



BACHELORARBEIT

Herr
Hanqin Hu

**Entwicklung und Konstruktion
einer Maschineneinhausung sowie
einer generative gefertigten
robotergeführten Prozesskammer
für das laserbasierte Verfahren
“ Micro Cladding “**

Mittweida, 2018

Fakultät: Ingenieurwissenschaften

BACHELORARBEIT

Entwicklung und Konstruktion einer Maschineneinhausung sowie einer generative gefertigten robotergeführten Prozesskammer für das laserbasierte Verfahren “ Micro Cladding “

Autor:

Herr Hanqin Hu

Studiengang:

Maschinenbau

Seminargruppe:

MB15wk-B

Erstprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Jörg Matthes

Zweitprüfer:

M. Sc. Martin Eler

Faculty of Engineering Sciences

BACHELOR THESIS

Development and construction of Machine enclosure and a generative manufactured robot- controlled process chamber for “Micro Cladding”

author:

Mr. Hanqin Hu

course of studies:

Mechanical Engineering

seminar group:

MB15wk-B

first examiner:

Prof. Dr.-Ing. Jörg Matthes

second examiner:

M. Sc. Martin Erlen

submission:

Mittweida, 31.11.2018

Bibliografische Angaben

Hanqin Hu:

Entwicklung und Konstruktion einer Maschineneinhausung sowie einer generative gefertigten robotergeführten Prozesskammer für das laserbasiert Verfahren "Micro Cladding" – 2018 – 40 S. mit Anlagen I-VII

Mittweida, Hochschule Mittweida(FH), University of Applied Sciences,

Fakultät Ingenieurwissenschaften, Bachelorarbeit, 2018

Referat:

Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist eine mobile Prozesskammer zu konstruieren. Die wird an einem 6-achsigen Roboter befestigt und an die gezielte Position geführt. Dabei wird vor allem die vorhandene Konstruktion der Maschieneinhausung für die Anlage weiter entwickelt.

Inhaltverzeichnis

Inhaltverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Laserinstitut Hochschule Mittweida(LHM)	1
1.2 Motivation und Aufgabenstellung	1
2 Technische Grundlagen	3
2.1 Prozessbeschreibung: Traditionelles Laser Cladding	3
2.2 Anwendungen von Laser Cladding	4
2.3 Stand der Technik: Micro Cladding am LHM	5
2.4 Umsetzung der Prozesskammer mittels 3D-Druck	6
2.4.1 Allgemein	6
2.4.2 FDM	6
2.4.3 FDM Designrichtlinie	6
3 Konstruktive Umgestaltung der vorhandenen Maschinenkabine	9
3.1 Problembeschreibung	9
3.2 Vorhandene Konstruktion	10
3.3 Konstruktion des Arbeitstisches für Roboterarm	11
3.4 Konstruktion des Bedienpult	12
3.5 Konstruktion der Flächenelemente für die Kabine	14
3.5.1 Konstruktion der Tür	14
3.5.2 Konstruktion der Maschinenverkleidung:	17
4 Konstruktion der Prozesskammer	18
4.1 Bedarfsanalyse	18
4.1.1 Prinzipielle Lösungen und deren Bewertung	22

4.2	Konstruktion der Baugruppe: Laserstrahleinkoppelfenster	25
4.3	Baugruppe Pulverzufuhr	26
4.4	Konstruktion der Absaugung und Kammergehäuse	28
4.4.1	<i>Anforderungen an die Absaugung</i>	28
4.4.2	<i>Konstruktion</i>	28
5	<i>Konstruktion der Befestigungselemente</i>	33
6	<i>Zusammenfassung und Ausblick</i>	36
	<i>Literatur:</i>	38
	<i>Danksagung</i>	I
	<i>Selbstständigkeitserklärung</i>	II
	<i>Anlagen:</i>	III
I:	Abmaße des Roboterarms:	III
II:	Handgelenk des Roboterarms:	IV
III:	Montageart des Roboterarms:	V
IV:	Zeichnungen und Stücklisten der Prozesskammer	VI
Variante 1:	VI
Variante 2:	VIII
V:	Befestigungselemente	XI

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau der vorhandenen Anlage [11]</i>	<i>2</i>
<i>Abbildung 2: Funktionsschema Laserauftragschweißen (OR-Laser).....</i>	<i>3</i>
<i>Abbildung 3: Erzeugung und Reparatur von Triebwerksschaufeln (Quelle: ILT Aachen), Reparatur der Schaufeln eines Turboladers (Quelle: Sulzer Innotec).....</i>	<i>4</i>
<i>Abbildung 4: Beschichtung einer Bohrwerkzeug (Quelle: Technogenia)</i>	<i>4</i>
<i>Abbildung 5: Schaufelrad (Quelle: ILT Aachen).....</i>	<i>5</i>
<i>Abbildung 6: Prinzip des FDM-Verfahrens [7].....</i>	<i>6</i>
<i>Abbildung 7: Design Rules für 3D Printing [9].....</i>	<i>8</i>
<i>Abbildung 8: Beispiel von Konstruktionsprofil (Quelle:Items)</i>	<i>9</i>
<i>Abbildung 9: 6-Achsige Roboterarm (Stäubli TX60).....</i>	<i>10</i>
<i>Abbildung 10: Vorhandene Konstruktion der Maschinenkabine</i>	<i>11</i>
<i>Abbildung 11: Konstruktion des Arbeitstisches und Kabelschrank</i>	<i>12</i>
<i>Abbildung 12: Bedienpult.....</i>	<i>13</i>
<i>Abbildung 13: Innenraum des Bedienpults.....</i>	<i>14</i>
<i>Abbildung 14: Einbauzustand der Tür.....</i>	<i>15</i>
<i>Abbildung 15: Einfassprofil für Flächenelemente (Quelle:Items)</i>	<i>16</i>
<i>Abbildung 16: Türdichtanschlag 8 40 (Quelle:Items)</i>	<i>16</i>
<i>Abbildung 17: Rigelverschluss (Quelle: Misumi).....</i>	<i>17</i>
<i>Abbildung 19: Konzeptentwurf Variante 1.....</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 21: Konzeptentwurf Variante 2.....</i>	<i>23</i>
<i>Abbildung 18: Baugruppe: Lasereinkoppelfenster</i>	<i>25</i>

Abbildung 19: Baugruppe Pulverzufuhr	26
Abbildung 22: Halterung für die Pulverdüsen.....	27
Abbildung 23: Prozesskammer Variante 1	29
Abbildung 24: Kantendichtungsring RP-MB (Quelle: Misumi).....	29
Abbildung 25: Schematische Darstellung des Funktionsprinzips eines Tangential-Zyklonabscheiders [17]	30
Abbildung 26: Prozesskammer Variante 2.....	31
Abbildung 27: Gesamtbaugruppe Micro Cladding.....	33
Abbildung 28: Adapterplatten	34

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Anforderungsliste</i>	19
<i>Tabelle 2: Bewertung den Konzepte</i>	23
<i>Tabelle 3: Variantenvergleich</i>	32

1 Einleitung

1.1 Laserinstitut Hochschule Mittweida(LHM)

„Der Schwerpunkt der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung am Laserinstitut Hochschule Mittweida (LHM) liegt in den Bereichen Lasernano- und -mikrobearbeitung, Hochrate-Laserbearbeitung, Laserpulsabscheidung (PLD), Additive Fertigung und Lasermakrobearbeitung. Weitere Forschungsfelder sind die Lasermesstechnik, die Modellierung und Simulation von Laserprozessen sowie die Laseranlagen- und -Prozessentwicklung. An der Forschung sind 6 Professoren und 1 Stiftungsprofessor sowie derzeit 40 Mitarbeiter und zahlreiche Studierende beteiligt.“[1]

Die am LHM zur Verfügung stehende umfangreiche Ausstattung an Laseranlagen dient der Forschung und Entwicklung von innovativen Laserbearbeitungsprozessen. Seit vielen Jahren wird im Bereich „Mikrolaserbearbeitung“ am LHM intensiv geforscht. Darunter zählt auch das sogenannte Micro Cladding.

1.2 Motivation und Aufgabenstellung

„Die präzise Bearbeitung von Werkstücken im Mikro- bzw. Nanometerbereich gewinnt in unserer kompakten, miniaturisierten Technikwelt immer mehr an Bedeutung. Den Anforderungen dieser Technologie genügen nur wenige physikalische Verfahren. Eines davon ist die Lasermaterialbearbeitung. Sie bietet die Möglichkeit, Bauteile im μm - und teilweise im nm-Bereich zu modifizieren, abzutragen oder generieren zu können. Vor allem die Lasermikromaterialbearbeitung ist eine Kernkompetenz des LHM mit mehrjähriger Erfahrung.“ [18] Am LHM wurde eine völlige neuartige Verfahrenvariante zum Materialauftrag entwickelt. Die neu entwickelte Verfahrenvariante wird am LHM nur mit Micro Cladding bezeichnet. „Beim Micro Cladding handelt es sich um ein Modifikation des klassischen Laserauftragschweißens zum flexiblen Generieren von Mikrostrukturen auf beliebig gekrümmten Oberflächen“ [19]. Das Metallpulver, welches beim Micro Cladding Verwendung findet, kann zu einem Ausfall der hochpräzisen Anlage führen.

Der Einsatz von Prozesskammer, sowie das Nutzen der Absaugung hat nicht immer eine ideale Elimination des Metallpulvers zur Folge, daher ist eine Intensive Reinigung der Laseranlage ist zwingend notwendig, da sonst nicht gewährleistet werden kann, dass nachfolgende Verfahren störungsfrei durchgeführt werden können. Daraus ergibt sich die Aufgabe die vorhandene Maschinenkabine weiter zu entwickeln um die Anlage von ihrer Umgebung zu isolieren. Diese Thematik wird von meiner Person im ersten Teil dieser Bachelorarbeit bearbeitet und dokumentiert.

Abbildung 1 zeigt den Prozess des Micro Cladding in einer großer Bearbeitungskammer. Die Laseranlage wird an einer festen Stelle in der Bearbeitungskammer positioniert. Das zu bearbeitende Substrat wird an einem 6-Achsigen Roboter befestigt und in die gewünschte Position gebracht werden. Substrate mit großen Abmaßen oder komplexer Geometrie können mit dieser Anlage nur bedingt bearbeitet werden. Der zweite Teil meiner Bachelorarbeit beschäftigt sich mit dieser Problematik, zusätzlich werden Untersuchungen zur Pulverbelastung in einem kleineren geschlossenen Raum durchgeführt. Diese Aufgabe besteht in der Konstruktion einer mobilen, robotergeführten Prozesskammer für das Micro Cladding. Diese mobile Prozesskammer soll an einem 6-achsigen Roboter befestigt werden. Dadurch kann die Prozesskammer mittels Roboterarm in die gewünschte Position gebracht werden, wodurch der Prozess flexibler durchführen werden kann. Durch die Integration der Absaugung in der Prozesskammer wird die Pulverbelastung nur auf die kleinere mobile Prozesskammer beschränkt.

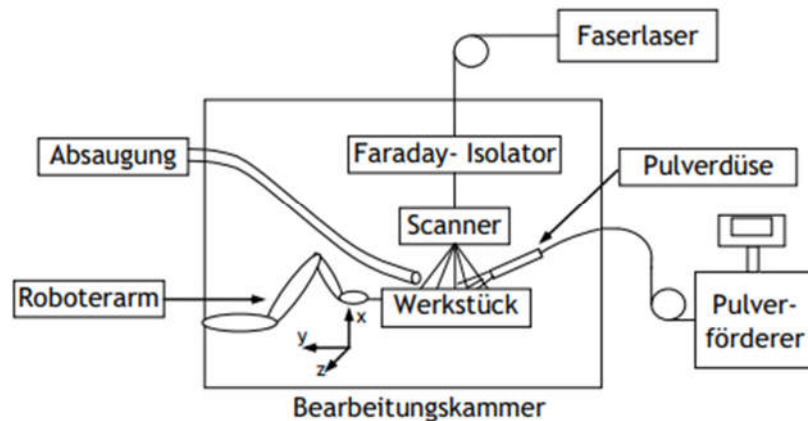


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau der vorhandenen Anlage [11]

Die Bachelorarbeit beinhaltet die oben genannte Konstruktionsaufgabe und ist in sechs Kapiteln gegliedert, welche sich durch folgenden Schwerpunkt auszeichnet:

- Anbringen eines Roboterarmes an die Wand
- Konstruktiver Entwurf und Aufbau einer Maschineneinhausung mit Alu-Profilen für die robotergestützte Laserbearbeitung mit mikroskaligen Metallpulver.
- Entwicklung und Konstruktion einer kompakten robotergeführten Prozesskammer inkl. Pulverdüsen, Absaugung, Beobachtungsmöglichkeit, Schutzglas für die Laserstrahleinkopplung und Dichtung.
- Die Prozesskammer soll als Prototypen konstruiert und dabei teilweise oder komplett mittels generativen Fertigungsverfahren FDM hergestellt werden.

2 Technische Grundlagen

2.1 Prozessbeschreibung: Traditionelles Laser Cladding

Laser Cladding ist ein generatives Fertigungsverfahren. Beim Laser Cladding wird ein metallisches Pulver aufgetragen, welches durch die hohe Energieabgabe des Lasers mit der Oberfläche des Werkstückes verschmolzen wird. Durch den Prozess wird die Oberflächenstruktur des Werkstückes verschmolzen und die Oberflächenqualität verbessert, um das Werkstück vor Verschleiß oder Korrosion zu schützen. Die Laserenergie schweißt dabei einen pulverförmigen Zusatzmaterial auf ein bestehendes Bauteil. Dies ergibt eine poren- und rissfreie Schicht mit geringer Verdünnung und einer kleinen Wärmeeinflusszone. Dies erhöht den Widerstand in Bauteilen und erhöht die Belastbarkeit. Verschleiß und Korrosion sind in fast allen Produktionsprozessen erhebliche Kostenfaktoren

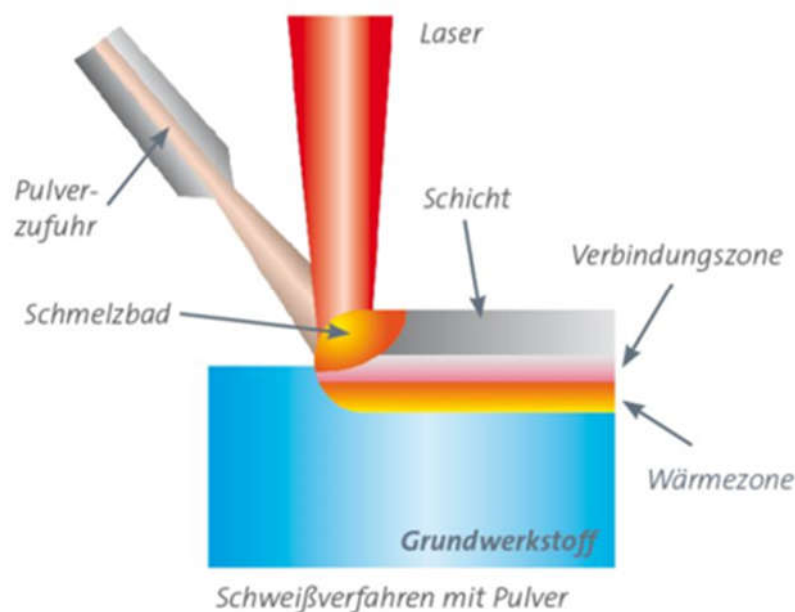
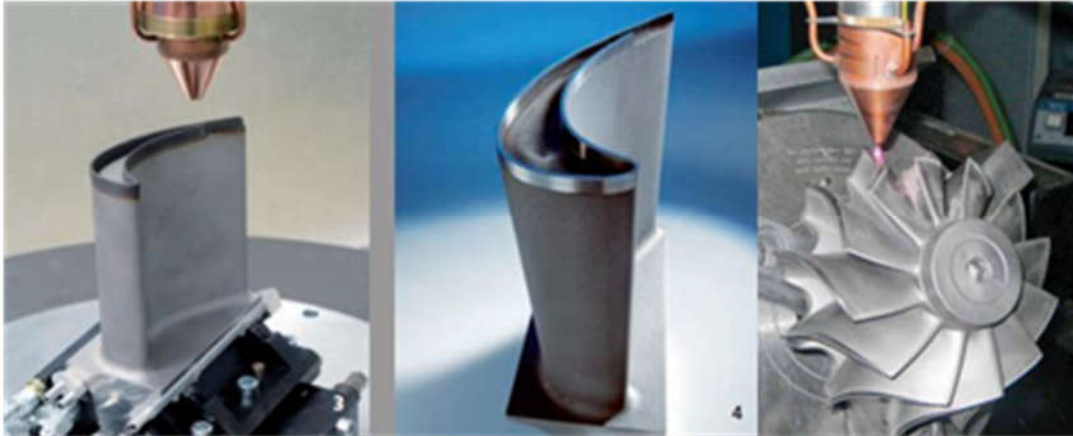


Abbildung 2: Funktionsschema Laserauftragschweißen (OR-Laser)

2.2 Anwendungen von Laser Cladding

- **Reparatur:** Durch die Anwendung des Laserauftragschweißens lässt sich die kleinen Beschädigungen oder die normale Gebrauchspur im einem großen und komplexen Bauteil leicht reparieren. Nach solcher einfachen Instandsetzung kann das Bauteil statt Austausch wiederverwendet wird.



**Abbildung 3: Erzeugung und Reparatur von Triebwerksschaufeln (Quelle: ILT Aachen),
Reparatur der Schaufeln eines Turboladers (Quelle: Sulzer Innotec)**

- **Veredelung von Oberflächen:** Durch den Auftrag des Metallpulvers wird eine dünne funktionale Schicht auf der Bauteiloberflächen erzeugt. Dadurch wird die Oberflächenbeständigkeit gegen Verschleiß und Korrosion optimiert.

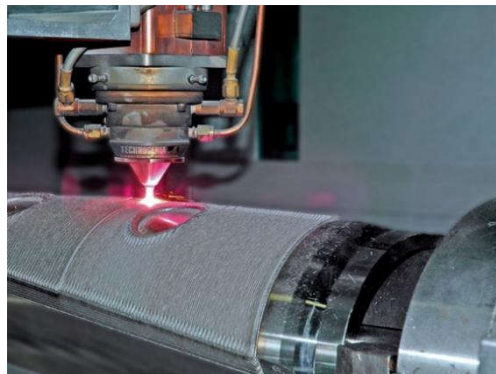


Abbildung 4: Beschichtung einer Bohrwerkzeug[Quelle: Technogenia]

- „**Generative Fertigung** von Bauteilen oder Funktionselementen wird zunehmend im Bereich der industriellen Fertigung eingesetzt. Im Bereich von Großbauteilen, wie z.B. Turbinenelementen, führt das Anbringen von Funktionselementen mittels Laserpulverauftragsschweißen zu deutlichen Einsparungen in der Fertigung.“ [6]



Abbildung 5: Schaufelrad [Quelle: ILT Aachen]

2.3 Stand der Technik: Micro Cladding am LHM

„Das Mikro-Pulver-Auftragsschweißen (englisch: Laser Micro Cladding) gehört zu den additiven (vormals: generativen) Fertigungsverfahren und zählt nach DIN8580 zu den Urformverfahren, bei dem das Werkstücke aus formlosen Materialien erzeugt wird. Pulverförmiges Ausgangsmaterial wird hierfür mittels einer Düse auf ein Werkstück aufgebracht und unter Zuhilfenahme eines Lasers selektiv geschmolzen und verfestigt. Der Unterschied zum klassischen (Makro-) Laserauftragschweißen besteht in der erzielbaren Strukturauflösung von kleiner als $100\ \mu\text{m}$.“ [3] Die minimal erreichbare Strukturauflösung, welche von dem gewählten Fokusbereich abhängig ist, liegt im LHM jetzt bei $50\ \mu\text{m}$. In diesem Zusammenhang wird das Prozess mit verschiedenen Metallpulvern geforscht. Zur Verfügung stehende Pulver sind Edelstahl 1.4404, Nickel-Superlegierung und Kupfer. Die Korngröße des Pulvers beträgt $6\ \mu\text{m}$.

Beim traditionellen Auftragschweißen wird eine kontinuierliche Laserstrahlung, die sich relativ zur Substratoberfläche bewegt, verwendet. Außerdem kommt eine Festoptik zum Einsatz. Dabei führt eine kontinuierlich Zufuhr von Energie zu einer hohen thermischen Belastung der Bearbeitungsfläche. Um diesem Problem zu beseitigen wird am LHM eine neue Verfahrensvariante entwickelt. Hier kommt ein gepulster Faserlaser in Verbindung mit einer schnellen Strahlableitung zum Einsatz. Die Ablenkung der Laserstrahlung wird mittels eines Galvanometerscanner realisiert. Der Bearbeitungsprozess muss statisch ablaufen, um das Pulver kontinuierlich auf dem Substrat zu fördern, dies ist aufgrund der hohen Ablenkgeschwindigkeiten der Laserstrahls nicht umsetzbar, wodurch die Pulverdüse nicht mehr relativ zum Substrat mitgeführt werden kann. Letztendlich kommt es unter der Wirkung des Laserstrahles zum Aufschweißen des Pulverbettes auf das Bauteil.

Ähnlich wie beim traditionelle Laserauftragschweißen hat das Micro Cladding viele Anwendungsperspektiven in industriellen Bereich. Beispiel dafür sind Mikroverbindungsstechniken oder die Reparaturarbeiten an Mikrobauanteilen. Außerdem kann das Micro Cladding auch als eine Alternative zum Lasermikrosintern verwendet werden, da es mit einem hohen Baurat arbeitet.

2.4 Umsetzung der Prozesskammer mittels 3D-Druck

2.4.1 Allgemein

Die Prozesskammer sollte als ein funktionsfähiger und geometrisch komplexer Prototyp gefertigt werden, um den Prozess des Micro Cladding durchzuführen. 3D Rapid Prototyping bringt eine große Konstruktionsfreiheit und erlaubt eine schnelle und günstige Fertigung eines Prototypen, der den Anforderungen entspricht. Damit ist schnell feststellbar, welche Bauteile optimiert werden sollten. Später können somit bereits früh im Entwurfsprozess Fehler korrigiert werden und Verbesserungen vorgenommen werden.

2.4.2 FDM

Für die Umsetzung der Prozesskammer steht das 3D-Druck Verfahren Fused Deposition Modeling (Abkürzung: FDM) im Mittelpunkt. Das Funktionsschema des FDM wird in Abbildung 6 dargestellt. Das Verfahren folgt dem „Bottom-up-Prinzip“. Das zu fertigende Bauteil wird auf einem vorgeheizten Druckbett schichtweise, durch einen schmelzenden Kunststoff, aufgetragen. Der Aufbau erfolgt anschließend durch eine STL-Datei, die durch das CAD-Programm erstellt wird und die vorgegebenen Maße und Formen beinhaltet. Dies wird durch eine Computersteuerung realisiert. Oft kommt Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) oder Polylactide (PLA) als Werkstoff zum Einsatz.

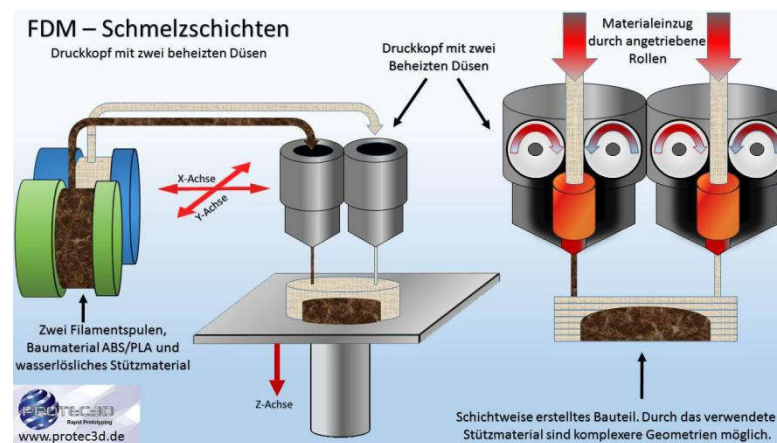


Abbildung 6: Prinzip des FDM-Verfahrens [7]

2.4.3 FDM Designrichtlinie

Über den VDI FA105 – Fachausschuss Additive Manufacturing und die VDI 3405 Blatt 3, lassen sich die Konstruktionsrichtlinien für 3D-Drucke finden. Diese können auch teilweise auf das FDM Verfahren bezogen werden.

Folgende Konstruktionsregeln müssen während der Konstruktion der Prozesskammer gut berücksichtigt werden.

Wandstärke:

Im 3D-Druck bezieht sich die Wandstärke auf den Abstand von zwei gegenüberliegenden Flächen. [9] Die minimale Wandstärke im FDM-Druckverfahren beträgt 0,8 mm. Die Wanddicke muss immer ein Vielfaches des Düsedurchmessers (0,4mm) sein.







Maximale Bauteilabmessungen:

Der verwendete Maschinentyp ist der Prusa MK3. Die Maximale Bauteilabmaße maximalen Bauteilabmessungen sind auf 250 mm x 210 mm x 210 mm(L x B x H)

Notwendigkeit von Stützstrukturen:

Für einen Steigungswinkel von größer als 45° ist zusätzliches Stützmaterial notwendig.

Die ausführliche Konstruktionsregeln für FDM werden in Abbildung 7 dargestellt.

	Supported Walls	Unsupported Walls	Support & Overhangs	Embossed & Engraved Details	Horizontal Bridges	Holes
	Walls that are connected to the rest of the print on at least two sides.	Unsupported walls are connected to the rest of the print on less than two sides.	The maximum angle a wall can be printed at without requiring support.	Features on the model that are raised or recessed below the model surface.	The span a technology can print without the need for support.	The minimum diameter a technology can successfully print a hole.
						
Fused Deposition Modeling	0.8 mm	0.8 mm	45°	0.6 mm wide & 2 mm high	10 mm	Ø2 mm

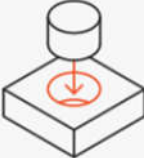
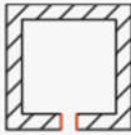

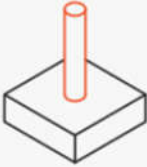


Connecting /Moving Parts	Escape Holes	Minimum Features	Pin Diameter	Tolerance
The recommended clearance between two moving or connecting parts.	The minimum diameter of escape holes to allow for the removal of build material.	The recommended minimum size of a feature to ensure it will not fail to print.	The minimum diameter a pin can be printed at.	The expected tolerance (dimensional accuracy) of a specific technology.
				
0.5 mm		2 mm	3 mm	±0.5% (lower limit ±0.5 mm)

Abbildung 7: Design Rules für 3D Printing [9]

3 Konstruktive Umgestaltung der vorhandenen Maschinenkabine

Maschinenkabine

3.1 Problembeschreibung

Für die Durchführungen von Prozess Micro Cladding kommt mikroskalige Metallpulver zum Einsatz. Solche Metallpulver können schädlich für elektrische Bauteile oder optische Komponente sein. Die Kontamination der Luft mit feinem Metallpulver stellt ein hohes gesundheitstechnisches Risiko für den Mitarbeiter dar. Dies muss in die Betrachtung der zwingend aufrecht zu erhaltender Betriebssicherheit mit eingebunden werden. Der Micro Cladding Prozess soll innerhalb einer mobilen Prozesskammer durchgeführt werden. Die Absaugung ist auch in der Prozesskammer integriert. Trotz des Einsatzes der Absaugung in der Prozesskammer, ist eine Sicherheit gegen austreten des Metallpulvers aus der Prozesskammer nicht gegeben. Um einen sauberen und sicheren Arbeitsplatz zu schaffen, ist die Konstruktion einer Maschinenkabine notwendig. Die Kabine isoliert die Anlage von ihrer Umgebung und reduziert auch die Geräuschbelastung. Die vom Metallpulver ausgehende Gefahr für den Mitarbeiter wird dadurch ebenfalls gering gehalten. Die Konstruktion der Maschineneinhausung wird mithilfe des Konstruktionsprofils aus der Firma Items realisiert. (siehe Abbildung 8) Nach Abschluss der konstruktiven Umgestaltung der vorhandenen Maschinenkabine werden die vorhandene Profile teilweise maßgerecht nochmal zugeschnitten und in der Werkstatt des Laserinstitutes neu montiert. Während der Montage ist auf die Genauigkeit und Stabilität des Rahmens der Maschinenkabine zu achten, da sie die nachkommenden Bauteile beeinflussen.

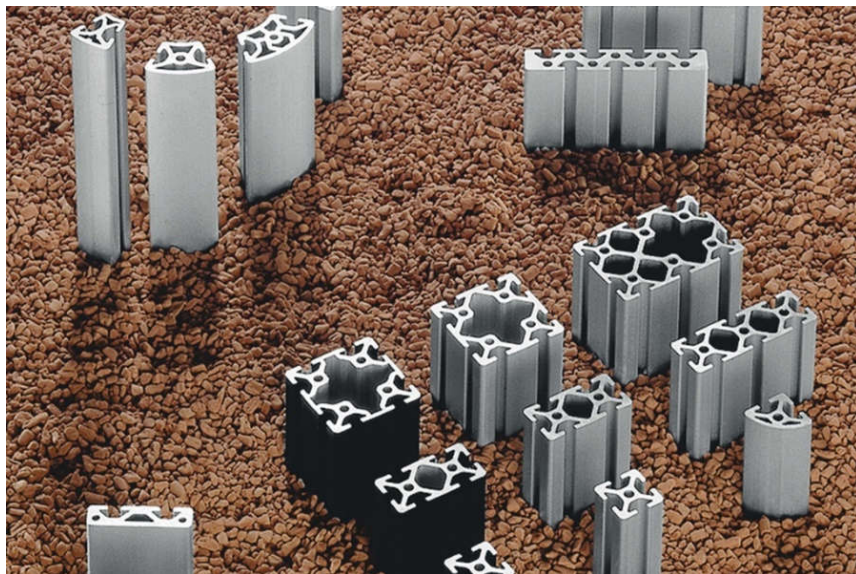


Abbildung 8: Beispiel von Konstruktionsprofil (Quelle: Items)

3.2 Vorhandende Konstruktion

Im LHM steht der Industrieroboter Stäubli (TX 60) zur Verfügung (siehe Abbildung 9). „Der TX60 Sechssachs-Roboterarm bietet höchste Performance und gesteigerte Flexibilität. Der kugelförmige Arbeitsbereich und die große Reichweite sorgen für eine optimale Nutzung des Arbeitsraums. Der Roboter hat eine maximale Tragkraft von 9 kg und eine Reichweite von 670 mm. „ [15] Die Prozesskammer wird als eigenständige Prozesseinheit für das Micro Cladding betrieben. Die Prozesskammer, der Scanner und das Objektiv werden mittels Befestigungselemente am Roboterarm befestigt und an die gezielte Position geführt.



Abbildung 9: 6-Achsige Roboterarm (Stäubli TX60)

Die Abmaße und Achsenbezeichnung des Roboterarms: (siehe Anlage: I)

Der Roboter TX60 der Firma Stäubli bietet eine hohe Positioniergenauigkeit und ist gegen das Eindringen von Staubpartikeln geschützt. „ Dieser Schutz wird dadurch erreicht, dass das Innere des Armes über eine externe Druckluftversorgung mit einem Überdruck versehen. Diese saubere Luft tritt an den Gelenken des Roboters aus und verhindert somit weitgehend, dass Partikel eindringen.“ [11]

Für die Umsetzung der Konstruktionsaufgabe ist eine umfassende Planung und Vorbereitung von Nöten. Mit Hilfe der Software „Solid Works“ wurde die Konstruktion für den Wiederaufbau und die Fertigung der Baugruppe durchgeführt. Die Konstruktion der Maschineneinhausung wird mithilfe den Konstruktionsprofil aus der Firma Items realisiert.

Die Konstruktionsprofil sind im Strangenpressverfahren hergestellt Halbzeug mit sehr guter Festigkeit aus Aluminium. Die Profile sind eloxiert und in baureihenspezifischen Rastermaßen aufeinander abgestimmt. Es besteht aus Aluminiumprofilen mit genormten T-Nuten für schnelle und flexible Montage. In der vorhandenen Konstruktion wird das Rahmen der Maschinenkabine für Roboterarm schon gefertigt. Die Grundfläche der Maschinenkabine beträgt 1165 mm mal 1205 mm und 2000 mm hoch. Die hauptsächliche Bauelement der Maschinenkabine bleiben bestehen. Deshalb braucht kein großer Aufwand in der Konstruktion um das Rahmen weiter umzubauen. Aber die Konstruktion von aller Flächenelemente für die Maschinenkabine ist noch offen. Das Maschinenkabine soll ein geschlossen Raum bilden, um Pulveraustritt aus der Kabine zu verhindern und die Anlage mit ihrer Umgebung zu isolieren.

In der vorhandener Konstruktion (siehe Abbildung 10) wird ein Ständer für den Roboter konstruiert. Der Roboter wird zuerst am einem Platte mit einer Dicke von 10mm durch Verschraubung befestigt und dann an den Ständer angebracht. Um den Roboter zu steuern, befinden sich an der Frontseite der Maschinenkabine auch ein Bildschirm sowie ein kleiner Arbeitstisch für den Tastatur und Maus. Mithilfe der Konstruktionsprofil wird zusätzlich die Bildschirm- Tischhalterung konstruiert. Außerdem um den Proben zu wechseln oder ggf. die Anlage zu warten ist eine Zugänglichkeit zu der Kabine notwendig. Die Zugänglichkeit wurde mittels den Türen realisiert. Die Türen sind an Scharnieren aufgehängt und nach Außen öffnend.

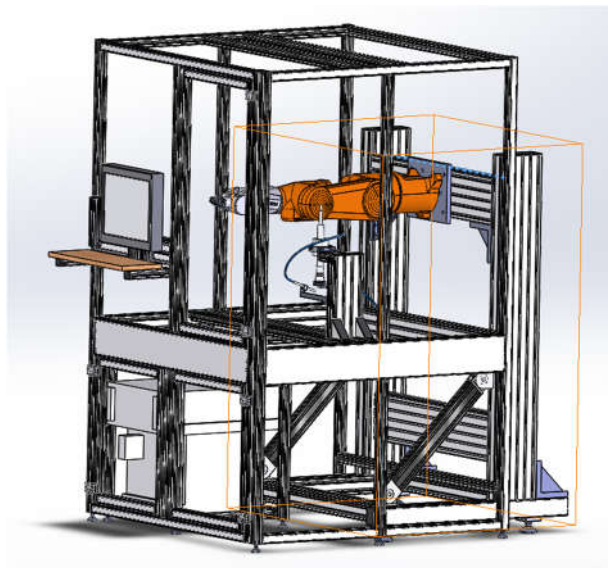


Abbildung 10: Vorhandene Konstruktion der Maschinenkabine

3.3 Konstruktion des Arbeitstisches für Roboterarm

In der neuen Konstruktion(siehe Abbildung 11) wird der Roboter an der Wand angebracht. Die Montageart des Roboters ist der Anlage III zu entnehmen. Der Roboter wird auf der Wand mit einem Abstand von 1450 mm zum Boden durch Verschrauben befestigt. Deswegen ist der vorhandene Ständer für den Roboter nicht mehr notwendig.

Um das benötigte Konstruktionsprofil zu sparen kann der Ständer einfach zu einen Arbeitstisch und einem Kabelschrank umgebaut werden.

Der Kabelschrank wird als dem Aluprofil mit den Maßen 200 mm x 80 mm konstruiert. Dieser lehnt direkt an der Wand an. Das Kabel wird nach unten geführt. Um den Kabelanschluss des Roboters vor dem Pulver zu schützen, wird der Kabelschrank von zwei dünnen Metallblechen bedeckt. Es wird ein Halbkreis im jeweiligen Blech vorgesehen, damit der Roboter aus dem Kabelschrank hineinragen kann.

Die vorherigen Elemente des Roboterständers werden zu einem Arbeitstisch umgebaut. Der Abstand zwischen dem Arbeitstisch und Boden beträgt dabei nun 564 mm. Durch Verstellen des Gelenkwinkels kann die Höhe des Arbeitstisches weiter variieren. Allerdings muss beachtet werden, dass der Roboter im Bereich des Arbeitstisches agiert und es zu Kollisionen kommen kann.

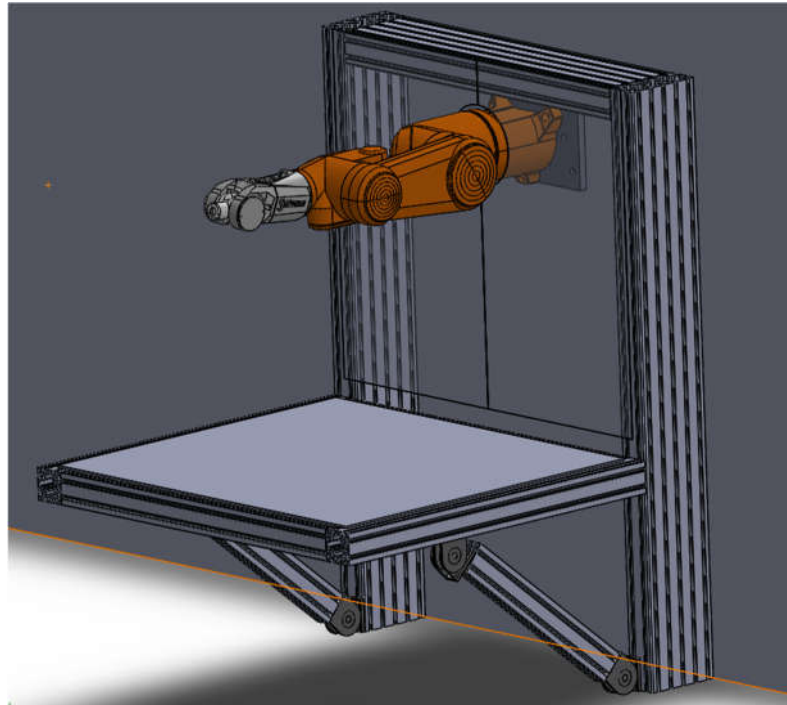


Abbildung 11: Konstruktion des Arbeitstisches und Kabelschrankes

3.4 Konstruktion des Bedienpult

Um das Bildschirm vor dem Pulver zu beschützen und die Steuerung der Anlage außerhalb der Maschinenkabine zu ermöglichen wird dafür ein Bedienpulte konstruiert. (siehe Abbildung 12&13) Das Bedienpult hat die Aufgabe die Anlage zu steuern und den Bearbeitungsprozess zu überwachen. Üblicherweise besteht es aus Bildschirm, funktionsorientierte Tastern und Tastatur. Die Kommunikation mit der Anlage wird durch dieses Bedienpult realisiert, wobei der Einsatz eines PCs eine Bedienung ermöglicht, welche räumlich getrennt von der Anlage passiert. In der Konstruktion wird das Bedienpult in einem Schrank integriert. Der Schrank ist ein Gehäuse für elektrische oder

elektronische Geräte zum Anbringen von Schaltern, Knöpfen und Anzeigen sowie zum Schutz des Inhalts vor der Umgebung. Das Bedienpulte kann für Gebrauchsbedürfnisse ausgelegt sein. Schränke werden üblicherweise aus starren Metallen wie z. B. Edelstahl- oder Aluminiumblech mit einer Wandstärke von 2 mm gefertigt. [10]

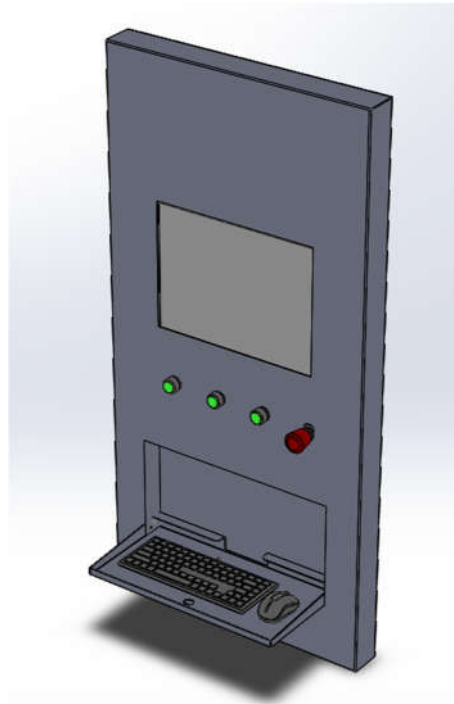


Abbildung 12: Bedienpult

Das Bedienpult besitzt Abmaße von 1130 mm x 560 mm x 65 mm. Die Abmaße des Bedienschranks richten sich nach den Abmaßen des Rahmens der Maschinenkabine. Nach Abschluss der Konstruktion kann das Blech mit einer Dicke von 2 mm bestellt und danach in der eigenen Werkstatt des Laserinstituts gefertigt werden. Der Bildschirm ist im Schrank integriert, dadurch wird dieser vor Staub aus der Innenraum der Maschinenkabine geschützt. In der Abbildung 13 lässt sich der Innenraum des Bedienpultes zu erkennen. Die Halterung für den Bildschirm sowie die kleine Verschlussstelle mit der Abdeckplatte. Die Verbindung wird durch eine Schweißkonstruktion realisiert.

Um die Steuerung des Roboters zu erleichtern können weitere Funktionstasten, wie z. B. Start-Taste, nach den Bedürfnissen flexibel ausgerichtet werden. Ein normgerechter Not-Aus-Taster ist notwendig. Bei Gefahr wird dieser Taster betätigt und die Anlage wird in einen sicheren Zustand gebracht, durch welchen die gesamte Anlage sofort still steht. Unter den Funktionstasten wird ein Klapp Tisch für Tastatur und Maus konstruiert, damit kann außerhalb der Maschinenkabine der Prozess gesteuert werden.

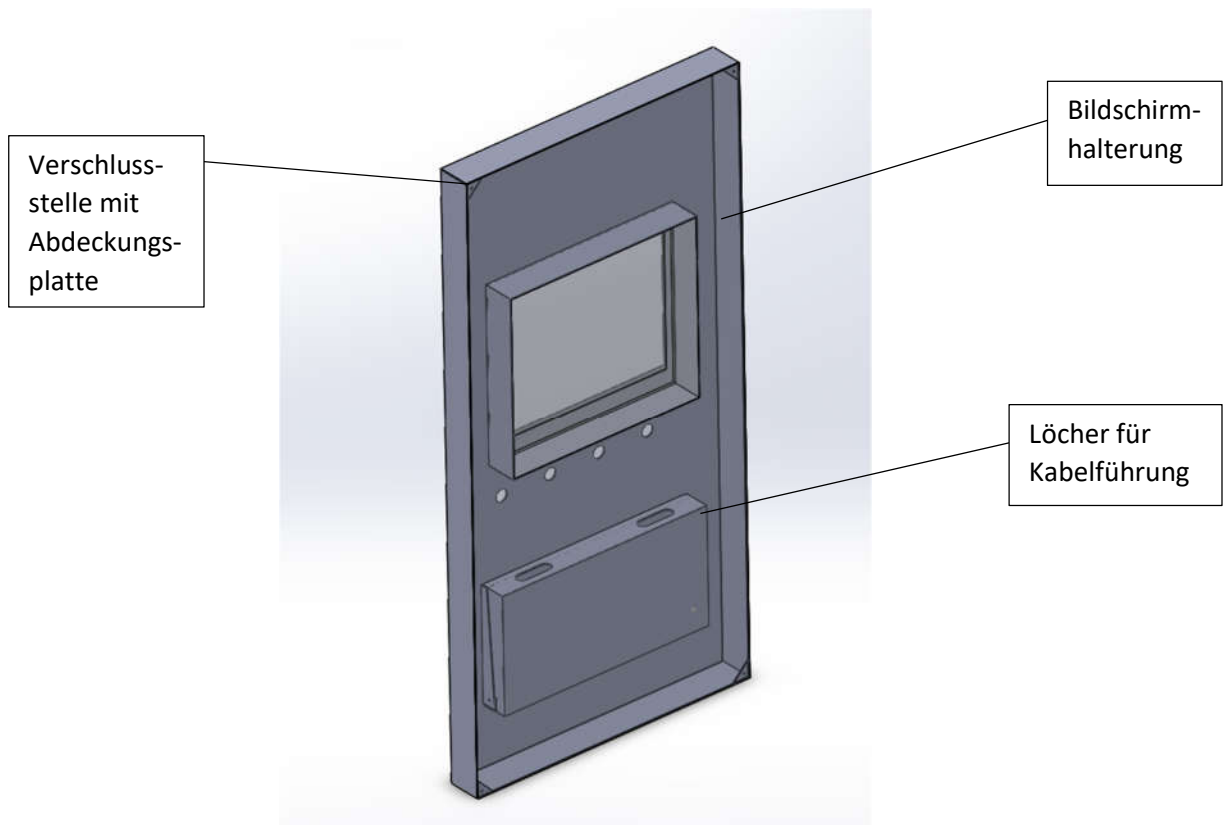


Abbildung 13: Innenraum des Bedienpults

3.5 Konstruktion der Flächenelemente für die Kabine

3.5.1 Konstruktion der Tür

Um das zu bearbeitende Substrat zu wechseln, oder gegebenenfalls die Anlage regelmäßig zu reinigen, ist die Zugänglichkeit des Innenraums der Maschinenkabine zwingend hoch zu halten. Die wurde mittels den Tür realisiert.(siehe Abbildung: 14) Für Türen stehen die Türprofile mit Querschnittsabmaße von 40mm X 40mm zur Verfügung. Diese sind zur Aufnahme von geschlossenen Flächenelementen vorgesehen. Die Türen wurden mittels zwei Scharnieren am Rahmen der Maschinenkabine aufgehängt.

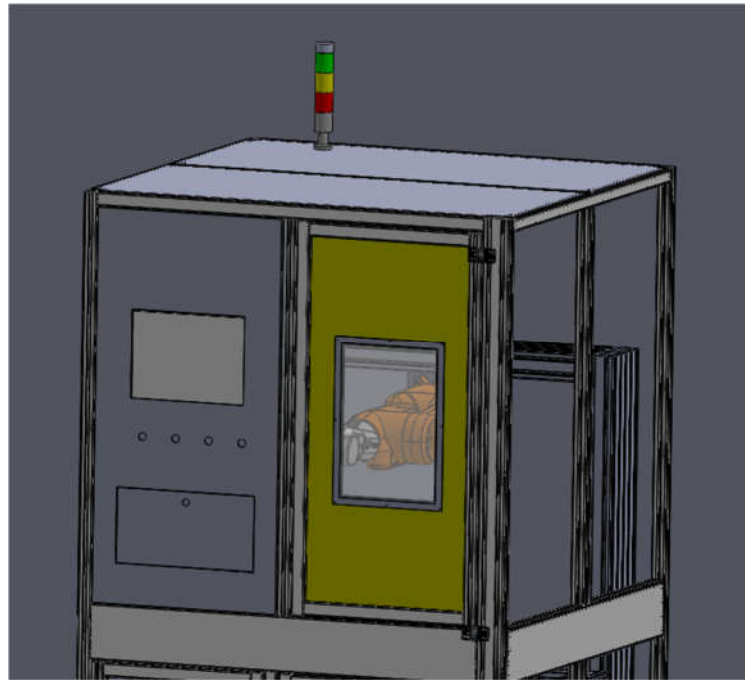


Abbildung 14: Einbauzustand der Tür

Die Blechstärke der Tür beträgt insgesamt 6 mm und ist aus Verbundplatten, die aus Aluminium und Kunststoffkern besteht, gefertigt. Um den direkten Kontakt zwischen den Flächenelementen zum Aluminiumprofil zu verhindern werden die Kanten der Flächenelemente mit U-Einfassprofilen abgedeckt (siehe Abbildung:15). Die U-Einfassprofilen werden in die Türplatte an den Seiten eingedrückt. Die Presskräfte, welche an den Seitenflanken auf die Türplatte wirken, halten diese in Position. Dadurch können die Flächenelemente der Tür in der Nut des Konstruktionsprofils befestigt werden. Das Einfassprofil kann einerseits die Erschütterungen dämpfen und andererseits die Nut abdichten. In den Ecken der Flächenelemente, werden zwei Einfassprofile im Winkel von 45° geschnitten um diese miteinander zu verbinden.

Um den Prozess beobachten zu können muss noch ein Beobachtungsfenster in der Tür, die neben dem Bedienschrank liegt, konstruiert werden. Die Beobachtung des Prozesses ist unter Berücksichtigung des Schutzes des Bedieners gewährleistet. Das Sichtfenster besteht aus Laserschutzglas. Hierfür wurde ein Glasfilter für Laserschutzfenster mit den Abmaßen von 450 mm X 300 mm X 3 mm verwendet, der den Austritt von Laserstrahlung verhindert. Um den Glasfilter in der Tür zu integrieren, wurde ein Adapter als Laserschneidteile konstruiert und durch Verschrauben befestigt.

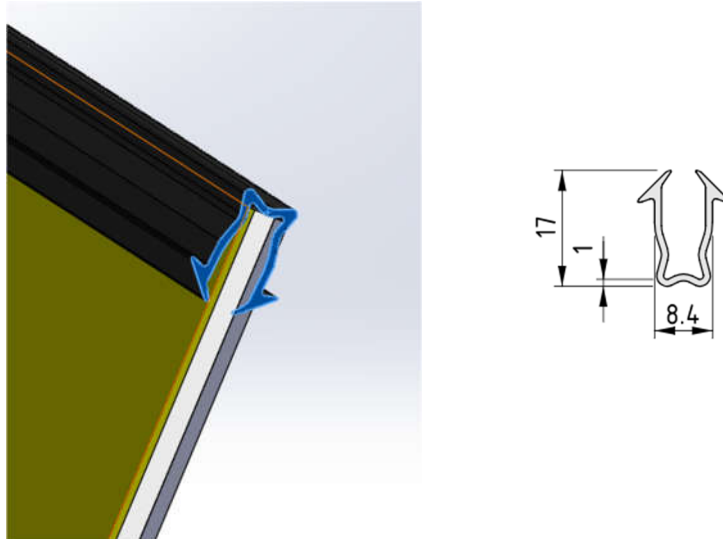


Abbildung 15: Einfassprofil für Flächenelemente (Quelle: Items)

Weiterhin um Pulveraustritt aus dem Spiel zwischen der Tür und dem Rahmen zu verhindern und die Beweglichkeit der Tür zu beschränken, kommt ein spezieller Türdichtanschlag der Firma Items zum Einsatz (Siehe Abbildung:16). „Die längskontinuierlichen Türdichtanschläge bilden im Türspalt einen Anschlag für Schwenktüren und dichten den Türspalt mit einer elastischen Dichtlippe ab. In der innenliegenden, der Tür zugewandten Profilmutter 8 wird der Türdichtanschlag eingesetzt und stoppt das Türblatt bündig zur Profilaußenfläche.“ [12]

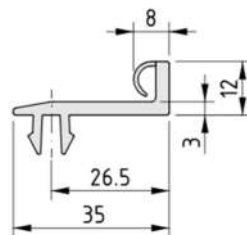


Abbildung 16: Türdichtanschlag 8 40 (Quelle: Items)

3.5.2 Konstruktion der Maschinenverkleidung:

Die Maschinenkabine soll einen geschlossenen Raum bilden. Deshalb sind die Deckungsplatten für die Kabine erforderlich. Auf der Außenseite der Maschinenkabine kann die Aluminium-Bleche mit Dicke von 2 mm verwendet werden. Die Aluminium-Bleche eignen sich für Konstruktionen aller Art und können gebogen oder gekantet werden. Die Abmaße der Deckungsplatten sind den vorhandenen Abmaßen des Rahmens der Maschinenkabine entsprechend gestaltet. Die Aluminium-Bleche können nachträglich auf das gewünschte Maß der Maschinenkabine geschnitten und an dieser durch Verschraubung montiert werden.

Trotz des Einsatz von Absaugungsanlage kann das übrige Metallpulver noch nicht auf ideale Weise alles abgesaugt werden. Daher ist eine regelmäßige Reinigung der Maschinenkabine erforderlich, weshalb die Flächenelemente auf der Innenseite der Kabine leicht demotierbar sein sollten. In solchen Fällen kommt üblicherweise der Magnetverschluss zum Einsatz. Das im Micro Cladding -Prozess verwendete Metallpulver ist allerdings auch leicht magnetisch. Längerfristig kann sich Kondenswasser an dem vom Magneten angezogenen Metallpulver bilden, was bis zum Versagen der Absauganlage führen kann.

Als Flächenelemente auf der Innenseite der Maschinenkabine werden Aluminiumverbundplatten verwendet. Um die leichte Demotierbarkeit der inneren Flächenelemente zu realisieren kommt hier ein Riegelverschluss für Aluminium-Strangpressprofil der Firma Misumi zu Einsatz (Siehe Abbildung: 17). Diese mechanischen Verschlüsse bieten eine einfache und schnelle Kopplung zwischen den Flächenelementen und dem Rahmen der Kabine.

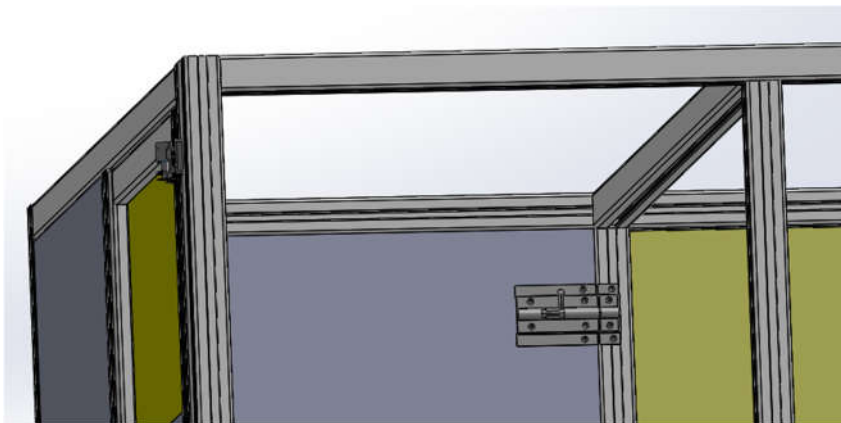
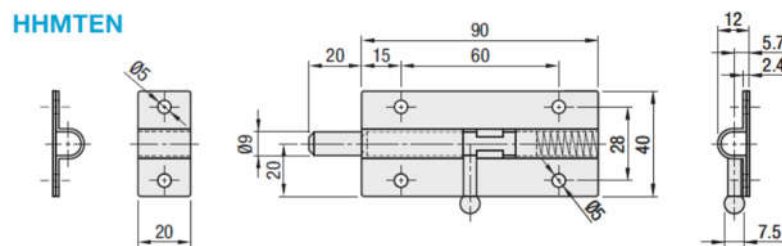


Abbildung17: Riegelverschluss (Quelle: Misumi)

4 Konstruktion der Prozesskammer

4.1 Bedarfsanalyse

Die Prozesskammer wird als eigenständige Prozesseinheit für das Micro Cladding betrieben. Durch den Einsatz der Prozesskammer tritt die Pulverbelastung der Anlage hauptsächlich nur in der kleinen, mobilen Kammer beschränkt. Die Prozesskammer, der Scanner und das Objektiv werden mittels Befestigungselementen am Roboterarm befestigt und gezielt zur Position geführt. Die Baugruppe der Prozesskammer besteht hauptsächlich aus einer Dreistrahl- Koaxialdüse und der dazugehörigen Düsenhalterung, ein Kammergehäuse, einer Absaugung und ein Laserstrahl- Einkoppelfenster.


Für die Planung der Prozesskammer muss daher berücksichtigt werden, dass diese luftdicht abgeschlossen zu seiner Umgebung ist. Der Luftdruck im Bearbeitungsraum entspricht dem Atmosphärendruck. Der Gehäuseboden der Prozesskammer ist offen. Eine zusätzliches Kantendichtungsgummi ist rund um den Gehäuseboden notwendig. Der Bearbeitungsbereich in der Prozesskammer wird zusätzlich mit einer Absaugung versehen. Damit soll verhindert werden, dass das Pulver nicht aus der Prozesskammer austritt und auf der Optik am Scan-System kondensiert und dadurch die Optik unbrauchbar machen würde. Eine Verschmutzung der Optiken setzt den Energieeintrag am zu bearbeitendem Werkstück, herunter, welcher einen abgestimmten Laserprozess nicht mehr optimal laufen lässt.

Die Prozesskammer muss folgende Eigenschaften besitzen bzw. Komponenten enthalten.

- Dreistrahlkoaxialdüse (Bearbeitungsfläche ca. 3 x 3 mm²) inkl. Düsenhalterung muss in Kammer integrierte sein.
- Ein Fenster für die Laserstrahleinkopplung ist notwendig.
- Pulverabsaugung muss realisierbar sein.
- Die Kammer muss gut abgedichtet sein, damit das übrige Metallpulver nicht austreten kann.
- Die Prozesskammer wird an Roboterarm befestigt, deshalb muss es relativ leicht montierbar sein.

Um alle Daten und Informationen für die Konstruktion systematisch zu zusammen zu stellen und weiterhin die Aufgabe genauer festzulegen kann die folgende Anforderungsliste erstellt werden.

Tabelle 1: Anforderungsliste

 MTTWEIDA ROSSWEIN	Anforderungsliste	Anforderungsliste
Auftrags-Nr.:1	Projekt: Robotergeführte Prozesskammer	Bearbeiter: Hanqin Hu Datum: 24,10,2018

Merkmale	Anforderungen	Förderung(F) /Wünsch(W)
Funktion Gesamtfunktion Teilfunktion Hauptfunktion Nebenfunktion	-Die Kammer kann als eine Prozesseinheit für das Micro Cladding betrieben werden. -Die Prozesskammer wird an einem Roboterarm befestigt, und wird mithilfe des Roboterarms zur gewünschter Position geführt.	F F
Geometrie Abmessungen Raumbedarf Anzahl Anordnung Anschluß Ausbau Erweiterung	-Kompakte Baugröße -Anzahl=1 -Anschluss: Schraubenverbindung	F F F
Kinematik Bewegungsart Bewegungsrichtung Geschwindigkeit Beschleunigung	Die Prozesskammer wird an Roboterarm festgelegt, und relativ zum Roboterarm nicht beweglich.	F
Kräfte Kraft Gewicht Kraftwirkung	Versagungsfrei bei Führungsbewegung	F

Merkmale	Anforderungen	Förderung(F) /Wünsch(W)
Steifigkeit Federkraft Stabilität Resonanzen		
Energie Leistung Wirkungsgrad Verluste Zustandsgrößen Thermische Energie Anschlußenergie Speicherung Arbeitsaufnahme Energieumformung	Nicht erforderlich	
Stoff Physikal. Eigenschaften Chemische Eigenschaften Biologische Eigenschaften Hilfsstoffe Werkstoffarten Materialfluß Transport	-Kunststoff -Befestigungselemente : Metall Schrauber; Alu-Platte	F F
Signal Signalart Anzeigeart Betriebsgeräte Überwachungsgeräte Sicherheitsgeräte Signalform	Das Micro Cladding Prozess wird von Augen oder Kamera beobachtet	F
Sicherheit Sicherheitstechnik Schutzsysteme Betriebssicherheit	Laserschutzglas schützt vor Laserstrahlung	F F

Merkmale	Anforderungen	Förderung(F) /Wünsch(W)
Arbeitssicherheit Umweltsicherheit	Metall Pulver darf nicht aus die Prozesskammer austreten	
Ergonomie Mensch – Maschine Beziehung Design		
Fertigung Produktionsverfahren Arbeitsraum Fertigungsverfahren Fertigungsgenauigkeit Betriebsmitte	3D-Druck: FDM Fertigungsgenauigkeit bis ca. 0,1mm	F W
Kontrolle Meßmöglichkeiten Prüfmöglichkeiten Prüfplanung Vorschriften	Konstruktionsrichtlinie nach VDI: 3405	F
Montage Montierbarkeit Zusammenbau Einbau Aufstellung	Die Prozesskammer wird mithilfe des Alu-Pofil und Adapterplatt mit Laserscanner und optische Komponente als eine gesamte Baugruppe an Roboterarm befestigt.	F
Termin Endtermin Zwischentermin Lieferzeit	Abgabe bis 30,11,2018	F

4.1.1 Prinzipielle Lösungen und deren Bewertung

Um die Absaugungsfunktion besser zu optimieren, wurde die Absaugung in das Kammergehäuse integriert. Für den Entwurf des Gehäuses und der Absaugung, sowie dem Befestigungskonzept der gesamte Baugruppe am Roboter, mussten zunächst die passenden Größen, sowie die Form der Prozesskammer, festgestellt werden. Für die Bauform des Kammergehäuses steht die Möglichkeit von einer eckigen und einer runden Bauform zur Verfügung. Die beiden Varianten wurden in nachfolgende Tabelle vergleichend dargestellt und bewertet. Letztendlich fiel die Auswahl der Form auf das runde Kammergehäuse, da diese Variante die Funktion der Absaugung am besten ermöglichen kann.

- Konzept 1
 - Es wird ein eckiges Kammergehäuse 3D gedruckt.
 - Um die Prozesskammer am Roboter anzubringen kommt eine Aluminiumplatte mit einer Dicke von 10mm zum Einsatz. Die Prozesskammer wird direkt auf der Adapterplatte festgeschraubt. Der Laserscanner und optischen Komponenten werden mittels Aluminium-Profile (20 mm x 20 mm) an der Adapterplatte festgeschraubt.

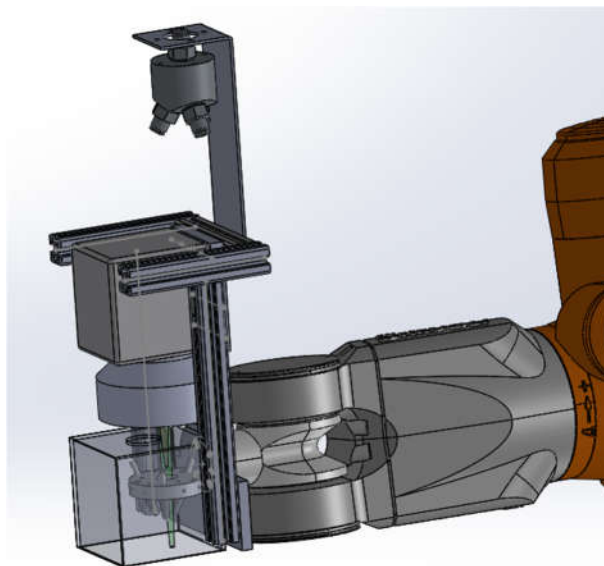


Abbildung 18: Konzeptentwurf Variante 1

- Konzept 2
 - Um die Absaugungsfunktion besser zu ermöglichen wird ein runde Kammergehäuse konstruiert.
 - Um die Prozesskammer, den Laserscanner und optische Komponenten am Roboter zu befestigen, wird ein Flansch auf der Zylindermantelfläche konstruiert. Der Laserscanner wird mittels Alu-Platte auf dem Roboter befestigt. Außerdem kommen zwei Aluminium-Profile (20 mm x 20 mm) zum Einsatz. Die Alu-Profile werden einerseits auf der Adapterplatte festgeschraubt und andererseits mit dem Flansch der Kammer verbunden.

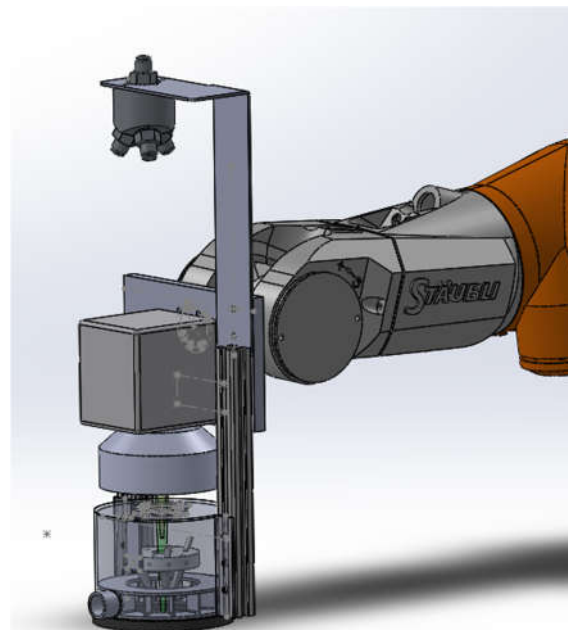


Abbildung 19: Konzeptentwurf Variante 2

- **Tabelle 2 Bewertung den Konzepte:**

	Montage	Dichtheit	Montierbarkeit anderer Baugruppen	Konstruktion	Ergebnis
Variante 1	0,5	0,5	1	1	3
Variante 2	0,7	1	0,7	0,7	3,1

- 1 = sehr gut; 0 = sehr schlecht

Fazit:

Das Konzept 2 weist im Vergleich die bessere Dichtheit gegen das Metallpulver auf, da der Gehäuseboden der Prozesskammer offen ist, Ein zusätzliches Kantendichtungsgummi, rundum den Gehäuseboden ist notwendig. In Vergleich zu eckigen Gehäusen kann die runde Prozesskammer besser und stabiler abgedichtet werden. Weiterhin kann eine Ringabsaugung einfacher im runden Gehäuse integriert werden. Durch die runde Geometrie bedingt, kann sich das Metallpulver nicht in Ecken der Kammer ansammeln was einen weiteren Vorteil gegenüber einem eckigen Gehäuse darstellt.

Um die gesamte Baugruppe im Roboter montieren zu können, wird in der zweiten Variante der Scanner mittels einer Adapterplatte am Roboter befestigt. Der Schwerpunkt der Baugruppe liegt näher am Scanner. Dadurch liegt eine geringere Unwucht, bedingt durch den kleineren Hebelarm zwischen Befestigungsstelle und Schwerpunkt, vor. Deswegen wird das Konzept 2 daher als primäres Konzept angewendet ausgewählt.

4.2 Konstruktion der Baugruppe: Laserstrahleinkoppelfenster

Das Einkoppeln des Laserstrahles in die Prozesskammer wird mittels eines Einkoppelfensters realisiert. Es wird ein Aufsatz von 10 mm auf dem Gehäusedeckel erzeugt. Der Aufsatz hat eine Öffnung um den Laserstrahl in die Prozesskammer eintreten zu lassen. Das verwendete Glas des Einkoppelfensters hat einen Durchmesser von 20 mm. Der Aufsatz wurde so konstruiert, dass es auch als ein Anschlag für das Einkoppelglas vorhanden ist und dieses somit gegen herunterrutschen gesichert ist. Das Lasereinkoppelfenster ist ein transparentes Glas und hat eine Dicke von 3 mm. Um den Glasfilter in den Aufsatz zu integrieren, wurde ein Adapter für das Einkoppelglas als Laserschneidteil konstruiert. So wurde beispielsweise das Einkoppelfenster durch eine M3-Gewindebohrung befestigt. Das Einkoppelfenster muss immer sauber und transparent sein, damit der Laserstrahl kann durch das Einkoppelfenster in die Prozesskammer eintreten und auf die Substratoberflächen einwirken kann. Falls das Einkoppelfenster mit dem Metallpulver verschmutzt wird, wird der Laserstrahl auch teilweise reflektiert, Dies führt zur einer schlechteren Spurqualität. Solche Fälle sind im Micro Cladding Prozess mit sehr hohen Genauigkeitsansprüchen, unerwünscht. Um das Lasereinkoppelfenster vor der Verschmutzung durch das Metallpulver zu schützen muss eine Luftströmung unterhalb des Einkoppelfensters erzeugt werden. Auf dem Mantel des Aufsatzes, werden einige horizontale Lüftungsschlitze geöffnet, um eine homogene Luftströmung in der Prozesskammer zu ermöglichen. Der Luftstrom gelangt durch die Lüftungsschlitze in die Prozesskammer und wieder durch das Absaugrohr aus. Dadurch entstehen keine Luft- Verwirbelungen unterhalb des Einkoppelfensters, die das Einkoppelfenster verschmutzen würden.

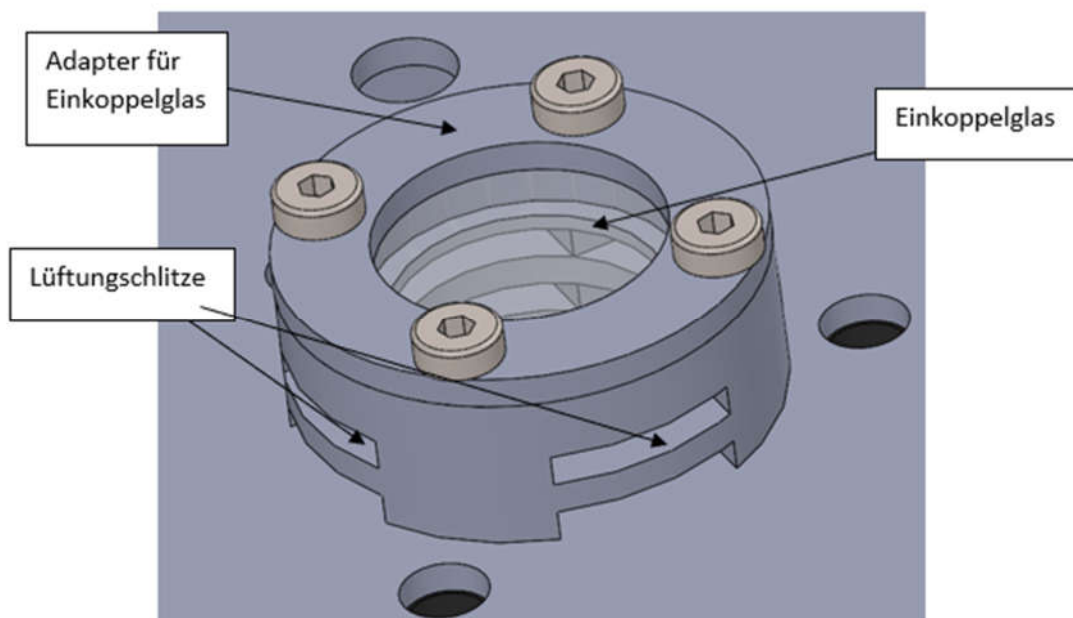


Abbildung 20: Baugruppe: Lasereinkoppelfenster

4.3 Baugruppe Pulverzufuhr

Das verwendete Metallpulver wird mittels eines Förderers und eines Pulververteilers in drei Schläuchen gefördert. Es wird mit Hilfe einer Dreistrahdüse auf die Sustratoberflächen fokussiert. Die Bearbeitungsfläche beträgt $3 \times 3 \text{ mm}^2$. Unter der Wirkung des Laserstrahls (20 W kurzgepulster Faserlaser) wird in diesem Pulverfokus die Struktur auf dem Substrat schichtweise erzeugt. Mit Hilfe des Galvanometerscanners kann die Maximale Ablenkungsgeschwindigkeit bis 8 m/s betragen. Jedoch kann der Schutz des Scanners und des Objektes nicht gewährleistet werden, da das Metallpulver ohne die Prozesskammer sowie die integrierte Absaugung, nur von einer Seite aus angesaugt werden kann. Dies ist in der Abbildung 21 aufgezeigt.

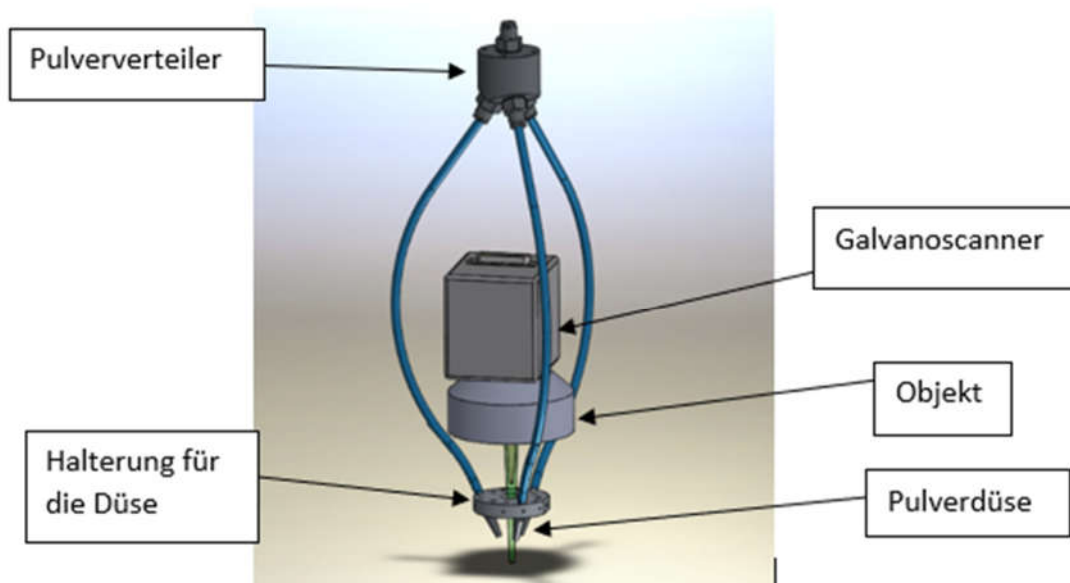


Abbildung 121: Baugruppe Pulverzufuhr

In der Fertigung kommt die Dreistrahdüse mit einem Öffnungsdurchmesser von 2 mm zum Einsatz. Damit das Pulver punktförmig aufgetragen wird. Der Anstellwinkel der Düsen ist 60° zur Arbeitsebene. Um die Schläuche für Pulverzufuhr in die Prozesskammer einzuleiten, werden die im Gehäusedach dazugehörige Löcher (3 Stck.) geöffnet. Um die Düse in der Prozesskammer anzuordnen, kommt hier ein im LHM entwickelte Düsehalterung aus 1060 Legierung zum Einsatz.

Um die Düsehalterung in der Prozesskammer einzubauen und gleichzeitig die Abstand zwischen den Gehäusedach und der Düsehalterung zu beschränken kommen drei Zylinderschrauben mit dem Abmaße von M5 x 40 zum Einsatz. Es werden im Gehäusedach zusätzliche drei dazugehörige Löcher geöffnet. Der Abstand zwischen der Düsehalterung und Gehäusedeckel liegt bei 30mm. Jede Schraube wurde mit einer Distanzhülse (L = 30mm) verschraubt, damit wurde die Einschraubtiefe der Schrauben in die Pulverhalterung beschränkt. (siehe Abbildung 22) Die Düsehalterung ist aus

leichte Aluminium gefertigt und beherrscht eine sehr geringe Gewicht von ca. 55 g. Die Berechnung der Festigkeit von der Schraubenverbing kann daher verzichtet werden.

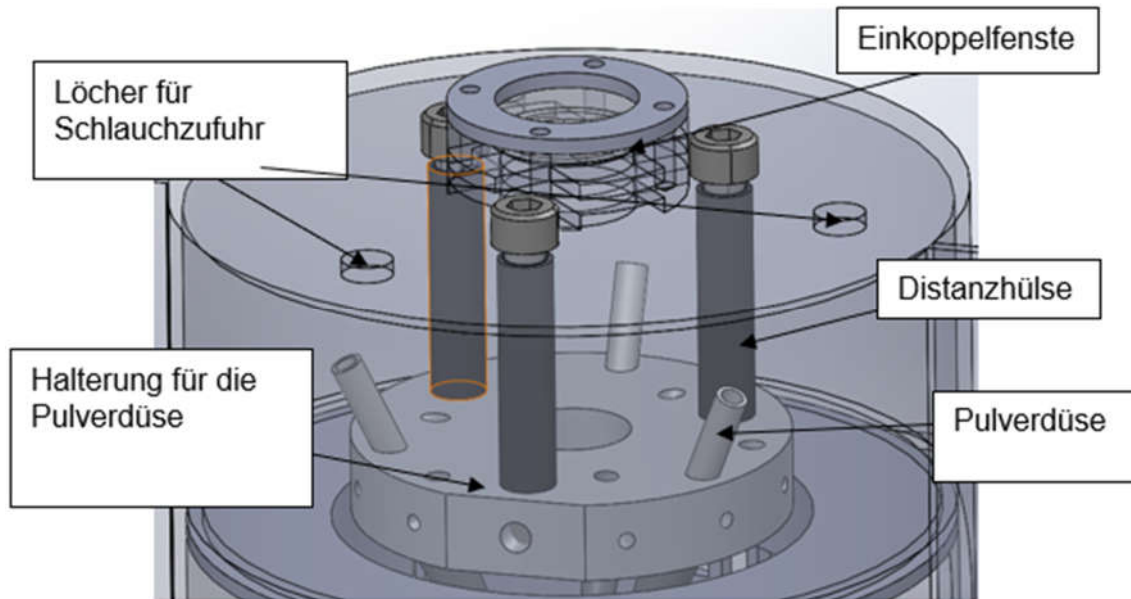


Abbildung 22: Halterung für die Pulverdüsen

4.4 Konstruktion der Absaugung und Kammergehäuse

4.4.1 Anforderungen an die Absaugung

„Aufgrund der Explosionsgefahr durch den hohen Pulverdurchsatz und des hohen Preis des mikroskaligen Pulvers musste eine passende Absaugung entwickelt und eingesetzt werden.“ [16] Sie soll das Pulver weg saugen und den Schutz anderer Komponenten gewährleisten. In der vorhandenen Anlage wird die Absaugung an der Seite der Pulverdüse angeordnet, wodurch nur eine einseitige Pulverabsaugung möglich ist. Um das übrige Pulver in allen Richtung gleichmäßig abzusaugen und das Ansammlung von Pulver zu vermeiden, wird die Absaugung in das Kammergehäuse integriert. Das Konzept ist mithilfe von FDM-Verfahren ohne Fertigungsproblem realisierbar.

Absaugungsparameter:

- „200-300 m³/h bei 35 mbar Unterdruck
- „Keramische und metallische Partikel < 50 µm bei 60 .. 100 g/min“ [16]

Der Verwendete Druck der Absaugung ist im Vergleich mit dem Durchfluss der Schutzgasströmung viel niedriger, deswegen wird der negative Effekt der Absaugung auf die Spurqualität vernachlässigt.

4.4.2 Konstruktion

4.4.2.1 Variante 1

Die erste Variante ist, die Prozesskammer mit einem mal aufzubauen, das heißt das zylinderförmige Kammergehäuse (siehe Abbildung: 23) wird als ganzteiliges Bauteil gedruckt. Der Gehäuseboden der Prozesskammer ist offen. Ein zusätzliches Kantendichtungsgummi rundum den Gehäuseboden ist notwendig. Hier kommt das Kantendichtung RP-MB der Firma Misumi zum Einsatz. (Siehe Abbildung: 24) Die Kantendichtung kann in Verbindung mit Plattenstärken von 1,6 bis 3,2 mm verwendet werden, da die Innennut eingeschlossen ist. Außerdem wurden zwei Flansch auf dem Zylindermantel konstruiert. Diese dienen als Verbindung zwischen der Prozesskammer und den anderen Baugruppe. In der ersten Variante kommt eine Ringabsaugung zum Einsatz. Durch ihre einfache Geometrie ist diese relativ leicht in die zylinderförmige Prozesskammer zu integrieren. Die Absaugung wird mittels FDM-Verfahren hergestellt. Die Grundplatte der Absaugung und der Deckel wurden separat gedruckt. Im Anschluss werden diese mittels formschlüssiger Profilverbindung montiert. Die Absaugung wird durch einen Anschlag in der Prozesskammer gegen Verrutschen gesichert. Die Innenseite des Absaugrings besitzt annähernd gleich große Eintrittsschlitze. Dies führt zu einer gleichmäßigen Absaugung über die gesamte Fläche. Das Anschlussrohr der Absaugung ist in das Kammergehäuse integriert. Durch eine tangentielle Zuführung des Anschlussrohres, wird zwischen der Innenschicht und Außenschicht der Absaugung

eine stark turbulente Wirbelströmung erzeugt. Der Durchmesser des Anschlussrohres beträgt 30 mm, welcher dem kleinsten Durchmesser, der im LHM zur Verfügung stehende Rohre, entspricht.

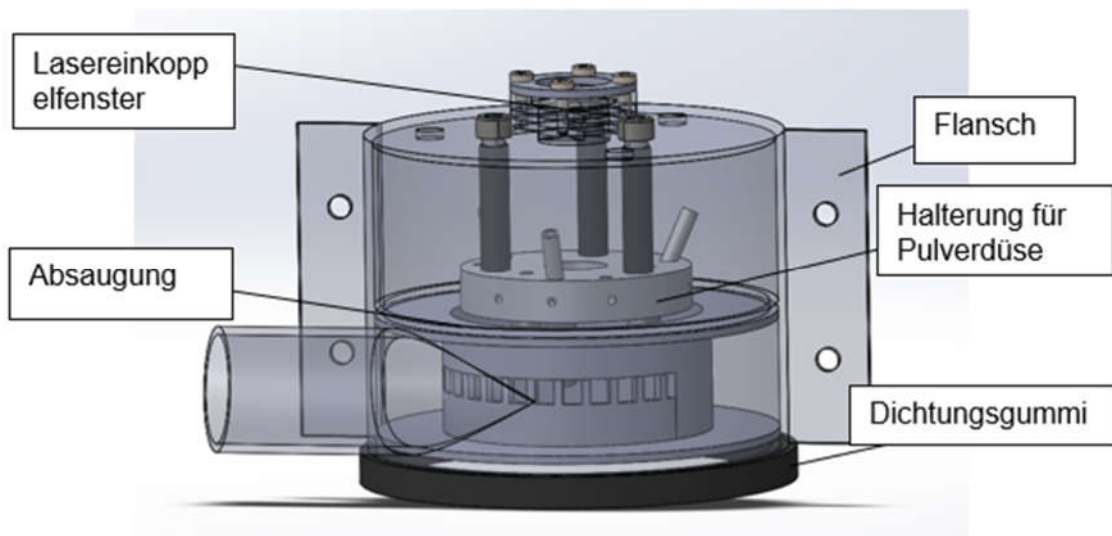


Abbildung 23: Prozesskammer Variante 1

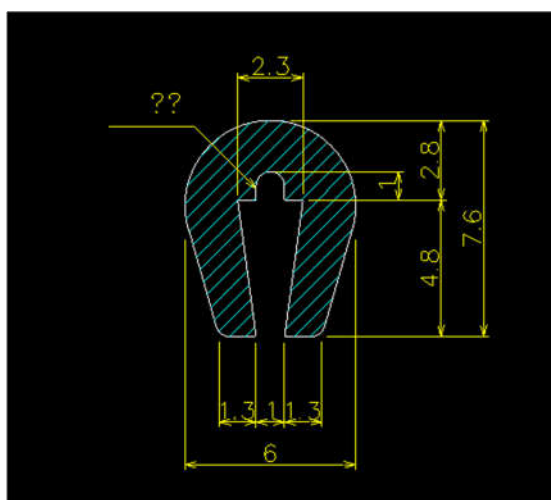


Abbildung 24: Kantendichtungsring RP-MB (Quelle: Misumi)

4.4.2.2 Variante 2

Um eine bessere Absaugfunktion zu realisieren wird in der zweiten Variante die Prozesskammer analog zum Tangential-Zyklonabscheider konstruiert. Die Funktionsweise des Zyklonabscheider wird hier umgekehrt verwendet.

Wie folgende Abbildung 25 gezeigt, besteht der Tangential-Zyklonabscheider hauptsächlich aus drei Teilen: einem Einlaufzylinder, einem Kegel, und einem Tauchrohr.

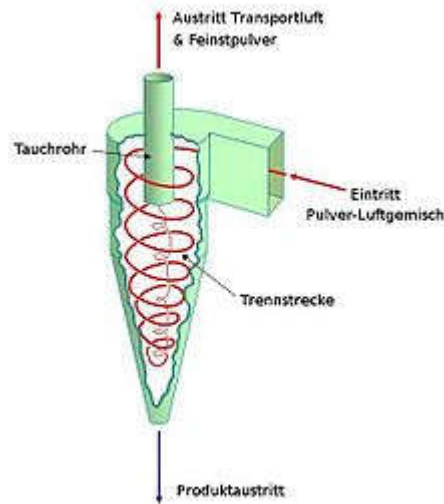


Abbildung 25: Schematische Darstellung des Funktionsprinzips eines Tangential-Zyklonabscheiders [17]

„Im Einlaufzylinder wird das Gas-/Partikelgemisch bzw. Flüssigkeit-/Partikelgemisch durch tangenciales Einblasen auf eine kreisförmige Bahn gebracht. Durch die Verjüngung des anschließenden Kegels nimmt die Drehgeschwindigkeit dermaßen zu, dass die Partikel durch die Fliehkraft an die Kegelwände geschleudert und soweit abgebremst werden, dass sie sich aus der Strömung lösen und nach unten in den Auffangbehälter rieseln. Bei entsprechend schweren Partikeln ist der Kegel nicht unbedingt nötig. Das gereinigte Gas bzw. die Flüssigkeit verlässt den Kegel durch das mittige Tauchrohr nach oben.“ [17]

Analog zum Tangential-Zyklonabscheiderprinzip wird in der zweiten Variante ein kegelförmiges Prozesskammergehäuse konstruiert. (Siehe Abbildung: 26) Die Luftströmung innerhalb der Prozesskammer wird in der folgenden Abbildung skizziert. Die Luft wird über den Schlitz in die Kammer eingeleitet und über ein Anschlussrohr wieder raus geführt. Durch eine tangentiale Zuführung des Anschlussrohres wird zwischen den Innenschicht und Außenschicht der Kammer eine stark turbulente Wirbelströmung erzeugt. So werden die mikroskaligen Pulverpartikel mithilfe der Luftströmung sauber abgesaugt.

Um die Montierbarkeit der Düse in der Prozesskammer zu realisieren, wird in der zweiten Variante das Gehäuse und der Gehäusedeckel separat gedruckt. Für diesen wird zudem ein zusätzlicher Flansch an Kammerdeckel und Kammergehäuse konstruiert, somit können beide Bauteile durch eine Schraubenverbindung montiert werden. Der große Übergangswinkel zwischen dem Zylinder und dem Kegel von ca. 155° ersetzt bei Druckprozessen zusätzliches Stützmaterial zwischen dem inneren und dem äußeren Teil des Gehäuses.

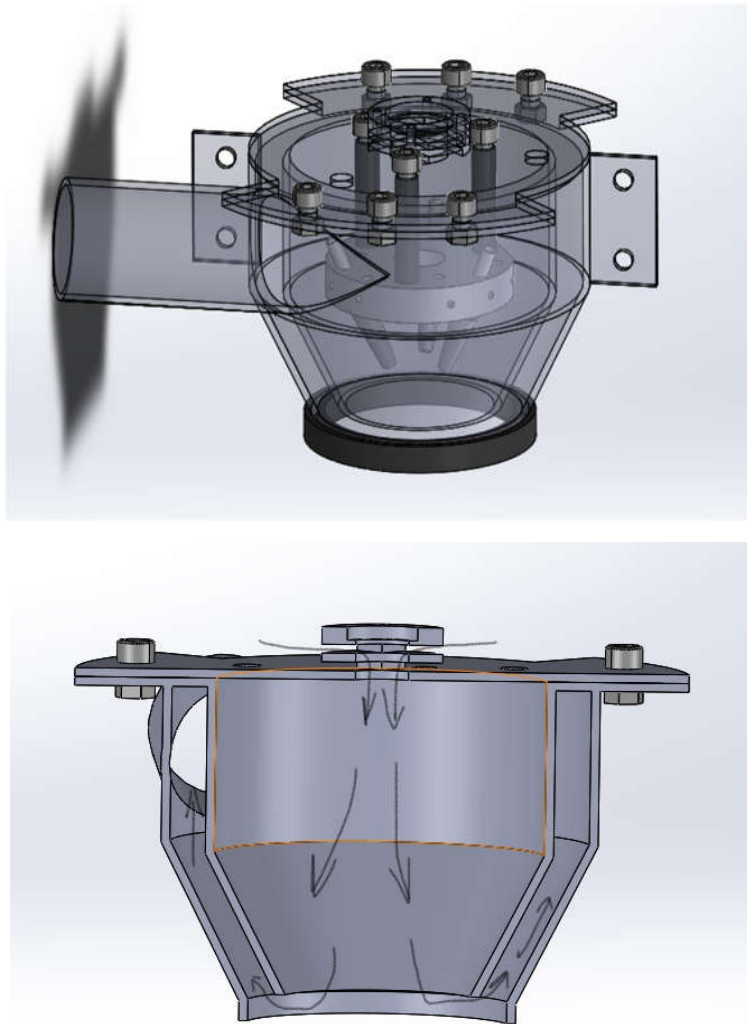


Abbildung 26: Prozesskammer Variante 2

4.4.2.3 Variantenvergleich

Um die 2 Varianten zu vergleichen sind die Vor- und Nachteile dieser Varianten in folgende Tabelle gegenübergestellt.

Tabelle 2: Variantenvergleich

	Variante 1	Variante 2
Vorteile	-Einfache Gehäusegeometrie -Geringer Montageaufwand -Umsetzung durch andere Fertigungsverfahren einfach realisierbar	-Effektive Absaugung
Nachteile	-Ansammlung des Pulvers unter den Ansaugschlitzen	-Komplexer Montageaufwand -Komplexe Gehäusegeometrie

Die zwei Varianten des Prozessgehäuses unterscheiden sich nur in deren Absaugungsprinzip und der Gehäusegeometrie. Die Konstruktion von dem Lasereinkoppelfenster und der Pulverzufuhr (siehe hierzu Kapitel 4.3 und 4.4) unterscheiden sich in beiden Varianten nicht. Es liegt auch kein Unterschied zwischen den Baugrößen der Bauteile vor. Das Befestigungskonzept der Prozesskammer am Roboter ist daher auch identisch. Der wesentliche Vorteil der Variante 1 ist, dass das Konzept mittels anderer Fertigungsverfahren sowie durch metallische Werkstoffe einfach realisierbar ist. Mit Hilfe des Unterdrucks wird das Metallpulver in die Ansaugschlitzen gesogen. In der Nähe der Schlitze befinden sich die höchsten Strömungsgeschwindigkeiten. Durch die kleinere Öffnung der Schlitze, kann sich das Pulver jedoch auch unterhalb der Ansaugschlitze ansammeln. Aber das Prinzip des Zyklonabsaugung, welcher in zweiten Variante verwendet wird, kann eine effektiver Absaugung bringen. Dies ist der entscheidende Vorteil in der Konstruktion, wodurch die zweite Variante als primäre Variante vorgeschlagen wird.

5 Konstruktion der Befestigungselemente

Die gesamte Baugruppe soll an einem 6-achsigen Roboter befestigt werden. (siehe Abbildung 27) Dadurch können die Prozesskammer mittels Roboterarm in die gewünschte Position gebracht werden. Zur Befestigung der gesamter Baugruppe am Roboter müssen zusätzliche geeignete Befestigungselemente konstruiert werden. Die zur Verfügung stehende Material sind beispielweise Aluminium-Profil mit Querschnittsabmaßen von 20 mm x 20 mm, Aluminiumplatte mit einer Dicke von 10mm sowie ein Metallblech mit einer Dicke von 2mm. Der TX60 Sechssachs-Roboter hat eine maximale Tragkraft von 9 kg. Die zu befestigende Baugruppe hat ein Gewicht von ca. 1 kg. Da dieses Gewicht sehr gering ist kann auf die Berechnung der Festigkeit verzichtet werden.

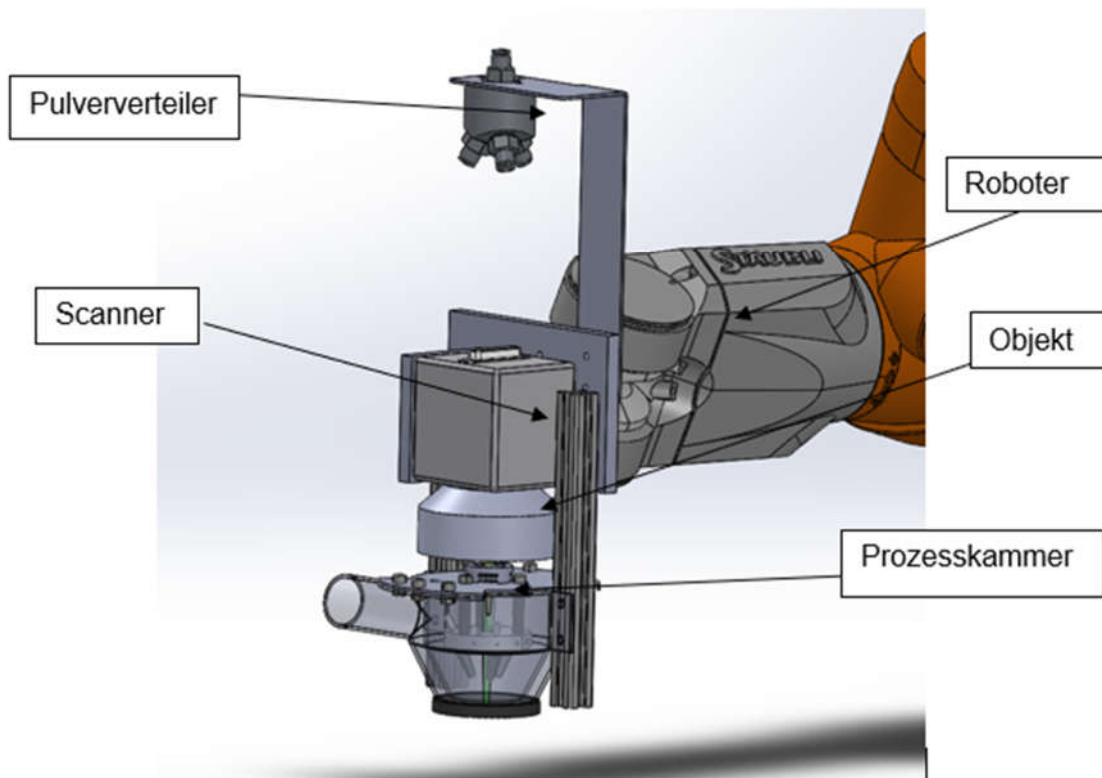


Abbildung 27: Gesamtbaugruppe Micro Cladding

Es können verschiedenste Werkzeuge am Handgelenk des Roboters durch Verschraubung montiert werden. Die Abmaße und Zeichnung des Handgelenkes sind in der Anlage I zu finden. Hier kommt ein Aluminiumplatte mit den Abmaßen von 150 mm X 100 mm x 10 mm (L x B x H) zum Einsatz. Die Konstruktion des Adapters ist auf das

Handgelenk des Roboters bezogen. (siehe Anlage II) Diese wird als Adapterplatte ausgelegt und am Handgelenk des Roboters durch eine Verschraubung befestigt. Zur Befestigung der anderen Elemente sind mehrere Gewindebohrungen auf der Aluminiumplatte vorgesehen. (siehe Abbildung: 28 oben)

Um das Pulver in einem homogenen Zustand durch die Dreistrahl-Düse zu fördern ist die Verwendung eines Pulververteilers notwendig. Der Verteiler wird mit Hilfe eines Halterungsblech montiert. Das Halterungsblech wird am Adapter durch eine Verschraubung befestigt.

Die Befestigung der Prozesskammer wird mittels 2 Aluminium Profile realisiert. Die Profile werden auf der einen Seite an der Adapterplatte durch Verschraubung befestigt und auf der anderen Seite mit dem Flansch an der Prozesskammer durch Verschraubung verbunden.

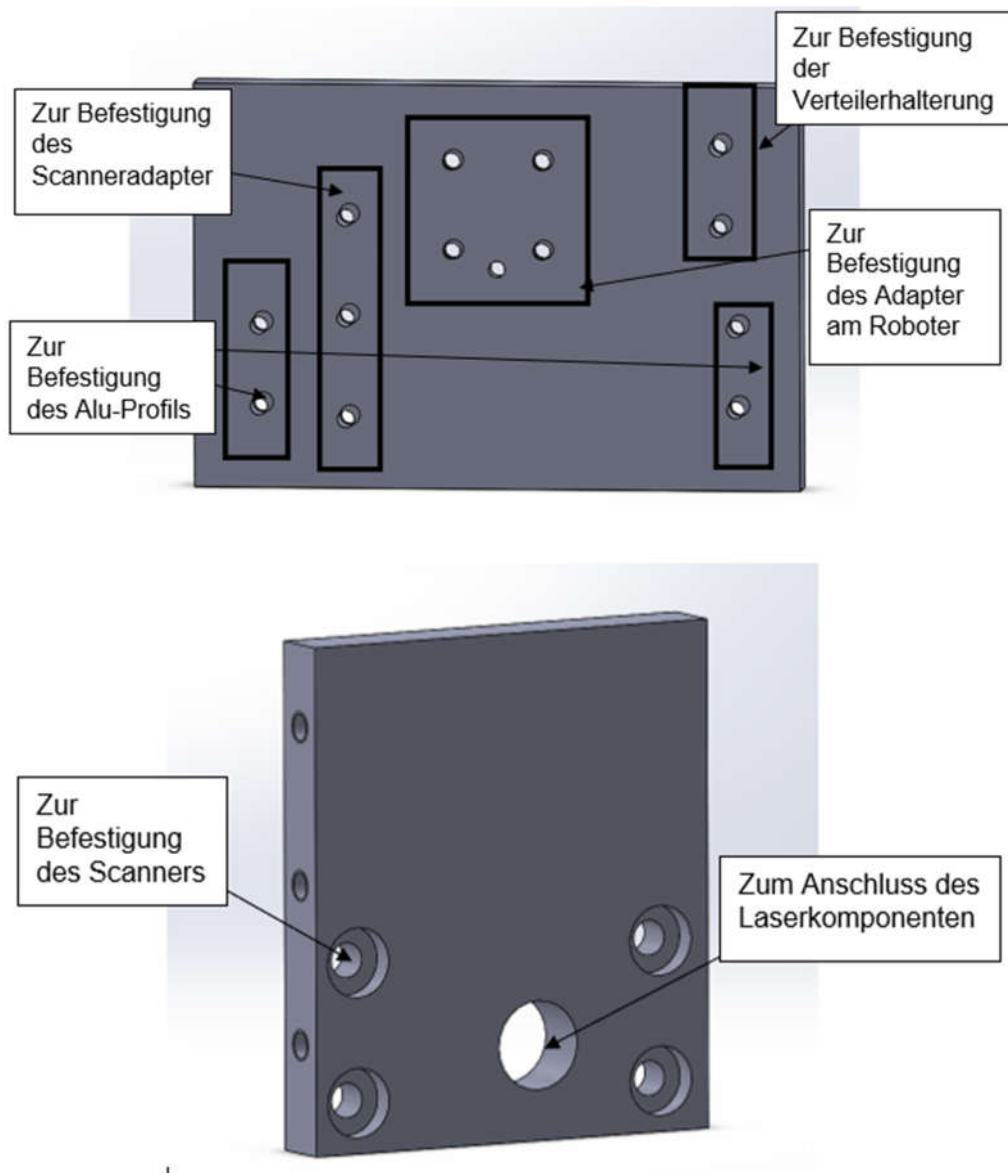


Abbildung 3: Adapterplatten

Um den Scanner zu Befestigen muss zusätzlich noch eine Adapterplatte konstruiert werden. (Siehe Abbildung: 28 unten) Diese Aluminiumplatte mit eine Dicke von 10 mm bietet eine ausreichende Festigkeit um einige M5-Gewinderbohrungen auf ihre Seite aufzunehmen. Dadurch stehet die Adapterplatte senkrecht zum den Anderen. Dadurch können die Laserkomponenten seitlich am Scanner angeschlossen werden

6 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Bachelorarbeit wurden anfangs die theoretischen Grundlagen von Laserauftragschweißen erläutert und der Stand der Technik beim Micro Cladding im LHM vorgestellt. Anhand dessen lässt sich auch ein Überblick auf den Anlagentechnik in LHM. Damit lässt sich der Unterschied zwischen klassischem Laserauftragschweißen und Micro Cladding zu erkennen.

Für die Durchführungen von Prozesses Micro Cladding muss der Bediener die Betriebssicherheit besonders beachten. Da hier mikroskalige Metallpulver als Werkstoff verwendet wurden, kann dies schädlich für elektrische Bauteil oder optische Komponente sein. Deshalb spielt die Dichte eine sehr wichtige Rolle. Im ersten Kapitel dieser Bachelorarbeit wurde eine geschlossene Kabine für den 6-achsigen Roboter konstruiert. Durch die Isolierung der Geräte kann man Lärm reduzieren, die Arbeitsbedingungen verbessern und wichtigste ist, dadurch schafft man einen saubereren und sichereren Arbeitsplatz geschaffen werden.

Für die zweite Konstruktionsaufgabe dieser Bachelorarbeit wurde eine kompakte mobile Prozesskammer konstruiert. Im Kapitel 4 wurden anfangs alle konstruktiven Anforderungen erläutert. Die Konstruktionsrichtlinien für FDM-Verfahren befinden sich im Kapitel 2.4.3. Alle Eigenschaften der Prozesskammer wurden in der Anforderungslist systematisch analysiert. Im Kapitel 4.5.3 wurden 2 Varianten des Prozessgehäuses konstruiert, welche sich in dem Absaugungsprinzip unterscheiden. Die Konstruktionen von dem Lasereinkoppelfenster und der Pulverzufuhr wie in Kapitel 4.3 und 4.4 erläutert wurden, unterscheiden sich in beiden Varianten nicht.

Zur Befestigung der gesamten Baugruppe am Roboter müssen zusätzliche geeignete Befestigungselemente konstruiert werden. Die Konstruktion den Befestigungselemente wurde in Kapitel 5 erläutert.

Am Ende der Konstruktion ergaben sich auch einige weitere Verbesserungsmöglichkeiten.

- Die Prozesskammer wurde als Prototyp konstruiert. Sie wird aus Kunststoff und mittels 3D-Druckverfahren hergestellt. Deshalb wurden Fertigungsaufwand und Herstellungskosten nachlässig in der Konstruktion des Prototyps berücksichtigt. In der praktischen Umsetzung des Prototyps sollten jedoch diese zwei Faktoren berücksichtigt, um zwischen Kauf eines Bauteils und der Eigenentwicklung eines Bauteils abwägen.
- Aufgrund der gekrümmten zylinderförmigen Kammergeometrie und der kreisförmigen Pulverabsaugung ist das Anbringen einer weiteren Baugruppe im

Bereich des Beobachtungsfensters kritisch zu bewerten. Um die Beobachtungsmöglichkeit zu realisieren, kann in Variante 1 ein transparentes Zylinderrohr als Kammergehäuse verwendet werden, das Gehäusedach und Flansche können durch das FDM-Verfahren hergestellt werden.

- Für eine weitere Optimierung der Absaugung, kann die Luftströmung innerhalb der Prozesskammer durch FEM numerisch simuliert werden. Aus diesen Ergebnissen können Rückschlüsse auf reale Strömungen gezogen werden, an welche die Absaugung näher angepasst werden kann.

Literatur:

- [1] Laserinstitut Hochschule Mittweida URL: <http://www.laser.hs-mittweida.de/institut/ueber-uns.html> Verfügbar am 20.11.2018
- [2] Erler Martin: Vortrag zum Laserauftragschweißen, Hochschule Mittweida. 2017
- [3] Erler Martin: Erhöhung der Baurate beim Micro Cladding durch gezielt Mikrostrukturierung, 22th International Scientific Conference Mittweida. Oktober 24-25 2012, Science Reports Nr.2, 50-53
- [4] Laserinstitut Hochschule Mittweida URL: <http://www.laser.hs-mittweida.de/forschung-entwicklung/materialbearbeitung-beschichtung/mikro-nanotechnologie/micro-cladding.html>, Verfügbar am 20.11.2018
- [5] Erler Martin: Theoretische und experimentelle Untersuchungen zum Verfahren Micro Cladding Masterarbeit, Hochschule Mittweida, 2011
- [6] Kuka: URL:<https://www.kuka.com/deat/technologien/verfahrenstechnologien/2017/03/laserauftragsschweissen>, Verfügbar am 20.11.2018
- [7] Protec 3D:URL: www.protec3d.de, Verfügbar am 20.11.2018
- [8] Stange Manuel: In Einfachen Schritten für den 3D-Drucker konstruieren.URL: www.Rioprinto.com, Verfügbar am 20.11.2018
- [9] 3D Hubs: Design Rules für 3D Printing URL: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/key-design-considerations-3d-printing>, Verfügbar am 20.11.2018
- [10] Wikipedia: Schaltschrank URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Schaltschrank>, Verfügbar am 20.11.2018
- [11] Tommy Knebel: Untersuchungen zum Generieren von 3D-Körpern mittels Mikropulverauftragschweißen (Micro- Cladding), Bachelorarbeit S.3 & S. 7, Hochschule Mittweida. 2010
- [12] Items: URL: <https://www.item24.de/index.html>,_Verfügbar am 20.11.2018
- [13] Ixun Lasertechnik GmbH, URL: <https://www.ixun-asertechnik.de/Produkte/pulverzuzu-hrduesen>, Verfügbar am 22.07.2015
- [14] Anastasia Dieser: Untersuchungen zum Generieren von 3D- Körpern mittels Mikropulverauftrag (Micro Cladding), Bachelorarbeit, Hochschule Mittweida. November 2010

Literatur

- [15] Stäubli: URL:<https://www.staubli.com/de-de/robotics/produktprogramm/roboterarme6-achs-roboter/tx60/>, Verfügbar am 20.11.2018
- [16] Klötzer Sascha: Aufbaue einer Hochrate Micro/ Macro Anlage für das Micro / Macro Cladding Laser Institut Hochschule Mittweida 19.11.2013
- [17] Wikipedia: Fliehkraftabscheider,
URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Fliehkraftabscheider>,
Verfügbar am 20. 11. 2018
- [18] Laserinstitut Hochschule Mittweida URL: <http://www.laser.hs-mittweida.de/forschung-entwicklung/materialbearbeitung-beschichtung/mikro-nanotechnologie.html>, Verfügbar am 20.11.2018
- [19] Laserinstitut Hochschule Mittweida URL: http://laz.hs-mittweida.de/43_rapidmicro/25_Ergebnisse/default.asp?content=%2F43_rapidmicro%2F25_ergebnisse%2Fmicro-cladding.html, Verfügbar am 20.11.2018

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand in der Zeit vom 01.08.2018 bis 30.11.2018 im Auftrag des Laserinstituts Hochschule Mittweida. Die Arbeit bildet den Abschluss des Maschinenbaustudiums Bachelor of Engineering mit dem Schwerpunkt Konstruktion an der Hochschule Mittweida.

Hiermit möchte ich mich bei allen herzlich bedanken, die mich während der Anfertigung meiner Bachelorarbeit unterstützt haben.

Speziell gilt mein Dank:

- Prof. Dr.-Ing. Jörg Matthes, Dekan der Fakultät Ingenieurwissenschaften, für die Übernahme des hochschulseitigen Betreuers, die Beratung während dieser Ausarbeitung.
- M. Sc. Martin Erler, der mich bei der Erstellung meiner Bachelorarbeit sehr gut betreut und unterstützt hat, da er stets bereit war, sich meiner Probleme anzunehmen.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

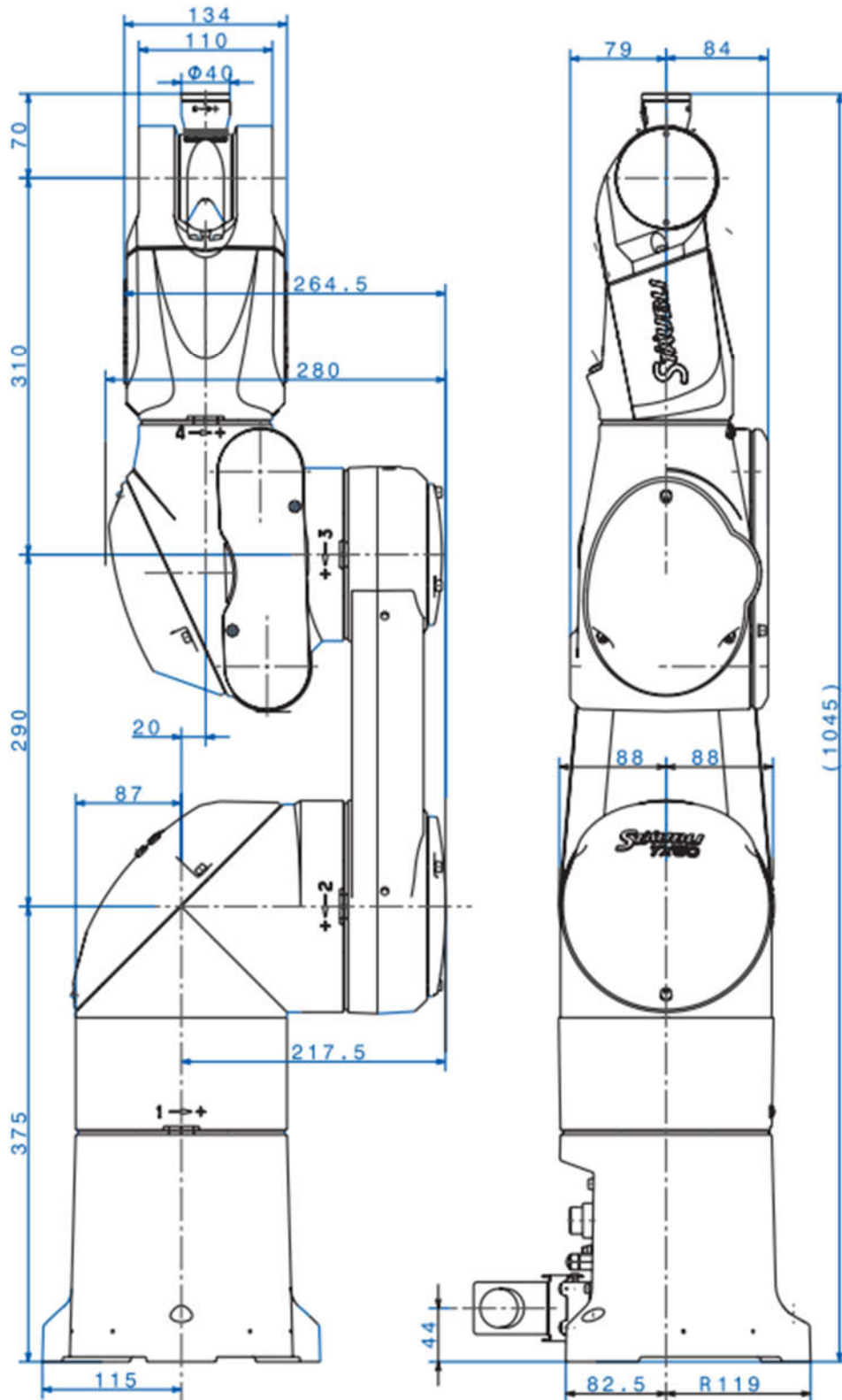
Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Mittweida, den 28.11.2018

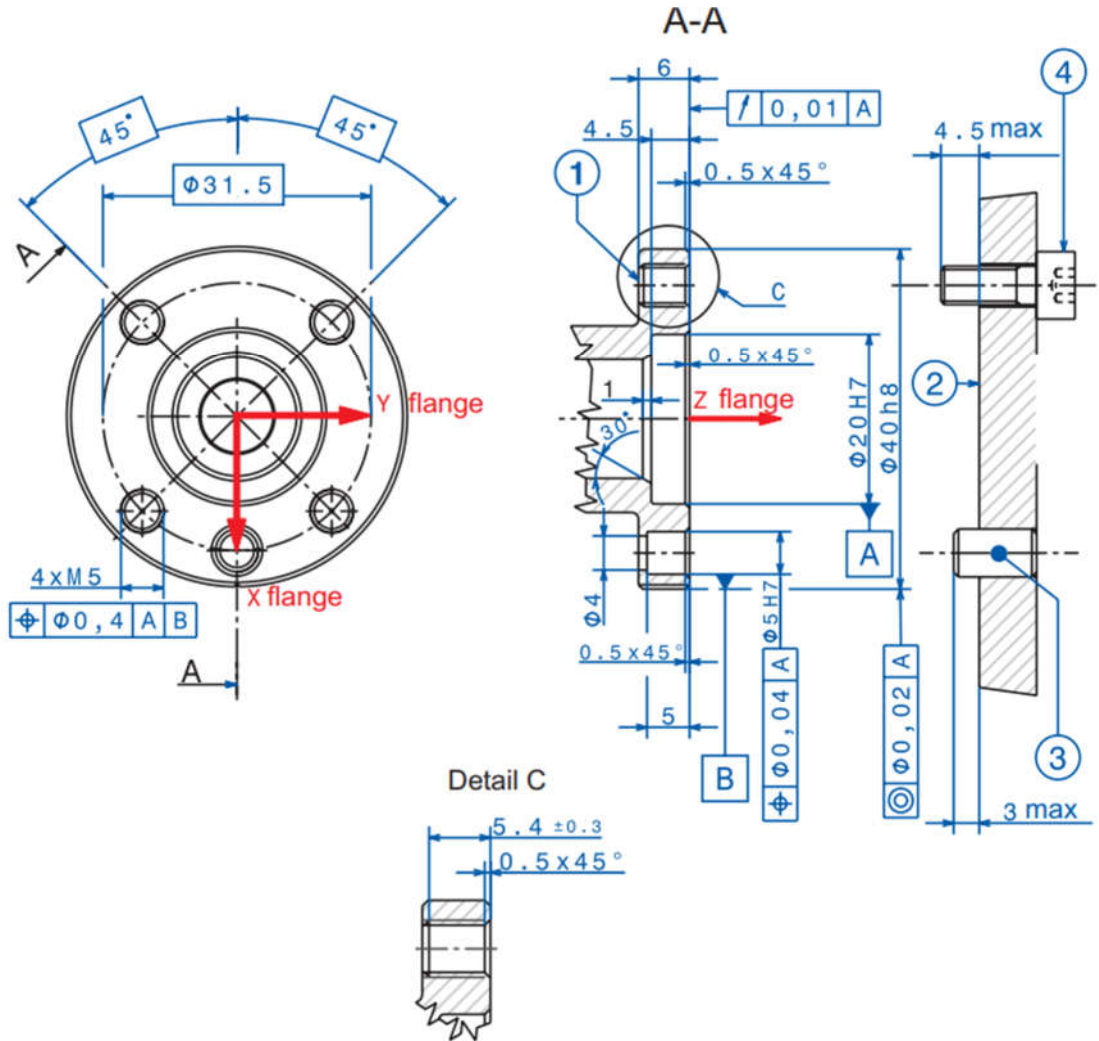
Hanqin Hu

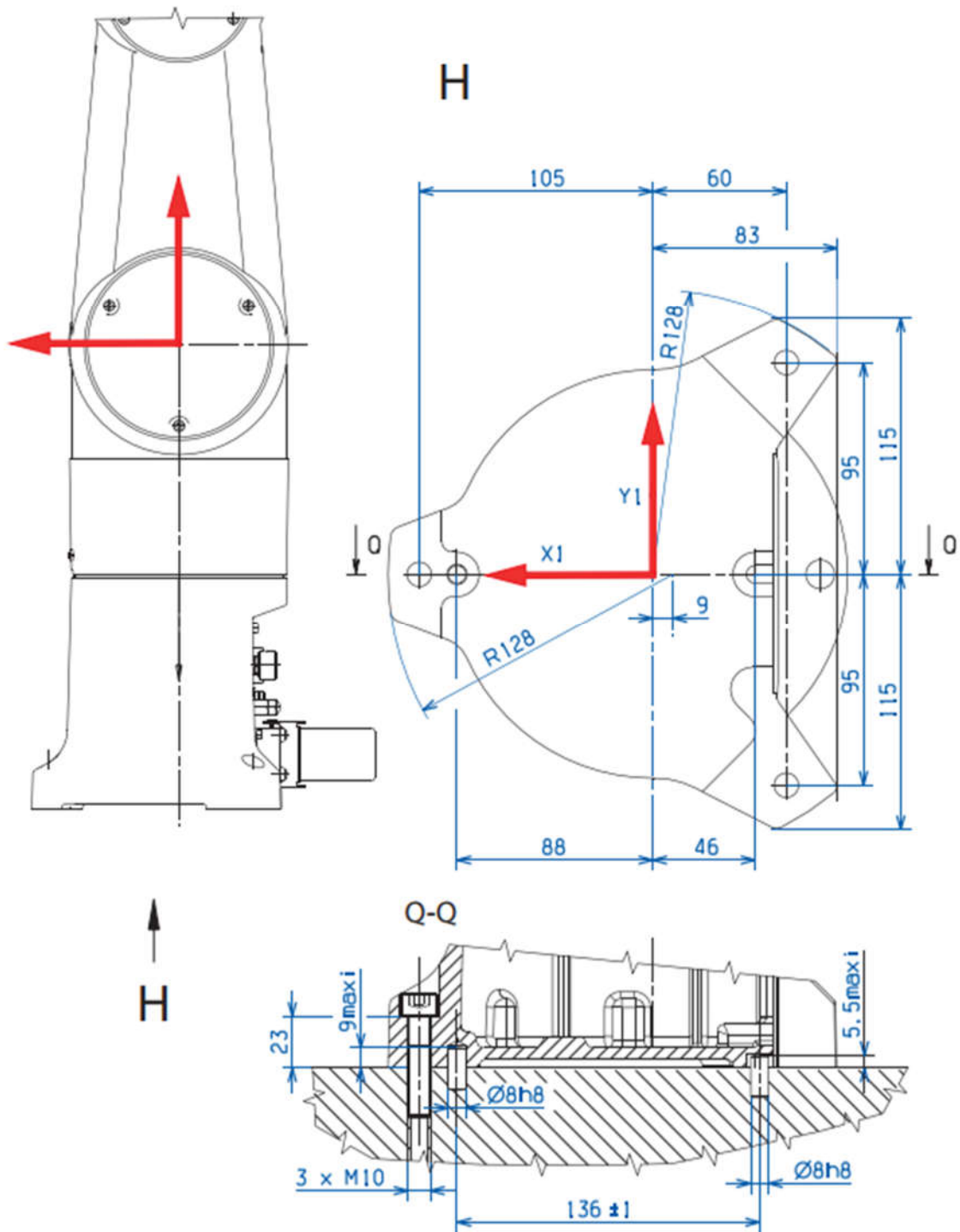
Anlagen:

I: Abmaße des Roboterarms:



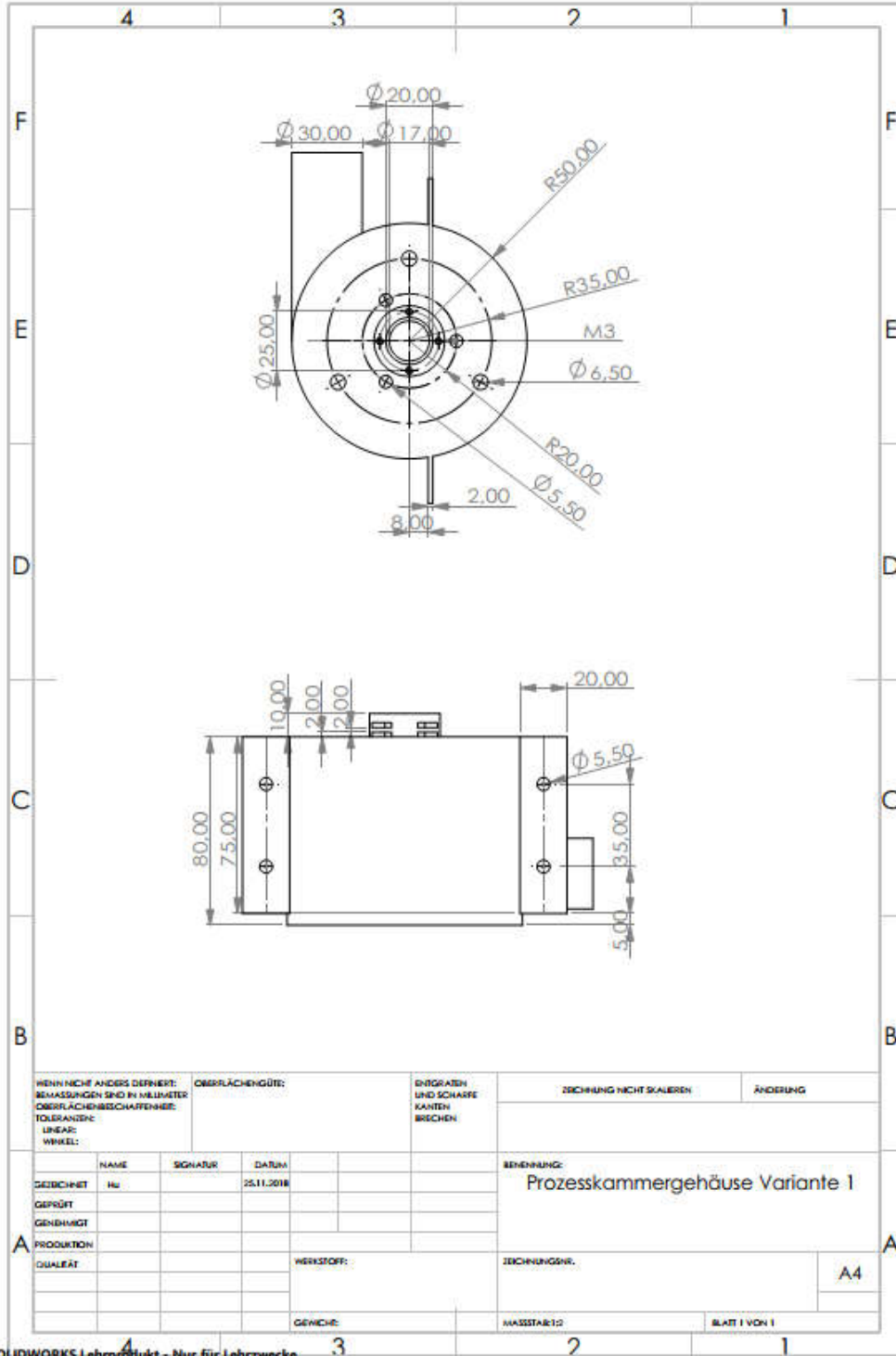
II: Handgelenk des Roboterarms:



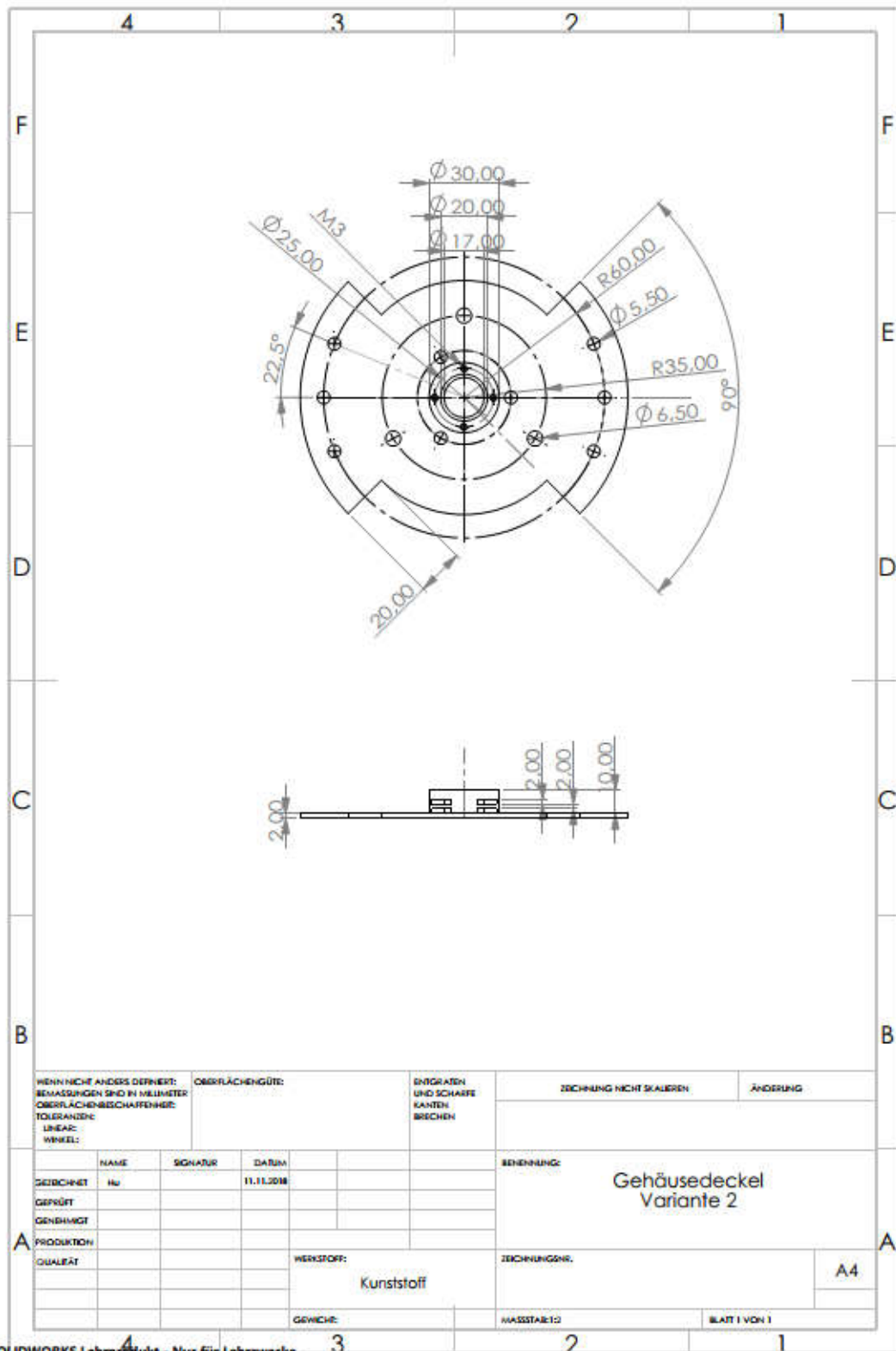
III: Montageart des Roboterarms:

IV: Zeichnungen und Stücklisten der Prozesskammer

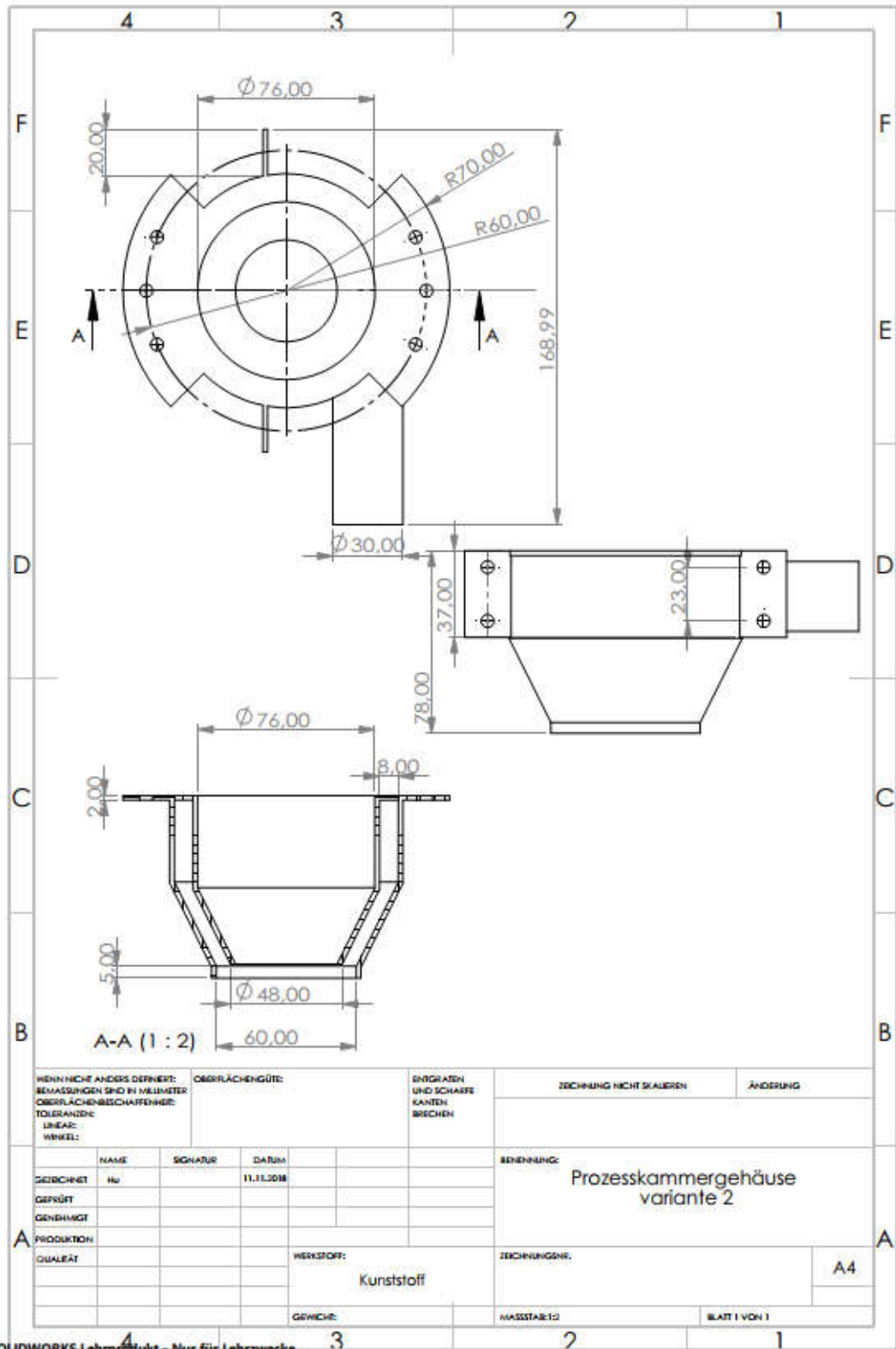
Variante 1:



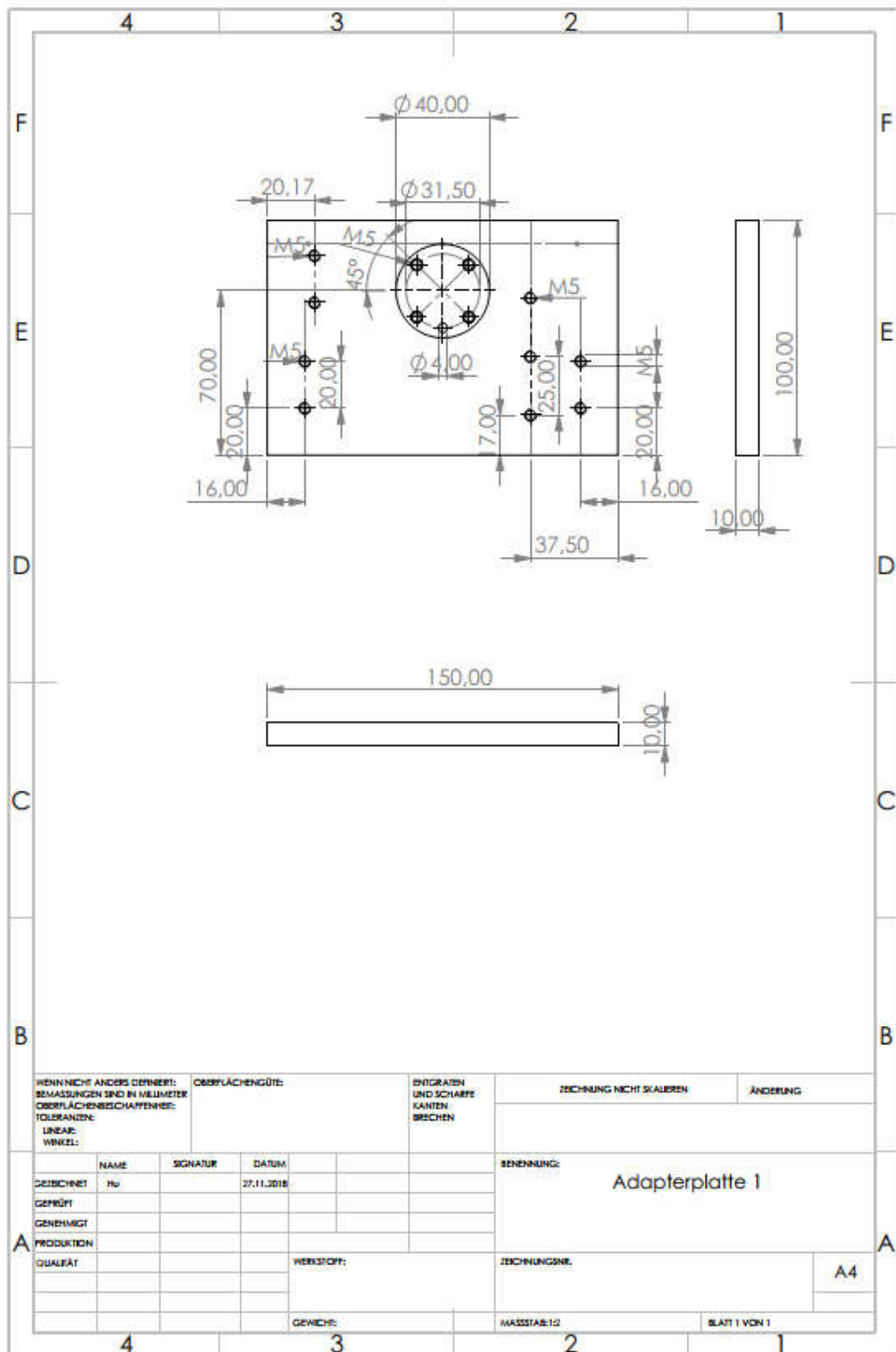
Variante 2:

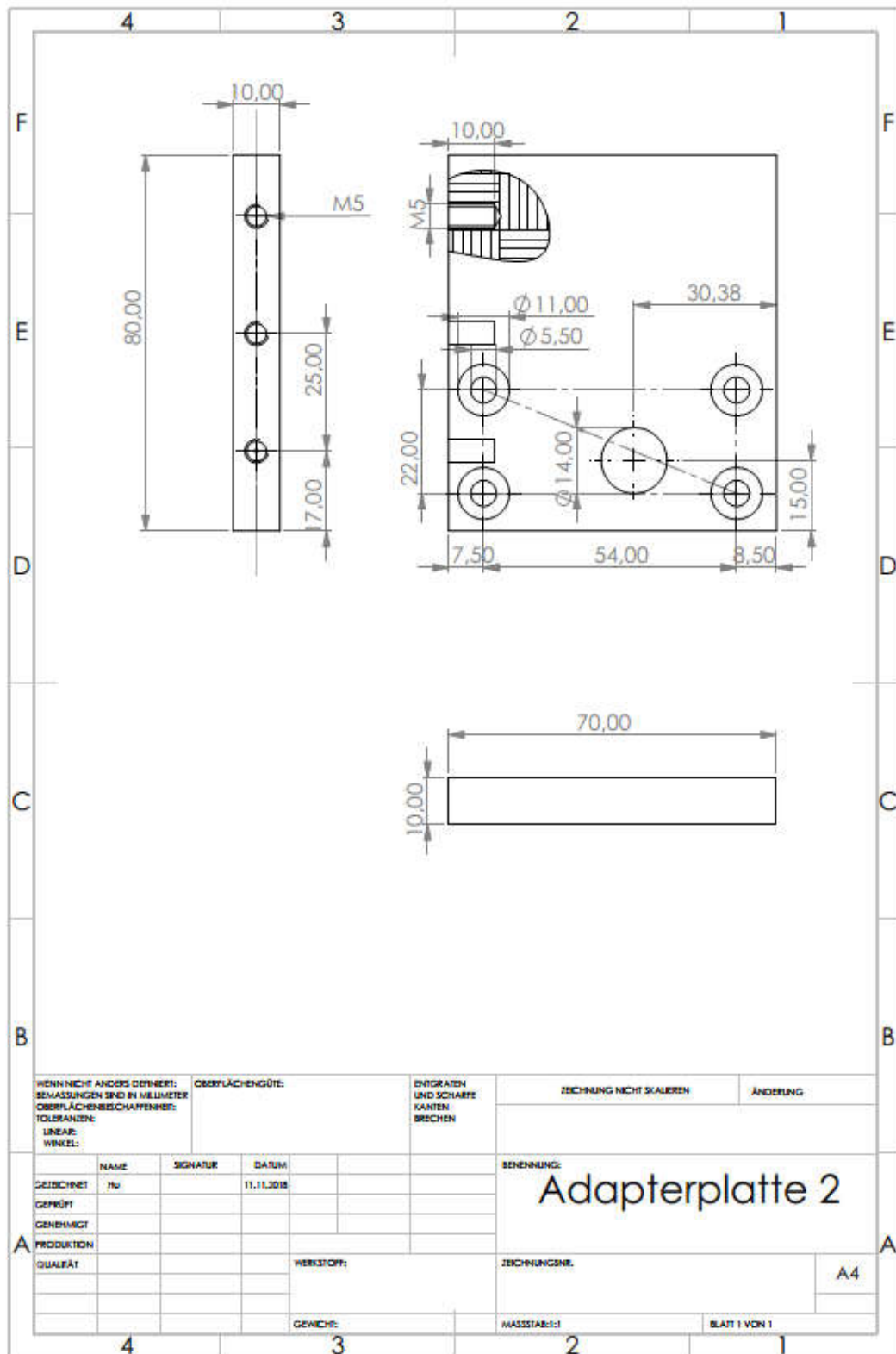


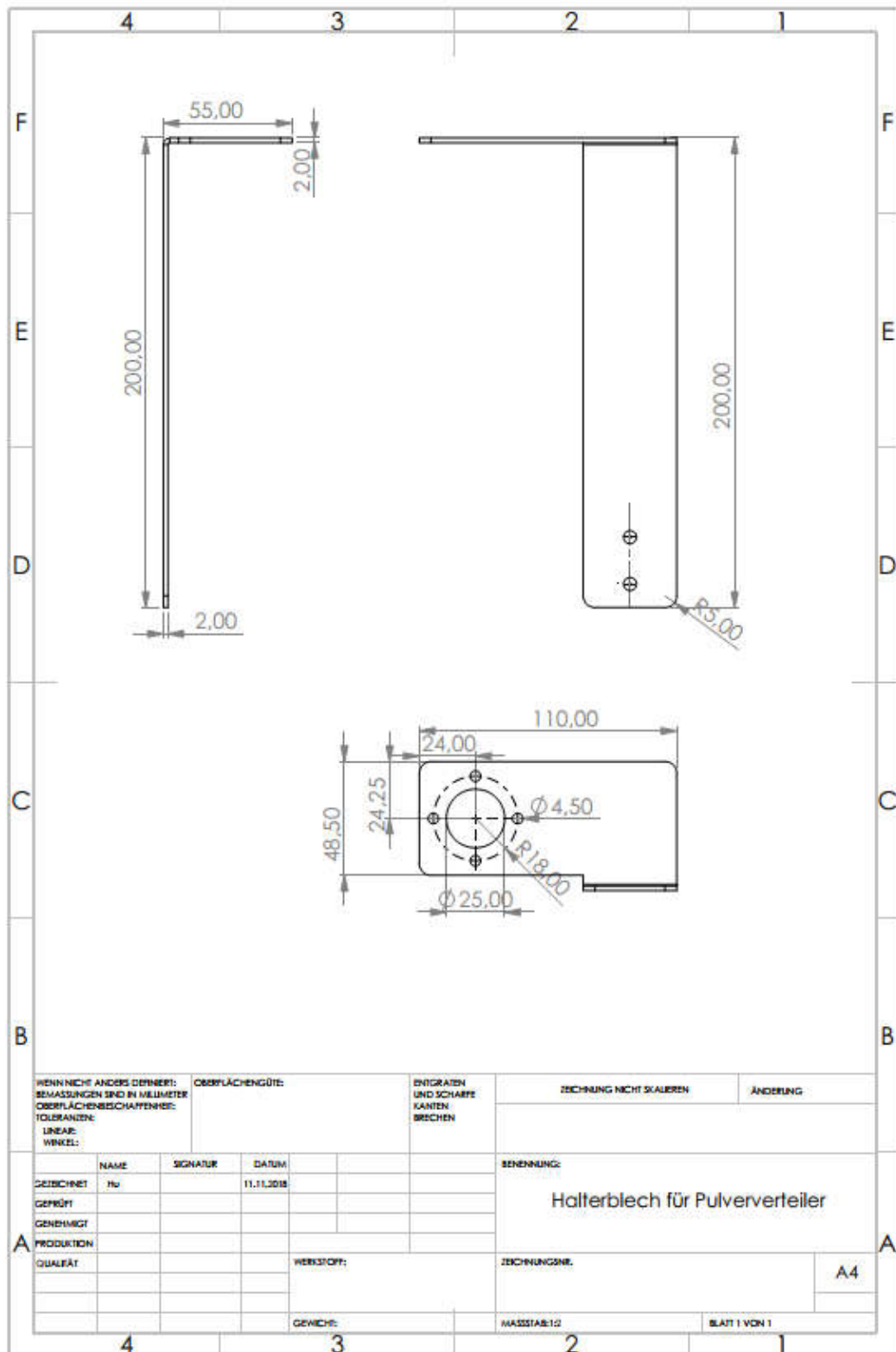
WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: ABMESSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL:		OBERFLÄCHENGÜTE:		ENTRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN		ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN		ÄNDERUNG	
GEZEICHNET HJ	SIGNATUR	DATUM 11.11.2018			BEZEICHNUNG Gehäusedeckel Variante 2				
GEPRÜFT					ZEICHNUNGSNR.		A4		
GEBILDET					HERSTOFF: Kunststoff				
PRODUKTION					GEWICHT:		BLATT 1 VON 1		
QUALITÄT									



V: Befestigungselemente







WENN NICHT ANDERS DENIERT: DIMENSIONEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENSCHRAFFENHÖHE: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL:		OBERFLÄCHENGÜTE:		ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN		ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN		ÄNDERUNG	
ZEICHNET Hu		SIGNATUR		DATUM 11.11.2018		BENENNUNG: Halterblech für Pulververteiler			
GEPRÜFT		GENEHMIGT		PRODUKTION		ZEICHNUNGSNR.		A4	
QUALITÄT		WERKSTOFF:		GEWICHT:		MASSSTAB:1:1		BLATT 1 VON 1	