varepsilon^2 \pi^2 d^4 \rho_u}$$

Mit $q_m = q_v \cdot \rho_u$ folgt:

$$\Delta p = \frac{8 \cdot q_v^2 \cdot \rho_u}{\alpha^2 \varepsilon^2 \pi^2 d^4}$$

Formel 17: Wirkdruck

In dieser Formel sind nun alle Größen bekannt, bzw. hängen wie die Expansionszahl² ε direkt vom Druck ab. Die Erfahrung zeigt, dass hierbei bei einer ersten Iteration mit $\varepsilon = 0,99$ gerechnet werden kann. Der Widerstandsbeiwert, um den Druckverlust berechnen zu können, kann anhand des Blendenverhältnisses aus Kurve 2 (ungebrochene Linie) nachfolgender Abbildung entnommen werden. Der Stoßverlust vom Rohr in den Rechteckkanal wird mit $\zeta = 1$ angenommen. Die Rohrlänge muss laut Norm mindestens das Dreifache des Durchmessers betragen.

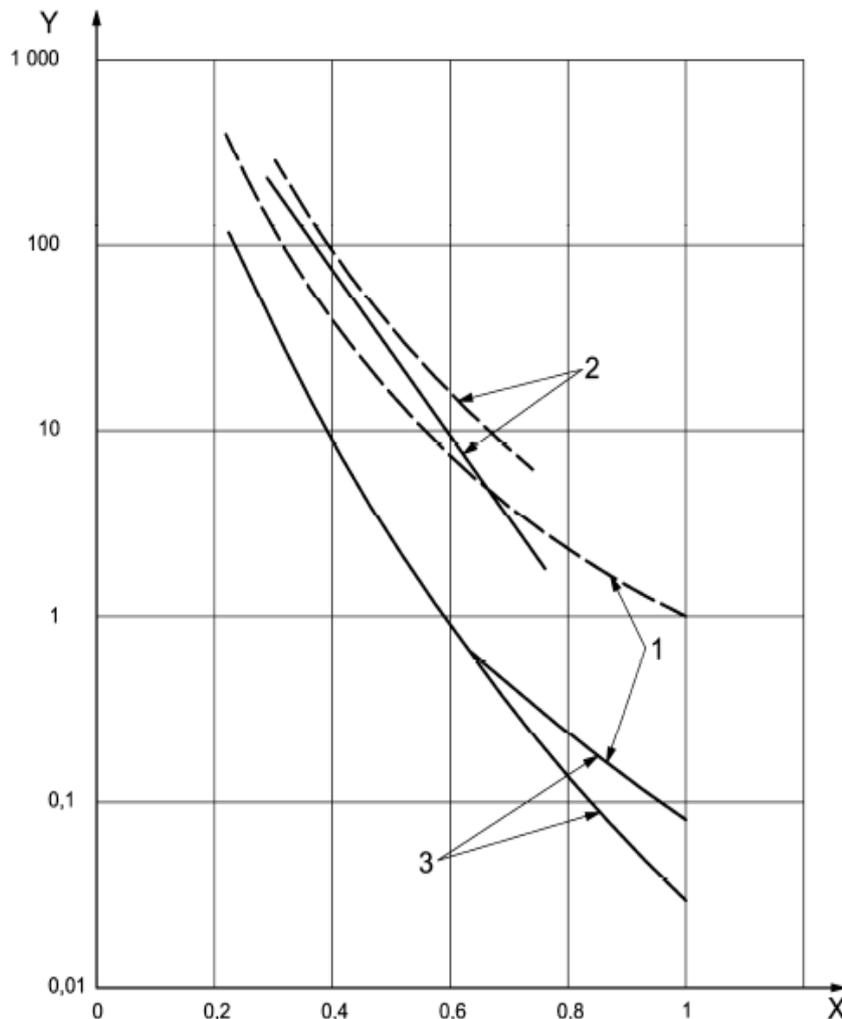


Abbildung 3.3: Widerstandsbeiwert (Y-Achse) in Abhängigkeit vom Blendenverhältnis (X-Achse) (ISO 5801, S.47)

² Die Expansionszahl ε ist ein dimensionsloser Korrekturfaktor, der bei Gasströmungen Dichteänderungen zwischen zwei Druckmessstellen berücksichtigt. Sie hat Werte zwischen 0,97 und 1. (Sigloch, S.164)

Es wurden mittels einer Excel-Tabelle drei Messblenden ausgewählt, die alle auf einem Rohr mit dem Durchmesser 600 mm angebracht werden. Drei Messblenden sind notwendig, um die komplette Kennlinie des Prüfventilators ausbilden zu können. In den Tabellen der Anlage 4 sind die drei Messblenden und deren Wirkdrücke, sowie die erzeugten Druckverluste, welche vom Hilfsventilator ausgeglichen werden müssen, dargestellt. Die rot gefärbten Volumenströme zeigen den Einsatzbereich der jeweiligen Messblende an. Es handelt sich um Blenden der Größe 200-600, 300-600 und 420-600, wobei Letztere das zulässige Blendenverhältnis von 0,7 vollkommen ausreizt. Das Rohr hat, wie bereits beschrieben die dreifache Länge des Durchmessers, also 1800 mm. Die Druckentnahme erfolgt über vier gleichmäßig über den Durchmesser verteilte Druckmessbohrungen. Ähnliche Bohrungen werden in der nachfolgenden Abbildung gezeigt. Der Durchmesser a der Bohrung sollte eine Größe von 1,5 mm bis 5 mm haben und nach einer Länge von mehr als $2a$ auf den doppelten Durchmesser vergrößert werden (ISO 5801, S.35).

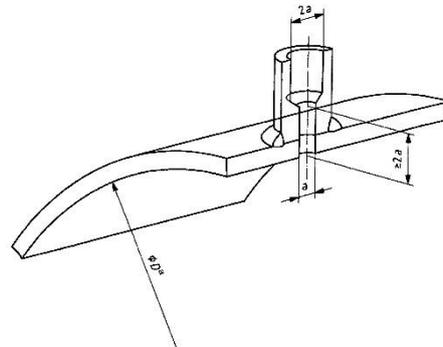


Abbildung 3.4: Druckentnahmebohrung (ISO 5801, S.35)

Hierfür wird eine Art Druckentnahmehülse benötigt, welche an das Rohr angeschweißt wird. Eine Fertigungszeichnung des Drehteils befindet sich in der Anlage 1. Um den gemittelten Druck zu bekommen, werden die vier Entnahmestellen mit einer Ringleitung verbunden. Die Instrumentierung besteht aus einem Schrägrohrmanometer, welches eine Visualisierung für den Praktikumseinsatz garantiert und piezoresistiven Druckaufnehmern, welche ein elektronisches Signal für die computergestützte Auswertung liefern. Zur Verfügung stehen Sensoren mit einem Messbereich von 0-200 Pa, 0-500 Pa, 0-1000 Pa und 0-2000 Pa. Ein fest installierter

Druckaufnehmer mit einem Messbereich von 0-1000 Pa kann alle wirkenden Drücke der Volumenstrommesseinrichtung darstellen.

3.2 Prüfdruckmessebene

Die Druckmessebene an der Messkammer dient der Aufnahme des vom Prüfventilator erzeugten Druckes. Sie muss mindestens 625 mm vor dem Eintritt des Prüfventilators sein. Die Entnahmestellen müssen jeweils in der Mitte jeder Kammerseite angebracht sein. Die vier Entnahmestellen werden auch hier mit einer Ringleitung verbunden, um den gemittelten Druck aufnehmen zu können. Die Entnahme wird wie bei der Volumenstrommessebene durch eine Wandanbohrung realisiert. Ein dazu nötiger Adapter muss gefertigt werden. Eine Zeichnung liegt in der Anlage 1 bei.

4. Prüfstands-Konzept

4.1 Prüfstand

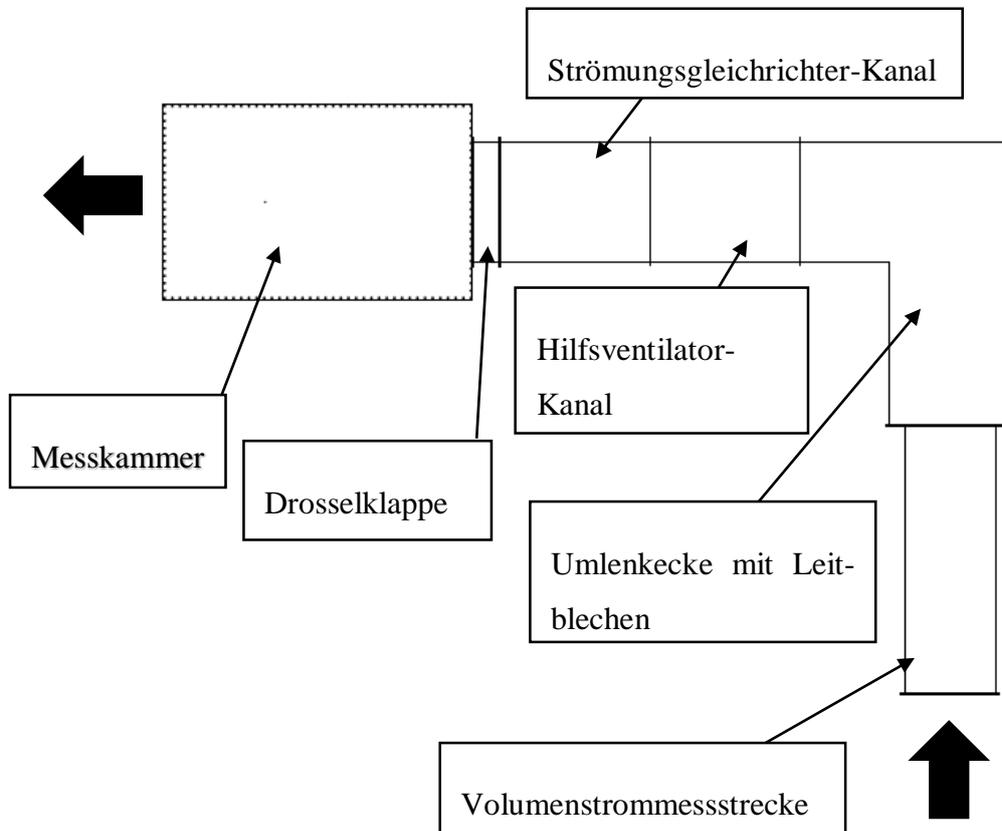


Abbildung 4.1: Prüfstands-Konzept

Wie in der Abbildung zu sehen ist, wird der Prüfstand als Kompromiss zwischen Norm und Raumangebot um eine Ecke gelenkt. In dieser befinden sich Leitschaufeln, welche vom Hersteller des Formteils mitgeliefert werden. Sie dienen als Strömungsgleichrichter, um eine bessere Anströmung des Hilfsventilators gewährleisten zu können. Das Konzept ist klar strukturiert. Die Messkammer wird aus Holz bestehen und die restlichen Kanäle aus Stahlblech. Die Abdichtung der Segmentverbindungen erfolgt mit dem bereits beschriebenen Dichtband. Der Prüfstand ist modular aufgebaut und kann zum platzsparenden Lagern in vier Module zerlegt werden. Messkammer und Drosselement bilden hierbei das erste Modul. Die zwei Meterkanäle mit Hilfsventilator und Gleichrichter werden gemeinsam zum zweiten Modul. Das Formteil der Umlenkecke wird wegen ihrer sperrigen Ausmaße Modul 3. Die Volumenstrommessstrecke kann als viertes Modul ebenfalls eigenständig gelagert werden. Dieses modulare Konzept lässt eine einfache Änderung oder Umgestaltung des Prüfstandes zu und sorgt für eine

einfache Erreichbarkeit aller Prüfstands-Elemente. Die Messkammer wird auf Grund ihrer Größe und des Gewichts von circa 220 kg auf fünf Rollen stehen, um deren Handhabung zu verbessern. Die restlichen Prüfstandsteile werden modulweise von einem Hilfsrahmen umfasst und stehen auf so genannten Sockelfüßen, welche in gewissen Grenzen höhenverstellbar sind, um Unebenheiten im Laborraum (abfallender Fliesenspiegel zur Raumentwässerung) ausgleichen zu können. Diese Füße bestehen aus Kunststoff und haben eine statische Tragfähigkeit von 500 kg, was für den Einsatzzweck mehr als ausreichend ist. Der Prüfventilator muss auf eine Hilfsplatte geschraubt werden, welche dann mittels Senkrechtspannern an der Messkammer befestigt wird. Hier erfolgt eine Abdichtung mittels Dichtband, welches in eine Plattennut eingeklebt ist.

4.2 Hilfsrahmen

Der beschriebene Hilfsrahmen wird aus günstigem Konstruktionsholz der Größe 58 mm mal 38 mm bestehen. Dieses Material ist in jedem Baumarkt erhältlich und stellt eine sehr günstige Methode für den sicheren Stand des Prüfstands dar. Die beschriebenen Module werden von den einzelnen Hilfsrahmen zu festen Elementen zusammengefasst. Die Verschraubung der Leisten erfolgt mit den gleichen Schrauben, die bei der Herstellung der Messkammer Anwendung fanden. Die Beschreibung ist im Abschnitt 2.1.5 ersichtlich. Die Fertigungszeichnungen des Hilfsrahmens sind in der Anlage 1 zu finden.

5. Versuch

Um die Möglichkeit der Herstellung und die Nutzbarkeit der Messkammer aus Holz zu belegen, wurde ein Modell angefertigt. Hier wurde insbesondere die Herstellung der besonderen Nut-Feder-Verbindung als Handarbeit untersucht. Dieser Versuch wurde durchgeführt, da keine der kontaktierten Tischler-Firmen Erfahrungen mit solch einem Produkt hat und die Druckdichtheit der Messkammer im späteren Prüfstand garantiert werden sollte.

Für das Modell wurde Multiplex-Holz der Stärke 18 mm verwendet. Die Oberfläche des Materials ist durch die weiße Melaminharz-Beschichtung sehr glatt, was der Verwendung als Prüfstands-Material zu Gute kommt. Die Biegefestigkeit konnte dem Material sofort angemerkt werden. Das Material wurde freundlicherweise von der Firma „Tischlerei-Hillger“ zur Verfügung gestellt und die Kanten durch sehr saubere Schnitte auf ein einheitliches Maß gebracht. Die für die Herstellung des Modells verwendeten Hilfsmittel waren eine handelsübliche Oberfräse, Messschieber, Kreissäge und ein Akkuschauber.

Da das Material dünner als das geplante ist, wurden die Maße der Verbindung im Verhältnis angepasst. So hat die gefertigte Feder auch im Modell circa ein Drittel der Plattenstärke als Breite und Höhe. Das genaue Maß ist 6,35 mm, was dem Maß des einzig vorhandenen Fräses in dieser Größenordnung entspricht. Die Geradheit der Nuten und Federn konnte mittels des Parallelanschlags der Oberfräse garantiert werden. Generell konnte festgestellt werden, dass sich die Verbindung in Handarbeit und somit auch später an der Hochschule sehr gut fertigen ließ. Die auf höchster Drehzahl eingestellte Oberfräse ließ gute Schnittergebnisse zu, welche in der nachfolgenden Abbildung aufgezeigt werden. Die Verbindung konnte so gut gefertigt werden, dass eine Presspassung vorhanden ist, welche natürlich förderlich für die angestrebte Dichtigkeit des Modells ist. Bei der Montage zahlte sich eine möglichst genaue Fertigung aus, es wurden zuerst die Seitenteile mit den Vorder- und Hinterseiten verbunden und diese dann wiederum als ein Teil auf das Bodenbrett gesteckt. Als Letztes wurde der Deckel gefügt.



Abbildung 5.1: Schnittqualität der Oberfräse

Als Dichtstoff und gleichzeitigem Klebstoff wurde das priorisierte Silikon genutzt, welches in jedem Baumarkt als Kartusche erhältlich ist. Die Verschraubung erfolgte, nach dem Vorbohren mit einem Bohrdurchmesser von 2 mm, mit Universalschrauben der Größe 3,9x35. Dabei war sehr gut zu sehen, wie überschüssiges Dichtmaterial aus der Verbindung gepresst wurde. Die Vorteile des Silikons zeigten sich vor allem im Gebrauch. Es lässt sich in einem Zug auftragen und verteilt sich gleichmäßig in der gesamten Verbindung.



Abbildung 5.2: Dichtmaterial

Um die Kammer im späteren Versuch evakuieren zu können, wurde im Deckel ein Druckstutzen aus der Wassertechnik angebracht, welcher den Anschluss eines Ein-Zoll-Schlauches ermöglicht. Für den Versuch wurde eine Vakuumpumpe der Firma „ILMVAC GmbH“ verwendet. Diese ist vom Typ MPC301Z und schafft einen maximalen Unterdruck von

40 mbar. Der Versuchsaufbau bestand aus dem Modell selbst, der Vakuumpumpe, verschiedenen Schläuchen und einem Manometer. Die Luft wurde mehrmals aus dem Modell gepumpt, die Pumpe dann abgeschaltet und mittels der Stoppuhr eine Zeit von fünf Minuten gestoppt. Der Startdruck betrug bei drei Durchläufen rund 20 mbar. Nach der gestoppten Zeit konnte ein Enddruck von 18,5 mbar dokumentiert werden. Dies bedeutet, dass eine Leckage vorhanden war. Nach weiteren Versuchen und gleichzeitiger Kontrolle aller Verbindungen im Absaugsystem, blieb der Druckverlust von 1500 Pa konstant erhalten. Um die Leckage ausmachen zu können, wurde die Vakuumpumpe nicht zur Druckminderung, sondern zur Druckerhöhung eingesetzt. Alle Verbindungen der Vorrichtung und Kammer wurden mit Seifenlauge bestrichen. Dabei konnte ein Auftreten von Blasen, ein Zeichen für Undichtheit, an der Schnittfläche des Deckels festgestellt werden.

Das lässt darauf schließen, dass zum einen die Verbindung an sich funktioniert, aber kleinste Mikroporen des Materials selbst zu einem Druckverlust führen können.

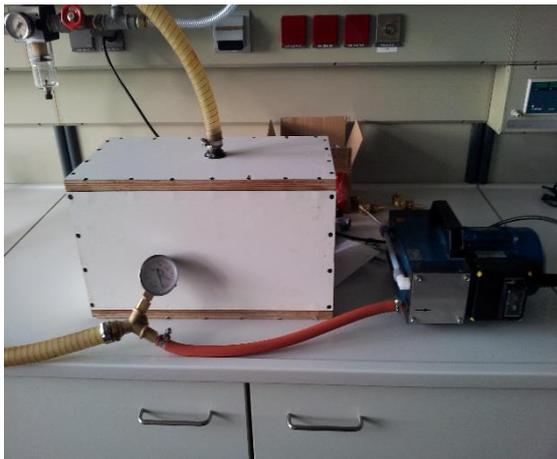


Abbildung 5.3: Versuchsaufbau und Leckagestelle

Um das nun entstandene Problem zu lösen, wurden diese offenen Stellen des Materials mit Epoxidharz behandelt, um die Poren von außen zu verschließen. Dabei war zu sehen, dass das Material sehr viel Harz aufsaugte. Nach zweimaligen Bestreichen und einer Aushärtezeit von 48 Stunden wurde der Versuch mit dem gleichen Aufbau wiederholt. Hierbei wurde ein Startdruck von 100 mbar gewählt. Nach einer Zeit von 5 Minuten konnte ein Druckverlust von ca. 200-300 Pa vermerkt werden. Dies weist auf einen sehr geringen Leckstrom hin, wobei nicht mehr geortet werden kann, ob es sich um ein Leck in dem Modell oder dem Versuchsaufbau handelt. Der vorhandene Leckstrom kann in Bezug auf die Verwendbarkeit von Holz als

Messkammermaterial vernachlässigt werden. Der Fertigung der Messkammer aus Holz steht also bei hinreichender Genauigkeit nicht im Wege.

Quellenverzeichnis

BerlinerLuft GmbH (2015): Broschüre Luftführung eckig gesamt.

<http://www.berlinerluft.de/de/downloads.html> (03.01.2015)

DIN EN ISO 5801 (2011): Industrieventilatoren-Leistungsmessung auf genormten Prüfständen. Beuth Verlag GmbH

DIN EN 1507(2006): Lüftung von Gebäuden - Rechteckige Luftleitungen aus Blech - Anforderungen an Festigkeit und Dichtheit. Beuth Verlag GmbH

DIN 24163 (1985): Ventilatoren, Leistungsmessung, Normkennlinien. Beuth Verlags GmbH

Fried und Idelchik (1989): A Design Guide for Engineers. Taylor & Francis Ltd.

Gebhardt Ventilatoren (2014): Technische Dokumentation 4, Hochleistungs-Axialventilatoren AQA. www.gebhardt.de/Dokumentationen (27.11.2014)

Grote und Feldhusen (Hrsg.) (2007): Doppel-Taschenbuch für den Maschinenbauer. 22.Auflage, Springer-Verlag GmbH

Haas: Grundlehrgang Dichtungstechnik. Institut für Maschinenelemente Bereich Dichtungstechnik Uni Stuttgart

Initiative Furnier e.V. (2014): Furnier-Das Beste vom Holz.

<http://www.furnier.de/Furnier.5.0.html> (05.01.2015)

INOX-Schrauben (2015): Gewindeeinsätze. <http://www.inox-schrauben.de/Gewindeeinsaetze-RAMPA-EDELSTAHL-A2-M-4> (11.01.2015)

KIMO Instruments (2015): Debimo-Volumenstrommessung.

<http://www.kimo.fr/produits/124/debimo.html> (20.01.2015)

Müller Holzgroßhandel GmbH (2015): Multiplex. <http://www.mueller-holzgrosshandel.de/deutsch/inhalt/produkte/produktdetails/produktdetails.html?id=28> (02.01.2015)

Nicrota-Gebhardt GmbH (2013): Katalog Radialventilatormodule. http://www.nicotra-gebhardt.com/upload/download-center/catalogue/TD_CFD_RLE-Evo_DE.pdf (19.01.2015)

Pw-Internet Solutions GmbH (2015): Kasteneckverbindungen.
<http://www.baumarkt.de/nxs/584///baumarkt/schablone1/Welche-Kasteneckverbindungen-gibt-es> (05.11.2014)

SHS Lochblech Butzbach GmbH (2015): Katalog. <http://www.lochblech.de/katalog/>
(09.11.2014)

Sigloch (2009): Technische Fluidmechanik. 7.Auflage, Springer-Verlag.de

Teutoburger Sperrholz GmbH (2014): Produktblatt Technische Daten Multiplex.

Anlagenverzeichnis

- | | |
|----------|----------------------------------------------------------------------------|
| Anlage 1 | Fertigungsunterlagen Ventilatoren Belastungsprüfstand Hochschule Merseburg |
| Anlage 2 | Technische Daten-Stellantriebe für Luftklappen |
| Anlage 3 | Volumenstrommessebene Hilfsventilator Variante 1 |
| Anlage 4 | Volumenstrommessebene Hilfsventilator Variante 2 |

Selbständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich reiche sie erstmals als Prüfungsleistung ein. Mir ist bekannt, dass ein Betrugsversuch mit der Note "nicht ausreichend" (5,0) geahndet wird und im Wiederholungsfall zum Ausschluss von der Erbringung weiterer Prüfungsleistungen führen kann.

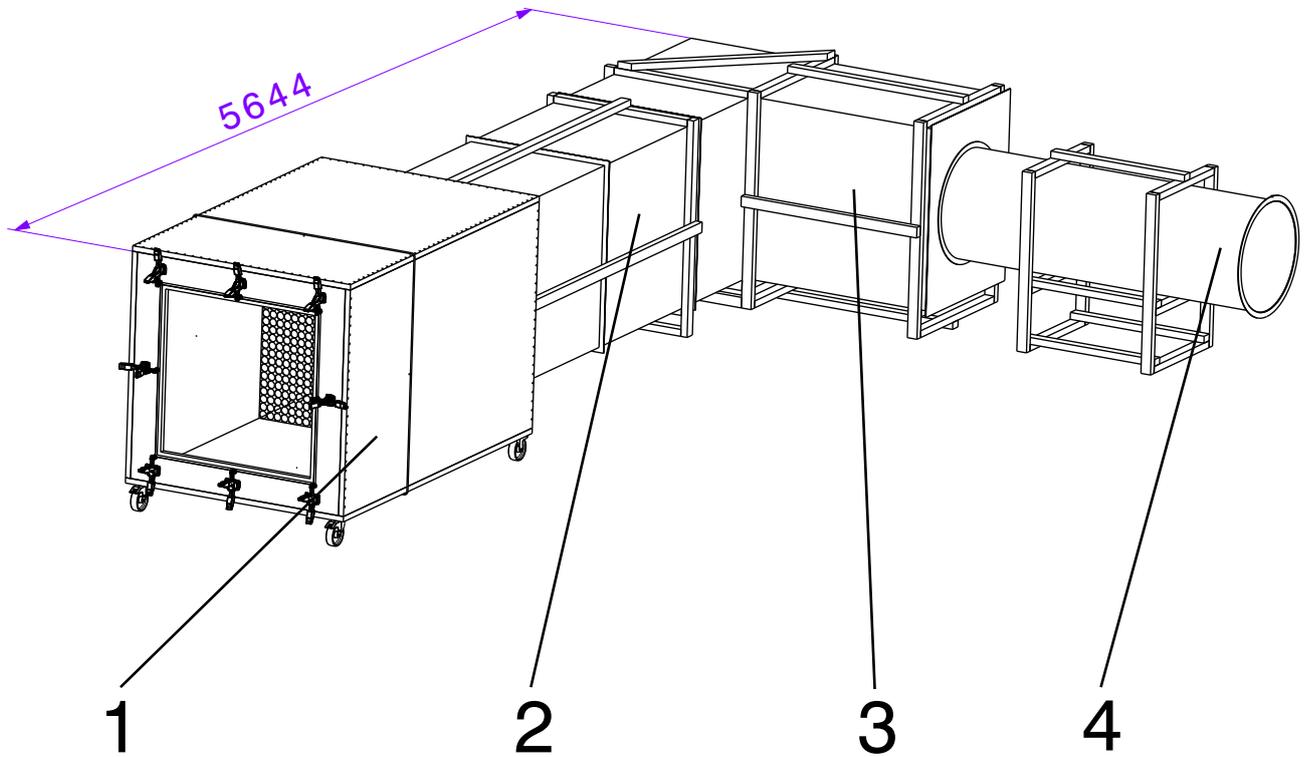
Name: Fränkel

Vorname: Maximilian

Matrikelnummer: 18697

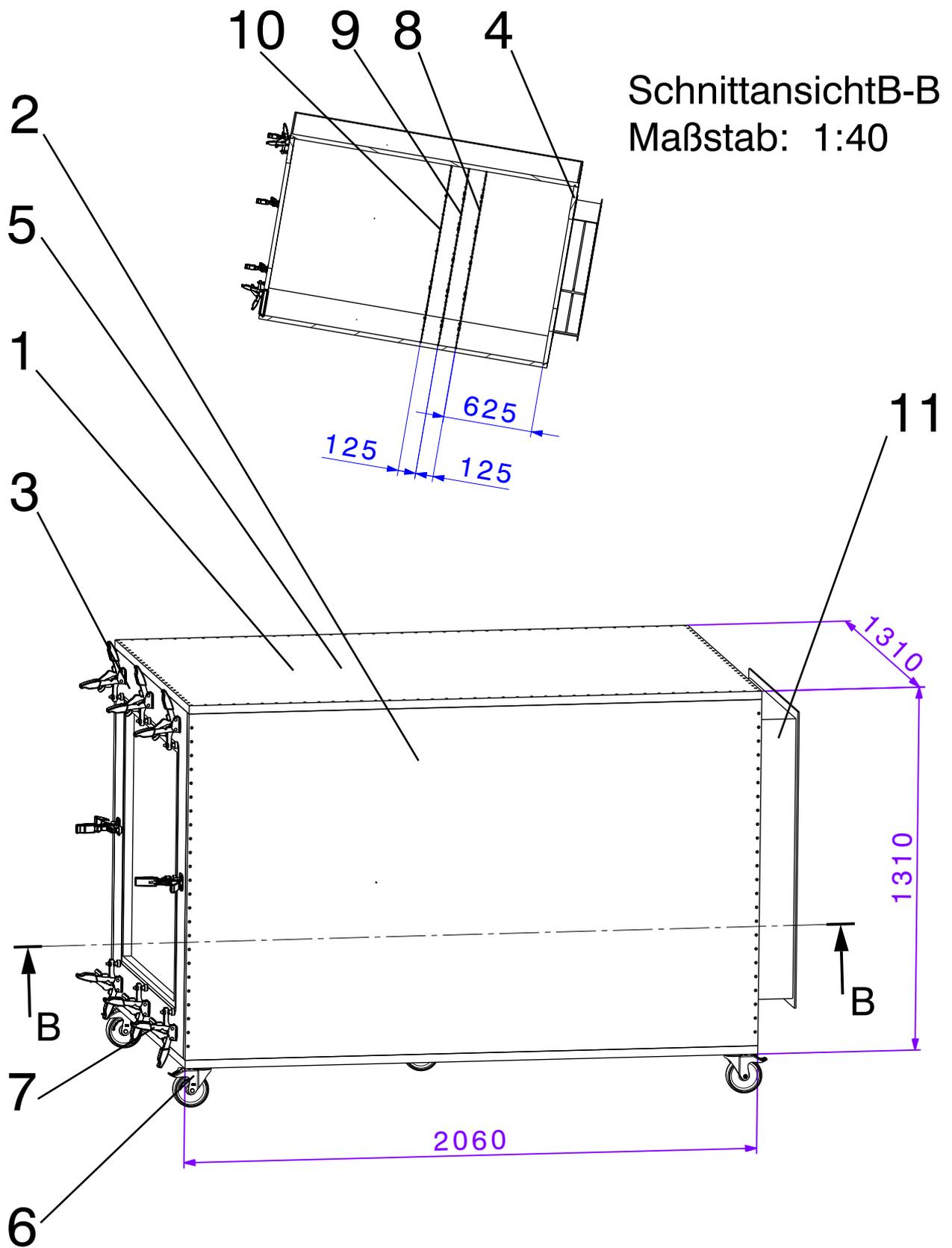
Merseburg, den 29.01.2015

Maximilian Fränkel



4	1	Stck	Modul 4	Volumenstrommessebene	
3	1	Stck	Modul 3	Umlenkecke	
2	1	Stck	Modul 2	Hilfsventilator	
1	1	Stck	Modul 1	Messkammer	
Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer/Norm-Kurzbezeichnung	Bemerkung

		Zul. Abw. mittel DIN ISO 2768		Oberfl.	Maßstab 1:40	Gewicht
					Werkstoff, Halbzeug	
			2015	Datum	Name	Benennung Ventilatoren-Prüfstand
			Bearb.	26.01	Fränkel	
			Gepr.			
			Norm			
			Hochschule Merseburg		Zeichnungsnummer	Blatt
					BMMP11-1	1
						22 Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr. CATIA V5	Ers. f.:	Ers. d.:

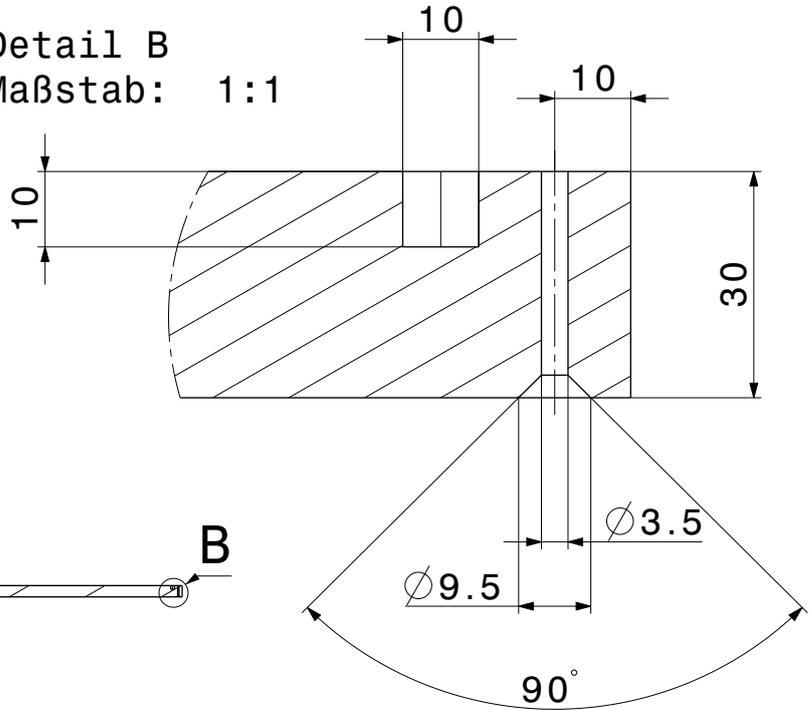


		Zul. Abw. mittel DIN ISO 2768		Oberfl.	Maßstab 1:20	Gewicht ca. 220 kg
					Werkstoff, Halbzeug	
		2015	Datum	Name	Benennung Modul 1- Messkammer	
		Bearb.	26.01	Fränkel		
		Gepr.				
		Norm				
				Hochschule Merseburg	Zeichnungsnummer	Blatt 2
					BMMP11-2	22 Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr. CATIA V5	Ers. f.:	Ers. d.:

1	2	3	4	5	6
Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer / Norm-Kurzbezeichnung	Bemerkung
1	2	Stck	Deckel/Boden	BMMP11-2.2	
2	2	Stck	Seitenteil	BMMP11-2.3	
3	1	Stck	Vorderteil	BMMP11-2.4	
4	1	Stck	Hinterteil	BMMP11-2.5	
5	4	Stck	Druckentnahimestutzen	BMMP11-2.6	
6	5	Stck	Lenkrolle	LK-125G-1-FI	Brickle
7	8	Stck	Senkrechtspanner	STC VH50	Bessey
8	1	Stck	Lochblech 1	Rv 4,1-5 1250x1250x3	www.Lochblech.de
9	1	Stck	Lochblech 2	Rv 6-8 1250x1250x3	www.Lochblech.de
10	1	Stck	Lochblech 3	Rv 10-14 1250x1250x3	www.Lochblech.de
11	1	Stck	Drosselement	800x1000	Gebhardt Ventilatoren
12	360	Stck	Schraube 1	5x60	Spax T-Star Plus
13	18	Stck	Schraube 2	M6x15	
14	52	Stck	Schraube 3	5x20	
15	18	Stck	Gewindeeinsatz	M6 Tarinsert Typ TG	SIMAF Technik GmbH

				2015	Datum	Name	Benennung Stückliste Modul 1	
				Bearb.	27.01.	Fränkel		
				Gepr.				
				Norm				
				Stueckliste-Word.doc				
				Hochschule Merseburg			Zeichnungsnummer MMP11-2.1	
								Blatt 3
								22 Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr.	Ers.f.:	Ers.d.:		

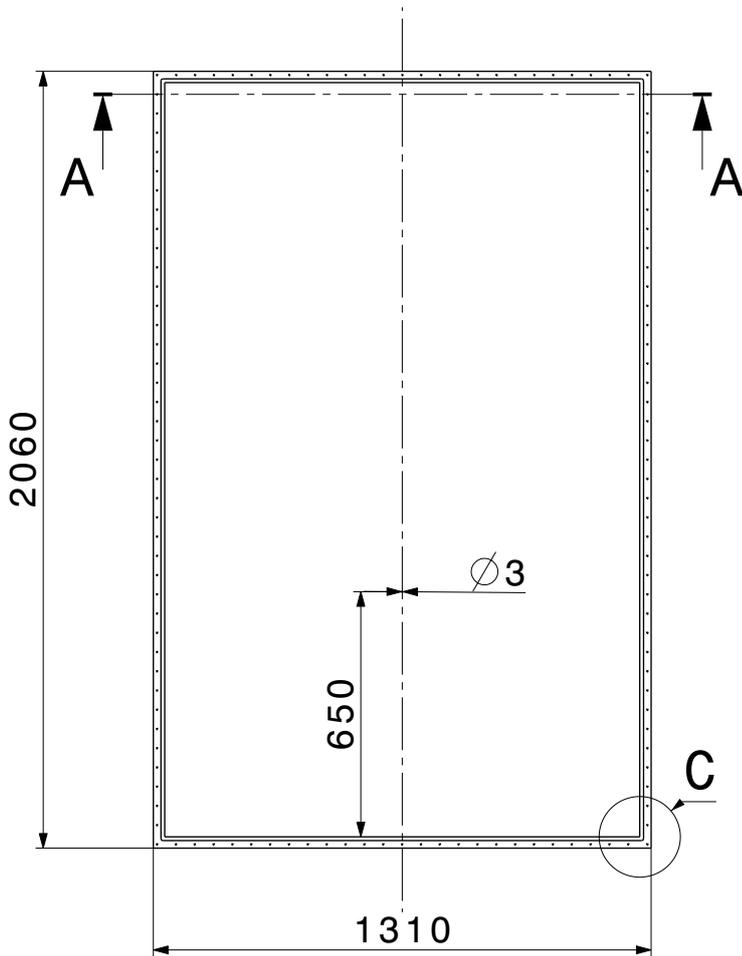
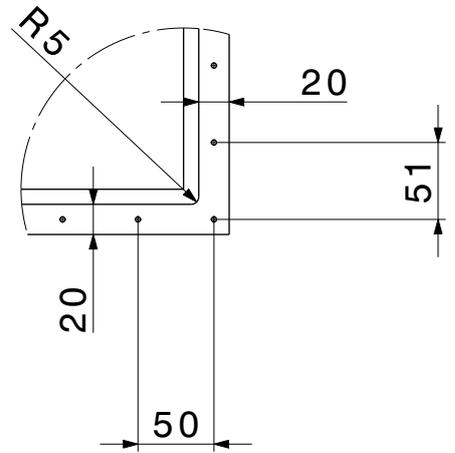
Detail B
Maßstab: 1:1



A-A

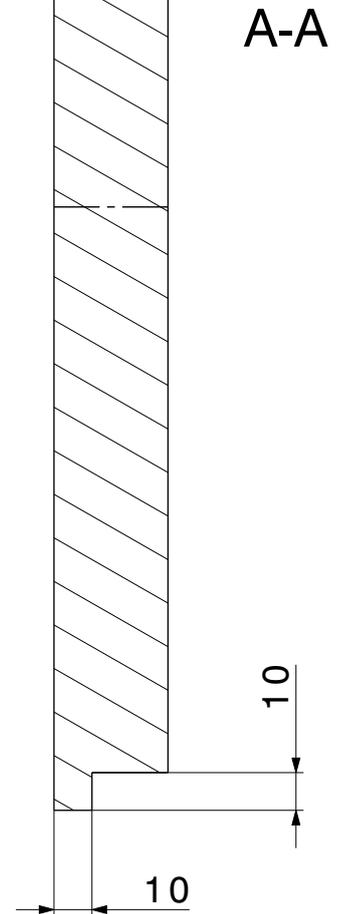
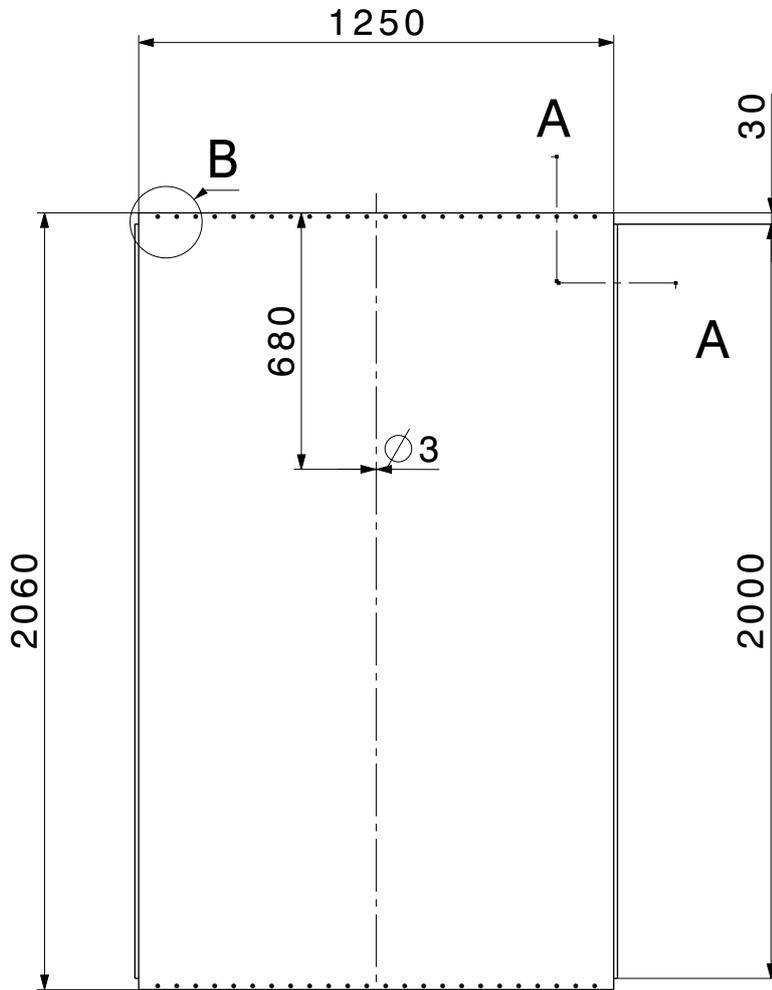
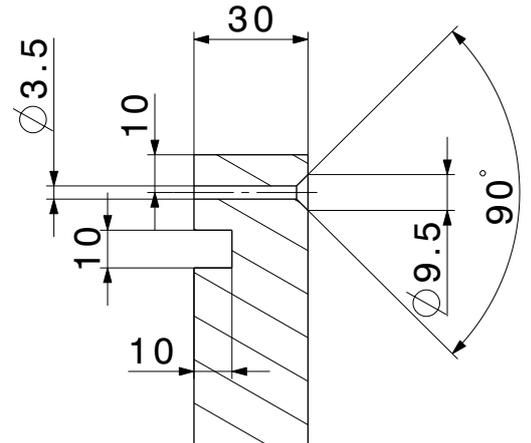
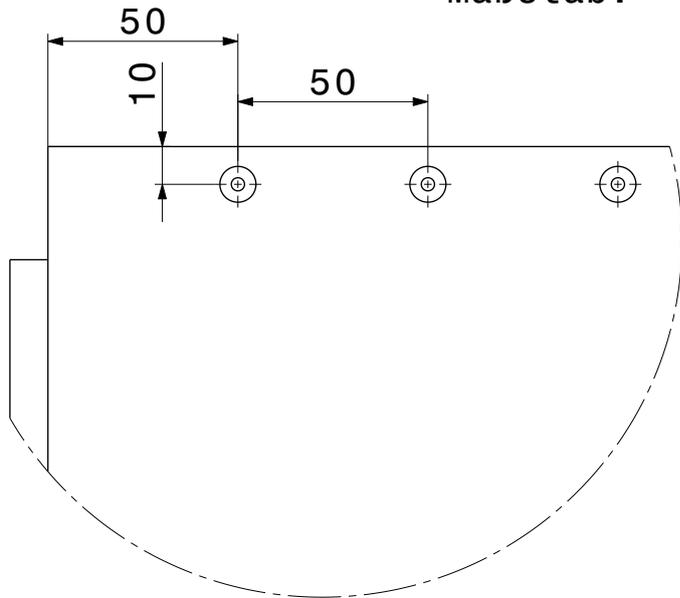


Detail C
Maßstab: 1:5



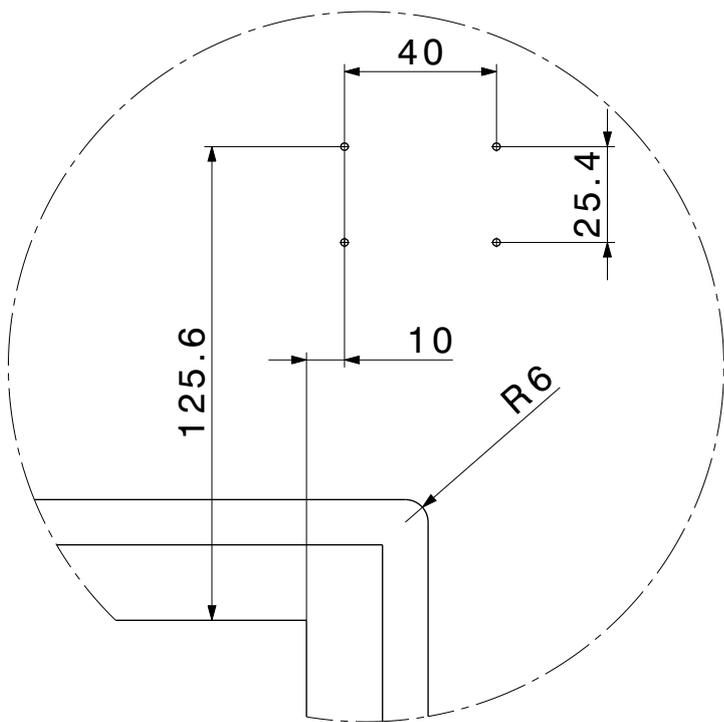
		Zul. Abw. mittel DIN ISO 2768		Oberfl.	Maßstab 1:1	Gewicht ca. 56 kg
					Werkstoff, Halbzeug Holz, Multiplex	
		2015	Datum	Name	Benennung Deckel/Boden	
		Bearb.	26.01	Fränkel		
		Gepr.				
		Norm				
				Hochschule Merseburg		Blatt 4
				Zeichnungsnummer		22 Bl.
				BMMP11-2.2		
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr. CATIA V5	Ers. f.:	Ers. d.:

Detail B
Maßstab: 1:2

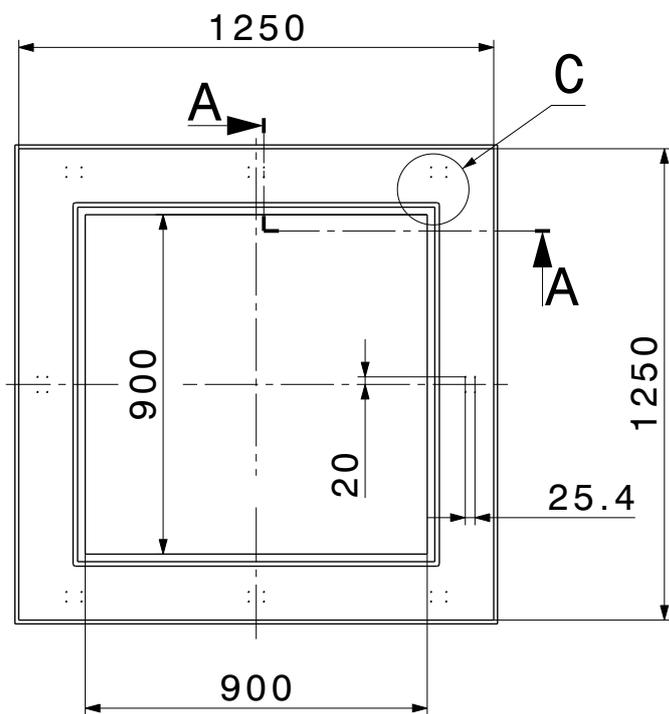
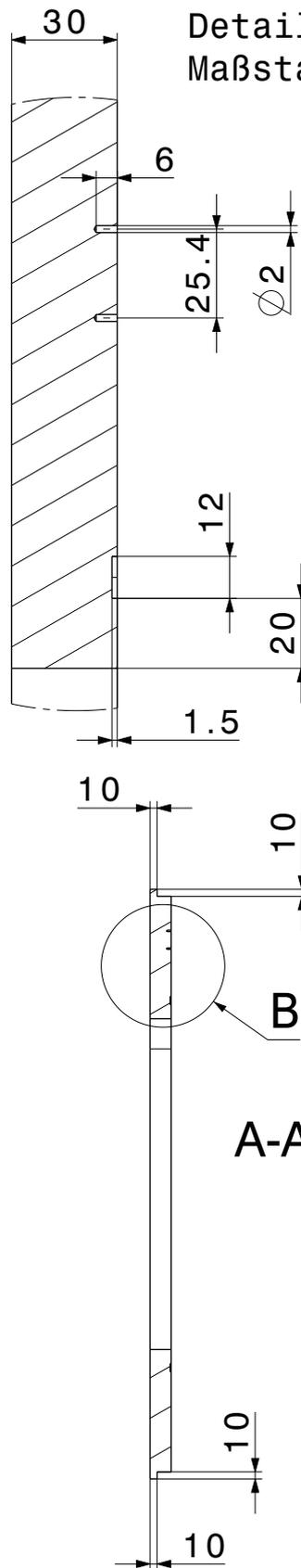


		Zul. Abw. mittel DIN ISO 2768		Oberfl.	Maßstab 1:20	Gewicht ca. 60 kg
					Werkstoff, Halbzeug Holz, Multiplex	
		2015	Datum	Name	Benennung Seitenteil	
		Bearb.	26.01	Fränkel		
		Gepr.				
		Norm				
				Hochschule Merseburg		Zeichnungsnummer BMMP11-2.3
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr. CATIA V5	Ers. f.:	Ers. d.:
						Blatt 5 22 Bl.

Detail C
Maßstab: 1:2



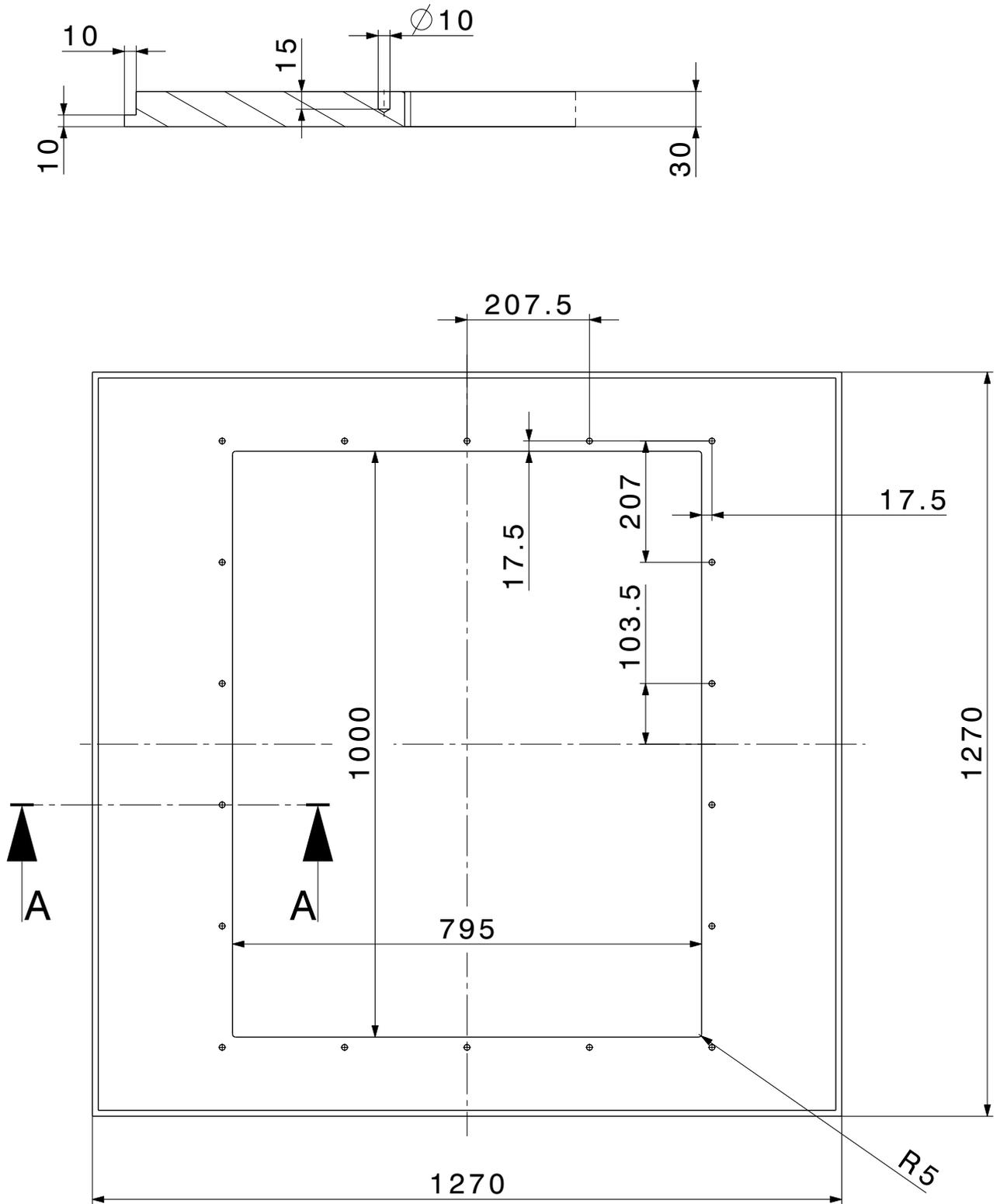
Detail B
Maßstab: 1:2



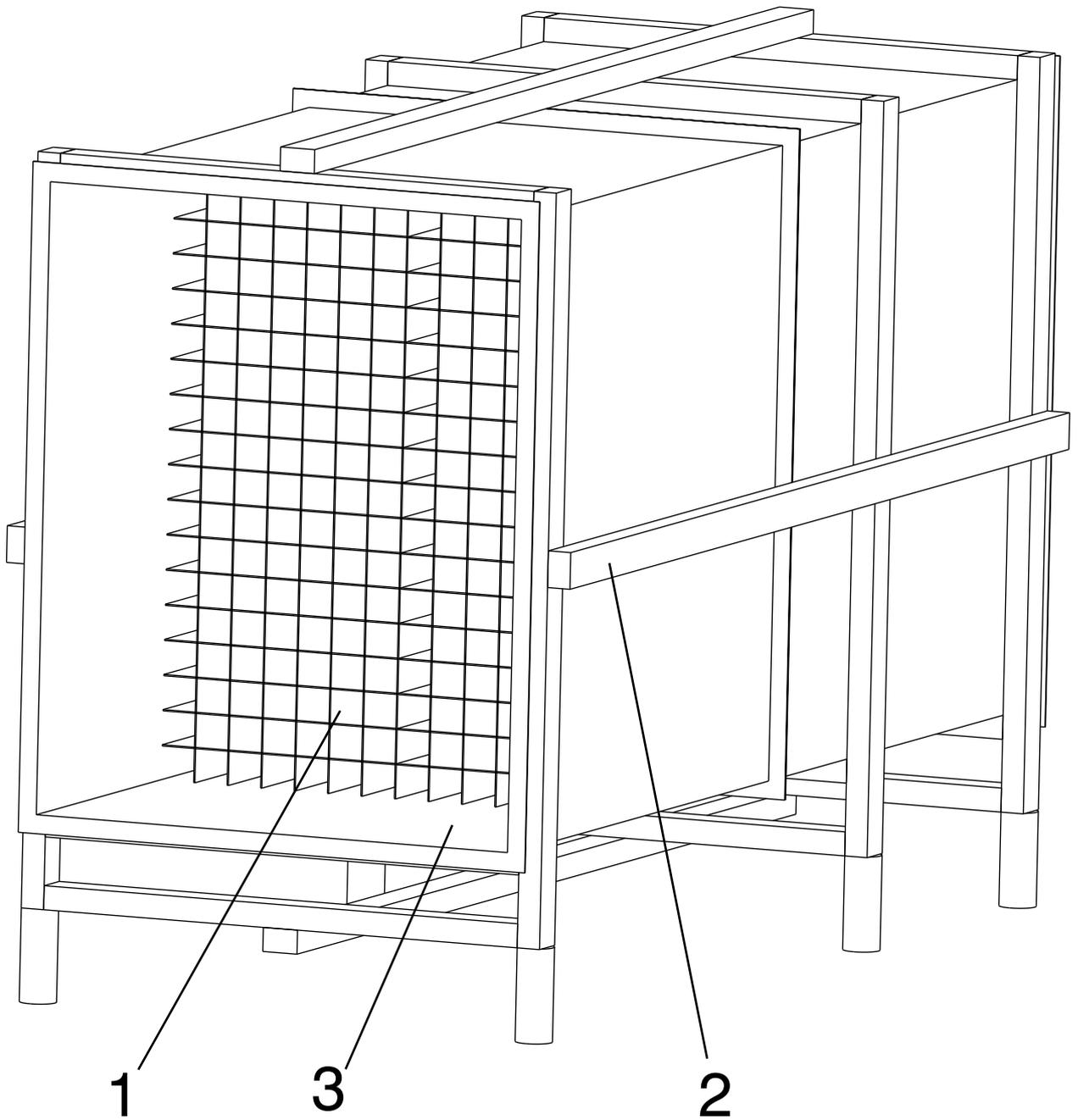
A-A

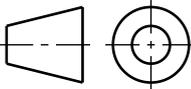
		Zul. Abw. mittel DIN ISO 2768		Oberfl.	Maßstab 1:20	Gewicht ca. 23 kg
					Werkstoff, Halbzeug Holz, Multiplex	
		2015	Datum	Name	Benennung Vorderteil	
		Bearb.	26.01	Fränkel		
		Gepr.				
		Norm				
				Hochschule Merseburg		Zeichnungsnummer BMMP11-2.4
						Blatt 6 22 Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr. CATIA V5	Ers. f.:	Ers. d.:

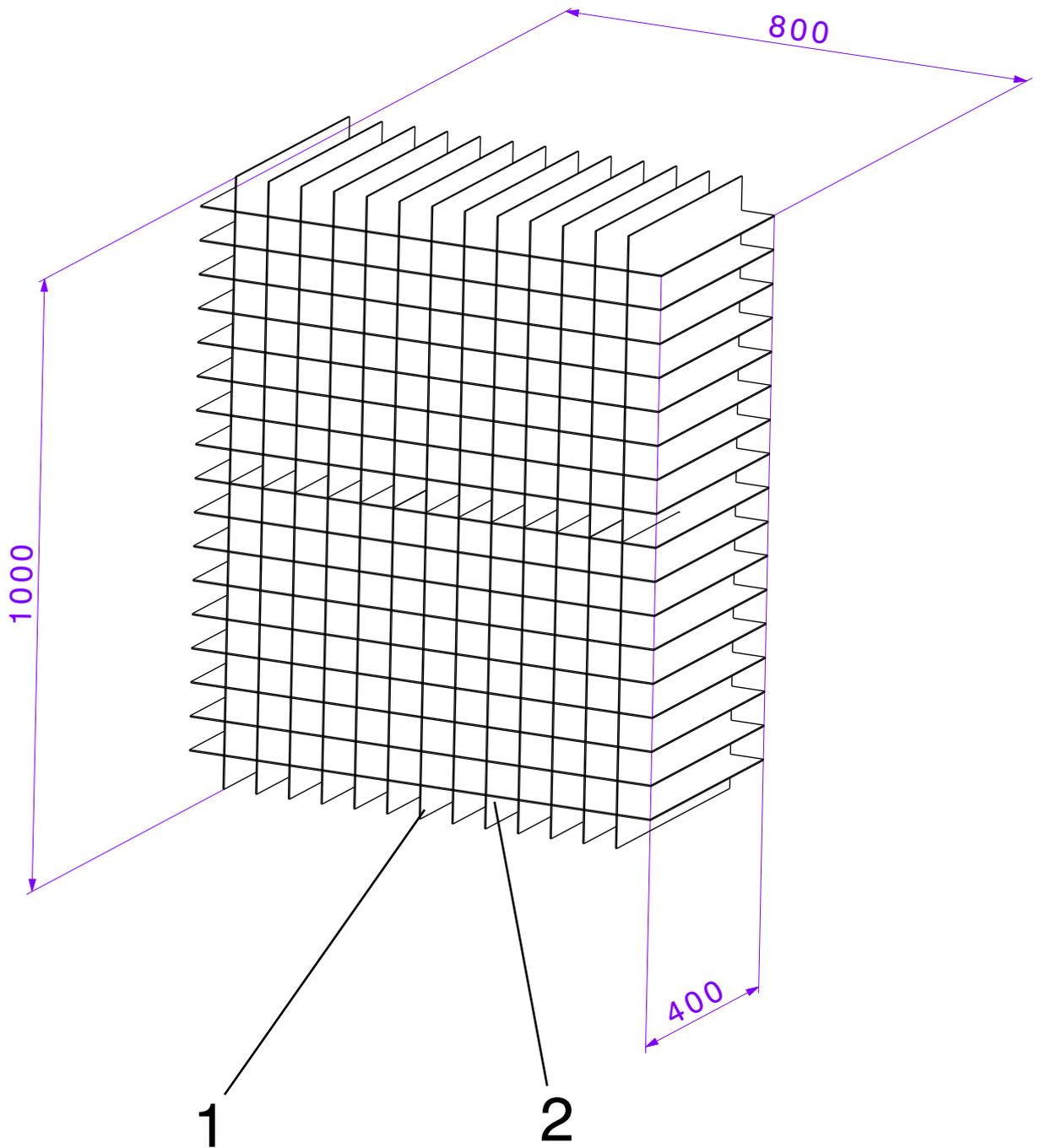
A-A Maßstab 1:5



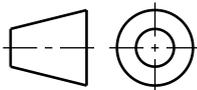
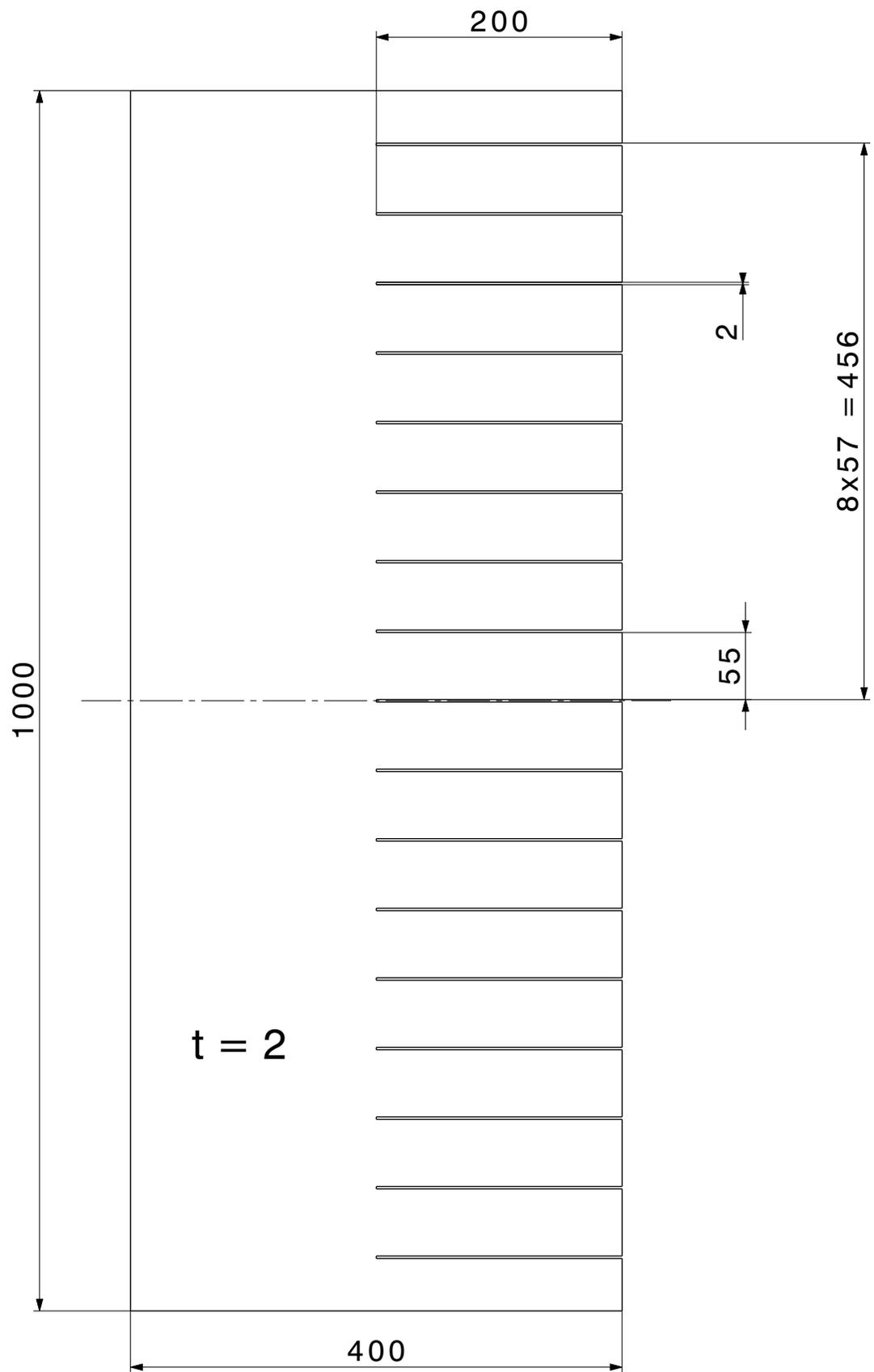
		Zul. Abw. mittel DIN ISO 2768		Oberfl.	Maßstab 1:10	Gewicht ca. 23,5 kg
					Werkstoff, Halbzeug Holz, Multiplex	
		2015	Datum	Name	Benennung Hinterteil	
		Bearb.	26.01	Fränkel		
		Gepr.				
		Norm				
				Hochschule Merseburg		Zeichnungsnummer BMMP11-2.5
						Blatt 7 22 Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr. CATIA V5	Ers. f.:	Ers. d.:



		Zul. Abw. mittel DIN ISO 2768		Oberfl.	Maßstab 1:10	Gewicht
					Werkstoff, Halbzeug	
		2015	Datum	Name	Benennung Modul Hilfsventilator	
		Bearb.	26.01	Fränkel		
		Gepr.				
		Norm				
				Hochschule Merseburg	Zeichnungsnummer	Blatt 9
					BMMP11-3	22 Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr. CATIA V5	Ers. f.:	Ers. d.:



		Zul. Abw. mittel DIN ISO 2768		Oberfl.	Maßstab 1:10	Gewicht ca. 25 kg	
					Werkstoff, Halbzeug Kunststoff		
		2015	Datum	Name	Benennung Gleichrichter		
		Bearb.	26.01	Fränkel			
		Gepr.					
		Norm					
		Hochschule Merseburg			Zeichnungsnummer	BMMP11-3.2	Blatt 11
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr. CATIA V5	Ers. f.:	Ers. d.:	22 Bl.



Zul. Abw.
mittel
DIN ISO 2768

Oberfl.

Maßstab 1:5

Gewicht ca. 946 g

Werkstoff, Halbzeug

Kunststoff

2015	Datum	Name
Bearb.	26.01	Fränkel
Gepr.		
Norm		

Benennung

Gleichrichterteil 1

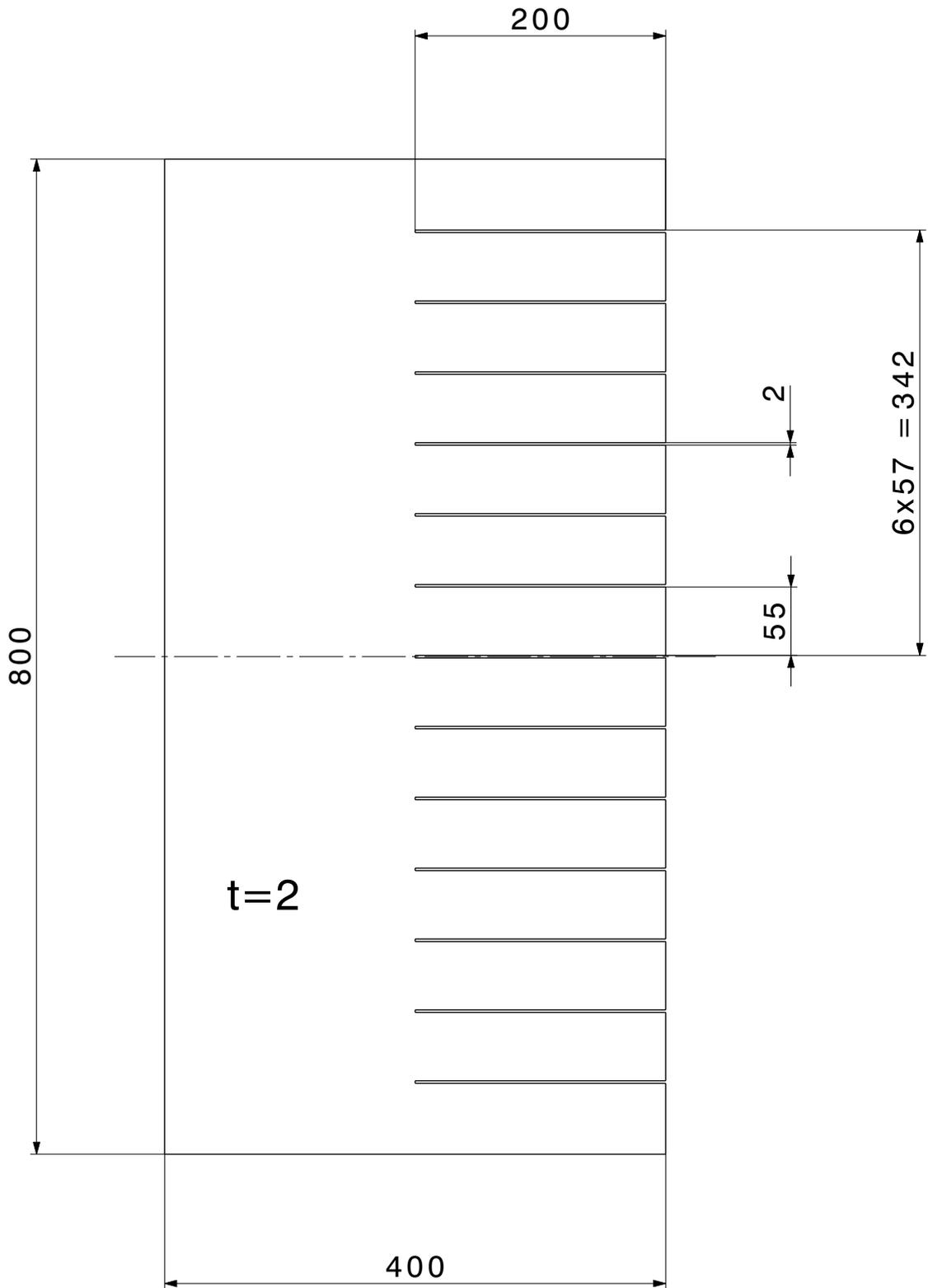
Hochschule
Merseburg

Zeichnungsnummer

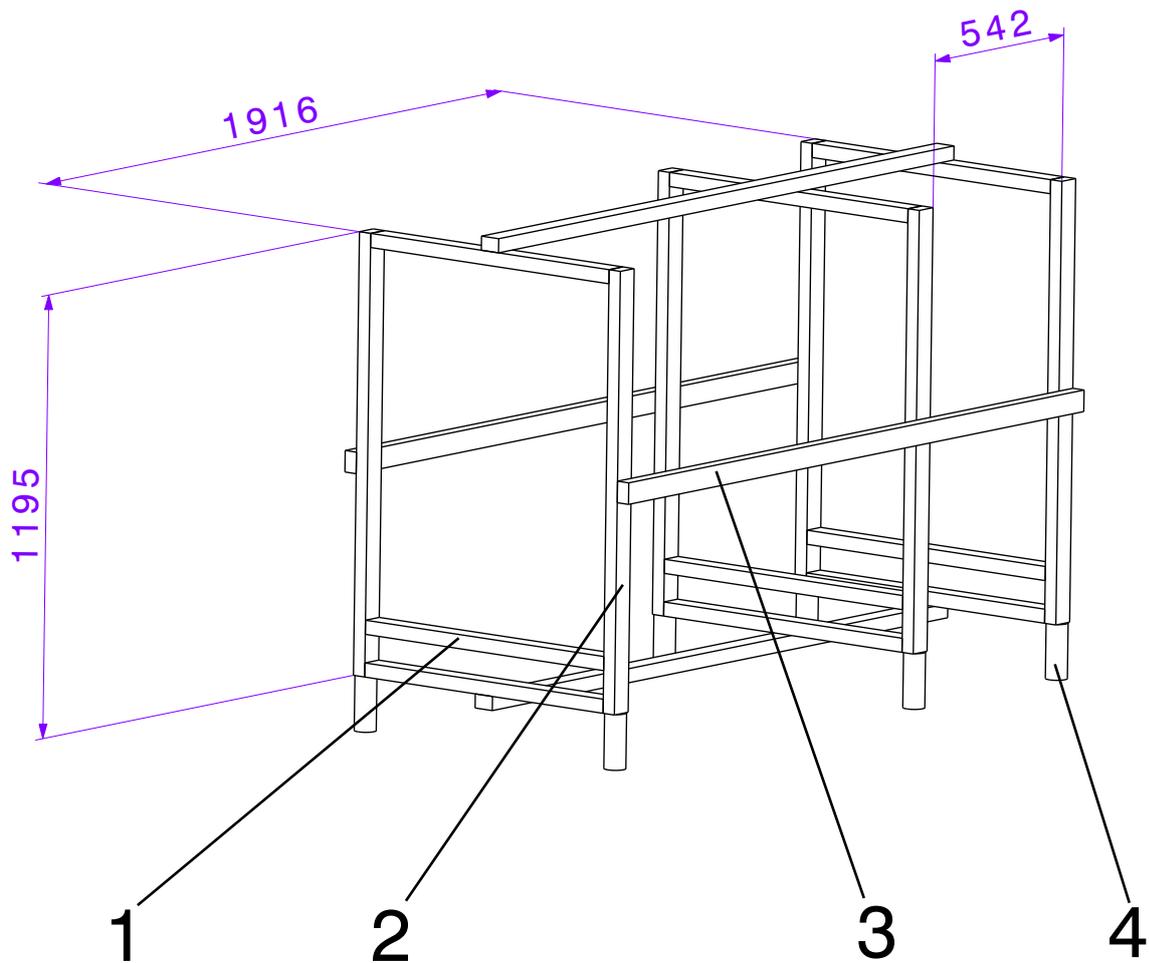
BMMP11-3.2.2

Blatt
13
22 Bl.

Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr. CATIA V5	Ers. f.:	Ers. d.:
-------	----------	-------	------	-----------------	----------	----------

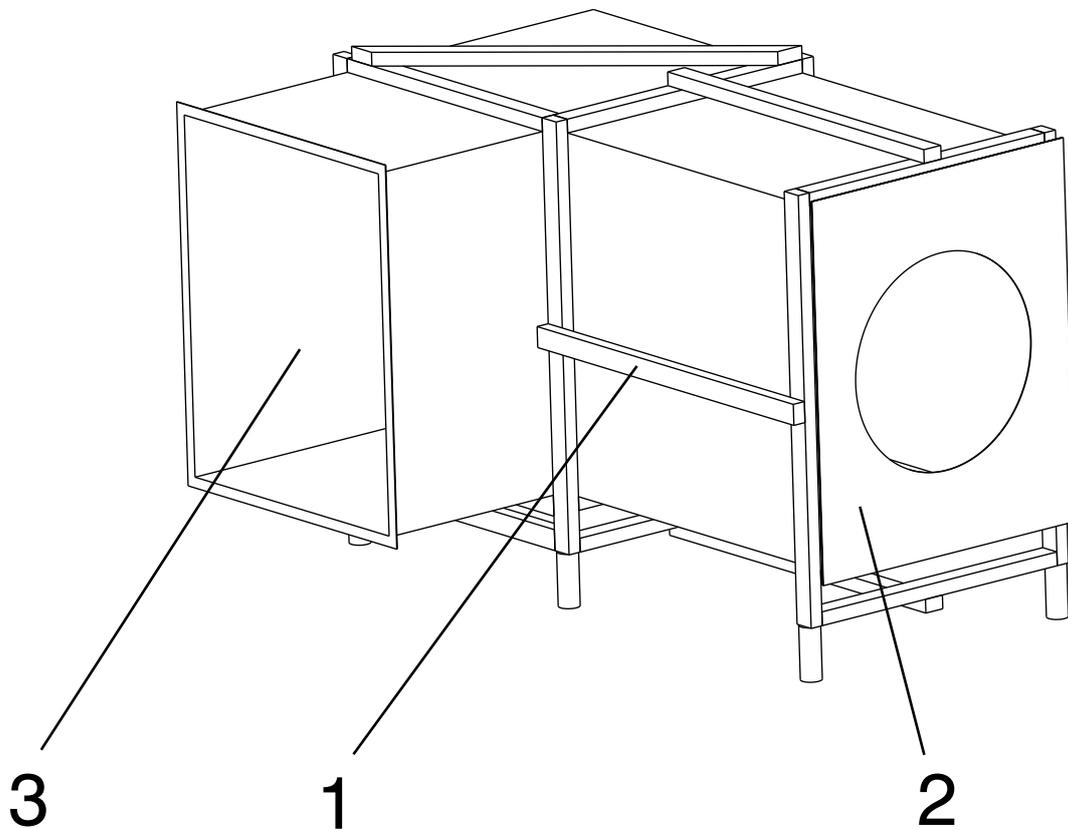


		Zul. Abw. mittel DIN ISO 2768		Oberfl.	Maßstab 1:5	Gewicht ca. 756 g
					Werkstoff, Halbzeug Kunststoff	
		2015	Datum	Name	Benennung Gleichrichterteil 2	
		Bearb.	26.01	Fränkel		
		Gepr.				
		Norm				
		Hochschule Merseburg			Zeichnungsnummer BMMP11-3.2.3	Blatt 14
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr. CATIA V5	Ers. f.:	Ers. d.:
						22 Bl.



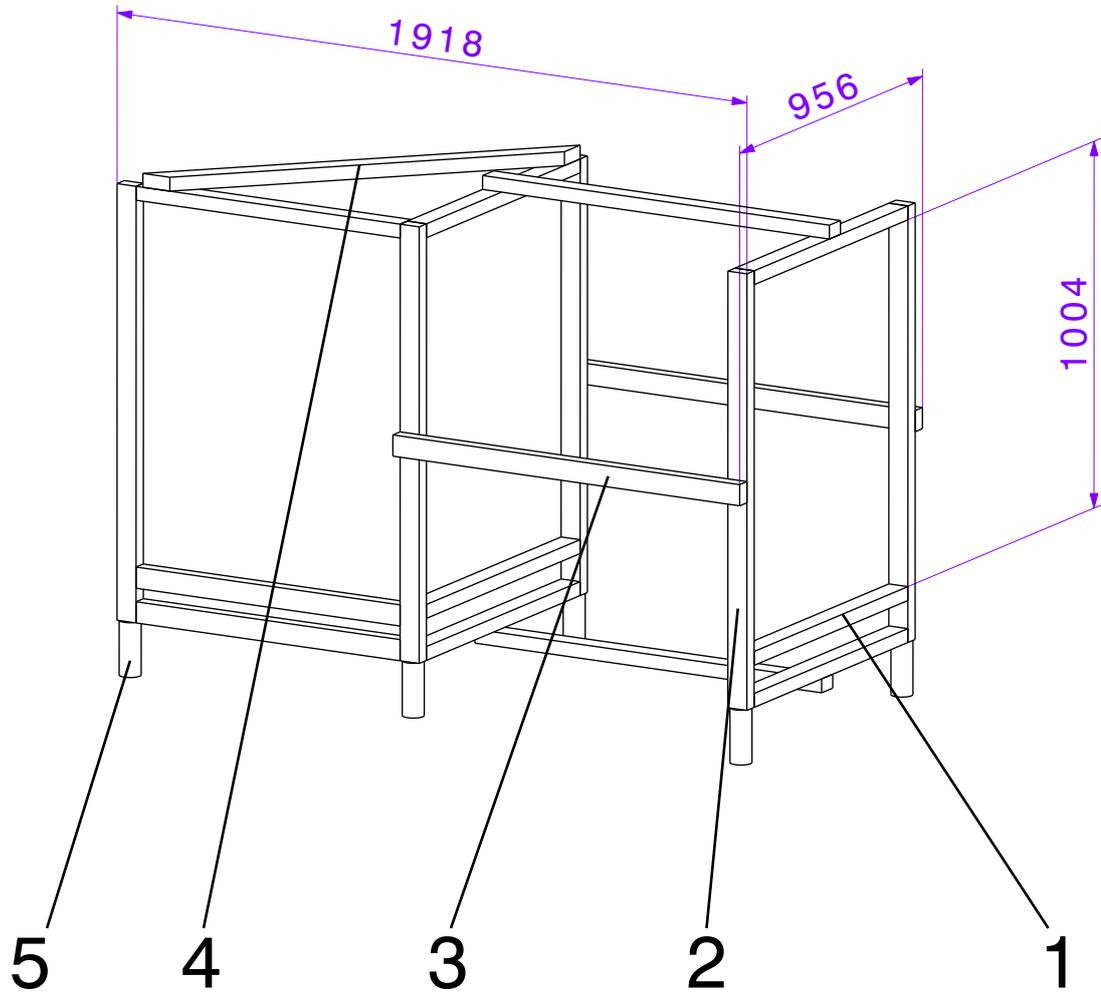
5	24	Stck	Schrauben	5x60 T-Star Plus	Spax
4	6	Stck	Sockelfuß	150	
3	4	Stck	Strebe 3	38x58x1916	Holz
2	6	Stck	Strebe 2	38x58x1195	Holz
1	9	Stck	Strebe 1	58x38x804	Holz
Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer/Norm-Kurzbezeichnung	Bemerkung

		Zul. Abw. mittel DIN ISO 2768	Oberfl.	Maßstab 1:20 Werkstoff, Halbzeug	Gewicht
2013 Datum Bearb. 26.01 Name Gepr. Fränkel Norm			Benennung <h2 style="text-align: center;">Hilfsrahmen 1</h2>		
Hochschule Merseburg			Zeichnungsnummer <h2 style="text-align: center;">BMMP11-3.3</h2>		Blatt 15 22 Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr. CATIA V5	Ers. f.: Ers. d.:



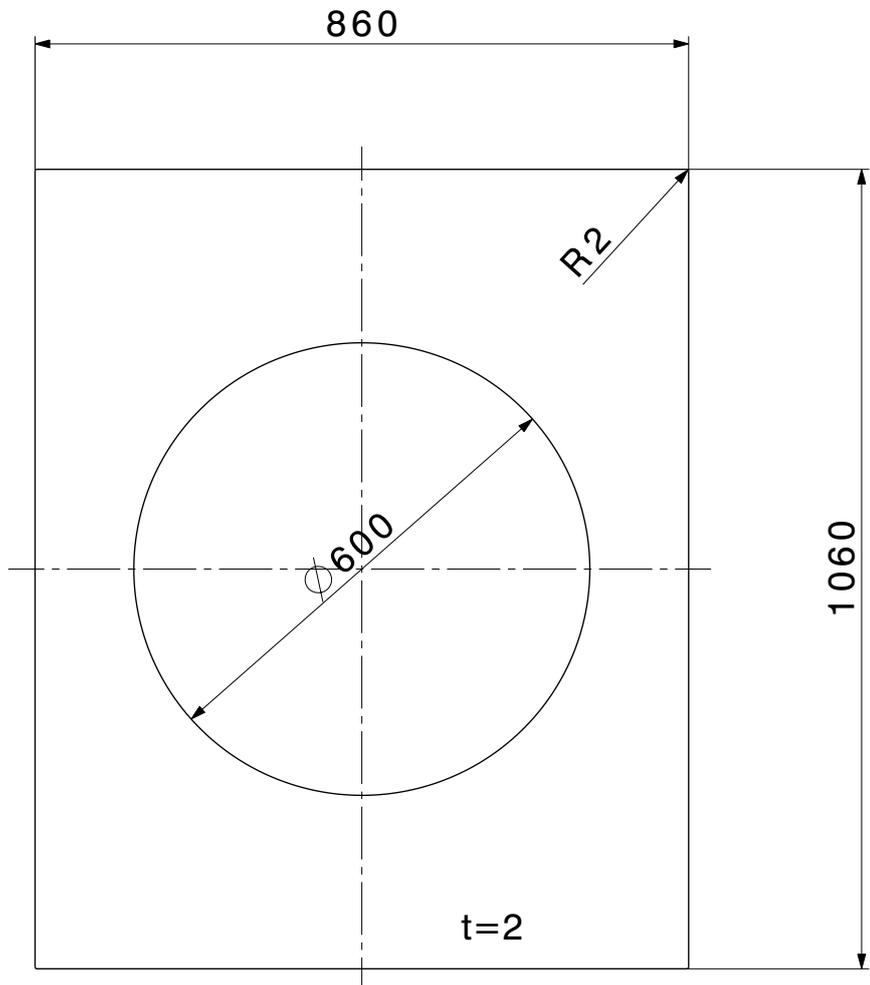
3	1	Stck	Formteil geschweißt	800x1000x2 90° e1100 f600	BerlinerLuft
2	1	Stck	Kanaldeckel	BMMP11-4.2	Holz
1	1	Stck	Hilfsrahmen 2	BMMP11-4.1	Holz
Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer/Norm-Kurzbezeichnung	Bemerkung

		Zul. Abw. mittel DIN ISO 2768	Oberfl.	Maßstab 1:20 Werkstoff, Halbzeug	Gewicht
		2013 Bearb.	Datum 26.01	Name Fränkel	<h2 style="text-align: center;">Modul Umlenkecke</h2>
		Gepr.			
		Norm			
Hochschule Merseburg				Zeichnungsnummer BMMP11-4	Blatt 16 22 Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr. CATIA V5	Ers. f.: Ers. d.:



6	30	Stck	Schraube	5x60 T-Star Plus	Spax
5	5	Stck	Sockelfuß	150	
4	2	Stck	Strebe 5	38x58x1190	45° Gehrung
3	4	Stck	Strebe 4	38x58x1056	Holz
2	6	Stck	Strebe 2	38x58x1195	Holz
1	9	Stck	Strebe 1	58x38x804	Holz
Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer/Norm-Kurzbezeichnung	Bemerkung

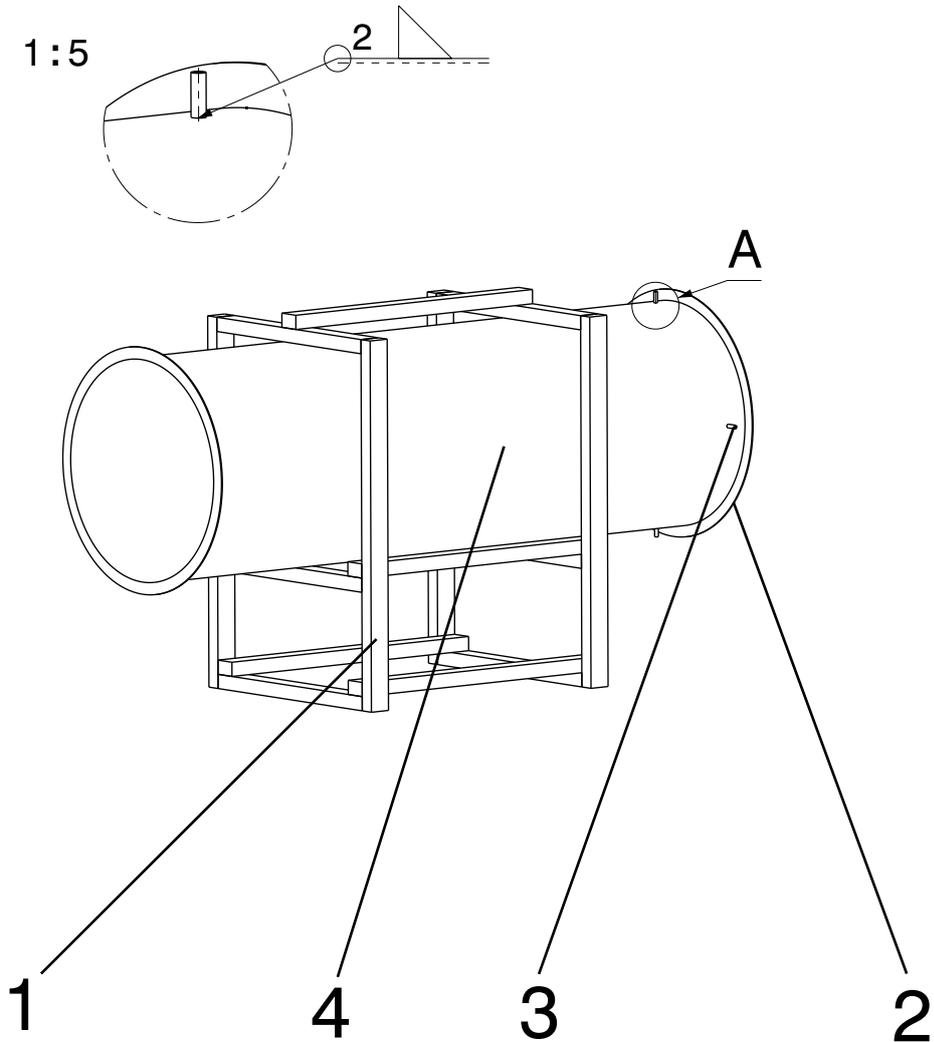
		Zul. Abw. mittel DIN ISO 2768	Oberfl.	Maßstab 1:20 Werkstoff, Halbzeug	Gewicht												
<table border="1"> <tr> <td>2013</td> <td>Datum</td> <td>Name</td> </tr> <tr> <td>Bearb.</td> <td>26.01</td> <td>Fränkel</td> </tr> <tr> <td>Gepr.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Norm</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			2013	Datum	Name	Bearb.	26.01	Fränkel	Gepr.			Norm			Benennung Hilfsrahmen 2		
2013	Datum	Name															
Bearb.	26.01	Fränkel															
Gepr.																	
Norm																	
Hochschule Merseburg			Zeichnungsnummer BMMP11-4.1		Blatt 17 22 Bl.												
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr. CATIA V5	Ers. f.: Ers. d.:												



		Zul. Abw. mittel DIN ISO 2768		Oberfl.	Maßstab 1:10	Gewicht ca. 9 kg	
					Werkstoff, Halbzeug Baustahl		
		2015	Datum	Name	Benennung Kanaldeckel		
		Bearb.	26.01	Fränkel			
		Gepr.					
		Norm					
		Hochschule Merseburg			Zeichnungsnummer	BMMP11-4.2	Blatt 18
							22 Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr. CATIA V5	Ers. f.:	Ers. d.:	

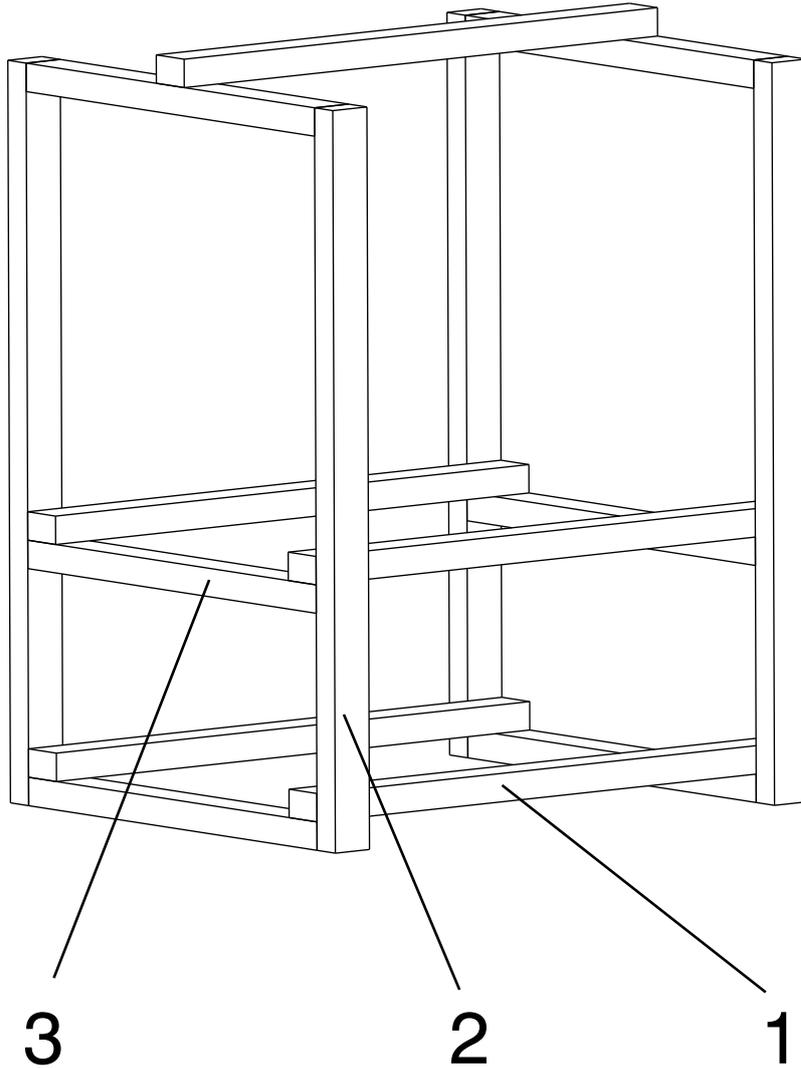
Detail A

Maßstab: 1:5



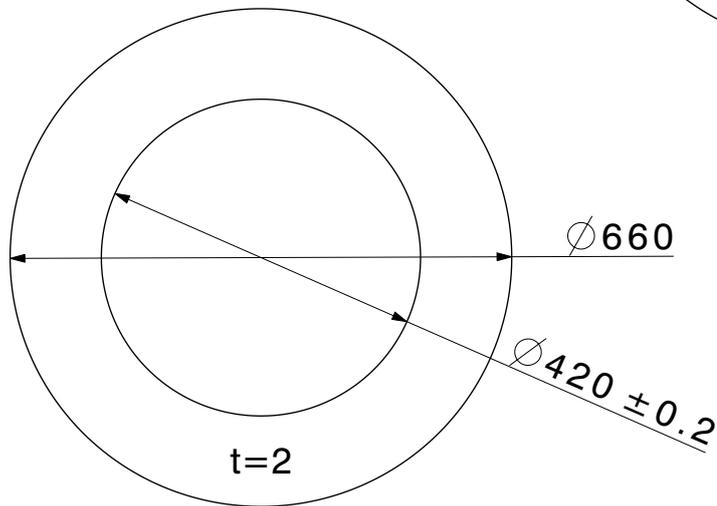
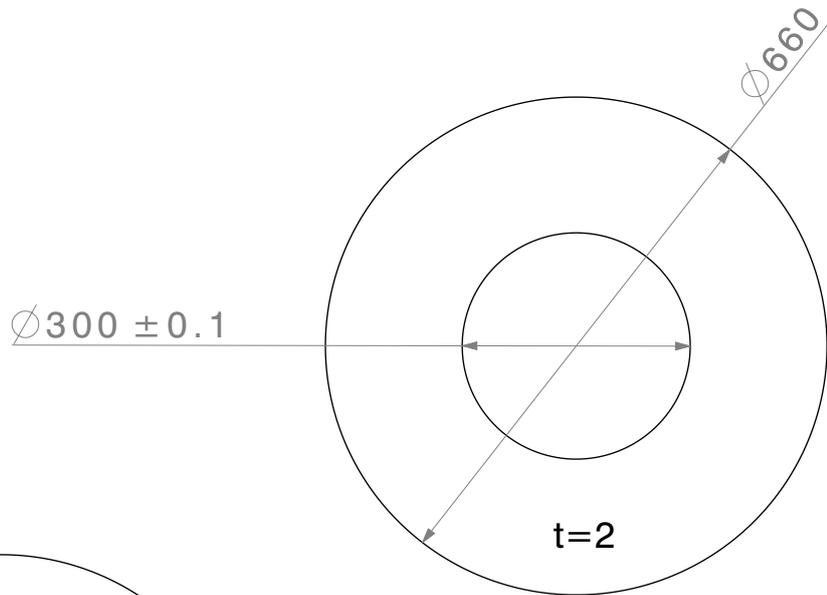
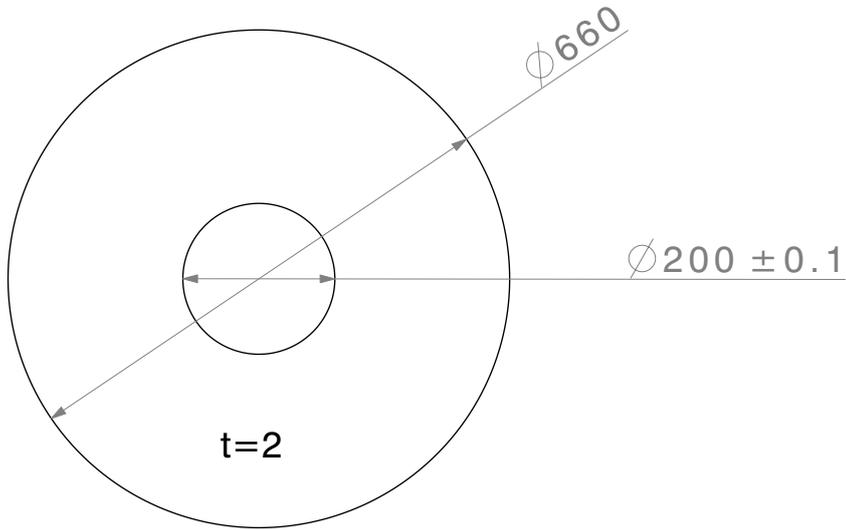
Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer/Norm-Kurzbezeichnung	Bemerkung
4	1	Stck	Messrohr	DN600x1800	mit Flansch
3	4	Stck	Druckentname	BMMP11-5.3	
2	1	Stck	Messblende	BMMP11-5.2	
1	1	Stck	Hilfsrahmen 3	BMMP11-5.1	

		Zul. Abw. mittel DIN ISO 2768	Oberfl.	Maßstab 1:20 Werkstoff, Halbzeug	Gewicht	
2013 Datum Bearb. 26.01 Gepr. Norm			Name Fränkel	Benennung Volumenstrommessebene		
Hochschule Merseburg				Zeichnungsnummer BMMP11-5	Blatt 19 22 Bl.	
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr. CATIA V5	Ers. f.:	Ers. d.:

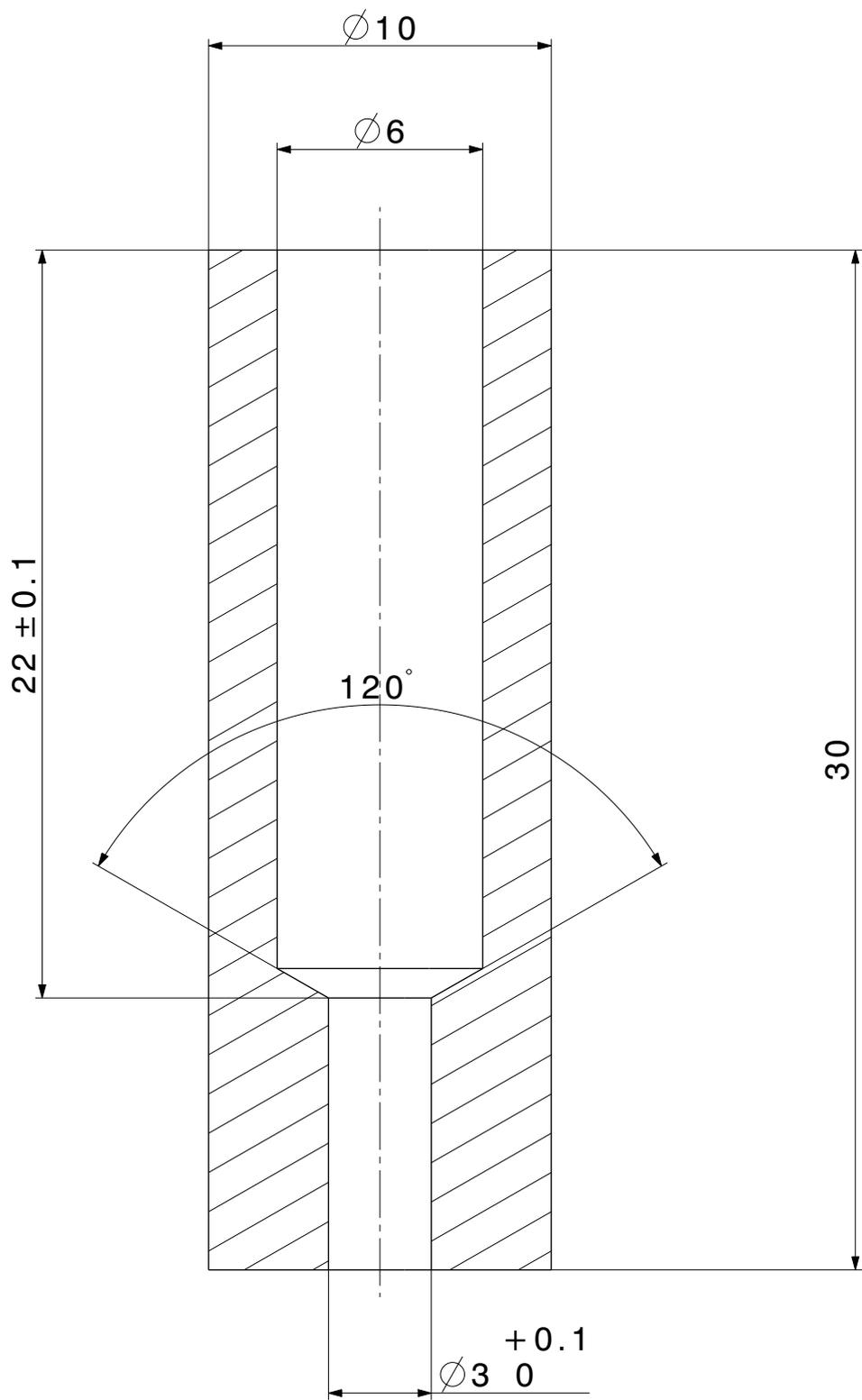


5	22	Stck	Schrauben	5x60 T-Star Plus	
4	4	Stck	Sockelfuß	150	
3	4	Stck	Strebe 7	38x58x600	Holz
2	6	Stck	Strebe 6	38x58x993	Holz
1	9	Stck	Strebe 1	58x38x804	Holz
Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer/Norm-Kurzbezeichnung	Bemerkung

		Zul. Abw. mittel DIN ISO 2768	Oberfl.	Maßstab 1:20 Werkstoff, Halbzeug	Gewicht												
<table border="1"> <tr> <td>2013</td> <td>Datum</td> <td>Name</td> </tr> <tr> <td>Bearb.</td> <td>26.01</td> <td>Fränkel</td> </tr> <tr> <td>Gepr.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Norm</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			2013	Datum	Name	Bearb.	26.01	Fränkel	Gepr.			Norm			<h2>Hilfsrahmen 3</h2>		
2013	Datum	Name															
Bearb.	26.01	Fränkel															
Gepr.																	
Norm																	
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Hochschule Merseburg</td> <td>Zeichnungsnummer</td> <td>Blatt</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td style="text-align: center; font-size: 1.5em;">BMMP11-5.1</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td></td> <td>22 Bl.</td> </tr> </table>			Hochschule Merseburg		Zeichnungsnummer	Blatt			BMMP11-5.1	20				22 Bl.			
Hochschule Merseburg		Zeichnungsnummer	Blatt														
		BMMP11-5.1	20														
			22 Bl.														
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr. CATIA V5	Ers. f.:	Ers. d.:											



		Zul. Abw. mittel DIN ISO 2768		Oberfl.	Maßstab 1:10	Gewicht	
					Werkstoff, Halbzeug Edelstahl, poliert		
		2015	Datum	Name	Benennung Messblenden		
		Bearb.	26.01	Fränkel			
		Gepr.					
		Norm					
		Hochschule Merseburg			Zeichnungsnummer	BMMP11-5.2	Blatt 21
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr. CATIA V5	Ers. f.:	Ers. d.:	22 Bl.



		Zul. Abw. mittel DIN ISO 2768		Oberfl.	Maßstab 5:1	Gewicht	
					Werkstoff, Halbzeug Baustahl		
		2015	Datum	Name	Benennung Druckentnahme		
		Bearb.	26.01	Fränkel			
		Gepr.					
		Norm					
		Hochschule Merseburg			Zeichnungsnummer	BMMP11-5.3	Blatt 22
							22 Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr. CATIA V5	Ers. f.:	Ers. d.:	



OpenAir™

Stellantriebe für Luftklappen

GBB...1
GIB...1

Drehversion, AC 24 V / AC 230 V

Elektromotorische Drehantriebe für Dreipunkt- und stetig wirkende Steuerung, Nenndrehmoment 25 Nm (GBB) resp. 35 Nm (GIB), selbstzentrierender Achsadapter, Arbeitsbereich mechanisch einstellbar zwischen 0...90°, vorverdrahtet mit Anschlusskabeln von 0,9 m Standardlänge.

Typenspezifische Varianten mit einstellbarem Startpunkt und Arbeitsbereich für das Stellsignal, Stellungsmelder, Rückführpotentiometer und einstellbaren Hilfsschaltern für Zusatzfunktionen.

Hinweise

Dieses Datenblatt vermittelt eine Kurzübersicht dieser Stellantriebe. Eine ausführliche Beschreibung mit Angaben zur Sicherheit, Hinweise zur Projektierung, Montage- und Inbetriebnahme der Antriebe finden Sie in der Dokumentation "Technische Grundlagen" Z4626de.

Anwendung

- Für Klappenflächen bis zu ca. 4 m² (GBB) resp. 6 m² (GIB), je nach Gängigkeit
- Geeignet in Verbindung mit stetig wirkenden Reglern (DC 0...10 V) oder Dreipunktreglern (z.B. für Aussenluftklappen)
- Für Klappen mit zwei Antrieben auf derselben Klappenachse (Powerpack)

Anlage 2

Typenübersicht

GBB../GIB...	131.1E	135.1E	136.1E	331.1E	335.1E	336.1E	161.1E	163.1E	164.1E	166.1E
Steuerungsart	Dreipunktsteuerung						Stetig wirkende Steuerung			
Betriebsspannung AC 24 V	X	X	X				X	X	X	X
Betriebsspannung AC 230 V				X	X	X				
Stellsignal Y DC 0...10 V							X			X
DC 0...35 V mit Kennlinienfunktion $U_0, \Delta U$								X	X	
Stellungsmelder $U = DC 0...10 V$							X	X	X	X
Rückführpotentiometer 1 k Ω		X			X					
Hilfsschalter (zwei)		X	X		X	X			X	X
Drehrichtungsschalter							X	X	X	X
Powerpack (zwei Antriebe)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Funktionen

Typ	GBB.3..1 / GIB.3..1	GBB/GIB16..1
Steuerungsart	Dreipunktsteuerung	Stetig wirkende Steuerung
Stellsignal, mit einstellbarer Kennlinienfunktion		DC 0...35 V mit Startpunkt $U_0 = 0...5 V$ und Arbeitsbereich $\Delta U = 2...30 V$
Drehrichtung	Die Drehung im Uhrzeiger- oder Gegenuhrzeigersinn ist abhängig...	
	...von der Ansteuerung. Im stromlosen Zustand bleibt der Antrieb in der erreichten Stellung.	...von der Stellung des Drehrichtungswahlschalters Uhrzeigersinn / Gegenuhrzeigersinn
Stellungsanzeige: mechanisch	Drehwinkelpositionsanzeige mittels Stellungsanzeiger.	
Stellungsanzeige: elektrisch	Das Rückführpotentiometer kann zur Stellungsanzeige an eine externe Spannungsquelle angeschlossen werden.	Stellungsmelder: Proportional zum Drehwinkel wird eine Ausgangsspannung $U = DC 0...10 V$ generiert. U ist abhängig von der Drehrichtungsschalterstellung.
Hilfsschalter	Die Schaltpunkte der Hilfsschalter A und B können unabhängig voneinander von 0...90° in 5° Schritten eingestellt werden.	
Powerpack	Mit dem Zubehör ASK73.1 wird durch das Montieren von zwei gleichen Antriebstypen auf derselben Klappenachse das doppelte Drehmoment erreicht.	Mit dem Zubehör ASK73.2 wird durch das Montieren von zwei gleichen Antriebstypen auf derselben Klappenachse das doppelte Drehmoment erreicht.
Drehwinkelbegrenzung	Der Drehwinkel des Achsadapters kann mechanisch in 5°-Schritten begrenzt werden.	

Bestellung

Hinweis	Potentiometer können nicht nachträglich eingebaut werden. Bestellen Sie deshalb denjenigen Typ, welcher die benötigten Optionen enthält.
Lieferung	Lose Teile wie Achsadapter mit Stellungsanzeiger und übriges Montagematerial zum Antrieb, werden im nicht montierten Zustand geliefert.
Zubehör, Ersatzteile	Zur Funktionserweiterung der Antriebe steht diverses Zubehör zur Verfügung, wie z.B. Dreh/Linearaufbausätze, externer Hilfsschalter (mit 1 oder 2 Schalter) und Wetterschutzhaube, siehe Datenblatt N4699 .

Anlage 2

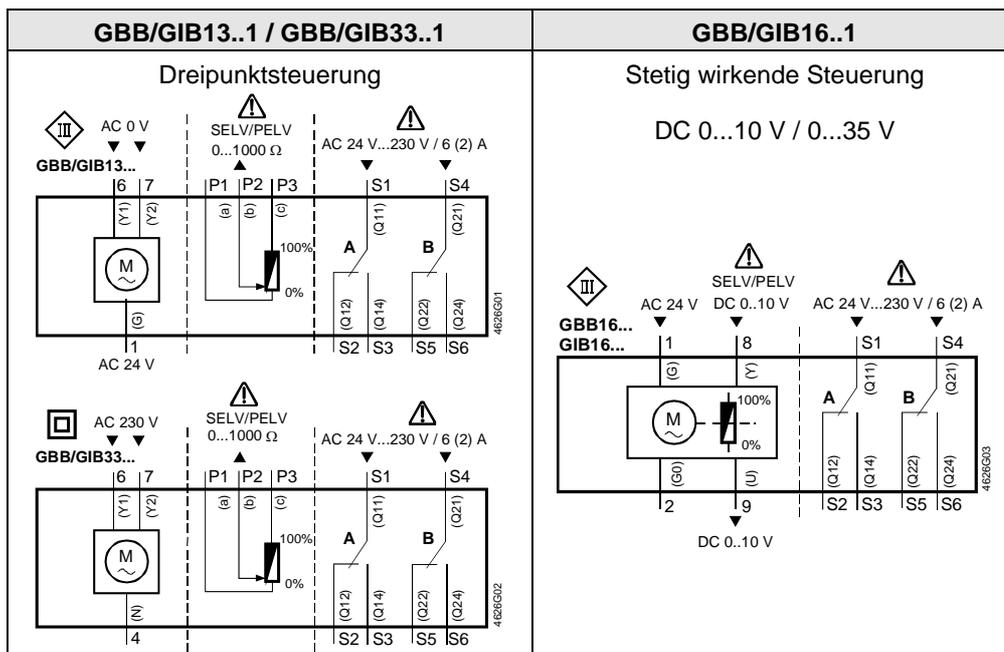
Technische Daten

 Speisung AC 24 V (SELV/PELV)	Betriebsspannung / Frequenz	AC 24 V ± 20 % / 50/60 Hz		
	Leistungsaufnahme	GBB/GIB13..1	Antrieb dreht	7 VA, 7 W
		GBB/GIB16..1	Antrieb dreht	8 VA, 8 W
		GBB/GIB16..1	Haltezustand	1.1 W
 Speisung AC 230 V	Betriebsspannung / Frequenz	AC 230 V ± 10 % / 50/60 Hz		
	Leistungsaufnahme	GBB/GIB33..1 5 VA, 5 W		
	Funktionsdaten	Nenn Drehmoment	25 Nm GBB 35 Nm GIB	
		Maximales Drehmoment (bei Blockierung)	50 Nm GBB 75 Nm GIB	
Stellsignal für GBB/GIB16..1	Nenn Drehwinkel / Maximaler Drehwinkel	90° / max. 95° ± 2°		
	Laufzeit für Drehwinkel 90°	150 s (50 Hz) / 125 s (60 Hz)		
	Eingangsspannung Y (Adern 8-2)	DC 0...10 V		
	Max. zulässige Eingangsspannung	DC 35 V		
Kennlinienfunktionen für GBB/GIB161.1, 166.1 für GBB/GIB163.1, 164.1	Eingangsspannung Y (Adern 8-2)	DC 0...35 V		
	Nicht einstellbare Kennlinienfunktion	DC 0...10 V		
	Einstellbare Kennlinienfunktion	Startpunkt U ₀	DC 0...5 V	
		Arbeitsbereich ΔU	DC 2...30 V	
Stellungsmelder für GBB/GIB16...1	Ausgangsspannung U (Adern 9-2)	DC 0...10 V		
	max. Ausgangsstrom	DC ± 1 mA		
Rückführpotentiometer für GBB/GIB135.1, 335.1	Widerstandsänderung (Adern P1-P2)	0...1000 Ω		
	Belastung	< 1 W		
 Hilfsschalter für GBB/GIB..4.1/..5.1/..6.1	Kontaktbelastbarkeit	6 A ohmisch, 2 A induktiv		
	Spannung (kein Mischbetrieb AC 24 V / AC 230 V)	AC 24...230 V		
	Schaltbereich der Hilfsschalter	5°...90°		
	Einstellschritte	5°		
Anschlusskabel	Querschnitt	0,75 mm ²		
	Standardlänge	0,9 m		
Gehäuseschutzart	Schutzart nach EN 60 529 (Montagehinweis beachten)	IP 54		
Schutzklasse	Isolationsschutzklasse	EN 60 730		
	AC 24 V, Rückführpotentiometer	III		
	AC 230 V, Hilfsschalter	II		
Umweltbedingungen	Betrieb / Transport	IEC 721-3-3 / IEC 721-3-2		
	Temperatur	-32...+55 °C / -32...+70 °C		
	Feuchte (ohne Betauung)	< 95% r. F. / < 95% r. F.		
Normen und Richtlinien	Produktesicherheit: Automatische elektrische Regel- und Steuergeräte für den Hausgebrauch und ähnliche Anwendungen	EN 60 730-2-14 (Wirkungsweise Typ 1)		
	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV):			
	Störfestigkeit für alle Typen, ausgenommen GBB/GIB.35.1x	IEC/EN 61 000-6-2		
	Störfestigkeit für GBB/GIB.35.1x	IEC/EN 61 000-6-1		
	Störaussendung	IEC/EN 61 000-6-3		
	 Konformität:			
	Elektromagnetische Verträglichkeit	89/336/EWG		
	Niederspannungsrichtlinie	73/23/EWG		
	 Konformität:			
	Australian EMC Framework	Radio Communication Act 1992		
Radio Interference Emission Standard	AS/NZS 3548			
Abmessungen	Antrieb B x H x T (siehe Massbild)	100 x 300 x 67,5 mm		
	Klappenachse:	rund	8...25,6 mm	
		4-kant	6...18 mm	
		min. Achslänge	20 mm	
Gewicht	ohne Verpackung	2 kg		

Entsorgungshinweis

Die Dokumentation "Technische Grundlagen" und die Umweltdeklaration enthalten Anweisungen zur Umweltverträglichkeit und Entsorgung dieses Gerätes.

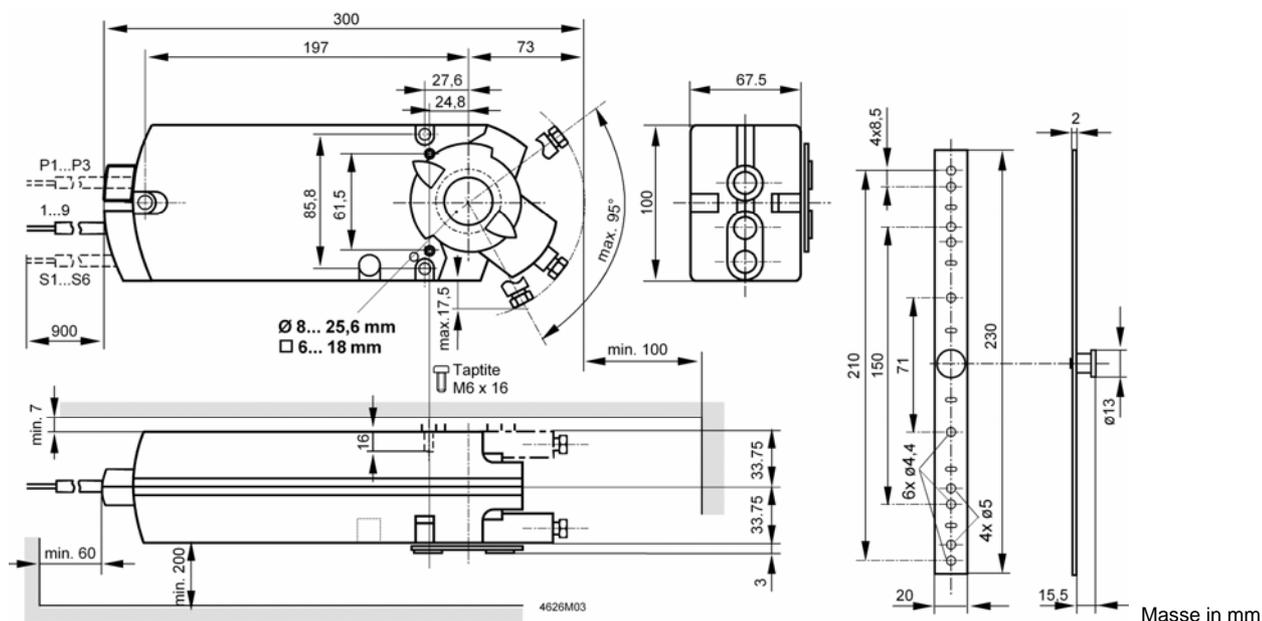
Geräteschaltpläne



Kabelbezeichnungen

Anschluss	Kabel				Bedeutung
	Code	Nummer	Farbe	Abkürzung	
Antriebe AC 24 V	G	1	rot	RD	System Potential AC 24 V
	G0	2	schwarz	BK	Systemnull
	Y1	6	violett	VT	Stellsignal AC 0 V, Uhrzeigersinn
	Y2	7	orange	OG	Stellsignal AC 0 V, Gegenuhrzeiger
	Y	8	grau	GY	Stellsignal DC 0...10 V, 0...35 V
	U	9	rosa	PK	Stellungsanzeige DC 0...10 V
Antriebe AC 230V	N	4	blau	BU	Nullleiter
	Y1	6	schwarz	BK	Stellsignal AC 230 V, Uhrzeigersinn
	Y2	7	weiss	WH	Stellsignal AC 230 V, Gegenuhrzeigersinn
Hilfsschalter	Q11	S1	grau/rot	GY RD	Schalter A Eingang
	Q12	S2	grau/blau	GY BU	Schalter A Ruhekontakt
	Q14	S3	grau/rosa	GY PK	Schalter A Arbeitskontakt
	Q21	S4	schwarz/rot	BK RD	Schalter B Eingang
	Q22	S5	schwarz/blau	BK BU	Schalter B Ruhekontakt
	Q24	S6	schwarz/rosa	BK PK	Schalter B Arbeitskontakt
Rückführpotiometer	a	P1	weiss/rot	WH RD	Potentiometer 0...100 % (P1-P2)
	b	P2	weiss/blau	WH BU	Potentiometer Abgriff
	c	P3	weiss/rosa	WH PK	Potentiometer 100...0 % (P3-P2)

Massbild



D[m]= 0,18		K[m]= 0,0001		ζ _{mittelRohr} [-]= 0,136688		
ρ [kg/m³]= 1,2		Rohrlänge l[m]= 1,44				
q[m³/h]	p _{dyn} [Pa]	Δp[Pa]	p _v -Messebene[Pa]	Re[-]	λ[-]	ζ _{Rohr} [-]
100	0,71	1,07	1,17	47157020,18	0,017094	0,136749
200	2,86	4,29	4,68	94314040,35	0,017090	0,136716
300	6,43	9,66	10,53	141471060,53	0,017088	0,136705
400	11,44	17,18	18,72	188628080,70	0,017087	0,136700
500	17,87	26,84	29,25	235785100,88	0,017087	0,136696
600	25,74	38,65	42,13	282942121,05	0,017087	0,136694
700	35,03	52,61	57,34	330099141,23	0,017087	0,136692
800	45,76	68,72	74,89	377256161,40	0,017086	0,136691
900	57,91	86,97	94,78	424413181,58	0,017086	0,136690
1000	71,50	107,37	117,02	471570201,75	0,017086	0,136690
1250	111,71	167,77	182,84	589462752,19	0,017086	0,136688
1500	160,86	241,59	263,28	707355302,63	0,017086	0,136687
1750	218,95	328,83	358,36	825247853,07	0,017086	0,136687
2000	285,98	429,49	468,06	943140403,51	0,017086	0,136686
2250	361,94	543,58	592,39	1061032953,95	0,017086	0,136686
2500	446,84	671,08	731,35	1178925504,38	0,017086	0,136686
2750	540,68	812,01	884,93	1296818054,82	0,017086	0,136685
3000	643,46	966,36	1053,14	1414710605,26	0,017086	0,136685
3250	755,17	1134,13	1235,97	1532603155,70	0,017086	0,136685
3500	875,82	1315,32	1433,44	1650495706,14	0,017086	0,136685
3750	1005,40	1509,94	1645,53	1768388256,58	0,017086	0,136685
4000	1143,92	1717,97	1872,24	1886280807,02	0,017086	0,136685
4250	1291,38	1939,43	2113,59	2004173357,45	0,017086	0,136685
4500	1447,78	2174,31	2369,56	2122065907,89	0,017086	0,136684
4750	1613,11	2422,61	2640,16	2239958458,33	0,017086	0,136684
5000	1787,38	2684,33	2925,38	2357851008,77	0,017086	0,136684
5250	1970,58	2959,48	3225,23	2475743559,21	0,017086	0,136684
5500	2162,73	3248,04	3539,71	2593636109,65	0,017086	0,136684
5750	2363,81	3550,03	3868,82	2711528660,08	0,017086	0,136684
6000	2573,82	3865,44	4212,55	2829421210,52	0,017086	0,136684
6250	2792,78	4194,27	4570,91	2947313760,96	0,017086	0,136684
6500	3020,67	4536,52	4943,89	3065206311,40	0,017086	0,136684
6750	3257,50	4892,19	5331,51	3183098861,84	0,017086	0,136684
7000	3503,26	5261,29	5733,75	3300991412,28	0,017085	0,136684
7250	3757,96	5643,81	6150,61	3418883962,71	0,017085	0,136684
7500	4021,60	6039,75	6582,11	3536776513,15	0,017085	0,136684
7750	4294,18	6449,11	7028,23	3654669063,59	0,017085	0,136684
8000	4575,69	6871,89	7488,98	3772561614,03	0,017085	0,136684
8250	4866,14	7308,09	7964,35	3890454164,47	0,017085	0,136684
8500	5165,52	7757,72	8454,35	4008346714,91	0,017085	0,136684
8750	5473,85	8220,77	8958,98	4126239265,35	0,017085	0,136684
9000	5791,11	8697,23	9478,24	4244131815,78	0,017085	0,136684
9250	6117,30	9187,12	10012,12	4362024366,22	0,017085	0,136684
9500	6452,44	9690,44	10560,63	4479916916,66	0,017085	0,136684
9750	6796,51	10207,17	11123,76	4597809467,10	0,017085	0,136684
10000	7149,51	10737,33	11701,53	4715702017,54	0,017085	0,136684

Debimo

Anlage 3

D[m]= 0,4		K[m]= 0,0001		ζ _{mittelRohr[-]} = 0,114925		
ρ [kg/m³]= 1,2		Rohrlänge l[m]= 3,2				
q[m³/h]	p _{dyn} [Pa]	Δp[Pa]	p _{v-Messebene} [Pa]	Re[-]	λ[-]	ζ _{Rohr} [-]
100	0,03	0,04	0,05	21220659,08	0,014394	0,115155
200	0,12	0,18	0,19	42441318,16	0,014379	0,115030
300	0,26	0,40	0,43	63661977,24	0,014374	0,114988
400	0,47	0,70	0,76	84882636,32	0,014371	0,114967
500	0,73	1,10	1,18	106103295,39	0,014369	0,114955
600	1,06	1,59	1,70	127323954,47	0,014368	0,114946
700	1,44	2,16	2,32	148544613,55	0,014368	0,114940
800	1,88	2,82	3,03	169765272,63	0,014367	0,114936
900	2,37	3,57	3,83	190985931,71	0,014367	0,114933
1000	2,93	4,40	4,73	212206590,79	0,014366	0,114930
1250	4,58	6,88	7,40	265258238,49	0,014366	0,114925
1500	6,60	9,91	10,65	318309886,18	0,014365	0,114921
1750	8,98	13,48	14,50	371361533,88	0,014365	0,114919
2000	11,73	17,61	18,94	424413181,58	0,014365	0,114917
2250	14,84	22,29	23,97	477464829,28	0,014364	0,114916
2500	18,32	27,52	29,59	530516476,97	0,014364	0,114915
2750	22,17	33,30	35,81	583568124,67	0,014364	0,114914
3000	26,39	39,63	42,61	636619772,37	0,014364	0,114913
3250	30,97	46,51	50,01	689671420,06	0,014364	0,114912
3500	35,91	53,94	58,00	742723067,76	0,014364	0,114912
3750	41,23	61,92	66,58	795774715,46	0,014364	0,114911
4000	46,91	70,45	75,75	848826363,16	0,014364	0,114911
4250	52,95	79,53	85,52	901878010,85	0,014364	0,114911
4500	59,37	89,16	95,87	954929658,55	0,014364	0,114910
4750	66,15	99,34	106,82	1007981306,25	0,014364	0,114910
5000	73,29	110,07	118,36	1061032953,95	0,014364	0,114910
5250	80,81	121,36	130,50	1114084601,64	0,014364	0,114909
5500	88,69	133,19	143,22	1167136249,34	0,014364	0,114909
5750	96,93	145,57	156,54	1220187897,04	0,014364	0,114909
6000	105,54	158,51	170,44	1273239544,74	0,014364	0,114909
6250	114,52	171,99	184,94	1326291192,43	0,014364	0,114909
6500	123,87	186,03	200,03	1379342840,13	0,014364	0,114908
6750	133,58	200,61	215,72	1432394487,83	0,014364	0,114908
7000	143,66	215,75	231,99	1485446135,52	0,014364	0,114908
7250	154,10	231,43	248,86	1538497783,22	0,014364	0,114908
7500	164,91	247,67	266,32	1591549430,92	0,014363	0,114908
7750	176,09	264,45	284,37	1644601078,62	0,014363	0,114908
8000	187,63	281,79	303,01	1697652726,31	0,014363	0,114908
8250	199,54	299,68	322,25	1750704374,01	0,014363	0,114908
8500	211,82	318,11	342,07	1803756021,71	0,014363	0,114908
8750	224,46	337,10	362,49	1856807669,41	0,014363	0,114907
9000	237,47	356,64	383,50	1909859317,10	0,014363	0,114907
9250	250,85	376,73	405,10	1962910964,80	0,014363	0,114907
9500	264,59	397,37	427,29	2015962612,50	0,014363	0,114907
9750	278,70	418,56	450,08	2069014260,19	0,014363	0,114907
10000	293,17	440,30	473,46	2122065907,89	0,014363	0,114907

D[m]= 0,63		K[m]= 0,0001		ζ _{mittelRohr} [-]= 0,104807		
ρ [kg/m³]= 1,2		Rohrlänge l[m]= 5,04				
q[m³/h]	p _{dyn} [Pa]	Δp[Pa]	p _v -Messebene[Pa]	Re[-]	λ[-]	ζ _{Rohr} [-]
100	0,00	0,01	0,01	13473434,34	0,013163	0,105300
200	0,02	0,03	0,03	26946868,67	0,013129	0,105033
300	0,04	0,06	0,07	40420303,01	0,013118	0,104943
400	0,08	0,11	0,12	53893737,34	0,013112	0,104898
500	0,12	0,18	0,19	67367171,68	0,013109	0,104871
600	0,17	0,26	0,28	80840606,01	0,013107	0,104853
700	0,23	0,35	0,37	94314040,35	0,013105	0,104840
800	0,30	0,46	0,49	107787474,69	0,013104	0,104830
900	0,39	0,58	0,62	121260909,02	0,013103	0,104823
1000	0,48	0,72	0,76	134734343,36	0,013102	0,104817
1250	0,74	1,12	1,19	168417929,20	0,013101	0,104806
1500	1,07	1,61	1,72	202101515,04	0,013100	0,104799
1750	1,46	2,19	2,34	235785100,88	0,013099	0,104794
2000	1,91	2,86	3,06	269468686,72	0,013099	0,104790
2250	2,41	3,62	3,87	303152272,56	0,013098	0,104787
2500	2,98	4,47	4,78	336835858,40	0,013098	0,104784
2750	3,60	5,41	5,78	370519444,24	0,013098	0,104782
3000	4,29	6,44	6,88	404203030,07	0,013098	0,104781
3250	5,03	7,56	8,08	437886615,91	0,013097	0,104779
3500	5,84	8,77	9,37	471570201,75	0,013097	0,104778
3750	6,70	10,06	10,75	505253787,59	0,013097	0,104777
4000	7,62	11,45	12,23	538937373,43	0,013097	0,104776
4250	8,61	12,92	13,81	572620959,27	0,013097	0,104775
4500	9,65	14,49	15,48	606304545,11	0,013097	0,104775
4750	10,75	16,14	17,25	639988130,95	0,013097	0,104774
5000	11,91	17,89	19,11	673671716,79	0,013097	0,104773
5250	13,13	19,72	21,07	707355302,63	0,013097	0,104773
5500	14,41	21,64	23,13	741038888,47	0,013097	0,104772
5750	15,75	23,66	25,28	774722474,31	0,013097	0,104772
6000	17,15	25,76	27,53	808406060,15	0,013096	0,104772
6250	18,61	27,95	29,87	842089645,99	0,013096	0,104771
6500	20,13	30,23	32,30	875773231,83	0,013096	0,104771
6750	21,71	32,60	34,84	909456817,67	0,013096	0,104771
7000	23,35	35,06	37,46	943140403,51	0,013096	0,104770
7250	25,04	37,61	40,19	976823989,35	0,013096	0,104770
7500	26,80	40,25	43,01	1010507575,19	0,013096	0,104770
7750	28,62	42,98	45,92	1044191161,03	0,013096	0,104770
8000	30,49	45,79	48,93	1077874746,87	0,013096	0,104769
8250	32,43	48,70	52,04	1111558332,71	0,013096	0,104769
8500	34,42	51,70	55,24	1145241918,54	0,013096	0,104769
8750	36,48	54,78	58,54	1178925504,38	0,013096	0,104769
9000	38,59	57,96	61,93	1212609090,22	0,013096	0,104769
9250	40,77	61,22	65,42	1246292676,06	0,013096	0,104768
9500	43,00	64,58	69,00	1279976261,90	0,013096	0,104768
9750	45,29	68,02	72,68	1313659847,74	0,013096	0,104768
10000	47,64	71,55	76,46	1347343433,58	0,013096	0,104768

Anlage 3 Messblende

d [m]= 0,21		D [m]= 0,7		ζ _{Blende aus Diagramm} [-] ≈ 300		Rauigkeit K[m]= 0,0001	
ρ [kg/m³]= 1,2		β [-]= 0,3		ζ _{mittel_Rohr} [-] = 0,056205		Rohrlänge l[m]= 2,1	
q[m³/h]	p_dyn[Pa]	Δp[Pa]	p_verlust[Pa]	p_v-Messebene[Pa]	Re[-]	λ[-]	ζ _{Rohr} [-]
100	0,003126	1,10	0,94	0,94	3368,36	0,045266	0,135799
200	0,012504	4,40	3,75	3,76	6736,72	0,035604	0,106811
300	0,028133	9,91	8,44	8,47	10105,08	0,031332	0,093997
400	0,050014	17,62	15,01	15,06	13473,43	0,028758	0,086275
500	0,078147	27,53	23,45	23,53	16841,79	0,026979	0,080937
600	0,112532	39,64	33,77	33,88	20210,15	0,025649	0,076946
700	0,153169	53,95	45,96	46,11	23578,51	0,024602	0,073806
800	0,200058	70,47	60,03	60,23	26946,87	0,023749	0,071246
900	0,253198	89,19	75,97	76,23	30315,23	0,023034	0,069102
1000	0,312590	110,11	93,79	94,11	33683,59	0,022424	0,067271
1250	0,488422	172,04	146,55	147,04	42104,48	0,021214	0,063642
1500	0,703327	247,74	211,04	211,74	50525,38	0,020303	0,060909
1750	0,957307	337,20	287,25	288,20	58946,28	0,019583	0,058748
2000	1,250360	440,43	375,18	376,43	67367,17	0,018993	0,056979
2250	1,582487	557,42	474,83	476,42	75788,07	0,018498	0,055494
2500	1,953687	688,17	586,22	588,17	84208,96	0,018075	0,054224
2750	2,363962	832,69	709,32	711,69	92629,86	0,017706	0,053118
3000	2,813310	990,97	844,15	846,96	101050,76	0,017382	0,052145
3250	3,301732	1163,01	990,71	994,01	109471,65	0,017093	0,051279
3500	3,829227	1348,82	1148,98	1152,81	117892,55	0,016834	0,050501
3750	4,395797	1548,39	1318,99	1323,38	126313,45	0,016599	0,049798
4000	5,001440	1761,72	1500,71	1505,71	134734,34	0,016386	0,049157
4250	5,646157	1988,82	1694,16	1699,81	143155,24	0,016190	0,048570
4500	6,329947	2229,68	1899,34	1905,67	151576,14	0,016010	0,048029
4750	7,052812	2484,30	2116,24	2123,29	159997,03	0,015843	0,047529
5000	7,814750	2752,69	2344,86	2352,68	168417,93	0,015688	0,047065
5250	8,615761	3034,84	2585,21	2593,83	176838,83	0,015544	0,046633
5500	9,455847	3330,75	2837,29	2846,74	185259,72	0,015410	0,046229
5750	10,335006	3640,43	3101,08	3111,42	193680,62	0,015283	0,045850
6000	11,253239	3963,87	3376,60	3387,86	202101,52	0,015164	0,045493
6250	12,210546	4301,08	3663,85	3676,06	210522,41	0,015052	0,045157
6500	13,206927	4652,05	3962,82	3976,03	218943,31	0,014947	0,044840
6750	14,242381	5016,78	4273,51	4287,76	227364,20	0,014847	0,044540
7000	15,316909	5395,27	4595,93	4611,25	235785,10	0,014752	0,044255
7250	16,430511	5787,53	4930,08	4946,51	244206,00	0,014661	0,043984
7500	17,583187	6193,55	5275,94	5293,53	252626,89	0,014576	0,043727
7750	18,774936	6613,34	5633,54	5652,31	261047,79	0,014494	0,043481
8000	20,005759	7046,89	6002,85	6022,86	269468,69	0,014416	0,043247
8250	21,275656	7494,20	6383,89	6405,17	277889,58	0,014341	0,043023
8500	22,584626	7955,27	6776,66	6799,24	286310,48	0,014269	0,042808
8750	23,932671	8430,11	7181,15	7205,08	294731,38	0,014201	0,042603
9000	25,319789	8918,72	7597,36	7622,68	303152,27	0,014135	0,042405
9250	26,745981	9421,08	8025,30	8052,04	311573,17	0,014072	0,042216
9500	28,211246	9937,21	8464,96	8493,17	319994,07	0,014011	0,042034
9750	29,715585	10467,10	8916,35	8946,06	328414,96	0,013953	0,041859
10000	31,258999	11010,76	9379,46	9410,72	336835,86	0,013897	0,041690

Anlage 3 Messblende

d [m]= 0,36		D [m]= 0,7		ζ _{Blende aus Diagramm} [-] ≈ 45		Rauigkeit K[m]= 0,0001	
ρ [kg/m³]= 1,2		β [-]= 0,51428571		ζ _{mittel_Rohr} [-] = 0,056205		Rohrlänge l[m]= 2,1	
q[m³/h]	p_dyn[Pa]	Δp[Pa]	p_verlust[Pa]	p_v-Messebene[Pa]	Re[-]	λ[-]	ζ _{Rohr} [-]
100	0,003126	0,13	0,14	0,14	3368,36	0,045266	0,135799
200	0,012504	0,51	0,56	0,58	6736,72	0,035604	0,106811
300	0,028133	1,15	1,27	1,30	10105,08	0,031332	0,093997
400	0,050014	2,04	2,25	2,30	13473,43	0,028758	0,086275
500	0,078147	3,19	3,52	3,60	16841,79	0,026979	0,080937
600	0,112532	4,59	5,07	5,18	20210,15	0,025649	0,076946
700	0,153169	6,25	6,90	7,05	23578,51	0,024602	0,073806
800	0,200058	8,16	9,01	9,21	26946,87	0,023749	0,071246
900	0,253198	10,33	11,41	11,66	30315,23	0,023034	0,069102
1000	0,312590	12,75	14,08	14,40	33683,59	0,022424	0,067271
1250	0,488422	19,92	22,01	22,49	42104,48	0,021214	0,063642
1500	0,703327	28,69	31,69	32,39	50525,38	0,020303	0,060909
1750	0,957307	39,04	43,13	44,09	58946,28	0,019583	0,058748
2000	1,250360	51,00	56,34	57,59	67367,17	0,018993	0,056979
2250	1,582487	64,54	71,30	72,88	75788,07	0,018498	0,055494
2500	1,953687	79,68	88,03	89,98	84208,96	0,018075	0,054224
2750	2,363962	96,42	106,51	108,88	92629,86	0,017706	0,053118
3000	2,813310	114,74	126,76	129,57	101050,76	0,017382	0,052145
3250	3,301732	134,66	148,76	152,07	109471,65	0,017093	0,051279
3500	3,829227	156,18	172,53	176,36	117892,55	0,016834	0,050501
3750	4,395797	179,29	198,06	202,45	126313,45	0,016599	0,049798
4000	5,001440	203,99	225,35	230,35	134734,34	0,016386	0,049157
4250	5,646157	230,28	254,39	260,04	143155,24	0,016190	0,048570
4500	6,329947	258,17	285,20	291,53	151576,14	0,016010	0,048029
4750	7,052812	287,65	317,77	324,83	159997,03	0,015843	0,047529
5000	7,814750	318,73	352,10	359,92	168417,93	0,015688	0,047065
5250	8,615761	351,40	388,19	396,81	176838,83	0,015544	0,046633
5500	9,455847	385,66	426,04	435,50	185259,72	0,015410	0,046229
5750	10,335006	421,52	465,66	475,99	193680,62	0,015283	0,045850
6000	11,253239	458,97	507,03	518,28	202101,52	0,015164	0,045493
6250	12,210546	498,02	550,16	562,37	210522,41	0,015052	0,045157
6500	13,206927	538,66	595,05	608,26	218943,31	0,014947	0,044840
6750	14,242381	580,89	641,71	655,95	227364,20	0,014847	0,044540
7000	15,316909	624,71	690,12	705,44	235785,10	0,014752	0,044255
7250	16,430511	670,13	740,30	756,73	244206,00	0,014661	0,043984
7500	17,583187	717,15	792,23	809,81	252626,89	0,014576	0,043727
7750	18,774936	765,75	845,93	864,70	261047,79	0,014494	0,043481
8000	20,005759	815,95	901,38	921,39	269468,69	0,014416	0,043247
8250	21,275656	867,75	958,60	979,88	277889,58	0,014341	0,043023
8500	22,584626	921,13	1017,58	1040,16	286310,48	0,014269	0,042808
8750	23,932671	976,11	1078,32	1102,25	294731,38	0,014201	0,042603
9000	25,319789	1032,69	1140,81	1166,13	303152,27	0,014135	0,042405
9250	26,745981	1090,86	1205,07	1231,82	311573,17	0,014072	0,042216
9500	28,211246	1150,62	1271,09	1299,30	319994,07	0,014011	0,042034
9750	29,715585	1211,98	1338,87	1368,59	328414,96	0,013953	0,041859
10000	31,258999	1274,92	1408,41	1439,67	336835,86	0,013897	0,041690

Anlage 3 Messblende

d [m]= 0,49		D [m]= 0,7		ζ _{Blende aus Diagramm} [-] ≈ 5		Rauigkeit K[m]= 0,0001	
ρ [kg/m³]= 1,2		β [-]= 0,7		ζ _{mittel_Rohr} [-] = 0,056205		Rohrlänge l[m]= 2,1	
q[m³/h]	p_dyn[Pa]	Δp[Pa]	p_verlust[Pa]	p_v-Messebene[Pa]	Re[-]	λ[-]	ζ _{Rohr} [-]
100	0,003126	0,04	0,02	0,02	3368,36	0,045266	0,135799
200	0,012504	0,15	0,06	0,08	6736,72	0,035604	0,106811
300	0,028133	0,33	0,14	0,17	10105,08	0,031332	0,093997
400	0,050014	0,59	0,25	0,30	13473,43	0,028758	0,086275
500	0,078147	0,93	0,40	0,47	16841,79	0,026979	0,080937
600	0,112532	1,34	0,57	0,68	20210,15	0,025649	0,076946
700	0,153169	1,82	0,77	0,93	23578,51	0,024602	0,073806
800	0,200058	2,38	1,01	1,21	26946,87	0,023749	0,071246
900	0,253198	3,01	1,28	1,53	30315,23	0,023034	0,069102
1000	0,312590	3,71	1,58	1,89	33683,59	0,022424	0,067271
1250	0,488422	5,80	2,47	2,96	42104,48	0,021214	0,063642
1500	0,703327	8,36	3,56	4,26	50525,38	0,020303	0,060909
1750	0,957307	11,38	4,84	5,80	58946,28	0,019583	0,058748
2000	1,250360	14,86	6,32	7,57	67367,17	0,018993	0,056979
2250	1,582487	18,81	8,00	9,58	75788,07	0,018498	0,055494
2500	1,953687	23,22	9,88	11,83	84208,96	0,018075	0,054224
2750	2,363962	28,09	11,95	14,32	92629,86	0,017706	0,053118
3000	2,813310	33,43	14,22	17,04	101050,76	0,017382	0,052145
3250	3,301732	39,24	16,69	20,00	109471,65	0,017093	0,051279
3500	3,829227	45,50	19,36	23,19	117892,55	0,016834	0,050501
3750	4,395797	52,24	22,23	26,62	126313,45	0,016599	0,049798
4000	5,001440	59,43	25,29	30,29	134734,34	0,016386	0,049157
4250	5,646157	67,09	28,55	34,19	143155,24	0,016190	0,048570
4500	6,329947	75,22	32,01	38,34	151576,14	0,016010	0,048029
4750	7,052812	83,81	35,66	42,71	159997,03	0,015843	0,047529
5000	7,814750	92,86	39,51	47,33	168417,93	0,015688	0,047065
5250	8,615761	102,38	43,56	52,18	176838,83	0,015544	0,046633
5500	9,455847	112,37	47,81	57,27	185259,72	0,015410	0,046229
5750	10,335006	122,81	52,26	62,59	193680,62	0,015283	0,045850
6000	11,253239	133,73	56,90	68,15	202101,52	0,015164	0,045493
6250	12,210546	145,10	61,74	73,95	210522,41	0,015052	0,045157
6500	13,206927	156,94	66,78	79,98	218943,31	0,014947	0,044840
6750	14,242381	169,25	72,01	86,25	227364,20	0,014847	0,044540
7000	15,316909	182,01	77,45	92,76	235785,10	0,014752	0,044255
7250	16,430511	195,25	83,08	99,51	244206,00	0,014661	0,043984
7500	17,583187	208,95	88,90	106,49	252626,89	0,014576	0,043727
7750	18,774936	223,11	94,93	113,70	261047,79	0,014494	0,043481
8000	20,005759	237,73	101,15	121,16	269468,69	0,014416	0,043247
8250	21,275656	252,82	107,57	128,85	277889,58	0,014341	0,043023
8500	22,584626	268,38	114,19	136,78	286310,48	0,014269	0,042808
8750	23,932671	284,40	121,01	144,94	294731,38	0,014201	0,042603
9000	25,319789	300,88	128,02	153,34	303152,27	0,014135	0,042405
9250	26,745981	317,83	135,23	161,98	311573,17	0,014072	0,042216
9500	28,211246	335,24	142,64	170,85	319994,07	0,014011	0,042034
9750	29,715585	353,12	150,25	179,96	328414,96	0,013953	0,041859
10000	31,258999	371,46	158,05	189,31	336835,86	0,013897	0,041690

Anlage 4 Messblende 200-600

d [m]= 0,2		D [m]= 0,6		ζ _{Blende aus Diagramm} [-] ≈ 300		Rauigkeit K[m]= 0,0001	
ρ [kg/m³]= 1,2		β [-]= 0,33333333		ζ _{mittel_Rohr} [-] = 0,054502		Rohrlänge l[m]= 1,8	
q[m³/h]	p_dyn[Pa]	Δp[Pa]	p_verlust[Pa]	p_v-Messebene[Pa]	Re[-]	λ[-]	ζ_Rohr[-]
100	0,005791	1,34	1,74	1,74	3929,75	0,042809	0,128428
200	0,023164	5,35	6,95	6,97	7859,50	0,033893	0,101679
300	0,052120	12,05	15,64	15,69	11789,26	0,029926	0,089778
400	0,092658	21,41	27,80	27,90	15719,01	0,027528	0,082584
500	0,144778	33,46	43,44	43,59	19648,76	0,025867	0,077602
600	0,208480	48,18	62,56	62,76	23578,51	0,024624	0,073872
700	0,283765	65,58	85,14	85,43	27508,26	0,023645	0,070935
800	0,370631	85,66	111,21	111,58	31438,01	0,022846	0,068539
900	0,469080	108,41	140,75	141,22	35367,77	0,022178	0,066533
1000	0,579112	133,84	173,77	174,34	39297,52	0,021606	0,064818
1250	0,904862	209,12	271,51	272,41	49121,90	0,020473	0,061420
1500	1,303001	301,13	390,97	392,27	58946,28	0,019620	0,058861
1750	1,773529	409,87	532,16	533,93	68770,65	0,018946	0,056839
2000	2,316446	535,35	695,06	697,38	78595,03	0,018395	0,055185
2250	2,931752	677,55	879,69	882,62	88419,41	0,017933	0,053798
2500	3,619447	836,48	1086,03	1089,65	98243,79	0,017537	0,052612
2750	4,379531	1012,14	1314,10	1318,48	108068,17	0,017194	0,051581
3000	5,212004	1204,53	1563,89	1569,10	117892,55	0,016891	0,050674
3250	6,116866	1413,65	1835,39	1841,51	127716,93	0,016623	0,049868
3500	7,094116	1639,50	2128,62	2135,72	137541,31	0,016382	0,049145
3750	8,143756	1882,08	2443,57	2451,71	147365,69	0,016164	0,048491
4000	9,265785	2141,38	2780,24	2789,51	157190,07	0,015966	0,047897
4250	10,460202	2417,42	3138,63	3149,09	167014,45	0,015784	0,047353
4500	11,727009	2710,19	3518,74	3530,47	176838,83	0,015617	0,046852
4750	13,066204	3019,69	3920,57	3933,64	186663,20	0,015463	0,046390
5000	14,477788	3345,91	4344,13	4358,60	196487,58	0,015321	0,045962
5250	15,961762	3688,87	4789,40	4805,36	206311,96	0,015188	0,045563
5500	17,518124	4048,55	5256,39	5273,91	216136,34	0,015063	0,045190
5750	19,146875	4424,97	5745,11	5764,25	225960,72	0,014947	0,044841
6000	20,848015	4818,11	6255,54	6276,39	235785,10	0,014838	0,044513
6250	22,621544	5227,99	6787,70	6810,32	245609,48	0,014735	0,044205
6500	24,467463	5654,59	7341,57	7366,04	255433,86	0,014638	0,043914
6750	26,385769	6097,92	7917,17	7943,55	265258,24	0,014546	0,043639
7000	28,376465	6557,99	8514,49	8542,86	275082,62	0,014459	0,043378
7250	30,439550	7034,78	9133,52	9163,96	284907,00	0,014377	0,043130
7500	32,575024	7528,30	9774,28	9806,86	294731,38	0,014298	0,042895
7750	34,782887	8038,55	10436,76	10471,54	304555,76	0,014224	0,042671
8000	37,063138	8565,53	11120,96	11158,02	314380,13	0,014152	0,042457
8250	39,415779	9109,24	11826,88	11866,30	324204,51	0,014084	0,042253
8500	41,840809	9669,69	12554,52	12596,36	334028,89	0,014019	0,042058
8750	44,338227	10246,85	13303,88	13348,22	343853,27	0,013957	0,041871
9000	46,908035	10840,75	14074,97	14121,87	353677,65	0,013897	0,041692
9250	49,550231	11451,38	14867,77	14917,32	363502,03	0,013840	0,041520
9500	52,264816	12078,74	15682,29	15734,56	373326,41	0,013785	0,041355
9750	55,051791	12722,83	16518,54	16573,59	383150,79	0,013732	0,041197
10000	57,911154	13383,65	17376,50	17434,41	392975,17	0,013681	0,041044

Anlage 4 Messblende 300-600

d [m]= 0,3 ρ [kg/m³]= 1,2		D [m]= 0,6 β [-]= 0,5		ζ _{Blende aus Diagramm} [-] ≈ 50		Rauigkeit K[m]= 0,0001	
				ζ _{mittel_Rohr} [-] = 0,054502		Rohrlänge l[m]= 1,8	
q[m³/h]	p_dyn[Pa]	Δp[Pa]	p_verlust[Pa]	p_verlust-Messebene[Pa]	Re[-]	λ[-]	ζ_Rohr[-]
100	0,005791	0,26	0,29	0,30	3929,75	0,042809	0,128428
200	0,023164	1,06	1,16	1,18	7859,50	0,033893	0,101679
300	0,052120	2,38	2,61	2,66	11789,26	0,029926	0,089778
400	0,092658	4,23	4,64	4,73	15719,01	0,027528	0,082584
500	0,144778	6,61	7,25	7,39	19648,76	0,025867	0,077602
600	0,208480	9,52	10,44	10,64	23578,51	0,024624	0,073872
700	0,283765	12,95	14,20	14,49	27508,26	0,023645	0,070935
800	0,370631	16,92	18,55	18,92	31438,01	0,022846	0,068539
900	0,469080	21,41	23,48	23,95	35367,77	0,022178	0,066533
1000	0,579112	26,44	28,99	29,57	39297,52	0,021606	0,064818
1250	0,904862	41,31	45,29	46,20	49121,90	0,020473	0,061420
1500	1,303001	59,48	65,22	66,52	58946,28	0,019620	0,058861
1750	1,773529	80,96	88,77	90,55	68770,65	0,018946	0,056839
2000	2,316446	105,75	115,95	118,27	78595,03	0,018395	0,055185
2250	2,931752	133,84	146,75	149,68	88419,41	0,017933	0,053798
2500	3,619447	165,23	181,17	184,79	98243,79	0,017537	0,052612
2750	4,379531	199,93	219,22	223,59	108068,17	0,017194	0,051581
3000	5,212004	237,93	260,88	266,10	117892,55	0,016891	0,050674
3250	6,116866	279,24	306,18	312,29	127716,93	0,016623	0,049868
3500	7,094116	323,85	355,09	362,19	137541,31	0,016382	0,049145
3750	8,143756	371,77	407,63	415,78	147365,69	0,016164	0,048491
4000	9,265785	422,99	463,79	473,06	157190,07	0,015966	0,047897
4250	10,460202	477,52	523,58	534,04	167014,45	0,015784	0,047353
4500	11,727009	535,35	586,99	598,72	176838,83	0,015617	0,046852
4750	13,066204	596,48	654,02	667,09	186663,20	0,015463	0,046390
5000	14,477788	660,92	724,68	739,16	196487,58	0,015321	0,045962
5250	15,961762	728,67	798,96	814,92	206311,96	0,015188	0,045563
5500	17,518124	799,71	876,86	894,38	216136,34	0,015063	0,045190
5750	19,146875	874,07	958,39	977,53	225960,72	0,014947	0,044841
6000	20,848015	951,73	1043,54	1064,39	235785,10	0,014838	0,044513
6250	22,621544	1032,69	1132,31	1154,93	245609,48	0,014735	0,044205
6500	24,467463	1116,96	1224,71	1249,17	255433,86	0,014638	0,043914
6750	26,385769	1204,53	1320,73	1347,11	265258,24	0,014546	0,043639
7000	28,376465	1295,40	1420,37	1448,75	275082,62	0,014459	0,043378
7250	30,439550	1389,59	1523,64	1554,08	284907,00	0,014377	0,043130
7500	32,575024	1487,07	1630,53	1663,10	294731,38	0,014298	0,042895
7750	34,782887	1587,86	1741,04	1775,82	304555,76	0,014224	0,042671
8000	37,063138	1691,96	1855,18	1892,24	314380,13	0,014152	0,042457
8250	39,415779	1799,36	1972,94	2012,35	324204,51	0,014084	0,042253
8500	41,840809	1910,06	2094,32	2136,16	334028,89	0,014019	0,042058
8750	44,338227	2024,07	2219,33	2263,67	343853,27	0,013957	0,041871
9000	46,908035	2141,38	2347,96	2394,87	353677,65	0,013897	0,041692
9250	49,550231	2262,00	2480,21	2529,76	363502,03	0,013840	0,041520
9500	52,264816	2385,92	2616,09	2668,35	373326,41	0,013785	0,041355
9750	55,051791	2513,15	2755,59	2810,64	383150,79	0,013732	0,041197
10000	57,911154	2643,68	2898,71	2956,63	392975,17	0,013681	0,041044

Anlage 4 Messblende 420-600

d [m]= 0,42		D [m]= 0,6		ζ _{Blende aus Diagramm} [-] ≈ 5		Rauigkeit K[m]= 0,0001	
ρ [kg/m³]= 1,2		β [-]= 0,7		ζ _{mittel_Rohr} [-] = 0,054502		Rohrlänge l[m]= 1,8	
q[m³/h]	p_dyn[Pa]	Δp[Pa]	p_verlust[Pa]	p_verlust-Messebene[Pa]	Re[-]	λ[-]	ζ _{Rohr} [-]
100	0,005791	0,07	0,03	0,04	3929,75	0,042809	0,128428
200	0,023164	0,28	0,12	0,14	7859,50	0,033893	0,101679
300	0,052120	0,62	0,26	0,32	11789,26	0,029926	0,089778
400	0,092658	1,10	0,47	0,56	15719,01	0,027528	0,082584
500	0,144778	1,72	0,73	0,88	19648,76	0,025867	0,077602
600	0,208480	2,48	1,05	1,26	23578,51	0,024624	0,073872
700	0,283765	3,37	1,43	1,72	27508,26	0,023645	0,070935
800	0,370631	4,40	1,87	2,24	31438,01	0,022846	0,068539
900	0,469080	5,57	2,37	2,84	35367,77	0,022178	0,066533
1000	0,579112	6,88	2,93	3,51	39297,52	0,021606	0,064818
1250	0,904862	10,75	4,57	5,48	49121,90	0,020473	0,061420
1500	1,303001	15,48	6,59	7,89	58946,28	0,019620	0,058861
1750	1,773529	21,08	8,96	10,74	68770,65	0,018946	0,056839
2000	2,316446	27,53	11,71	14,02	78595,03	0,018395	0,055185
2250	2,931752	34,84	14,82	17,75	88419,41	0,017933	0,053798
2500	3,619447	43,01	18,29	21,91	98243,79	0,017537	0,052612
2750	4,379531	52,04	22,14	26,52	108068,17	0,017194	0,051581
3000	5,212004	61,94	26,34	31,56	117892,55	0,016891	0,050674
3250	6,116866	72,69	30,92	37,03	127716,93	0,016623	0,049868
3500	7,094116	84,30	35,86	42,95	137541,31	0,016382	0,049145
3750	8,143756	96,77	41,16	49,31	147365,69	0,016164	0,048491
4000	9,265785	110,11	46,83	56,10	157190,07	0,015966	0,047897
4250	10,460202	124,30	52,87	63,33	167014,45	0,015784	0,047353
4500	11,727009	139,35	59,27	71,00	176838,83	0,015617	0,046852
4750	13,066204	155,27	66,04	79,11	186663,20	0,015463	0,046390
5000	14,477788	172,04	73,18	87,66	196487,58	0,015321	0,045962
5250	15,961762	189,68	80,68	96,64	206311,96	0,015188	0,045563
5500	17,518124	208,17	88,55	106,06	216136,34	0,015063	0,045190
5750	19,146875	227,53	96,78	115,92	225960,72	0,014947	0,044841
6000	20,848015	247,74	105,38	126,22	235785,10	0,014838	0,044513
6250	22,621544	268,82	114,34	136,96	245609,48	0,014735	0,044205
6500	24,467463	290,75	123,67	148,14	255433,86	0,014638	0,043914
6750	26,385769	313,55	133,37	159,75	265258,24	0,014546	0,043639
7000	28,376465	337,20	143,43	171,81	275082,62	0,014459	0,043378
7250	30,439550	361,72	153,86	184,30	284907,00	0,014377	0,043130
7500	32,575024	387,10	164,65	197,23	294731,38	0,014298	0,042895
7750	34,782887	413,33	175,81	210,59	304555,76	0,014224	0,042671
8000	37,063138	440,43	187,34	224,40	314380,13	0,014152	0,042457
8250	39,415779	468,39	199,23	238,64	324204,51	0,014084	0,042253
8500	41,840809	497,20	211,48	253,33	334028,89	0,014019	0,042058
8750	44,338227	526,88	224,11	268,45	343853,27	0,013957	0,041871
9000	46,908035	557,42	237,10	284,00	353677,65	0,013897	0,041692
9250	49,550231	588,82	250,45	300,00	363502,03	0,013840	0,041520
9500	52,264816	621,08	264,17	316,44	373326,41	0,013785	0,041355
9750	55,051791	654,19	278,26	333,31	383150,79	0,013732	0,041197
10000	57,911154	688,17	292,71	350,62	392975,17	0,013681	0,041044