

Punkte: 10,0/10  
(Spezifikation + QS, vor Abnahme)

# Technische Spezifikation

ZWL-Roboter  
HTW Berlin

Autor: Gruppe ZWL  
Letzte Änderung: 12. Jan 2023  
Dateiname: ZWL-Roboter\_Technische\_Spezifikation(Version 1.2).docx  
Version: 1.2

## **Copyright**

© ZWL-Roboter Gruppe

Die Weitergabe, Vervielfältigung oder anderweitige Nutzung dieses Dokumentes oder Teile davon ist unabhängig vom Zweck oder in welcher Form untersagt, es sei denn, die Rechteinhaber/In hat ihre ausdrückliche schriftliche Genehmigung erteilt.

## **Version Historie**

Version	Datum	Verantwortlich	Änderung
0.1	01.12.2022	Elia	Fachlicher Workflow
0.2	04.12.2022	Elia	technischer Workflow
0.3	05.12.2022	Elia	Komponentendiagramm
0.4	03.12.2022	Markus	Erkennung der Farben durch Kamera
0.5	05.12.2022	Maged	Abgrenzungen + Baugruppe Konstruieren + Technische Zeichnung für Einzelteile und Baugruppe
0.6	07.11.2022	Elia	Funktionalität
0.7	10.11.2022	Rayen	Erweiterungen Funktionalität
0.8	15.11.2022	Markus	Erweiterungen Überblick
0.9	15.12.2022	Alle	Allgemeine Erweiterungen
1.0	15.12.2022	Alle	Abgabe
1.1	07.01.2023	Elia	3D-Teile
1.2	12.01.2023	Alle	Allgemeine Erweiterungen und Abgabe
1.3	09.02.2023	Rayen	Workflow Diagramm Allgemein
1.3	09.02.2023	Rayen	Detect necessary hardware input
1.3	09.02.2023	Rayen	Farben an Jede Seite erkennen mit hilfe von opencv2

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	II
Verzeichnis vorhandener Dokumente .....	II
<b>1 Prozessüberblick .....</b>	<b>1</b>
1.1 Fachlicher Workflow .....	1
1.2 Technischer Workflow .....	2
<b>2 Technische Spezifikation SW .....</b>	<b>3</b>
2.1 Überblick Komponenten .....	3
2.2 Beschreibung der Implementierung .....	4
2.2.1 Erkennung der Farben durch Kamera .....	4
<b>2.2.2 Lösungsweg berechnen .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.2.1 Grundlagen .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.2.2 Mögliche Algorithmen zum lösen eines 3x3x3 : .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.2.3 Kociemba Algorithm .....</b>	<b>10</b>
<b>3 Technische Spezifikation Konstruktion .....</b>	<b>13</b>
3.1 Baugruppen .....	13
3.2 Einzelteile .....	14
3.2.1 Base: .....	14
3.2.2 Block: .....	14
3.2.3 Push: .....	15
3.2.4 Support: .....	16
3.3 3D-Teile .....	17
<b>4 Zukauft teile .....</b>	<b>18</b>
<b>Modul Abhängigkeiten .....</b>	<b>18</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fachlicher Workflow .....	1
Abbildung 2: technischer Workflow.....	2
Abbildung 3: Komponentendiagramm .....	3
Abbildung 4: Kamera Grafische Anzeiger.....	5
Abbildung 5: Fotografische.....	5
Abbildung 6: Technische Zeichnung für Baugruppe .....	13
Abbildung 7: Technische Zeichnung für Einzelteil Base .....	14
Abbildung 8: Technische Zeichnung für Einzelteil Block .....	14
Abbildung 9: Technische Zeichnung für Einzelteil Push .....	15
Abbildung 10: Technische Zeichnung für Einzelteil Support.....	16
Abbildung 11: 3D-Teile .....	17

## Verzeichnis vorhandener Dokumente

Alle für die vorliegende Spezifikation ergänzenden Unterlagen müssen hier aufgeführt werden.

Dokument	Autor	Datum
3d Teile	Elian	07.12.2022
ZWL-Roboter_Workflow.graphml	Elian	11.12.2022
ZWL-Roboter_Technischer Workflow .graphml	Elian	12.12.2022

## 1 Prozessüberblick

### 1.1 Fachlicher Workflow

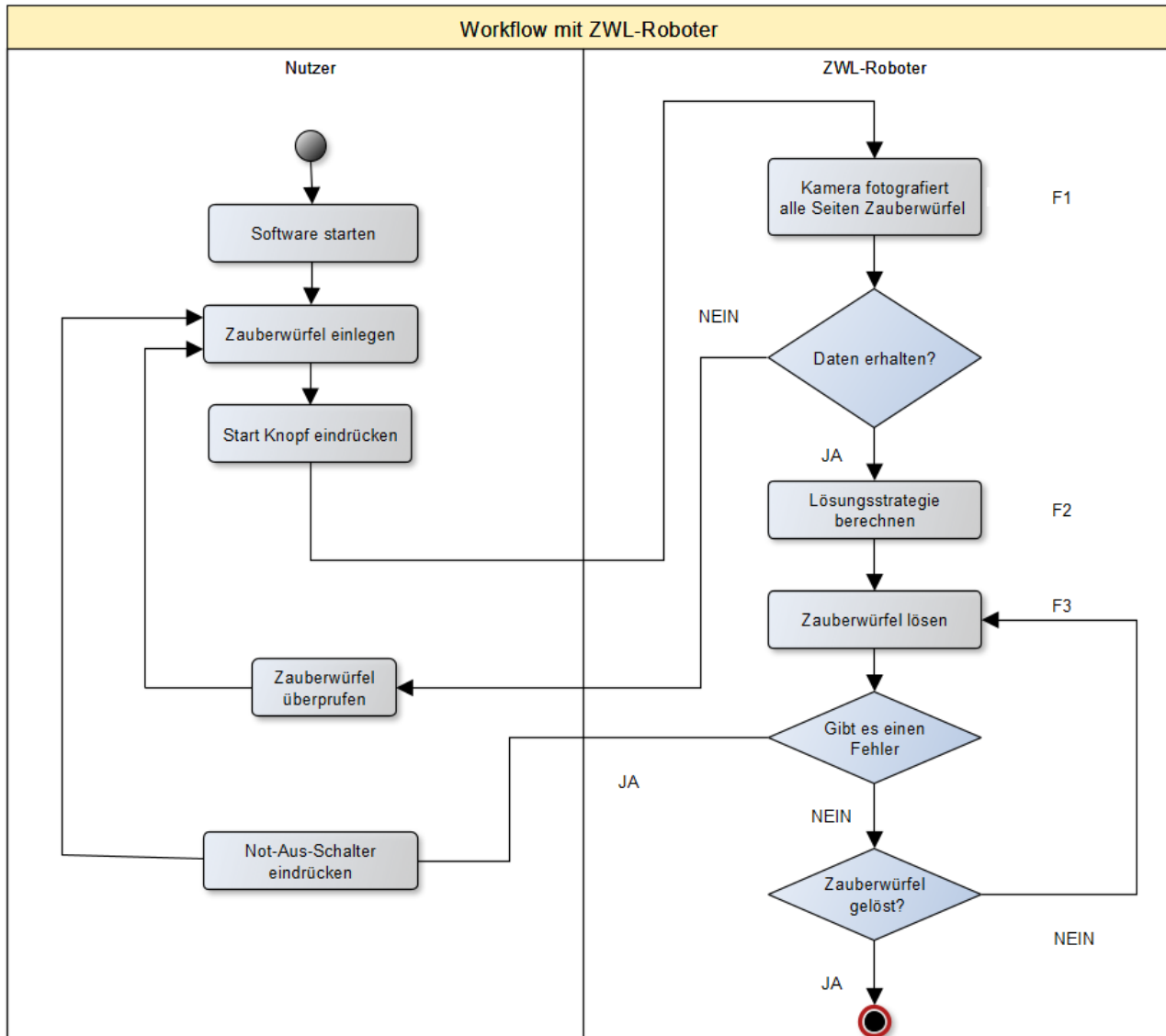


Abbildung 1: Fachlicher Workflow

## 1.2 Technischer Workflow

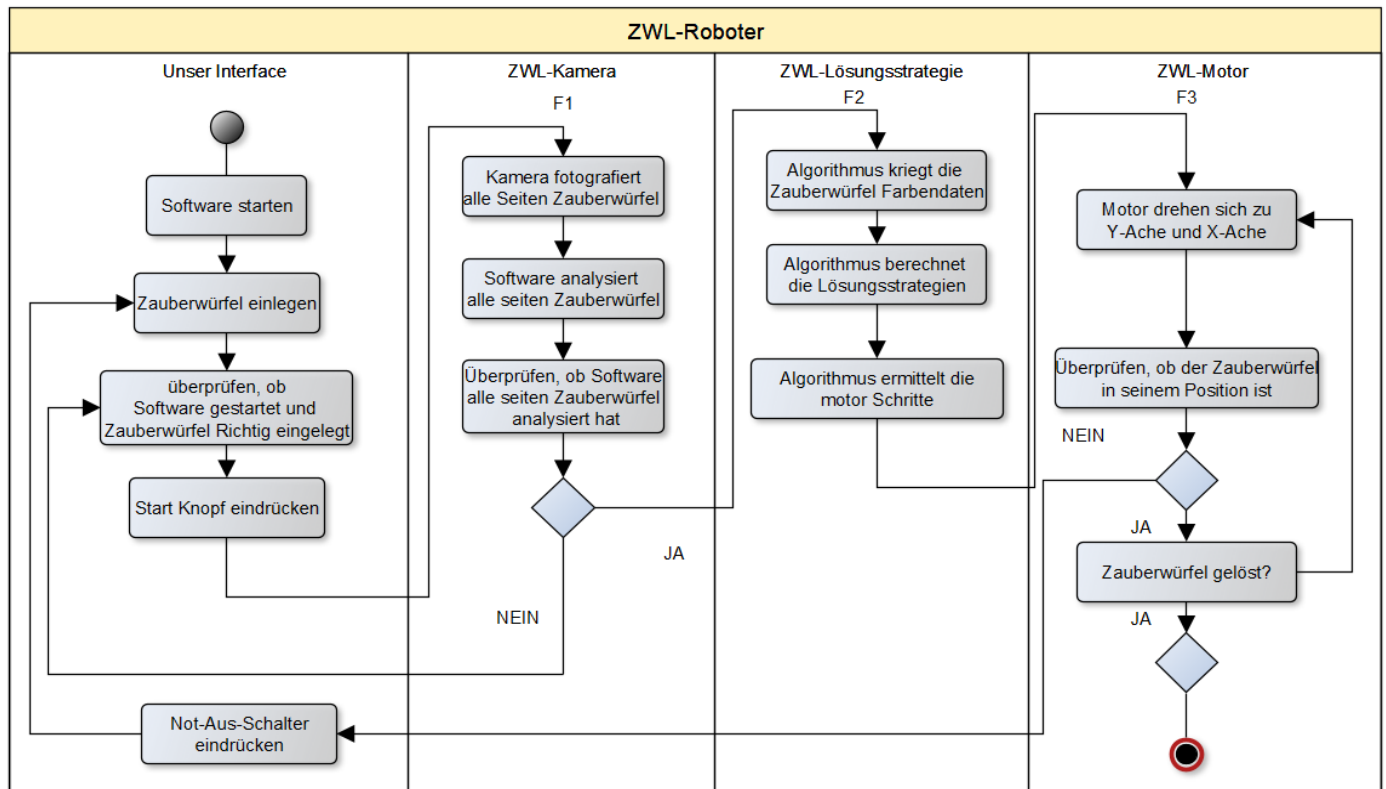


Abbildung 2: technischer Workflow

## 2 Technische Spezifikation SW

### 2.1 Überblick Komponenten

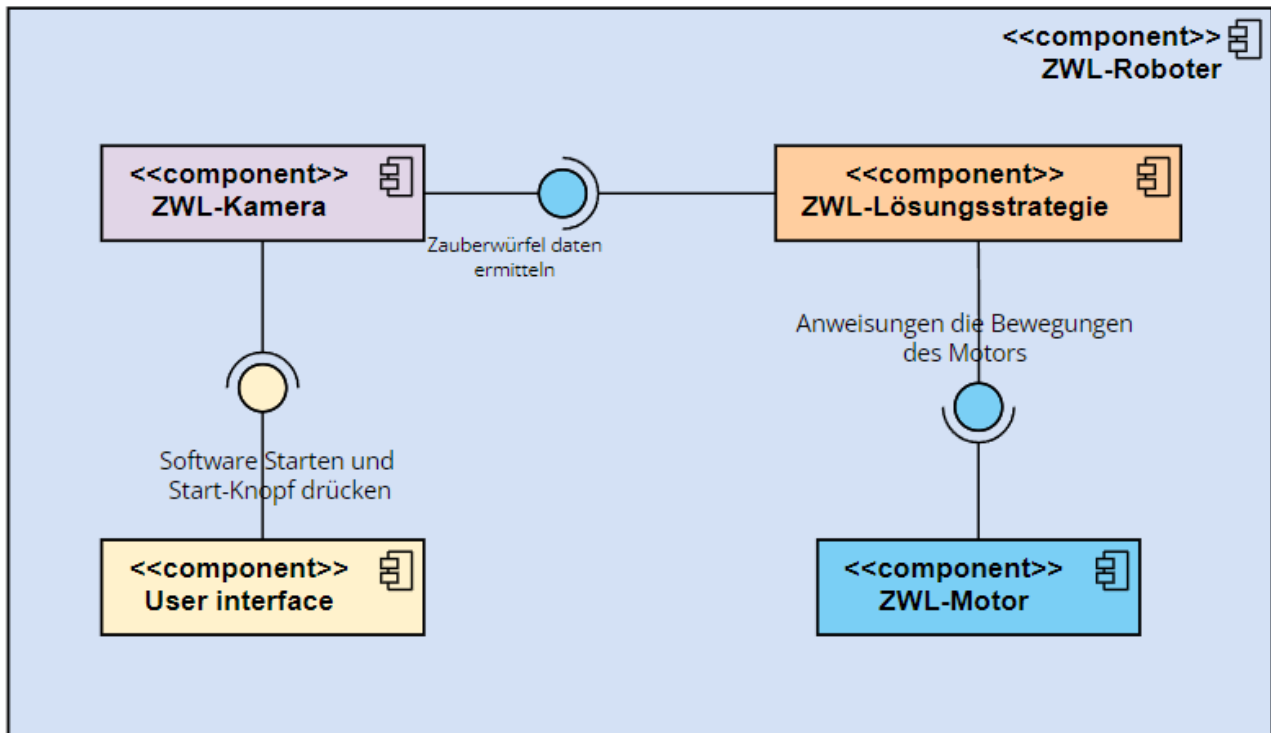


Abbildung 3: Komponentendiagramm

## 2.2 Beschreibung der Implementierung

### 2.2.1 Erkennung der Farben durch Kamera

#	Komponentendetail	Erforderliche Arbeiten
T1	Farben Liste	Es ist eine Liste der möglichen Farben. Diese werden für erkennen der Farben des Würfels benutzt, um Fehler zu reduzieren.
T2	GUI	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hier werden die aktuellen Seiten des Würfels angezeigt und man kann sehen was erkannt wurde bzw. was nicht sowie den Status verfolgen.</li><li>• Man erkennt das Raster wo der Würfel platziert werden soll für ein besseres Erkennen der Farben.</li></ul>
T3	Einlesen der Seiten	<ul style="list-style-type: none"><li>• Die Kamera erkennt die Farben auf einer Seite und speichert diese Werte ab.</li><li>• Ein Signal zum Drehen des Würfels wird gesendet.</li><li>• Eine weitere Seite wird erkannt und so weiter, bis alle Seiten in der GUI vorhanden sind und die Farben gespeichert sind.</li></ul>
T4	Übertragung der Farben	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sobald alle Seiten im System gespeichert sind, wird es dem Algorithmus zur Verfügung gestellt für das weitere Berechnen.</li><li>• Am Ende Erfolg nochmal die Kontrolle, um zu schauen ob alle Seiten eine gleiche Farbe haben.</li></ul>

#### T1: Farben Liste

- Eine Liste ist dazu da, um die möglichen Farben direkt abrufbar sind. Somit kann die Erkennung schneller geschehen, da es mit den aktuellen Farben vergleicht und somit die mögliche Farbverfälschungen wegen den schlechten Lichtverhältnissen minimieren kann.
- Es ist eine Liste, wo die 6 Grundfarben des Würfels gespeichert sind, zudem kann es auch erweitert werden, damit auch andere Farben unterstützt werden.

#### T2: GUI

- Es wird eine GUI für die Visualisierung des Scannens benötigt, damit der Benutzer nachverfolgen kann was aktuell gemacht wird.
- Es wird mit OpenCV zusammen mit Python Umgebung verwendet. Dadurch wird es sichergestellt, dass es auf jedem Windows Rechner laufen wird.
- Um den Vorgang zu starten, muss das Software gestartet werden. Eine vorherige Installation ist nicht notwendig. Er reicht, wenn in Betriebssystem die Standardmäßigen Direktiven und Software installiert ist.
- Sobald gestartet wird es direkt die Seiten Fotografieren (Scannen), somit erfolgt das Starten automatisch.



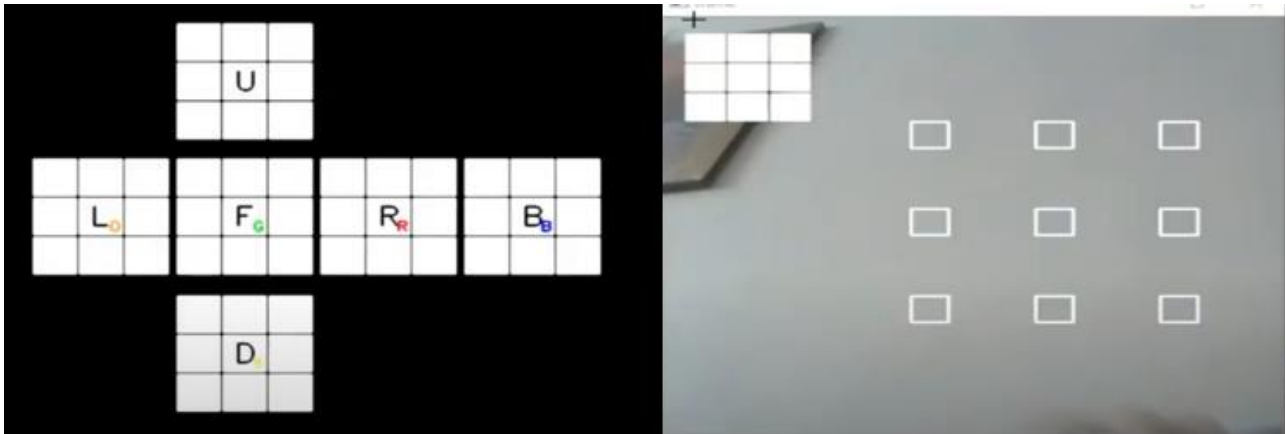


Abbildung 4: Kamera Grafische Anzeiger

### T3: Einlesen der Seiten

- Die Kamera scannt eine Seite des Würfels und gibt den Befehl damit dieser sich weiterdreht. Danach werden die anderen Seiten genauso gescannt und die Werte abgespeichert
- Nach der zuvor Ausgesuchten Methode beginnt man mit der Grünen Seite (also die mittlere Farbe ist Grün). Danach wird es erst vorwärts gedreht und zum Schluss werden die beiden seitlichen Ansichten auch gescannt.
- Die GUI ist dieselbe, lediglich die Werte werden dann dort angezeigt.

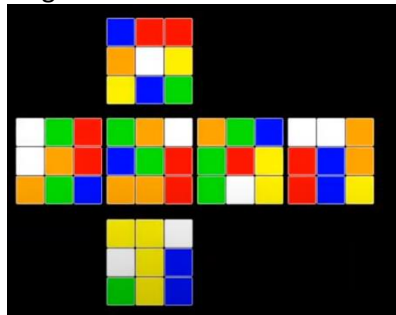


Abbildung 5: Fotografische

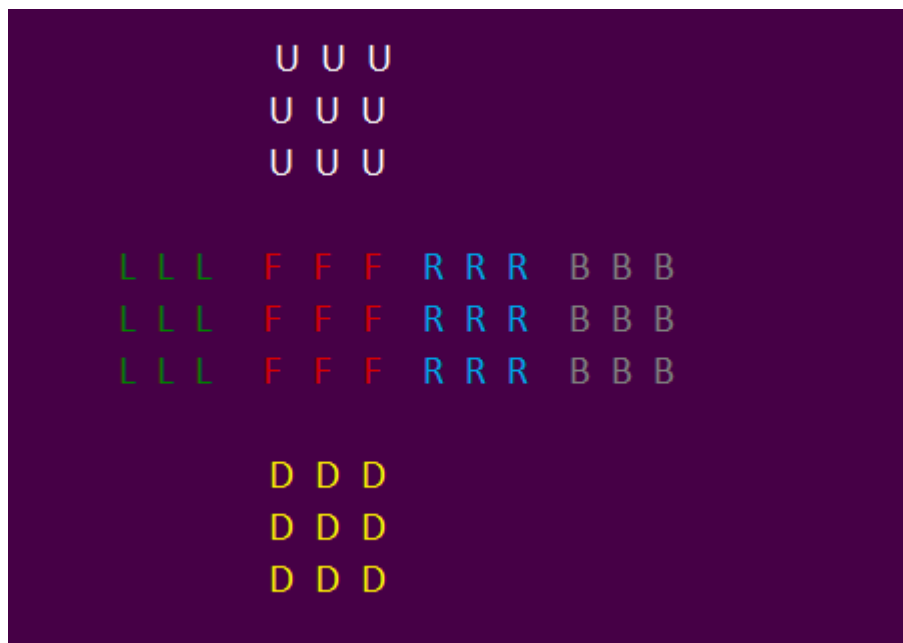
### T4: Unterfunktion B

- Da der Code in den Algorithmus zur Lösungsberechnung integriert ist, sendet er die Farben direkt als Matrix für die weitere Berechnung. Diese erfolgt dann sobald alle Seiten erkannt wurden.
- Es gibt keine Exceptions, denn es werden nur die Farben erkannt, sofern nichts eingelegt ist, wird dort auch nichts erkannt. Auch wenn man den Würfel nicht wie vorgesehen mit Grün nach oben zuerst einlegt, wird kein Fehler auftreten. Den Fehler sieht man dann möglicherweise während des Lösens, dass da etwas nicht stimmt.

## 2.2.2 Lösungsweg berechnen

### 2.2.2.1 Grundlagen

- Zauberwürfel haben 6 Seiten, sie sind mit  $U L F R B D$  ( Up , Left , Front , Right , Back , Down ) beschriftet.
- Bewegungen in einer Lösung beschreiben, welche Seite des Würfels gedreht werden soll und in welche Richtung.  $U$  bedeutet Abbiegeseite  $U$  ein Viertel drehen im Uhrzeigersinn.  $U'$  bedeutet Abbiegeseite  $U$  eine Vierteldrehung gegen den Uhrzeigersinn.  $U2$  bedeutet Abbiegeseite  $U$  zwei Viertel Kurven (Richtung spielt keine Rolle weil das gleiche Ergebnisse erzeugen).
- Wir nehmen ein Standardfarbschema von Weiß auf  $U$ , Grün auf  $L$ , Rot auf  $F$ , Blau auf  $R$ , Orange auf  $B$  und Gelb auf  $D$  an
- Die Quadrate jedes Würfels können über ihre Farbe (rot, grün, blau usw.) oder über die Seite, zu der sie gehören, beschrieben werden. Wir setzen immer Weiß oben (Seite  $U$ ), so dass Sie einfach jedes weiße Quadrat als  $U$ , jedes gelbe Quadrat als  $D$  usw. beschriften können. Es braucht viel weniger Zeichen, um den Zustand des Würfels mit  $ULFRBD$  zu beschreiben, als mit Farbnamen, also verwenden wir von nun an ersteres.
- Ein Würfel kann über eine Zeichenfolge für jedes Quadrat beschrieben werden. Die Zeichenfolge für ein gelöstes 3x3x3 wäre :  
"UUUUUUUUURRRRRRRRRFFFFFFFFFDDDDDDDDLLLLLLLLLLBBBBBBBBB"



Um einen optimalen Algorithmus zu finden, um 3x3x3 zu lösen, haben wir zuerst den 2x2x2 aufgrund seiner Einfachheit beobachtet und von dort aus können wir vielleicht definieren, mit welchem Algorithmus wir gehen werden :



Jetzt tun wir so, als hätten wir viel Zeit zur Verfügung und etwa 3 Millionen gelöste 2x2x2 Würfel. Wir nehmen den ersten Würfel und machen eine U-Drehung, die den Würfel in den Zustand UUUUFFLLRRFF-BBRLLBDDDDDD versetzt :



Wenn wir also einen Würfel finden, der wie UUUUFFLLRRFFBBRLLBDDDD aussieht, wissen wir, dass wir ein U' (gegen Uhr U-Drehung) tun können, um es wieder zu lösen  
=> damit haben wir den ersten Eintrag in unserer lookup Tabelle.

Wiederholen Sie nun diesen Vorgang für Züge L, F, R usw. (beginnend mit einem gelösten Würfel jedes Mal) und wann immer Sie einen Würfelstatus finden, der nicht in Ihrer Lookup Tabelle enthalten ist, fügen Sie ihn zusammen mit der Umkehrung der Schritte hinzu, die Sie unternommen haben, um den Würfel in diesen Zustand zu bringen ... Wir kehren die Schritte um, damit Sie vom verschlüsselten Zustand zurück in den gelösten Zustand gelangen können. Glücklicherweise gibt es viele Beispiele für Lookup Tabellen im Internet, aus denen wir wählen können.

Eine typische Lookup tabelle enthält 3.674.160 mögliche Zustände für einen 2x2x2-Cube. In der Informatik haben wir eine breite erste Suche durchgeführt, um alle möglichen Würfelzustände zu finden.

=> Ein 2x2x2 Löser kann einfach den Zauberwurfel Status in der Lookup Tabelle nachschlagen, um die Lösung abzurufen.

- **Binäre Suche:**

Wie gesagt, es gibt 3,6 Millionen Einträge in unserer 2x2x2 Lookup Tabelle, wenn wir den aktuellen Zauberwurfel Status mit allen 3,6 Millionen Einträgen vergleichen würden, bis wir eine Übereinstimmung gefunden hätten. Das wird eine Weile dauern würde. Im schlimmsten Fall wäre der gesuchte Eintrag der allerletzte. Dies wäre  $O(n)$ .

Wenn wir die Einträge in der Nachschlagetabelle sortieren, können wir in die Mitte der Liste springen und diesen Eintrag mit dem gesuchten Eintrag vergleichen. Wenn diejenige, nach der wir suchen, "weniger" ist als die in der Mitte der Datei, dann wissen wir, dass wir in der ersten Hälfte der Datei suchen müssen ... Wir haben gerade die Hälfte der Datei in einer einzigen Suche eliminiert. An diesem Punkt können wir die erste Hälfte der Datei halbieren und herausfinden, ob wir im ersten Viertel der Datei oder im zweiten Quartal suchen sollten.

Wir wiederholen diesen Vorgang, bis wir das gesuchte Element gefunden haben. Dies wird als binäre Suche bezeichnet und ist sehr effizient, es ist  $O(\log n)$ .

- **Pseudocode:**

```
binarySearch(arr, x, low, high)
    repeat until low = high
        mid = (low + high)/2
        if (x == arr[mid])
            return mid

        else if (x > arr[mid]) // x is on the right side
            low = mid + 1

        else // x is on the left side
            high = mid - 1
```

Arr ist die Liste wo wir die Suche durchführen werden

X ist der gesuchte Element

Low : Stelle der erste/kleinste Element in der Liste

High : Stelle der letzte/grösste Element

## **Ist es möglich, alles, was oben steht, auf 3x3x3 Zauberwürfel anzuwenden?**

### **Die Antwort ist leider Nein:**

Es gibt 43.252.003.274.489.856.000 (43 Trillionen) mögliche Kombinationen, in denen ein 3x3x3 sein kann, so dass dies viel zu groß ist, als dass wir es über eine einzige Lookup Tabelle tun könnten. Google hat 2010 35 Jahre CPU-Zeit investiert, um alle 43 Trillionen Staaten zu lösen. Sie haben nur bewiesen, dass alle 43 Trillionen 3x3x3-Würfelzustände in 20 Zügen oder weniger gelöst werden können. => God's Number

Ein normaler Mensch kann sich nicht einfach alle möglichen Algorithmen merken, um einen Rubik's Cube mit weniger als 20 Schritten zu lösen. Dies war nur mathematisch bewiesen, aber praktisch schwer zu implementieren.

Die gute Nachricht ist, dass der 3x3x3 1974 erfunden wurde und viele Kluge Menschen die letzten 40 Jahre damit verbracht haben, herauszufinden, wie man Zauberwürfel sehr effizient löst. Dies bedeutet, dass viele Algorithmen speziell für die Verwendung durch Computer bereitgestellt wurden, um ihre Prozessleistungen zu nutzen.

### **2.2.2.2 Mögliche Algorithmen zum Lösen eines 3x3x3 :**

- **CFOP:**

Diese Methode wird häufig beim Speedcubing verwendet und es ist auf die folgenden Schritte basiert:

1. ein weißes Kreuz zu bilden, bei dem das Kantenstück mit den Mittelstücken auf der angrenzenden Seite übereinstimmt.
2. F2L (first two layers)
3. OLL (orient last layer)
4. PLL (permute last layer)

- **Roux Method:**

Die Roux-Methode hat eine Reihe von Vorteilen. Es verwendet weniger Bewegungen und Algorithmen und ist intuitiver. Der Blockaufbau kann sich jedoch als schwierig erweisen

1. den 1x2x3-Block auf der linken Seite des Würfels erstellen
2. Zweite Block erstellen
3. CMLL Schritt: Es besteht aus acht Anpassungen von A bis H sowie weiteren sechs Anordnungen innerhalb jeder Anpassung. Jede Anordnung beinhaltet den Austausch einer Reihe von Ecken, bis auf eine.
4. Die letzten 6 kanten lösen

- **Metha Method:**

1. FB (First Block) : Der erste Blockschritt ist wie der erste Block der Roux-Methode, außer dass der Block auf der D-Seite und nicht auf der L- oder R-Fläche wie in Roux erstellt wird.
2. 3QB Schritt: Richten Sie zuerst die Zentren aus, indem Sie ein u oder u2 oder u' machen. Dann machen Sie noch einen, damit die Zentren falsch ausgerichtet sind und lösen Sie die hinteren links, hinten rechten und vorderen linken Randschlitze.
3. EOLE Schritt: Dies wird in der Regel erreicht, indem sichergestellt wird, dass die untere rechte Kante ausgerichtet ist, und dann  $R U R'$ ,  $R U' R'$ ,  $F' U F$  oder  $F' U' F$  verwendet, um zu wechseln, welche Kanten sich im vorderen rechten Schlitz befinden, und dann, sobald die Kanten ausgerichtet sind, die Kante einfügen, die vorne rechts sein sollte.
4. 6CO Schritt
5. 6CP Schritt
6. L5EP step

- **Layer-By-Layer:**

Layer-by-Layer oder normalerweise nur LBL ist eine Gruppe von Methoden, die den Würfel in Schichten löst. Bei der grundlegenden LBL-Methode für Anfänger beendet der Solver die Schichten nacheinander: die ersten Schichtkanten, dann die Ecken, dann die Kanten der zweiten Schicht und schließlich die letzte Ebene. Dies ist eine gängige Methode für neue Cuber, um sie selbst zu entdecken.

1. Cross
2. F2L
3. OLL
4. PLL

## **Algorithmen für Maschinen geeignet:**

Alle oben vorgestellten Methoden sind Methoden, die entwickelt wurden, um dem menschlichen Geist und der menschlichen Denkweise zu entsprechen. Aber was wichtig zu wissen ist, dass all diese Methoden nicht immer eine optimale Lösung bieten (Gottes Zahl).

Deshalb haben Mathematiker neue Methoden entwickelt, die auf Computern implementiert werden können, um die enorme Geschwindigkeit, die sie bieten können zu nutzen.

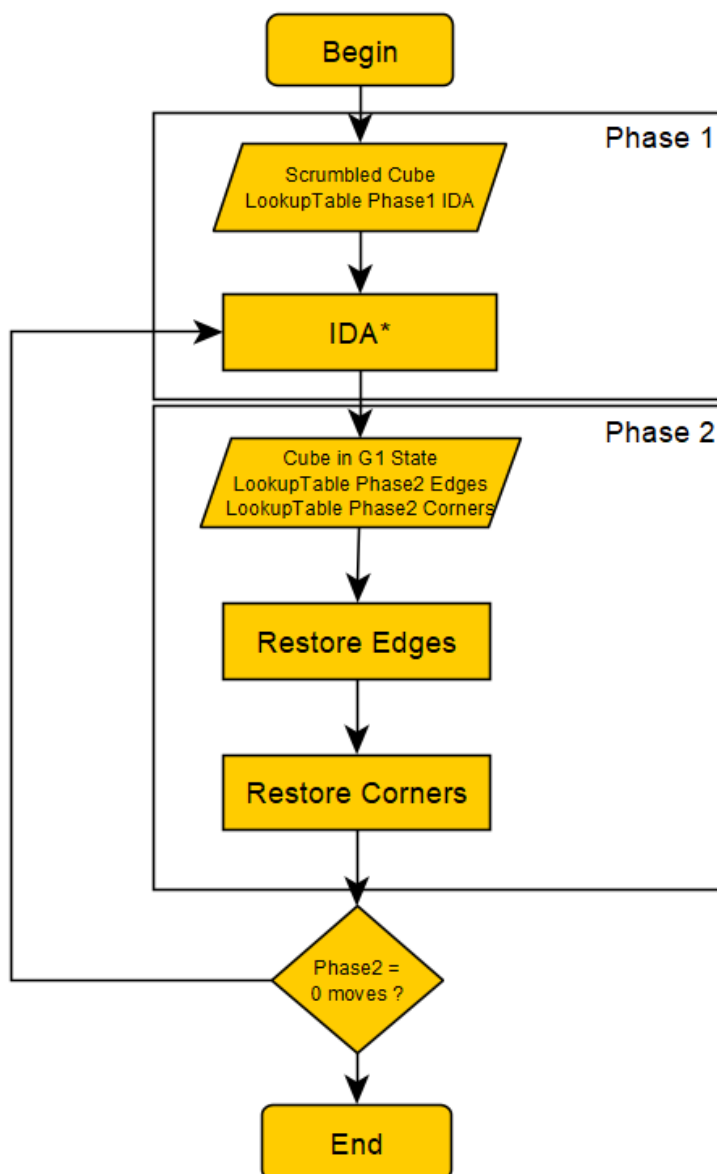
## **Optimale Lösung Algorithmen:**

Die optimalen Online-Rubik's Cube-Solver-Programme verwenden Herbert Kociembas Zwei-Phasen-Algorithmus, der typischerweise eine Lösung von 20 Zügen oder weniger bestimmen kann. Der Benutzer muss die Farbkonfiguration des verschlüsselten Würfels einstellen, und das Programm gibt die Schritte zurück, die erforderlich sind, um es zu lösen. Wir werden auch Kociemba Algorithmus für unsere Program verwenden.

### 2.2.2.3 Kociemba Algorithm

Seit dem Debüt des Rubik's Cube vor vielen Jahrzehnten hat es viele Fragen aufgeworfen, die weit über die Lösung hinausgehen. Eines dieser Rätsel war die optimale Lösung für einen gegebenen verschlüsselten Zustand. Nachdem wir das Rätsel gelöst hatten, wollten wir es weiter vorantreiben. Wie können wir einen bestimmten Würfel in der geringstmöglichen Anzahl von Zügen lösen? Mathematik und jahrzehntelange Forschung haben bewiesen, dass jedes Gerangel in weniger als 20 Zügen gelöst werden kann (God's Number) :

- **Workflow :**



•

- Two Phase Algorithm:

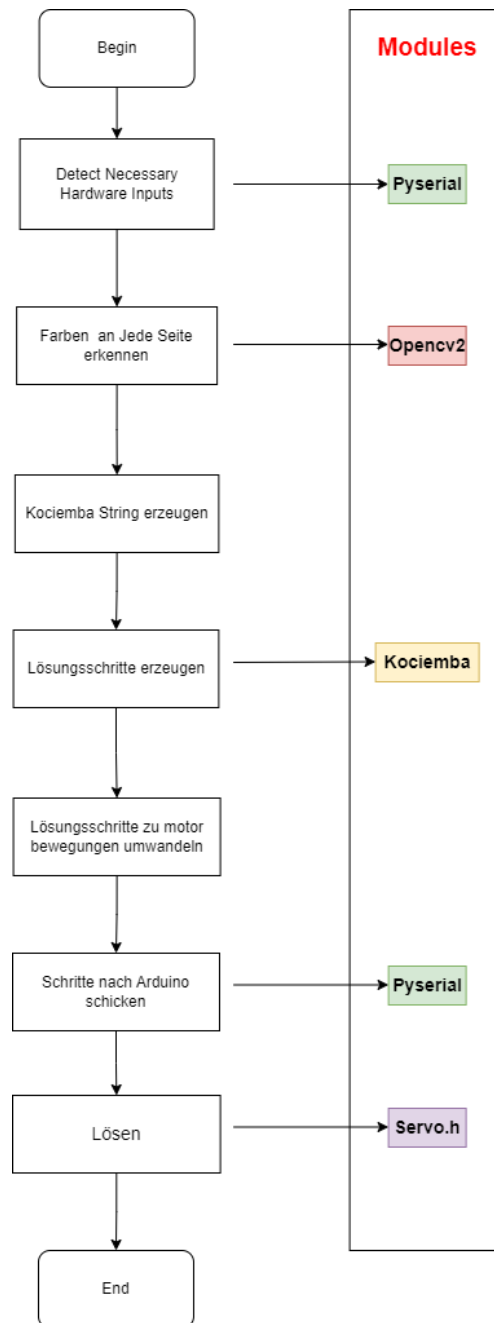
**Pseudocode:**

*path*                      current search path (acts like a stack)  
*node*                      current node (last node in current path)  
*g*                          the cost to reach current node  
*f*                          estimated cost of the cheapest path (root..*node*..*goal*)  
*h(node)*                  estimated cost of the cheapest path (*node*..*goal*)  
*cost(node, succ)*      step cost function  
*is\_goal(node)*          goal test  
*successors(node)*      node expanding function, expand nodes ordered by  $g + h(\text{node})$   
*ida\_star(root)*        return either NOT\_FOUND or a pair with the best path and its cost

```
procedure ida_star(root)
  bound := h(root)
  path := [root]
  loop
    t := search(path, 0, bound)
    if t = FOUND then return (path, bound)
    if t =  $\infty$  then return NOT_FOUND
    bound := t
  end loop
end procedure
```

```
function search(path, g, bound)
  node := path.last
  f := g + h(node)
  if f > bound then return f
  if is_goal(node) then return FOUND
  min :=  $\infty$ 
  for succ in successors(node) do
    if succ not in path then
      path.push(succ)
      t := search(path, g + cost(node, succ), bound)
      if t = FOUND then return FOUND
      if t < min then min := t
      path.pop()
    end if
  end for
  return min
end function
```

## 2.3 Tools und Algorithmen miteinander zusammenfügen :



### - Detect necessary hardware input:

Man kann die Klasse Serial im Modul pyserial verwenden, um eine Verbindung zu einem seriellen Gerät herzustellen und mit ihm zu kommunizieren.



```
for i in port:
    try:
        ser = serial.Serial(i,baud,timeout=1)
        break
    except:
        continue
if ser.isOpen():
    print(ser.name + ' is open ')
```

Eine "for" schleife wird durchgeführt um alle verfügbaren Ports zu itirieren bis wir die Arduino finden.

#### - Farben an Jede Seite erkennen mit hilfe von opencv2:

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) ist eine freie Bibliothek für Computer Vision und maschinelles Lernen. OpenCV wurde ursprünglich mit der Vision der Schaffung einer gemeinsamen Infrastruktur für Anwendungen in Computer Vision entwickelt und bietet eine breite Palette an Algorithmen für Bild- und Videoverarbeitung.

Das Prinzip von OpenCV basiert auf dem Konzept, Bilder als Matrizen zu betrachten und dann mathematische Operationen auf diesen Matrizen durchzuführen, um bestimmte Vision-Ziele zu erreichen. OpenCV bietet eine Vielzahl von Funktionen für grundlegende Operationen wie das Laden und Speichern von Bildern, das Skalieren und Rotieren von Bild

## 3 Technische Spezifikation Konstruktion

### 3.1 Baugruppen

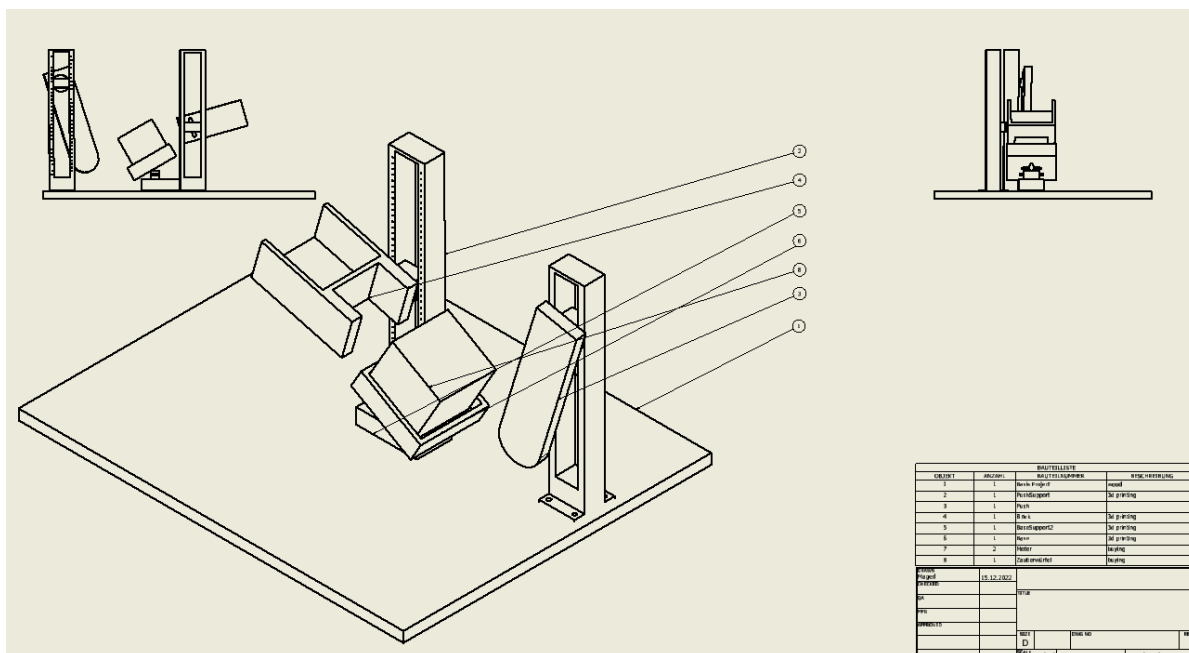


Abbildung 6: Technische Zeichnung für Baugruppe

3.2 Einzelteile

3.2.1 Base:

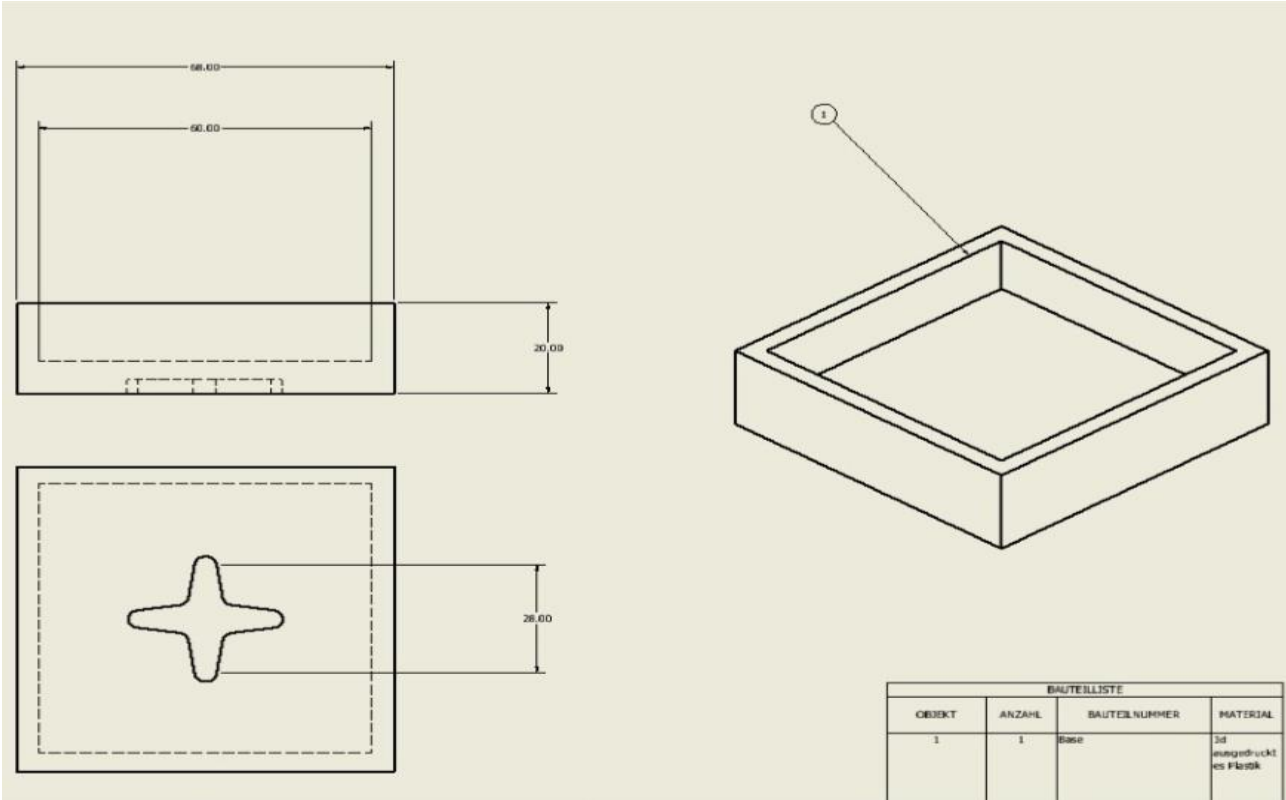


Abbildung 7: Technische Zeichnung für Einzelteil Base

3.2.2 Block:

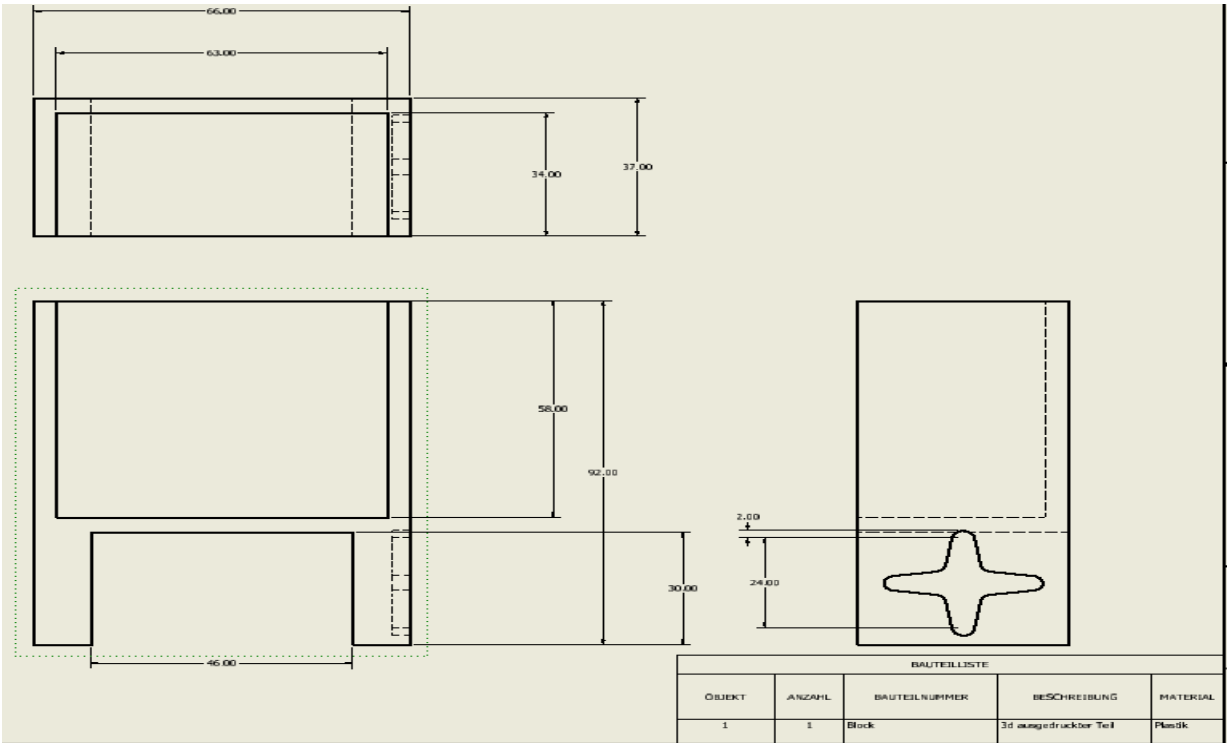


Abbildung 8: Technische Zeichnung für Einzelteil Block

3.2.3 Push:

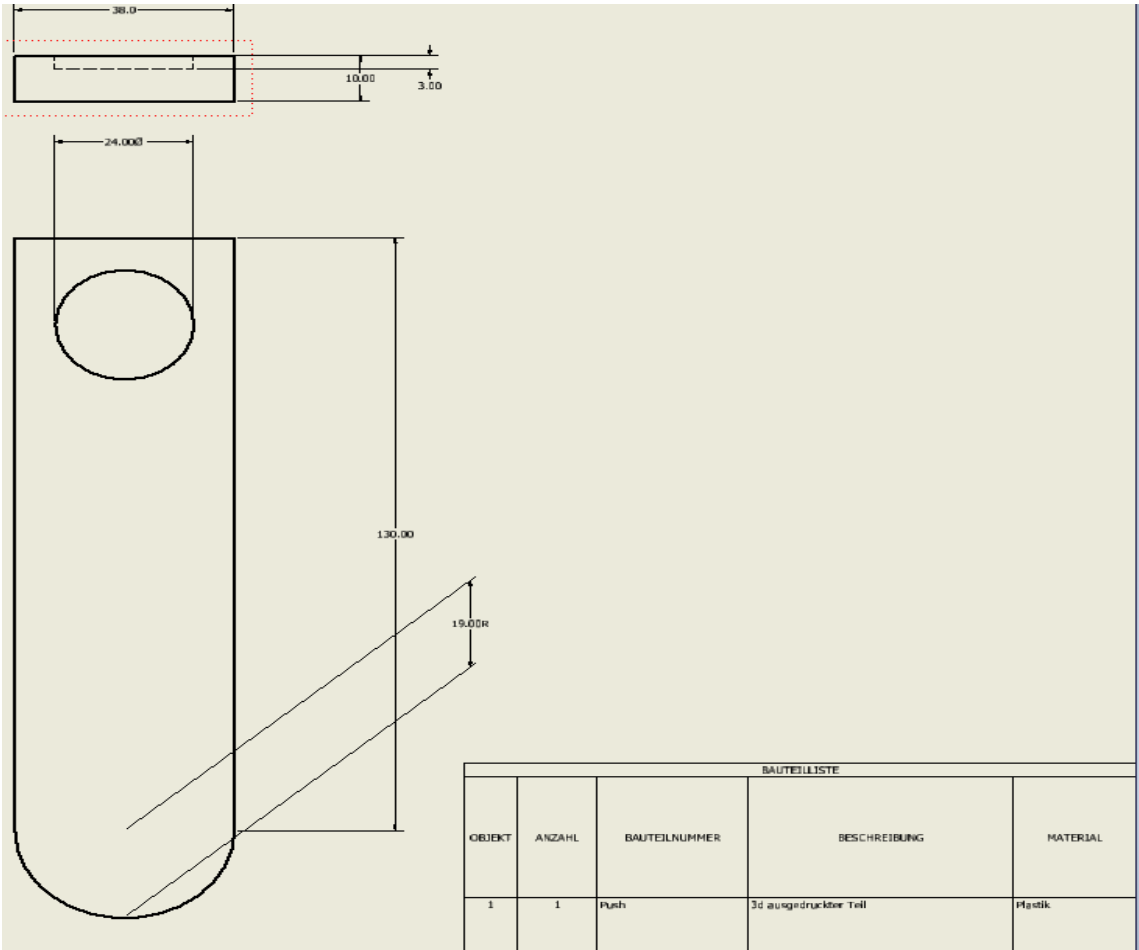
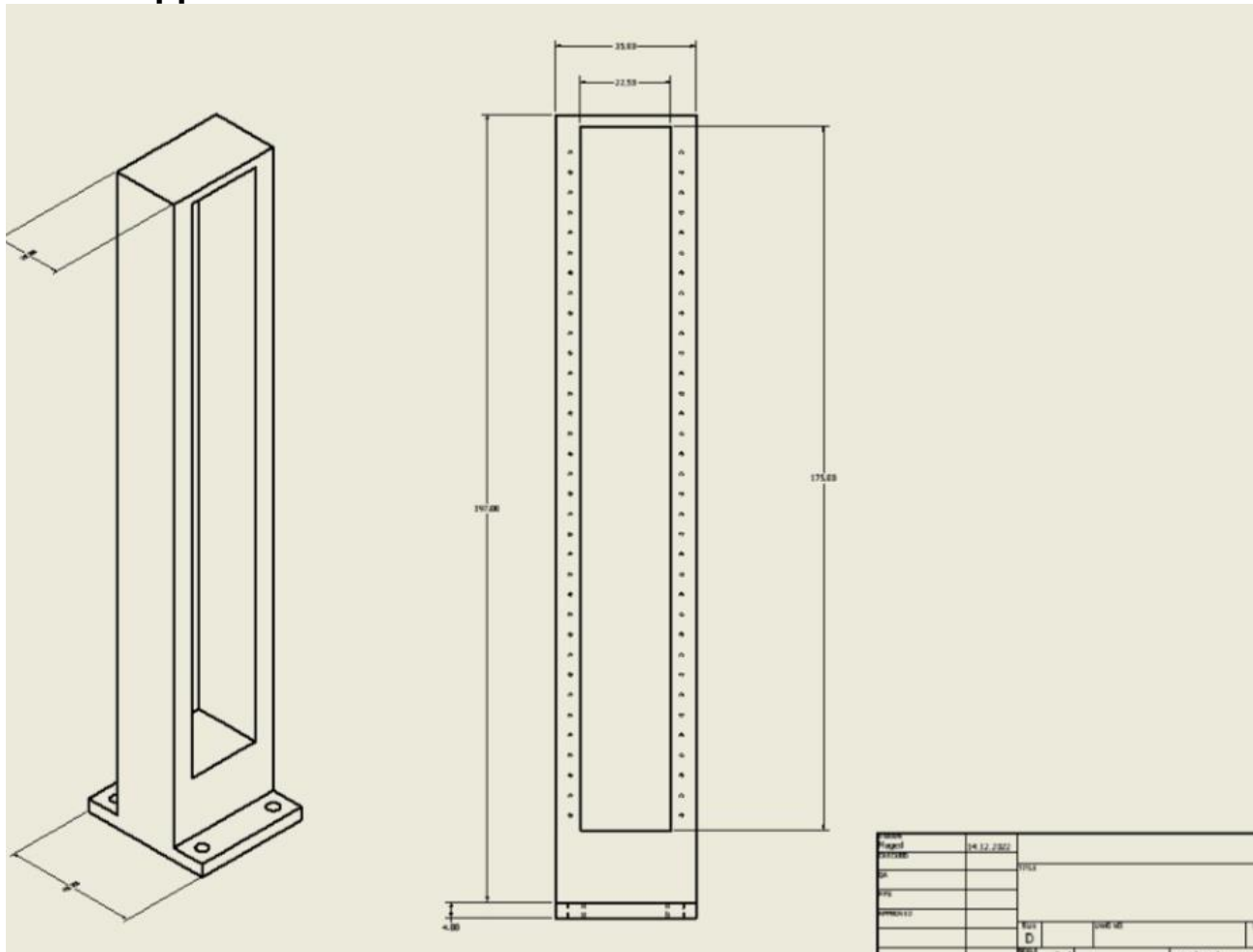


Abbildung 9: Technische Zeichnung für Einzelteil Push



### 3.3 3D-Teile

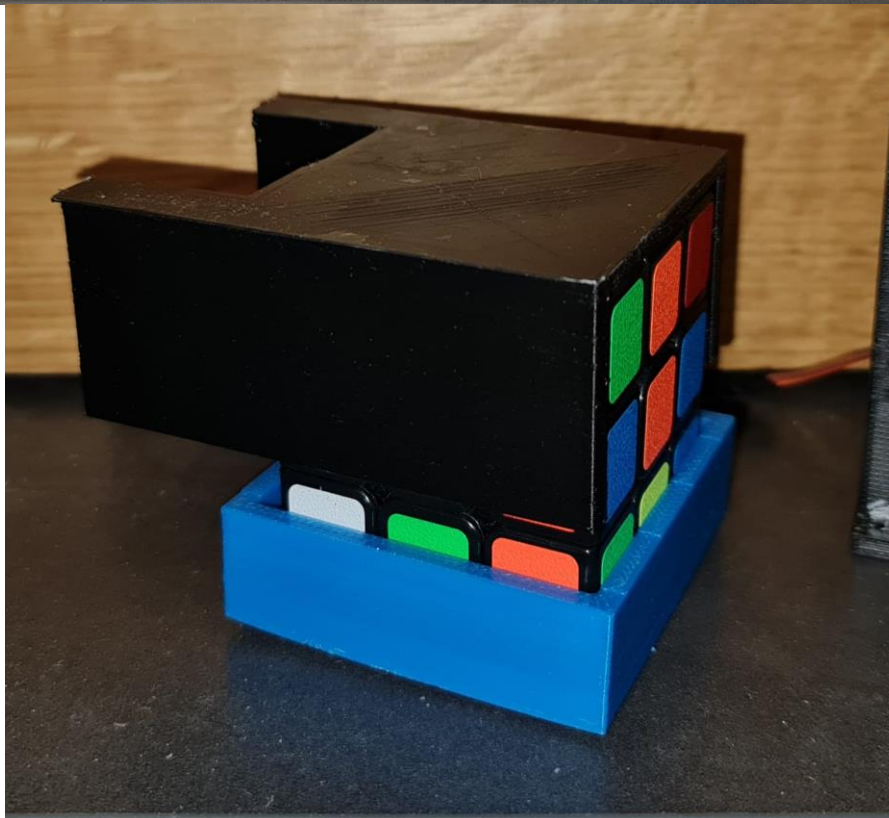





Abbildung 11: 3D-Teile

## 4 Zukauft teile

Anzahl	Name	Beschreibung	Anwendung	Schnittstellen & Spannungsbelegung	Bild
1	Arduino ELEGOO UNO R3 Ultimate	Mikrocontrollerboard, basierend auf dem Atmel Mega 328P	Entwicklerboard, Steuerung, Regelung, Berechnungen	28 Digitale Input/ Output Pins Davon: 12 PWM Output 4 UART, 12 Mhz Quarz, USB-A Verbindung, ICSP Header, Reset Button, DC 9V/GND	
1	DS04-NFC Micro Servo Motor	360-Grad Servomotor mit kontinuierlicher Rotation	Push 3D-teil Steuerung	4.8 V – 6 V	
2	SG90 Micro Servo Motor 9G	180 Grad Servomotor	Block & Base 3D-teil Steuerung	3.0 V – 6.0 V	

## Modul Abhängigkeiten

- Welche Abhängigkeiten gibt es zu anderen Modulen?
- Einfache Aufzählungsform