

Laser Gravier- und Schneidemaschine

Diplomarbeit verfasst von

Jonas Lerner

Lorenz Kaufmann

Klasse: 5 RHET



Betreuer: Ing. Dipl.-Päd. Paul Fürbass

HTBLA Bulme Graz Gösting

Ibererstrasse 15-21

A-8051 Graz-Gösting

Graz, April 2023

Abstract

Kurzfassung

Die folgende Diplomarbeit beschäftigt sich mit dem Konstruieren und Aufbauen eines Schneide und Gravierlasers, der über eine CO₂-Röhre seine Energie für den Laserstrahl erzeugt. Der Vorteil zu einem herkömmlichen Laser ist es, dass solch ein CO₂-Laser wesentlich schneller arbeiten kann. Dies liegt darin, dass der Laserkopf nicht direkt über das zu bearbeitende Werkstück bewegt wird, sondern sein Laserstrahl von der CO₂-Röhre über Umlenkspiegel zum Brennpunkt am Werkstück geleitet wird.

Damit die Laserröhre nicht überhitzt, ist eine Wasserkühlung mit einem Wasserausgleichsbehälter verbaut. Eine Campingpumpe transportiert Wasser durch die hoch empfindliche Glasröhre, um sie zu kühlen. Das Werkstück würde nach dem Auftreffen des Laserstrahls zu brennen beginnen, somit ist eine zusätzliche Luftkühlung über einen Luftschlauch am Laserkopf verbaut. Dieser Luftzug verhindert, dass das Werkstück keine Flammen wirft und somit eine saubere Schnittkante aufweist.

Der große Schnittbereich des Lasers mit 1000mm x 1000mm bietet eine Vielfalt an Möglichkeiten, sein Werkstück zu bearbeiten. Somit ist es möglich, Kastentüren oder andere große Flächen mit dem Laser zu bearbeiten. Durch die Verstellbarkeit der Z-Achse lassen sich nicht nur flache Werkstücke bearbeiten, sondern auch Gegenstände mit einer Höhe von 500mm. Dadurch ist es kein Problem, einen kompletten Nachttisch zu gravieren.

Eingabe der Daten für eine Bearbeitung zwischen Laser und Benutzer erfolgt über die Software RUIDA RDWorksV8 auf einem Laptop. Durch das verbaute Touchpad an der Verkleidung ist es möglich, zuvor eingespeicherte Programme zu starten. Kleine Änderungen an der Achsengeschwindigkeit, sowie an der Laserstärke, lassen sich somit sehr schnell und einfach anpassen. Somit ist es sehr benutzerfreundlich, um Motive in unterschiedliche Werkstücke zu gravieren oder schneiden.

Abstract

The following thesis deals with the construction and setup of a cutting and engraving laser that generates its energy for the laser beam through a CO₂ tube. The advantage over a conventional laser is that such a CO₂ laser can work much faster. This is because the laser head is not moved directly over the workpiece to be processed, but its laser beam is directed from the CO₂ tube to the focal point on the workpiece via deflecting mirrors.

To prevent the laser tube from overheating, a water cooling system with a water balance tank is installed. A camping pump transports water through the highly sensitive glass tube to cool it down. After the laser beam hits the workpiece, it would start to burn. Therefore, an additional air cooling system is installed on the laser head via an air hose. This airflow prevents the workpiece from catching fire and thus produces a clean cut edge.

The large cutting area of the laser with 1000mm x 1000mm offers a variety of options for processing your workpiece. Thus, it is possible to work on cabinet doors or other large surfaces with the laser. The adjustability of the Z-axis allows not only flat workpieces to be processed, but also objects with a height of up to 500mm. This makes it easy to engrave an entire nightstand.

The input of data for processing between the laser and the user is done via the software RUIDA RDWorks V8 on a laptop. With the built-in touchpad on the casing, previously stored programs can be started. Small changes to the axis speed and laser power can be quickly and easily adjusted. This makes it very user-friendly to engrave or cut designs onto various workpieces.

Eidesstaatliche Erklärung

Ich, Lerner Jonas, erkläre hiermit eidesstattlich, dass ich die Diplomarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen, als solche kenntlich gemacht habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungskommission vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Bad Radkersburg, am 30.03.2023

.....

(Unterschrift)

Ich, Kaufmann Lorenz, erkläre hiermit eidesstattlich, dass ich die Diplomarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen, als solche kenntlich gemacht habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungskommission vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Bad Radkersburg, am 30.03.2023

.....

(Unterschrift)

Diplomanten

Diplomand 1

Vorname/Nachname: Jonas Lerner
Geburtstag: 12. Oktober 2003
Wohnort: 8091 Jagerberg, Österreich
Aufgabenbereich: CAD- Entwicklung, Mechanischer Aufbau

Diplomand 2

Vorname/Nachname: Lorenz Kaufmann
Geburtstag: 17. April 2004
Wohnort: 8091 Jagerberg, Österreich
Aufgabenbereich: Elektronik, Software

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	2
Eidesstaatliche Erklärung	4
Ausgangslage	10
Aufgabenstellung	10
Zielsetzung.....	11
Meilensteine	11
Danksagung	11
Einleitung.....	12
1 Konstruktion.....	13
1.1 Skizze auf Papier und Stift	13
1.1.1 Erste Überlegungen und Inspirationen.....	13
1.1.2 Planung auf Millimeterpapier	14
1.2 Catia V5R19	15
1.2.1 Rahmen.....	16
1.2.2 Abdeckklappe	16
1.2.3 Schnittfläche	17
1.2.4 Gesamter Zusammenbau	17
1.3 Grundlagen Part Design	18
1.3.1 X Y Z-Achsen.....	19
1.4 Part Design erstellen.....	21
1.4.1 2D-Zeichnen	22
1.4.2 Bemaßen	25
1.4.3 In 3D umwandeln.....	28
1.5 Grundlagen Assembly Design	33
1.5.1 Projekt umbenennen.....	33
1.6 Assembly Design erstellen	34
1.6.1 Objekte einfügen.....	34
1.6.2 Objekte bewegen mit Kompass	35
1.6.3 Objekte Bedingungen.....	36
1.7 Sichern der Dateien	38
2 3D Druck.....	39
2.1 Funktionsprinzip eines 3D Druckers.....	39
2.2 Hardware 3D Drucker - Anycubic i3 Mega S	40

2.2.1	Achsenbewegung	40
2.2.2	Druckkopf.....	41
2.2.3	Heizbett.....	42
2.3	Software - Ultimaker CURA 5.2.1.....	43
2.3.1	Datei Format zum Importieren	43
2.3.2	Objekt Slicen	44
2.3.3	G-Code erstellen	48
2.4	Bedienung.....	49
2.4.1	Filament.....	49
2.4.2	Druck starten.....	52
3	Mechanischer Aufbau.....	55
3.1	Grundlagen Mechanische Bearbeitung	55
3.1.1	Schneiden/Sägen.....	56
3.1.2	Bohren	59
3.2	ITEM Profile.....	62
3.2.1	Verbaute Profile.....	63
3.2.2	Technische Daten.....	64
3.2.3	Nutensteine	65
3.3	Rahmen.....	66
3.3.1	X- und Y-Achsen	67
3.3.2	Z-Achse	69
3.3.3	Laserspiegel	70
3.4	Klappe.....	72
3.4.1	Scharniere	72
3.4.2	Gasdruckfeder	73
3.5	Schnittfläche	73
4	Elektronische Hardware.....	74
4.1	Achsen	74
4.1.1	X-Achse.....	74
4.1.2	Y-Achse.....	77
4.1.3	Z-Achse	79
4.2	Mikroschalter	81
4.3	Schaltflächen.....	82
4.3.1	Not-Aus-Schalter	82
4.3.2	LED-Schalter	83

4.4	Laserröhre	84
4.4.1	Aufbau	84
4.4.2	Funktion.....	85
4.5	Wasserpumpe.....	86
4.6	Kompressor.....	87
4.6.1	Aufbau	87
4.6.2	Funktion.....	88
4.7	Kabelkanal	89
4.8	Amperemeter	90
5	Software (Ruida RDC6445G/S).....	91
5.1	Steuerung/Controller	91
5.2	Control Panel	92
5.3	Sprache umstellen	93
5.4	Achsen Parameter definieren	94
5.4.1	X-Achse	95
5.4.2	Y-Achse	96
5.4.3	Z-Achse	97
5.5	Lasere Parameter definieren	98
5.6	Speed	98
5.7	Software (RDWorksV8).....	99
6	Elektronik – verkabeln.....	102
6.1	Grundlagen	102
6.1.1	Werkzeuge	102
6.1.2	Abisolieren.....	104
6.1.3	Löten.....	106
6.1.4	Adernendhülsen	110
6.2	Spannungsversorgung	112
6.2.1	Netzteil 24V DC	112
6.2.2	Cloudray 80W Netzteil.....	113
6.3	Achsen	114
6.3.1	X-Achse	114
6.3.2	Y-Achse	117
6.3.3	Z-Achse	119
6.3.4	Endschalter	121
6.4	Laserkomponenten	122

6.4.1	CO2-Laserröhre	122
6.4.2	Kompressor.....	124
6.4.3	Wasserpumpe.....	124
	Literaturverzeichnis.....	125
	Abbildungsverzeichnis:	128
	Tabellenverzeichnis.....	134
	Abbildungsquellenverzeichnis	135
	Anhang.....	140
	Bestellliste Onlinehändler	140
	Arbeitsstunden Lerner Jonas	142
	Arbeitsstunden Kaufmann Lorenz.....	146

Ausgangslage

Die Firma Haberkorn GmbH mit Wohnsitz in Österreich zählt zu den größten, technischen Händlern für Hoch- und Tiefbau, sowie für die Branchen-Industrie. Die von Ihnen gesponsorten Profile der Firma ITEM-Industrietechnik sind ausgezeichnete und hochwertige Aluminiumprofile, um robuste Konstruktionen zu entwickeln oder auch herzustellen.

Die Stadtgemeinde Bad Radkersburg kommt für die Kosten der weiteren Komponenten, die online bestellt und benötigt werden, auf.

Aufgabenstellung

Die grundlegende Aufgabe der Diplomarbeit ist die Entwicklung der Skizze des Grundgerüsts und des Innenlebens aller Komponenten in dem CO₂-Schneide- und Gravierlaser, mit Hilfe der Software CATIA V5R19. Bedeutsam ist ebenso der Zusammenbau aller ITEM-Profile, die von der Firma Haberkorn gesponsert wurden, um die Vollendung des Grundgerüsts fertigzustellen. Anschließend werden Komponenten in das Gerüst aus ITEM-Profilen platziert, eingebaut und auch, wenn anders nicht möglich, an 3D-Druckteilen befestigt. Im Nachhinein muss eine Wasserkühlung konstruiert und entwickelt werden, um die Laserröhre auf geringe Temperatur zu halten. Auch ein Kompressor oder Druckluftanschluss muss gegeben sein, um den CO₂-Schneide- und Gravierlaser zu starten. Air-Assist ist für die sogenannte Sicherheit zuständig, indem man dem Laserstrahl Luft hinzufügt, um Rauch und Staub zu verhindern, der durch das Lasern verursacht wird. Letztendlich werden alle Komponenten, wie Motoren und Driver der Achsen, an die Steuerung und den Netzteilen angeschlossen, ebenso können die Einstellungen für alle Parameter der Stepper Motoren, für X, Y und Z-Achse, mit der Software Ruida erfolgen.

Zielsetzung

Zielsetzung der Aufgabenstellung soll es sein, einen CO2-Scheide- und Gravierlaser an der HTL Bad Radkersburg zu entwickeln und fertigzustellen, damit er für nachfolgende Klassen und der Gemeinde Bad Radkersburg neue Türen für zukünftige Projekte eröffnet.

Meilensteine

- 01.09.2022 CAD-Zeichnung des Grundgerüsts abgeschlossen
- 01.11.2022 Gerüst-Zusammenbau abgeschlossen
- 01.02.2023 Einbau der Komponenten abgeschlossen; Beginn mit Testversuche
- 17.03.2023 CO2-Schneidelaser funktionsfähig und fertig

Danksagung

Wir möchten uns besonders bei jenen Personen bedanken, die von der Entwicklung bis hin zum Bau unserer Diplomarbeit mit Ihrem Wissen und Ihren Mitteln unterstützt haben.

Somit geht ein großer Dank an unseren Betreuer Ing. Dipl.-Päd. Paul Fürbass, der uns in den letzten Monaten sehr mit seinen technischen Kenntnissen im Bereich Maschinenbau und Computerunterstütztes Zeichnen unterstützt hat.

Auch ein Dank geht an Karl Lautner, sowie die Stadtgemeinde Bad Radkersburg, ohne Ihre finanzielle Unterstützung wäre unser Projekt nicht realisierbar gewesen.

Zuletzt möchten wir uns noch bei unseren Eltern bedanken, die uns die letzten Jahre immer wieder unterstützt und unsere Ausbildung ermöglicht haben.

Einleitung

Diese Diplomarbeit entstand im Zuge der Schulausbildung an der i:HTL Bad Radkersburg, im Zweig Elektrotechnik mit dem Schwerpunkt „IT & Automation“ als Abschlussarbeit im Schuljahr 2022/23.

Mithilfe unseres Diplomarbeit-Betreuers Ing. Dipl.-Päd. Paul Fürbass haben wir uns der Herausforderung gestellt, eine eigene Laser Gravier- und Schneidemaschine zu konstruieren und bauen. Ohne die finanzielle Unterstützung der Gemeinde Bad Radkersburg, sowie der Unterstützung der Firma Haberkorn in Form von Baumaterial, wären unsere Pläne nicht umsetzbar gewesen.

Die Entscheidung für diese mechanische Diplomarbeit fiel darin, dass diese genau unsere Interessen deckt. Durch das Entwickeln im Vorhinein am Computer wurde der Bereich CAD-Entwicklung abgedeckt. Die mechanische Konstruktion des Grundgerüsts, die zuvor computergezeichnet wurde, fordert äußerste Präzision, um gute Erfolge zu erzielen. Die Verdrahtung der einzelnen Komponenten des Lasers brachte uns in den elektrischen Bereich. Alte, zuvor gelernte Techniken wurden verwendet, um unseren Laser fachmännisch zu verkabeln.

Lerner Jonas, Kaufmann Lorenz

Bad Radkersburg, 31.03.2023

Konstruktion

1.1 Skizze auf Papier und Stift

Um ein Projekt zu planen, ist es von Vorteil, dieses zuvor zu zeichnen, um eine Übersicht zu bekommen, wie viel Material benötigt wird. Dies ist insofern wichtig, dass beim Bau keine Differenzen in den Längen der Profile zu finden sind. Nach den Besprechungen mit unserem Diplomarbeitsbetreuer wurden die ersten Vorstellungen in Skizzen umgewandelt.

1.1.1 Erste Überlegungen und Inspirationen

Um etwas in einem CAD-Programm zu konstruieren, ist es wichtig, zuvor zu wissen, wie das Ergebnis ausschauen sollte. Somit wurde eine grobe Handskizze auf Papier mit Bleistift gezeichnet, um in den nächsten Schritten leichtere Vorstellungen über das Projekt zu haben. Wichtig dabei ist es, darauf zu achten, nicht mehr als 35 Meter Profile zu verbauen, da genau diese Menge an 30x30 und 30x60 ITEM Profile von der Firma Haberkorn für unsere Diplomarbeit gesponsort wurde.

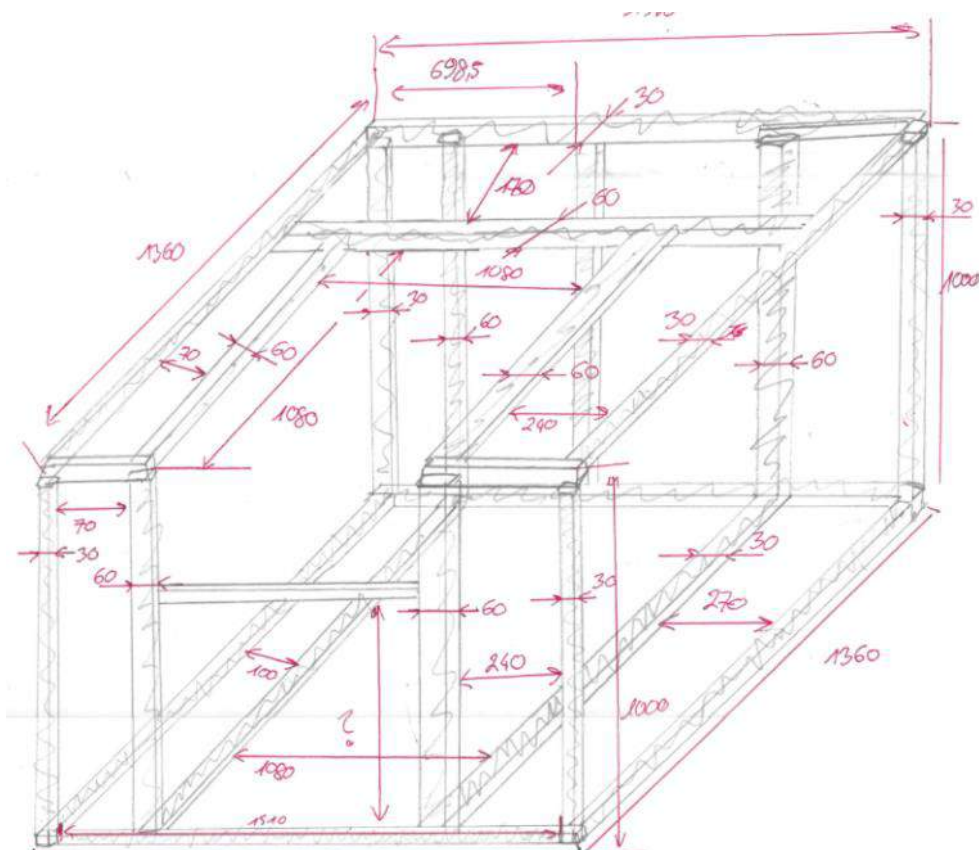


Abb.: 2 Grundidee auf Papier

1.1.2 Planung auf Millimeterpapier

Nachdem die Handskizze des Grundgerüsts auf Papier keine Fehler in der Planung aufgewiesen hat, wurde das Grundgerüst erneut mit Papier und Stift auf Millimeterpapier gezeichnet.

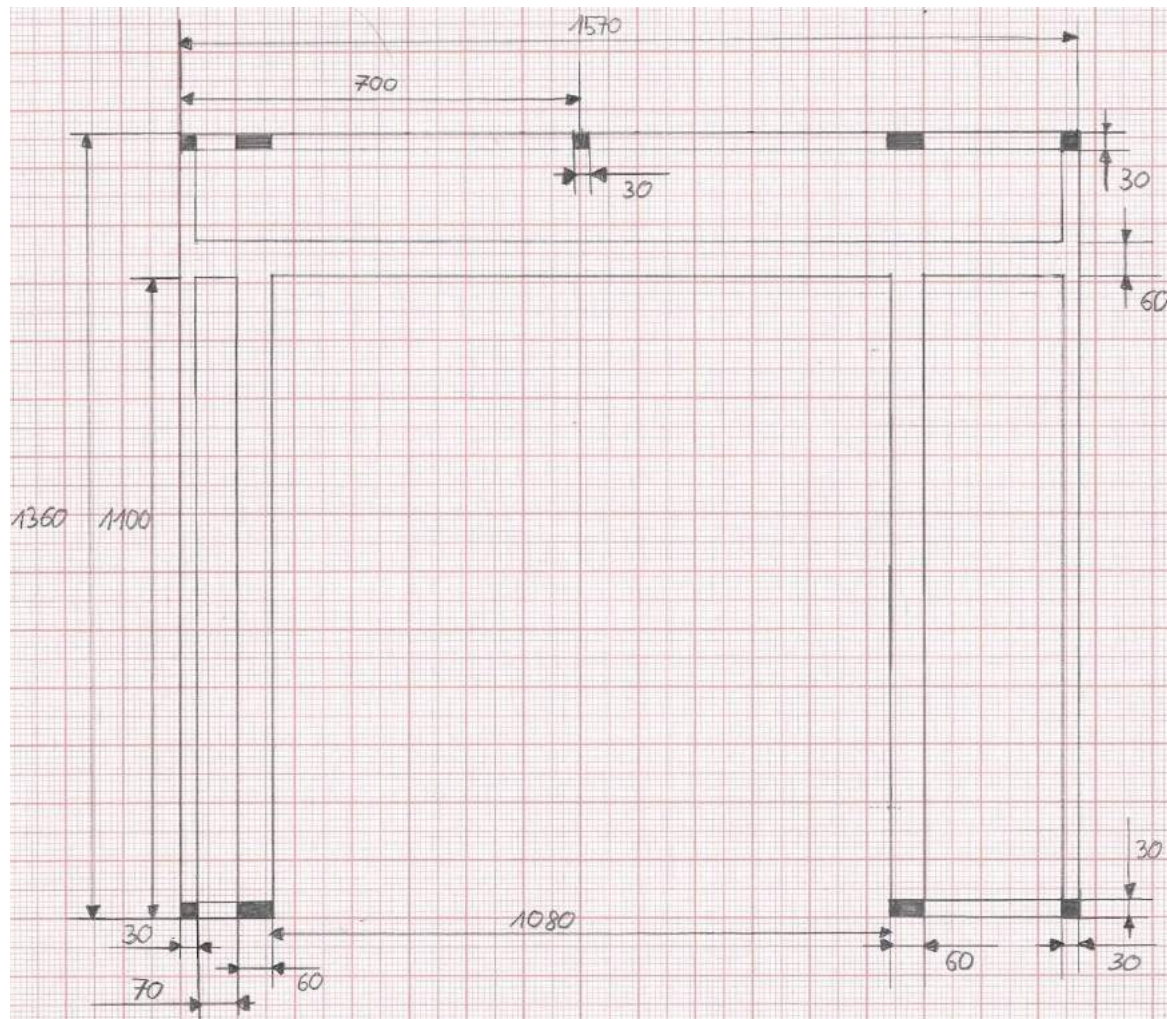


Abb.: 3 Rahmen auf Millimeterpapier

Wie oben im Bild zu erkennen ist, wurde die Grundkonstruktion aus der Draufsicht gezeichnet. Um einen klaren Überblick über die Längen zu haben, wurde dies auch für die jeweilige weiteren Seitenansichten, sowie für die Unterseite der Konstruktion gezeichnet. Auch als Hilfe für die Konstruktion am Computer wurden die Skizzen benutzt.

1.2 Catia V5R19

Catia V5R19 (Abkürzung für: „Computer Aided Three-dimensional Interactive Application“) ist ein CAD-Programm, um computerunterstützt technische Figuren, sowie Konstruktionen zu entwickeln. Die französische Firma „Dussault Systemes“ entwickelte dieses Programm. Veröffentlicht wurde es erstmalig im Jahr 1982. Um dieses Programm privat nutzen zu können, wird eine Lizenz benötigt. Schüler, sowie Studenten, können diese Software frei nutzen. Eine Lizenz der Basis-Konfiguration kostet laut b:digital etwa 10.000 Euro¹. An der i:HTL Bad Radkersburg wird im ersten, sowie auch im zweiten Jahr CATIA V5 als Zeichensoftware im Fach CPE (Abkürzung für computerunterstütztes Zeichnen) benutzt. Auch in der Werkstätte von unserem Diplomarbeitsbetreuer Herrn Fürbass wird gezeigt, wie ein Motor gezeichnet und anschließend simuliert wird.

Auch das US-amerikanische Unternehmen „The Boeing Company“, auch bekannt unter nur Boeing, ist einer der größten Hersteller von Flugzeugen. Somit wurden auch Passagierflugzeuge mit dieser Software von Dassault Systemen entwickelt und konstruiert. Mit CATIA V5 lassen sich nicht nur dreidimensionale Objekte erschaffen, wie zum Beispiel in AutoCAD, sondern auch physikalische Größen bestimmen und berechnen. Dadurch lässt sich zum Beispiel die Trägheit eines Motors mithilfe von Simulationen in CATIA erfassen. Auch durch die Definition von Materialdichte gibt es die Möglichkeit, das Gewicht des Objektes zu bestimmen.



Abb.: 4 Anwendungssymbol – CATIA

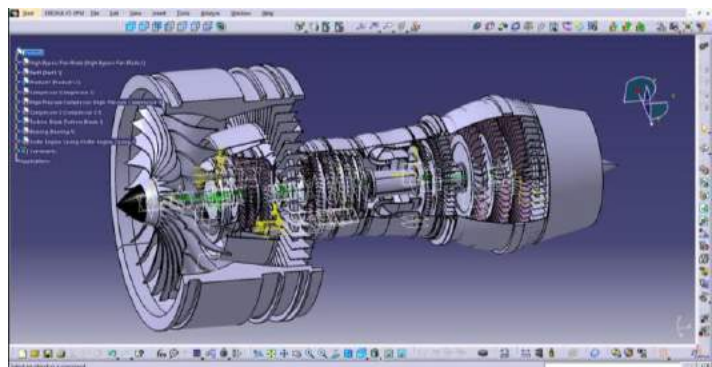


Abb.: 5 Flugzeug Triebwerk in CATIA V5

¹ (b:digital, kein Datum)

1.2.1 Rahmen

Um das Grundgerüst so präzise wie möglich zu planen, wird die Software CATIA V5 verwendet. Das nachfolgende Bild zeigt einen Ausschnitt des Grundgerüst. Im Punkt „Mechanischer Aufbau“ wird näher darauf eingegangen.



Abb.: 6 Rahmen in CATIA

1.2.2 Abdeckklappe

Um Schutz vor dem Laser, sowie vor dem produzierten Staub zu haben, wurde ebenso eine Abdeckklappe entworfen. Diese wird mit 50% durchsichtigen Acrylglas verkleidet, um einen ähnlichen Effekt wie bei einer Schweißbrille zu erzielen.



Abb.: 7 Abdeckklappe in CATIA

1.2.3 Schnittfläche

Um seine Werkstücke bearbeiten zu können, wird eine Ablagefläche benötigt. Diese Schnittfläche mit einem Schnittbereich von 1000x1000mm ist mit einem Warben-Muster ausgefüllt. Dieses Warben-Muster, wie im Bild darunter, hat diesen Sinn, dass der Laser die Unterlagefläche durchdringen kann, ohne etwas an ihr zu beschädigen. Bei einer durchgehenden Platte wäre sie nach kurzer Benutzung schon beschädigt.

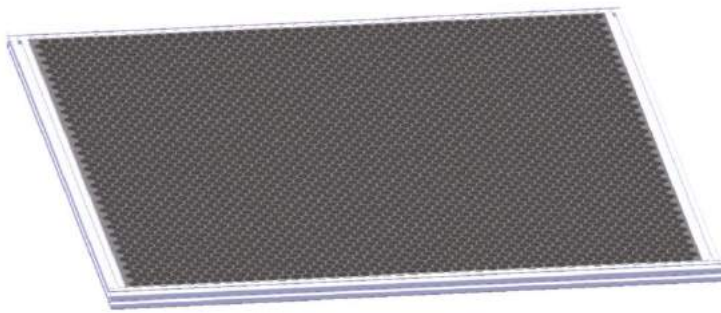


Abb.: 9 Schnittfläche in CATIA

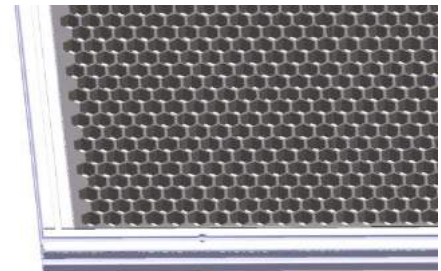


Abb.: 8 warben Muster in CATIA

1.2.4 Gesamter Zusammenbau

Diese drei Hauptkomponenten, das Grundgerüst, die Schnittfläche und die Abdeckklappe zusammengesetzt, geben eine viel bessere Vorstellung über die Größe, sowie das Aussehen des gesamten Konstrukts. Nähere Informationen erfolgen im Kapitel „Mechanischer Aufbau“.

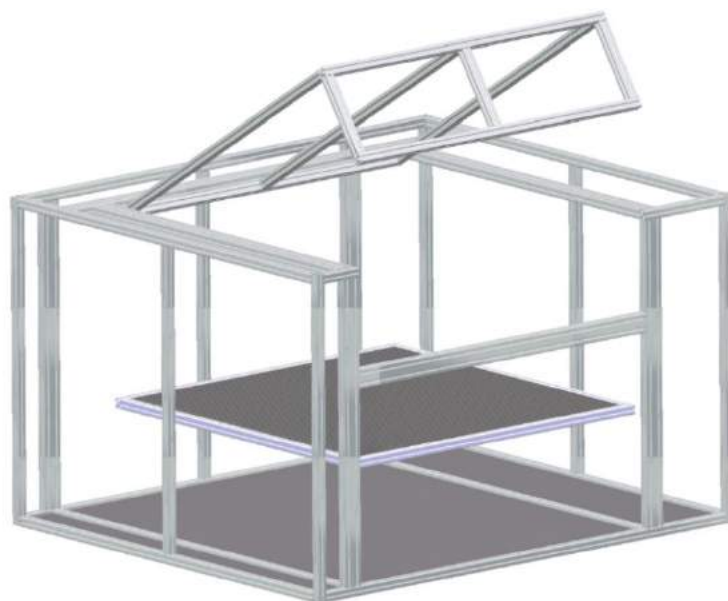


Abb.: 10 gesamtes Grundgerüst in CATIA

1.3 Grundlagen Part Design

CATIA V5 besitzt eine riesige Auswahl an Möglichkeiten, sein 3D Objekt zu entwerfen. So wird zum Beispiel beim Erstellen eines Bleches, das gebogen werden soll „Sheet Metal Design“, auf Deutsch „Blechdesign“ oder „Blechbearbeitung“ benutzt.

Part Design wird verwendet, um einzelne Teile (Englisch: Parts) zu erstellen, die anschließend mit der Arbeitsumgebung Assembly Design zusammengefügt werden können. Dieser Vorgang wird im Punkt „Grundlagen Assembly Design“ ausführlich beschrieben.

Im Bild unterhalb wird gezeigt, wie viele Arbeitsumgebungen dieses Programm bietet. In diesem Fall wird Part Design verwendet, da wir meistens nur geradlinige Objekte zum Erstellen haben. Für den digitalen Zusammenbau des CO2 Lasers wird anschließend Assembly Design verwendet. Nähere Informationen über Zeichnen mit CATIA V5 werden in den folgenden Punkten erklärt.

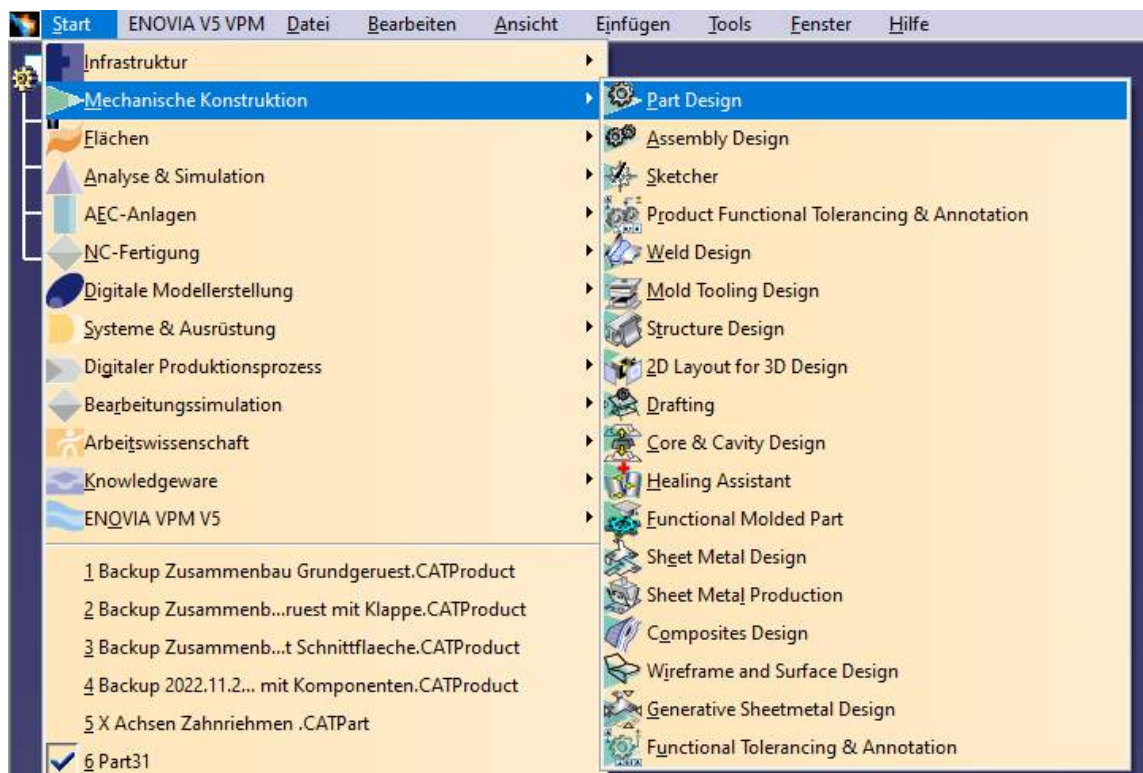


Abb.: 11 Arbeitsumgebungen der Software

1.3.1 X Y Z-Achsen

Um einen Punkt in einer zweidimensionalen Oberfläche darstellen zu lassen, werden zwei Achsen benötigt, meistens werden diese mit X und Y benannt. Ein Beispiel dafür wäre das Quadrat in dem Koordinatensystem unterhalb mit X und Y-Achse.

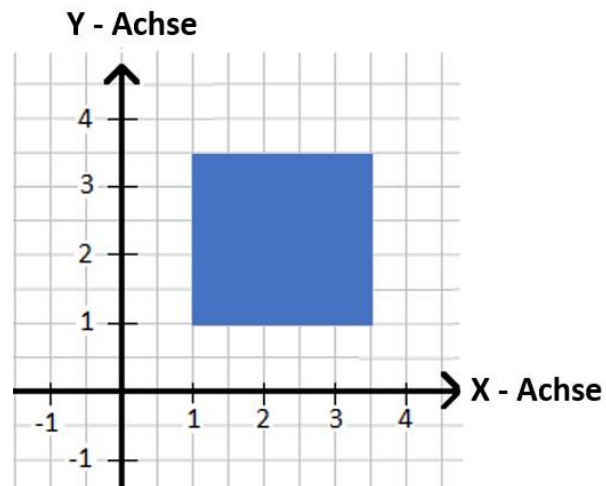


Abb.: 12 Koordinatensystem 2D

Wird nun eine dritte Achse hinzugefügt, die meistens mit Z bezeichnet wird, so bekommt dieses zweidimensionale Quadrat ein Volumen. Ein Beispiel dafür wäre dieser Würfel in dem Koordinatensystem darunter mit X, Y und Z-Achse.

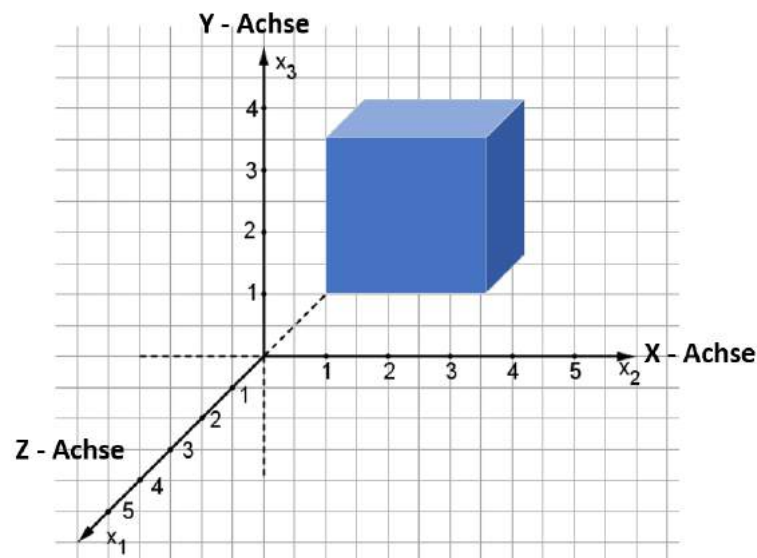


Abb.: 13 Koordinatensystem 3D

In der Software CATIA ist dieses Prinzip gleich anzuwenden, der Ausschnitt unterhalb zeigt ebenso ein zweidimensional gezeichnetes Quadrat. Die Achsenbeschriftung hier ist zwar H und V, diese sind jedoch zu vernachlässigen.

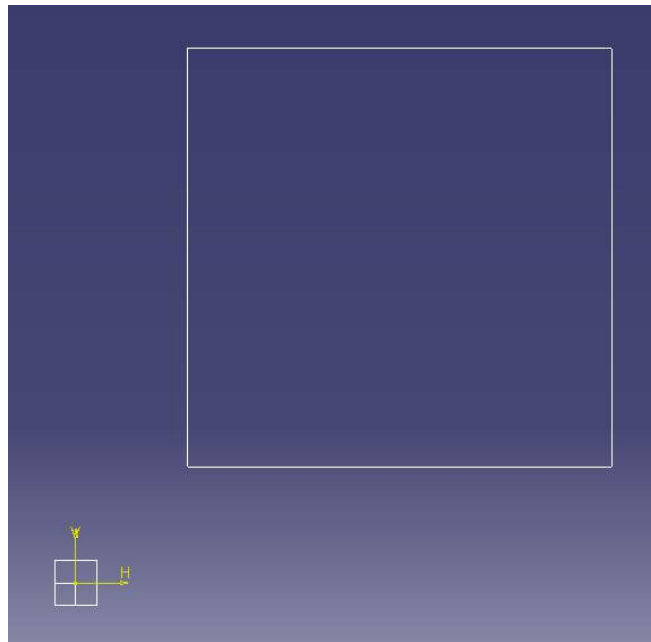


Abb.: 14 Koordinatensystem 2D - CATIA

Wird ebenso die dritte Achse hinzugefügt, so wird dieses Quadrat zu einem Körper umgewandelt. Dieser Vorgang wird genauer im Punkt „2D Zeichnen“ erläutert.

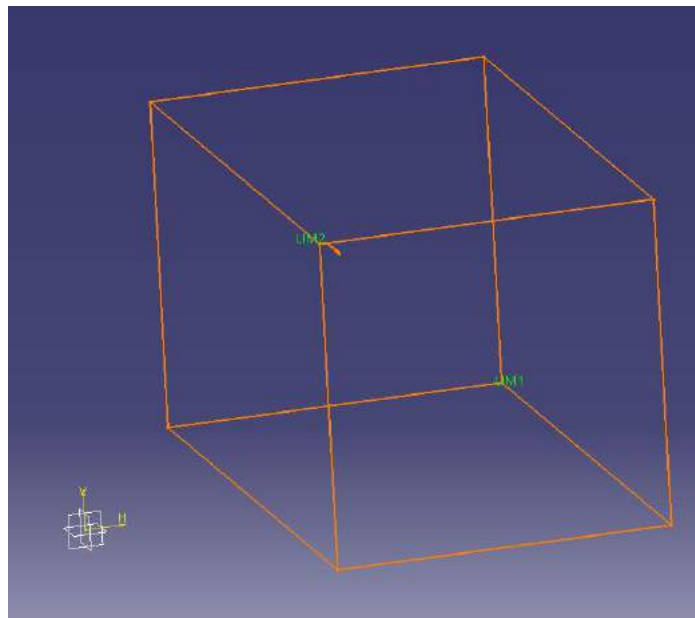


Abb.: 15 Koordinatensystem 3D - CATIA

1.4 Part Design erstellen

Um ein Bauteil zu erstellen, muss zuerst die Software geöffnet werden. Nachdem die Software geöffnet ist, wird ein Sternenhintergrund angezeigt. Um nun eine neue Datei zu erstellen, wird der Cursor auf den Menüpunkt bewegt, um anschließend über die Schaltfläche „Neu...“ ein neues Projekt erstellen zu können. Mit der Tastenkombination „Strg + N“, lässt sich auch eine neue Datei erstellen.

Nach dem Klick auf „Neu...“ öffnet sich ein Fenster im rechten unteren Bereich. Um ein neues Projekt zu erstellen, wird in der Liste „Part“ ausgewählt und mit OK bestätigt. Im nächsten Fenster, das sich öffnet, wird der Name der Datei eingegeben, hierbei ist zu empfehlen, keine Sonderzeichen, sowie Umlaute zu verwenden, da CATIA diese nicht verwenden kann. Ebenso wird danach mit „OK“ bestätigt.

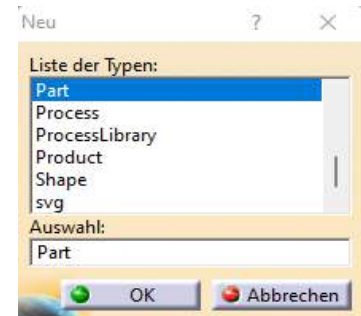


Abb.: 16 Datei Auswahl - CATIA

Anschließend öffnet sich eine neue Datei mit einem blauen Hintergrund.

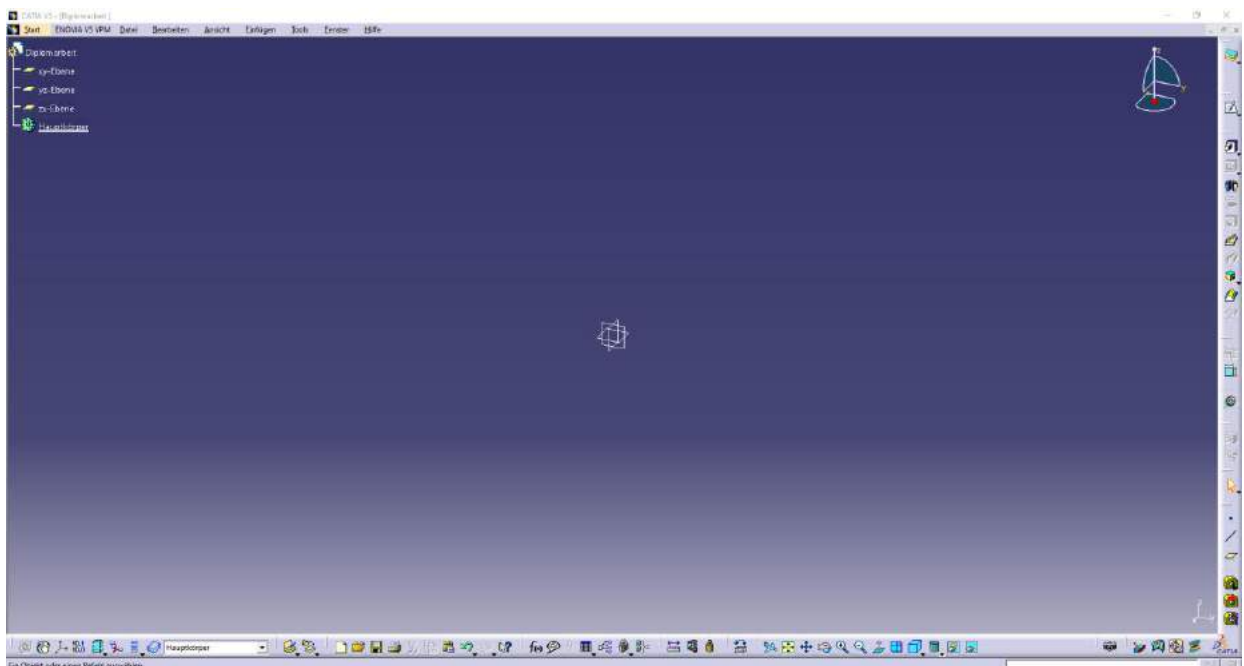


Abb.: 17 Startbildschirm - CATIA

1.4.1 2D-Zeichnen

Um nun ein Teil zu konstruieren, muss zuerst eine zweidimensionale Zeichnung erstellt werden. Mit einem Klick auf das Symbol „Skizze“, das durch ein Blatt und einen Stift dargestellt wird und einem Klick auf eine der drei Achsenkreuze oder der Ebenen links in der Ecke, öffnet sich in die Zeichenoberfläche, in der sich 2D-Zeichnungen erstellen lassen.



Abb.: 18 Achsenebenen



Abb.: 19 Achsenkreuz

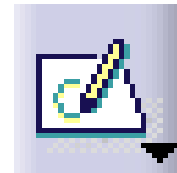


Abb.: 20 Symbol Skizze

1.4.1.1 Kreis

Um einen Kreis zu zeichnen, gibt es grundsätzlich mehrere Möglichkeiten. All diese Möglichkeiten lassen sich mit dem Dreieck unter dem Symbol „Kreis“ ausklappen. Somit gibt es auch die Möglichkeit, einen Halbkreis zu zeichnen.

Ein einfacher Kreis wird eingefügt, indem zuerst auf das Kreissymbol geklickt wird. Anschließend färbt sich das Symbol orange. Nun bewegt man seine Maus in das Zeichenfeld nach links und setzt den Mittelpunkt des Kreises auf die gewünschte Stelle. Um den Kreis zu zeichnen, wird der Mauscursor vom Mittelpunkt weggezogen, dabei vergrößert sich der Kreis ständig. Ist die gewünschte Größe erreicht, wird dies mit einem Linksklick bestätigt. Nachanpassungen der Position sind über den Mittelpunkt des Kreises möglich. Ebenso lässt sich der Radius auch ändern, dafür wird einfach die Linie des Kreises angeklickt und bewegt.

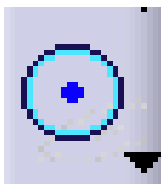


Abb.: 22 Symbol Kreis



Abb.: 23 weitere Möglichkeiten für Kreise

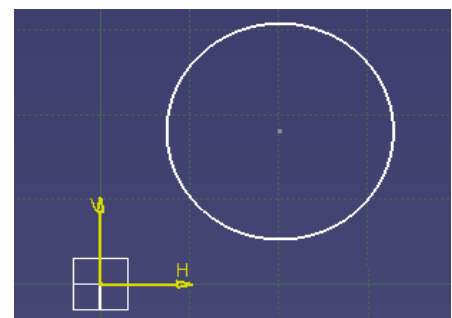


Abb.: 21 Zeichnung Kreis

1.4.1.2 Rechteck

Das Vorgehen bei einem Rechteck ist dasselbe wie bei einem Kreis. Im Menüband wird das Symbol „Rechteck“ ausgewählt und anschließend im Zeichenbereich gezeichnet. Ebenso gibt es wieder Unterpunkte, wie zum Beispiel ein Langloch oder ein Sechseck.

Die Buchstaben H und V an den Seiten des Rechtecks bedeuten, dass die jeweilige Seite parallel zur Achse ist. Ist dies jedoch nicht so gewollt, so wird im Unterpunkt das Symbol „Ausgerichtetes Rechteck“ ausgewählt. Dieses Rechteck kann in einem beliebigen Winkel zur Achse gezeichnet werden.

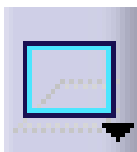


Abb.: 24 Symbol Rechteck

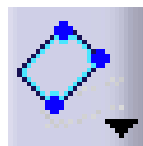


Abb.: 26 Symbol Ausgerichtetes Rechteck

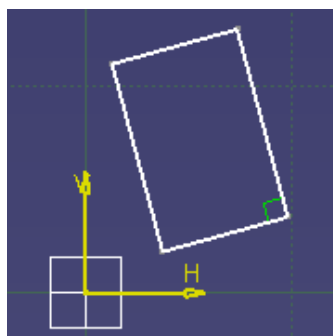


Abb.: 27 Zeichnung ausgerichtetes Rechteck

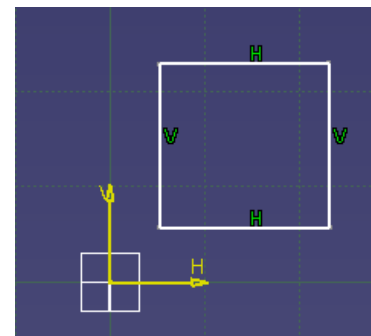


Abb.: 25 Zeichnung Rechteck

1.4.1.3 Freihand

Um komplexere Formen zu konstruieren, die nicht im Menüband vorhanden sind, gibt es die Möglichkeit, Freihand zu zeichnen. Dadurch ist es zum Beispiel möglich, von Plänen direkt die Form zu entnehmen und am Computer nachzuzeichnen. Um eine Form zu konstruieren, wird auf das Symbol „Profil“ geklickt. Die weitere Vorgangsweise ist dieselbe wie im Punkt Kreis und Rechteck.

Färbt sich die Linie blau, so ist diese Linie parallel zur Achse, ist dies nicht der Fall, dann hat die Linie einen Winkel zur Achse.



Abb.: 31 Symbol Skizze



Abb.: 30 Symbol Profil



Abb.: 28 Zeichnung Parallel

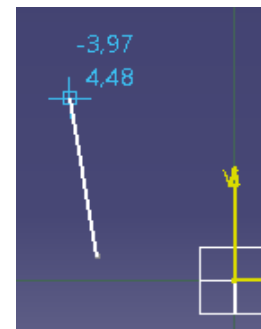


Abb.: 29 Zeichnung nicht Parallel

Sollen zwei Linien miteinander verbunden werden, so gibt es einen Indikator dafür, ob diese sich schon berühren. Ist das der Fall, so werden diese zwei Elemente als Kongruenz bezeichnet. Dies wird angezeigt, indem ein blauer Punkt neben dem Cursor auftaucht. Um 2D-Zeichnungen in eine 3D-Figur umwandeln zu können, darf die Zeichnung keine Öffnungen besitzen. Ist das jedoch der Fall, so wird es zu einer Fehlermeldung kommen

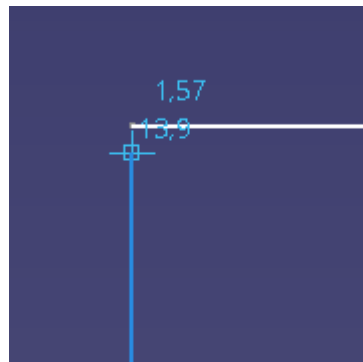


Abb.: 33 nicht Kongruenz

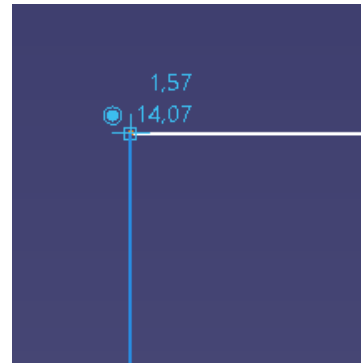


Abb.: 32 Kongruenz

Mit diesen Informationen lassen sich die meisten Formen digital nachkonstruieren. Anhand der Zeichnung darunter werden im nächsten Punkt die weiteren Möglichkeiten der Bearbeitung gezeigt.

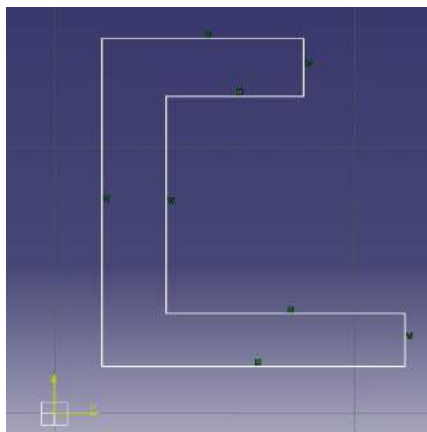


Abb.: 35 Zeichnung Freihand



Abb.: 34 Beispiel Figur

1.4.2 Bemaßen

Um in CATIA Teile exakt zeichnen zu können, ist es wichtig, sie anschließend auf die gewünschten Maße zu bemaßen. Die Software übernimmt dabei einen großen Teil und ist somit sehr benutzerfreundlich. Über einen Klick auf das Symbol „Bedingung“ im linken Menüband, färbt sich das Icon, um einen Abstand zwischen zwei Objekten, oder in diesem Fall anhand der Figur zwischen zwei Linien, zu definieren. Es öffnet sich ein grüner Bemaßungspfeil, der mit einem weiteren Klick in die Zeichenoberfläche bestätigt wird.

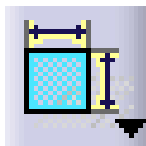


Abb.: 36 Symbol Bemaßung

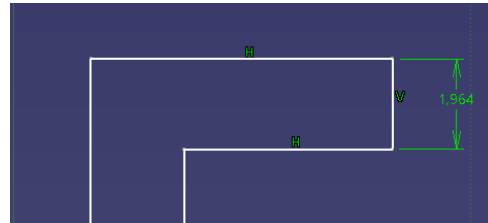


Abb.: 37 Bemaßung von zwei Linien

Um den Wert von 1,964mm auf 2mm zu ändern, reicht ein Doppelklick auf den grünen Bemaßungspfeil. Nachdem sich ein Fenster (Bedingungsdefinition) im linken unteren Teil der Software geöffnet hat, lässt sich das gewünschte Maß eintragen. Um zu bestätigen, wird wieder auf „OK“ geklickt.

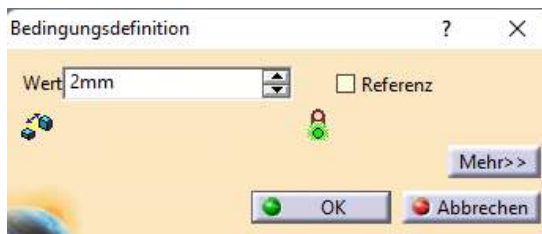


Abb.: 38 Bedingungsdefinition

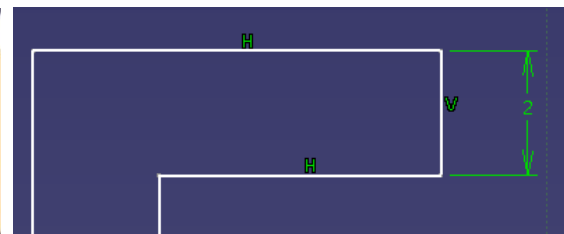


Abb.: 39 veränderter Wert in der Zeichnung

Anhand eines Kreises erfolgt die Bemaßung gleich, hierbei lässt sich im Fenster Bedingungsdefinition einstellen, ob die gewünschte Bemaßung über den Durchmesser oder dem Radius erfolgen soll.

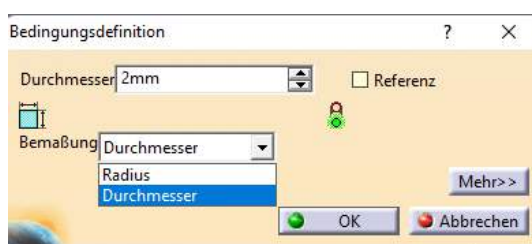


Abb.: 41 Bedingungsdefinition

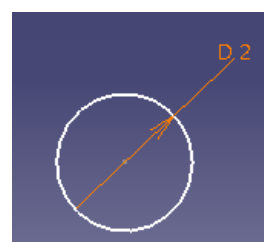


Abb.: 40 Kreis mit Bemaßung

1.4.2.1 Parallelität

Sollen zwei Linien parallel zueinander sein, so lässt sich dies mit der Bedingung „Parallelität“ erzielen. Hierfür gilt das gleiche Vorgehen wie im oben genannten Punkt. Bevor jedoch mit einem Linksklick bestätigt wird, muss ein Rechtsklick auf den Bemaßungspfeil erfolgen. Anschließend öffnet sich neben dem Mauscursor ein Fenster mit weiteren Bedingungen. Um diese zwei Linien parallel zu setzen, reicht ein Klick auf „Parallelität“. Das entstandene Symbol für eine Parallelität wird ebenfalls wieder mit einem Linksklick in die Zeichenoberfläche bestätigt.

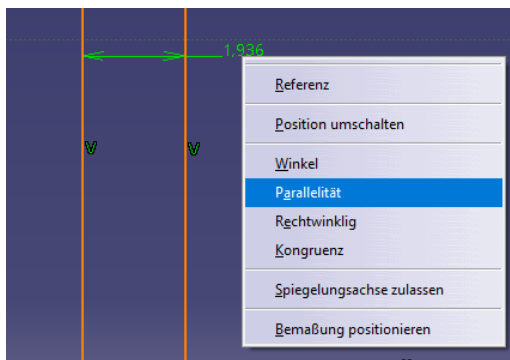


Abb.: 42 Parallel setzen

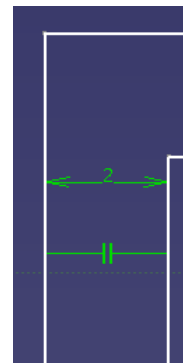


Abb.: 43 Parallelität Bemaßung

1.4.2.2 Zeichnung auf Nullpunkt setzen

Für weitere Vorgangsweisen ist es von Vorteil, wenn die Form mit einer Kante den Nullpunkt des Achsensystems berührt. Dies erfolgt in dem die jeweilige Kante, die die Achse berühren soll, mit der Bedingung Kongruenz oder mit der Bemaßung auf 0mm gesetzt wird. Aus technischer Sicht sollte eine Bemaßung mit 0mm vermeiden werden, so ist es sinnvoller, mit Kongruenz zu arbeiten.

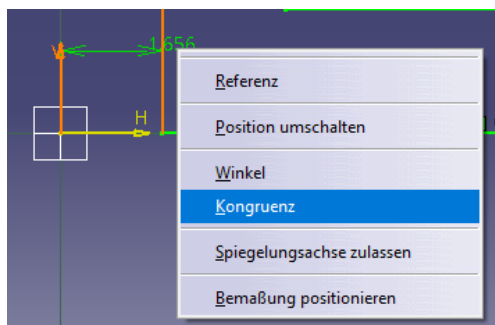


Abb.: 45 Zeichnung auf 0 setzen

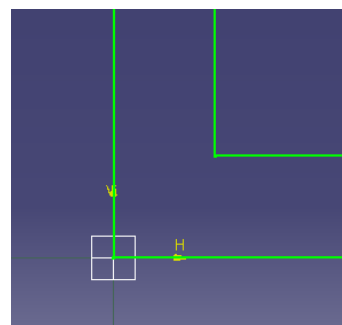


Abb.: 44 Zeichnung im Nullpunkt

1.4.2.3 Gefärbte Skizze

Färbt sich die gesamte Skizze nach dem Bemaßen grün, so hat das die Bedeutung, dass alle notwendigen Maße gegeben sind. Somit sind keine weiteren Bemaßungen mehr nötig.

Wird ein Teil der Skizze violett eingefärbt, so ist das ein Indikator dafür, dass eine Überbemaßung vorhanden ist. Anhand des rechten Bildes unterhalb, wird gezeigt, dass eine Bemaßung doppelt vorhanden ist.

CATIA V5 überprüft jedoch nicht die Richtigkeit der Bemaßung, somit ist es wichtig zu wissen, wie Bemaßungen nach der Norm erfolgen. Nachzusehen sind diese in den Normen DIN 406-10 sowie DIN 406-11². Diese sind freizugänglich im Internet.

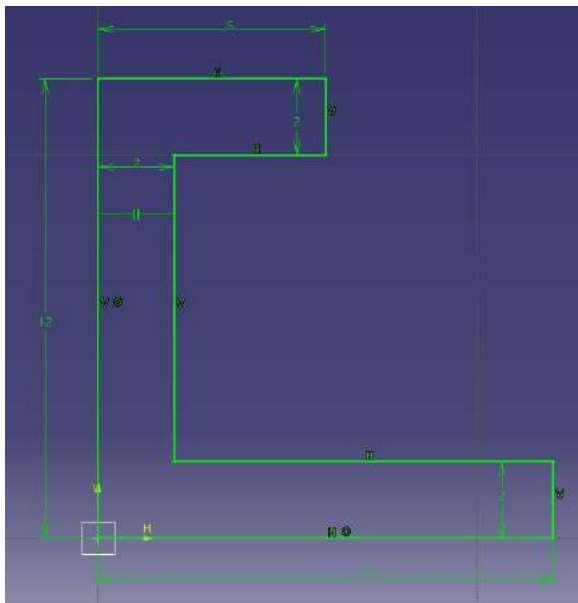


Abb.: 47 richtige Bemaßung

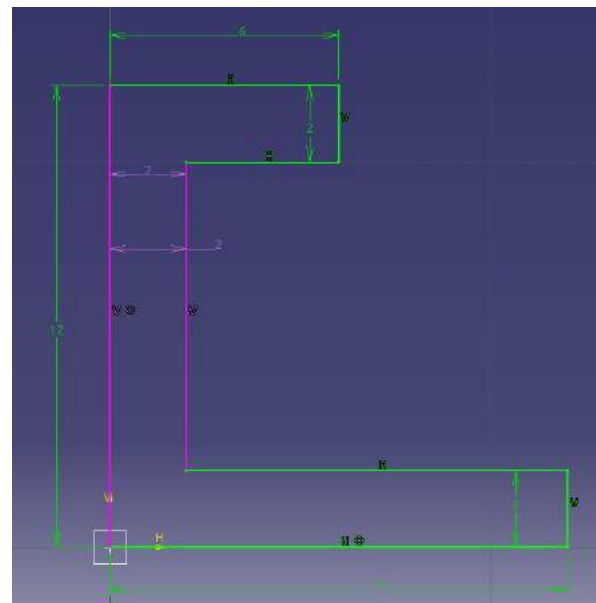


Abb.: 46 Überbemaßung

² (maschinenbau-wissen, 2009)

1.4.3 In 3D umwandeln

Um nun seine bemaßte zweidimensionale Zeichnung in ein dreidimensionales Objekt mit einem Volumen umzuwandeln, muss zuerst der Zeichenbereich verlassen werden. Dies geschieht mit einem Klick auf das Symbol „Umgebung verlassen“.

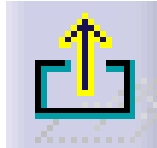


Abb.: 48 Symbol Umgebung verlassen

Mit einem Klick auf das Symbol „Block“ erscheint ein Fenster (Definition des Blocks), hier wird die Länge des zu erschaffenden Objekts definiert. In diesem Fall werden 10mm eingetragen. Über die Schaltfläche „Voranzeige“ lässt sich das Objekt vor dem Bestätigen mit einem Grundriss ansehen. Um nun die Umwandlung abzuschließen, reicht ein Klick auf „OK“.

Es gibt zudem noch die Möglichkeit, eine gespiegelte Ausdehnung zu aktivieren, hierbei wird das Objekt symmetrisch zur Achse erschaffen. Wichtig dabei ist es, darauf zu achten, dass die Länge zu halbieren ist, um die gleiche Gesamtlänge zu erhalten.



Abb.: 49 Symbol Block



Abb.: 50 Definition des Blocks

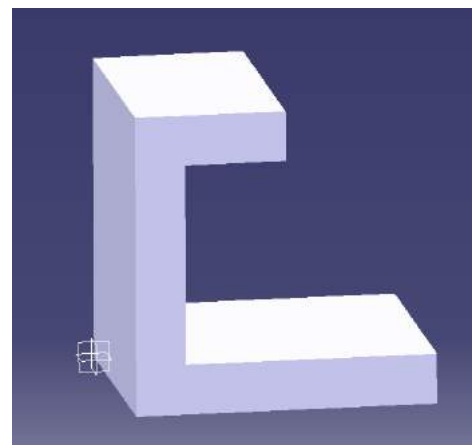


Abb.: 51 3D Figur

1.4.3.1 Aufmaß / Block

Um ein weiteres Objekt an sein bereits vorhandenes Objekt hinzufügen zu können, muss zuerst die Schaltfläche „Skizze“ ausgewählt werden. Diesmal wird keine Ebene, so wie im Punkt oben ausgewählt, sondern diese Fläche, zu der ein Aufmaß erfolgen soll.

Nach dem Wechseln in den Zeichenmodus beginnt man, eine 2D Zeichnung anzufertigen. Anschließend wird diese wieder über „Umgebung verlassen“ verlassen. Mit einem Klick auf das Symbol „Block“ erscheint, wie schon oben im Punkt, das Fenster „Definition des Blocks“. Hier wird die Höhe des neuen Objekts definiert. In diesem Fall wird hier 2.5mm eingetragen. Um dies zu bestätigen, reicht ein Klick auf „OK“.

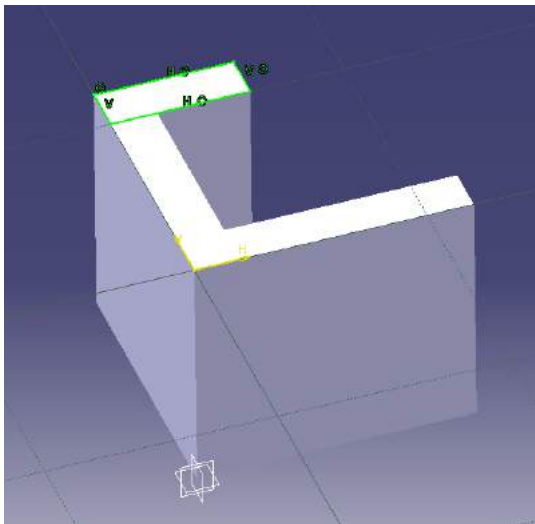


Abb.: 52 Zeichenebene

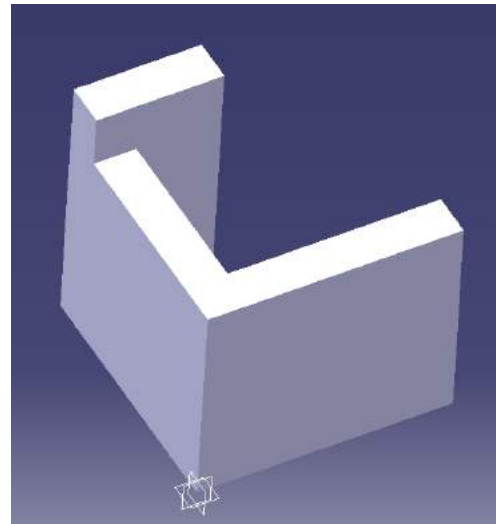


Abb.: 53 3D Objekt mit Ausmaß

1.4.3.2 Vertiefung/Tasche

Mit der Funktion „Tasche“ lassen sich Vertiefungen in sein 3D Objekt hinzufügen. Dabei funktioniert das Prinzip gleich wie im Punkt „Aufmaß / Block“

Zuerst wird eine 2D Zeichnung auf einer Fläche des Teiles gezeichnet und bemaßt, anschließend wird die Zeichenumgebung wieder verlassen. Um nun eine Vertiefung hinzuzufügen, wird auf die Schaltfläche „Tasche“ geklickt.

Es öffnet sich erneut ein Fenster, bei dem sich unterschiedliche Typen an Taschen einstellen lassen. Die nützlichste dieser Funktionen ist „Bemaßung“, das bedeutet, dass die gezeichnete Tasche die eingegebene Tiefe besitzt, in unserem Fall möchten wir ein durchgehendes Loch haben, somit wird 2mm eingegeben. Um zu bestätigen, wird wieder auf „OK“ geklickt.

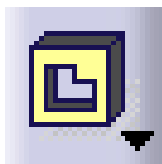


Abb.: 55 Symbol Tasche



Abb.: 56 Definition der Tasche

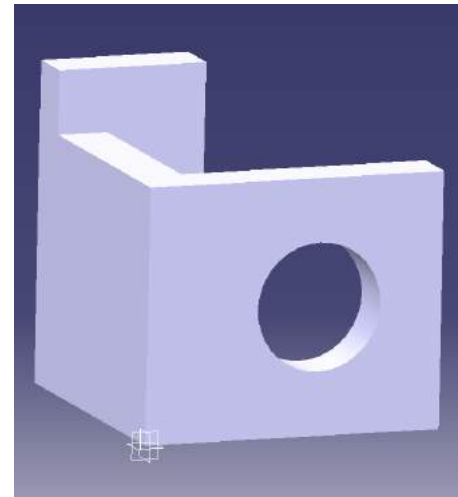


Abb.: 54 3D Objekt mit Tasche

Sollte die Tiefe der Tasche zu hoch eingestellt sein, kann es sein, dass die Tasche auch in der nächsten Wand noch zu sehen ist. Vermeiden lässt sich dieses Problem durch die Funktion „Bis zum nächsten“. Hierbei ist keine Eingabe der Tiefe notwendig.

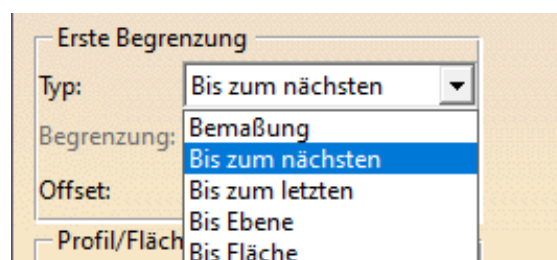


Abb.: 57 Typen von Definition der Tasche

1.4.3.3 Fasen

Scharfe Kanten sind in gewissen Fällen ein Problem, da eine erhöhte Verletzungsgefahr besteht. Somit ist es sinnvoll, sein Bauteil an den Kanten eine Fase zu geben. CATIA V5 besitzt für diesen Anwendungsbereich eine eigene Schaltfläche.

Um seinem Objekt an einer Kante eine Fase zu geben, wird zuerst die Schaltfläche „Fase“ im Menüband aktiviert. Anschließend wird mit einem Linksklick auf eine Kante oder Ecke geklickt (eine mehrfache Auswahl ist mit dauerhaft gedrückter „Strg“ Taster möglich). Im Fenster „Fasendefinition“, das sich öffnet, lässt sich der Winkel, sowie die Länge der Fase definieren. Eine Voranzeige der Fase ist über die Schaltfläche „Voranzeige“ sichtbar.

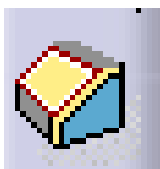


Abb.: 58 Symbol Fase



Abb.: 59 Fasendefinition Länge/Winkel

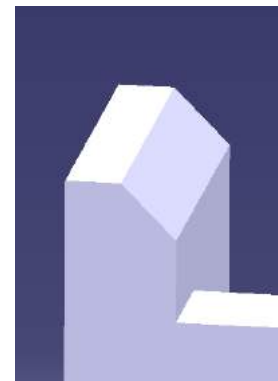


Abb.: 60 3D Objekt Fase

Neben der Möglichkeit den Winkel und die Länge zu definieren, gibt es auch die Option „Länge 1“ sowie „Länge 2“ zu definieren. Ist der Wert bei beiden Längen gleich, so ergibt sich ein Winkel von 45 Grad. In diesem Fall entsteht ein Winkel von 56,3 Grad mit den Werten 1,5mm und 1mm



Abb.: 61 Fasendefinition Länge 1/Länge 2

1.4.3.4 Rundungen

Rundungen sind auf dieselbe Weise zu erzeugen wie Fasen. Erreichbar ist diese Schaltfläche über „Kantenverrundung“. Auch hier ist es möglich, mehrere Abrundungen mit einer Bedingung zu erzeugen. Wichtig ist es, darauf zu achten, dass der Radius nicht die Wandstärke übersteigt. Sollte dies jedoch so sein, dann wird mit einer Fehlermeldung gewarnt. Dieser Fehler wird behoben, indem die Schaltfläche „Bearbeiten“ gedrückt und ein neuer Radius definiert wird.

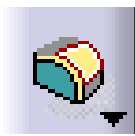


Abb.: 63 Symbol
Kantenverrundung

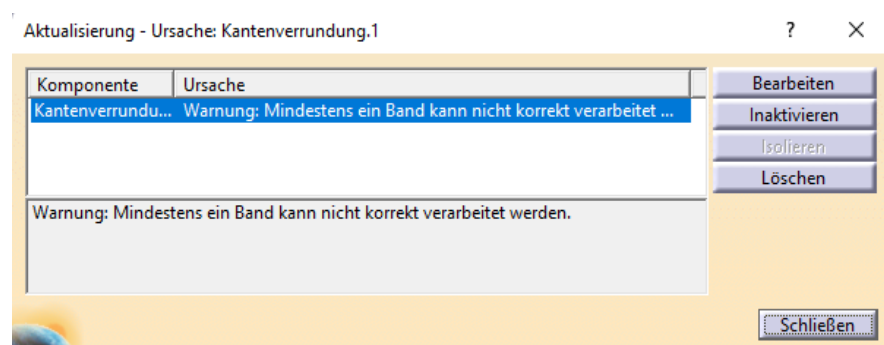


Abb.: 62 Fehlermeldung - Rundung

Sollten die eingegebenen Daten für eine Rundung korrekt sein, dann lässt sich alles mit „OK“ bestätigen und eine Rundung wird am Objekt angezeigt.

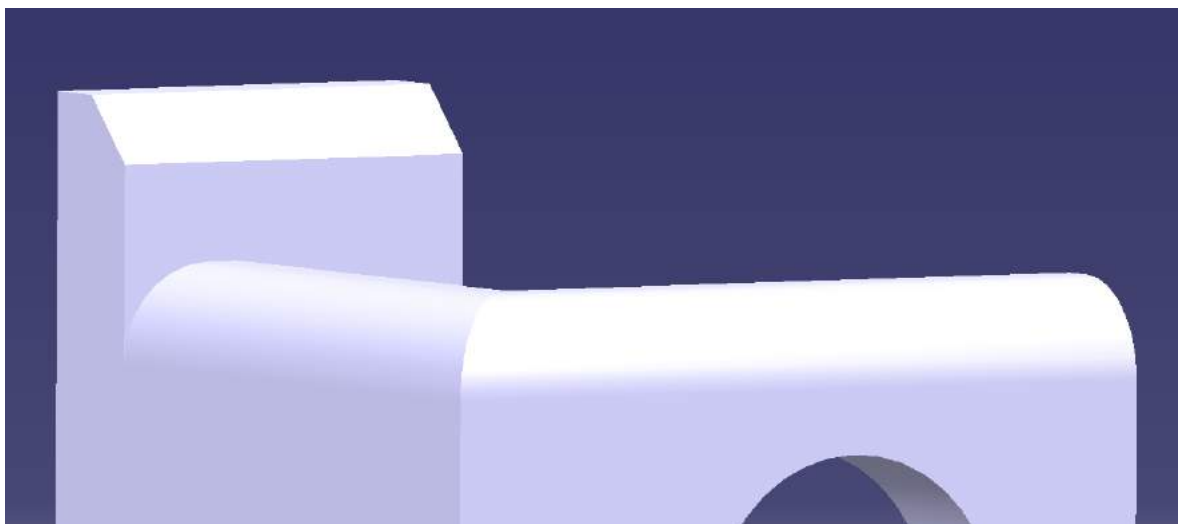


Abb.: 64 3D Objektrundung

1.5 Grundlagen Assembly Design

Assembly Design ist eine weitere Arbeitsumgebung von CATIA V5, diese Arbeitsumgebung ermöglicht es, zuvor konstruierte Objekte zusammenzufügen, um ein Gesamtprojekt zu erhalten.

1.5.1 Projekt umbenennen

Um sein Projekt umbenennen zu können, wird auf den standardisierten Namen „Produkt1“, mit einem Rechtsklick geklickt, danach wird der Unterpunkt „Eigenschaften“ ausgewählt. Mit der Tastenkombination „Alt + Enter“ lassen sich die Einstellungen auch öffnen.

Im Fenster „Eigenschaften“ wird zum Punkt „Produkt“ gewechselt. Hier lässt sich unter „Teilenummer“ der Name des Projekts ändern. In diesem Fall wird er zu „Diplomarbeit“ geändert.

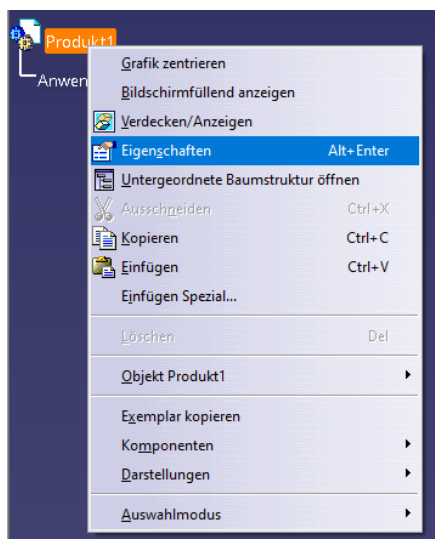


Abb.: 65 Eigenschaften öffnen

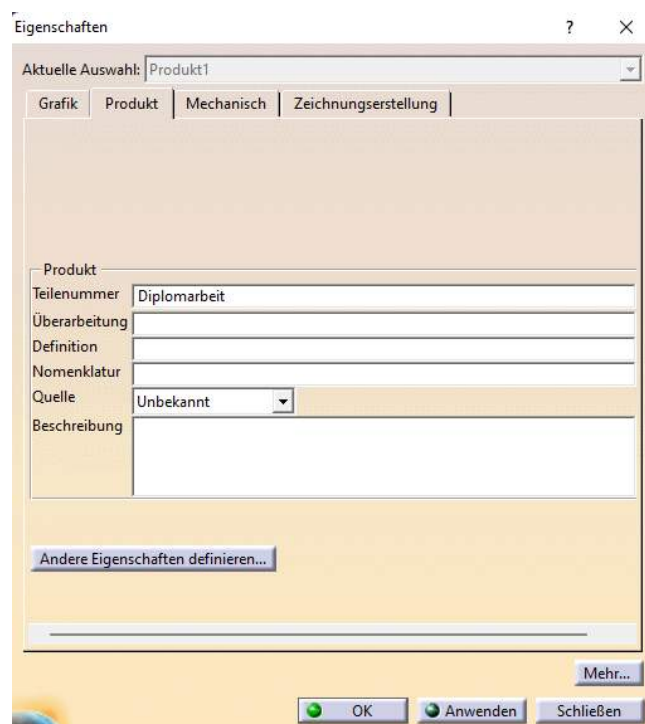


Abb.: 66 Eigenschaften

1.6 Assembly Design erstellen

Um ein neues Assembly Design Projekt zu erstellen, wird im oberen Menüband auf „Start“ geklickt. Anschließend wird unter dem Punkt „Mechanische Konstruktion“ die Schaltfläche „Assembly Design“ gedrückt.

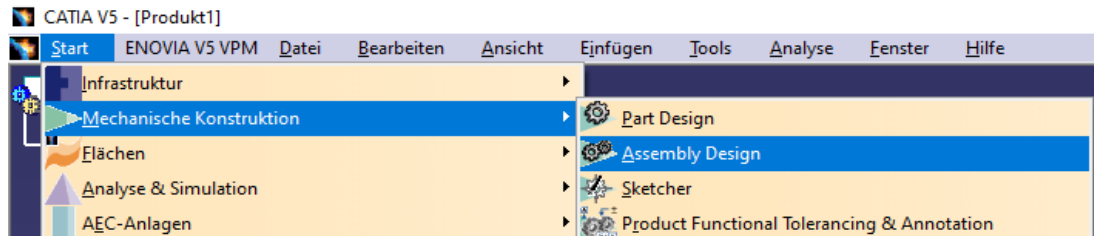


Abb.: 67 Assembly Design

1.6.1 Objekte einfügen

Mit einem Rechtsklick auf den Projektnamen öffnet sich ein Dropdownmenü. Mit der Mausbewegung über den Punkt „Komponenten“ öffnet sich erneut ein Menü. Mit einem Klick auf den Punkt „Vorhandene Komponente...“ öffnet sich das Ordnermenü des Rechners. Um das zuvor gezeichnete Objekt einfügen zu können, muss dieses in einem Ordner abgespeichert sein. Wurde diese Datei gefunden, wird mit einem Doppelklick bestätigt.

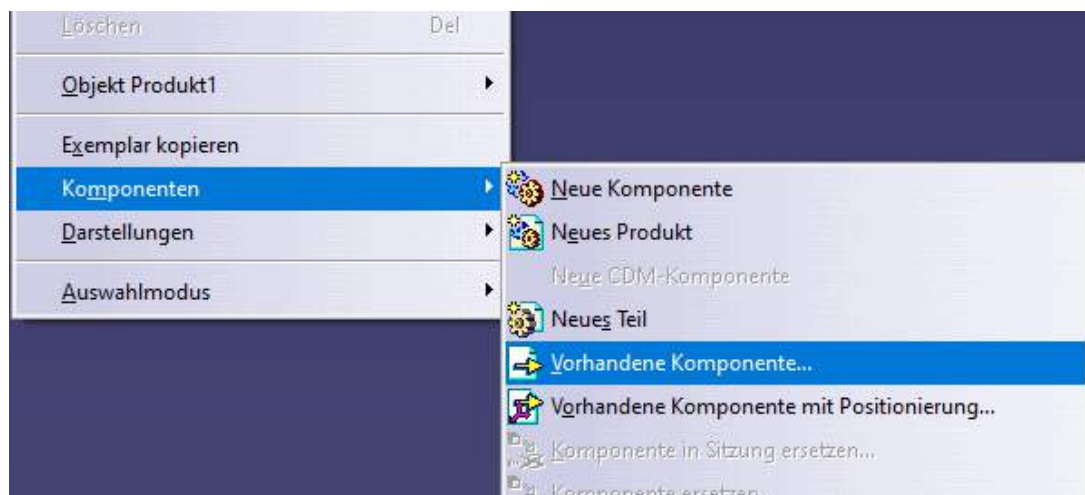


Abb.: 68 Vorhandene Komponente einfügen

1.6.2 Objekte bewegen mit Kompass

(Für die weiteren Erklärungen im Punkt „Grundlagen Assembly Design“ wurde zusätzlich ein roter Zylinder, sowie eine blaue Platte hinzugefügt.)

Nachdem alle Objekte eingefügt wurden, liegen sie ohne richtige Position im dreidimensionalen Raum her. Um diese Teile zu bewegen, gibt es in CATIA einen Kompass, dieser Kompass ermöglicht es, Objekte voneinander zu trennen und sie in die Nähe ihrer fixen Position zu bringen.

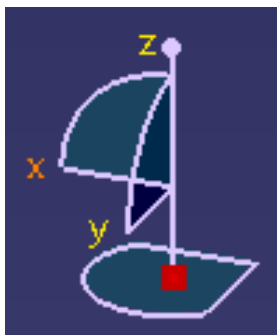


Abb.: 70 Kompass

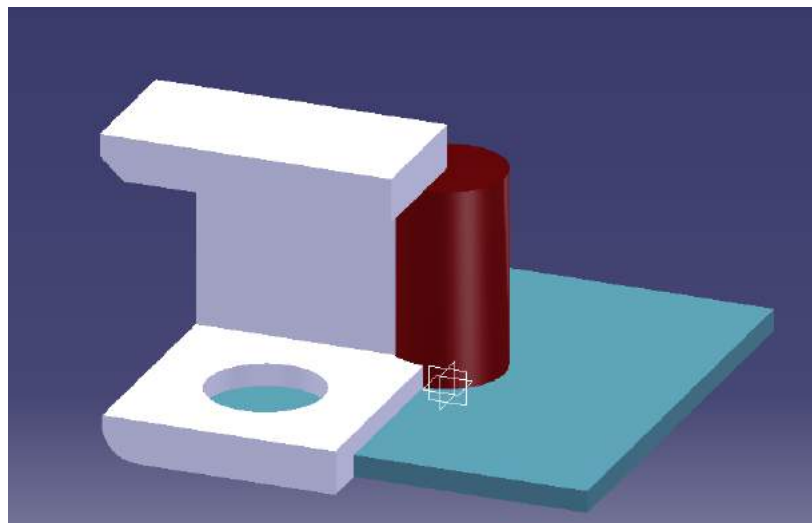


Abb.: 69 Objekte nach dem Einfügen

Um den Kompass mit den Objekten zu verbinden, muss der Kompass am roten Quadrat mit gedrückter linker Maustaste auf ein Objekt gezogen werden. Anschließend lässt sich das Objekt bewegen, indem der Kompass in die gewünschte Position an den grünen Linien gezogen wird. Auch Drehen der Objekte ist über den Viertelkreis, der am Kompass angebracht ist, möglich.

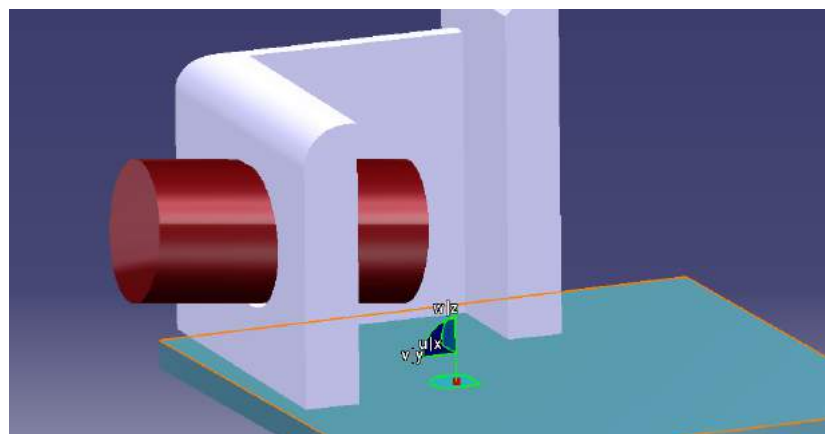


Abb.: 71 Bewegung der Objekte

1.6.3 Objekte Bedingungen

Sind die Objekte an der ungefähren Stelle, so können sie mit verschiedenen Bedingungen fixiert werden. Die Bedingungen werden dazu verwendet, um Objekte exakt auf ihre Position zu bringen. In den nächsten drei Unterpunkten werden die Wichtigsten näher erklärt.

1.6.3.1 Anker/Komponente fixieren

Der Anker wird dazu verwendet, ein Objekt als Fixpunkt zu beziehen, um zu vermeiden, dass es bei späteren Umändern der Dateien keine Komplikationen gibt. Die Bedingung wird per Drag and Drop von der Schaltfläche „Komponente fixieren“ auf das gewünschte Bauteil gezogen. In diesem Fall ist es die blaue Platte am Boden.



Abb.: 72 Symbol
„Komponente fixieren“



Abb.: 73 Anker aktiviert

1.6.3.2 Kongruenzbedingung

Die Kongruenzbedingung wird genutzt, um zwei runde Objekte miteinander an der Achse zu vereinen. Hierfür wird die Schaltfläche „Kongruenzbedingung“ aktiviert und mit dem Cursor auf die Fläche des Zylinders gefahren, bis eine Achse erscheint, anschließend wird mit einem Klick die Eingabe bestätigt und dasselbe erfolgt mit der anderen kreisförmigen Figur.

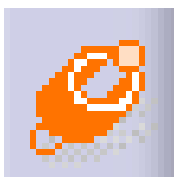


Abb.: 75 Symbol
„Kongruenzbedingung“

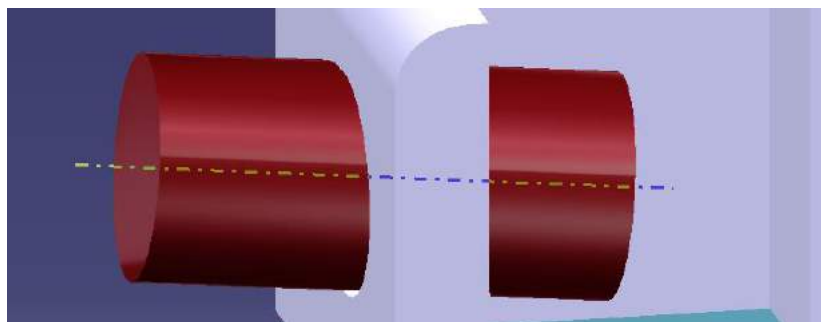


Abb.: 74 Kongruenzbedingung an der Achse aktivieren

Nachdem beide Achsen ausgewählt wurden, erscheinen zwei kleine Kreise, die verbunden sind. Dies ist der Indikator, dass die Bedingung funktioniert. Um diese Objekte nun auf die gleiche Achse zu bekommen, wird auf die Schaltfläche „Alles aktualisieren“ geklickt, die sich unten im Menüband befindet. Auch mit der Tastenkombination „Strg + U“ ist es möglich.

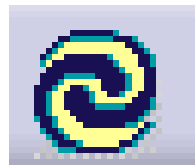


Abb.: 76 „Alles aktualisieren“

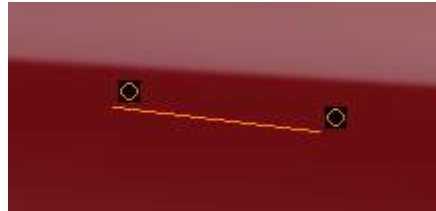


Abb.: 77 Indikator für die Bedingung

1.6.3.3 Offsetbedingung

Um Abstände zwischen Objekten zu definieren, gibt es die Offsetbedingung, hierfür wird zuerst auf das Symbol „Offsetbedingung“ geklickt. Erleuchtet die Schaltfläche, werden zwei Flächen von verschiedenen Objekten mit einem Linksklick ausgewählt. Anschließend öffnet sich ein Bedingungs Fenster. Einzugeben ist hier der gewünschte Abstand der zwei Flächen. In diesem Fall soll das zuvor gezeichnete Objekt bündig mit der Kante des blauen Objektes abschließen. Aus diesem Grund wird im Feld „Offset“ 0mm eingetragen und mit „OK“ bestätigt. Um die Bedingung zu aktualisieren, wird „Strg + U“ gedrückt.



Abb.: 78 Symbol „Offsetbedingung“

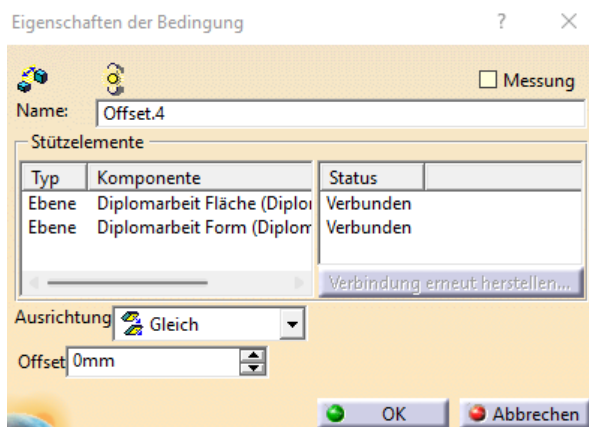


Abb.: 81 Eigenschaften der Bedingung

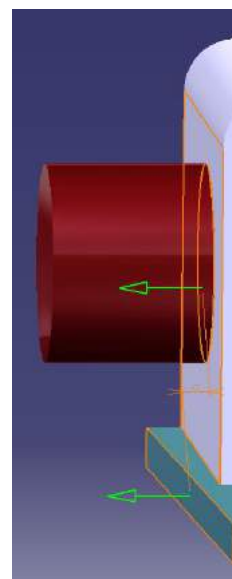


Abb.: 80 Vor der Aktualisierung

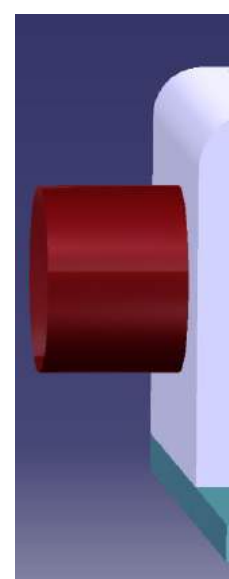


Abb.: 79 Nach der Aktualisierung

1.7 Sichern der Dateien

Wichtig zu beachten ist die richtige Sicherung des gesamten Projekts. Somit sollten die Bauteile aus dem Part Design im selben Ordner wie der Zusammenbau des Assembly Design gespeichert sein. Sollte dies nicht der Fall sein, kann es beim Weiterleiten des Projektes auf einem anderen PC Komplikationen geben, da eventuell Dateien vergessen wurden. Dies wird in CATIA 5V als Fehlermeldung ausgegeben. Durchaus kann es auch sein, dass sich der Zusammenbau trotzdem öffnen lässt, jedoch fehlen dann die nicht vorhandenen Bauteile im Zusammenbau.

Es ist von Vorteil, sich im Vorhinein Gedanken über die Ordnernamen zu machen, da diese im Nachhinein nur schwer umgeändert werden können. Würde der Name eines Ordners umgeändert werden, ist somit der Pfad der darin enthaltenen Datei nicht mehr der gleiche.

Im nächsten Screenshot wird gezeigt, wie die Ordnerinteilung für unser CAD Modell erfolgte.

Andere Teile	23.02.2023 10:53	Dateiordner
Profile	23.02.2023 10:53	Dateiordner
Verkleidung	16.02.2023 19:05	Dateiordner
Zusammenbau	23.02.2023 10:53	Dateiordner

Abb.: 82 Gute Ordnerinteilung

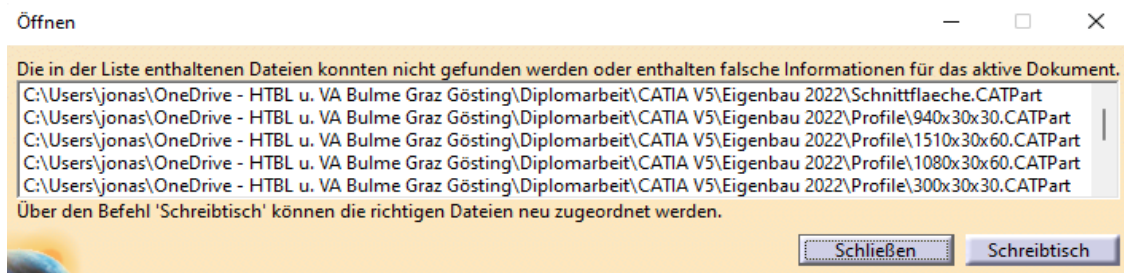


Abb.: 83 Fehlermeldung durch fehlende Dateien

3D Druck

Die Bezeichnung „3D Drucker“ hängt mit dem Tintenstrahldrucker zusammen, denn dieser druckt nur über die Achsen X und Y. Somit ist der Druckbereich zweidimensional, wie ein Blatt Papier. Ein 3D Drucker ist eine Maschine, die über 3 Achsen verfügt. Wie schon im Punkt „Grundlagen CATIA“ erwähnt, werden diese Achsen mit X, Y und Z benannt. Somit lassen sich dreidimensionale Figuren und Objekte aus Filament erschaffen.

Es gibt sie in kleinen Maßstäben für Tüftler und Bastler zuhause, diese haben meist einen Druckbereich von 20mm x 20mm x 20mm bis hin zu 300mm x 300mm x 300mm. 3D Drucker in der Industrie sind größere Maschinen mit höherer Präzision und höherem Druckbereich.

1.8 Funktionsprinzip eines 3D Druckers

Grundlegend gibt es mehrere Arten von 3D Druckern. Die gängigsten für zuhause sind FDM-Drucker (Abkürzung für: „Fused Deposition Modeling“) und SLA-Drucker (Stereolithografie). Da die verbauten Teile der Diplomarbeit ausschließlich mit einem FDM-Drucker gedruckt wurden, wird explizit auf diese Art von 3D Druck eingegangen.

FDM 3D Drucker funktionieren im Wesentlichen so, dass ein Filament von einer Materialrolle über Transportrollen in den Extruder gelangt. Im Extruder wird das Filament, das meist aus PLA (Polylactid) oder aus ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol) besteht, erhitzt, sodass es am Hottend (Spitze) geschmolzen auf das Druckbett austritt. Über die X und Y-Achsen bewegt sich der Druckkopf nach links und rechts, sowie nach vorne und hinten. Die Z-Achse verleiht einem 3D Drucker die Möglichkeit, sein Material Schicht für Schicht nach oben zu drucken.

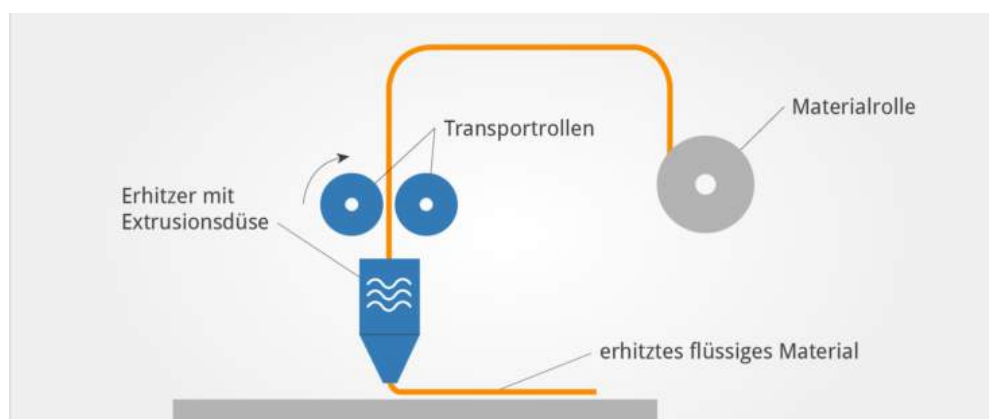


Abb. 84 Funktionsprinzip FDM-Drucker

1.9 Hardware 3D Drucker - Anycubic i3 Mega S

Alle 3D-Druckteile, die an der Diplomarbeit verbaut sind, wurden mit dem Anycubic i3 Mega S der Firma Anycubic hergestellt.



Abb.: 85 Anycubic i3 Mega S

1.9.1 Achsenbewegung

Die Bewegung des Druckkopfes erfolgt über die richtige Ansteuerung der Motoren. Der Anycubic i3 Mega S besitzt für jede der drei Achsen einen Stepper-Motor, der über die intern eingebauten Motordriver angesteuert wird. Alle drei dieser Motoren sind der gleiche Bautyp. Der Druckkopf bewegt sich in die X und Y Richtung mithilfe von Zahnriemen, die an den Motoren mit einem Zahnrad befestigt sind. Die Z-Achse hebt und senkt sich mittels zwei Gewindestangen, die jedoch direkt auf der Motorwelle sitzen.



Abb.: 86 3D Drucker Stepper Motor

1.9.2 Druckkopf

Der Druckkopf des 3D Druckers ist dafür zuständig, das Filament zu schmelzen, sodass es flüssig aufgetragen werden kann. Das Bild unterhalb zeigt einen Querschnitt eines Druckkopfes. In der Fachsprache wird er auch als Hotend (=Heißes Ende) bezeichnet.

Das Filament wird mit einer konstanten Geschwindigkeit in den Druckkopf befördert, es schmilzt erst kurz vor Austritt in der Düse, die unter anderem auch Nozzle genannt wird. Diese Düse besitzt auf der Außenseite ein Gewinde und ist in den Heizblock eingeschraubt. Dieser Heizblock wird über die Steuerung des 3D Druckers erhitzt. Um das Filament zu schmelzen, wird dieser Heizblock bis zu 240 Grad heiß. Damit diese hohe Temperatur den Rest des Druckers nicht erreicht und somit da das Filament nicht zuvor schon schmilzt, sind Kühlrippen oberhalb des Heizelements angebracht. Ein Lüfter kühlt das austretende Filament so weit ab, dass es beim Auftreffen auf die Druckplatte, oder einer Schicht des bereits vorhandenen Bauteils, gerade noch so flüssig ist, dass es haften bleibt. Die Druckbreite einer einzelnen Schicht lässt sich nur hardwaretechnisch durch den Tausch einer breiteren Düse verändern. Standardmäßig ist eine Düse mit einer Öffnung von 0.4mm verbaut.



Abb.: 89 Heizblock mit Düse



Abb.: 87 Düse 0.4mm

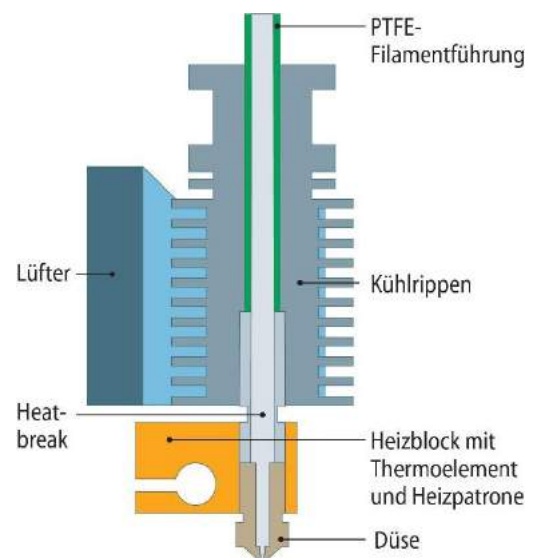


Abb.: 88 Querschnitt Druckkopf

1.9.3 Heizbett

Das Heizbett eines 3D Druckers ist einer der wichtigsten Komponenten, es erhitzt sich im Normalfall auf 60 Grad, um somit eine optimale Haftung für die ersten Schichten des 3D Druckes zu gewährleisten. Bleibt die erste Schicht eines 3D-Druck-Bauteils nicht haften, so haben die nächsten Schichten keine Unterlage und sie werden einfach nur als Fäden aus dem Druckkopf gepresste. Das Foto unterhalb zeigt einen 3D Druck, bei dem die erste Schicht nicht haften geblieben ist. Problem dafür könnte eine falsch gewählte Druckbetttemperatur sein.



Abb.: 90 Keine Haftung am Druckbett

Ein weiterer, wichtiger Punkt, der in Zusammenhang mit dem Druckbett zu beachten ist, ist das „Bad Leveling“ (=Druckbett-Nivellierung). Das bedeutet, dass der Abstand zwischen der Druckplatte zur Düse an jedem Punkt der Platte immer derselbe ist. Sollte dies nicht der Fall sein, so kann es dazu führen, dass sich ein Bauteil während des Druckens auf einer Seite löst und anschließend komplett abfällt.

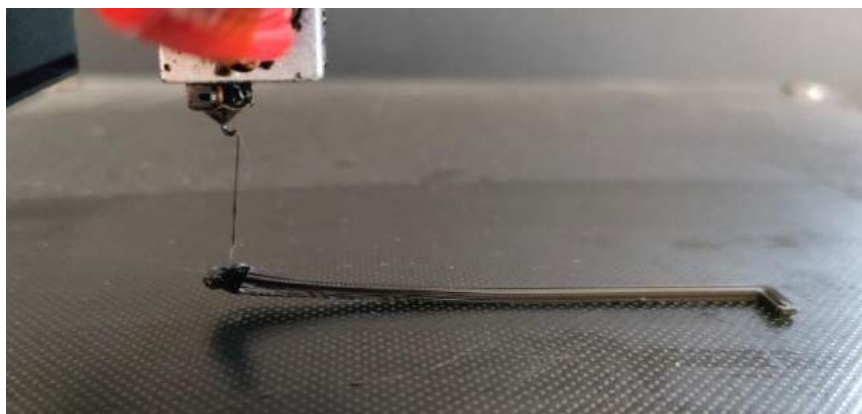


Abb.: 91 Falsches Bad Leveling

1.10 Software - Ultimaker CURA 5.2.1

Ulimaker CURA ist eine freizugängliche Software, um seine CAD gezeichneten Objekte umzuwandeln, sodass sie mit einem 3D Drucker gedruckt werden können. Die Software wandelt das Computer gezeichnete dreidimensionale Objekt in einen „G-Code“.

„Ein G-Code ist eine Maschinensprache zur Programmierung von CNC-Maschinen. Die Sprache ist weitgehend standardisiert, das soll bedeuten, dass ein Programm auf verschiedenen Maschinen das Gleiche machen sollte.“³

```

;Layer count: 25
;LAYER:0
M107
G0 F9000 X52.235 Y55.800 Z0.300
;TYPE:SKIRT
G1 F2340 X56.093 Y55.800 E0.18815
G1 X56.346 Y55.605 E0.20373
G1 X57.299 Y55.078 E0.25684
G1 X58.540 Y54.758 E0.31934
G1 X59.404 Y54.719 E0.36152

```

Das Diagramm zeigt den G-Code mit Beschriftungen für verschiedene Parameter:

- Fan speed setting:** M107
- Nozzle travel speed (without extrusion):** F9000
- Nozzle printing speed (with extrusion):** F2340
- X, Y Coordinates:** X56.093 Y55.800, X56.346 Y55.605, X57.299 Y55.078, X58.540 Y54.758, X59.404 Y54.719
- Layer height:** Z0.300
- Extrusion length:** E0.18815, E0.20373, E0.25684, E0.31934, E0.36152

Abb.: 92 Beispiel G-Code anhand eines 3D Druckers

1.10.1 Datei Format zum Importieren

Um Objekte in CURA importieren zu können, müssen sie zuerst auf das richtige Dateiformat gebracht werden. Ultimaker CURA unterstützt das Dateiformat von CATIA V5 nicht direkt. Aus diesem Grund muss das in CATIA gezeichnete Projekt unter dem Format „STL“ gespeichert werden. Hierzu wird das Objekt geöffnet und mit „Speichern unter“, sowie mit dem Dateiformat „.stl“, erneut abgespeichert.

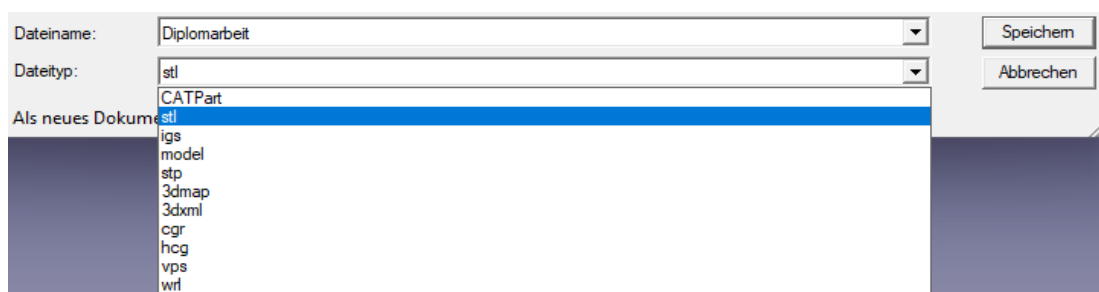


Abb.: 93 Datei abspeichern als STL-Datei

³ (MASCHINFO, kein Datum)

Nachdem die Datei richtig abgespeichert wurde, kann sie über die Schaltfläche „Open File“, die sich im Menüpunkt „File“ befindet, importiert werden. Dasselbe funktioniert mit der Tastenkombination „Strg +O“ .

(für Demonstrationszwecke wurde das Bauteil um 300% vergrößert)

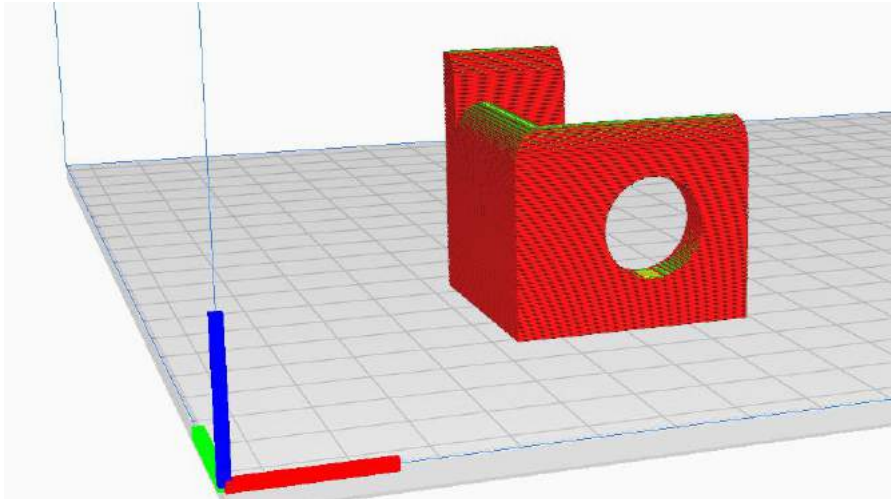


Abb.: 94 Ultimaker CURA

1.10.2 Objekt Slicen

Mit verschiedenen Einstellungen lassen sich die Druckzeit, Stabilität, sowie auch der Filamentverbrauch ändern. In den nächsten Punkten wird auf die wesentlichsten Faktoren zum Slicen einer Datei eingegangen.

1.10.2.1 Achsensystem

Auch in solch einer Software sind Achsen zu finden. Es ist nicht von Nachteil zu wissen, auf welcher Position der Drucker das Bauteil druckt.



Abb.: 95 Achsensystem CURA

1.10.2.2 Layer Height

Layer Height, oder im Deutschen „Schichthöhe“, bezieht sich darauf, wie hoch jede einzelne Schicht des Bauteils sein soll. Je höher die Schicht ist, desto glatter und schöner wirkt die Oberfläche. Dadurch verlängert sich jedoch die Druckzeit. In CURA ist es möglich, seine Schichthöhe mit einer 0.4mm Düse auf maximal 0.3mm zu stellen. Würde die Schichthöhe auf 0.15mm eingestellt sein, würde das Drucken halb so lange dauern.

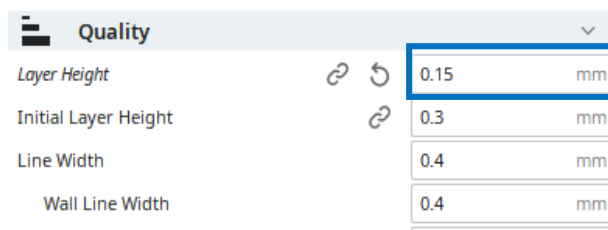


Abb.: 96 Layer Height Einstellungen

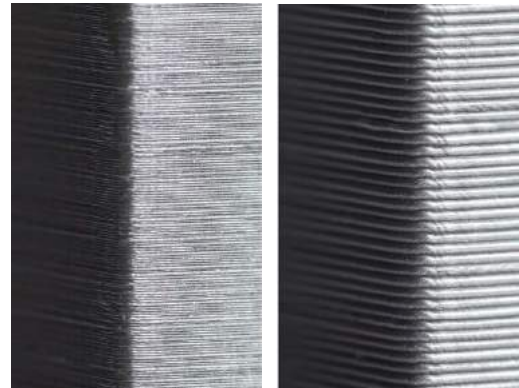


Abb.: 97 Layer Height Vergleich

1.10.2.3 Infill

„Infill“, so wie es in der Fachsprache verwendet wird, übersetzt „Füllung“, bedeutet die Ausfüllung des 3D gedruckten Objekts. CURA lässt variabel ein Wert zwischen 0% Infill und 100% Infill einstellen. Mehr Füllung wirkt sich auf die Stabilität des Bauteiles aus, beansprucht jedoch mehr Zeit und Material.

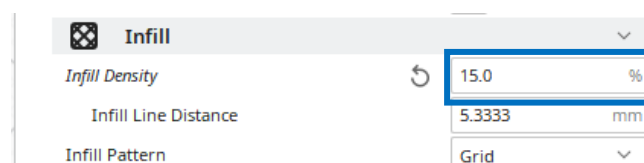


Abb.: 100 Infill Einstellungen

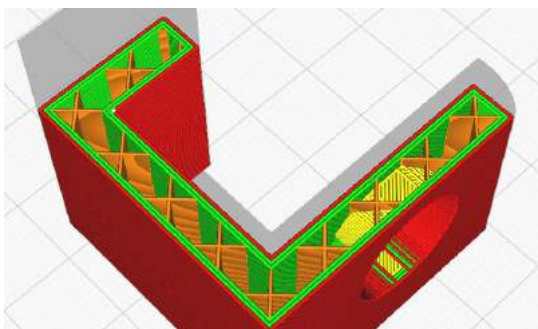


Abb.: 98 15% Infill

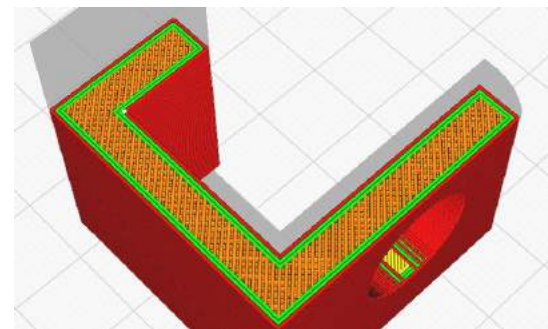


Abb.: 99 60% Infill

1.10.2.4 Printspeed

Die Geschwindigkeit verändert im Großen und Ganzen nicht nur die Zeitdauer des 3D Drucks, sondern auch die Druckqualität. Durch sehr schnelles Bewegen der Achsen werden Vibrationen erzeugt, die den Druck von der Druckplatte lösen könnten. Auch Layer Shift (= Schichtversatz) ist ein Problem, das durch hohe Geschwindigkeiten auftreten kann. Dabei druckt der 3D Drucker die darauffolgende Schicht mit einem Versatz.



Abb.: 101 Layer Shifting

Soll ein filigraner Druck sehr genau und präzise werden, so ist eine Druckgeschwindigkeit von 30-40 mm/s zu empfehlen. Wird ein großes Objekt mit großen Flächen gedruckt, so kann die Druckgeschwindigkeit bis zu 80mm/s ohne Probleme erhöht werden, um noch ein ausreichend gutes, präzises Ergebnis zu erzielen. Der Standardwert ist auf 50mm/s voreingestellt und passt für die meisten Projekte.

Ist jedoch die Geschwindigkeit viel zu hoch, so kann das Filament nicht mehr ausreichend an der darunterliegenden Schicht kleben bleiben und der 3D Drucker erzeugt „stringing“. „Stringing“ bedeutet, dass der Druckkopf dünne Filament-Fäden hinter sich herzieht.

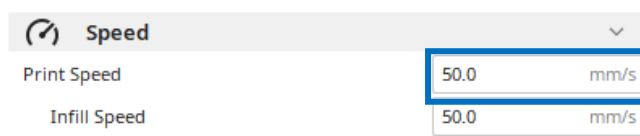


Abb.: 103 Printspeed Einstellung



Abb.: 102 „Stringing“ am Bauteil

1.10.2.5 Supportstructure

„Supportstructure“, im Deutschen „Stützstrukturen“, helfen dem 3D Drucker, Objekte zu drucken, die in der Luft hängen. Es ist bis zu einem gewissen „Overhang“ (=Winkel) möglich, Filament ohne Stützstrukturen zu drucken, meist liegt der Wert bei 50 Grad. Wird die Druckgeschwindigkeit verringert, lassen sich durchaus auch Winkel bis zu 65 Grad drucken. Alles darüber ist nicht mehr empfehlenswert, da die Stabilität sowie die Optik darunter leiden.

Im Bild rechts wird sehr gut anhand eines „Overhang-Test“ gezeigt, dass die Qualität mit zunehmenden Winkel abnimmt



Abb.: 104 Overhang-Test

Im Slicer werden die Stützstrukturen automatisch generiert, wenn ein zuvor definierter Winkel überschritten wird. Dies muss jedoch zuvor über „Generate Support“ aktiviert werden. Standardmäßig ist der „Support-Overhang-Winkel“ auf 53 Grad eingestellt.

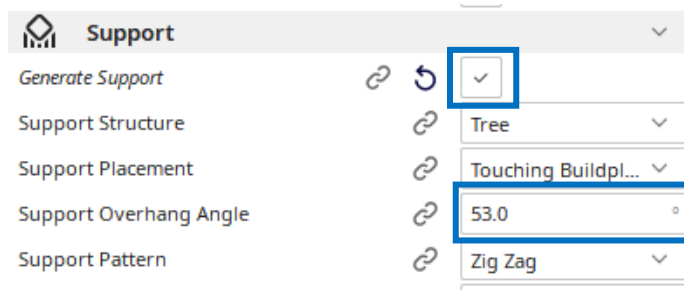


Abb.: 105 Support Einstellung



Abb.: 107 Beispiel für Supportstructure

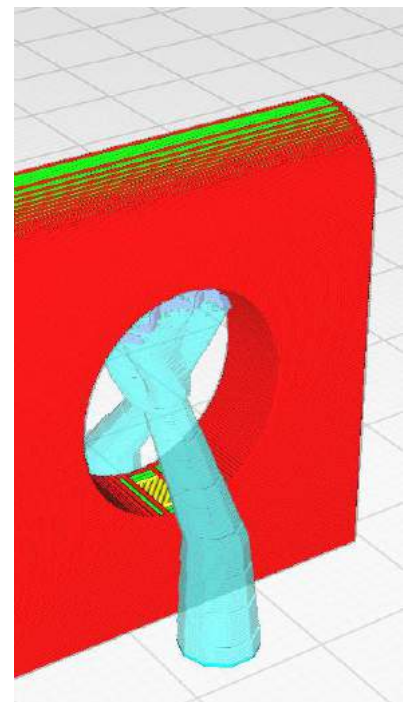


Abb.: 106 Supportstructure "Tree" in CURA

1.10.3 G-Code erstellen

Nachdem die perfekten Einstellungen getroffen wurden und das Projekt fertig für den Druck ist, muss es „gesliced“ werden (slicen = schneiden; das Objekt in Scheiben schneiden). Hierfür wird auf die Schaltfläche „Slice“ gedrückt. Nun wird die berechnete Druckzeit, sowie der berechnete Materialverbrauch, angezeigt.

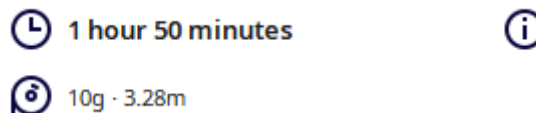


Abb.: 108 Druckzeit und Materialverbrauch

Um den G-Code zu speichern, wird auf „Save to Removable Drive“ geklickt. Es öffnet sich ein Fenster mit einer Auswahl für einen Speicherplatz. Der G-Code muss auf eine SD Karte gespeichert werden, da der 3D Drucker keine USB Schnittstelle besitzt.

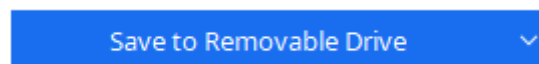


Abb.: 109 G-Code generieren und speichern

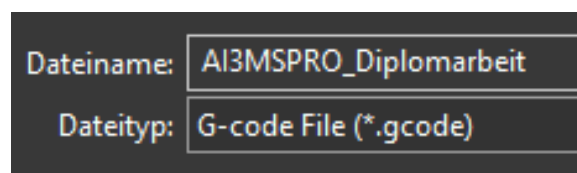


Abb.: 110 Dateiname und Dateiformat

1.11 Bedienung

Wichtig bei der Inbetriebnahme des Anycubic Mega S, sowie allen Anycubic 3D Druckern, ist drauf zu achten, dass sich der Schalter für den Spannungsmodus im linken Bereich befindet. Sollte hier die falsche Spannung ausgewählt werden, könnte es zu einem Brand im Netzteil geraten und somit der Drucker zerstört werden.

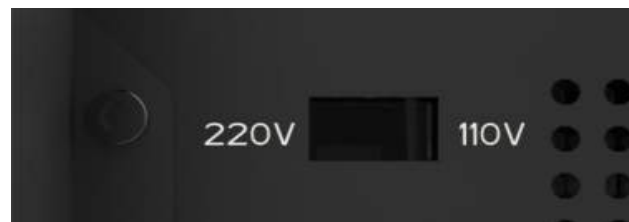


Abb.: 111 Schalter für den Spannungsmodus

1.11.1 Filament

Es gibt unzählige verschiedene Filamente zum Drucken seiner Bauteile. Natürlich besitzt jedes dieser Filamente Vor- und Nachteile. In den nächsten Punkten wird genauer auf die drei gängigsten Filamente eingegangen.

Wichtig zu beachten ist die Lagerung des Filaments. Das Filament sollte so gut wie möglich luftdicht vor Feuchtigkeit geschützt sein. Da es hygroskopisch ist, nimmt es schnell Feuchtigkeit aus der Luft auf. Diese Feuchtigkeit, in Form von kleinen Wassertropfen im Filament, verdampfen im Druckkopf und werfen Blasen auf das gedruckte Bauteil. Die einfachste Art sein Filament zu lagern ist, es in wiederverschließbare Kunststoffbeutel zu geben und in einen Raum ohne Sonnenlicht zu stellen. Auch feuchtigkeitsabsorbierende Beutel gefüllt mit Gelperlen sind eine gute Wahl für die Lagerung.



Abb.: 112 Filament in Kunststoffbeutel



Abb.: 113 Feuchtigkeitsabsorber

1.11.1.1 PLA

Mit PLA ein Bauteil zu drucken ist sehr einfach, da es ist durch seinen niedrigen Schmelzpunkt einfacher zu handeln ist und es nicht zwangsweise ein Heizbett benötigt. Durch das Erhitzen des Filaments entstehen keine schädlichen Gerüche, somit zählt es zu den geruchlosen Filamenten. Oft wird PLA aus Rohstoffen hergestellt die erneuerbar sind, wie zum Beispiel Zuckerrohr oder Maisstärke. *„Für Bauteile, die hohen Temperaturen ausgesetzt sind, ist PLA [...] ungeeignet, da es ab 60°C schmelzen kann. Für alle anderen Anwendungen ist PLA eine gute Wahl.“*⁴

- Schwierigkeitsgrad: Einfach
- Festigkeit: Durchschnittlich
- Flexibilität: Gering
- Haltbarkeit: Durchschnittlich



Abb.: 114 PLA Filamentrollen

1.11.1.2 ABS

ABS ist das zweit beliebtestes Filament, ist jedoch wegen seinem hohen Schmelzpunkt und der Anforderung an ein Heizbett etwas komplizierter. *„3D-gedruckte Bauteile aus ABS überzeugen mit Haltbarkeit und Temperaturbeständigkeit. ABS findet man in vielen Haushaltswaren und Konsumgütern wie zum Beispiel LEGO-Steinen und Fahrradhelmen.“*⁵ Es ist wichtig, seinen ABS Drucker in einem gut belüfteten Raum stehen zu lassen, da beim Schmelzen des Filaments giftige Gase entstehen, die durchaus krebserregend sein können.

- Schwierigkeitsgrad: Medium
- Festigkeit: Hoch
- Flexibilität: Medium
- Haltbarkeit: Hoch



Abb.: 115 Klemmbausteine

⁴ (all3dp, kein Datum)

⁵ (all3dp, kein Datum)

1.11.1.3 PETG, PET, PETT

PET, der meistverbreitete Kunststoff - nahezu jede Einwegplastikflasche besteht aus diesem Material. Für den 3D Druck wird jedoch meist nur PETG verwendet, da dieser Kunststoff flexibler, klarer und einfacher zu verarbeiten ist als PET. *„PETG wird oft als guter Mittelweg zwischen ABS und PLA betrachtet, da es flexibler und haltbarer ist als PLA, aber einfacher zu drucken als ABS.“*⁶ Das Filament PETG ist jedoch sehr schwer zu lagern, da es hygroskopisch ist. Es entzieht der Luft die Feuchtigkeit und nimmt sie auf, dadurch verschlechtert sich die Druckqualität massiv. Sollte kein Filament zur Hand sein, können dünne, in Spiralförmigkeit geschnittene Kunststoffflaschen anstelle von einem Filament in den Extruder gegeben werden.

- Schwierigkeitsgrad: Niedrig
- Festigkeit: Hoch
- Flexibilität: Medium
- Haltbarkeit: Hoch



Abb.: 116 Filament aus PET



Abb.: 117 Kunststoffflasche aus PET

⁶ (all3dp, kein Datum)

1.11.2 Druck starten

Nach dem Slicen einer Datei wird die SD-Karte in den 3D Drucker gesteckt. Bevor der Druck gestartet wird, ist es von Vorteil, die Druckbett-Oberfläche von Staub und Fett zu reinigen, da dies die Druckhaftigkeit vermindert. Hierfür kann ein alkoholhaltiger Reiniger, wie zum Beispiel Glasreiniger, benutzt werden. Auch ein dünnes Auftragen eines Klebestifts verbessert die Druckhaftung.

Nachdem der Drucker über den Kippschalter am hinteren Ende aktiviert wurde, erleuchtet das Display auf der Vorderseite. Um das Druckbett, sowie den Druckkopf zu erhitzen, damit ein Filament eingeführt werden kann, muss auf „Tools“ gedrückt werden.



Abb.: 118 Hauptmenü

Im Fenster „Tools“, können Änderungen an den Achsen, am Filament und auch an der Temperatur vorgenommen werden. Um die Komponenten vorzuheizen, muss auf „Preheat“ gedrückt werden. Im nächsten Fenster, das sich öffnet, lässt sich das Erhitzen des Druckbett sowie der Druckkopf über eine Berührung auf „Preheat PLA“ starten.

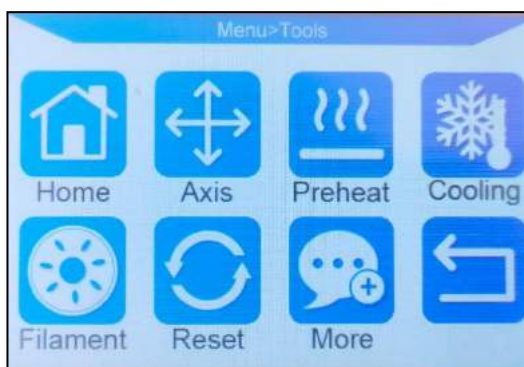


Abb.: 120 Tools Menü

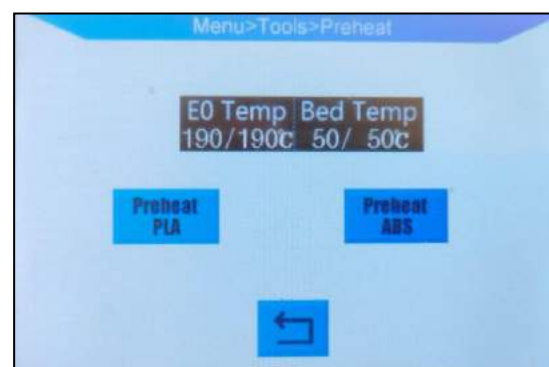


Abb.: 119 Preheat Menü

Sobald der Druckkopf seine Temperatur erreicht hat, ist es möglich, ein Filament einzubringen. Hierzu muss zuerst auf das Tool „Menü“ zurückgewechselt werden, um anschließend in das Menü „Filament“ wechseln zu können.

Im Menü „Filament“ lässt sich über die Schaltfläche „Remove Filament“ das Filament zurückziehen und über die Schaltfläche „Filament In“ ein neues Filament einziehen. Um das Filament in den Extruder einführen zu können, muss an den zwei Spannen gedrückt und von unten gleichzeitig das Filament eingeschoben werden. Vom Extruder aus wird es zum Druckkopf transportiert. Sobald die ersten Fäden aus der Düse kommen, wird mit der Schaltfläche „STOP“ das Einziehen unterbrochen.



Abb.: 121 Tools Menü

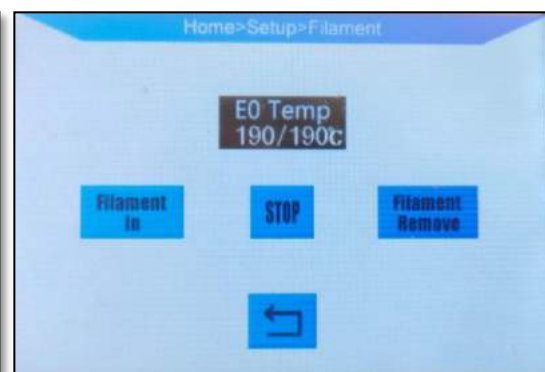


Abb.: 122 Filament Menü

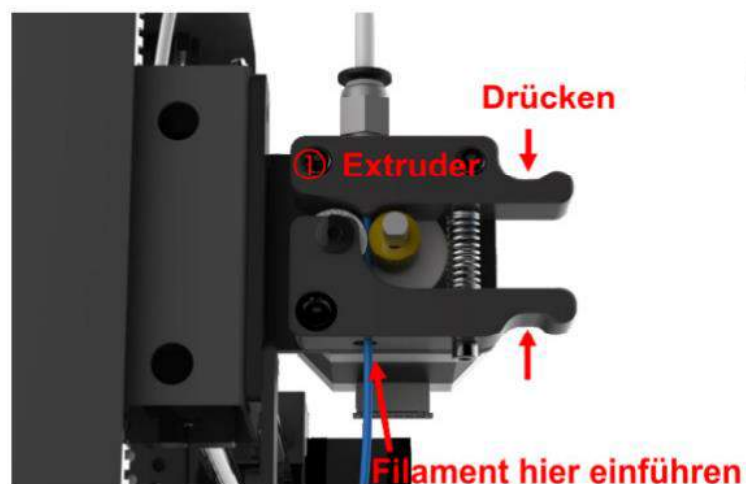


Abb.: 123 Filament in Extruder einführen

Nun kann der Druck über den Punkt „Print“ im Hauptmenü gestartet werden. Hierzu wird in der Liste ausgewählt, welche Datei gedruckt werden soll. Mit einem Klick auf den Dateinamen und einem Klick auf „Print“ startet der 3D Drucker.



Abb.: 124 Hauptmenü



Abb.: 125 Print Menü

Nach dem Start des Drucks wechselt das Display in die Statusansicht, hier werden Parameter, wie zum Beispiel der Vorschrift (Progress), die verstrichene Zeit (Time) und die Temperatur des Druckkopfes (E0 Temp), sowie die des Druckbetts (Bed Temp), angezeigt.

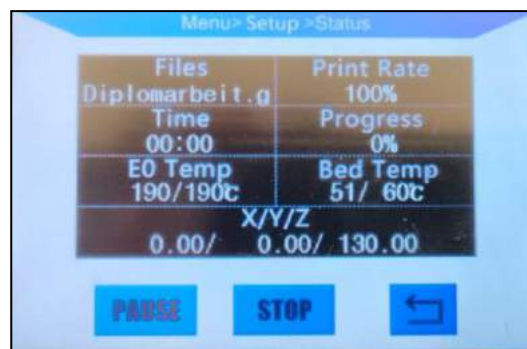


Abb.: 126 Druck Status

Bei Erreichen von 100% des Progress ertönt ein Piepston, der mitteilt, dass der 3D Druck abgeschlossen ist. Anschließend kühlt der Drucker seine Druckbetttemperatur, damit sich das Bauteil leicht ablösen lässt. Als Hilfswerkzeug kann die mitgelieferte Spachtel benutzt werden, um das Teil von der Oberfläche zu lösen.



Abb.: 127 Spachtel zum Ablösen des Bauteils

Mechanischer Aufbau

Der mechanische Aufbau des CO₂-Lasengerüsts wird in den nächsten Punkten genauer erläutert. Zuvor werden Grundlagen im Bereich „Metall-Bearbeitung“ aufgezählt und erklärt. Anschließend folgen Informationen zu den mechanisch verbauten Komponenten des Lasers. Elektrische Bauteile werden im Punkt „Elektrische Hardware“ genauer erläutert.

Die untenstehenden Baupläne wurden in CATIA in der Arbeitsumgebung „Drawing“ erstellt. Sie wurden benutzt, um das Grundgerüst nach Plan zusammenzubauen. Die restlichen Baupläne sind im Anhang zu finden.

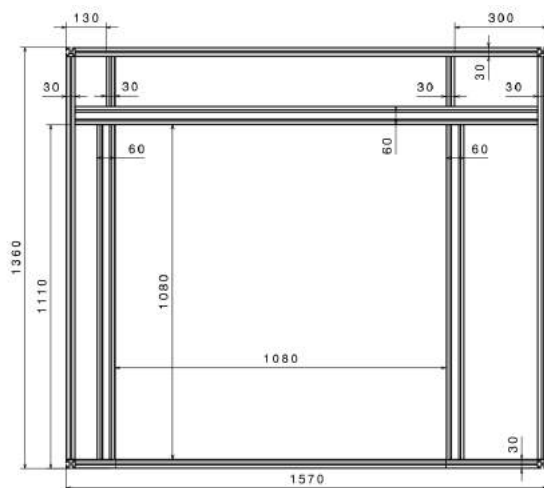


Abb.: 129 Draufsicht CATIA Drawing

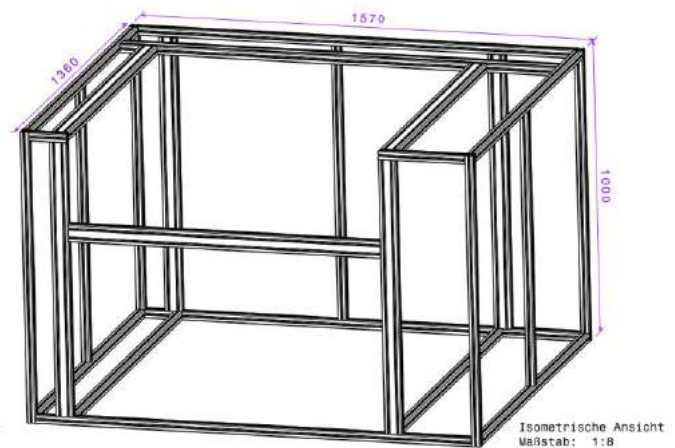


Abb.: 128 Gesamtansicht CATIA Drawing

1.12 Grundlagen Mechanische Bearbeitung

Um die ITEM-Profile der Diplomarbeit verbauen zu können, mussten sie davor in die richtige Länge gekürzt werden. Dies erfolgt mit Hilfe von einem elektrisch betriebenen Schnitt und Sägemaschinen der i:HTL Bad Radkersburg. Bohrungen, um Profile mittels dem Standardverbindingssatz der Firma ITEM zu verbinden, werden auch benötigt.

1.12.1 Schneiden/Sägen

Der Unterschied zwischen Sägen und Schneiden besteht darin, dass eine Säge das Werkstück mit einer linearen oder auch kreisförmigen Bewegung Schicht für Schicht abschabt, bis es getrennt ist. Hingegen dazu wird beim Schneiden mit einer Schlagschere das Material mit einer scharfen Klinge getrennt. „In der DIN 8589 werden für die Fertigungstechnik alle spanenden Fertigungsverfahren definiert.“⁷ Die eklektisch betriebenen Trennwerkzeuge, die für die Bearbeitung von Profilen und Blechen benutzt wurden, werden in den nächsten Punkten genauer erklärt.

1.12.1.1 Bandsäge

Eine Bandsäge ist eine eklektisch betriebene Maschine, die benutzt wird, um Werkstoffe mit großem Querschnitt zu teilen. Das Bandsägeblatt ist aus geschlossenem Ring. Meist sind die Enden miteinander verlöteten oder verschweißt. Das so entstandene Endlossägeblatt wird über zwei Rollen durch den Antrieb, bis hin zum Schnittbereich geführt. Um die Sägeseite des Blattes zu stabilisieren, wird es durch eine Führungseinrichtung geführt. Um Unfälle zu vermeiden, ist der Rest des Sägeblattes eingehaust. Bei Benutzung einer Bandsäge muss man darauf achten, eine ausreichend Schmierung durch Öl zu gewährleisten, da das Bandsägeblatt steckenbleiben könnte und somit Schäden an Maschine und Mensch verursachen kann. Bandsägen gibt es in vertikalen sowie auch in horizontalen Ausführungen. Durch die Zugabe von einem Schneideöl lässt sich der Zerspanungsprozess optimieren.⁸



Abb.: 131 Bandsägeblatt



Abb.: 130 Bandsäge an der i:HTL Bad Radkersburg

⁷ (Wikipedia, Wikipedia, 2022)

⁸ (Wikipedia, Wikipedia, 2022)

1.12.1.2 Kreissäge

Eine Kreissäge ist ebenso eine elektisch betriebene Maschine, die benutzt wird, um Werkstoffe zu trennen. Anders als bei der Bandsäge besitzt eine Kreissäge ein Schnittblatt, das durch einen Motor in eine Drehbewegung versetzt wird. Meist sind diese Kreissägeblätter mit künstlichen Diamanten besetzt, um eine höhere Härte zu erhalten als das zu schneidende Material. Sollte dies nicht der Fall sein, könnte das Blatt nach kurzer Benutzung stumpf werden und somit nicht mehr brauchbar sein. Sehr oft verfügen Kreissägen über mehrere Stufen an Geschwindigkeit, da härtere Metalle langsamer durchtrennt werden müssen als zum Beispiel ein Profil auf Aluminium. Um nicht in das drehende Blatt geraten zu können, ist es mit einer Abdeckung geschützt. Diese Abdeckung öffnet sich stückweise, sobald das Schnittblatt auf das Werkstück auftrifft. Durch das Verstellen des Anschlages ist es möglich, sein Werkstück in einem Winkel von -45 Grad bis 45 Grad abzusägen. Dies wird Umgangssprachlich als „Gehrung“ bezeichnet. Wie auch bei der Bandsäge ist drauf zu achten, dass das Sägeblatt dauerhaft mit einem Ölfilm eines Metallbohröls bedeckt ist, da es sich ansonsten im Material verkanten kann. Ein bekanntes Öl zum Kühlen und Schmieren ist das WD-40 Specialist Bohr- und Schneideöl.



Abb.: 134 Beispiel Sägeblatt



Abb.: 133 WD-40



Abb.: 132 Zuschneiden eines Profils

1.12.1.3 Schlagschere

Die Schlagschere, oder auch Tafelschere genannt, ist ein elektrisch angetriebenes Werkzeug zum Schneiden von Blechen. Der Vorteil einer Schlagschere liegt darin, dass große Bleche bis zu 2m mit einer geraden Schnittkante abgeschnitten werden können. Dabei wird das Metallstück, das oft aus Stahl oder Aluminium besteht, in die Öffnung bis hin zum Anschlag eingeschoben. Wird die Maschine zum Schneiden aktiviert, so presst diese das Metallstück zuvor fest ein. Somit ist ein Arbeiten außerhalb des Gefahrenbereiches möglich. Anschließend wird das Obermesser gehoben, trifft mit seiner Schneide auf das Metallstück auf und durchtrennt es. Dabei sind je nach Ausführung der Maschine Metallstärken von einem Bruchteil eines Millimeter bis hin zu 200mm möglich zu trennen. Dabei spielen die Auftrittswucht, sowie die Härte der Klinge eine wichtige Rolle. Anders als beim Trennen mit einem Sägeblatt ist hier keine Schmierung notwendig, da das Metall lediglich mit einem Hieb durchtrennt wird.⁹



Abb.: 136 Schlagscherenklinge



Abb.: 135 Schlagschere an der i:HTL Bad Radkersburg

⁹ (Wikipedia, Wikipedia, 2020)

1.12.2 Bohren

Bohren ist ein weiterer Teil der Metallbearbeitung. Durch die Drehbewegung eines Bohrers lässt sich ebenso Schicht für Schicht Material abtragen. Im Bereich Metallbearbeitung sind die meisten Bohrer ebenso gehärtet oder verstärkt, um eine längere Lebensdauer zu erhalten. Bohren in Metall ist gefährlicher als Bohren in Holz oder anderen nicht so harten Materialien, somit ist es wichtig, eine optimale Arbeitsausstattung zu besitzen. Dazu zählt eine fixe Verankerung der Bohrmaschine, diese Ausführung wird unter anderem auch als Standbohrmaschine bezeichnet. Scharfe Bohrer verhindern die Gefahr sich zu verletzen ebenfalls, da abgenutzte Bohrer eher dazu neigen, im Material zu verkanteten und zur Gefahr zu werden. Durch die Drehbewegung des Bohrer entstehen hohe Temperaturen an der Bohrstelle, somit ist zu beachten, ausreichend Öl auf diese Stelle zu geben, um ein glühen des Metalls zu vermeiden, da diese hohen Temperaturen die Oberfläche des Werkstückes beim Abkühlen verziehen. Um die Drehzahl zu variieren, gibt es je nach Bautyp verschiedene Hebel, um das Übersetzungsverhältnis im Getriebe zu ändern.



Abb.: 138 Bohrsortiment



Abb.: 137 Standbohrmaschine an der i:HTL

1.12.2.1 Senken und Endgraden

Durch das Bohren entsteht oft an der Austrittsstelle sowie am Bohrlocheingang ein Grad. Dieser Metallgrad hat nicht nur Nachteile in der Optik, sondern auch in der Praxis. Durch die hervorstehenden Metallspäne führt es oft zu Verletzungen. Ebenso lassen sich Schrauben schwerer in Bohrung einführen. Um diese Probleme zu vermeiden, wird anschließend nach dem Bohren die Kante des Metalls mit einem Kegelsenker auf 45 Grad abgesenkt.



Abb.: 140 Kegelsenker



Abb.: 139 Querschnitt einer gesenkten Bohrung

Die Senkung einer Bohrung bringt auch Vorteile mit sich. Somit ist es möglich, Senkkopfschrauben so mit dem Werkstück zu verschrauben, dass diese an der Oberkante zum Werkstück bündig abschließen. Die jeweiligen Informationen über Tiefe und Breite der Bohrung lassen sich in den Bohrtabellen für Senkschrauben nach DIN 7991 sowie DIN-EN-ISO 10642 nachlesen.¹⁰



Abb.: 141 Senkkopfschraube M8x30 mit Innensechskant

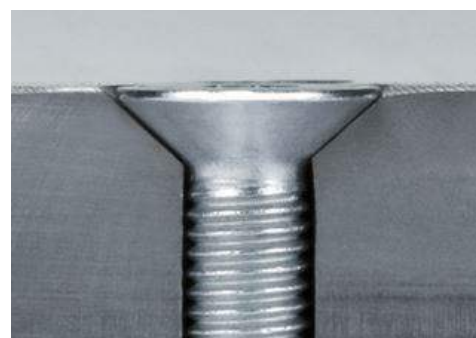


Abb.: 142 gesenkte Schraube in Metall

¹⁰ (schraube-mutter, kein Datum)

1.12.2.2 Gewinde

Gewinde in einem Werkstück (Innengewinde) werden verwendet, um eine Verbindung mit einer Schraube zu erschaffen. Dabei wird zuvor mit einem Bohrer die entsprechende Kernbohrung gebohrt und anschließend mit einem Gewindebohrer händisch oder mit einer Bohrmaschine das Gewinde geschnitten. Wichtig ist es, darauf zu achten, dass auch hier ausreichend Schmieröl verwendet wird. Durch die Verwendung von Öl lässt sich das aufzubringende Drehmoment verringern. Nach dem Ansetzen des Gewindebohrers werden einige Umdrehungen in die Einschraubrichtung getätigt. Danach wird der Gewindebohrer wieder um einige Umdrehungen gegen die Einschraubrichtung gedreht. Dies wiederholt sich bis zur gewünschten Tiefe des Gewindes.

„Das metrische ISO Gewinde ist nach den Gewindenormen DIN 13 bzw. der Normung nach DIN 13-1 für metrisches Feingewinde genormt. Dieses Gewinde nach ISO Norm ist ein weitverbreitetes sowie weltweit bekanntes und standardisiertes sowie genormtes Gewinde nach der Norm DIN 13.“¹¹

In der Tabelle sind die jeweiligen Kernbohrungen zu den jeweiligen, metrischen Gewinden aufgelistet. Diese Informationen sind auch im Tabellenbuch, sowie auf einer Schublehrer vorhanden.

Gewindegröße	Kernlochdurchmesser (mm)
M2,5	2,1
M3	2,5
M4	3,3
M5	4,2
M6	5,0
M7	6,0
M8	6,8
M9	7,8
M10	8,5
M12	10,2

Tabelle 1 Gewinde Kernlochdurchmesser



Abb.: 143 Gewindeschneider

¹¹ (schraube-mutter, kein Datum)

1.13 ITEM Profile

Das deutsche Unternehmen ITEM Industrietechnik GmbH, ist ein weltweiter Anbieter des MB Systembaukastens für industrielle Anwendungen im Maschinenbau-Bereich. Haberkorn GmbH, ein Händler für die Branche Hoch-Tiefbau, ist Partner von ITEM. Sie sponsorte uns für die Diplomarbeit einige Meter dieser ITEM Profile. ¹²

*Der MB Systembaukasten von item ist [...] für Maschinen und Anlagen jeder Größenordnung. Die Profile 8 sind dabei die weltweit am häufigsten eingesetzte Baureihe, sie sind leicht, robust, flexibel in der Anwendung und viele Jahre lang nutzbar.*¹³

Die sichtbare Oberfläche der Profile ist eine Naturfarbe. Die Profile wurden eloxiert, (= Behandlungsmethode durch elektromechanischen Prozess, um Oxidschicht auf das Aluminium zu bringen), um die Fläche des ITEM Profils vor Kratzer und Korrosion zu schützen.



Abb.: 144 Firmen Logo



Abb.: 145 Profil 8 Sortiment

¹² (Wikipedia, 2023)

¹³ (Haberkorn, kein Datum)

1.13.1 Verbaute Profile

Unsere Grundkonstruktion ungeteilt sich in folgende drei Hauptteile: den Rahmen, die Klappe und die Schnittfläche. Für unseren Aufbau nutzten wir die gesponsorten Profile der Baureihe sechs. Verbaut wurden 31 Stück 30x30 Profile mit einer Gesamtlänge von über 30 Metern, sowie 8 Stück 30x60 Profile mit einer Länge von 8,5 Metern. Dieser Aufbau mit ITEM-Profilen hat ein Gesamtgewicht von knapp 43kg.

In den folgenden Tabellen ist eine genaue Übersicht der verbauten Längen der Nut 6 Profile zu sehen. Diese Tabelle wurde auch benutzt, um die Profile für den Einbau auf die richtige Länge abzuschneiden.

Aluprofil 30 x 30

Stück	Bezeichnung	Länge in mm	Gesamt
6	Rahmen	1300	7800
3	Rahmen	1510	4530
4	Rahmen	1000	4000
1	Rahmen	130	130
1	Rahmen	240	240
3	Rahmen	940	2820
2	Schnittfläche	1000	2000
2	Schnittfläche	1060	2120
3	Klappe	250	750
3	Klappe	1040	3120
3	Klappe	1060	3180
<u>31</u>			<u>30 690 mm</u>

Tabelle 3 Profillängen

Aluprofil 30 x 60

Stück	Bezeichnung	Länge in mm	Gesamt
4	Rahmen	940	3760
1	Rahmen	1510	1510
3	Rahmen	1080	3240
<u>8</u>			<u>8 510 mm</u>



Tabelle 2 Zugeschnittene Profile



Abb.: 146 30x60 ITEM Profil

1.13.2 Technische Daten

ITEM unterscheidet die Profile in folgende Baumgruppen: Profil 5, 6, 8, 10 und 12. Dabei gibt der Wert Bescheid, wie breit die Nut im Profil ist. Die Grafik unterhalb zeigt einige Eigenschaften und Anwendungsbereiche dieser Baureihen. In den folgenden Punkten wird explizit nur auf die Baureihe 6 mit einer Nutöffnung von 6mm eingegangen.














Die Profilreihen im Vergleich	1 Rastermaß	2 max. Zugbelastung	5 geschlossene Nut
			
Profil 5 – Die Kompakten für die Feinarbeit  17  <ul style="list-style-type: none"> ▪ sehr kompakte Abmessungen ▪ für filigrane, stabile und flexible Anwendungen 	20 mm	500 N	ja
Profil 6 – Die leichte Alternative  21  <ul style="list-style-type: none"> ▪ die gewichtsoptimierte Profilbaureihe ▪ ideal für schlankes, robustes Design 	30 mm	1.750 N	ja
Profil 8 – Der Standard für Konstrukteure  27  <ul style="list-style-type: none"> ▪ das universelle und robuste Multitalent ▪ drei Ausführungen für belastungsoptimierte Konstruktion 	40 mm	5.000 N	ja
Profil 10 – Das Mehrwert-Profil mit erhöhter Tragkraft  47  <ul style="list-style-type: none"> ▪ die Baureihe für höher belastet Konstruktionen ▪ sicher gegen Vorspannungsverluste 	50 mm	7.000 N	nein
Profil 12 – Die Robusten für tragende Aufgaben  49  <ul style="list-style-type: none"> ▪ die stärkste Profilbaureihe des MB Systems ▪ für besonders stabile, hochbelastete Rahmenkonstruktionen 	60 mm	10.000 N	nein

Abb.: 147 Profilreihen im Vergleich

1.13.3 Nutensteine

Nutensteine sind eine schnelle und praktische Möglichkeit, um Verbindungen zwischen einem Bauteil und einem Profil zu erschaffen. Je nach Baureihe gibt es auch hier die unterschiedlichen Größen. Für die Verbindungen der Grundkonstruktion wurden Nut 6 Nutensteine mit einem M4 M5 sowie M6 Gewinde verwendet.

Nutensteine ermöglichen es, Anschraubpunkte am Profil ohne Bohren zu erschaffen. Somit ist es auch möglich, diese im Nachhinein schadensfrei zu entfernen. Diese Nutensteine werden in die Profilöffnung eingeschwenkt und pressen sich zuvor mithilfe einer Feder in das Profil. Durch eine Schraube, die in das Gewinde geschraubt wird, presst sich der Nutenstein gegen den Nutrahmen.

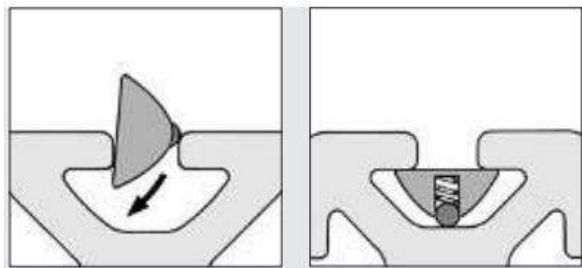


Abb.: 149 Anleitung zum Einsetzen des Nutensteins



Abb.: 148 Profil mit Nutenstein

Eine weitere Möglichkeit eine Verbindung zwischen zwei oder mehreren Profilen zu erschaffen ist das Arbeiten mit dem Standard-Verbindungssatz. Dieser Verbindungssatz ermöglicht es, Profile im 90 Grad Winkel zueinander zu fixieren. Hierbei wird jedoch eine Bohrung (a) im zu fixierenden Bauteil benötigt, um die Schraube die in die Stirnseite (b) des Profils zu schrauben. Beim Drehen der Schraube presst sich der Verbindungssatz gegen die Profilmutter und fixiert somit das Profil.

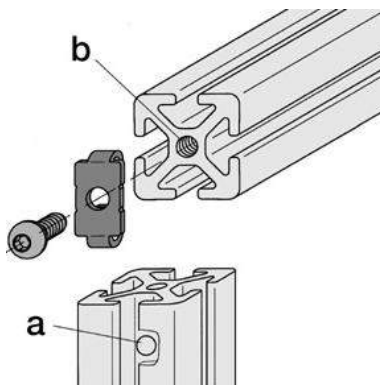


Abb.: 150 Anleitung zum Anbringen des Verbinders

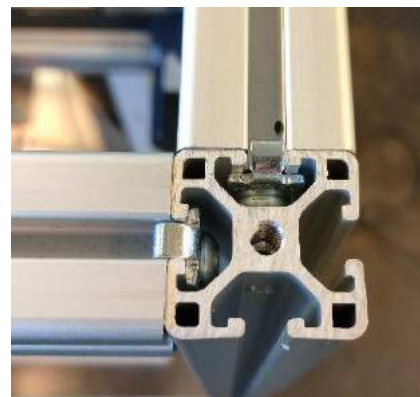


Abb.: 151 Standard-Verbindungssatz

1.14 Rahmen

Der Rahmen des Grundgerüsts hat die Aufgabe, für die folgenden Komponenten die Auflagefläche, sowie ein Fixierungspunkt zu sein. Mit seiner Größe von 1360mm x 1570mm und einer Höhe von 1000mm wurde er so konstruiert, dass er gerade noch so durch die Tür der Werkstatt passt. Zudem wird durch die Montage einer Verkleidung ein wesentlich höherer Schutz erzeugt, da der Laserstrahl nicht ungehindert entweichen kann und somit Schäden an Personen oder Objekten erzeugt. Das nachfolgende Bild zeigt den gebauten Grundrahmen des Lasers im Vergleich zum computererstellten Objekt.



Abb.: 153 Gezeichneter Rahmen



Abb.: 152 Gebauter Rahmen

Um den Rahmen besser manövrieren zu können, wurden an der Unterseite vier Lastenrollen verbaut. Diese ermöglichen es, den Laser in verschiedene Werkstätten zu versetzen. Ebenso wurde zu Beginn ein Boden aus Aluminiumblechen eingebaut, um tropfende Materialien aufzufangen.



Abb.: 154 Rahmen mit Rollen und Boden

1.14.1 X- und Y-Achsen

Die X, sowie auch die Y Achsen werden benutzt, um den Laser nach hinten und vorne, sowie nach rechts und links zu bewegen. Die Bewegung der Achse wird über Schrittmotoren erzeugt, die ihre Drehbewegung über Riemen an die Befestigungspunkte der Achse weitergeben. Genauere Informationen zu den verwendeten Motoren werden im Punkt „Elektronische Hardware“ erläutert. Durch eine Fixierung mithilfe von 3D-gedruckten Bauteilen, die an den Laserachsen verschraubt ist, wird diese Drehbewegung von den Motoren zu einer linearen Bewegung. Um die Achse geradlinig zu bewegen, wurden Linearführungen verbaut, die die Achse mithilfe von Blockwagen gleiten lassen. Die Hauptbestandteile der Achsen werden in den nächsten Punkten genauer erklärt.

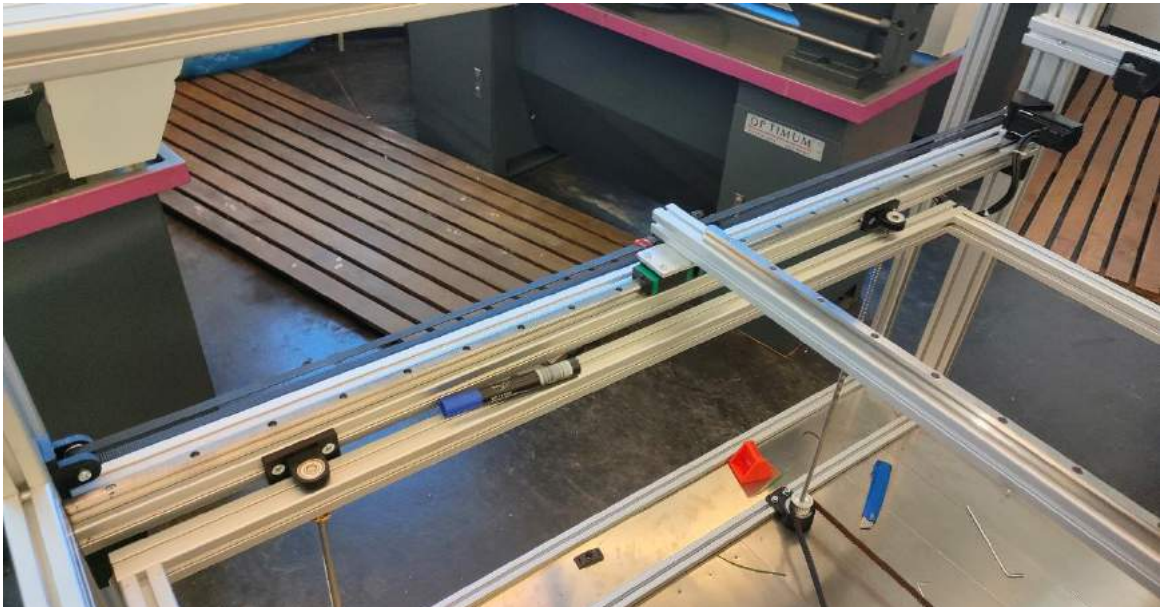


Abb.: 155 Linearführungen mit Blockwagen

1.14.1.1 Linearführung

Um eine geradlinige Bewegung der X und Y-Achsen zu gewährleisten, wurden insgesamt drei Führungen mit einer Breite von 15mm aus Edelstahl verbaut. Über ihre Länge auf der Y-Achse gleiten jeweils links und rechts zwei Lagerblockwagen, die fix miteinander verbunden sind. Auf der Oberseite dieser Blockwagen ist ein weiteres ITEM-Profil mit einer Länge von 1200mm mit einer Aluminiumplatte verschraubt, um eine Auflagefläche für die X-Achsenführung zu erschaffen. Über dieser Führung gleitet ein weiterer Blockwagen, der den Laserkopf nach links und rechts bewegt.

Diese Linienführungen von CNCMANS HGR15 wurden mit Nutensteinen am Trägerprofil der X und Y-Achse verschraubt. Die darauf gleitenden Blockwagen werden über kleine Stahlkugeln geführt, somit ist es wichtig, eine ausreichend gute Schmierung zu gewährleisten, da sie ansonsten die Oberfläche der Führung beschädigen würden.

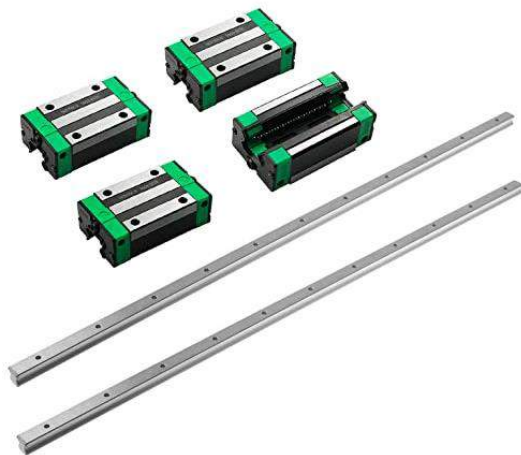


Abb.: 156 Linearführung mit Blockwagen

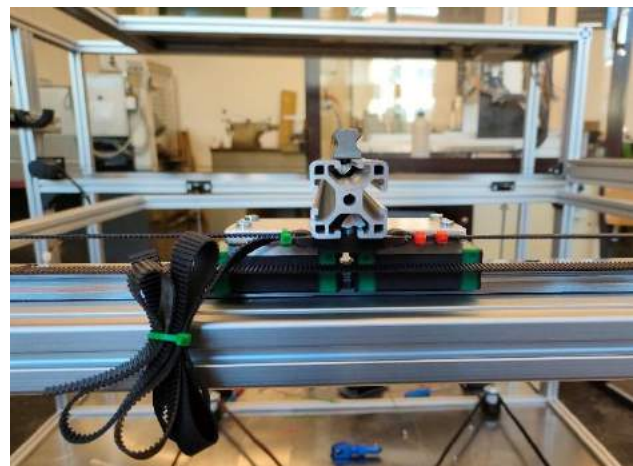


Abb.: 157 Einbau der Führungen

1.14.2 Z-Achse

Die Z-Achse ermöglicht es, Objekte mit einer Höhe zu bearbeiten. Somit wird bei einem hohen Werkstück die Schnittfläche hinunter und bei einem flachen nach oben gefahren, sodass der Abstand zwischen Laserspitze und Werkstück immer derselbe ist. Die Z-Achse wird ebenso mit zwei Stepper-Motoren betrieben. Diese Motoren drehen mit ihrer Drehbewegung über einen Zahnriemen die vier verbauten Gewindestangen an. Durch dieses Drehen der Gewindestangen bewegt sich die Schnittfläche bis zu 500mm hinab. Da es aus technischer Sicht unnötig wäre, vier Motoren zu verbauen, sprich für jede Gewindestange einen, sind jeweils zwei Gewindestangen mit einem Motor über einen breiten Zahnriemen verbunden. Um den Riemen zu spannen, wurden 3D-gedruckte Spannrollen mit Langlöchern in den Boden verbaut, die es ermöglichen, den Riemen um einige Zentimeter zu spannen. Da ein Stepper-Motor nicht die ausreichende Kraft besitzt, die Gewindestangen zu drehen, musste eine Übersetzung eingebaut werden. Diese Übersetzung übersetzt die hohe Drehzahl zu einer niedrigeren, dadurch steigt die Kraft des Motors proportional an.

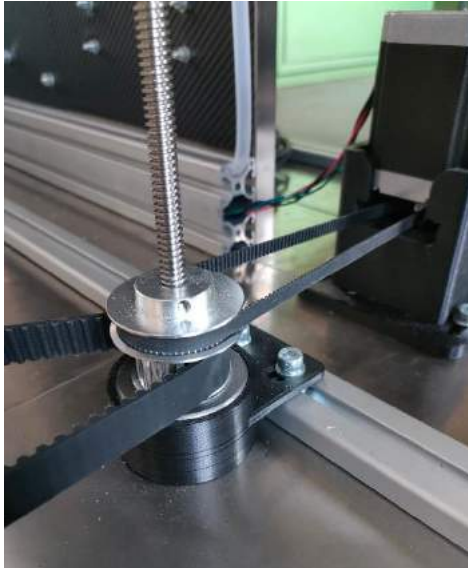


Abb.: 159 Übersetzung der Z-Achse



Abb.: 158 Spannrolle

1.14.3 Laserspiegel

Die drei Spiegel des Lasers werden verwendet, um den Strahl, der in der CO₂-Röhre erzeugt wird, gezielt zur Schnittstelle leiten zu können. Dabei spielt das Reflexionsgesetz eine wichtige Rolle.

„Das Reflexionsgesetz besagt: Der einfallende Strahl, das Einfallslot und der reflektierte Strahl liegen in einer Ebene. Der Einfallswinkel und der Ausfallswinkel sind gleich groß.“¹⁴

Durch diese Phänomen lässt sich der Laserstrahl sehr einfach über die Spiegel zur gewünschten Stelle leiten. Hierfür werden die Spiegel im 45 Grad Winkel zum Laser ausgerichtet, um beim Austrittswinkel ebenso 45 Grad zu erhalten. Das Bild unterhalb zeigt die Ausrichtung der Spiegel, um den Laserstrahl zum Laserkopf führen zu können.

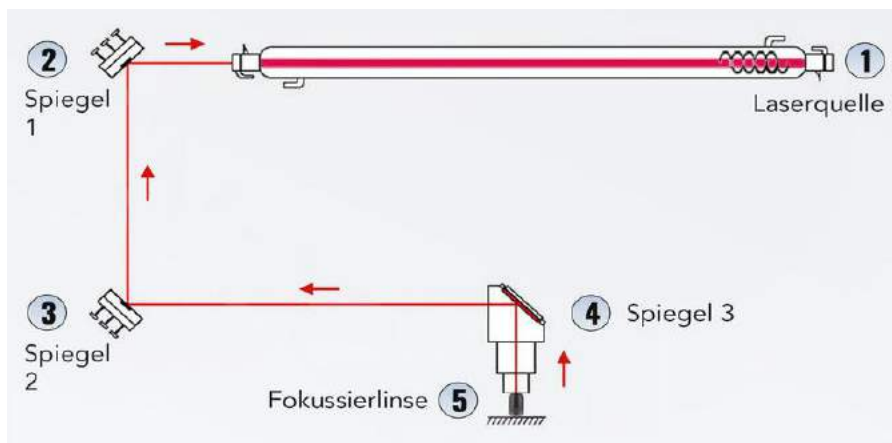


Abb.: 160 Spiegelanordnung

Im dritten Spiegel wird eine Fokussierlinse eingesetzt, um den Laserstrahl zu bündeln. Aus diesem Grund ist es wichtig, immer den gleichen Abstand zwischen Werkstück und der Linse zu besitzen, da der Laserstrahl nur in einem kleinen Bereich seine Präzision aufweisen kann.

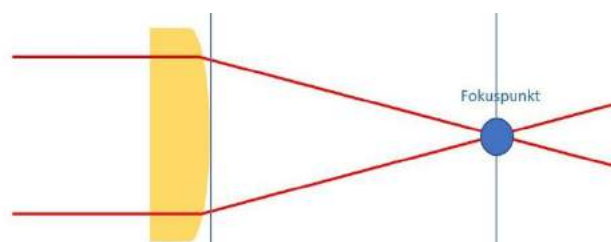


Abb.: 161 Fokuspunkt der Linse

¹⁴ (Joachim Herz Stiftung, 2023)

Jeder Spiegel besitzt Stellschrauben, die genutzt werden können, um den Spiegel im richtigen Winkel auszurichten. Um die Spiegel einzustellen, werden immer wieder Testschüsse abgegeben, um zu sehen, wie weit entfernt der Laser seinen Strahl schießt. Begonnen wird bei dem ersten Spiegel, bis zum Schluss der dritte Spiegel justiert wird. Bei diesen Testschüssen ist es wichtig, entsprechende Sicherheitsvorkehrungen zu treffen. Somit sollte eine geeignete CO₂-Laser-Schutzbrille getragen werden. Auch eine Schweißer-Schutzbrille kann einen Schutz für die Augen bieten.

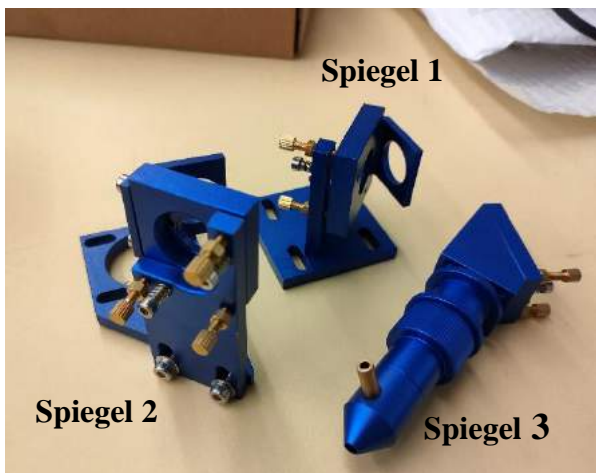


Abb.: 162 CO₂ Laser Spiegelhalter mit Stellschrauben



Abb.: 163 CO₂ Laserspiegel

Wie oben schon erwähnt, ist dies wichtig, da der Eintrittswinkel gleich dem Austrittswinkel ist. Im folgenden Bild wird mit einer grünen Linie dargestellt, wie sich der Laserstrahl verhält, wenn der Spiegel nicht optimal ausgerichtet ist. Ist der erste Spiegel um 0,5 Grad falsch ausgerichtet, wird der Laserstrahl in einer Entfernung von einem Meter um 8,72mm versetzt sein.

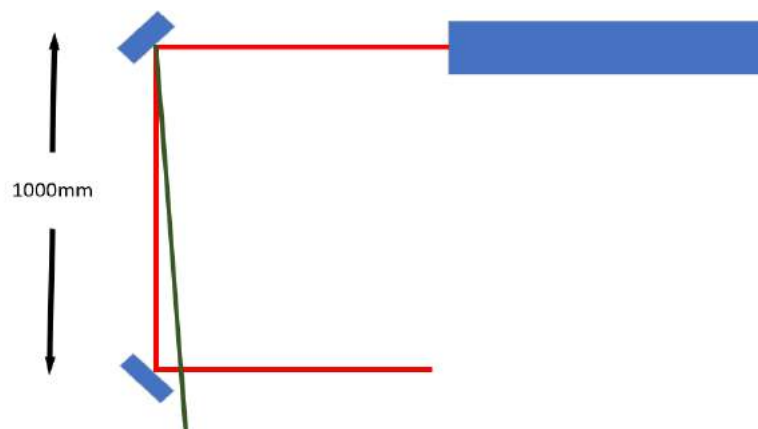


Abb.: 164 Falsche Spiegeleinstellung

1.15 Klappe

Die Klappe des CO2-Lasers hat zum einem die Aufgabe, Benutzer des Lasers vor dem hellen Licht zu schützen. Ähnlich wie beim Schweißen kann das Licht des Lasers die Augen blenden. Zum anderen verhindert die Abdeckung das Austreten von Rauch, der beim Schneiden von Holz, Kunststoff oder anderen Materialien entsteht. Somit wird die Verkleidung der Klappe mit einem 50% lichtdurchlässigen Acrylglas verkleidet, um dennoch zu sehen, wie der Laser das Werkstück bearbeitet. Das Foto unterhalb zeigt ein CAD-Modell mit einem eingebauten Acrylglas.

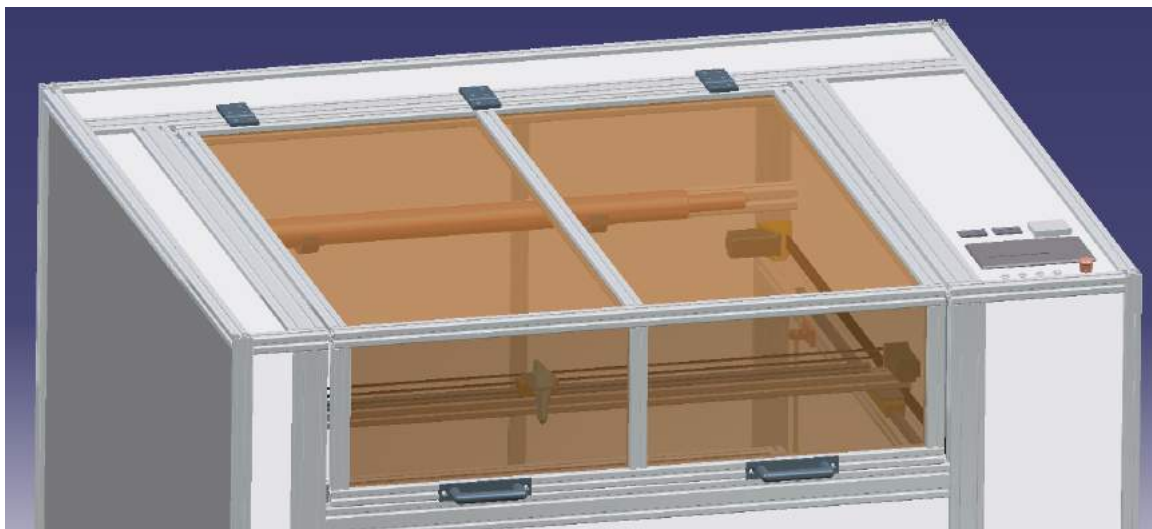


Abb.: 165 CAD-Modell mit Abdeckung

1.15.1 Scharniere

Um die Abdeckung des Lasers dennoch öffnen zu können, sind an der Hinterseite der Klappe drei 3D-gedruckte Scharniere aus PLA verbaut. Dabei funktioniert eine M5 Schraube als Bolzen für die beiden beweglichen Teile.



Abb.: 166 Scharnier

1.15.2 Gasdruckfeder

Um die Abdeckung nicht dauerhaft offenhalten zu müssen, ist auf der linken, sowie auch auf der rechten Seite eine Gasdruckfeder mit 120N angebracht (120N bedeutet 12kg Gewicht sind notwendig, um die Feder einfahren zu lassen). Somit bleibt die Abdeckung des Lasers offen. Durch einen Endschalter an der Hinterseite wird verhindert, dass mit offener Klappe der Laser gestartet werden kann.

Eine Gasdruckfeder besitzt im wesentlichen Sinn keine Feder im inneren des Gehäuses. Der vorhandene Stickstoff im inneren des Zylinders wird beim Einfahren der Kolbenstange stark komprimiert. Diese Kraft, die dabei entsteht, verhält sich wie eine Feder.



Abb.: 167 Abdeckung mit Gasdruckfedern



Abb.: 168 Gasdruckfeder 120N

1.16 Schnittfläche

Die Schnittfläche des CO₂-Lasers besteht aus einem Rahmen mit ITEM 30x30 Profilen. Sie bietet in Kombination mit einem warben Mustereinsatz die perfekte Auflagefläche für Werkstücke. Die durchdrungenen Laserstrahlen richten keinen Schaden am Boden des Lasers an, da der Brennpunkt durch die Linse nur einige Millimeter unterhalb des Laserkopfs wirksam ist.



Abb.: 169 Warbenblech

Elektronische Hardware

1.17 Achsen

1.17.1 X-Achse

1.17.1.1 Motordriver

Im Allgemeinen sind Schrittmotortreiber Chips, um z.B. Schrittmotoren eines CO2-Laserschneiders zu bewegen. Es sind wichtige und essenzielle Bauelemente, die Geschwindigkeit, Kraft, Präzision, Temperatur und Stromverbrauch eines CO2-Laserschneiders bestimmen können.

Sie ermöglichen exakte und schnelle Positionsänderungen der Schrittmotoren. Meist sind Magneten auf der Achse, welche von Magnetspulen umhüllt sind.¹⁵

Um den Schrittmotor der X-Achse anzusteuern, wird ein T42-Stepper-Servo-Driver verwendet. Dieser besitzt eine hohe Präzision und verfügt über 16 Arten von Mikroschritten, wobei die maximale Schrittzahl ungefähr 40000 Schritte beträgt. Der Motor kann dadurch Geräuscharm und Vibrationsarm fahren.

Dieser Schrittmotorentreiber T42 kann fast alle Nema 17 Motoren ansteuern, deren Nennstrom unter 2,8 A liegt. Verwendet werden sie in der Regel im Zusammenbau von 3D-Druckern, CO2-Laserschneidern und vielem mehr.

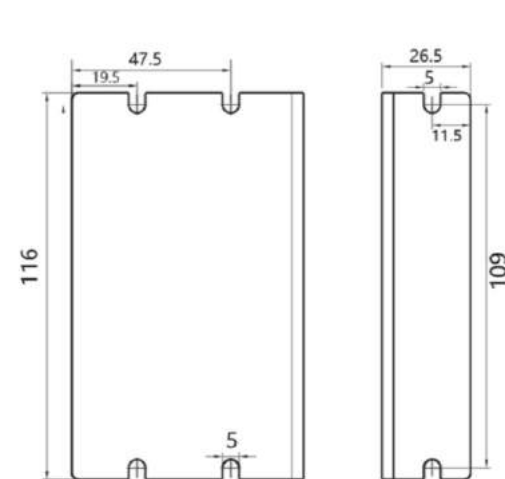


Abb.: 171 Gesamtmaßung

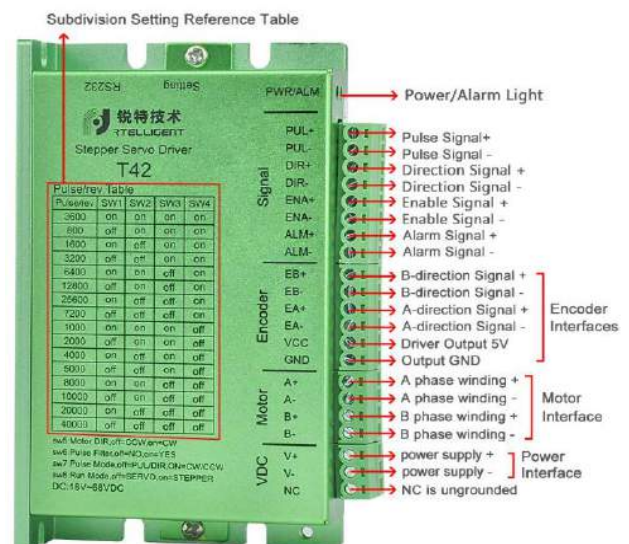


Abb.: 170 Stepper Servo Driver T42

¹⁵ (Filamentpreis.de, kein Datum)

DIP-Schalter und Betriebsparameter:

SW1, SW2, SW3, SW4 sind dazu da, um die Anzahl der Impulse, die pro Motorumdrehung benötigt werden, einzustellen.

SW5= für die Einstellung der Laufrichtung des Motors am Anfangsimpuls

SW6= für die Einstellung der Impulsfilterfunktion des Antriebs

SW7= für die Einstellung des Impulsbefehlsmodus der Antriebe

SW8= für die Einstellung des Antriebssteuerungsmodus ¹⁶

1.17.1.2 Motor

Für einen Antrieb zur Bewegung der X-Achse wird ein Nema 17 Schrittmotor mit 1.5A und 12V verwendet. Der Einsatzbereich von Schrittmotoren befindet sich meist in den Bereichen der Automatisierungstechnik im Zusammenhang mit Gravierlasern, 3D-Druckern, Fräsen und CO2-Laserschneidern. Schrittmotoren werden vor allem dort eingesetzt, wo eine sehr präzise Bewegungskontrolle erforderlich ist.

Nema 17 Schrittmotoren sind Hochdrehmomentschrittmotoren und können Drehzahlen bis zu 3000 U/min erreichen.

Für die X-Achse wird ein Schrittmotor verwendet, welcher mit 12V und einem Strom von 1,5A betrieben wird. Das Haltemoment beträgt 45 Ncm. Der Schrittmotor besteht aus Metall, einem Gewicht und erzeugt eine Geschwindigkeit von ungefähr 1550 Umdrehungen pro Minute.

Vorteile:

- stabile und zuverlässige Leistung
- wenig Lärm
- sicher zu verpacken ¹⁷



Abb.: 172 Nema 17 Schrittmotor

¹⁶ (Amazon, kein Datum)

¹⁷ (Amazon, kein Datum)

Elektrische Spezifikation

Hersteller-Teilenummer	17HS15-1504S-X1	Strom/Phase	1.50A
Motorentyp	Bipolar Stepper	Widerstand/Phase	2.3ohms
Schrittwinkel	1.8 deg	Induktivität	4.4mH \pm 20%(1KHz)
Haltemoment	45Ncm(63.74oz.in)	Antriebsspannung	12-24V

Abb.: 173 Elektrische Spezifikation

Schrittmotor Abmessungen

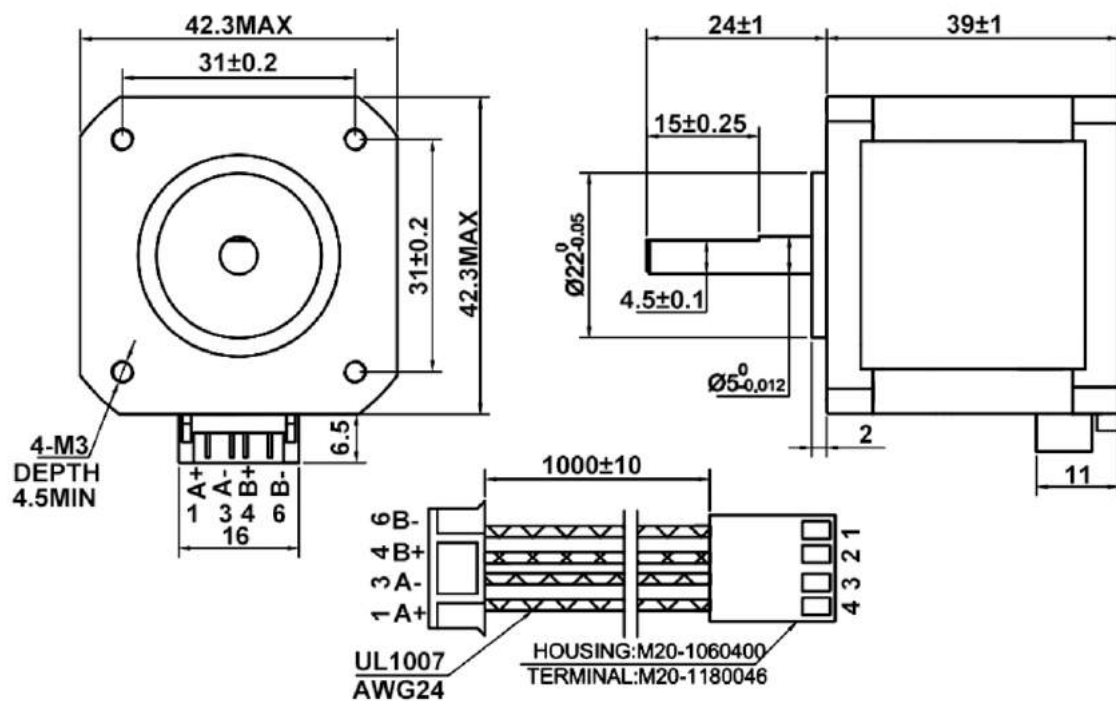


Abb.: 174 Abmessungen Schrittmotor

1.17.2 Y-Achse

1.17.2.1 Motordriver

Sowohl bei der X-Achse als auch bei der Y-Achse wird ein Stepper-Servo-Driver-T42 eingebaut. Zumal an der Y-Achse zwei Motoren angebracht sind, werden auch zwei Schrittmotortreiber benötigt.

1.17.2.2 Motor

Am CO2-Laserschneider werden zwei Rteelligent Nema 17 Schrittmotoren eingebaut. Diese benötigen einen Betriebsstrom von 2.8A, besitzen einen Schrittwinkel von 1.8 Grad, einen Moment von 0.8 Nm und ein Gewicht von 0.65 kg.

Dieser Schrittmotor ist in der Lage seine Geschwindigkeit und Position genau anzusteuern und zeichnet sich dadurch aus, indem er geräusch- und vibrationsarm funktioniert.

Seine Verwendung findet dieser in den Bereichen der Automatisierungstechnik und wird in Projekten wie z.B. in einen 3D-Drucker, CO2-Laserschneider oder CNC-Maschinen verwendet.

Der Motor ist mit 2 Leitungen versehen, eine davon ist die Geberleitung und die zweite eine Stromleitung.

Geberleitung:

- GND: Blau
- VCC: Rot
- EA+: Braun
- EA-: Weiß
- EB+: Grün
- EB-: Gelb

Stromleitung:

- A+: Rot
- A-: Schwarz
- B+: Gelb
- B-: Blau ¹⁸



Abb.: 175 Rteelligent Schrittmotor Nema 17

¹⁸ (Amazon, kein Datum)

Technische Spezifikation

Phasen Nummer	2 Phasen	Anzahl der Blei	4
Schrittwinkel	1.8 Grad	Rotorträgheit	115 g · cm ²
Drehmoment halten	0.8 NM	Wellendurchmesser	8mm
Nennstrom	2.8 A	Motor körperlänge	85 mm
Phasen Induktivität	2.3 mH	Encoder Auflösung	1000
Phasenwiderstand	2.7 Ohm		

Abb.: 177 Technische Spezifikation

Gesamtabmessung (mm)

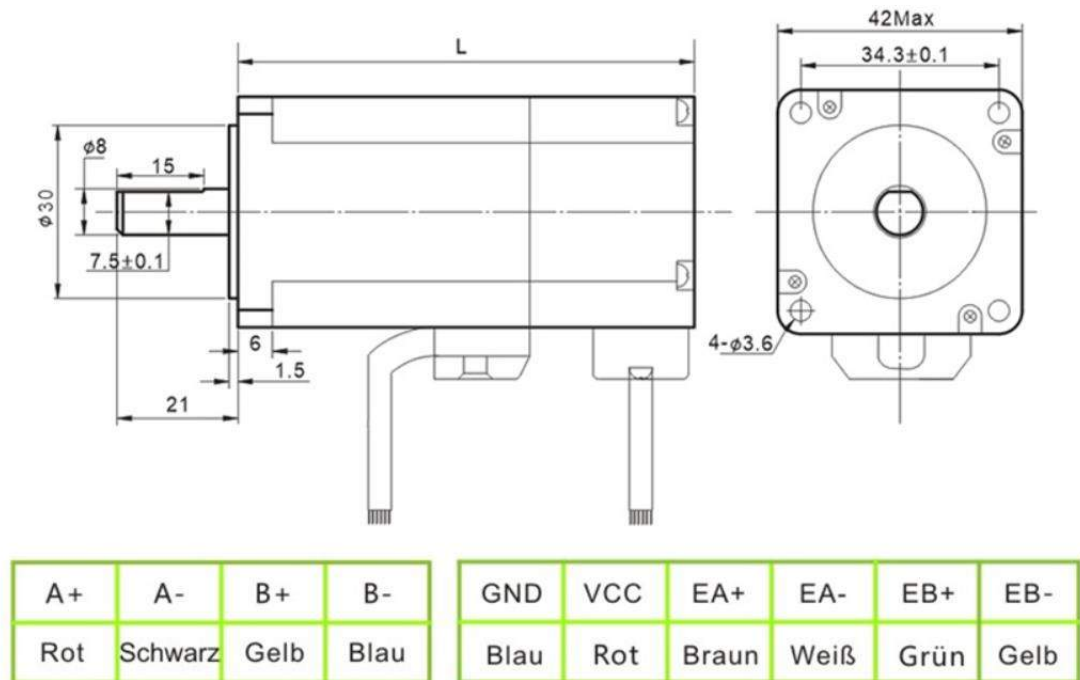


Abb.: 176 Gesamtabmessung

1.17.3 Z-Achse

1.17.3.1 Motordriver

Der sogenannte Microstep Driver DM542 wird für die Z-Achse benötigt. Von diesem Treiber werden zwei gebraucht, da die Z-Achse mit zwei Motoren bewegt wird. Positive Eigenschaften des Treibers sind die schnelle Inbetriebnahme und seine Schutzfunktion gegenüber Überspannung und Überstrom. Die LED hat die Funktion der Fehlerbehebung und besitzt ebenfalls eine schnelle Wärmeableitung.

Er zeichnet sich mit seiner hohen Präzision der Positionierung aus und besitzt eine breite Anwendung in automatischen Geräten wie 3D-Druckern, CO2-Laserschneidern, Textilmaschinen und Patch-Maschinen.

Die Platzierung des Treibers darf nicht innerhalb einer Umgebung von Staub, brennbaren Gasen, Ölflecken oder von einer hohen Luftfeuchtigkeit, stattfinden. Da der Microstep Driver automatisch die Positionsabweichung, die Last des Stromes und den Temperaturanstieg des Motors einstellen kann, gilt dieser Treiber als äußerst intelligent.¹⁹

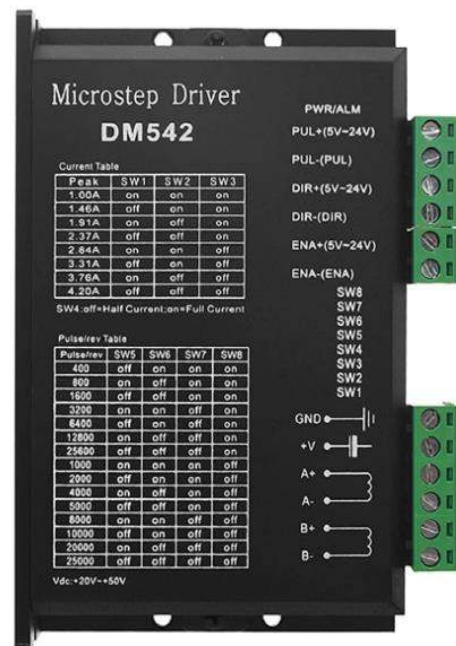


Abb.: 178 Microstep Driver DM542

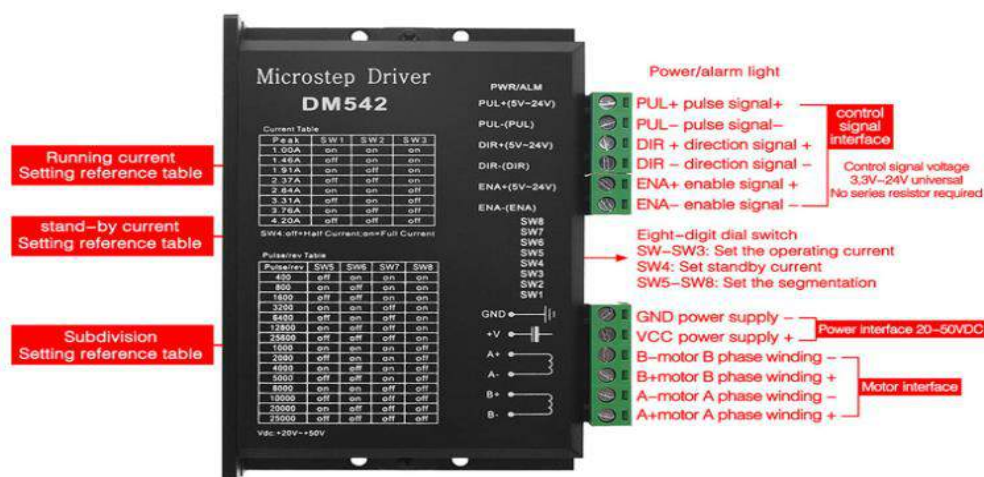


Abb.: 179 Microstep Driver Anschlüsse

¹⁹ (Amazon, kein Datum)

1.17.3.2 Motor

Um die Z-Achse in Bewegung zu bringen, werden zwei Nema 23 Schrittmotoren eingebaut, da die Schnittfläche und ITEM-Profile ein höheres Gewicht besitzen. Der Motor hat ein sehr hohes Drehmoment und eine hohe Kostenleistung. Er benötigt eine Nennspannung von 3,2V, einen Nennstrom von 2,8A und fährt mit einer Geschwindigkeit von bis zu 200 Umdrehungen pro Minute.

Sein Gewicht beträgt 1,04 kg und das Haltemoment liegt bei 1,9 Nm. Der Typ des Motors wird als bipolar bezeichnet und hat einen Schrittwinkel von 1.8 Grad.²⁰

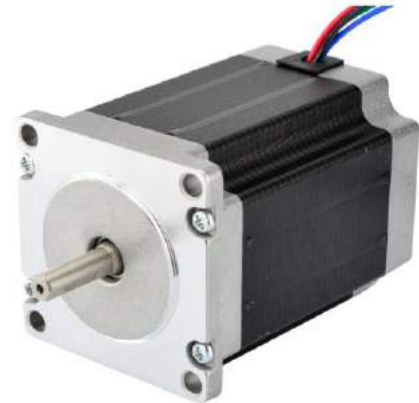


Abb.: 180 Nema 23 Schrittmotor

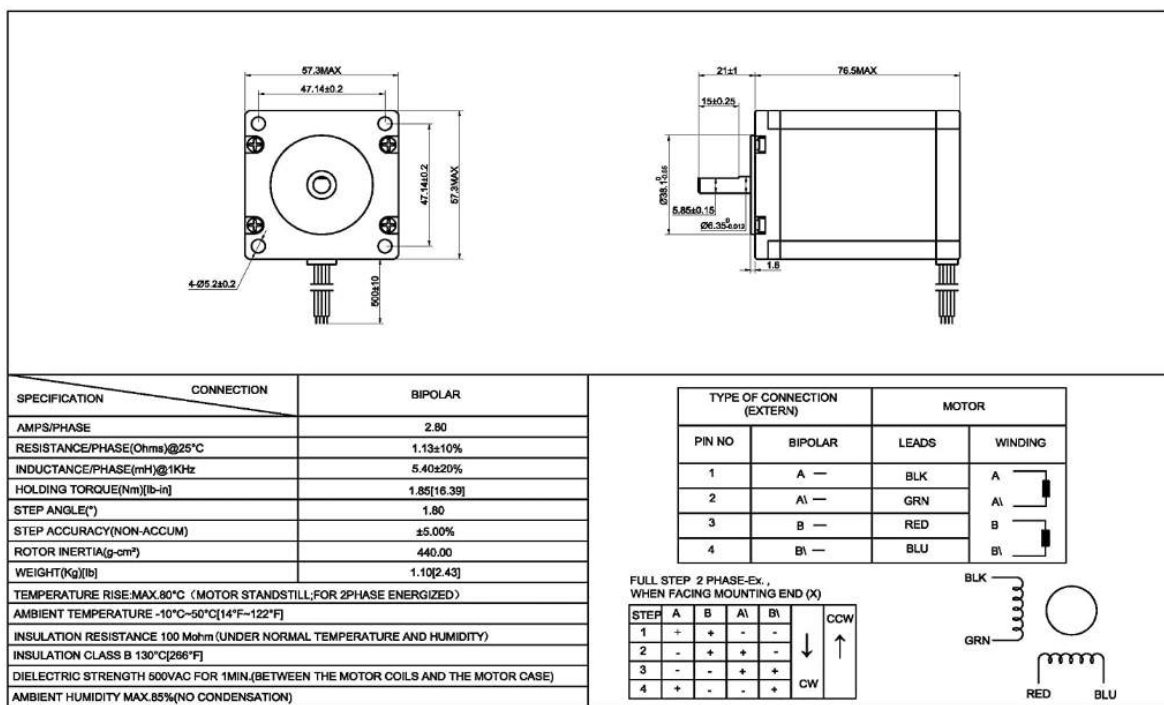


Abb.: 181 Datenblatt

²⁰ (Amazon, kein Datum)

1.18 Mikroschalter

Mikroschalter, auch Endschalter genannt, sind Schaltelemente und zeichnen sich dadurch aus, dass der Abstand nur 3 Millimeter zwischen den Kontakten im geöffneten Zustand beträgt. Sie werden in den Bereichen der professionellen und industriellen Anwendung eingesetzt. Die Funktion eines Mikroschalters besteht darin einen Verbraucher ein- und auszuschalten, oder oft auch um einen Stromkreis automatisch zu schließen.

Um die Stromzufuhr zu unterbrechen ist lediglich eine geringe physikalische Kraft notwendig. Somit ist die Verwendung von Mikroschaltern eine gute Möglichkeit, um geringe Druckunterschiede bei Luft und Gas zu messen.

Der Aufbau eines Mikroschalters beinhaltet drei Verbindungspunkte, C (Common), N/O (Normally Open) und N/C (Normally Closed). Zwei Schaltfunktionen stehen hierbei zur Verfügung. An erster Stelle steht die Schaltfunktion C + N/O oder C + N/C. Von einem Öffner spricht man, wenn der Schalter beim Betätigen geöffnet wird. Im Falle eines Schließers wird der Kontakt beim Schaltvorgang geschlossen. Bei Wechselschaltern wird N/C oder N/O, also einer der beiden Verbindungspunkte, immer mit Strom versorgt.²¹



Abb.: 183 Mikroschalter

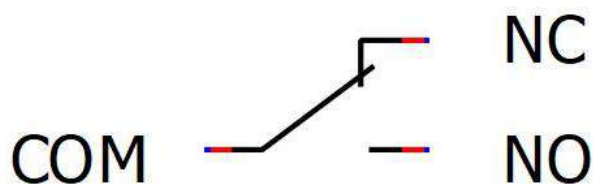


Abb.: 182 Mikroschalter Kontakte

²¹ (Adlers electronic GmbH, kein Datum)

1.19 Schaltflächen

1.19.1 Not-Aus-Schalter

Der Not-Aus-Schalter muss nach Betätigung verriegelt werden und kann nur durch Drehen des Schalters, Herausziehen oder mit einem Schlüssel, je nach erforderlicher Sicherheitsstufe, wieder in seine ursprüngliche Position zurückversetzt werden. Er muss so positioniert werden, sodass er im Notfall vom Maschinen- oder Anlagenbediener unmittelbar betätigt werden kann.

Im Allgemeinen werden Not-Aus-Schalter eingesetzt, um unwillkürliche Anforderungen und Zuverlässigkeiten zu erfüllen, wodurch die Maschine nach dem Entriegeln nicht automatisch wieder anlaufen kann. Abhängig von den technischen Bedingungen, werden Not-Aus-Schaltungen in Stopp-Kategorien eingeteilt.

Stopp-Kategorie-0:

Die Energiezufuhr zu den Antriebselementen wird augenblicklich getrennt (nur klug, wenn das abrupte Abschalten der Versorgung keine Gefährdung darstellt).

Stopp-Kategorie-1:

Bevor die Energie endgültig getrennt wird, wird die Maschine in den sicheren Zustand versetzt. Dies ist nur sinnvoll, wenn Klemmungen, Bremsen oder andere Bauelemente Energie brauchen.

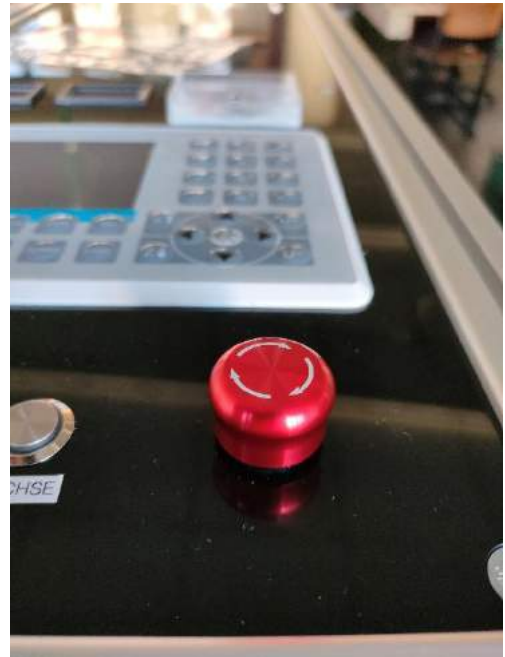


Abb.: 184 Not-Aus-Schalter

Stopp-Kategorie-2:

Die Energie wird nicht getrennt, jedoch wird die Maschine in den sicheren Zustand versetzt. Diese Kategorie soll genutzt werden, wenn es nicht möglich ist, die Energie gefahrlos zu trennen. Zum Beispiel würde das Abschalten der Spannung am Magnet bei einem Kran, mit Lasthebemagnet, zum Absturz der Last führen.²²

²² (wikipedia, wikipedia.org, 2023)

1.19.2 LED-Schalter

Ein LED-Druckschalter ist ein elektronisches Bauteil, das einen Schaltkontakt und eine LED in einem Gehäuse vereint. Der Schalter besitzt normalerweise zwei Stellungen: EIN und AUS. Wenn dieser gedrückt wird, wechselt der Schalterzustand.

Ein LED-Druckschalter funktioniert in der Regel wie folgt: Wenn der Schalter nicht gedrückt wird, ist der Stromkreis unterbrochen und die LED leuchtet nicht. Wenn der Schalter gedrückt wird, schließt sich der Stromkreis und die LED beginnt zu leuchten.



Abb.: 185 LED-Schalter

Der Schaltkontakt im Schalter ist im Allgemeinen ein Kontakt, der beim Drücken des Schalters geschlossen wird, um den Stromkreis zu schließen. Die LED ist normalerweise in Reihe mit einem Vorwiderstand geschaltet, um sicherzustellen, dass die Stromstärke durch die LED begrenzt wird und diese nicht durchbrennt. Der Vorwiderstand wird so ausgewählt, dass er die richtige Stromstärke für die LED bereitstellt und die Lebensdauer der LED verlängert.

LED-Druckschalter finden in vielen Bereichen Anwendung, wie z.B. als Schalter in der Elektronik und in der Sicherheitstechnik. Sie können auch in industriellen Anwendungsbereichen eingesetzt werden, um Maschinen und Systeme zu steuern, wie z.B. einen CO₂-Laserschneider.

Die Schalter, die in den Schneider eingebaut werden, sind dazu da, um die Z-Achsen ein- und auszuschalten, die Aquariumpumpe zu aktivieren, als auch die Laserröhre und den Kolbenkompressor mit Strom und Spannung zu versorgen.²³



Abb.: 186 Schalter die eingebaut wurden

²³ (wikipedia, de.wikipedia.org, 2023)

1.20 Laserröhre

1.20.1 Aufbau

Die CO₂-Laserröhre besteht aus einem mit Glas gefüllten Resonator. Mit diesem Glas werden hohe Strahlungsleistungen erzeugt. Durch sogenannte Hochspannungselektroden wird das Gas üblicherweise angeregt. Auf beiden Seiten des Resonators befindet sich eine Elektrode.

Da die Laserröhre zu schwer ist, um sie direkt auf der X-Achse zu befestigen, müssen drei Spiegel zur Umlenkung des Lasers verwendet werden. Diese Spiegel leiten den Hochleistungsstrahl zum Werkstück. Am letzten Spiegel befindet sich ein Schneidkopf, dieses Bauteil ist mit einer Sammellinse ausgestattet, um den Laserstrahl zu bündeln.

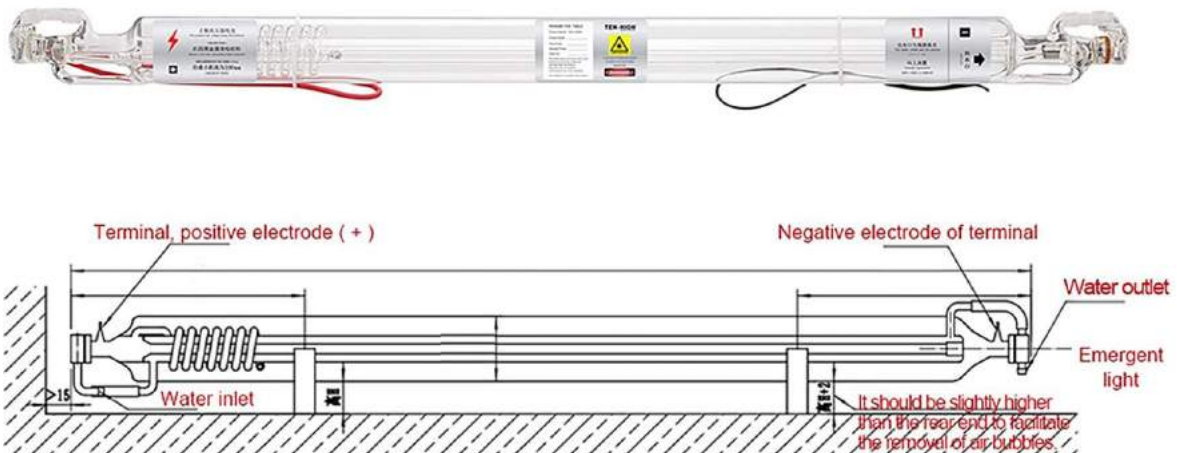


Abb.: 187 Installationsdiagramm

Grundsätzlich unterscheidet man CO₂-Laser in vier verschiedenen Typen:

- **Längs- und quergeströmter Laser:**

Dieser Lasertyp hat eine hohe Ausgangsleistung und eine simple Bauform.

Durch Verwendung einer Vakuumpumpe wird ein Gasmischung, durch die Entladungsröhre, gesaugt.

- **Abgeschlossener Laser:**

Bei einer abgeschlossenen Laserröhre wird das Gasmischung nicht mit Hilfe einer Pumpe ausgetauscht, sondern es wird Wasserdampf, Wasserstoff und Sauerstoff zum Gasmischung gegeben.

- **TEA-Laser:**

Die Verwendung eines TEA-Lasers findet meist statt, wenn hohe Gasdrücke bis zu einem bar bei Pulsdauern bis zu 100 ns vorhanden sind. Mit dieser Bauform werden Lichtbögen vermieden. Deren Einsatzbereiche liegen in der Industrie und der Wissenschaft.

- **Wellenleiterlaser:**

Der Wellenleiterlaser verfügt über einen quadratförmigen Laser und über zwei Elektroden. Der quadratförmige Resonator hat im Vergleich zum Volumen eine sehr große Oberfläche, dadurch kann Verlustwärme einfacher abtransportiert werden.

1.20.2 Funktion

CO₂-Laser arbeiten mit einem Gemisch aus Helium, Kohlendioxid und Stickstoff. Dieses Gemisch wird als Lasermedium verwendet. Durch Anregung der Kohlendioxid-Moleküle, mit Hilfe der Elektroden, wird ein Laserstrahl ausgegeben. Für diese Art von CO₂-Laser gibt es zahlreiche Anwendungsbereiche in der Industrie und der Wissenschaft.

Damit eine Anregung der Moleküle besteht, muss eine Hohe Gleichspannung oder eine Hochfrequenz-Wechselspannung vorliegen. Die Kohlendioxid-Moleküle haben unterschiedliche Schwingungsformen mit verschiedenen Energieniveaus. Wird ein angeregtes Molekül von einem Infrarot-Photon getroffen, wird Energie als Photon freigesetzt. Bezeichnet wird dieser Vorgang als stimulierende Emission. Wenn genügend CO₂-Moleküle vorhanden sind, steigt die Anzahl der Photonen exponentiell an. Um das zu erreichen, muss mit Hilfe von zwei Spiegeln die Strahlung durch das Lasermedium gelenkt werden. Mit einer großen Anzahl an Photonen wird ein Laserstrahl erzeugt, der ein unfassbar präzises Schneiden ermöglicht.

In der Regel arbeitet der Gas-Laser mit Verdampfung, oftmals wird im Scheidekopf ein Gas zugeführt, meist Sauerstoff, das den Schneideprozess durch Oxidation unterstützt. Minimiert kann der Oxidationsprozess durch Zuführung von den Gasen, Stickstoff und Argon, werden.

Fokuspunkt nennt sich der Punkt, an dem der Strahl des Lasers auf das Werkstück trifft. An diesem Punkt entstehen Temperaturen, die über der Verdampfungstemperatur liegen.²⁴

²⁴ (MrBeam, 2022)

1.21 Wasserpumpe

Mit einer Aquariumpumpe wird die Laserröhre des CO₂-Laserschneiders gekühlt. Dieser Vorgang geschieht mit Hilfe von zwei Schläuchen. Das Wasser wird in die Röhre mit einem Schlauch gepumpt und mit dem zweiten Schlauch wird das Wasser in den Eimer abgepumpt, dadurch besteht ein durchgehender Kühlungsprozess.

Eigenschaften der Wasserpumpe sind:

- **Ultraleise:**

Mit einem langlebigen und zuverlässigen Motor herrscht kein Lärm, da dieser sehr leise ist und eine ruhige Umgebung bietet. Diese Pumpe verfügt über drei verschiedene Düsen (8mm-9,5mm-13mm).

- **Leicht zu reinigen und leicht zu abnehmen:**

Da die Aquariumpumpe nicht sonderlich groß ist, kann sie leicht verkleidet oder versteckt werden.

- **Steuerung der Wasserdurchflussmenge:**

Der gewünschte Wasserdruck kann durch Betätigen eines einstellbaren Knopfes, zur Steuerung der Wasserdurchflussmenge, geregelt werden.

- **Große Anzahl an Anwendungsbereichen:**

Diese Wasserpumpe eignet sich für verschiedene Anwendungsbereiche, wie z.B. als eine Aquariumpumpe für einen Teich, sowohl auch als Kühlung einer Laserröhre. ²⁵



Abb.: 188 Aquariumpumpe

²⁵ (amazon, kein Datum)

1.22 Kompressor

1.22.1 Aufbau

Der Motor ist der Hauptbestandteil eines Kompressors und treibt den Verdichter an. Obwohl der Verdichter nur ein Teil des Kompressors ist, wird er oft fälschlicherweise als Kompressor bezeichnet.

Die vom Kompressor komprimierte Luft wird nicht direkt ausgestoßen, sondern in einen Druckbehälter gepumpt. Diese Eigenschaft unterscheidet den Kompressor von einer Luftpumpe oder einem Motor und hat unterschiedliche Vorteile. Der Druckbehälter kann größere Luftmengen speichern, als der Kolben des Verdichters durchgehend fördern kann. Diese Luft kann dann als Gesamtmenge ausgestoßen werden. Außerdem muss der Kompressorenmotor nicht durchgängig in Betrieb sein.

Ein Manometer am Kompressor überwacht den Druck im Kessel des Kompressors. Sobald der Betriebsdruck erreicht ist, kann das jeweilige Werkzeug verwendet werden.



Abb.: 189 Kolbenkompressor

1.22.2 Funktion

Ein Kompressor wird verwendet, um verschiedene Gase maschinell zu komprimieren und wird auch als Verdichter bezeichnet. Es gibt eine bekannte Art von Kompressoren mit dem Namen Kolbenverdichter, die im Hobby- und Heimbereich häufig eingesetzt werden. Sie funktionieren ähnlich wie eine Luftpumpe oder ein Automotor und wechseln zwischen Ansaugen und Verdichten des Gases.

Die Komprimierung wird verwendet, um das Volumen von Gasen zu verringern. Der Kompressor reduziert das Volumen des angesaugten Gases durch Erhöhung des Betriebsdrucks. Dieser Vorgang der Komprimierung führt zu einem Anstieg des Drucks im Gas und einer Erwärmung der Gase.²⁶

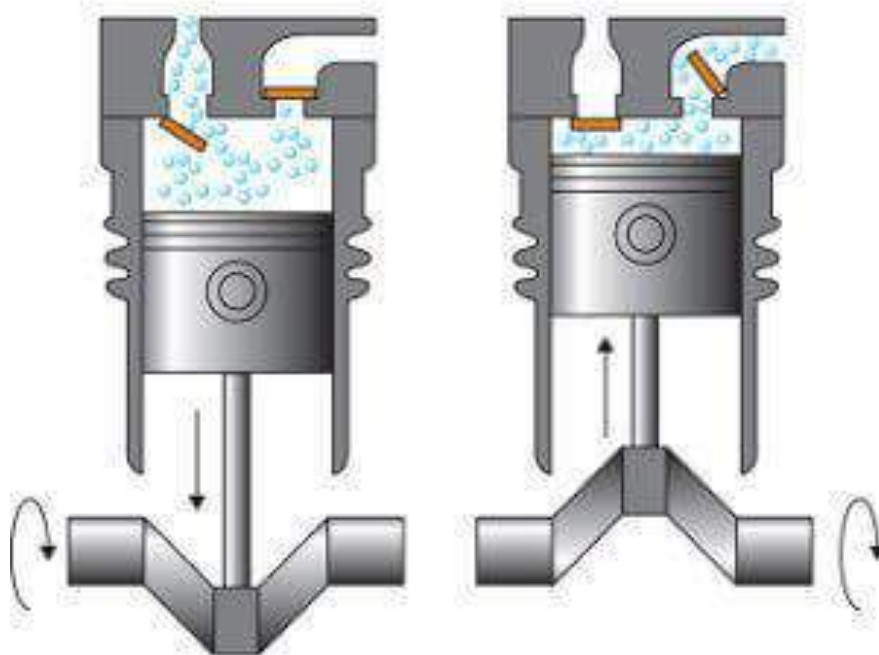


Abb.: 190 Funktion des Kolbens

²⁶ (kompressor, kein Datum)

1.23 Kabelkanal

Die oberflächenmontierte, elektrische Installation umfasst ein Kanalsystem, das die Kabel zusammenhält und auf der Oberfläche verläuft. Dieses System wird als Kabelkanal bezeichnet und ist auch unter den Namen Kabelrinne, Kabelträger oder Kabelleiter bekannt. Ohne Kabelkanäle wirkt eine Installation unordentlich und unsicher. Kabelkanäle können in Innengebäuden und Schalttafeln eingesetzt werden und haben eine perforierte Struktur, um Wärme abzuführen und leicht geschnitten werden zu können.

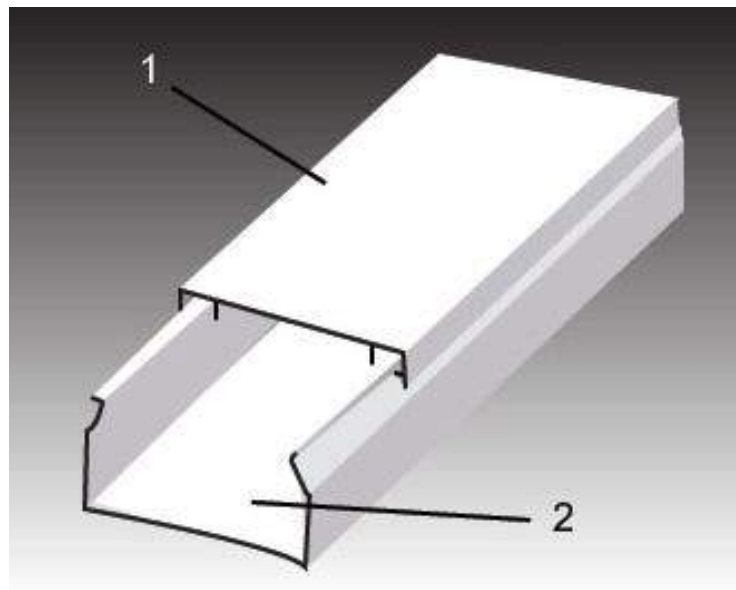


Abb.: 191 Kabelkanal

Nr. 1 wird als Decke bezeichnet

Nr. 2 wird als Wanne bezeichnet

Das Kabelkanalsystem besteht aus Kanälen, die an Bodenplatte, Decke und Wand montiert werden, um die Kabel durch sie zu ziehen. Kanäle mit höheren Kanten sind besonders für Hauptsteuerungssysteme und Datenkabel geeignet. ²⁷

²⁷ (Bench, kein Datum)

1.24 Amperemeter

Strommesser, auch als Stromstärkemesser oder Amperemeter bekannt, sind Instrumente für die Messung der elektrischen Stromstärke in einem Stromkreis. Es gibt sie in vielen verschiedenen Bauformen, die jeweils unterschiedliche Wirkungen des elektrischen Stroms nutzen.

Um die Stromstärke in einem Stromkreis zu messen, müssen Strommesser immer in Serie mit dem elektrischen Gerät oder Bauteil geschaltet werden, bei dem die Stromstärke gemessen werden soll.

Als Strommesser können Drehspulmessgeräte, Dreheisenmessgeräte oder Hitzdrahtmessgeräte eingesetzt werden. Jeder Typ unterscheidet sich in seiner Konstruktion und Wirkungsweise.

Im Fall des CO₂-Laserschneiders wird das Amperemeter oder der Strommesser für die Messung der Laserröhre verwendet, um den Strom, der durch die Röhre fließt, jederzeit zu sehen.²⁸



Abb.: 192 Amperemeter

²⁸ (lernhelfer, kein Datum)

Software (Ruida RDC6445G/S)

1.25 Steuerung/Controller

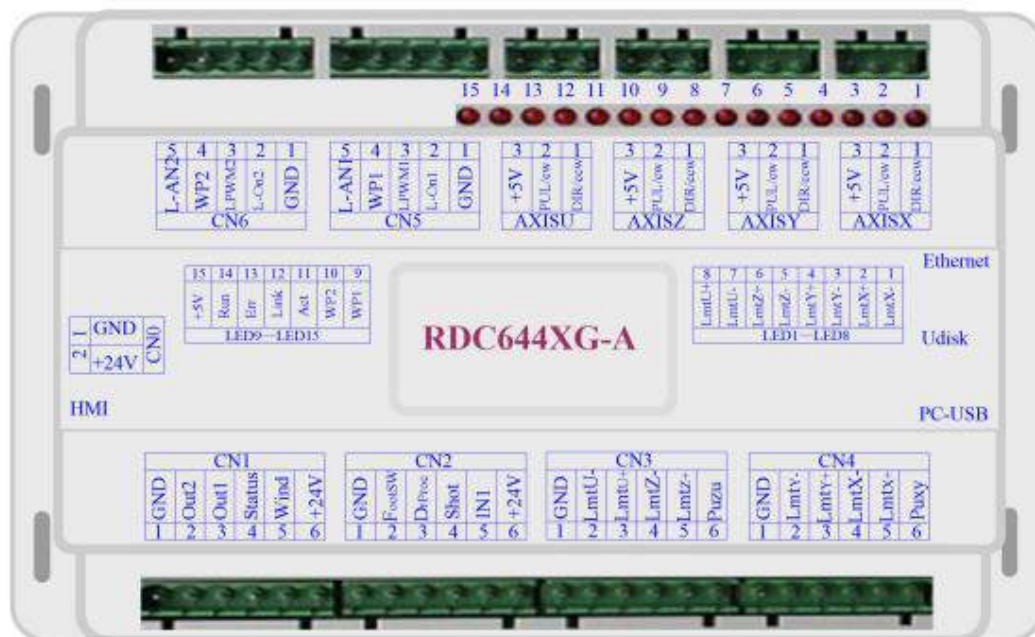


Abb.: 193 RDC6445G

Auf dem Bild ist eine Ruida RDC6445G/S CNC-System zu sehen. Das ist eine spezielle Steuerung, die für CO₂-Laserscheid- und Graviermaschinen verwendet wird. Dieser CO₂ Laser Controller besitzt leistungsstarke Softwarefunktionen, eine große Speicherkapazität, ermöglicht ebenso eine perfekte Vier-Achsen-Steuerungsfunktion, um die Achsen X, Y, Z und U anzusteuern und in Bewegung zu versetzen. Auch zwei einstellbare digitale Schnittstellen sind vorhanden, so wie auch USB-Treiber und mehrere allgemeine IO-Steuerungen. Mit einem PC kann über den USB2.0 oder der Ethernet Schnittstelle kommuniziert werden. Infolgedessen wird der PC nach Anschluss, mit einer der beiden Schnittstellen, automatisch erkannt.

Vorteile der RDC6445G sind beispielsweise:

- Vier-Achsen-Lasergravurschneiden
- USB2.0 und Ethernet
- bis zu vier Schrittmotorensteuerungen
- mehrsprachig
- Vier-Wege-OC-Gate-Ausgang (mit 5V/24V Relais ansteuerbar)

1.26 Control Panel



Abb.: 194 Control Panel

Mit dem Control Panel können alle Parameter der Achsen und auch Standardeinstellungen festgelegt werden. Ebenfalls kann ein Testprogramm ausgeführt werden, um alle Achsen vorerst zu testen.

Sobald der Laser-Controller mit Spannung versorgt wird, kann das Panel bedient oder auch mit einem PC verbunden werden. Mit den verschiedenen Tasten, die auf dem Panel abgebildet sind, können mehrere „Befehle“ ausgeführt werden.

Ein Tastendruck auf den Button „Reset“ ermöglicht, dass das System der Steuerung die Achsen auf ihren Startpunkt zurücksetzt. Durch Betätigen der Schaltfläche „St/Pau“ kann ein Testprogramm oder ein Programm, das mit der Software RDWorksV8 erstellt wurde, abgerufen werden.

Mit Drücken der „Stopp“ Taste werden alle Motoren der Achsen gestoppt und die Laserröhre beendet ihren Laser. Ein weiterer wichtiger Knopf ist der „Esc“ Taster, dieser muss gedrückt werden, sobald ein Programm einen Fehler aufweist oder die Achsen über die Schnittfläche hinausragen und an die Endschalter stoßen.

1.27 Sprache umstellen

Durch Betätigen des Knopfes „Menu“ wird das Menu, wie in der Abbildung darunter, aufgerufen. Nach diesem Vorgang können alle Settings und Werkseinstellungen aufgerufen werden. Um die Sprache zu verändern, muss das Feld „Benutzerdef.“ blau angezeigt werden. Nachdem dies geschehen ist, muss der Knopf „Enter“ gedrückt werden, um zu den folgenden Einstellungen zu gelangen.

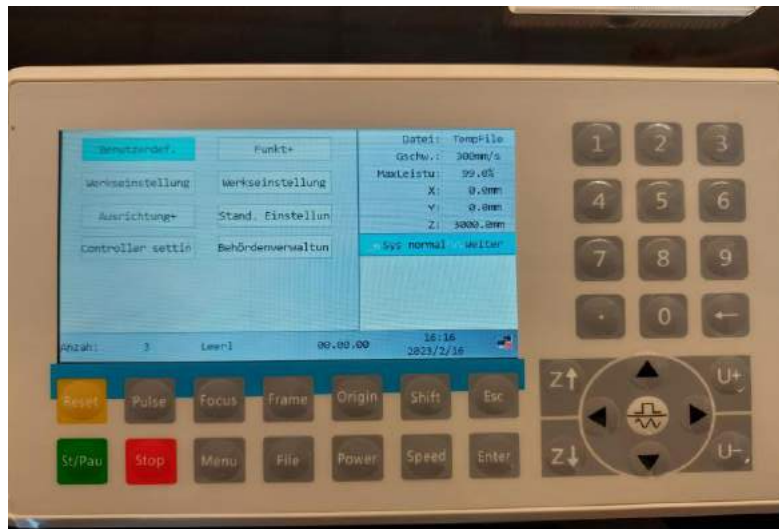


Abb.: 195 Menü aufrufen

Dieses Fenster, wie in der Abbildung darunter, wird nach Betätigen des Knopfes „Enter“ erscheinen. Um nun die Sprache auf „Deutsch“, „Englisch“ oder weitere Sprachen umzustellen, muss zuerst der Knopf „Enter“ betätigt werden, um zu den verschiedenen Sprachen zu gelangen.



Abb.: 196 Sprache einstellen

1.28 Achsen Parameter definieren

Achsen auswählen und Parameter definieren, um in der Software Ruida zu den Parametern der Achsen X, Y und Z zu gelangen, muss zuerst das „Menu“ aufgerufen werden und die „Werkseinstellung“ selektiert werden.

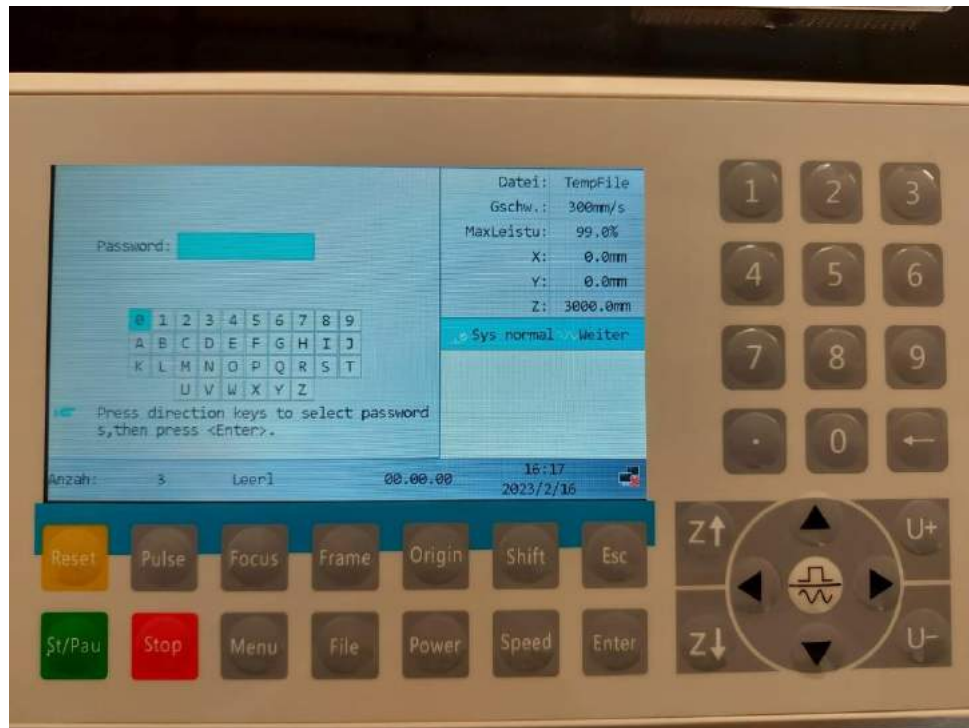


Abb.: 197 Passwort Eingabe

Das Fenster sollte nun genau so aussehen wie in der Abbildung darüber. An dieser Stelle benötigt die Software ein Passwort. Dieses benötigte Passwort lautet bei allen RDC6445G Controllern gleich, nämlich „RD8888“. Damit der Vorgang weitergeführt werden kann, muss in die Leiste „RD8888“ eingegeben werden und „Enter“ gedrückt werden.

1.28.1 X-Achse

In der Abbildung darunter sind an der linken Spalte die vier Achsen, Laserparameter, Maschinenkonfigurationen und Lampenkonfigurationen zu erkennen. Um die Parameter der X-Achse festzulegen, wählt man in der linken Spalte „X“ aus.

Ebenso können diese Einstellungen auch über den PC erfolgen, indem die Software RDWorksV8 am PC installiert und geöffnet wird. Dieses Programm ist äußerst benutzerfreundlich und einfach zu bedienen.

Alle Parameter müssen durch verschiedene Auswahlmöglichkeiten der Motoren eigenständig parametrisiert werden. Die wichtigsten Einstellungen, um den CO2-Laser zum Laufen zu bringen sind, die Maße der Schnittfläche, die Schrittweite, Geschwindigkeit und falls nötig Dir polarity, keying direction und Lmt polarity.

Um die X-Achse handbetrieben fahren zu lassen, müssen die Pfeiltasten „links“ und „rechts“ betätigt werden. Dies kann erst erfolgen, wenn das „Menu“ mit der „Esc“ Taste geschlossen wird.

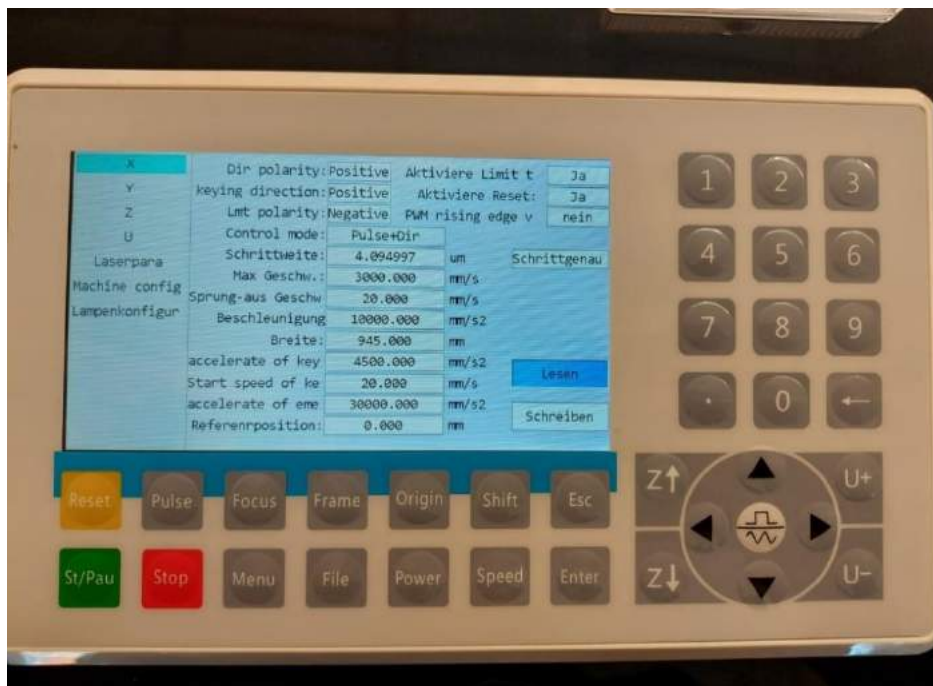


Abb.: 198 X-Achse

1.28.2 Y-Achse

Bei der Parametrierung der Y-Achse muss dasselbe wie bei der X-Achse beachtet werden, um einen möglichst genauen und maßgerechten Schnitt mit dem CO2-Laser zu ermöglichen. Wenn an der Y-Achse andere Motoren als an der X-Achse verwendet werden, muss die Schrittweite neu berechnet werden, um den exakten Weg, der gefahren wird, herausfinden zu können.

Um die Y-Achse in Bewegung zu bringen, können die Pfeiltasten „oben“ und „unten“ betätigt werden. Dazu muss ebenfalls die „Esc“ Taste gedrückt werden, um das „Menu“ zu verlassen.

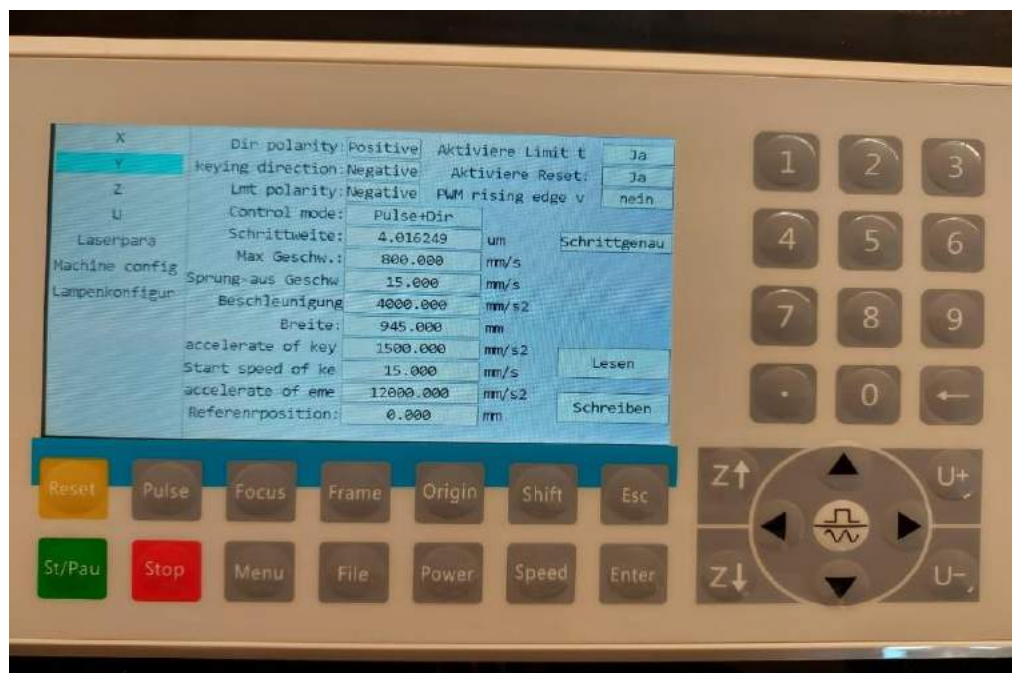


Abb.: 199 Y-Achse

1.28.3 Z-Achse

Wenn ein Programm in der Steuerung aufgerufen wird, bewegen sich nur X- und Y-Achse, die Z-Achse kann nur handbetrieben werden mit den Pfeiltasten „Z-oben“ und „Z-unten“. Die Schnittfläche muss so ausgerichtet sein, dass der Brennpunkt des Laserstrahles seine höchste Genauigkeit aufweist, sodass eine schöne Gravur oder ein exakter Schnitt entsteht. Die Z-Achse wird nur am Anfang und Ende des Laservorganges verwendet, das heißt, dass die Achse keine hohe Geschwindigkeit aufbringen muss, da die Achse sich nur um ein paar Zentimeter bewegt.

Beachtet man die Parameter der Z-Achse, ist zu sehen, dass die Geschwindigkeit äußerst niedrig ist. Mit der Breite ist die Höhe gemeint, die gefahren werden kann. Diese beträgt 600 mm. Ebenfalls kann die Schrittweite benachteiligt sein, da die Achse mit Hand betrieben wird.

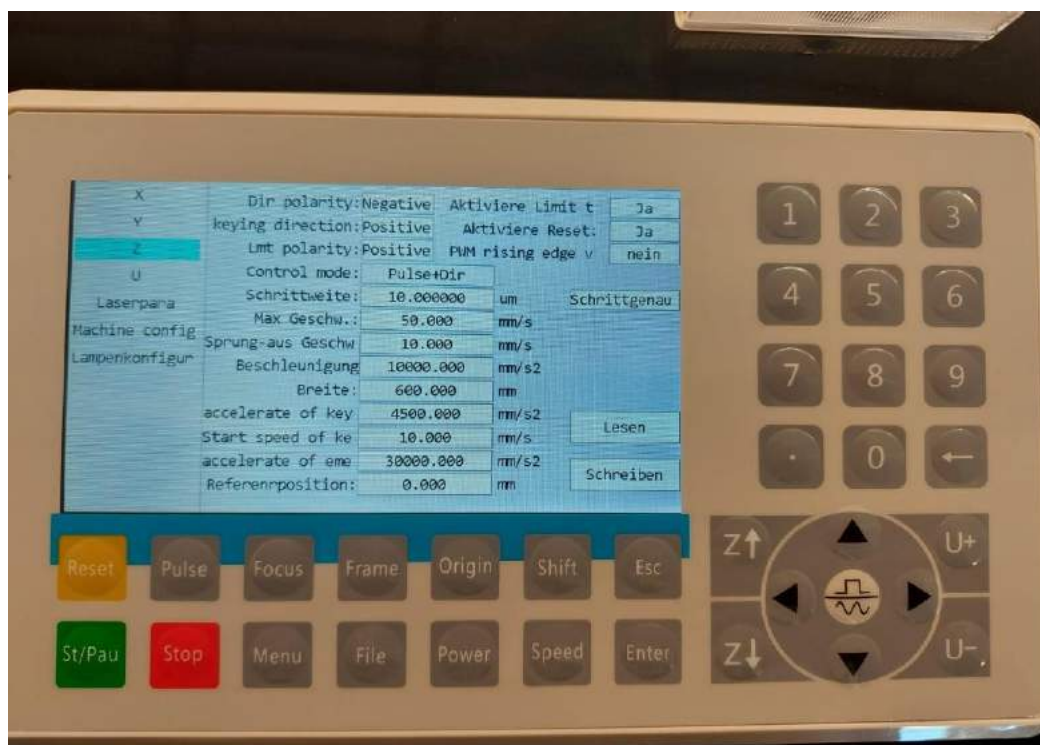


Abb.: 200 Z-Achse

1.29 Laser Parameter definieren

Im Punkt „Laserparameter“ kann nicht nur eine, sondern auch eine zweite Laserröhre definiert werden. Eingestellt: Nur eine Röhre, „Lasermodus“ muss als Glasröhre definiert werden, die „MaxLeistu“ soll 99% und die „MinLeistu“ nur 1% betragen. Alle anderen Parametrierungen können gleichbleibend sein.



Abb.: 201 Laserparameter

1.30 Speed

Durch Drücken des Knopfes „Speed“ soll die Geschwindigkeit festgelegt werden.²⁹

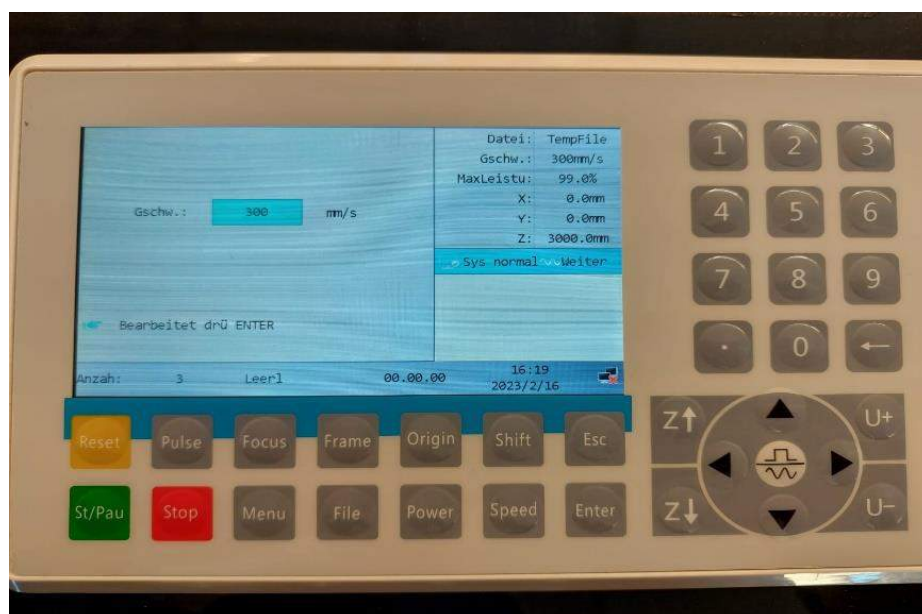


Abb.: 202 Speed

²⁹ (ruidacnc, 2021)

1.31 Software (RDWorksV8)

Die Software RDWorksV8 ist ein Programm zur Steuerung eines CO2-Lasers.

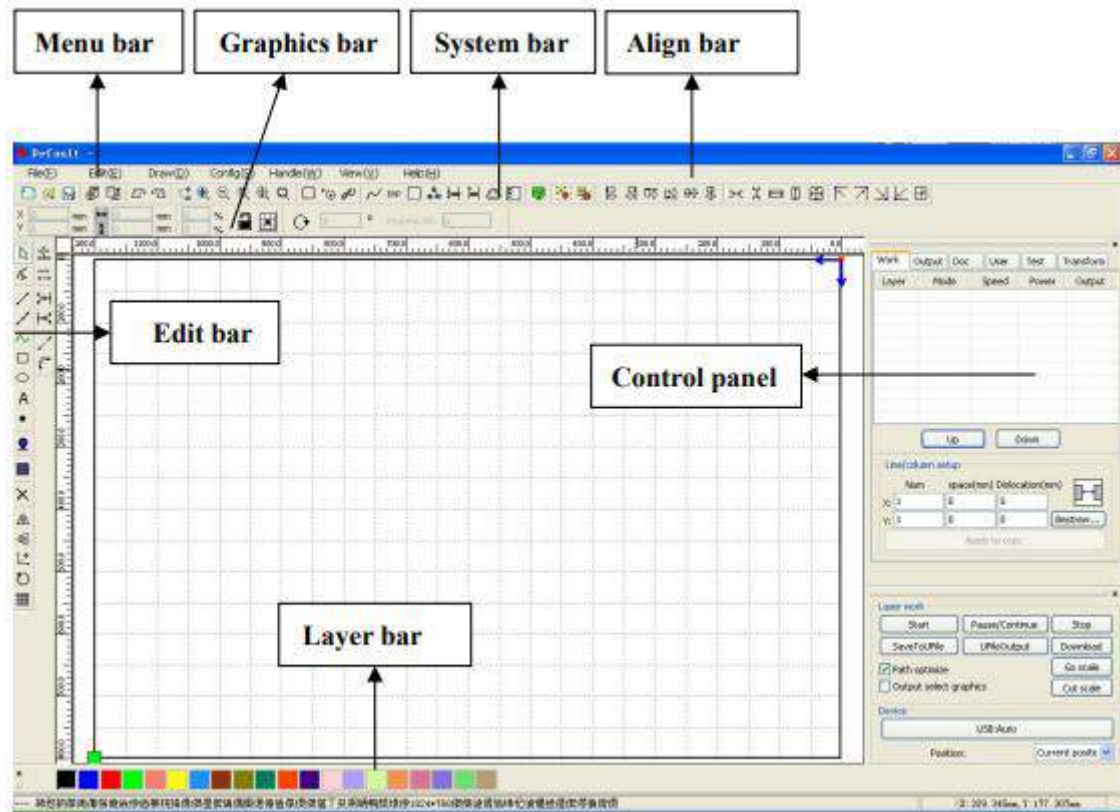


Abb.: 203 RDWorksV8

Menüleiste:

Die Hauptfunktion der Software ist das Implementieren und Ausführen des Menübefehls, für die grundlegende Betriebsart.

Menüleiste einschließlich:

- bearbeiten
- zeichnen
- Dokument
- Einstellung
- Ansicht und Hilfe
- Verarbeitung

Systemleiste:

Auf der Systemleiste sind häufig verwendete Schaltflächen angebracht, welche aus dem Menü ausgewählt werden.

Grafikleiste:

Die Grafikleiste beinhaltet grundlegende Eigenschaften von Grafikoperationen, einschließlich Größe, Skalierung, Zahlenverarbeitung und Grafikposition.

Bearbeitungsleiste:

Um die Bedienung flexibler und besser zu gestalten, befinden sich in der Bearbeitungsleiste häufig verwendete Werkzeuge. Standardgemäß befindet sich diese Bearbeitungsleiste immer auf der linken Seite des Programmes.

Ausrichtungsleiste:

Mit der Ausrichtungsleiste kann die Ausrichtung des ausgewählten Objektes geändert werden.

Ebenenleiste:

Mit der Ebenenleiste kann die Ebene der ausgewählten Objekte geändert werden.

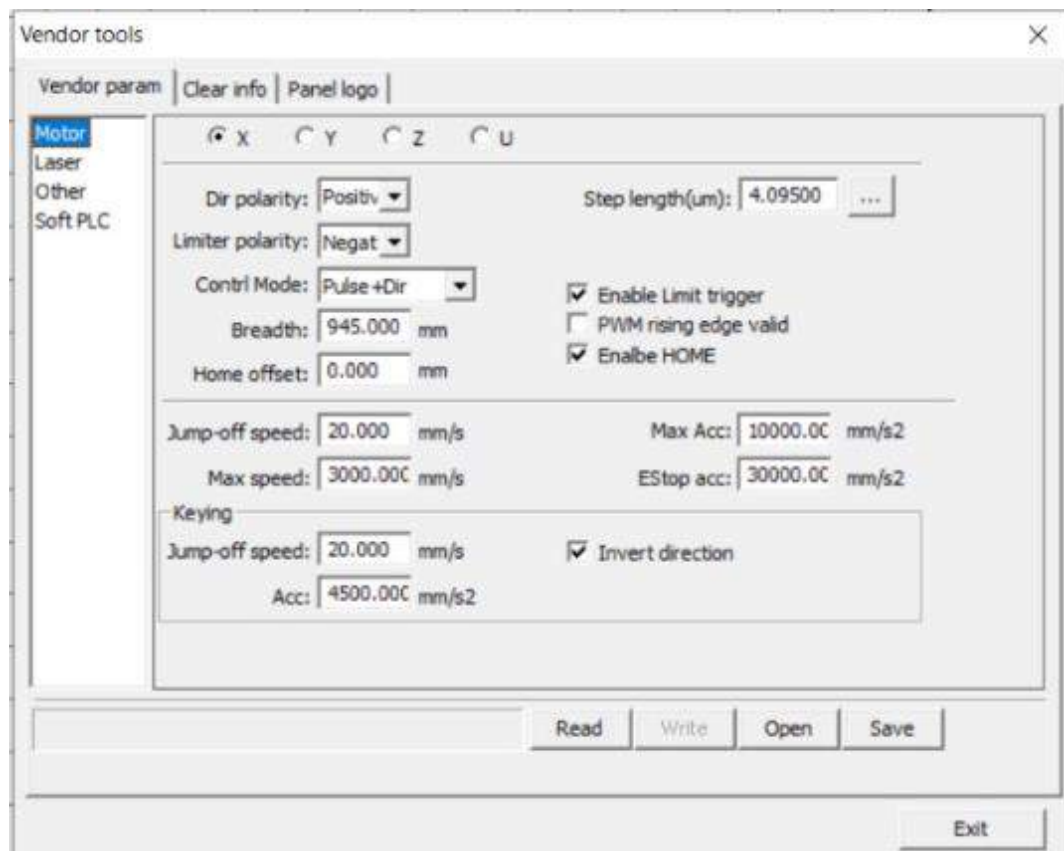


Abb.: 204 Vendor Settings

Um die Parameter mit der Software RDWorksV8 zu ändern, muss vorerst links oben in der Ecke auf „File“ und anschließend auf „Vendor Settings“ geklickt werden. Werden diese genannten Schritte ausgeführt, wird Ihnen das Fenster im Bild darüber angezeigt. Hier kann zwischen den vier Achsen gewechselt werden, um alle Parameter aller Achsen einzustellen. Bevor die Einstellungen verändert werden können, müssen Sie auf die Schaltfläche „Read“ klicken, damit alle Parameter der Steuerung gelesen werden können. Wenn Sie anschließend einige Parameter geändert haben, müssen Sie auf „Write“ klicken, um die geänderten Parameter auf der Steuerung zu überschreiben.

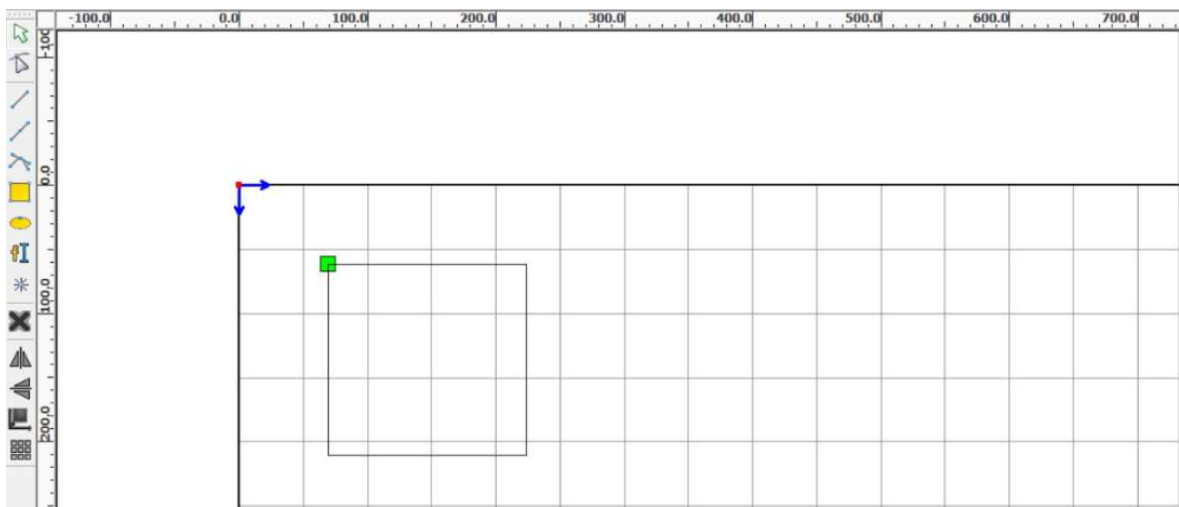


Abb.: 205 Arbeitsfeld

An der linken Bearbeitungsleiste können verschiedene Werkzeuge ausgewählt werden, um Grafiken zu zeichnen oder Texte einzufügen. Wie im Bild darüber zu sehen ist, wurde ein Quadrat gezeichnet. Das grüne Quadrat kann als Startpunkt bezeichnet werden, das heißt, der Laser beginnt an diesen Punkt zu schneiden. Wird ein Text eingefügt, werden Pfeile dargestellt. Diese Pfeile zeigen den Weg, der vom Laser gefahren werden soll.

Es können auch Dateien importieren werden, aber nur mit bestimmten Dateitypen. RDWorks unterstützt folgende Dateitypen: .ai .dxf. plt. dst. dsb .pnt .bmp .gif .jpg .jpeg .png .mng .ico .cur .tif .tiff .tga .pcx .wbmp .wmf .emf .jbg .jpc .pgx .ras .pnm .ska .raw.

Zum Importieren von Schnittdateien wird eine Vektordatei benötigt. Diese Dateitypen sind z.B. .ai- oder .dxf.³⁰

³⁰ (rd-works-8)

Elektronik – verkabeln

1.32 Grundlagen

Zu den Grundlagen der Elektronik gehört der gesamte Ablauf der Verkabelung aller elektrischen Komponenten. Benötigt werden dafür Werkzeuge, Leitungen, sowie auch eine Montageplatte, um alle Komponenten anzubringen.

1.32.1 Werkzeuge

Die wichtigsten Werkzeuge, um eine Arbeit im Zusammenhang mit Elektrik zu beginnen, werden unterhalb aufgelistet:

Abisolierwerkzeug:

Ein Abisolierwerkzeug, um den Außenmantel von Leitungen oder auch Kabeln einfach abzuisolieren. Damit nach dem Abisolieren eine Adernendhülse hinauf gecrimpt und dieses Kabel an einer Klemme oder Anschluss befestigt werden kann.



Abb.: 206 Abisolierwerkzeug

Isolierte Schraubendreher:

Ein Schraubendreher ist ein unverzichtbares Werkzeug für alle Elektriker, da der Zugang zu den Anschlüssen der Komponenten oft mit einem Schraubverschluss versehen ist. Es gibt eine Vielzahl an verschiedenen Schraubendrehern, diese unterscheiden sich unter anderem durch ihre Form und Größe, um mit der Vielzahl der Schraubenarten kompatibel zu sein.

Die Handhabung von diesem Werkzeug ist besonders einfach, indem eine leichte Drehung mit der Hand getätigt wird und dadurch ein Drehmoment oder eine Drehkraft erzeugt wird, die über den Kopf des Werkzeuges auf den dazugehörigen Schlitz der Schraube übertragen wird.

Für Arbeiten im elektrischen Bereich sollten die Schraubendreher eine isolierte Ummantelung haben. Diese speziellen Griffe gewährleisten einen sogenannten Schutzwiderstand. Sollte der Schraubendreher ein Prüfzeichen mit „VDE“ aufweisen, kann man davon ausgehen, dass dieser einen isolierten Griff aufweist. Bezeichnet werden diese auch als VDE-Schraubendreher.



Abb.: 207 Schraubendreher

Kabelschneider:

Kabelschneider sind äußerst vielseitige Werkzeuge, die sich durch ihre scharfen Stahlklingen auszeichnen. Kabel können problemlos durchtrennt werden, auch ein schnelles und sauberes Abisolieren ist möglich.

Auch bei Kabelschneidern oder auch Seitenschneidern genannt, gibt es eine Vielzahl an verschiedenen Modellen. Sie ermöglichen Schnitte unterschiedlicher Art, isolierte Kabelschneider eignen sich ebenso für den Einsatz an Hochspannungsleitungen.

Beachtet werden sollte die Härte des bearbeitenden Materials, damit ein Kabelschneider mit härterer Klinge verwendet wird. Aufschluss darüber gibt die Schnittleistung, die von 0,4 mm bis 600 mm reicht.



Abb.: 208 Kabelschneider

Crimpzange:

Crimpzangen kommen oft zum Einsatz, wenn zwei elektrische Leitungen verbunden werden sollen. Sie ist ein wichtiges Werkzeug zum Crimpen von Steckverbindern.

Es gibt unterschiedliche „Fügeverfahren“, zum Beispiel das Quetschen, Bördeln und auch das Falten. Wenn die Crimp Verbindung hergestellt wurde, dann kann diese nur mehr schwer gelöst werden. Sollte eine Reparatur vorgenommen werden, kann dies nur mit geeignetem Werkzeug geschehen. Das Crimpen ist eine gute Alternative, um das herkömmliche Lötten zu ersetzen.³¹



Abb.: 209 Crimpzange

1.32.2 Abisolieren

Das Abisolieren ist ein häufiger Bestandteil der Arbeitsvorgänge in der Elektrotechnik. Wichtig ist es darauf zu achten, die Schnitte besonders gerade und glatt erfolgen zu lassen, denn sollte dies nicht der Fall sein, könnten die Leiter beim Entmanteln beschädigt oder verformt werden. Zum Abisolieren verwendet man spezielle Werkzeuge, die für Kupfer- und Aluminiumleitungen ausgelegt sind.

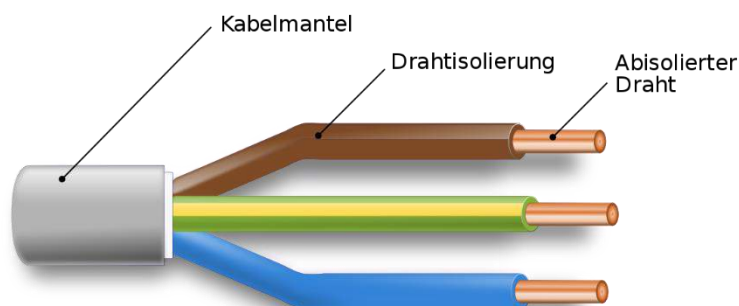


Abb.: 210 Aufbau eines Kabels

³¹ (RS, kein Datum)

Stegleitungen abisolieren:

Beim Abmanteln von Stegleitungen wird kein Werkzeug benötigt. Nach dem Einreißen der dünnen Verbindungsstege kann der Mantel per Hand von den Adern der Leitung abgezogen werden. Beim Abisolieren der Kupferleiter kommt eine Abisolierzange zum Einsatz, die sogenannte Isolation soll auf einer Länge von 1-1,5cm entfernt werden.



Abb.: 211 Stegleitung

Mantelleitungen abisolieren:

Der Mantel der Mantelleitung kann mithilfe eines Kreis- oder Rundschnitts geöffnet werden. Hierbei wird einmal um das Kabel herumgeschnitten. Der Schnitt darf nicht zu tief sein, um die darunterliegenden Isolierungen und Adern nicht zu beschädigen. Indem die Leitung an der Schnittstelle gebogen wird, reißt der Mantel und die inneren Adern können abisoliert werden. Bei Beschädigung der Adern durch unvorsichtiges Arbeiten können Gefahren entstehen, da es bei der Inbetriebnahme zu einem Kabelbrand oder Kurzschluss kommen kann.³²

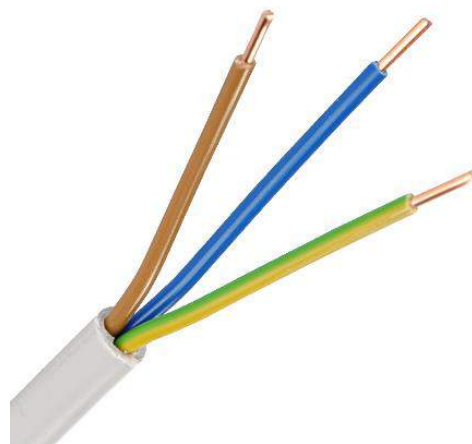


Abb.: 212 Mantelleitung

³² (Intratec Warenhandels GmbH, 2018)

1.32.3 Löten

1.32.3.1 Lötgerät

Um eine hohe Temperatur aufzubringen wird ein LötKolben benötigt. Bastler haben in den meisten Fällen einen Hand-LötKolben, wobei die Temperatur mit einem Hand-LötKolben meist mit einem Regler geregelt werden kann.

Die Temperatur für gute Lötverhältnisse soll ungefähr 400 bis 450 C° betragen, damit das „Lötzinn“, das benötigt wird, zu schmelzen beginnt. Durch eine große Wärmeableitung kann mit Hilfe des Reglers die erforderliche Löttemperatur schnell wieder aufgebracht werden. Ein Vorteil von Lötstationen ist, dass es unterschiedliche LötKolben mit verschiedenen Lötspitzen und Formen gibt.



Abb.: 213 Lötstation

1.32.3.2 Löthilfen

Oft wird beim Löten eine weitere Hand benötigt, da mit einer Hand der LötKolben gehalten und mit der anderen das Lötzinn zugeführt wird.

Damit der Lötvorgang gut gelingt, muss mit einer weiteren Hand das Bauteil in die richtige Position gebracht werden. Ein kleines Stativ, das auch „Dritte Hand“ genannt wird, übernimmt diese Arbeit, somit kann der Lötvorgang leichter gelingen. Das Bauteil wird mit den Krokos Klemmen des Statives befestigt. Oftmals hat diese „Dritte Hand“ auch einen Spiegel, um das Bauteil von anderen Winkeln betrachten zu können.



Abb.: 214 Dritte Hand

1.32.3.3 Lötzinn und Flussmittel

Lötzinn ist ein Gemisch aus den Metallen Zinn (Sn), Blei (Pb), Kupfer (Cu), Silber (Ag), Gold (Au) und Bismut (Bi). Der Hauptbestandteil des Lots ist das Zinn, daher kommt auch der Name Lötzinn.

Durch verschiedene Mischungsverhältnisse und Zugaben ändern sich die Eigenschaften des Lötzinns. Um eine saubere Lötstelle herzustellen, muss das Lötzinn den gesamten Raum zwischen den zu verlötenden Werkstücken befüllen. Das Lötzinn soll eine gute leitfähige und mechanische Verbindung herstellen.

Durch Verwendung von Flussmitteln wird das Werkstück gut mit Lot benetzt. Im Bild darunter ist zu erkennen, dass das Lötzinn rohrförmig aufgebaut ist und das Flussmittel schon im Inneren des Lötzinns eingebettet ist.

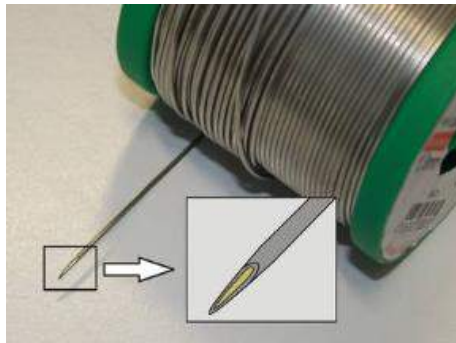


Abb.: 215 Lötzinn mit Flussmittel

Die Typenbezeichnung F-SW-23 definiert nach DIN 8511, um Materialien, für die das Flussmittel geeignet sind und wie stark die Rückstände korrosiv zu erkennen sind.

Typenbezeichnung:

F = Bezeichnung für Flussmittel

S = lötbare Werkstoff (S = Schwermetall, L = Leichtmetall)

H = Lötverfahren (H = Hartlöten, W = Weichlöten)

11 – 13 (stark korrosiv - Flussmittelrückstände müssen entfernt werden)

21 – 28 (schwach korrosiv - Flussmittelrückstände müssen entfernt werden)

31 – 34 (nicht korrosiv - Flussmittelrückstände müssen nicht entfernt werden)

1.32.3.4 Löten von Kabeln und Drähten

Bevor mit dem Löten begonnen wird, sollte man das Wissen haben, wie eine gute Lötstelle auszusehen hat, da der Lötvorgang in drei Schritten oder Phasen abläuft. Der Lötvorgang ist erst erfolgreich, wenn alle drei Phasen durchgeführt worden sind.

Phase 1: Benetzen

Das Lötzinn wird erst zugeführt, wenn die Lötstelle mit der Lötspitze erhitzt wurde. Es muss dabei beachtet werden, dass die Lötstelle komplett mit Lötzinn benetzt ist.

Phase 2: Fließen

In der 2. Phase muss das geschmolzene Lötzinn die Zwischenräume der Lötstelle füllen, um eine großflächige, leitende und haltende Verbindung zwischen den Werkstücken herzustellen. Die Lötspitze wird während dieser Phase nicht an die Lötstelle gehalten.

Phase 3: Binden

Die 3. Phase ist der Bindevorgang, bei dem die Lötstelle kühlt und aushärtet. In dieser Phase dürfen keine Erschütterungen am Werkstück entstehen, sonst führt dies zu „kalten Lötstellen“.

Wie lötet man richtig? (Schritt für Schritt):

- Als erstes wird die Ummantelung der Drähte mit Hilfe einer Abisolierzange auf ca. einen Zentimeter entfernt.
- Die feinen Adern/Drähte müssen anschließend mit den Fingern verdrillt werden, damit ein stabiler Leiter entsteht.
- Erwärmen Sie die Drähte nun mit der Lötspitze und führen Sie Lötzinn zu. (Abb. A)
- Bevor Sie die beiden Enden der Drähte zusammenlöten, muss ein Schrumpfschlauch über einen der beiden Drähte gestülpt werden, damit die Lötstelle später isoliert ist.
- Mit der „Dritten Hand“ können Sie nun die beiden Drähte an den Kroko Klemmen befestigen, damit Sie beide Hände für den Lötvorgang zur Verfügung haben.
- Jetzt können Sie die beiden Drähte an den Drahtenden zusammenlöten.
- War die Verlötung erfolgreich, sollten die beiden Drahtenden mit Lötzinn umhüllt sein. (Abb. B)
- Am Ende des Vorganges soll der Schrumpfschlauch über die Lötstelle geschoben und mit einem Heißluftfön warm gemacht werden. (Abb. C) ³³

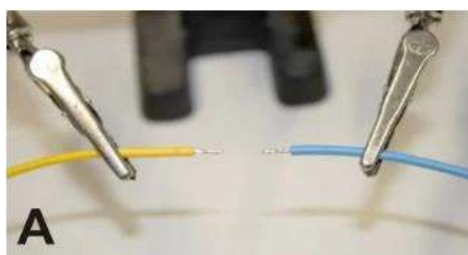


Abb.: 217 Zinn auf die Drahtenden geben

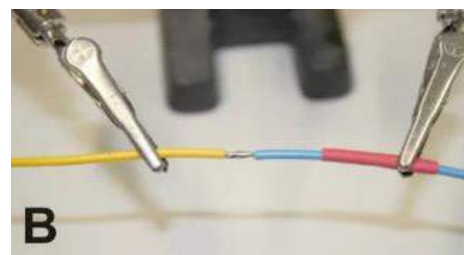


Abb.: 216 Drahtenden zusammenlöten

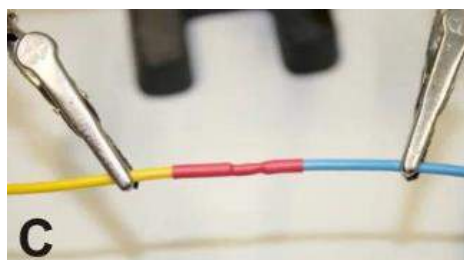


Abb.: 218 Lötstelle mit Schrumpfschlauch isolieren

³³ (Conrad, kein Datum)

1.32.4 Adernendhülsen

1.32.4.1 Normen

An flexiblen Kupferleitern muss keine Adernendhülse angebracht werden. Eine mechanische Leiterklemme muss so ausgelegt sein, sodass alle Leiter sicher angeschlossen sind.

Eine Adernendhülse dient lediglich als Verschleißschutz, um den Anschluss von flexiblen Kupferleitern zu erleichtern. Die Norm EN60999-1 schreibt bei schraub- und schraublosen Klemmverbindungen keine Verwendung von Adernendhülsen vor.

In der Norm IEC 60947-7-1 steht, dass der Hersteller, wenn ein sicherer Leiteranschluss relevant ist, eine Leitervorbehandlung angeben muss.

1.32.4.2 Was sind Adernendhülsen?

Adernendhülsen, auch Metallhülsen genannt, dienen als Verschleißschutz und Stabilisierung und werden am Ende von Drähten mit Hilfe einer Crimpzange befestigt. Sie dienen auch darin, den Anschluss eines flexiblen Kupferleiters an einer Leiterklemme zu erleichtern.

Adernendhülsen gibt es in verschiedenen Größen, Farben und Formen, um sie an unterschiedlichen Drahtdurchmessern anzuwenden. Die Farbe der Adernendhülse gibt lediglich über die Größe der Adernendhülse Auskunft.

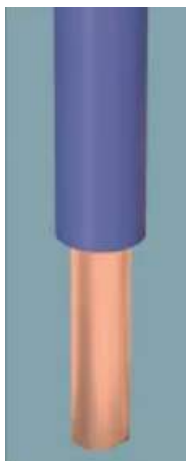


Abb.: 221 starr eindrätig

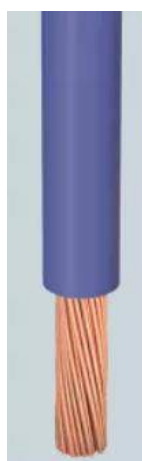


Abb.: 220 flexibel



Abb.: 219 flexibel mit Adernendhülse

1.32.4.3 Verwendung

Verwendet werden diese Metall- oder Adernendhülsen in den Gebieten der Elektrotechnik, um sichere elektrische Verbindungen herzustellen. Häufig werden sie in Steuerungen, Schaltern, Schaltschränken, Klemmen, Leuchten oder Elektromotoren eingesetzt.

1.32.4.4 Montierung

Die Montierung von Adernendhülsen ist ein simpler Vorgang in der Elektrotechnik. Das Ende des Kupferdrahtes wird zuerst mit einem Abisolierwerkzeug abisoliert, dieses abisolierte Ende des Drahtes wird anschließend in die Hülse eingeführt.

Im Nachhinein wird eine Crimpzange verwendet, um die Hülse an dem Drahtende festzumachen. Bei dem Vorgang wird das Metallende der Hülse so fest zusammengedrückt, sodass eine sichere Verbindung mit dem Draht entsteht.³⁴



Abb.: 222 Vorgang

³⁴ (Gordon Busch, 2019)

1.33 Spannungsversorgung

1.33.1 Netzteil 24V DC

Vom 24V DC-Netzteil bekommen alle Komponenten ihre Spannungsversorgung, wie im Bild darunter auf der rechten Seite, indem die Komponenten an den positiven (V+) und negativen (V-) Anschluss angeschlossen werden. Auf der linken Seite des Bildes ist ein Input abgebildet, dort wird die 230V Wechselspannungsleitung angeschlossen. Zu sehen sind die Anschlüsse L (Außenleiter), N (Neutralleiter) und das Symbol für der Ground (Schutzleiter).

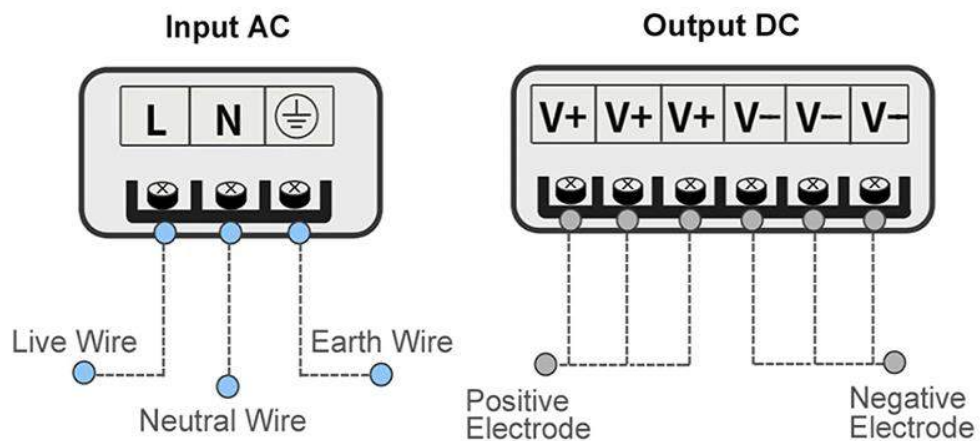


Abb.: 223 Anschlüsse vom 24V Netzteil

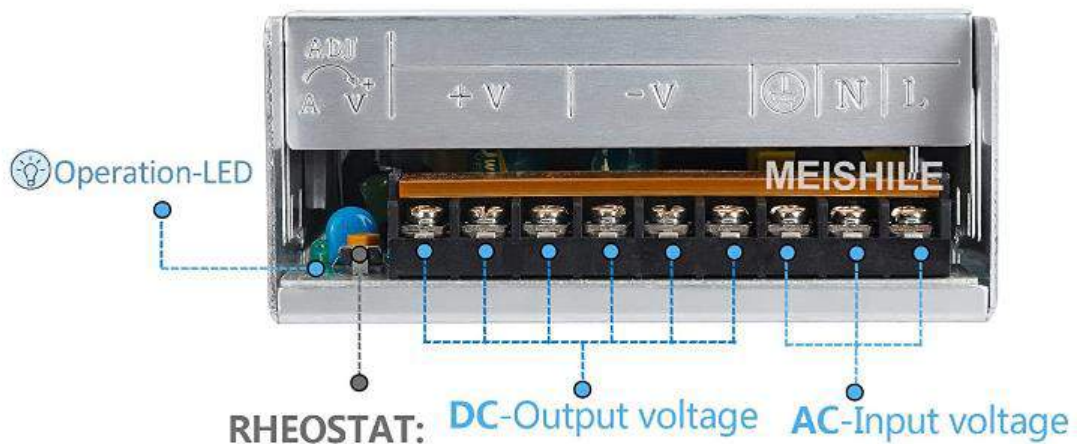


Abb.: 224 24V Netzteil von vorne

1.33.2 Cloudray 80W Netzteil

Die Spannungsversorgung für das 35kV Netzteil der Laserröhre wird vom 24V Netzteil entnommen. Vom Eingang des 24V DC-Netzteiles werden drei Leiter am Eingang des 35kV Netzteiles befestigt. Mit einer gelb/grünen Leitung werden die beiden Ground-Anschlüsse verbunden. Der Neutralleiter, der vom 24V Netzteil weggeht, wird an den Anschluss AC mit einem blauen Leiter angeschlossen. Der Außenleiter, in der Farbe schwarz, geht ebenso vom 24V Netzteil weg und wird am zweiten AC-Anschluss der Klemme befestigt.

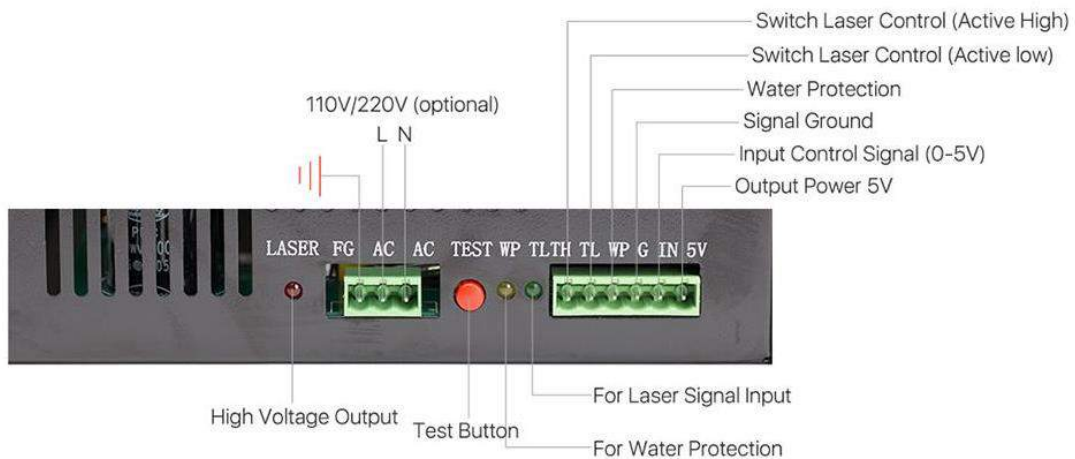


Abb.: 225 Cloudray 80-100W Netzteil

Im Bild darüber ist auf der rechten Seite eine zweite Klemme mit Anschlüssen zu sehen, diese Anschlüsse werden mit der Steuerung darunter mit der Klemme CN5 verbunden. Wenn eine zweite Laserröhre in Verwendung ist, wird diese an der Klemme CN6 angeschlossen.

Klemme Netzteil:

5V Output Power

IN Input Signal 0-5V

G = Signal Ground

W (WP) = Water Protection

L (TL) = Switch Laser Activ Low

H (TH) = Switch Laser Activ High

Klemme Ruida Controller:

- L-AN1

- GND

- LON1

Der Klemmenanschluss W(WP) kann als Sicherheitskreis angeschlossen werden. Wenn dieser Anschluss nicht verwendet werden soll, muss der Anschluss G und WP mit einer Brücke überbrückt werden.

1.34 Achsen

1.34.1 X-Achse

1.34.1.1 Motor und Motordriver

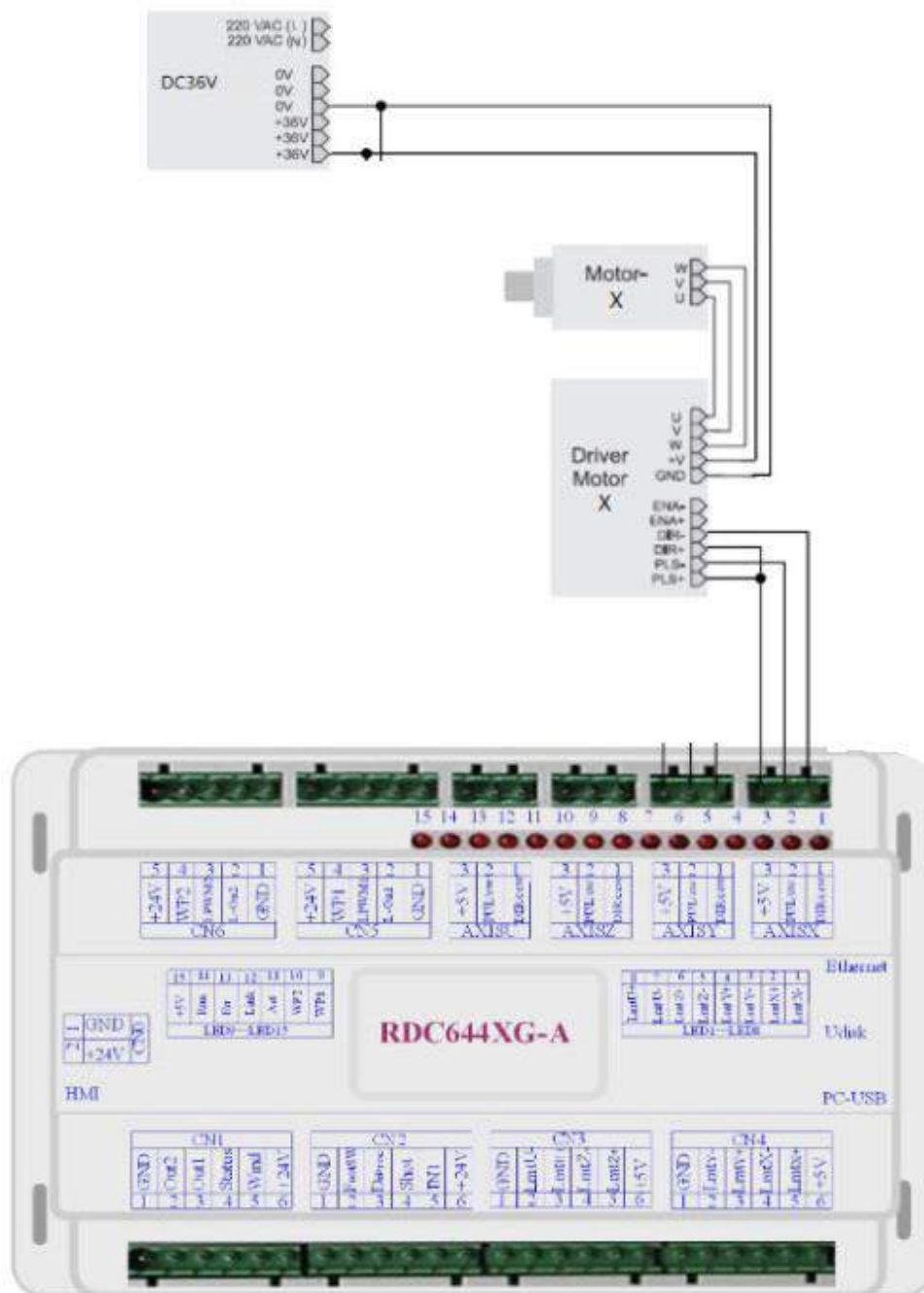


Abb.: 226 Schaltplan der X-Achse

Der Nema 17 Schrittmotor der X-Achse wird an den Treiber T42 angeschlossen, da dieser Motor nur eine Stromleitung aufweist und keine Geberleitung, da am Schrittmotorentreiber nur eine Verbindung zwischen A+, A-, B+ und B- herrschen muss.

Da nur ein Treiber verwendet wird, können von der Signalklemme des Treibers direkt die Leitungen PUL+, PUL-, DIR+ und DIR- auf die AXISX-Klemme des Ruida Controllers befestigt werden. Stromversorgung bekommt der Treiber mit Hilfe von zwei Leitungen, die am 24V DC-Netzteil angeschlossen werden.

Steps/Revolution	SW1	SW2	SW3	SW4
Software Configured (Default)	on	on	on	on
800	off	on	on	on
1600	on	off	on	on
3200	off	off	on	on
6400	on	on	off	on
12800	off	on	off	on
25600	on	off	off	on
51200	off	off	off	on
1000	on	on	on	off
2000	off	on	on	off
4000	on	off	on	off
5000	off	off	on	off
8000	on	on	off	off
10000	off	on	off	off
20000	on	off	off	off
40000	off	off	off	off

Abb.: 227 DIP-Schalter 1-4

	Function	On	Off
SW5	Default <small>None</small>	CW (clock-wise)	CCW (counter-clock-wise)
SW6	Mode Sel	PM	FOC

Abb.: 228 DIP-Schalter 5 und 6

Motor Sel	SW7	SW8
SC42	on	on
SC57	off	on
SC60	on	off
SC86	off	off

Abb.: 229 DIP-Schalter 7 und 8

Wenn Sie sich beispielsweise auf einen Treiber für einen Schrittmotor beziehen, können DIP-Schalter verwendet werden, um die Schrittauflösung oder die Mikroschritt-Modi des Motors zu konfigurieren.

In anderen Fällen kann ein Schalter auf einem Treiber dazu dienen, eine bestimmte Betriebsart des Geräts auszuwählen, wie z.B. einen Einzel- oder Dauerbetrieb. In der Regel werden die Schalter durch Verschieben oder Drehen von Knöpfen oder Schiebern betätigt.

Wichtig ist es, die Bedienungsanleitung oder die technischen Daten des betreffenden Treibers oder Geräts zu konsultieren, um die speziellen Funktionen der DIP-Schalter zu verstehen und zu erfahren, welche Einstellungen für ihre Anwendung erforderlich sind.

Die DIP-Schalter SW1-SW4 sind dazu da, die Microsteps des Motors einzustellen. Der Schalter SW5 kann durch Betätigen die Drehrichtung des Schrittmotors ändern. Die Einstellungen der DIP-Schalter SW7 und SW8 müssen auf „on“ gestellt werden, da es sich um einen T42 Schrittmotorentreiber handelt. Im Falle eines T60 Schrittmotorentreibers muss der Schalter SW7 auf „on“ und der Schalter SW8 auf „off“ gesetzt werden.

1.34.2 Y-Achse

1.34.2.1 Motor und Motordriver

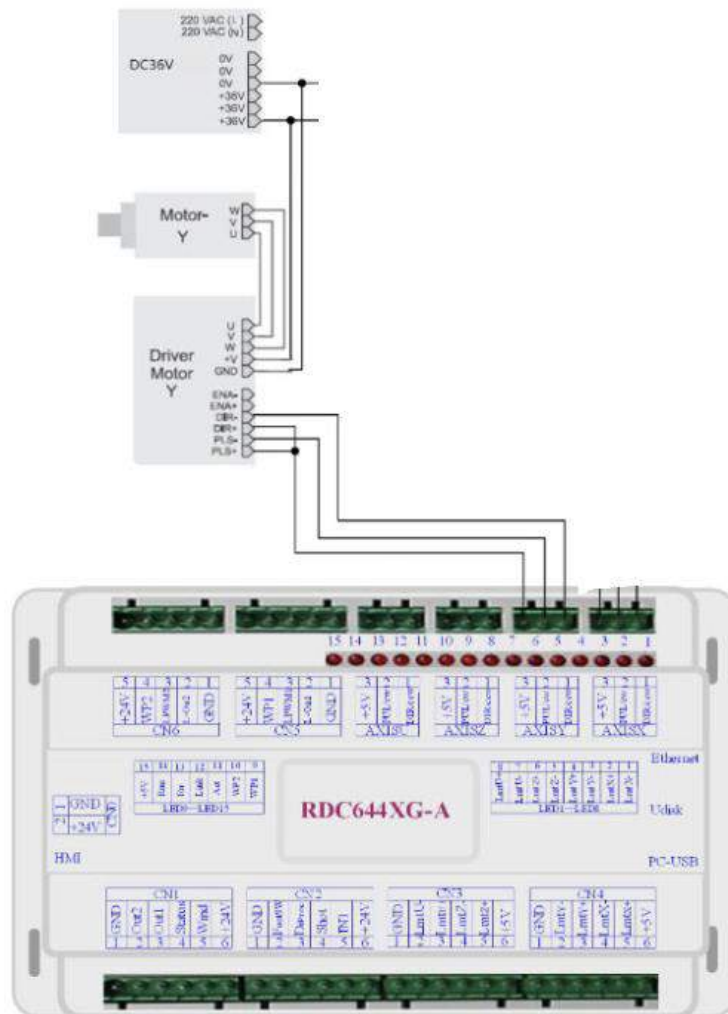


Abb.: 230 Schaltplan der Y-Achse

Die beiden Motoren der Y-Achse werden an den beiden Schrittmotorentreibern angeschlossen. Der Rteelligent Nema 17 Motor hat eine Strom- und eine Geberleitung, die Stromleitung wird mit vier Adern an die Anschlüsse A+, A-, B+ und B- angeschlossen. Da auf dem Ruida Controller nur eine Klemme für die Y-Achse zu Verfügung steht, müssen die Leitungen, die zum Controller führen, mit einer Duo-Adernendhülse versehen sein.

Anschluss Schrittmotor:

- A+ green
- A- black
- B+ red
- B- blue

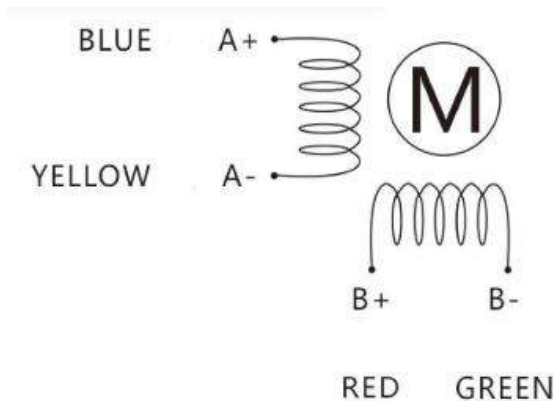


Abb.: 231 Wicklungen

Anschluss Encoder (verdrahtet):

- | Pin: | diagram: | colour: |
|------|----------|---------|
| 1 | EB+ | yellow |
| 2 | EB- | green |
| 3 | EA+ | black |
| 4 | EA- | brown |
| 5 | VCC | red |
| 6 | GND | white |

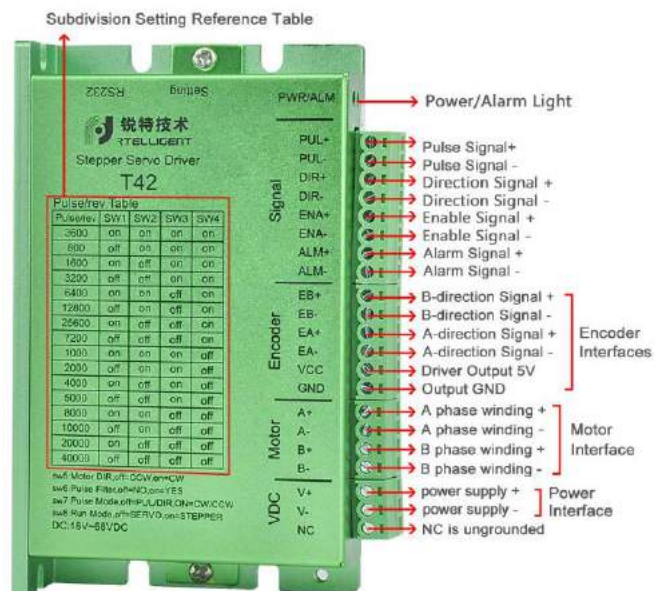


Abb.: 232 Schrittmortreiber T42

Anschließend werden die Anschlüsse der Signalklemme an den Ruida Controller angeschlossen. Die Anschlüsse PUL+ und DIR+ werden miteinander verbunden und am Pin sechs der Klemme AXISY befestigt. DIR- und PUL- werden separat geführt, DIR- wird mit dem Pin vier der Klemme verbunden und PUL- muss am Pin fünf angeschlossen sein. Außerdem muss eine Spannungsversorgung an der Klemme VDC vorliegen, diese Verbindung wird mit zwei Leitern zwischen VDC und dem 24V DC-Netzteil hergestellt.

1.34.3 Z-Achse

1.34.3.1 Motor und Motordriver

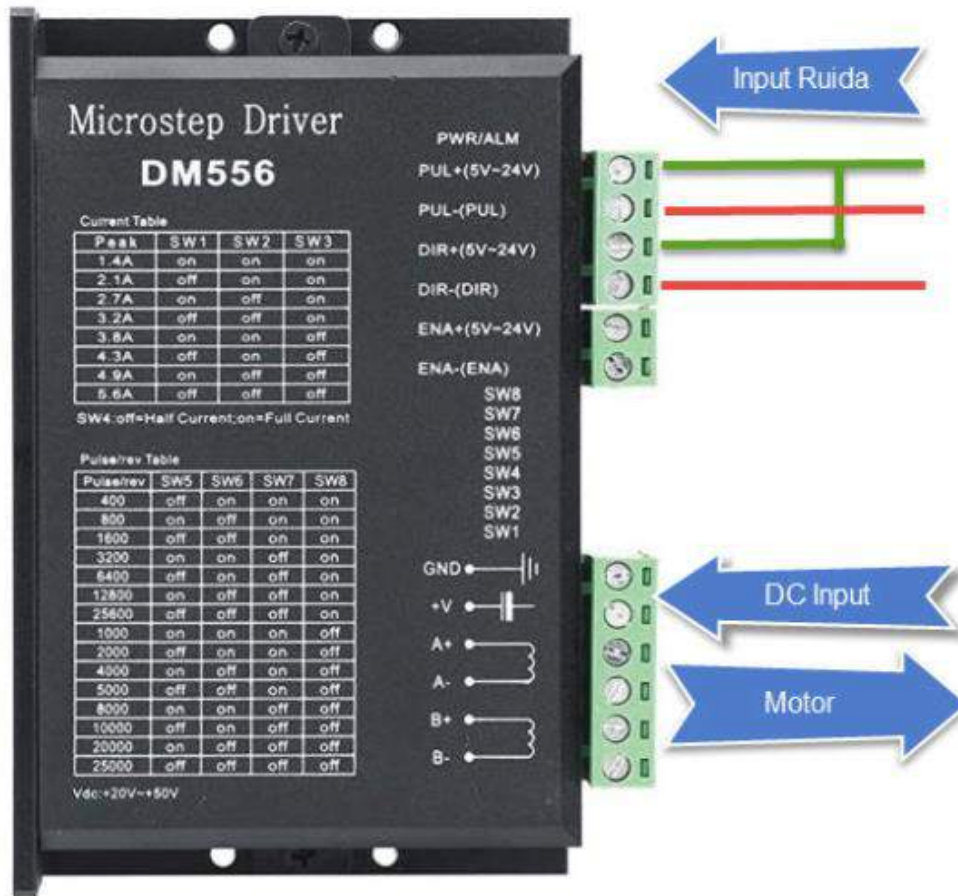


Abb.: 233 Microstep Driver DM556

Verbinden Sie die Schrittmotoranschlüsse des Microstep Drivers mit den entsprechenden Anschlüssen des Nema 23 Schrittmotors. Die genaue Verbindung kann je nach Hersteller und Modell variieren, aber in der Regel werden die vier Schrittmotoranschlüsse des Microstep Drivers A+, A-, B+, B- mit den vier Anschlüssen der Stromleitung des Nema 23 Motors verbunden.

Das 24V DC-Netzteil muss die beiden Microstep Driver mit Strom und Spannung versorgen. Dieser Vorgang geschieht durch eine Verbindung zweier Leitungen, die an den beiden Komponenten angeschlossen werden.

An der AXISZ-Klemme des Ruida Controllers werden die Ausgänge PUL+, PUL-, DIR+ und DIR- der beiden Treiber angeschlossen.

Durch einen LED-Schalter wird die Stromversorgung zur Z-Achse unterbrochen, der Hauptgrund dafür ist, dass die Treiber der Z-Achse eine enorme Wärme aufweisen und um dies zu verhindern, wird die Z-Achse durch Betätigung des LED-Schalters ein/ausgeschaltet.

Mit den verschiedenen DIP-Schaltern SW1-SW3 muss der Motorstrom für den verwendeten oder ausgewählten Schrittmotor eingestellt werden. Im Falle des Nema 23 Schrittmotors müssen die Schalter SW1 auf „off“, SW2 auf „on“ und SW3 auf „off“ eingestellt werden. In der Tabelle darunter sind die Switches SW5-SW8 dargestellt, mit diesen Switches kann die Anzahl von Microsteps eingestellt werden.

Microstep	Steps/rev.(for 1.8° motor)	SW5	SW6	SW7	SW8
1 to 512	Default/Software configured	ON	ON	ON	ON
2	400	OFF	ON	ON	ON
4	800	ON	OFF	ON	ON
8	1600	OFF	OFF	ON	ON
16	3200	ON	ON	OFF	ON
32	6400	OFF	ON	OFF	ON
64	12800	ON	OFF	OFF	ON
128	25600	OFF	OFF	OFF	ON
5	1000	ON	ON	ON	OFF
10	2000	OFF	ON	ON	OFF
20	4000	ON	OFF	ON	OFF
25	5000	OFF	OFF	ON	OFF
40	8000	ON	ON	OFF	OFF
50	10000	OFF	ON	OFF	OFF

Tabelle 5 Microsteps

Peak Current	RMS Current	SW1	SW2	SW3
Default/Software configured (0.5 to 5.6A)		OFF	OFF	OFF
2.1A	1.5A	ON	OFF	OFF
2.7A	1.9A	OFF	ON	OFF
3.2A	2.3A	ON	ON	OFF
3.8A	2.7A	OFF	OFF	ON
4.3A	3.1A	ON	OFF	ON
4.9A	3.5A	OFF	ON	ON
5.6A	4.0A	ON	ON	ON

Tabelle 4 Motorstrom

1.34.4 Endschalter

Für jede Achse des CO₂-Laserschneiders müssen zwei Endschalter angebracht werden, um die Endposition der Achsen zu ermitteln. An den ITEM-Profilen des Grundgerüsts wird jeder Endschalter mit drei Schrauben und einen „Nutenstein“ fixiert. Jeweils befinden sich zwei Endschalter am Anfang und Ende der Schnittfläche, damit der Laser nicht darüber hinausschreiten kann.

Die Verschaltung der Mikrotaster ist äußerst simpel. Ein Mikroschalter besteht aus drei Kontakten, einen C (dieser wird immer angeschlossen), N/C und einen N/O Anschluss. Verbunden werden die zwei Kontakte „C“ und „N/O“ mit der Steuerung. Handelt es sich um die Endschalter der X-Achse werden die beiden Kontakte an die Steuerungsklemme „CN4“ angeschlossen, genauer gesagt an die Anschlüsse „LmtX+“ und „LmtX-“.

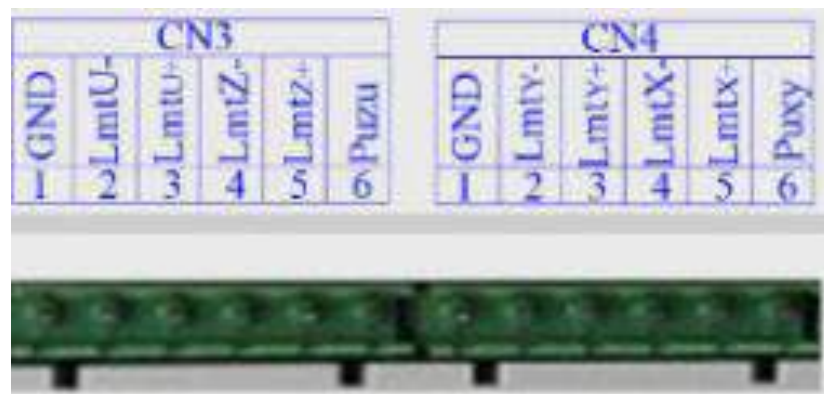


Abb.: 234 Anschlüsse für Mikroschalter

Ruhekontakt = Kontakt 1 und 3

Arbeitskontakt = Kontakt 1 und 2

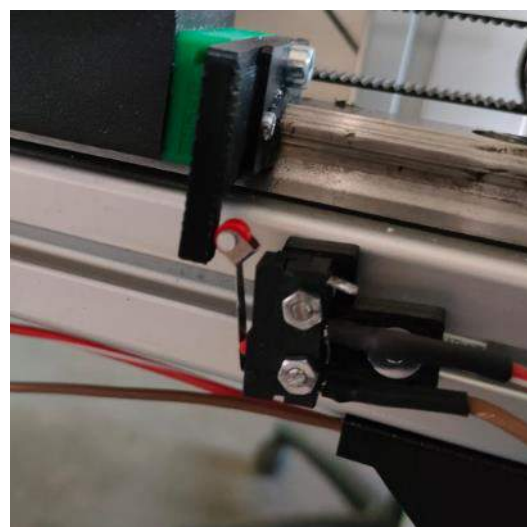


Abb.: 235 eingebauter Endschalter

1.35 Laserkomponenten

1.35.1 CO₂-Laserröhre

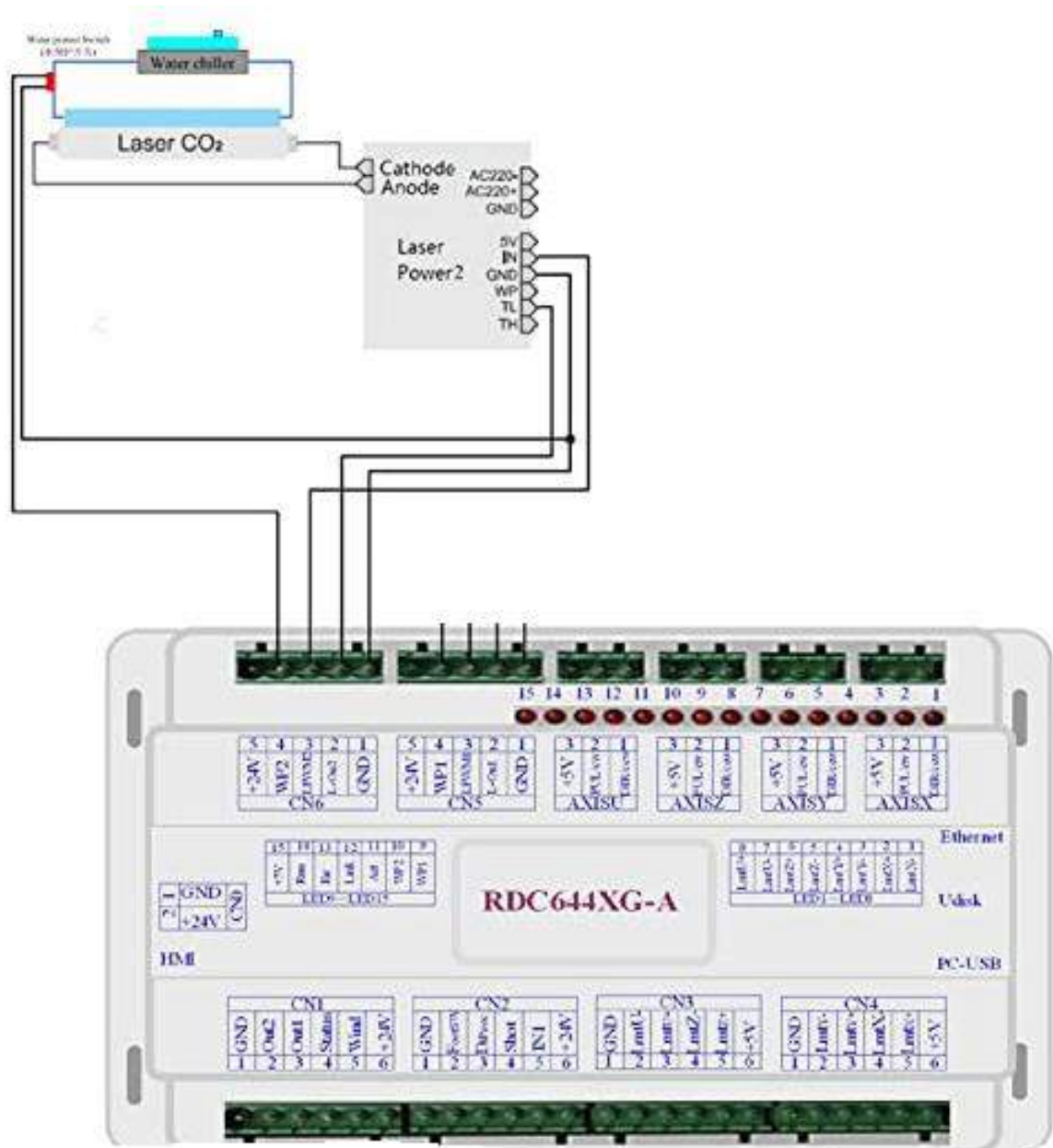


Abb.: 236 Laserröhren Schaltplan

Verbunden werden die Anschlüsse des Cloudray 80W Netzteils mit den entsprechenden Anschlüssen der CO₂-Laserröhre. Es muss beachtet werden, dass die Anschlüsse je nach Hersteller variieren können. Im Falle des Cloudray 80W Netzteils sind jedoch folgende Anschlüsse vorhanden: +24V, GND (Masse), IN (TTL), WP (Wasserpumpe), HV+ (Hochspannung), HV- (Hochspannung).

Die Wasserkühlung der CO₂-Laserröhre wird an das Cloudray 80W Netzteil angeschlossen. Verwenden Sie hierfür eine Wasserpumpe, die das Wasser durch die Kühlung der Laserröhre zirkulieren lässt. Die Wasserpumpe muss an den WP-Anschluss des Netzteils angeschlossen werden. Falls keine Wasserkühlung verwendet wird, muss der WP und GND-Anschluss mit einem Leiter überbrückt werden.

Am Cloudray 80W Netzteil befinden sich zwei Kontakte, die Anode und die Kathode, entsprechend den Farben rot und blau, müssen die beiden Drähte miteinander verlötet und mit einem Schrumpfschlauch isoliert werden. Mit einem LED-Schalter wird die Stromversorgung des Lasers unterbrochen, somit kann die Röhre manuell angesteuert werden.

Wenn alle Anschlüsse des Netzteils und der Laserröhre an die Steuerung angeschlossen wurden, muss durch die Aktivierung des LED-Schalters und durch einen kurzen Knopfdruck der Taste „Pulse“ des Steuerpanels, die Laserröhre einen Strahl von sich geben.³⁵

³⁵ (cigarbox-guitars, 2023)

1.35.2 Kompressor

Für Air-Assist wird ein kleiner Kolbenkompressor verwendet, mit einem durch die Energiekette geführten Schlauch, wird dem Laser- oder Schneidekopf Sauerstoff zugeführt. Es wird genauer gesagt ein Luftstrom erzeugt, der durch den Schneidekopf geblasen wird und dadurch die Arbeitsoberfläche kühlt und staubfrei hält.

Der Hauptgrund von Air-Assist besteht darin, die Arbeitsoberfläche staub- und rauchfrei zu halten. Durch den erzeugten Luftstrom werden Partikel weggeblasen, damit der Laserkopf nicht beeinträchtigt wird.

Am Kompressor ist eine vorgefertigte Stromleitung angeschlossen, diese muss durchtrennt werden, damit die drei Leiter an das Netzteil angeschlossen werden können. Der Mantel der Leitung muss mit einem Abisolierwerkzeug entfernt werden, infolgedessen können die drei Adern abisoliert und an das Netzteil angeschlossen werden. Der Kompressor ist sehr laut, damit er nicht durchgehend mit Strom versorgt wird, wird die Stromversorgung mit einem Schalter durchbrochen.³⁶

1.35.3 Wasserpumpe

Die Laserröhre erzeugt, während dem Lasern, eine hohe Temperatur, die durch den elektrischen Strom mit dem Gas in der Röhre entsteht. Deshalb wird eine Wasserkühlung verwendet, um die Wärme der Röhre abzuführen. Damit ein geschlossener Kreislauf des Wassers entsteht, pumpt die Wasserpumpe mit Hilfe eines Schlauches Wasser in den Eingang der Röhre. Ebenso muss das Wasser auch wieder zurückfließen, dies geschieht am Ende der Röhre, dort fließt das Wasser wieder in den mit Wasser befüllten Eimer.

Die Wasserpumpe wird genauso verschalten wie der Kompressor, beide Komponenten sind an das Netzteil angeschlossen und werden mit einem Schalter durchbrochen.³⁷

³⁶ (kompressor, kein Datum)

³⁷ (Amazon, kein Datum)

Literaturverzeichnis

(09. 01. 2023). Abgerufen am 21. 02. 2023 von Wikipedia:

https://de.wikipedia.org/wiki/Item_Industrietechnik

Adlers electronic GmbH. (kein Datum). *adlers.de*. Abgerufen am 23. 02. 2023 von

<https://adlers.de/fachwissen/mikroschalter/#:~:text=Ein%20Mikroschalter%20hat%20dabei%20beispielsweise,anderem%20T%C3%BCrverriegelungen%20oder%20beispielsweise%20Mikrowellenherde.>

all3dp. (kein Datum). Abgerufen am 20. 02. 2023 von all3dp: [https://all3dp.com/de/1/3d-](https://all3dp.com/de/1/3d-drucker-filament-vergleich-beste-arten/)

[drucker-filament-vergleich-beste-arten/](https://all3dp.com/de/1/3d-drucker-filament-vergleich-beste-arten/)

amazon. (kein Datum). *amazon.de*. Abgerufen am 24. 02. 2023 von

https://www.amazon.de/JIERTOP-Aquariumpumpe-Wasserpumpe-Springbrunnen-Hydrokultur/dp/B0995ZB45J/ref=sr_1_1_sspa?__mk_de_DE=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=1Y6S8FJVFFF58&keywords=Jiertop%2BAquarium%2BPump&qid=1677229299&srefix=jiertop%2BAquarium%2Bpu

Amazon. (kein Datum). *amazon.de*. Abgerufen am 23. 2 2023 von

https://www.amazon.de/Schrittmotor-geschlossene-Schleife-Einfacher-Feedback/dp/B07XFD9T8D/ref=sr_1_2_sspa?__mk_de_DE=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=DWS44OK4VZ6M&keywords=Stepper+servo+driver+T42&qid=1677155412&s=industrial&srefix=stepper+servo+driv

Amazon. (kein Datum). *amazon.de*. Abgerufen am 23. 2 2023 von

https://www.amazon.de/dp/B07KZL4XCL/?coliid=I3IUJR7IHS486I&colid=1JZ92B2FBVS6&pvc=1&ref_=lv_vv_lig_dp_it

Amazon. (kein Datum). *amazon.de*. Abgerufen am 23. 2 2023 von

https://www.amazon.de/dp/B07VF3N8JB/ref=sppa_dk_detail_0?psc=1&pd_rd_i=B07VF3N8JB&pd_rd_w=1JkMz&content-id=amzn1.sym.f63cb723-41a5-4d60-97aa-9969c9663073&pf_rd_p=f63cb723-41a5-4d60-97aa-9969c9663073&pf_rd_r=BYWDXTG26JCABAQ5YSE0&pd_rd_wg=SmYzo&pd_rd_r=0a3e

Amazon. (kein Datum). *amazon.de*. Abgerufen am 23. 2 2023 von

https://www.amazon.de/dp/B09KNCCHRD/?coliid=I3CBPC1SWTND5S&colid=1JZ92B2FBVS6&ref_=lv_vv_lig_dp_it&th=1

Amazon. (kein Datum). *amazon.de*. Abgerufen am 23. 2 2023 von

https://www.amazon.de/dp/B00PNEPI0A/?coliid=I175AKURRW0VR8&colid=1JZ92B2FBVS6&pvc=1&ref_=lv_vv_lig_dp_it

Amazon. (kein Datum). *Amazon.de*. Abgerufen am 24. 02. 2023 von

https://www.amazon.de/JIERTOP-Aquariumpumpe-Wasserpumpe-Springbrunnen-Hydrokultur/dp/B0995ZB45J/ref=sr_1_1_sspa?__mk_de_DE=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=1Y6S8FJVFFF58&keywords=Jiertop%2BAquarium%2BPump&qid=1677229299&srefix=jiertop%2BAquarium%2Bpu

- b:digital. (kein Datum). Abgerufen am 19. 02. 2023 von b:digital:
<https://www.cce.de/services/finanzierung.php#:~:text=Der%20Preis%20f%C3%BCr%20eine%20CATIA,haben%20wir%20besonders%20attraktive%20Angebote.>
- Bench, B. (kein Datum). *elektroamara.de*. Abgerufen am 24. 02. 2023 von
<https://www.elektroamara.de/2020/10/05/was-ist-ein-kabelkanal/>
- Calhoun, D. L. (30. 01. 2020). Abgerufen am 19. 02. 2023 von Wikipedia:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Boeing>
- cigarbox-guitars. (24. 02. 2023). *cigarbox-guitars.ch*. Von <https://www.cigarbox-guitars.ch/eigenbau-cigarbox-guitar/eigenbau-hilfsmittel/bauanleitung-eigenbau-80w-co2-laser-cutter-maschine/bauanleitung-co2-laser-teil-3-stepper-motoren-und-treiber.html> abgerufen
- Conrad. (kein Datum). *conrad.at*. Abgerufen am 21. 2 2023 von
<https://www.conrad.at/de/ratgeber/technik-einfach-erklart/richtig-loeten-lernen.html>
- Filamentpreis.de. (kein Datum). *filamentpreis.de*. Abgerufen am 23. 2 2023 von
<https://www.filamentpreis.de/alles-ueber-schrittmotor-treiber/#:~:text=Motortreiber%20sind%20die%20Chips%2C%20die,Betriebslautst%C3%A4rke%20eines%203D%20Druckers%20bestimmen.>
- Gordon Busch. (14. 2 2019). *all-electronics.de*. Abgerufen am 23. 2 2023 von
<https://www.all-electronics.de/elektronik-entwicklung/welche-vorteile-die-aderendhuelse-bietet-459.html>
- Haberkorn. (kein Datum). Abgerufen am 21. 02. 2023 von Haberkorn:
<https://www.haberkorn.com/item-profilssysteme/mb-systembaukasten#:~:text=Der%20MB%20Systembaukasten%20von%20item,und%20viele%20Jahre%20lang%20nutzbar.>
- Intratec Warenhandels GmbH. (2018). *intratec-shop.de*. Abgerufen am 21. 2 2023 von
<https://www.intratec-shop.de/ratgeber/kabel-richtig-abisolieren-mit-messer-oder-zange>
- Joachim Herz Stiftung. (2023). Abgerufen am 22. 02. 2023 von leifiphysik:
<https://www.leifiphysik.de/optik/lichtreflexion/grundwissen/reflexionsgesetz#:~:text=Das%20Reflexionsgesetz%20besagt%3A,der%20Ausfallswinkel%20sind%20gleich%20gro%C3%9F.>
- kompressor. (kein Datum). *kompressor.one*. Abgerufen am 24. 02. 2023 von
<https://www.kompressor.one/07-seiten/5060-kompressor-funktion.php#:~:text=Aufbau%20eines%20Kolbenkompressors,Somit%20wird%20die%20Luft%20verdichtet.>
- kompressor.one. (24. 02. 2023). *kompressor.one*. Von <https://www.kompressor.one/07-seiten/5060-kompressor-funktion.php#:~:text=Aufbau%20eines%20Kolbenkompressors,Somit%20wird%20die%20Luft%20verdichtet.> abgerufen

- lernhelfer. (kein Datum). *lernhelfer.de*. Abgerufen am 24. 02. 2023 von <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/strommesser>
- maschinenbau-wissen. (2009). Abgerufen am 21. 02. 2023 von *maschinenbau-wissen*: <https://www.maschinenbau-wissen.de/skript3/konstrktion-entwicklung/technisches-zeichnen/187-bemassung#:~:text=In%20DIN%20406%2D10%20und,gem%C3%A4%C3%9F%20DIN%20406%20zu%20beschreiben.>
- MASCHINFO. (kein Datum). Abgerufen am 20. 02. 2023 von MASCHINFO: <https://www.maschinfo.de/CNC-G-Code#:~:text=G%2DCode%20ist%20eine%20Maschinensprache,Maschinen%20das%20Gleiche%20machen%20sollte.>
- MrBeam. (16. 08. 2022). *mr-beam.org*. Abgerufen am 24. 02. 2023 von <https://www.mr-beam.org/blogs/news/wie-funktioniert-ein-co2-laser>
- rd-works-8. (kein Datum). *www.rd-acs.com*. Abgerufen am 20. 2 2023 von <https://www.fablabtreviseo.org/content/2-laboratori/1-attrezzature/rd-works-8.pdf>
- RS. (kein Datum). *at.rs-online.com*. (RS) Abgerufen am 21. 2 2023 von <https://at.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=ideen-und-tipps/elektriker-werkzeugsatz-leitfaden>
- ruidacnc. (1. 10 2021). *RuiDa Controller*. Abgerufen am 20. 2 2023 von <https://www.ruidacontroller.com/rdc6445s/>
- schraube-mutter. (kein Datum). Abgerufen am 21. 02. 2023 von *schraube-mutter*: <https://schraube-mutter.de/bohrtabelle-fuer-metrisches-iso-gewinde/#:~:text=Das%20metrische%20ISO%20Gewinde%20ist,nach%20der%20Norm%20DIN%2013.>
- Wikipedia. (03. 12. 2020). *Wikipedia*. Abgerufen am 21. 02. 2023 von <https://de.wikipedia.org/wiki/Tafelschere>
- Wikipedia. (16. 12. 2022). Abgerufen am 21. 02. 2023 von Wikipedia: <https://de.wikipedia.org/wiki/Bands%C3%A4ge>
- Wikipedia. (16. 08. 2022). Abgerufen am 2023. 02. 21 von Wikipedia: <https://de.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4gen>
- wikipedia. (12. 01. 2023). *de.wikipedia.org*. Abgerufen am 24. 02. 2023 von <https://de.wikipedia.org/wiki/Taste>
- wikipedia. (10. 02. 2023). *wikipedia.org*. Abgerufen am 24. 02. 2023 von <https://de.wikipedia.org/wiki/Notausschalter>

Abbildungsverzeichnis:

Abb.: 1 Skizze des Gerüsts auf Papier	13
Abb.: 2 Grundidee auf Papier	13
Abb.: 3 Rahmen auf Millimeterpapier	14
Abb.: 4 Anwendungssymbol – CATIA	15
Abb.: 5 Flugzeug Triebwerk in CATIA V5.....	15
Abb.: 6 Rahmen in CATIA.....	16
Abb.: 7 Abdeckklappe in CATIA	16
Abb.: 8 warben Muster in CATIA	17
Abb.: 9 Schnittfläche in CATIA	17
Abb.: 10 gesamtes Grundgerüst in CATIA	17
Abb.: 11 Arbeitsumgebungen der Software	18
Abb.: 12 Koordinatensystem 2D.....	19
Abb.: 13 Koordinatensystem 3D.....	19
Abb.: 14 Koordinatensystem 2D - CATIA.....	20
Abb.: 15 Koordinatensystem 3D - CATIA.....	20
Abb.: 16 Datei Auswahl - CATIA	21
Abb.: 17 Startbildschirm - CATIA.....	21
Abb.: 18 Achsenebenen.....	22
Abb.: 19 Achsenkreuz	22
Abb.: 20 Symbol Skizze	22
Abb.: 21 Zeichnung Kreis.....	22
Abb.: 22 Symbol Kreis	22
Abb.: 23 weitere Möglichkeiten für Kreise	22
Abb.: 24 Symbol Rechteck	23
Abb.: 25 Zeichnung Rechteck.....	23
Abb.: 26 Symbol Ausgerichtetes Rechteck	23
Abb.: 27 Zeichnung ausgerichtetes Rechteck.....	23
Abb.: 28 Zeichnung Parallel	23
Abb.: 29 Zeichnung nicht Parallel	23
Abb.: 30 Symbol Profil.....	23
Abb.: 31 Symbol Skizze	23
Abb.: 32 Kongruenz	24
Abb.: 33 nicht Kongruenz.....	24
Abb.: 34 Beispiel Figur	24
Abb.: 35 Zeichnung Freihand	24
Abb.: 36 Symbol Bemaßung.....	25
Abb.: 37 Bemaßung von zwei Linien.....	25
Abb.: 38 Bedingungsdefinition.....	25
Abb.: 39 veränderter Wert in der Zeichnung.....	25

Abb.: 40 Kreis mit Bemaßung	25
Abb.: 41 Bedingungsdefinition	25
Abb.: 42 Parallel setzen	26
Abb.: 43 Parallelität Bemaßung	26
Abb.: 44 Zeichnung im Nullpunkt	26
Abb.: 45 Zeichnung auf 0 setzen.....	26
Abb.: 46 Überbemaßung.....	27
Abb.: 47 richtige Bemaßung	27
Abb.: 48 Symbol Umgebung verlassen	28
Abb.: 49 Symbol Block	28
Abb.: 50 Definition des Blocks.....	28
Abb.: 51 3D Figur	28
Abb.: 52 Zeichenebene	29
Abb.: 53 3D Objekt mit Ausmaß	29
Abb.: 54 3D Objekt mit Tasche	30
Abb.: 55 Symbol Tasche	30
Abb.: 56 Definition der Tasche	30
Abb.: 57 Typen von Definition der Tasche	30
Abb.: 58 Symbol Fase	31
Abb.: 59 Fasendefinition Länge/Winkel	31
Abb.: 60 3D Objekt Fase	31
Abb.: 61 Fasendefinition Länge 1/Länge 2	31
Abb.: 62 Fehlermeldung - Rundung.....	32
Abb.: 63 Symbol Kantenverrundung.....	32
Abb.: 64 3D Objektrundung	32
Abb.: 65 Eigenschaften öffnen	33
Abb.: 66 Eigenschaften	33
Abb.: 67 Assembly Design	34
Abb.: 68 Vorhandene Komponente einfügen	34
Abb.: 69 Objekte nach dem Einfügen	35
Abb.: 70 Kompass	35
Abb.: 71 Bewegung der Objekte.....	35
Abb.: 72 Symbol „Komponente fixieren“	36
Abb.: 73 Anker aktiviert.....	36
Abb.: 74 Kongruenzbedingung an der Achse aktivieren.....	36
Abb.: 75 Symbol „Kongruenzbedingung“	36
Abb.: 76 „Alles aktualisieren“	37
Abb.: 77 Indikator für die Bedingung	37
Abb.: 78 Symbol „Offsetbedingung“	37
Abb.: 79 Nach der Aktualisierung	37
Abb.: 80 Vor der Aktualisierung.....	37

Abb.: 81 Eigenschaften der Bedingung.....	37
Abb.: 82 Gute Ordnereinteilung.....	38
Abb.: 83 Fehlermeldung durch fehlende Dateien	38
Abb.: 84 Funktionsprinzip FDM – Drucker	39
Abb.: 85 Anycubic i3 Mega S.....	40
Abb.: 86 3D Drucker Stepper Motor.....	40
Abb.: 87 Düse 0.4mm.....	41
Abb.: 88 Querschnitt Druckkopf.....	41
Abb.: 89 Heizblock mit Düse.....	41
Abb.: 90 Keine Haftung am Druckbett.....	42
Abb.: 91 Falsches Bad Leveling	42
Abb.: 92 Beispiel G-Code anhand eines 3D Druckers	43
Abb.: 93 Datei abspeichern als STL-Datei	43
Abb.: 94 Ultimaker CURA	44
Abb.: 95 Achsensystem CURA	44
Abb.: 96 Layer Height Einstellungen.....	45
Abb.: 97 Layer Height Vergleich.....	45
Abb.: 98 15% Infill.....	45
Abb.: 99 60% Infill.....	45
Abb.: 100 Infill Einstellungen.....	45
Abb.: 101 Layer Shifting.....	46
Abb.: 102 „Stringing“ am Bauteil.....	46
Abb.: 103 Printspeed Einstellung.....	46
Abb.: 104 Overhang-Test	47
Abb.: 105 Support Einstellung.....	47
Abb.: 106 Supportstructure "Tree" in CURA	47
Abb.: 107 Beispiel für Supportstructure.....	47
Abb.: 108 Druckzeit und Materialverbrauch	48
Abb.: 109 G-Code generieren und speichern.....	48
Abb.: 110 Dateiname und Dateiformat	48
Abb.: 111 Schalter für den Spannungsmodus.....	49
Abb.: 112 Filament in Kunststoffbeutel	49
Abb.: 113 Feuchtigkeitsabsorber	49
Abb.: 114 PLA Filamentrollen	50
Abb.: 115 Klemmbausteine	50
Abb.: 116 Filament aus PET.....	51
Abb.: 117 Kunststoffflasche aus PET	51
Abb.: 118 Hauptmenü	52
Abb.: 119 Preheat Menü.....	52
Abb.: 120 Tools Menü.....	52
Abb.: 121 Tools Menü.....	53

Abb.: 122 Filament Menü.....	53
Abb.: 123 Filament in Extruder einführen.....	53
Abb.: 124 Hauptmenü	54
Abb.: 125 Print Menü	54
Abb.: 126 Druck Status	54
Abb.: 127 Spachtel zum Ablösen des Bauteils	54
Abb.: 128 Gesamtansicht CATIA Drawing.....	55
Abb.: 129 Draufsicht CATIA Drawing	55
Abb.: 130 Bandsäge an der i:HTL Bad Radkersburg.....	56
Abb.: 131 Bandsägeblatt.....	56
Abb.: 132 Zuschneiden eines Profils.....	57
Abb.: 133 WD-40.....	57
Abb.: 134 Beispiel Sägeblatt	57
Abb.: 135 Schlagschere an der i:HTL Bad Radkersburg	58
Abb.: 136 Schlagscherenklinge.....	58
Abb.: 137 Standbohrmaschine an der i:HTL.....	59
Abb.: 138 Bohrsortiment	59
Abb.: 139 Querschnitt einer gesenkten Bohrung.....	60
Abb.: 140 Kegelsenker	60
Abb.: 141 Senkkopfschraube M8x30 mit Innensechskant	60
Abb.: 142 gesenkte Schraube in Metall.....	60
Abb.: 143 Gewindeschneider.....	61
Abb.: 144 Firmen Logo	62
Abb.: 145 Profil 8 Sortiment.....	62
Abb.: 146 30x60 ITEM Profil.....	63
Abb.: 147 Profilvereihen im Vergleich.....	64
Abb.: 148 Profil mit Nutenstein.....	65
Abb.: 149 Anleitung zum Einsetzen des Nutensteins	65
Abb.: 150 Anleitung zum Anbringen des Verbinders.....	65
Abb.: 151 Standard-Verbindungssatz.....	65
Abb.: 152 Gebauter Rahmen	66
Abb.: 153 Gezeichneter Rahmen	66
Abb.: 154 Rahmen mit Rollen und Boden	66
Abb.: 155 Linearführungen mit Blockwagen	67
Abb.: 156 Linearführung mit Blockwagen.....	68
Abb.: 157 Einbau der Führungen	68
Abb.: 158 Spannrolle.....	69
Abb.: 159 Übersetzung der Z-Achse.....	69
Abb.: 160 Spiegelanordnung	70
Abb.: 161 Fokuspunkt der Linse.....	70
Abb.: 162 CO2 Laser Spiegelhalter mit Stellschrauben.....	71

Abb.: 163 CO2 Laserspiegel.....	71
Abb.: 164 Falsche Spiegeleinstellung	71
Abb.: 165 CAD-Modell mit Abdeckung	72
Abb.: 166 Scharnier.....	72
Abb.: 167 Abdeckung mit Gasdruckfedern	73
Abb.: 168 Gasdruckfeder 120N	73
Abb.: 169 Warbenblech.....	73
Abb.: 170 Stepper Servo Driver T42.....	74
Abb.: 171 Gesamtabmessung.....	74
Abb.: 172 Nema 17 Schrittmotor	75
Abb.: 173 Elektrische Spezifikation.....	76
Abb.: 174 Abmessungen Schrittmotor	76
Abb.: 175 Rtelligent Schrittmotor Nema 17	77
Abb.: 176 Gesamtabmessung.....	78
Abb.: 177 Technische Spezifikation	78
Abb.: 178 Microstep Driver DM542.....	79
Abb.: 179 Microstep Driver Anschlüsse	79
Abb.: 180 Nema 23 Schrittmotor	80
Abb.: 181 Datenblatt	80
Abb.: 182 Mikroschalter Kontakte.....	81
Abb.: 183 Mikroschalter.....	81
Abb.: 184 Not-Aus-Schalter	82
Abb.: 185 LED-Schalter	83
Abb.: 186 Schalter die eingebaut wurden.....	83
Abb.: 187 Installationsdiagramm	84
Abb.: 188 Aquariumpumpe	86
Abb.: 189 Kolbenkompressor	87
Abb.: 190 Funktion des Kolbens.....	88
Abb.: 191 Kabelkanal.....	89
Abb.: 192 Amperemeter	90
Abb.: 193 RDC6445G	91
Abb.: 194 Control Panel	92
Abb.: 195 Menü aufrufen	93
Abb.: 196 Sprache einstellen	93
Abb.: 197 Passwort Eingabe.....	94
Abb.: 198 X-Achse.....	95
Abb.: 199 Y-Achse.....	96
Abb.: 200 Z-Achse	97
Abb.: 201 Laserparameter	98
Abb.: 202 Speed.....	98
Abb.: 203 RDWorksV8	99

Abb.: 204 Vendor Settings	100
Abb.: 205 Arbeitsfeld	101
Abb.: 206 Abisolierwerkzeug	102
Abb.: 207 Schraubendreher	103
Abb.: 208 Kabelschneider	103
Abb.: 209 Crimpzange.....	104
Abb.: 210 Aufbau eines Kabels	104
Abb.: 211 Stegleitung.....	105
Abb.: 212 Mantelleitung.....	105
Abb.: 213 Lötstation.....	106
Abb.: 214 Dritte Hand.....	107
Abb.: 215 Lötzinn mit Flussmittel	108
Abb.: 216 Drahtenden zusammenlöten	109
Abb.: 217 Zinn auf die Drahtenden geben.....	109
Abb.: 218 Lötstelle mit Schrumpfschlauch isolieren	109
Abb.: 219 flexibel mit Adernendhülse	110
Abb.: 220 flexibel.....	110
Abb.: 221 starr eindrätig	110
Abb.: 222 Vorgang.....	111
Abb.: 223 Anschlüsse vom 24V Netzteil	112
Abb.: 224 24V Netzteil von vorne	112
Abb.: 225 Cloudray 80-100W Netzteil	113
Abb.: 226 Schaltplan der X-Achse.....	114
Abb.: 227 DIP-Schalter 1-4	115
Abb.: 228 DIP-Schalter 5 und 6.....	115
Abb.: 229 DIP-Schalter 7 und 8.....	116
Abb.: 230 Schaltplan der Y-Achse.....	117
Abb.: 231 Wicklungen.....	118
Abb.: 232 Schrittmotortreiber T42.....	118
Abb.: 233 Microstep Driver DM556.....	119
Abb.: 234 Anschlüsse für Mikroschalter	121
Abb.: 235 eingebauter Endschalter	121
Abb.: 236 Laserröhren Schaltplan.....	122
Abb.: 237 Grundgerüst-Plan	148
Abb.: 238 Klappe-Plan	149
Abb.: 239 Schnittfläche-Plan	150
Abb.: 240 Controlpanel -Plan	151

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Gewinde Kernlochdurchmesser.....	61
Tabelle 2 Zugeschnittene Profile	63
Tabelle 3 Profillängen	63
Tabelle 4 Motorstrom.....	120
Tabelle 5 Microsteps	120
Tabelle 6 Bestellliste	141
Tabelle 7 Arbeitsstunden Lerner Jonas	145
Tabelle 8 Arbeitsstunden Kaufmann Lorenz	147

Abbildungsquellenverzeichnis

Abbildung	Quelle
Anwendungssymbol – CATIA	https://mir-s3-cdn-cf.behance.net/projects/404/19207325.54b23d2aa2019.jpg
Flugzeug Triebwerk in CATIA V5	https://cdn.mindmajix.com/blog/images/what-is-catia-051120.jpg
Funktionsprinzip FDM – Drucker	Quelle: https://www.china-gadgets.de/app/uploads/2018/08/fdm_druck_aufbau-736x471.png
Anycubic i3 Mega S	Quelle: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0257/4866/8493/files/Mega_s_e6017d88-152e-4b66-a954-d52abb60dba3.jpg?v=1639622603
3D Drucker Stepper Motor	https://c-3d.niceshops.com/upload/image/product/large/default/13961_ce1d1fd7.512x512.jpg
Düse 0.4mm	https://c-3d.niceshops.com/upload/image/product/large/default/8249_b89f956c.512x512.jpg
Querschnitt Druckkopf	https://res.cloudinary.com/sternwald-systems/image/upload/cs_srgb,dpr_3.0,f_auto,fl_force_strip,q_auto/v1/hugopr/BILD/002C8342_64BB7CA90E30/13b92feb3fcc2e796eb29dee848d2f155acb898
Heizblock mit Düse	https://c-3d.niceshops.com/upload/image/product/large/default/23120_33f4805b.512x512.jpg
G-Code anhand eines 3D Druckers	https://www.3dnatives.com/es/wp-content/uploads/sites/4/GCode-1.jpg
Layer Height Vergleich	https://i.all3dp.com/workers/images/fit=cover,w=1284,h=722,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2018/05/26150702/a-comparison-of-3d-printer-layer-heights-all3dp-180528.jpg
Layer Shifting	https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSkX5_kBS883Rze3Mt3SpYeRDGsqKz6ipoqnA&usqp=CAU
„Stringing“ am Bauteil	https://www.ab3d.at/wp-content/uploads/2020/08/stringing_2048x1700.jpg
Overhang-Test	https://www.simplify3d.com/wp-content/uploads/2021/11/simplify3d-supports-overhang-test.jpg
Beispiel für Supportstructure	https://amfg.ai/wp-content/uploads/2018/10/Support-Structures-for-Fused-Deposition-Modelling-1024x576.png
Filament in Kunststoffbeutel	https://3d-drucker-filament.de/images/product_images/original_images/esun-evacuum-vakuuier-set-inkl-pumpe-zur-filament-lagerung-1.jpg
Feuchtigkeitsabsorber	https://images-eu.ssl-images-amazon.com/images/I/71m8caj0VIL._AC_UL600_SR600,400_.jpg
PLA Filamentrollen	https://de.aliexpress.com/item/10002655638.html
Klemmbausteine	https://www.barando.de/wp-content/uploads/2018/12/LEGO-Steine-2x2-gemischt-3003-Bausteine.jpg
Filament aus PET	https://c-3d.niceshops.com/upload/image/product/large/default/6391_181fa99a.jpg
Kunststoffflasche aus PET	https://generalplastic.sk/wp-content/uploads/2020/06/recyklacia-vykup-pet-flias-shadow.png

Filament in Extruder einführen	https://anycubic-i3-mega.de/wp-content/uploads/Benutzerhandbuch_Mega_V2.3_Deutsch-g.pdf
Spachtel zum Ablösen des Bauteils	https://m.media-amazon.com/images/I/415X+FL+jkL._SL1002_.jpg
Bandsägeblatt	https://images.obi.at/product/CZ/1500x1500/581703_1.jpg
Beispiel Sägeblatt	https://m.media-amazon.com/images/W/IMAGERENDERING_521856-T1/images/I/61G5vI4N0WL._AC_SX466_.jpg
WD-40	https://c-3d.niceshops.com/upload/image/product/large/default/18134_ad02e3dd.1024x1024.jpg
Schlagscherenklinge	https://serviciopapelero.com.uy/15301-home_default/cuchillas-repuesto-guillotina-de-alta-capacidad-a3-cuchilla-de-repuesto-para-guillotina-de-alta-capacidad-cuchilla-de-acero-temp.jpg
Kegelsenker	https://cdn.engelbert-strauss.de/assets/pdp/images/Two_MainImage_Crop_Desktop/product/1.Release.7143400/e_s_Kegelsenker_HSS_ultimate-137469-1-637704925843044557.jpg
Querschnitt einer gesenkten Bohrung	https://www.pass-ag.com/files/img/faq/11-2.1.jpg
Senkkopfschraube M8x30 mit Innensechskant	https://motacc.de/media/image/e7/f8/a2/SCHRAUBES-08X30-Senkkopfschraube-M8x30-mit-Innensechskant-DIN-7991-Festigkeit-8-8-1_600x600.jpg
gesenkte Schraube in Metall	https://m.media-amazon.com/images/W/IMAGERENDERING_521856-T1/images/I/41E+6mkI04L._SX385_.jpg
Gewindeschneider	https://www.stahlwerk-schweissgeraete.de/media/image/product/2406/sm/gewindebohrrset-gbs40st~4.jpg
Gewinde Kernlochdurchmesser	https://schraube-mutter.de/bohrtable-fuer-metrisches-iso-gewinde/#:~:text=Das%20metrische%20ISO%20Gewinde%20ist,nach%20der%20Norm%20DIN%2013
Firmen Logo	https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/06/Item_Industrietechnik_und_Maschinenbau_logo.svg/1024px-Item_Industrietechnik_und_Maschinenbau_logo.svg.png
Profil 8 Sortiment	https://cdn.item24.com/product-assets/PIC_PGR_PRF_Profile-8_%23SALL_%23AWBP2000K_%23V1.webp
30x60 ITEM Profil	https://m.media-amazon.com/images/W/IMAGERENDERING_52185-T1/images/I/41+18LNvRjL.jpg
Profilreihen im Vergleich	https://de.item24.com/#
Anleitung zum Einsetzen des Nutzensteins	https://de.item24.com/#
Profil mit Nutzenstein	https://cdn.item24.com/product-assets/PIC_PRD_NST_12-0014c4_%23SALL_%23AINO_%23V1.jpg
Anleitung zum Anbringen des Verbinders	https://cdn.item24.com/product-assets/PIC_PRD_VBT_b3_%23SALL_%23AINO_%23V1.jpg
Linearführung mit Blockwagen	https://m.media-amazon.com/images/I/6186O5R0LqL._SX522_.jpg
Spiegelanordnung	https://cdn.shopify.com/s/files/1/0600/6266/2838/products/3_ed718c94-7482-4720-a14c-d00fa2aa5e00_800x.jpg?v=1652167785
Fokuspunkt der Linse	https://i.ytimg.com/vi/BW3e2DzPAWo/maxresdefault.jpg
CO2 Laserspiegel	https://m.media-amazon.com/images/I/5171nYzkYFL._AC_SX466_.jpg
Gasdruckfeder 120N	https://m.media-amazon.com/images/I/31-zJH6KdL._AC_.jpg
Warbenblech	https://i.etsystatic.com/26598216/r/il/dd9114/3769265889/il_570xN.3769265889_f534.jpg

Gesamtabmessung	https://www.amazon.de/Schrittmotor-geschlossene-Schleife-Einfacher-Feedback/dp/B07XFD9T8D/ref=sr_1_1_sspa?__mk_de_DE=
Stepper Servo Driver T42	https://www.amazon.de/Schrittmotor-geschlossene-Schleife-Einfacher-Feedback/dp/B07XFD9T8D/ref=sr_1_1_sspa?__mk_de_DE=
Nema 17 Schrittmotor	https://m.media-amazon.com/images/W/IMAGERENDERING_521856-T1/images/I/51vXZxg5QFL._SL1000_.jpg
Elektrische Spezifikation	https://www.amazon.de/STEPPERONLINE-Schrittmotor-Stepping-4-Draht-Stepper/dp/B07KZQ77VH
Abmessungen Schrittmotor	https://www.amazon.de/STEPPERONLINE-Schrittmotor-Stepping-4-Draht-Stepper/dp/B07KZQ77VH
Intelligent Schrittmotor Nema 17	https://www.amazon.de/dp/B07VF3N8JB/ref=emc_b_5_i
Technische Spezifikation	https://www.amazon.de/dp/B07VF3N8JB/ref=emc_b_5_i
Gesamtabmessung	https://www.amazon.de/dp/B07VF3N8JB/ref=emc_b_5_i
Microstep Driver DM542	https://www.amazon.de/dp/B09KNG2WQL/?coliid=I3CBPC1SWTND5S&colid=1JZ92B2FBVS6&psc=1&ref_=lv_vv_lig_dp_it
Microstep Driver Anschlüsse	https://www.amazon.de/dp/B09KNG2WQL/?coliid=I3CBPC1SWTND5S&colid=1JZ92B2FBVS6&psc=1&ref_=lv_vv_lig_dp_it
Nema 23 Schrittmotor	https://m.media-amazon.com/images/W/IMAGERENDERING_521856-T1/images/I/71zluDp7jCL._AC_SX679_.jpg
Datenblatt	https://m.media-amazon.com/images/W/WEBP_402378-T2/images/I/81n8qssGlmL.jpg
Mikroschalter	https://m.media-amazon.com/images/W/IMAGERENDERING_521856-T1/images/I/61pZ10MPiLL._SX425_.jpg
LED-Schalter	http://bootsshop.at/media/image/17/ae/b7/Hella_Marine_rot_600x600.jpg
Installationsdiagramm	https://www.amazon.de/dp/B01N012STA/?coliid=I2V6SHFFQDLQ5&colid=1JZ92B2FBVS6&ref_=lv_vv_lig_dp_it&th=1
Laser-Licht-Weg	https://www.amazon.de/dp/B01N012STA/?coliid=I2V6SHFFQDLQ5&colid=1JZ92B2FBVS6&ref_=lv_vv_lig_dp_it&th=1
Aquariumpumpe	https://cdn.vergleich.org/v2/comparison-tables/jiertop-aquarium-pumpe.jpg?d=100x100&q=70&fill=true
Kolbenkompressor	https://m.media-amazon.com/images/W/IMAGERENDERING_521856-T1/images/I/61KT3bk8xfl._AC_SL1500_.jpg
Funktion des Kolbens	https://res.cloudinary.com/dgdg/images/f_auto,q_auto/v1586277719/Kolbenkompressor-Animation/Kolbenkompressor-Animation.jpg?_i=AA
Kabelkanal	https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b6/Insertion_trunking.JPG/220px-Insertion_trunking.JPG
Amperemeter	https://m.media-amazon.com/images/I/71yJBjv+MCL._AC_SX355_.jpg
RDC6445G	https://www.cigarbox-guitars.ch/images/gallery/Eigenbau_CO2_Laser/Ruida_RDC644XG-A.jpg
Control Panel	https://5.imimg.com/data5/TP/XS/JL/SELLER-42934039/ruida-rdc6445g-controller-for-co2-laser-engraving-cutting-machine-with-power-supply--1000x1000.png
RDWorksV8	https://www.fablabtreviso.org/content/2-laboratori/1-attrezzature/rd-works-8.pdf

Abisolierzange	https://www.salzburger-lagerhaus.at/cc-bilder/bilder-shop-2017-08-09/image-thumb__30048__ccNewsItemLightBox/68799-abisolierzange-170-vde.webp
Schraubendreher	https://at.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=ideen-und-tipps/elektriker-werkzeugsatz-leitfaden
Kabelschneider	https://at.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=ideen-und-tipps/elektriker-werkzeugsatz-leitfaden
Crimpzange	https://www.weidinger.eu/img/600/744/resize/w/e/weidm%C3%BCller-901260-118-pz16.jpg
Aufbau eines Kabels	https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/04/NYM_nach_VDE_0293-308_2003-01.svg/1200px-NYM_nach_VDE_0293-308_2003-01.svg.png
Stegleitung	https://www.elektrikerwissen.de/wp-content/uploads/2018/10/Stegleitung.jpg
Mantelleitung	https://cache.willhaben.at/mmo/9/613/048/529_-144504879.jpg
Lötstation	https://www.galaxus.ch/im/Files/7/7/8/1/2/9/5/52216.jpg?impolicy=
Dritte Hand	https://asset.conrad.com/media10/isa/160267/c1/-/de/L%C3%B6ten_8/loethilfe.jpg
Lötzinn mit Flussmittel	https://asset.conrad.com/media10/isa/160267/c1/-/de/Flussmittel/flussmittel.jpg?x=514&cdx=514&cdy=420&cox=10&coy=0
Zinn auf die Drahtenden geben	https://asset.conrad.com/media10/isa/160267/c1/-/de/draht_1/drahte-zusammenloeten-skizze-1.jpg?x=420
Drahtenden zusammenlöten	https://asset.conrad.com/media10/isa/160267/c1/-/de/draht_2/drahte-zusammenloeten-skizze-2.jpg?x=420
Lötstelle mit Schrumpfschlauch isolieren	https://asset.conrad.com/media10/isa/160267/c1/-/de/draht_3/drahte-zusammenloeten-skizze-3.jpg?x=420
starr eindrähtig	https://www.all-electronics.de/assets/images/8/605-Phoenix-Contact-Bild3-ec416cb2.jpg
flexibel	https://www.all-electronics.de/assets/images/8/605-Phoenix-Contact-Bild3-ec416cb2.jpg
flexibel mit Adernendhülse	https://www.all-electronics.de/assets/images/8/605-Phoenix-Contact-Bild3-ec416cb2.jpg
Vorgang	https://i.ytimg.com/vi/inwXYxWu7MY/maxresdefault.jpg
Anschlüsse vom 24V Netzteil	https://www.amazon.de/dp/B077CL831Y/?coliid=I3B6TYIG60SI17&colid=1JZ92B2FBVS6&psc=1&ref_=lv_vv_lig_dp_it
24V Netzteil von vorne	https://www.amazon.de/dp/B077CL831Y/?coliid=I3B6TYIG60SI17&colid=1JZ92B2FBVS6&psc=1&ref_=lv_vv_lig_dp_it
Cloudray 80-100W Netzteil	https://www.amazon.de/dp/B07GR4FVFN/?coliid=I2AZSSEFLJC NHD&colid=1JZ92B2FBVS6&ref_=lv_vv_lig_dp_it&th=1
RDC644XG-A Steuerung	https://www.cigarbox-guitars.ch/images/gallery/Eigenbau_CO2_Laser/Ruida_RDC644XG-A.jpg
Schaltplan der X-Achse	https://m.media-amazon.com/images/I/61s50c+nYSL._AC_SX466_.jpg
DIP-Schalter 1-4	https://www.cigarbox-guitars.ch/eigenbau-cigarbox-guitar/eigenbau-hilfsmittel/bauanleitung-eigenbau-80w-co2-laser-cutter-maschine/bauanleitung-co2-laser-teil-3-stepper-motoren-und-treiber.html
DIP-Schalter 5 und 6	https://www.cigarbox-guitars.ch/eigenbau-cigarbox-guitar/eigenbau-hilfsmittel/bauanleitung-eigenbau-80w-co2-laser-cutter-maschine/bauanleitung-co2-laser-teil-3-stepper-motoren-und-treiber.html

DIP-Schalter 7 und 8	https://www.cigarbox-guitars.ch/eigenbau-cigarbox-guitar/eigenbau-hilfsmittel/bauanleitung-eigenbau-80w-co2-laser-cutter-maschine/bauanleitung-co2-laser-teil-3-stepper-motoren-und-treiber.html
Schaltplan der Y-Achse	https://www.cigarbox-guitars.ch/eigenbau-cigarbox-guitar/eigenbau-hilfsmittel/bauanleitung-eigenbau-80w-co2-laser-cutter-maschine/bauanleitung-co2-laser-teil-3-stepper-motoren-und-treiber.html
Wicklungen	https://www.cigarbox-guitars.ch/eigenbau-cigarbox-guitar/eigenbau-hilfsmittel/bauanleitung-eigenbau-80w-co2-laser-cutter-maschine/bauanleitung-co2-laser-teil-3-stepper-motoren-und-treiber.html
Schrittmotortreiber T42	https://www.cigarbox-guitars.ch/eigenbau-cigarbox-guitar/eigenbau-hilfsmittel/bauanleitung-eigenbau-80w-co2-laser-cutter-maschine/bauanleitung-co2-laser-teil-3-stepper-motoren-und-treiber.html
Microstep Driver DM556	https://www.cigarbox-guitars.ch/eigenbau-cigarbox-guitar/eigenbau-hilfsmittel/bauanleitung-eigenbau-80w-co2-laser-cutter-maschine/bauanleitung-co2-laser-teil-3-stepper-motoren-und-treiber.html
Microsteps-Tabelle	https://www.cigarbox-guitars.ch/eigenbau-cigarbox-guitar/eigenbau-hilfsmittel/bauanleitung-eigenbau-80w-co2-laser-cutter-maschine/bauanleitung-co2-laser-teil-3-stepper-motoren-und-treiber.html
Motorstrom-Tabelle	https://www.cigarbox-guitars.ch/eigenbau-cigarbox-guitar/eigenbau-hilfsmittel/bauanleitung-eigenbau-80w-co2-laser-cutter-maschine/bauanleitung-co2-laser-teil-3-stepper-motoren-und-treiber.html
Mikroschalter	https://www.cigarbox-guitars.ch/eigenbau-cigarbox-guitar/eigenbau-hilfsmittel/bauanleitung-eigenbau-80w-co2-laser-cutter-maschine/bauanleitung-co2-laser-teil-3-stepper-motoren-und-treiber.html
Laserröhren Schaltplan	https://www.cigarbox-guitars.ch/eigenbau-cigarbox-guitar/eigenbau-hilfsmittel/bauanleitung-eigenbau-80w-co2-laser-cutter-maschine/bauanleitung-co2-laser-teil-3-stepper-motoren-und-treiber.html

Anhang

Bestellliste Onlinehändler

Stück	Einzelpreis	Gesamt	Bezeichnung	Internetseite
2	78,71 €	157,42 €	CNCMANS HGR15 Linearführung Linearschiene 2Stück HGR15 1200mm Führungsschiene mit 4Stück Hohe Präzision HGH15CA Linearlager Lagerblock,	Amazon
2	13,99 €	27,98 €	Gasdruckfeder mit 120N / 12 kg Ausschubkraft und 552mm Länge, Gasdruckdämpfer, Gasfeder	Amazon
2	27,22 €	54,44 €	STEPPERONLINE Nema 23 Schrittmotor 1.8deg 1.9Nm 2.8A 57x76mm Stepper Motor 4 Drähte für 3D Drucker, CNC Fräse	Amazon
1	16,14 €	16,14 €	Cloudray 30mA Amperemeter HUA 85C1 Analog Amp Panel Meter Strom für CO2 Lasergravur Schneidemaschine	Amazon
1	34,27 €	34,27 €	Trafo DC 24V 15A 360W Schalernetzteil 230V AC auf DC Netzteil 24Volt Transformator Industriell Adapter 12/10/7/6/5A	Amazon
1	26,21 €	26,21 €	Jusnboir TB6600 Stepper Motor Driver Lämplig für 42/57/86 2-Fas 4-Fas Motor 4.0A 9-42V (Pulse 3-24V))	Amazon
1	50,41 €	50,41 €	STEPPERONLINE 5PCS Nema 17 Schrittmotor 45Ncm 1.5A 12V 39mm 4-Draht 1.8 Deg Stepper Motor	Amazon
3	88,74 €	266,22 €	RTELLIGENT Nema 17 Schrittmotor mit geschlossenem Regelkreis und Treibersatz 80 Ncm 2,8 A 8 mm Welle 85 mm	Amazon
1	48,95 €	48,95 €	Hailea Luftpumpe/Kolbenkompressor "ACO 318", 60 l/min, 18,2x9,5x11,6 cm, grau	Amazon
1	19,15 €	19,15 €	Nirox 4er Set Transportrollen 75 mm - Schwerlastrollen mit Bremse bis 50 kg pro Rad - Lenkrollen für innen und außen	Amazon
1	310,58 €	310,58 €	TEN-HIGH CO2 Glas Laserröhre Laser Tube 60W 1000 mm Dm. 50 mm für Laser Gravier- und Schneiden Maschine	Amazon
1	220,84 €	220,84 €	Cloudray 60W T Serie CO2 Power Supply CO2 Laser Netzteil Für CO2 Laserrohr CO2 Laserröhre	Amazon
1	24,19 €	24,19 €	3D Drucker Zahnriemen GT2 10mm Gummi Zahnriemen (10 Meter)	Amazon
1	8,05 €	8,05 €	2 X GT2 mit 10mm Breite 20 Zahn Riemenscheibe Pulley (GT2 20Z Ø8mm)	Amazon
1	484,03 €	484,03 €	Cloudray Ruida Rdc6445S CO2 Controller DSP Controller Rdc6445 CO2 Laser Ruida Controller Laser Cutter	Amazon
1	16,61 €	16,61 €	JIERTOP Aquariumpumpe 450 L/H Teichpumpe Ultra leise Geräusche mit 1,83 m Netzkabel Wasserpumpe mit 4 starken Saugnäpfen und 3 Düsen für Springbrunnen Aquarium Hydrokultur Garten Teich Statue	Amazon

1	15,82 €	15,82 €	Silikonschlauch 8mm ID X 11mm OD, 5 Meter, LAVMHAB Lebensmitteltaugliche Schläuche Flexibler Silikonschlauch Klar Wasser Luft Schläuche Rohre für die Pumpe übertragen	Amazon
1	15,85 €	15,85 €	Silikonschlauch 3mm ID X 6mm OD, 8 Meter, LAVMHAB Lebensmitteltaugliche Schläuche Flexibler Silikonschlauch Klar Wasser Luft Schläuche Rohre für die Pumpe übertragen	Amazon
1	27,22 €	27,22 €	GOMING 24V COB LED Strip Natürliches Weiß 4000K 5M LED Streifen 480LED/M LED Band Selbstklebend CRI 90+ Hohe Helligkeit 4500lm Nicht Wasserdicht IP20 LED Lichtband für Innen Heim Küche Deko	Amazon
1	33,36 €	33,36 €	Nut 6 Steine	Aliexpress
1	70,46 €	70,46 €	Cloudray K Serie Blau Goldene CO2 Laser Kopf Set mit Objektiv Spiegel	Aliexpress
1	17,99 €	17,99 €	Cloudray Co2 Laser Si reflective Mirrors for Laser Engraver Gold-Plated Silicon Reflector Lenses Dia. 19 20 25 30 38.1 mm	Aliexpress
2	4,22 €	8,44 €	2 Stück 51304 8304 20x47x18 axial-kugellager Axial Rillenkugellager	Aliexpress
2	21,25 €	42,50 €	HTD 5 mit Zahnriemen 15mm Breite 2350mm länge	Aliexpress
1	1,88 €	1,88 €	1pc AC steckdose AC-09 Drei-in-einem Schalter mit Sicherung	Aliexpress
5	1,03 €	5,15 €	5pc Mini Micro Limit Switch NO NC 3 Pin PCB Terminals SPDT 5A	Aliexpress
1	3,58 €	3,58 €	16mm 19mm 22mm 1NO 1NC Waterproof Metal Latching Emergency STOP Mushroom Push Button Switch Button Switch Knob Rotary Switch	Aliexpress
2	3,55 €	7,10 €	GT2 Zahnriemen Pulley 60 Zähne 20 Zähne 5mm/8mm	Aliexpress
3	10,90 €	32,70 €	1pc 1 M 10*11 mini Energie Kette Nylon Drag Kette CNC 3D Druck	Aliexpress
4	2,87 €	11,48 €	Lead Screw T8 600mm Linear Guide 3D Printers Parts helical pitch 2mm 4mm 8mm 10mm 12mm Trapezoidal Screws with nut	Aliexpress
4	4,39 €	17,56 €	HTD 5M 20T Timing Pulley 20 Zähne 5M-20T	Aliexpress
4	4,70 €	18,80 €	10 teile/los Doppel Abgeschirmt Miniatur carbon Stahl Einreihige	Aliexpress
2	3,87 €	7,74 €	-50 ~125 LED Temperatur Meter Detektor Sensor Sond	Aliexpress
1	23,72 €	23,72 €	Taster Anschlussbuchsen	Aliexpress
Summe		2.126,84 €		

Tabelle 6 Bestellliste

Arbeitsstunden Lerner Jonas

Datum	Tätigkeit	Stunden
2022-06-10	Erstellen einer PowerPoint für die DA - Vorstellung	4
2022-06-14	Vorstellung der Diplomarbeit für Finanzierung in der i:HTL mit Bürgermeister	1
2022-06-15	Besprechung über Gerüstplanung mit Herr Fürbass	2,75
2022-06-15	Planung des groben Grundgerüsts auf Papier	2,5
2022-06-16	Planung des Grundgerüsts auf Millimeterpapier	2,25
2022-06-17	Zeichnen der ITEM Längen des Grundgerüsts in Catia	4
2022-06-18	Zusammenbau des Grundgerüsts in Catia	4,75
2022-06-20	CATIA V5 Drawing der Grundgerüsts entwerfen	1,5
2022-06-21	Besprechung mit FB über V1 des Grundgerüsts in CATIA; Verbesserung auf V2	2
2022-06-22	Planung der Klappe des CO2 Schneiders auf Papier sowie in Catia + Rücksprache mit FB + entwerfen von CATIA Drawing	4
2022-06-23	Planung der Schnittfläche des CO2 Schneiders auf Papier sowie in Catia + entwerfen von CATIA Drawing	3,5
2022-09-13	Diplomarbeitsdatenbank Einträge	1,5
2022-09-20	Diplomarbeitsdatenbank Einträge	2
2022-09-22	ITEM Profilleiten zurecht schneiden	4
2022-09-29	Diplomarbeitsdatenbank Einträge einreichen	0,5
2022-10-02	ITEM Profillängen mit CAD-Zeichnung vergleichen	1
2022-10-03	Zahnrad in CATIA V5 gezeichnet Zusammenbau von der ersten Wand des Grundgerüst	4,5
2022-10-04	letzte ITEM-Profile für Grundgerüst zurechtschneiden	2
2022-10-04	CATIA Komponenten Zeichnen und einfügen	3,5
2023-10-05	Grundgerüst ITEM Profile bohren und zusammenbauen (FB mit 1. Klasse)	7
2022-10-06	Klappen ITEM Profile bohren und zusammenbauen	4
2022-10-06	CATIA Komponenten zeichnen (von Amazon Bestellung)	4,5
2022-10-09	Entwerfen und drucken der ITEM Profilleiten Abdeckungen	1
2022-10-11	Anbringen der Lastenräder, Schienen für den Boden zurecht schneiden entwickeln der Scharniere in CATIA,	6
2022-10-18	Montage der Bodenplatten; Einbau von Metallboden; Entwurf von Z Achsenlagerhalterung	6
2022-10-19	Einbau letzter Metallbodenplatte; Zuschneiden ITEM für Achsenbefestigung;	5,75
2022-10-20	Bohrungen für Spindel der Z-Achse	1,5
2022-10-24	Zeichnen in Catia (Drucktaster, Notaus, 230V Anschluss, LCD-Display)	3,75
2022-10-25	Optimierung, bzw. neu machen der Bedingungen des Grundgerüsts in CATIA, (durch Fehler Bedingungen gelöscht)	4,75
2022-10-27	Recherche der Nemar 17 Nemar 23 Motoren (Ansteuerung, Verkabelung, Funktion), Motorhalterung entworfen	3,5

2022-10-28	Zeichnen in Catia (Spiegel 1 und 2)	5,5
2022-10-29	Zeichnen in Catia (Spiegel 3)	1,5
2022-10-31	Vorschläge bzw. Skizzen entwerfen für die X Y-Achse	3
2022-11-01	Einbau der Spiegel in die CATIA Zeichnung + Internetrecherchen über X Y Achsenbewegung	2,5
2022-11-08	Lagerhalterung V2 mit Verschraubung ITEM zeichnen, Pakete auspacken,+ vorläufige Spindelfixierung oben	4
2022-11-09	3D Druckteile vorbereitet (Lagerhalterung) und an FB weitergeleitet zum Drucken in Graz	0,75
2022-11-10	Catia V5 CO2 Röhren Halterung zeichnen + zusammenschneiden und anbringen von 40x40 Profil für Befestigung der Röhre	2
2022-11-15	3D Laserröhren Halterung V2 angebracht+ neue Teile mit Malik ausgedruckt	2
2022-11-17	Lagerhalterung unten und oben auf einer Seite vorläufig angebracht, sowie die 4 Winkel	3
2022-11-20	Ideen Sammlung + Recherche über Z Motor Halterung + 3D Druck Vorbereitungen	2,5
2022-11-21	Z Motorhalterung zeichnen in CATIA	1,25
2022-11-22	Einbau aller 4 Gewindestangen Halter sowie Lagerhalterung, Kontrolle der Maße für Z Motorhalterung + Start des 3D Druckes	4
2022-11-23	Zahnriemen Spanner und Halter zeichnen + 3D druck starten und einstellen	2,45
2022-11-29	Ideen Findung für Y-Achse auf Linearführung + Skizze entwerfen	2,75
2022-11-30	Z Achsenposition final fixieren + Zusammenbau der Riemenspanner	3,75
2022-12-02	Bohrungen Bohren in der Grundplatte für den Einbau der Riemenspanner und Z Motorhalterung + erster Testversuch der Z-Achse (erfolgreich)	3
2022-12-03	Drucktaster , Controller , etc. in Verkleidungsteil einzeichnen, damit es dann von FB in Graz geschnitten werden kann	2,75
2022-12-04	Zeichnen und Drucken von Eckbefestigungen V1 V2 V3	2,25
2022-12-06	Verbesserung der Eckbefestigung auf V4 + Auslegung und Bestimmung der Umlenkrolle für die X Y Achsen Motoren	3
2022-12-06	Seitenbefestigung V1 zeichnen	1
2022-12-08	Einbau der X Y-Achsen, Umlenkrolle und Zahnriemen in die CAD Zeichnung(provisorisch),	2,75
2022-12-12	Einbau der Abdeckung rechts oben mit den Tastern und Anzeigen	2
2022-12-13	Entwerfen und drucken der X Y Motorhalterung V1 (links) + Recherche über Linearführung zum Bestellen	2
2022-12-14	Vorbereitung für Änderung der Übersetzung der Z-Achse (Motorhalterung auffräßen) + XY Motorhalterung V2 Zeichnen	3
2022-12-15	XY Motorhalterung V2 provisorisch anbringen und Änderungen vornehmen sowie 2 weitere drucken + Recherche für Bestellung von Riemenrollen (10mm)	4
2022-12-20	Änderung der Z Achsenübersetzung + entpacken der Linearführungen	2,5

2022-12-21	Testen der neuen Z Achsenübersetzung (erfolgreich durch anderen Motordriver)	0,5
2022-12-22	Metallplatte für XY Achse schneiden bohren und einbauen	3,5
2022-12-23	Design + Testdruck für XY Zahnriemenbefestigung	2,25
2022-12-26	CATIA Zusammenbau aktualisieren und alle neuen Teile einfügen	4,5
2022-12-28	Zahnriemenbefestigung anbringen und Zahnriemen Spannen + beide Motorhalterungen neu anbringen und ausrichten + 2 Platten für Spiegelhalterung herstellen + Linearführung verbauen	8,5
2022-12-29	Catia Zusammenbau aktualisieren, was am 28.12.2022 eingebaut wurde	2,5
2022-12-30	Aluplatte für X Achsenmotor und Spiegel 3 erstellt + umlenkrolle der X-Achse neu in CATIA zeichnen	4,75
2022-12-31	CATIA Zusammenbau auf ist stand aktualisieren	2,5
2023-12-02	Datenblatt von RDC6445G lesen + Informationen über 42A08EC Stepper Motor sammeln für Verkabelung	2,25
2023-12-03	erste Testverkabelung der X Y Z Achsen (X Achse funktioniert, Rest nicht)	4,5
2023-01-06	Recherche über eventuelle Fehler der Verkabelung	2,5
2023-01-10	Abbau der Testverkabelung aus optischen Gründen für den Tag der offenen Tür + Energieketten für X Y Achse anbringen + Auflageplatten für Energieketten schneiden und bohren	4
2023-01-11	Grundplatte für Elektronik besorgen + Zeichnen und Testdrucken von Blockwagenaufsatz sowie Endschalterhalter	3
2023-01-12	Grundplatte für Elektronik zurechtschneiden und bohren + Bauteile sowie Kabelkanäle anbringen + Montageplatten Fixierung aus ITEM erstellen + Energieketten auflageblech anbringen	6
2023-01-14	Beginn mit der Verkabelung (Spannung) zu den Motordrivers der X Y Z-Achse, sowie zu den Steuergerät und dem Netzgerät	2,25
2023-01-16	X Motor Verkabelung lösen und Abisolieren	0,5
2023-01-17	Verkabelung der Endschalter f. X Y-Achse und + 2. Energiekette anbauen + Taster mit Spannung versorgen + Kabelkanal verlegen	8
2023-01-19	Gespräch mit DG über Y-Achsen Motor der nicht funktioniert + Austausch der Motoren + Seotware einstellen + Stifthalterung für Tag der Offenen Tür erstellen	11
2023-01-20	Vorbereitungen für Tag der Offenen Tür + Präsentationen	10
2023-01-21	Abänderungen für den Tag der Offenen Tür rückgängig machen	3
2022-01-24	Endschalter für Z Achse oben anbringen + Bestellliste für Amazon erstellen (Schläuche, Pumpe, Zahnrad)	2
2023-01-25	Montageplatte mit Folie folieren	4
2023-01-30	Zahnrad bei X Motor tauschen	0,75
2023-02-02	Druckluftschlauch über Energiekette zum Laserkopf führen	0,5
2023-02-07	Befestigen der Z-Achsen Endschalter + Verkabelung für Kompressor und Pumpe + Spannungsversorgung neu verkabeln	5
2023-02-08	Verkabelung für Kompressor und Pumpe + Adernendhülsen tauschen	2

2023-02-09	Verkabelung des Not Aus Taster + Verkabelung der CO2 Röhre + Spiegeleinstellen für Testversuche + Wasser und Luftkühlung montieren	8,5
2023-02-14	Montage Gasdruckdämpfer	3
2023-02-16	Kabelkanal anbringen + Z-Achsen Einstellungen vornehmen	4
2023-02-28	Z Achsenparameter einstellen	2
2023-02-01	Gespräch mit Fürbass über weitere Schritte	0,5
2023-03-02	LED-Beleuchtung anbringen + Austausch der Standardverbindungen an der Klappe	3
2023-03-07	Anbringen eines Induktiven Sensor für die Klappe	2
2023-03-09	CO2 Laserröhre fix einbauen und verkabeln	4
2023-03-14	Um Verkabelung des Lasers ON/OFF Schalter + Anfertigung der Bestellliste	5
2023-03-16	Systemeinstellungen am Controller	2
2023-03-21	CAD-Konstruktion aktualisieren + Verbesserung der Spannrollenhalterung	2
2023-03-25	CATIA Projekt auf aktuellen Stand bringen + Grafik entwickeln für die Diplomarbeit	4,5
2023-03-28	Softwareeinstellungen am RUDIDA Controller	2,5
2023-03-30	CO2 Laser Spiegel einstellen	3

Summe: 311,5

Tabelle 7 Arbeitsstunden Lerner Jonas

Arbeitsstunden Kaufmann Lorenz

Datum	Tätigkeit	Stunden
2022-06-10	PowerPoint für die DA - Vorstellung	4
2022-06-14	Vorstellung der Diplomarbeit für Finanzierung in der i:HTL mit Bürgermeister	1
2022-06-15	Gerüstplanung & Bestellliste	3
2022-06-16	Bestellliste vervollständigen + Rücksprache mit FB	5
2022-09-13	Diplomarbeitsdatenbank Einträge	2
2022-09-20	Diplomarbeitsdatenbank Einträge	2
2022-09-22	ITEM-Profile schneiden	4
2023-09-27	Zusammenbau des Grundgerüsts	4
2022-10-04	ITEM Profile für Grundgerüst schneiden	2
2022-10-05	Grundgerüst zusammenbauen & ITEM Profile bohren und zusammenbauen	7
2022-10-06	Klappen ITEM Profile bohren und zusammenbauen	4
2022-10-11	Anbringen der Lastenräder, Streben für den Boden zurecht schneiden entwickeln der Scharniere in CATIA,	6
2022-10-18	Montage der Bodenplatten & Einbau von Metallboden	6
2022-10-19	Einbau letzter Metallbodenplatte; Zuschneiden ITEM für Achsenbefestigung;	6
2022-10-20	Bohrungen für Spindel der Z-Achse	2
2022-11-08	Lagerhalterung V2 mit Verschraubung ITEM zeichnen, Pakete auspacken,+ vorläufige Spindelfixierung oben	4
2022-11-10	Catia V5 CO2 Röhren Halterung zeichnen & zusammenschneiden und anbringen von 40x40 Profil für Befestigung der Röhre	2
2022-11-15	3D Laserröhren Halterung V2 angebracht	2
2022-11-17	Lagerhalterung unten und oben auf einer Seite vorläufig angebracht, sowie die 4 Winkel	3
2022-11-22	Einbau aller 4 Gewindestangen Halter sowie Lagerhalterung, Kontrolle der Maße für Z Motorhalterung + Start des 3D Druckes	4
2022-11-29	Ideen Findung für Y-Achse auf Linearführung	2,5
2022-11-30	Z Achsenposition final fixieren + Zusammenbau der Riemenspanner	4
2022-12-02	Einbau der Riemenspanner und Z Motorhalterung + erster Testversuch der Z-Achse (erfolgreich)	3
2022-12-06	Verbesserung der Eckbefestigung auf V4 + Auslegung und Bestimmung der Umlenkrolle für die X Y-Achsen Motoren	3
2022-12-12	Einbau der Abdeckung rechts oben mit den Tastern und Anzeigen	2
2022-12-13	Entwerfen und drucken der X Y Motorhalterung V1 (links) + Recherche über Linearführung zum Bestellen	2
2022-12-14	Übersetzung der Z-Achse ändern (Motorhalterung auffräßen) + erneuter Einbau	3,5
2022-12-30	Ansteuerungsversuch der Nema 17 Motoren und bohren der Motorhalterung der X-Achse	5

2023-01-03	anschießen aller drei Achsen + erster Testversuch mit allen drei Achsen	4
2023-01-10	Energieketten für X Y-Achse anbringen + Auflageplatten für Energieketten schneiden und bohren	4
2023-01-12	Montageplatte anfertigen und Bauteile anbringen + Fixierung für Montageplatte	6
2023-01-17	Verkabelung der Motoren und Endschalter	10
2023-01-19	Alle Achsen an die Driver anschließen und Testversuche mit Stift und Steuerung	12
2023-01-20	Tag der offenen Tür	10
2023-01-24	Endschalter schön verkabelt und Montageplatte foliert	6
2023-01-25	Montageplatte folieren	4
2023-02-07	Befestigen der Z-Achsen Endschalter + Verkabelung	5
2023-02-09	CO2-Schneider funktionstüchtig machen und Wasserkühlung Kühlung machen	9
2023-02-09	Gasdruckfedern anbringen	3
2023-02-16	Kabelkanal anbringen und Leitungen sauberer verlegen	6
2023-02-23	Recherche aller Bauteile, um Bauteilliste zu vervollständigen und informieren über die Einrichtung der Spiegel	8
2023-02-28	Parameter der Z-Achse einstellen und Endschalter der Z-Achse funktionsfähig machen.	2
2023-03-01	Gespräch mit Herr Fürbass	1
2023-03-02	LED-Beleuchtung anbringen	3
2023-03-07	Induktiven Sensor für Klappe anschließen	2
2023-03-09	CO2-Röhre einbauen und anschließen + versuchen den Schutz der Klappe an der Software einzustellen	3
2023-03-16	Systemeinstellungen Controller	2
2023-03-21	Kabelkanaldeckel zuschneiden und anbringen + Griff an der Klappe befestigen	2
2023-03-28	Controller Einstellungen	2,5
2023-03-30	Spiegel einstellen	3

Summe: 202,5

Tabelle 8 Arbeitsstunden Kaufmann Lorenz

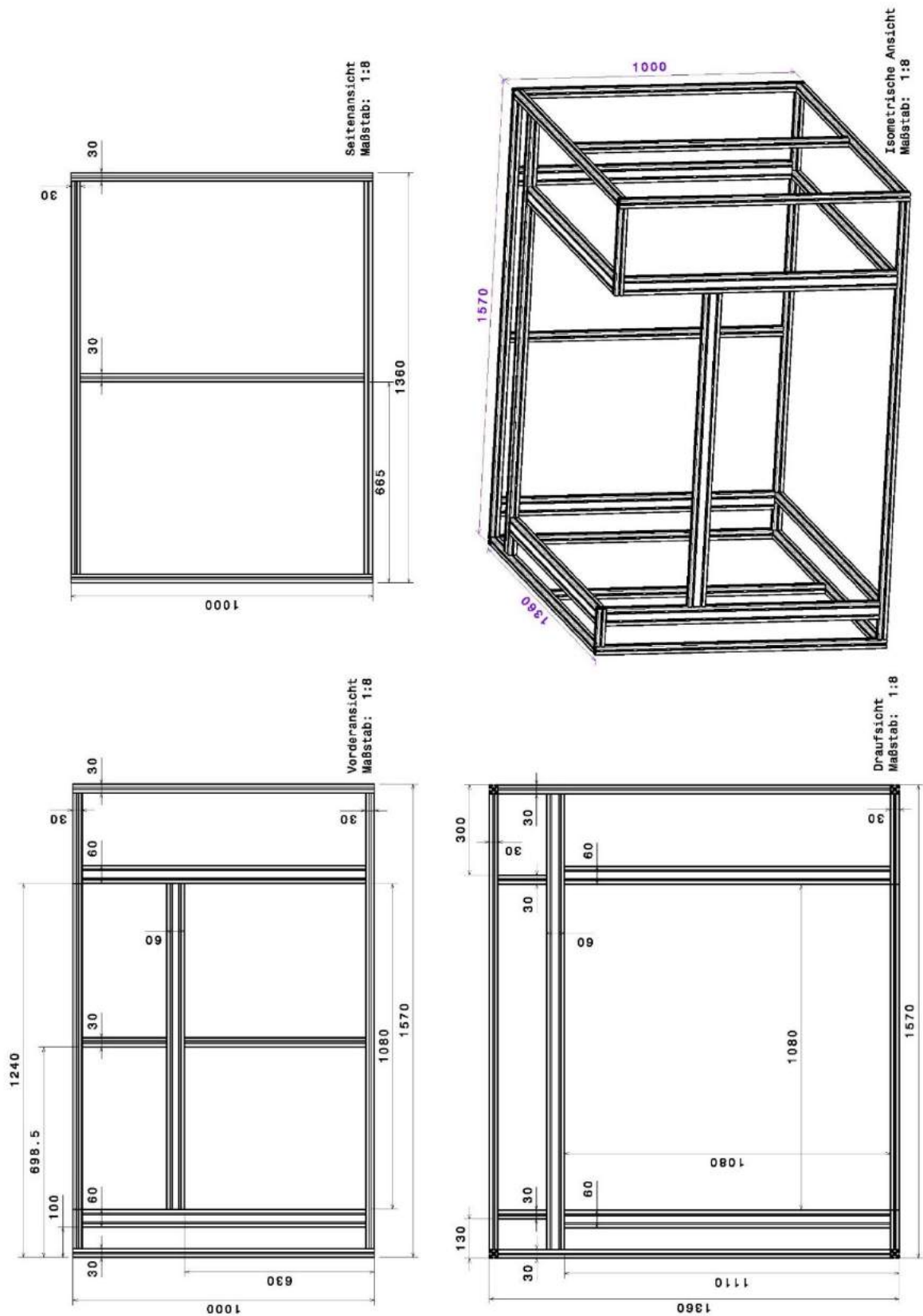


Abb.: 237 Grundgerüst-Plan

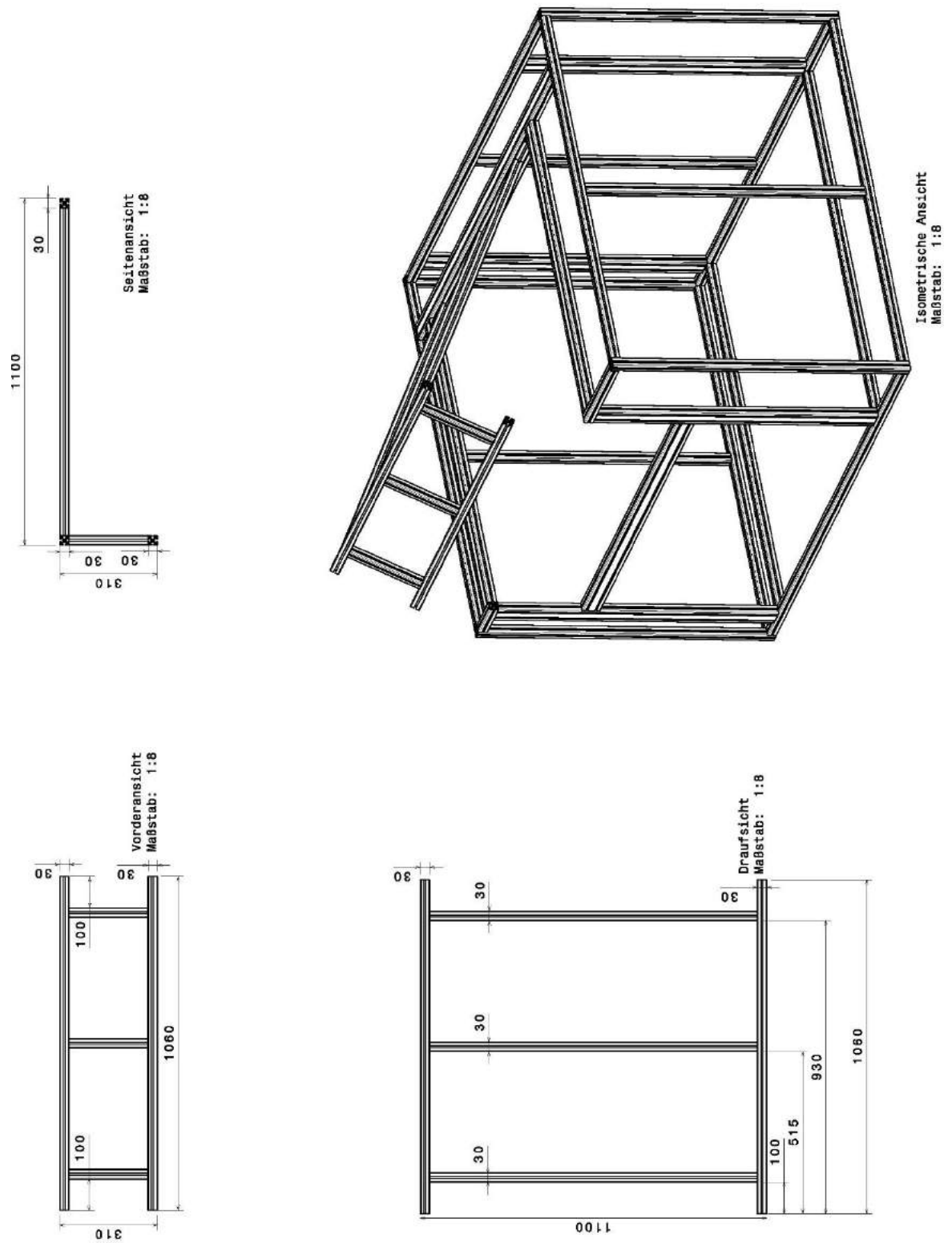


Abb.: 238 Klappe-Plan

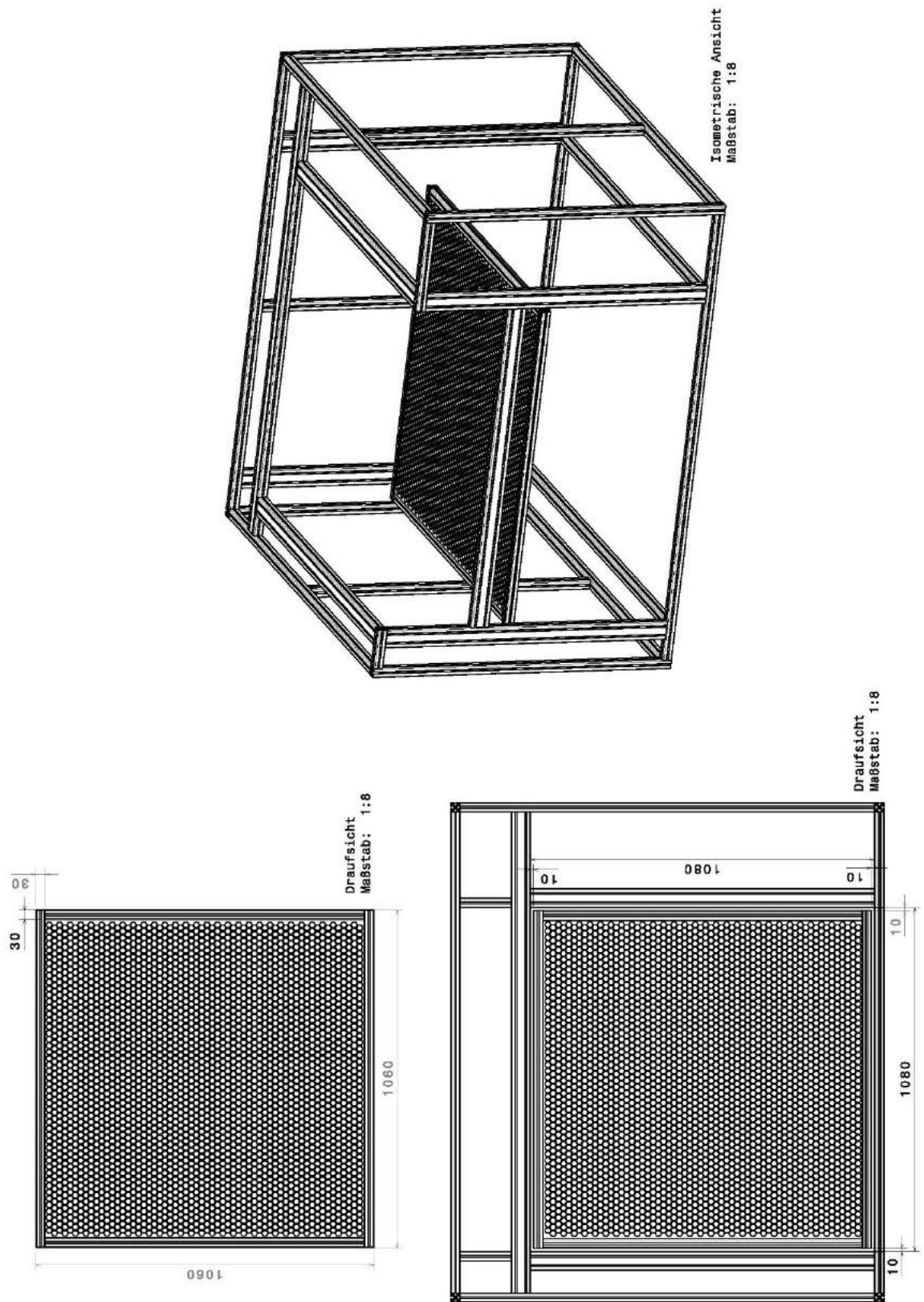


Abb.: 239 Schnittfläche-Plan

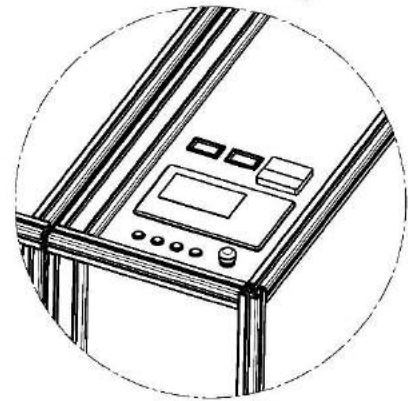
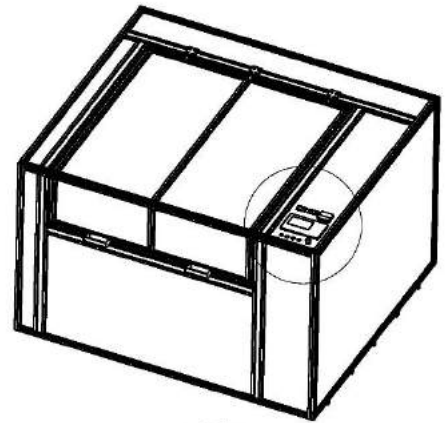
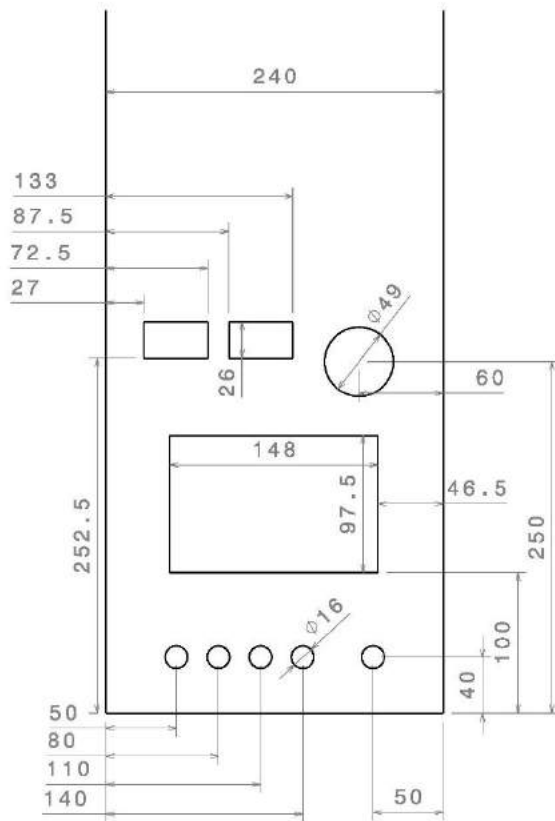


Abb.: 240 Controlpanel -Plan