

# Semesterarbeit im Fach User Interfaces

Implementierung einer Fernsteuerung für einen 3D gedruckten  
Roboterarm über einen Raspberry PI 3

Eingereicht am: 10. Juli 2020

Josef Prothmann  
geboren am 16. Dezember 1998  
Email: j.prothmann@stud.hs-wismar.de

Betreuer: Prof. Dr. H. Litschke

---

## **Abstrakt**

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Implentierung eines User Interfaces für einen Roboterarm, welcher von einem 3D Drucker hergestellt und über einen Server mit einer Android Applikation zur Fernsteuerung verbunden ist.

## **Abstract**

This thesis is facing the implementation of an user interface for an robotic arm wich is crafted by a 3D printer and is connected to a server while it is remote controlled by an android application.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1	Hardware Komponenten . . . . .	3
2.2	3D - Druck . . . . .	3
2.2.1	Beispieldruck PLA . . . . .	4
2.3	Android . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Konzeption</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Implementierung</b>	<b>7</b>
4.1	Client . . . . .	7
4.2	Roboterarm . . . . .	8
4.3	Server . . . . .	9
4.4	Fehlschläge . . . . .	10
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>i</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>ii</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>iii</b>
	<b>Selbstständigkeitserklärung</b>	<b>iv</b>

## 1 Einleitung

Der Benutzerschnittstelle, oder auf Englisch, dem „User Interface“, wird zunehmend Aufmerksamkeit gewidmet. Dies resultiert aus der laufenden Digitalisierung von Prozessen und der stetigen Übernahme der Computern und Maschinen von menschlichen Aufgaben. Denn selbstverständlich muss zwischen dem Staubsaugroboter aus dem Wohnzimmer oder dem Industrieroboter in der Produktion eine Benutzerschnittstelle (HMI<sup>1</sup>) geschaffen werden, damit eine Kontrolle und eine Zuweisung dieser Aufgaben stattfinden kann.

In diesem Projekt wurde eine Benutzerschnittstelle für einen Roboterarm entwickelt, mit dem sich dieser steuern lässt.

---

<sup>1</sup>engl. Human-Machine Interface

## 2 Grundlagen

### 2.1 Hardware Komponenten

#### Raspberry PI

Der Raspberry PI ist ein Einplatinencomputer, welches mit einem Unix Betriebssystem läuft. Dieser bietet neben seinem günstigen Preis ein leistungstarkes System, welches durch seine Ansteuerungspins eine Ähnlichkeit zu einem Arduino zeigt. Mit diesen Pins ist es möglich externe Komponenten anzusteuern oder Informationen zu empfangen. Dadurch sind etliche Projekte wie zum Beispiel: eine Aquariumsanzeige, SmartHome Steuerung und vieles mehr möglich.

#### Servo Motoren

Servomotor sind spezielle Elektromotoren. Diese Motoren besitzen die Möglichkeit die Kontrolle der Winkelposition ihrer Motorwelle sowie der Drehgeschwindigkeit und Beschleunigung erlauben. Sie bestehen aus einem Elektromotor, der zusätzlich mit einem Sensor zur Positionsbestimmung ausgestattet ist.

#### 16-channel 12-bit Servo Driver

Dieses Modul bietet eine Steuerung von mehreren Servo Motoren gleichzeitig. Durch eine externe Spannungsquelle sind bis zu 16 5V Servo Motoren anschließbar.

### 2.2 3D - Druck

3D Druck ist eine Technologie die seit Jahren von der Industrie als auch von Privatendwendern betrieben, verbessert und erweitert wird. Diese Art des Druckens umfasst sämtliche Verfahren in denen Material Schicht auf Schicht gedruckt wird. Für dieses Verfahren benötigt man einen sogenannten 3D-Drucker. Ein handelsüblicher Filament 3D-Drucker besitzt in der Standardvariante 3 bis 4-Achsenbewegungsmotoren, 1 Extrudermotoren, ein Heizbett, ein Controllerboard, ein Hotend und einen Rahmen indem alle Bauteile verankert sind, sowie eine Spannungsquelle. Für das Drucken von

3D Objekten sind neben einem Drucker auch Druckmaterial sowie ein Slicingprogramm nötig. Je nach Druckerart können verschiedenste Material verwendet werden. Das am meisten verwendetest Material ist PLA(Polylactide), diese Polymere zählen zu den Polyestern und lassen sich am einfachsten drucken. Um 3D Modelle drucken zu können ist neben den Model an sich ein Slicingprogramm nötig. Bei solch einem Programm werden die Modelle auf einem virtuellem Druckbett positioniert und in einzelne Schichten zerlegt. Je nach dem wie groß eine Schicht ist desto detaillierter ist das gedruckte Produkt. Aktuelle Drucker sind in der Lage eine Schichthöhe von 0,1 mm erreichen. Ein Druck wird im 3D Raum aufgebaut. Es gibt 3 Achsen, welche sich horizontal (X, Y Achse) und vertikal bewegen (Z-Achse). Diese Bewegungen werden durch Motoren ausgeführt um das Material in das Hotend zu drücken wird ein Extudermotor benötigt.

In dieser Beschreibung wurden nur Fused Deposition Modeling / Fused Filament Fabrication (FDM / FFF) besprochen daneben gibt es noch andere Druckerarten, wie zum Beispiel Stereolithographie (STL / SLA) bei dem Flüssigharz und UV-Strahlen verwendet werden um Modelle zu drucken.

### **2.2.1 Beispieldruck PLA**

Nachdem der Drucker die Datei, mit dem gesliceten Druckmodel geladen hat, findet die Vorbereitung des Druckers automatisch statt. Das Druckbett bzw. Heizbett wird auf 60°C vorgeheizt, damit das Material besser an der Druckfläche haftet. Währenddessen wird das Hotend auf eine Betriebstemperatur von ca 215°C erhitzt, damit das Material formbar wird um Schicht für Schicht aufgetragen werden zu können. Sind die Endtemperaturen erreicht, werden die einzelnen befehle aus der gesliceten Datei geladen. (Diese Beinhalten befehle für die Motoren) Schicht für Schicht wird das Material aufgetragen, welches sich sofort verhärtet.

## 2.3 Android

Android ist ein von Google Inc. entwickeltes und das meist verbreiteste Betriebssystem auf dem deutschen Markt<sup>2</sup>. Mittlerweile findet es nicht mehr nur in Smartphones, sondern auch in Smartwatches, Tablets und in Fernsehern Verwendung. Die App wurde auf der Version 8.1 (Oreo) entwickelt, ist aber trotzdem für aktuellere Versionen verfügbar.

---

<sup>2</sup>Stand März 2020 laufen ca. 80% der verfügbaren Geräte mit einem Android Betriebssystem -Quelle: Statista.com, „Vergleich der Marktanteile von Android und iOS am Absatz von Smartphones in Deutschland von Januar 2012 bis März 2020“, 03.06.2020 [1]

### 3 Konzeption

Bei dem Entwurf des Graphical User Interfaces (GUI), wurde sich an gängigen Fernsteuerungen aus der Spielbranche orientiert. Auf der linken, sowie auf der rechten, unteren Seite des Displays, lässt sich die Position des Armes im dreidimensionalen Raum (3D) steuern. Im oberen Bereich der Anwendung befinden sich Konfigurationspunkte sowie der „Switch“<sup>3</sup>, welcher Steuern des Greifers übernimmt. Die App sollte nur im „Landscape“-Modus, ausführbar sein. Dabei wurde Wert auf das Einhalten von aktuellen Konventionen, wie einem Settings Menü zum Festlegen von Serverport und -ip und CISCO Standard Symbolen wie dem Netzwerk-Symbol geachtet. Des Weiteren wurde mit dem Erstellen von eigenen Scaleable Vector Graphics (SVG) die Intuitivität unterstützt und eine missverständliche Nutzung der Applikation ausgeschlossen.

Für die Kommunikation zwischen der Applikation und den „Roboterarm“ wurde ein Server als Mittelsmann verwendet. Mit diesem Konzept wird eine asynchrone Kommunikation zwischen Server und Client ermöglicht. Der Client welcher als Sender von Daten dient kann dem Server welcher die Daten empfängt direkt etwas mitteilen. Diese Verbindung wird durch einen TCP Socket gewährleistet. Die gesendeten Daten der Applikation werden über die auf dem Raspberry PI vorhandenen GPIO Pins an die Servomotoren mittels eines „16-channel 12-bit Servo Driver“ übertragen. Dieser Driver ist notwendig um eine konstante und genügende Spannungsquelle für die Motoren zu gewährleisten. Eine direkte Ansteuerung von mehr als einem Motor über die Spannungsquelle des Raspberry PI's ist ungenügend und lässt die Servomotoren zucken oder gar nicht reagieren.

---

<sup>3</sup>Ein Switch ist in Android ein Kippschalter mit 2 Zuständen



## 4 Implementierung

### 4.1 Client

Für die Entwicklung einer nativen Android App wird die Entwicklungsumgebung Android Studio benötigt. Des Weiteren wird für die Softwareversionsverwaltung auf die Plattform Github zurückgegriffen, wo der Quellcode des Projektes dokumentiert ist<sup>4</sup>. Aus dem Grund, dass die Verbindung zu dem Roboter Arm über das Internet realisiert wurde, ist es notwendig in dem Manifest der Applikation die Internetberechtigung zu erteilen.

```
<uses-permission android:name="android.permission.INTERNET" />
```

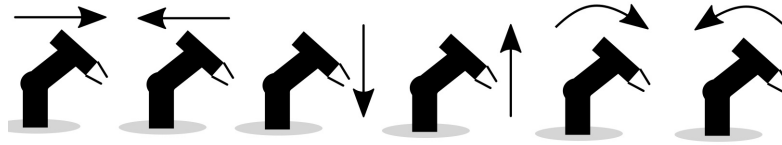
Damit ist es möglich auf das mobile Netz des Smartphones zuzugreifen. Um eine Verbindung aufzubauen, benötigt der Client, in diesem Fall die App, die Adresse und den Port des Hosts, in diesem Fall der Server auf dem Raspberry Pi.

Die Parameter für die Verbindung (IP und Port des Hosts), lassen sich dynamisch (zur Laufzeit) in der App einsehen und anpassen. Dadurch ist es in der Theorie möglich, mehrere Roboter nacheinander zu steuern. Damit das ankommende Signal, welches von den Knöpfen und der Switch senden korrekt interpretiert wird, sendet die App einen eindeutigen, einstelligen Integer Code. Dadurch lassen sich die Bewegungen der Motoren durch den korrekten Knopf in der App abbilden.

Da Pfeile als Bewegungsindikatoren im 3D Raum leicht missverstanden werden können, wurden eigene SVGs erstellt, welche die Bewegung des Arms verdeutlichen.

---

<sup>4</sup><https://github.com/JoProt/User-Interface-Project>



**Abbildung 4.1:** SVG der Knöpfe aus der App - *Quelle: Eigene Darstellung*

In Abbildung 4.1 sind die einzelnen Grafiken für die jeweilige Bewegung des Roboters aufgelistet, wobei  $\leftarrow$  und  $\rightarrow$  für Steuerung auf einer horizontal Linie,  $\uparrow$  und  $\downarrow$  für vertikale Bewegungen und  $\curvearrowright$  und  $\curvearrowleft$  für Bewegung um die eigene Hochachse verantwortlich sind.

## 4.2 Roboterarm

Der Arm wurde auf einem selbstgebauten 3D-Drucker über 25h gedruckt und hat durch die Ungenauigkeit des Druckers und falschen Einstellungen einen leichten Verzug in den Bauteilen. Das bedeutet die Greifzange hat ein leichtes Problem beim schließen, dies würde sich mit neuen gedruckten Greifzangen Bauteilen beheben lassen. Aus technischen Gründen ist dies nicht mehr möglich gewesen, da der Drucker einen defekt nach dem fertigstellen des Armes erlitten hat.

Der Arm hat an 4 Punkten die Servomotoren implementiert und kann sich dadurch wie in Abschnitt 4.1 beschrieben in mehrere Richtungen bewegen. Die Motorsteuerung funktioniert über ein 16-channel 12-bit Servo Driver-Board, genaueres zu diesem Bauteil ist unter dem Abschnitt 2.1 zu lesen.

### 4.3 Server

Für den Server und die Ansteuerung des Roboterarms wurde die Programmiersprache Python verwendet. Die Verbindung zum Server wird über eine Socket Verbindung gewährleistet. Das bedeutet, es wird direkte Verbindung zwischen Client und Server aufgebaut die solange aktiv ist bis einer der beiden Partner die Verbindung trennt. Eine Aktive Trennung findet in dieser Implementierung nur den Client statt. Wie im folgenden Codeauszug zu sehen ist, wird eine Verbindung aufgebaut, gehalten und es werden Daten empfangen, welche an die Roboterarmsteuerungsmethode weitergeleitet werden.

```
#!/* Server Init and Loop*/#
serv = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
serv.bind(('192.168.178.29', 5556))
serv.listen(5)
print("Server started")

while True:
    conn, addr = serv.accept()
    print('client connected')
    from_client = ''
    while True:
        data = conn.recv(4096)
        if not data: break
        print(data.decode())
        handleData(data.decode())
    conn.close()
    print('client disconnected')
```

In der Armsteuerung wird überprüft welche Daten gesendet wurden. Intern wurde sich zuerst über eine passende Kommunikation ausgetauscht und danach wurden die jeweiligen Bewegungen per Zahl definiert. Beispielsweise wird Basis, welche das drehen nach links und rechts ermöglicht, durch Integerwerte 7(links) und 8(rechts) definiert. Im folgenden Codeausschnitt wurde vorher überprüft ob es sich wirklich um eine Zahl handelt, dann wurde sie geparkt und per “if”-Abfrage wird nun geprüft um welche Zahl es sich handelt.

```
if (number==8):
    if (servoPosBase+servoSteps<=maxServo):
        servoPosBase+=servoSteps;
        kit.servo[2].angle = servoPosBase;

if (number==7):
    if (servoPosBase-servoSteps>=minServo):
        servoPosBase-=servoSteps;
        kit.servo[2].angle = servoPosBase;
```

Hierbei ist zu erkennen, dass der Mindest- und der Maximalwinkel des Servomotors als auch die Schrittgröße für einen Eingangssignal vorher definiert wurden. Dies dient dazu Fehler für die Motoren zu verhindern. Mithilfe des “ServoKit”-Packages ist es möglich eine vorgefertigte Ansteuerungsmethode zu verwenden.

Wenn ein Datenstrom vom Client gesendet wird, wird diese durch den Server validiert und weitergereicht um einen Motor des Armes zu bewegen.

#### 4.4 Fehlschläge

Für die Server-Arm Steuerung wurden mehrere Ansätze ausgetestet. Zum einen war das Wissen wie solche Motoren und Systeme funktionieren nicht vorhanden. Dadurch sind Probleme wie zuckende, nicht reagierende Servomotoren und Fehlansteuerungen entstanden. Erst bei der Betrachtung das die Spannungsquelle ungenügend sein könnte wurde recherchiert [2] und Lösungen betrachtet.

Neben den Motorproblemen stellte die Verbindung eine kleines Problem dar. Die Fernsteuerung über das Internet war ein Plan der dieses Projekt bereichern sollte, auch wenn es keinen Mehrwert bietet. Erst als beim betrachten des Portforwardings, konnte festgestellt werden das der genutzte Port freigeschaltet werden muss.

## 5 Zusammenfassung

In diesem Projekt haben wir uns mit den Grundlagen der Entwicklung eines User Interfaces auseinandergesetzt und eine ansprechende und intuitiv zu bedienende App entwickelt. Mit Hilfe unseres Wissens aus weiteren Modulen, wie zum Beispiel „Programmierung Mobiler Endgeräte“ und „Echtzeit- und Netzwerkprogrammierung“, war es uns möglich eine Android Anwendung zu schreiben um einen 3D gedruckten Roboter Arm zu steuern.

In der Zeit der Digitalisierung, in der Computer immer mehr Teil unseres Alltags werden ist es das Ziel, dass die Maschinen für den Menschen eine Arbeitserleichterung und keine Last werden. Deshalb ist es umso wichtiger, mit einem qualitativem User Interface zu arbeiten. Dieses vergleichsweise kleine Projekt hat uns gezeigt wie aufwendig der Prozess der Gestaltung einer hochwertigen Oberfläche ist.

Gerade dann, wenn eine Anwendung veröffentlicht und von mehreren Menschen genutzt wird, ist es wichtig, dass es das Leben erleichtert und nicht verkompliziert.

## Literaturverzeichnis

- [1] TENZER, F.: *Marktanteile von Android und iOS am Smartphone-Absatz in Deutschland bis März 2020.* <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/256790/umfrage/marktanteile-von-android-und-ios-am-smartphone-absatz-in-deutschland/>.  
Version: Mai 2020
- [2] TOWNSEND, Kevin: *Configuring Your Pi for I2C.* <https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-servo-driver-with-raspberry-pi/configuring-your-pi-for-i2c>.  
Version: Mai 2020

## Abbildungsverzeichnis

4.1	SVG der Knöpfe aus der App - <i>Quelle: Eigene Darstellung</i> . . . . .	8
-----	--	---

## Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erklären wir, dass wir die hier vorliegende Arbeit selbstständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur unter Verwendung der aufgeführten Hilfsmittel angefertigt haben.

Wismar, den 10. Juli 2020

---

Ort, Datum

---

Unterschrift