

# BVT-Award 2024

Fachschule für Technik

Fachrichtung Maschinentechnik - FTM2



## 6-Achs-Roboterarm aus dem 3D-Drucker



Ersteller: Jaron Beck

Projektbetreuer: Dr. Kilian Krettenauer

## 1 Einleitung

Stellen Sie sich vor, Sie wachen morgens auf und Ihr Lieblingstee steht bereits dampfend und perfekt gebrüht vor Ihnen. Was früher ein Traum war, ist dank des Projektes "6-Achs Roboterarm aus dem 3D-Drucker" nun Realität.

Die Komplexität einer solchen Idee liegt in der Präzision in der Fertigung, die für die Funktion des Roboterarms unerlässlich ist. Toleranzen während der Fertigung von 0,1 mm müssen eingehalten werden, um später eine präzise und wiederholgenaue Bewegung gewährleisten zu können. Die Herausforderung liegt nicht nur in der Einzelteufertigung, sondern in der Integration aller Komponenten zusammen. Der Roboterarm ist nicht nur auf Teezubereitung beschränkt, denn das System wurde modular konzipiert und kann mit minimalen Anpassungen für vielfältige Anwendungsbereiche adaptiert werden. Die additive Fertigung eröffnet kostengünstige und flexible Herstellungsmöglichkeiten, die auch im unternehmerischen Umfeld interessant sind. Im Vergleich zu herkömmlichen Roboterarmen mit Preisen im fünfstelligen Bereich überzeugt der selbstgebaute Roboterarm durch seinen erschwinglichen Herstellungskostenpreis von etwa 2000€. Dies unterstreicht auch das immense Potenzial des Projekts sowie die zukünftige Bedeutung der 3D-Drucktechnologie im Bereich der Robotik.

## 2 Motivation und Zielsetzung

Der 6-Achs-Roboterarm wurde aus einer intrinsischen Faszination für Robotik, 3D-Druck sowie dem Forschungsinteresse an der Automatisierung von alltäglichen Aufgaben heraus konzipiert und umgesetzt. Der Roboterarm dient als persönliche Experimentierplattform sowie zur Erforschung und Entwicklung von Verfahren zur Automatisierung von alltäglichen, jedoch komplexen Aufgabenstellungen. Die Projektidee bot darüber hinaus die Möglichkeit, praktische Erfahrungen in vielfältigen Bereichen wie zum Beispiel Konstruktion, Elektrotechnik, additive Fertigung und Programmierung zu sammeln und somit meine persönlichen Kompetenzen hierin immens zu erweitern.

## 3 Projektziel

Das Ziel des Projekts war es, einen funktionsfähigen 6-Achs-Roboterarm zu fertigen, der in der Lage ist, selbstständig Tee zuzubereiten. Hierbei sollte der Roboterarm weitestgehend mittels einem handelsüblichen 3D-Drucker hergestellt werden, um die Herstellungskosten so niedrig wie möglich zu halten und die Designfreiheit während der Umsetzung des Projektes komplett frei gestalten zu können.

## 4 Vorgehensweise

Zunächst galt es, die Projektziele klar zu definieren. Eines der Hauptziele war die automatisierte Teezubereitung, wobei sekundär meine Fähigkeiten in den Teilgebieten der Robotik sowie additiver Fertigung noch weiter vertieft werden sollten.

Eine grundlegende Recherche und Planung bildeten die Basis des Projekts. In dieser Phase erfolgte z.B. die Auswahl des 3D-Druckers sowie der Software zur programmtechnischen Umsetzung. Eine detaillierte Anforderungsanalyse in Bezug auf die gewünschten Eigenschaften des Roboterarms führten zu einem konkreten Pflichtenheft, das während der praktischen Umsetzung als hilfreiches Tool

zur Verfügung stand. Eine Zeit- und Budgetplanung sorgten zusätzlich für einen strukturierten Projektablauf während der Umsetzungsphase.



Abbildung 1: 6-Achs-Roboterarm

## 5 Technische Umsetzung

Im weiteren Verlauf soll die technische Umsetzung des Projektes beschrieben werden. Hierbei steht die Komplexität und die Vielfältigkeit im Fokus der Betrachtung, da diese Technikerarbeit eine Vielzahl an unterschiedlichen Aspekten inkludiert und sich durch einen hohen Freiheitsgrad in der Umsetzung auszeichnet.

### 5.1 3D-Druck des Roboterarms

Der Roboterarm wurde mit einem Fused Deposition Molding (FDM) 3D-Drucker, der Marke Qidi, gefertigt. Zur Fertigung wurden u.a. die Materialien ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol), PETG (Polyethylenterephthalatglykol) und PLA (Polylactide) verwendet. Die unterschiedliche Materialenauswahl wurde an den jeweiligen Einsatzzweck und die spezifischen Anforderungen ausgerichtet, weshalb je nach Bauteil eine entsprechende Auswahl getroffen werden musste. Alle Bauteile und Baugruppen des Roboterarms wurden in Autodesk Inventor konstruiert und anschließend in Qidi Print 6.4 für den 3D-Druck vorbereitet.

Die Vorteile der 3D-Drucktechnologie für die Fertigung des Roboterarms waren unter anderem:

- Kostengünstige Möglichkeit komplexe Bauteile herzustellen
- Durch die Schnelligkeit des Verfahrens konnten Prototypen und Kleinserien zügig hergestellt werden. Somit konnten während der gesamten Ausarbeitung und während des Aufbaus des Roboterarms, Varianten und Anpassungen schnell und unkompliziert umgesetzt werden.

## 5.2 Aufbau und Entwicklung des elektrischen Schaltschranks

Der Roboterarm wird von sechs Closed-Loop-Schrittmotoren angetrieben, die für präzise und zuverlässige Bewegungen sorgen. Die Motoren sind über Steuerkabel mit einem Teensy 4.1 Mikrocontroller verbunden, der als zentrale Steuerungseinheit des Roboterarms fungiert.

Im Schaltschrank befindet sich der Mikrocontroller, der mit den Schrittmotorentreibern verbunden ist. Die Schrittmotorentreiber dienen als Schnittstelle zwischen dem Microcontroller und den Motoren und steuern die Drehbewegungen präzise an. Darüber hinaus ist im Schaltschrank die Ansteuerung für den Servo-Greifer integriert, die dessen Greifbewegungen ermöglicht.

Ein Notausschalter, welcher sich außen am Schaltschrank befindet, sorgt für zusätzliche Sicherheit während des Betriebes. Im Falle eines Notfalls kann die gesamte Anlage sofort stromlos geschaltet werden.



Abbildung 2: Schaltschrankschrankbau

### 5.3 Softwareentwicklung

Die Arduino IDE Software dient als Entwicklungsumgebung zum Erstellen und Hochladen des Steuerungsprogramms auf den Mikrocontroller Teensy 4.1. Die Programmierung erfolgte in der Arduino-Programmiersprache, die einer vereinfachten Version von C++ gleicht.

Zusätzlich wird eine Open-Source-Software von AnninRobotics verwendet, um benutzerdefinierte Bewegungsabläufe einzugeben und zu erstellen. Diese Software ermöglicht die intuitive Steuerung des Roboterarms durch eine grafische Benutzeroberfläche. Darüber hinaus ermöglicht sie die automatische Berechnung der Gelenkwinkel für gewünschte Positionen des Roboterarms.

#### 5.3.1 Auszug aus der Arduino IDE Software

```

ARD_teeny41_sketch_v4.1
Datei Bearbeiten Sketch Werkzeuge Hilfe

ARD_teeny41_sketch_v4.1
toolFrame [1][3] = (YVal);
toolFrame [2][0] = -sin(radians(RZVal));
toolFrame [2][1] = cos(radians(RZVal)) * sin(radians(RXVal));
toolFrame [2][2] = cos(radians(RZVal)) * cos(radians(RXVal));
toolFrame [2][3] = (ZVal);
toolFrame [3][0] = 0;
toolFrame [3][1] = 0;
toolFrame [3][2] = 0;
toolFrame [3][3] = 1;
}

void Tool_MatrixRev(float XVal, float YVal, float ZVal, float RXVal, float RZVal, float RYVal, float RXVal) {
  toolFrameRev [0][0] = cos(radians(RZVal)) * cos(radians(RYVal));
  toolFrameRev [0][1] = cos(radians(RZVal)) * sin(radians(RYVal)) * sin(radians(RXVal)) - sin(radians(RZVal)) * cos(radians(RXVal));
  toolFrameRev [0][2] = cos(radians(RZVal)) * sin(radians(RYVal)) * cos(radians(RXVal)) + sin(radians(RZVal)) * sin(radians(RXVal));
  toolFrameRev [0][3] = -(XVal);
  toolFrameRev [1][0] = sin(radians(RZVal)) * cos(radians(RYVal));
  toolFrameRev [1][1] = sin(radians(RZVal)) * sin(radians(RYVal)) * sin(radians(RXVal)) + cos(radians(RZVal)) * cos(radians(RXVal));
  toolFrameRev [1][2] = sin(radians(RZVal)) * sin(radians(RYVal)) * cos(radians(RXVal)) - cos(radians(RZVal)) * sin(radians(RXVal));
  toolFrameRev [1][3] = -(YVal);
  toolFrameRev [2][0] = -sin(radians(RZVal));
  toolFrameRev [2][1] = cos(radians(RZVal)) * sin(radians(RXVal));
  toolFrameRev [2][2] = cos(radians(RZVal)) * cos(radians(RXVal));
  toolFrameRev [2][3] = -(ZVal);
  toolFrameRev [3][0] = 0;
  toolFrameRev [3][1] = 0;
  toolFrameRev [3][2] = 0;
  toolFrameRev [3][3] = 1;
}

//CONSTRUCT DH MATRICES FORWARD KINEMATICS
  
```

Abbildung 3: Programmauszug Arduino IDE Programmierumgebung

#### 5.3.2 Auszug aus der Open-Source-Software von AnninRobotics

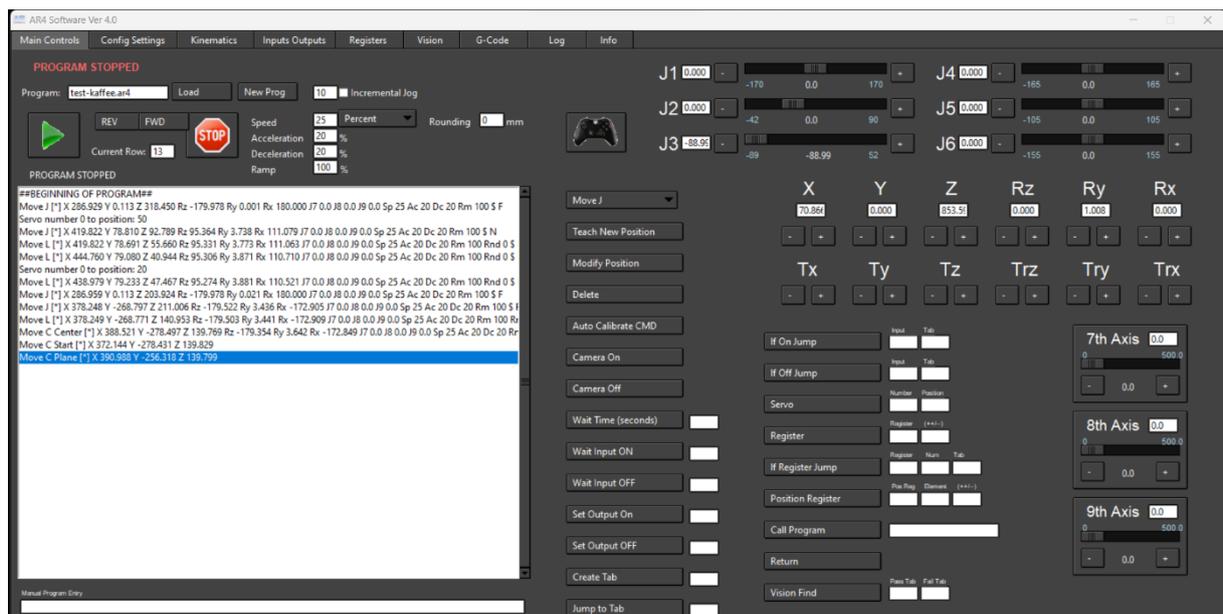


Abbildung 4: Benutzeroberfläche zur Positionsbestimmung des Roboterarms

## 5.4 Technische Daten des Projektes

Maximale Reichweite – 62.9cm

Nutzlast – 1kg

Wiederholgenauigkeit - 0.8mm

Gewicht des Roboters – 10.4kg

Gewicht des Schaltschranks – 5.6kg

Max Strom Verbrauch – 198 Watt

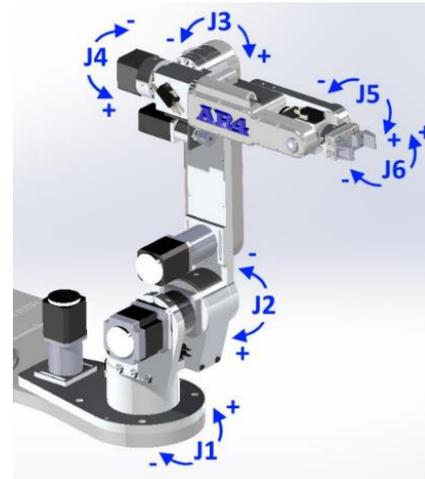


Abbildung 5: 3D-Zeichnung Roboterarm

## 6 Ergebnis, Fazit und Ausblick

### 6.1 Ergebnis

Der 6-Achs-Roboterarm wurde erfolgreich fertiggestellt und ist in der Lage, selbstständig Tee zuzubereiten. Über den Link ist die Aufgabenausführung als Video ersichtlich (Video URL: [https://www.youtube.com/watch?v=o7F53kuhndM&ab\\_channel=Fyloa](https://www.youtube.com/watch?v=o7F53kuhndM&ab_channel=Fyloa)). Der Roboterarm kann verschiedene Bewegungsabläufe in Form von Varianten ausführen, um den Tee mittels Zucker zu süßen, sowie einen Teebeutel in die Tasse geben und abschließend den fertigen Tee servieren.

### 6.2 Fazit

Das Projekt hat gezeigt, dass es möglich ist, einen funktionsfähigen 6-Achs-Roboterarm mit Hilfe eines handelsüblichen 3D-Druckers zu fertigen. Der Roboterarm zeichnet sich durch eine komplexe Fertigung, die Verkabelung und den Aufbau eines Schaltschranks sowie die Verwendung eines Mikrocontrollers zur Steuerung aus. Die Anlage ist ein innovatives und zugleich motivierendes Projekt, welches die Automatisierung einer Alltagsanwendung zu Hause demonstrieren soll. Der Roboter hat das Potenzial viele Abläufe effizienter und komfortabler zu gestalten und diene mir persönlich als Herausforderung, um meine Kompetenzen im Bereich Robotik, additive Fertigung sowie elektrische und programmiertechnische Umsetzung eines Herzensprojektes zu verwirklichen.

### 6.3 Ausblick

Das Projekt kann zukünftig noch weiterentwickelt werden, in dem der Roboterarm z.B. mit einer Kamera ausgestattet wird, um die Umgebung sowie Ergebnisse auszuwerten und die Bewegungen des Roboterarms zu optimieren. Außerdem könnte der Roboterarm mit weiteren Funktionen ausgestattet werden, um weitere Aufgaben für einen Anwender und Roboterfreund zu erledigen.

Der Vielfältigkeit und Variantenfreiheit sind hierbei nahezu keine Grenzen gesetzt. Die einzige Grenze in meiner Technikerarbeit war die zeitliche Komponente, wobei ich persönlich sehr stolz auf das Resultat bin, da ich mit jedem Projektfortschritt sukzessiv meiner eigenen Lösungsvariante nähergekommen bin.

