

# Fachliches Pflichtenheft

PROJEKT 4 - TEAM 1

28. März 2019

**Auftraggeber:**

Prof. Hans Gysin

**Fachcoach:**

Prof. Dr. Pascal Schleuniger  
Matthias Meier  
Albert Zihlmann  
Dr. Anita Gertiser  
Pascal Buchschacher  
Marie-Thérèse Rudolf von Rohr

**Projektleiter:**

Fabian von Büren

**Team:**

Christoph Kuhn  
Dennis Aeschbacher  
Raffael Anklin  
Raphael Nikles  
Robin Aebi

**Studiengang:**

Elektro- und Informationstechnik

**Semester:**

Frühlingssemester 2019

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Übersicht</b>	<b>1</b>
1.1	Ausgangslage . . . . .	1
1.2	Projektziele . . . . .	2
1.3	Lieferobjekte . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Lösungskonzept</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Hardware / Machine Controlling System</b>	<b>6</b>
3.1	Motor Control Unit (MCU) . . . . .	6
3.2	Debugging Interface Unit (DIU) . . . . .	6
3.3	Printer Controlling Unit (PCU) . . . . .	6
3.4	Storage Disk Unit (SDU) . . . . .	7
3.5	Heater-Fan-Controll Unit (HFU) . . . . .	7
3.6	Interface Controlling Unit (ICU) . . . . .	7
3.7	Human-Machine-Interface (HMI) . . . . .	7
3.8	Power Management Unit (PMU) . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Software</b>	<b>9</b>
4.1	Interface Controlling Unit (ICU) . . . . .	9
4.2	Web Management Unit (WMU) . . . . .	9
4.3	Human Machine System (HMS) . . . . .	10
4.4	Printer Control Unit (PCU) . . . . .	10
<b>5</b>	<b>Bedienung</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>Testkonzept</b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>Projektvereinbarung</b>	<b>13</b>
<b>A</b>	<b>Lastenheft</b>	<b>15</b>

# 1 Übersicht

In diesem Kapitel soll eine Übersicht darüber gegeben werden, um was es im Projekt 4 des Studiengangs Elektro- und Informationstechnik geht. Dabei soll auch aufgezeigt werden, welche Ziele erreicht werden sollen und welche Lieferobjekte erstellt werden müssen.

## 1.1 Ausgangslage

Vor nicht allzulanger Zeit war der Bau von Prototypen oder Modellen eine Herausforderung, da es aufwändig war komplexere Formen zu modellieren und aufzubauen. 1981 wurde erstmals ein 3D-Drucker entwickelt, welcher es ermöglichte mittels Stereolithographie<sup>1</sup> eine komplexe Figur zu modellieren. Dies war der Anfang eines neuen technischen Zeitalters. Das Problem war jedoch, dass 3D-Drucker zu Beginn enorm teuer waren. Heutzutage sind diverse 3D-Drucker auf dem Markt, welche mittels unterschiedlicher Methoden dreidimensionale Objekte erschaffen. Diese sind mittlerweile auch erschwinglich für jedermann. Im Projekt 4 soll die Elektronik für einen 3D-Drucker entwickelt werden, welcher mittels *Fused Deposition Modeling* Werkstücke kreiert. Dabei wird ein Kunststoffstrang geschmolzen und durch eine feine Düse gepresst. Der Druckkopf baut dann mit dem austretenden Kunststoffaden Schicht um Schicht ein dreidimensionales Objekt auf [1][2].

---

<sup>1</sup>**Stereolithografie** ist das älteste additive Fertigungsverfahren, bei dem ein Werkstück durch frei im Raum aufgetragene Rasterpunkte schichtenweise aufgebaut wird. Die Fertigung eines Werkstückes erfolgt vollautomatisch aus am Computer erstellten CAD-Daten.

## 1.2 Projektziele

In Tabelle 1.1 sind die Pflicht- und Wunschziele für dieses Projekt festgehalten. Diese sind an das Lastenheft des Auftraggebers angelehnt (siehe Anhang A).

<b>Pflichtziele</b>		
<b>Nr.</b>	<b>Ziel</b>	<b>Messung der Zielerreichung</b>
P1	Unabhängige Ansteuerung aller vier Schrittmotoren (x-, y-, z-Achse und Zuführung Filament), ohne das Schritte verloren gehen.	Testfahrt über Zeit mit Kontrolle der Schritte
P2	Nullpositions-Erkennung der x-, y- und z-Achse.	Positionserkennung mit mindestens $\pm 1\text{mm}$ Genauigkeit
P3	Regelung der Heizleistung von Extruder und Heizbett.	Erreichen der Solltemperatur auf $\pm 5^\circ\text{C}$
P4	Temperaturmessung für Extruder und Heizbett.	Messgenauigkeit auf $\pm 5^\circ\text{C}$
P5	Ansteuerung eines Ventilators (Kühlung der bereits gedruckten Strukturen).	Strukturen werden entsprechend gekühlt
P6	Laden von GCode via SD-Karte und WLAN.	Datei befindet sich auf SD-Karte
P7	Bedienelemente um alle wichtigen Funktionen des 3D-Druckers zu steuern (Taster, LEDs, Display, etc.)	Interaktion mit Drucker möglich.
P8	3D-Drucker soll funktionsfähig sein.	Testdruck erfolgreich
P9	Möglichkeit zur manuellen Ansteuerung (alle Achsen und Sensoren).	Die gewünschte Aktionen werden korrekt ausgeführt
<b>Wunschziele</b>		
W1	Detektion wenn kein Filament mehr vorhanden ist (optisch oder mechanisch).	System setzt entsprechende Meldung ab
W2	Webseite mit Benutzeroberfläche um Druckaufträge zu verwalten zu verfolgen und abzurufen.	Bedienung über Webseite möglich
W3	Möglichst geringer Eigenverbrauch im Ruhezustand.	Eigenverbrauch liegt unterhalb der Standard Lösung
W4	Luftkanal für Ventilator herstellen (mechanische Änderung).	Verbesserung der Kühlung
W5	Verwenden einer Glasplatte auf dem Heizbett für bessere Druckqualität (mechanische Änderung).	Erreicht / nicht erreicht
W6	Verbesserung des Abrollvorgangs des Filaments (mechanische Änderung).	Erreicht / nicht erreicht
W7	Kugellager durch Gleitlager ersetzen welche weniger verschleissen (mechanische Änderung).	Erreicht / nicht erreicht
W8	Autoleveling der z-Achse.	Erreicht / nicht erreicht
W9	Encoder anstatt Taster als Bedienelemente.	Erreicht / nicht erreicht

**Tabelle 1.1:** Pflicht- und Wunschziele

## 1.3 Lieferobjekte

Zusätzlich zu den Projektzielen, folgen in diesem Kapitel die Lieferobjekte und wichtige Meilensteine mit dem jeweiligen Datum. In der Tabelle 1.2 sind diese detailliert aufgelistet.

Nr.	Datum	Lieferobjekt
1	17.03.2019	Abgabe Fachliches Pflichtenheft, erste Version
2	31.03.2019	Abgabe Fachliches Pflichtenheft, definitive Version
3	05.05.2019	Abgabe Disposition und Einleitung Fachbericht
4	07.05.2019	G-Code drahtlos übermitteln
5	19.05.2019	Abschluss Realisierung
6	02.06.2019	Abschluss Validierung
7	11.06.2019	Abgabe Fachbericht
8	11.06.2019	Abgabe Fact sheet
9	11.06.2019	Abgabe Produkt und dazugehörige Software

**Tabelle 1.2:** Lieferobjekte und wichtige Meilensteine

## 2 Lösungskonzept

In Abbildung 2.1 ist das Blockschaltbild ersichtlich, welches alle Teilsysteme und Einheiten darstellt. Es ist modular gegliedert und bietet eine Übersicht der Schnittstellen zwischen den einzelnen Modulen.

Das Lösungskonzept selbst gliedert sich in drei physikalisch getrennte Einheiten. Das *Machine Controll System* (MCS), das *Human Maschine System* (HMS) und den Drucker selbst, einen *K8200* der Firma *Vellemann*.

Das MCS bildet den Hauptbestandteil des Lösungskonzepts. Es beinhaltet die Druckersteuerung und die Kommunikationsschnittstellen. Um diese zwei Aufgaben zu separieren befinden sich zwei Mikroprozessoren in dieser Einheit. Zusätzlich werden die Aktoren und Sensoren des 3D-Druckers angesteuert und eingelesen. Eine Statusanzeige zur Visualisierung des Zustandes ist ebenfalls angedacht.

Das HMS bildet die Benutzerschnittstelle über ein internetfähiges Gerät. Es kommuniziert über WLAN mit dem MCS. Über dieses Gerät können Druckaufträge verwaltet und überwacht werden. Auf dem 3D-Drucker befinden sich alle Aktoren und Sensoren. Sie werden über Kabelverbindungen an das MCS angebunden.

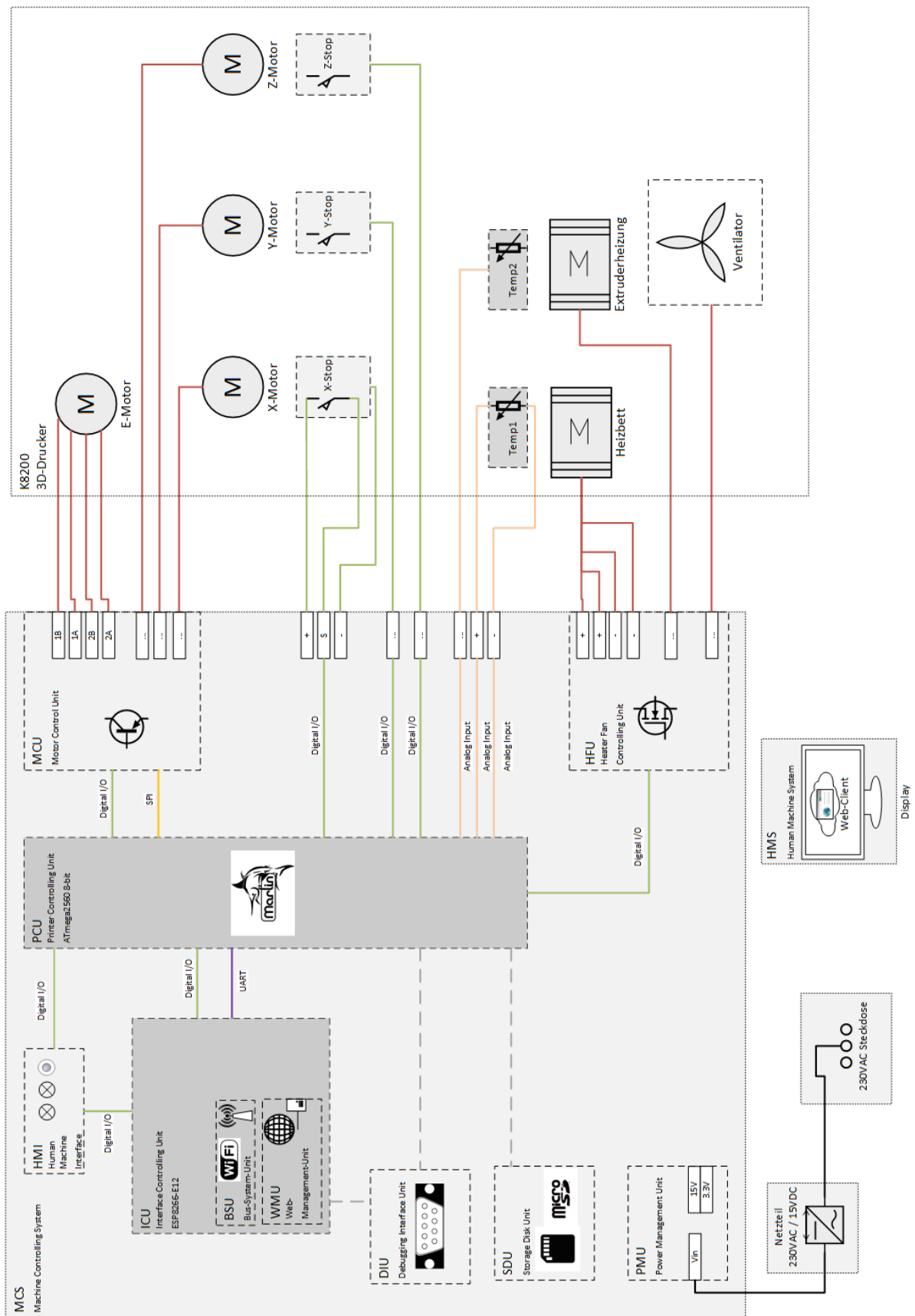


Abbildung 2.1: Grobkonzept

### 3 Hardware / Machine Controlling System

Das *Machine Controlling System* dient der Steuerung des 3D-Druckers sowie der Regelung einzelner Komponenten. Es setzt sich aus mehreren funktional verschiedenen Units zusammen, welche in diesem Kapitel beschrieben werden.

#### 3.1 Motor Control Unit (MCU)

Die *Motor Control Unit* ist für die Ansteuerung der Schrittmotoren zuständig. Es sollen vier Schrittmotoren angesteuert werden. Dabei handelt es sich um den Extrudermotor, welcher das Filament fördert und die drei Achsenmotoren für die x-, y- und z-Bewegung. Die Ansteuerung soll mittels Motorentreiber realisiert werden. Der Mikrocontroller soll mit der Firmware Marlin gemäss Kapitel 4.4 arbeiten. Dabei stehen jedem Schrittmotor drei Digitalpins vom Mikrocontroller zur Verfügung. Dabei handelt es sich um einen Enable Pin (*EN*), welcher den Treiber aktiviert, einem Signal (*DIR*) für die Drehrichtung des Schrittmotors und einem Schrittgeber (*STEP*), welcher jeweils mittels positiver Flanke den jeweiligen Schrittmotor um einen Schritt weiter dreht.

Die Schrittmotoren können mit maximal 2.5A betrieben werden. Bei diesem Strom wird das maximale Drehmoment der Motoren erreicht. Im Betrieb soll das volle Drehmoment jedoch nicht erreicht werden, da die Motoren möglichst unbehindert arbeiten sollten. Die Treiber sollen daher auf einen maximalen Strom von  $\sim 2A$  ausgelegt werden.

Die Schrittauflösung der Motoren beträgt  $1.8^\circ$  pro Schritt. Dies ergibt eine Auflösung von 200 Schritten pro Umdrehung. Bei dem vormontierten Ritzel des *K8200* 3D-Druckers (15mm Durchmesser) ergibt dies einen Weg von 0.24mm pro Schritt in x- und y-Richtung. Da eine höhere Auflösung angestrebt wird, sollen die Motorentreiber microstepping<sup>2</sup> unterstützen von mindestens 16 Teilschritten pro Schritt ( $\frac{1}{16}$ ). Somit kann eine Auflösung von mindestens 3200 Schritten pro Umdrehung erreicht werden. Dies ergibt wiederum einen Weg von 0.014mm pro Schritt.

Aus den erwähnten Gründen wurde ein Treiber von *TMC* ausgewählt. Es handelt sich dabei um den *TMC2130 SilentStepStick* Treiber.

#### 3.2 Debugging Interface Unit (DIU)

Die *Debugging Interface Unit* ist dazu da, das Debuggen während dem Entwicklungsprozess der Firmware zu vereinfachen. Via UART/USB-Bridge können Messwerte, Statewerte der aktuell verwendeten Zustandsmaschinen, etc. auf dem Computer ausgegeben werden. Aus Kostengründen würden die verwendeten Bauteile in einer Serienproduktion nicht bestückt werden und stellen daher eine Bestückungsvariante dar.

#### 3.3 Printer Controlling Unit (PCU)

Die *Printer Controlling Unit* beinhaltet die nötige Schaltungsteile um den 3D-Drucker zu steuern bzw. zu regeln. Namentlich den zentralen Mikrocontroller und diverse Bussysteme welche nötig sind um die verwendete Peripherie anzusteuern. Als Grundlage für die Firmware des Mikrocontrollers wird die Firmware *Marlin* verwendet [3] welche unter *GNU General Public License Version 3* frei verfügbar ist [4]. Aus Kompatibilitätsgründen zu den erforderlichen Ports der

---

<sup>2</sup>**Microstepping** treibt einen Schrittmotor mit weniger als einem Vollschritt pro Bewegung an. Unter normalen Betriebsbedingungen arbeitet ein Schrittmotor, indem er jeweils einen Vollschritt weiterdreht pro positive Flanke am STEP-Eingang. Microstepping ermöglicht es einem Motor, weitaus feinere Schritte zu machen. Dies geschieht, indem die Steuerung nicht den vollen Stromimpuls an den Schrittmotor sendet.



Firmware *Marlin* wird als Mikrocontroller ein *ATmega2560* [5] der Firma *Microchip Technology* verwendet.

### 3.4 Storage Disk Unit (SDU)

Die *Storage Disk Unit* besteht aus einem SD-Karten-Slot sowie aus dessen Ansteuerung. Diese dient dazu G-Code Dateien (zu druckende 3D-Modelle), welche via WLAN empfangen werden, zwischenspeichern oder kann direkt als Quelle für G-Code Dateien dienen. Die SD-Karte ist via SPI (*Serial Peripheral Interface*) an den Mikrocontroller angeschlossen.

### 3.5 Heater-Fan-Controll Unit (HFU)

Die *Heater-Fan-Controll Unit* dient dazu die Ventilatoren sowie die Heizelemente in Heizbett und Extruder anzusteuern und zu regeln. Dazu wird ein Regelungssystem bestehend aus Ventilator bzw. Heizung und Temperatursensor aufgebaut, welches von der *Printer Controlling Unit* gesteuert wird. Alle Aktoren können per Pulsweitenmodulation (PWM) oder per Ein/Aus Steuerung geregelt werden. Beim Heizbett muss darauf geachtet werden dass die spezifizierte Maximaltemperatur von  $60^{\circ}\text{C}$  [6] nicht überschritten wird.

### 3.6 Interface Controlling Unit (ICU)

Die *Interface Controlling Unit* dient dazu via WLAN eine Verbindung zum Internet herzustellen und somit G-Code Dateien (zu druckende 3D-Modelle) zu empfangen und diese an die *Printer Controlling Unit* weiterzuleiten. Ausserdem können Befehle empfangen werden welche z.B. die Schrittmotoren steuern. Um den Verbindungsaufbau zu vereinfachen wird auf ein vorgefertigtes *ESP8266* Modul zurückgegriffen [7].

### 3.7 Human-Machine-Interface (HMI)

Das *Human-Machine-Interface* bietet dem Benutzer neben dem *Human-Machine-System* eine sekundäre Option, um mit dem 3D-Drucker zu interagieren. Es setzt sich aus einem Drehgeber und einem Display (voraussichtlich *LCD12864* der Firma *Waveshare*) zusammen. Auf letzterem werden verschiedene Optionen und Statusanzeigen dargestellt, auf welche durch Verwendung des Drehgebers zugegriffen werden kann.

### 3.8 Power Management Unit (PMU)

Als Speisung für die gesamte Hardware ist das mitgelieferte Netzteil des *K8200* 3D-Druckers ( $15\text{VDC} / 6.6\text{A}$ ) vorgesehen. Da dieses möglicherweise nicht genügend Strom zur Verfügung stellt, ist angedacht es bei Bedarf während des Entwicklungsprozesses mit einem ATX-Netzteil<sup>3</sup> zu ersetzen.

Um die genaue Leistungsaufnahme des Gerätes besser bestimmen zu können soll hier eine kurze Übersichtsrechnung gemacht werden. Die Bauteile, die die grösste Auswirkung auf die Leistungsaufnahme haben sind: 4 x Steppermotor, Heizbett und die Extruder Heizung. Die anderen Komponenten können im Vergleich vernachlässigt werden. Ein einziger Motor hat einen maximalen Strom von  $2.5\text{A}$ , eine Betriebsspannung von  $3.1\text{V}$  und somit eine maximale Leistung von  $7.75\text{W}$  [8]. Das Heizbett wird mit  $15\text{V}$  gespeisen, hat einen gemessenen Widerstand von  $5.1\Omega$

---

<sup>3</sup>**ATX** steht für *Advanced Technology Extended*. Diese Netzteile werden normalerweise in Desktop Computer verbaut und liefern  $12\text{VDC}$ ,  $5\text{VDC}$  und  $3.3\text{VDC}$  und sind mit Leitungen von  $100\text{W}$  bis zu  $2000\text{W}$  verfügbar.

und damit eine Leistung von 44.1W. Die Extruder Heizung hat nach Hersteller eine Leistung von 33W [9]. Somit ergibt sich eine maximale Leistung von 108.117W

Das von dem Druckerhersteller bereitgestellte Netzteil von ca. 100W [9] ist somit für unsere Zwecke theoretisch zu unterdimensioniert. Die Motoren arbeiten jedoch effektiv nie bei diesen Strömen. Höhere Ströme sind nur möglich, wenn die Motoren viel Kraft benötigen. Dies ist jedoch bei uns nicht der Fall, da das System so leichtgängig wie möglich sein sollte. Der verwendete Treiber gemäss Kapitel 3.1 ist deshalb auch nicht für den Maximalstrom von 2.5A dimensioniert. Dazu kommt auch noch, dass die Motoren erst anfangen zu arbeiten, wenn die Heizelemente die Temperatur erreicht haben und somit nur noch die Temperatur halten müssen. Dies benötigt weniger Leistung als das Aufheizen selbst. Somit ist das Netzteil für unsere Zwecke wiederum überdimensioniert.

## 4 Software

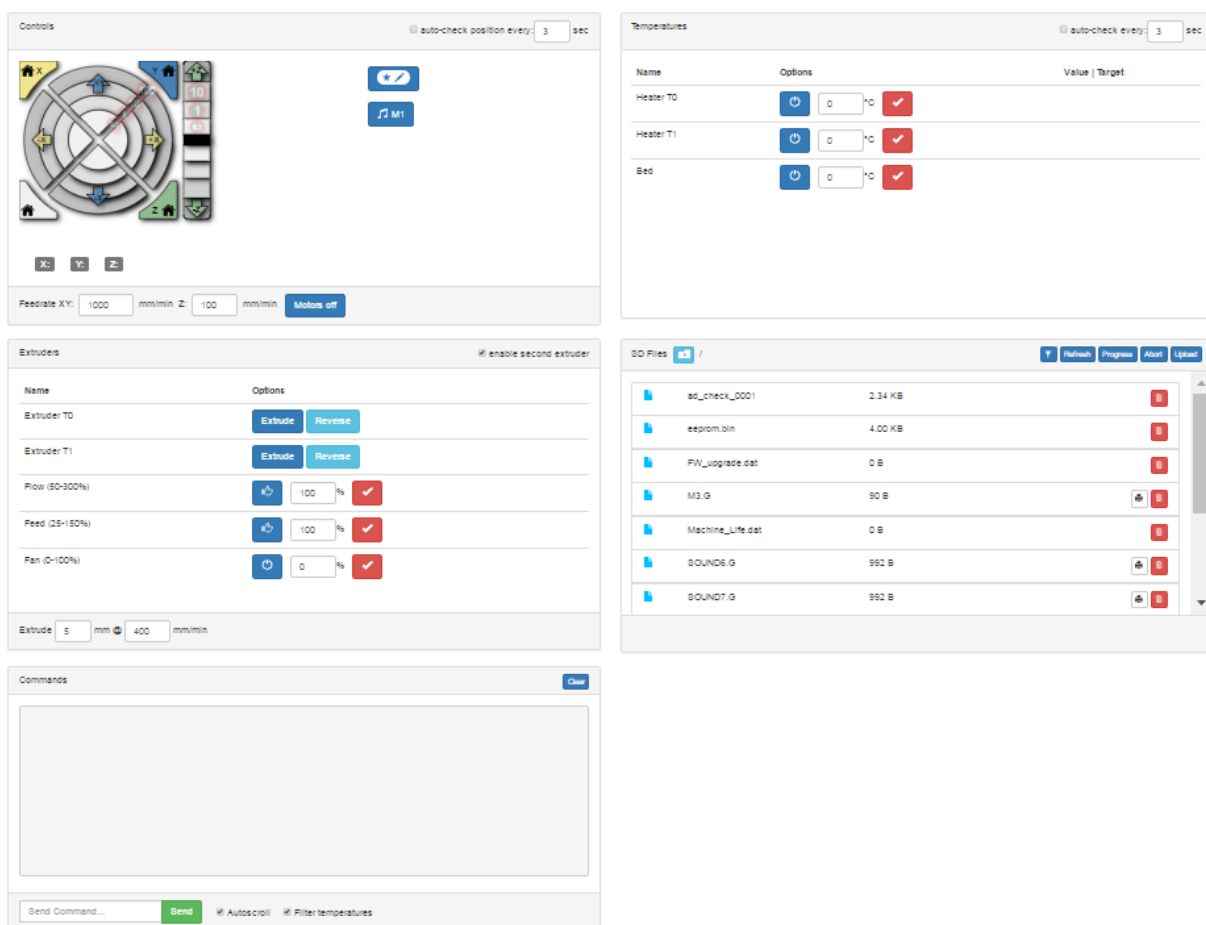
Das Kapitel Software befasst sich mit der Programmierung des Mikrocontroller *ATmega2560* [5] sowie des WLAN Moduls *ESP8266-E12* [7]. Des Weiteren wird hier das Lösungskonzept für das Webinterface erläutert.

### 4.1 Interface Controlling Unit (ICU)

Die *Interface Controlling Unit* (wie bereits im Abschnitt 4.1 beschrieben) dient als Schnittstelle um den 3D-Drucker zu Kontrollieren und Druckaufträge zu verwalten. Dafür wird der Mikrocontroller mit einer Firmware namens *ESP3D* beschrieben. Es handelt sich dabei um ein Programm, welches über ein fertiges GUI verfügt und speziell für den Einsatz mit *Marlin* entwickelt wurde. Die Kommunikation mit *Marlin* findet über UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*) statt und ist bereits integriert [10].

### 4.2 Web Management Unit (WMU)

Die *Web Management Unit* ist Bestandteil der wie im Abschnitt 4.1 beschriebenen Firmware *ESP3D*. Die Einheit bildet ein Webserver welcher über einen konfigurierbaren Port eine Weboberfläche zur Verfügung stellt (siehe Abbildung 4.1) [10].



**Abbildung 4.1:** Übersicht der Weboberfläche des ESP3D [11]. Diese gilt nur als beispielhafte Ansicht, daher wird nicht detaillierter auf sie eingegangen.

### 4.3 Human Machine System (HMS)

Das *Human Machine System* dient als Client des im Abschnitt 4.2 beschriebenen Webservers. Es läuft auf allen Endgeräten welche sich im selben Netzwerk mit der *Interface Controlling Unit* befinden und über eine Webbrowser Anwendung verfügen.

### 4.4 Printer Control Unit (PCU)

Die Software der *Printer Control Unit* ist dafür zuständig den 3D-Druckprozess zu steuern. Die Druckinformationen werden dabei in Form von sogenanntem G-Code von einem CAD-Programm auf einem Computer geliefert. Dieser G-Code besteht aus verschiedensten Befehlen, welche in unterschiedlichen Produktionsmaschinen verwendet werden (z.B. CNC-Maschinen oder 3D-Drucker) [12]. Um G-Code in den eigentlichen 3D-Druckprozess umzusetzen, wird ein sogenannter G-Code Interpreter benötigt. Da es den Rahmen dieses Projekts sprengen würde einen eigenen Interpreter zu realisieren, wird eine bestehende Firmware (*Marlin*) eingesetzt.

Dieses kann über die beiden Files *Configuration.h* und *Configuration\_adv.h* auf die verwendete Hardware konfiguriert werden. Um die Einstellungen möglichst zu vereinfachen ist es von Vorteil die eigene Hardware mit der gleichen Pinbelegung zu realisieren wie ein bereits bestehendes und von *Marlin* unterstütztes Board [13].

## 5 Bedienung

Der 3D-Drucker kann entweder durch das webbasierte GUI oder über ein eingebautes Display mit einem Drehgeber gesteuert werden, welche auf der Leiterplatte verbaut sind. Die jeweils verfügbaren Funktionen und Einstellungen sind identisch. Weiterhin können G-Code Dateien wahlweise mittels WLAN oder einer SD-Karte übergeben werden.

Die Standardansicht des Displays und des GUIs bildet die Statusanzeige. Auf ihr werden aktuelle Daten wie Temperatur des Extruders und des Heizbetts, Ventilatorgeschwindigkeit, Multiplikator Geschwindigkeit, Multiplikator Zufuhr und Druckfortschritt angezeigt. Durch Druck auf den Drehgeber wird eine Liste von verschiedenen Menüs geöffnet. Diese werden als *Kurzeinstellungen*, *SD-Karte* und *Position* bezeichnet. In *Kurzeinstellungen* sind häufig verwendete Einstellungen und Funktionen zu finden, wie etwa *Vorheizen ABS/PLA*, *Abkühlen*, *Deaktiviere Schrittmotoren*, *Home All* oder *Druckauftrag Abbrechen*.

Im Menü *SD-Karte* stehen die Funktionen *Mount/Unmount SD-Karte*, *Drucke Datei*, *Lösche Datei* zur Verfügung. Das Menü *Position* bietet verschiedene Funktionen wie etwa *Bewege x,y,z*, *Home x,y,z* und *Home alle*, mit welchen die Achsen unabhängig voneinander bewegt und ihre Ausgangslage zurückversetzt werden können.

## 6 Testkonzept

Um die Funktionalität der Teilsysteme sowie das Zusammenspiel aller Teilsysteme zu überprüfen, wird in diesem Abschnitt das Testkonzept definiert. In Abbildung 6.1 sind die Validierungsblöcke aufgelistet. Als Anhaltspunkt dienen die im Kapitel 1.2 erwähnten Ziele. Die verschiedenen Tests müssen während der Realisierung durchgeführt und validiert werden. Zu jedem Test sind die dazugehörigen Spezifikationen erläutert. Falls ein Block nicht das erwartete Resultat aufweist oder ein Pflichtziel nicht erreicht wird, werden allfällige Änderungen vorgenommen.

Nr.	Zweck des Tests	Testspezifikation	Wer testet	Erwartetes Testergebnis
1	Spannungsversorgung überprüfen	Speisegerät anschliessen und Versorgungsspannung der diversen Bauteile messen	Team Hardware	Versorgungsspannung entspricht der verlangten Spannung in jeweiligen Datenblatt
2	Nullpositionerkennung der x-, y-, z-Achse	Manuelle Betätigung der Endschalter und verifizieren ob dies in der Software erkannt wurde	Team Software	Jede Nullposition wird sofort erkannt und verarbeitet
3	Unabhängige Ansteuerung aller vier Schrittmotoren	Motoren nacheinander ansteuern und danach gleichzeitig mit jeweils einer unterschiedlichen Anzahl Schritten	Team Hardware	Schrittmotore reagieren nur auf ihren jeweiligen Code
4	Auslesen und Ausführung von G-Code gespeichert auf einer SD-Karte	Einfache G-Code-Datei generieren, auf SD-Karte laden und anschliessend exakte Nachverfolgung der einzelnen Befehle auf dem Drucker	Team Software	Fehlerfreie Ausführung des G-Codes einer SD-Karte
5	Ansteuerung eines Schrittmotors ohne Schrittwertverlust	Ausführung von unregelmässigen Bewegungen wobei sich der Motor am Ende wieder in der Startposition befinden soll. (Mit und ohne microstepping testen)	Team Hardware	Schrittmotor führt alle Bewegungen aus und befindet sich wieder in Startposition ohne sichtbare Verschiebung
6	Ansteuerung des Kühlventilators über PWM überprüfen	PWM-Signal mittels Oszilloskop aufzeichnen und RMS-Wert bilden. Dieser sollte sich zwischen 0 und 100% der Speisespannung befinden	Team Hardware	Ventilator dreht unterschiedlich schnell je nach PWM-Signal
7	Messgenauigkeit der Temperaturmessung für Extruder und Heizbett	Separator und temporärer Temperatursensor an Extruder und Heizbett anbringen und beide Werte vergleichen	Team Hardware	Temperaturunterschied der beiden Sensoren auf höchstens 5°C
8	Funktionalität der Regelung der Heizleistung für Extruder und Heizbett	Externer Temperatursensor anlegen, danach Softwaremässig einen Temperaturunterschied verlangen und schliesslich das Einpendeln graphisch darstellen (könnte zusätzlich mit verbautem Temperatursensor verglichen werden)	Team Hardware	Regelung reagiert direkt auf Temperaturanfrage und pendelt sich ein
9	Bedienelemente auf dem Drucker auf spezifische Funktionalität testen	Jedes Bedienelement, sprich Taster, LEDs und Display, auf dem Drucker auf seine Funktion testen. Es sollen keine unerwarteten Handlungen auftreten	Team Software	Bedienelemente reagieren korrekt auf die entsprechende Handlung des Benutzers
10	G-Code Übertragung von Computer zum Drucker via WLAN	Einfache G-Code-Datei generieren, versenden und anschliessend exakte Nachverfolgung der einzelnen Befehle auf dem Drucker	Team Software	Übertragung der G-Code Befehle ohne Fehler
11	Manuelle Ansteuerung aller Achsen und Sensoren	Für jedes ansteuerbare Element wird eine manuelle Ansteuerung via Software getätigt und auf seine exakte Ausführung geachtet	Team Software	Die Ausführung der einzelnen Elemente folgt den Einstellungen in der Software

Abbildung 6.1: Testkonzept zur Validierung der Ziele

## 7 Projektvereinbarung

### Auftraggeber

Prof. Hans Gysin

Ort, Datum:

---

Unterschrift:

---

### Projektleiter

Fabian von Büren

Ort, Datum:

---

Unterschrift:

---

## Literatur

- [1] Rapidobject GmbH. (2019). 3D Druckverfahren – Im Überblick. (Abrufdatum 06.03.2019), Adresse: [https://www.rapidobject.com/de/Wissenswertes/3D-Druckverfahren\\_1173.html](https://www.rapidobject.com/de/Wissenswertes/3D-Druckverfahren_1173.html).
- [2] Rapidobject GmbH. (2019). Fused Deposition Modeling (FDM). (Abrufdatum 06.03.2019), Adresse: [https://www.rapidobject.com/de/Wissenswertes/3D-Druckverfahren/Fused-Deposition-Modeling-FDM\\_1246.html](https://www.rapidobject.com/de/Wissenswertes/3D-Druckverfahren/Fused-Deposition-Modeling-FDM_1246.html).
- [3] Erik van der Zalm. (2019). Marlin Firmware - The firmware we all trust. (Abrufdatum: 07.03.2019), Adresse: <http://marlinfw.org/>.
- [4] Richard Stallman. (2019). GNU General Public License Version 3. (Abrufdatum: 07.03.2019), Adresse: <https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.txt>.
- [5] Microchip Technology. (2014). Spezifikation ATmega2560. (Abrufdatum: 07.03.2019), Adresse: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561\\_datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf).
- [6] Velleman NV. (2019). Spezifikation K8200. (Abrufdatum: 07.03.2019), Adresse: <http://www.k8200.eu/specs>.
- [7] Espressif Systems. (2015). Spezifikation ESP8266. (Abrufdatum: 07.03.2019), Adresse: [https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/2471/OA-ESP8266\\_\\_Datasheet\\_\\_EN\\_v4.3.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/2471/OA-ESP8266__Datasheet__EN_v4.3.pdf).
- [8] Wantai. (2019). Datenblatt Schrittmotor. (Abrufdatum 25.03.2019), Adresse: [https://cdn.solarbotics.com/products/datasheets/3303\\_0\\_datasheet.pdf](https://cdn.solarbotics.com/products/datasheets/3303_0_datasheet.pdf).
- [9] Velleman. (2014). Infoblatt Ersatzteile K8200. (Abrufdatum 25.03.2019), Adresse: [https://www.velleman.eu/downloads/0/infosheets/datasheet\\_spareparts\\_k8200\\_d.pdf](https://www.velleman.eu/downloads/0/infosheets/datasheet_spareparts_k8200_d.pdf).
- [10] GitHub Contributors. (2018). Firmware for ESP8266/ESP8285/ESP32 used with 3D printer. (Abrufdatum: 12.03.2019), Adresse: <https://github.com/luc-github/ESP3D>.
- [11] GitHub Contributors. (2019). ESP3D Web UI. (Abrufdatum: 12.03.2019), Adresse: <https://raw.githubusercontent.com/luc-github/ESP3D-WEBUI/master/images/Full11.PNG>.
- [12] Simplify3D. (2019). G-Code Tutorial. (Abrufdatum 12.03.2019), Adresse: <https://www.simplify3d.com/support/articles/3d-printing-gcode-tutorial/>.
- [13] Marlin. (2019). Configuring Marlin 1.1. (Abrufdatum 12.03.2019), Adresse: <http://marlinfw.org/docs/configuration/configuration.html>.



## A Lastenheft

### Auftrag / Lastenheft

### Steuerung für einen 3D-Drucker

**Anlass:** Dreidimensionale Drucker, oder 3D-Drucker, werden die technische Produktion grundlegend verändern. Es gibt nichts, was dereinst nicht 3D gedruckt werden kann. Von der Geburtstagstorte bis zum Fertighaus wird über alles spekuliert. Wir bleiben am Boden und versuchen in diesem P4 nach dem gängigsten Verfahren einen Kunststoffaden zu schmelzen und damit ein dreidimensionales Objekt aufzubauen.

Unter der Bezeichnung K8200 verkauft die Firma Velleman den Bausatz eines einfachen 3D-Druckers. Wichtig für uns ist darin die Mechanik. Gestellrahmen, X-Y-Motoren, Z-Antrieb mit Spindel, Extruderkopf mit Heizung und Vorschub, ja selbst die Rollenhalterung für das Filament ist in diesem Bausatz inbegriffen. Auch ein Steuerprint gehört dazu. Vom PC aus (USB) kann der Drucker über diese Steuerung direkt betrieben werden.

In diesem P4 sollen Sie eine neue Steuerung zu diesem Drucker K8200 entwickeln und realisieren, um damit den Drucker etwas einfacher, robuster und leistungsfähiger zu machen. Mit einfacher und robuster meinen wir die Reduktion und Verbesserung von Sensorik und Verkabelung und mit leistungsfähiger ist vor allem ein PC unabhängiger Offlinebetrieb und die wireless-Kommunikation gemeint.

**Aufgabe:** Entwerfen Sie eine Ein-Platinen-Steuerung für den K8200. Realisieren und testen Sie diesen Steuerprint und entwickeln Sie dazu die Firmware. Bauen sie Ihr Werk in die Mechanik des 3D-Druckers ein und demonstrieren Sie seine Funktionstüchtigkeit. Die Steuerung muss in der Lage sein, die Schrittmotoren der X-, Y- und Z-Achse anzusteuern. Weitere Steuerfunktionen sind für den Extruder mit Heizung und Vorschub notwendig. Die Signale der Sensoren sind, soweit nötig, in die Steuerung einzulesen. Vereinfachungen, wie z.B. das Weglassen der Endschalter, sind erwünscht, wenn eine einfachere Lösung möglich ist. Zu Gunsten der Reduktion der Anzahl Litzen im Z-Achsen Hängekabel darf ein kleines "Printchen" beim Extruderkopf montiert werden. Statusanzeigen, wie z.B. einzelne LED's, und notwendige Bedienelemente, wie z.B. eine Taste, sollen direkt auf dem Print realisiert werden. Als Kommunikationsschnittstelle ist eine wireless-Verbindung zum PC zu begrüßen. Auch der Einsatz einer SD-Karte als Speicher und zum Datentransfer macht durchaus Sinn. Im Projekt ist ein **Go/No-go-Punkt** vorgesehen. Der Drucker-Bausatz wird erst dann beschafft, wenn das jeweilige Team zeigen kann, dass die Steuerung einen Schrittmotor sauber ansteuern kann. Konkret muss das jeweilige Team zeigen, dass G-Code-Move-Befehle an einer Achse dauerhaft ohne Schrittverluste ausgeführt werden können.

#### Anforderungen Hardware:

- Standard-Elektronik für den Betrieb im Innenraum, einbaubar in den Drucker
- Printversorgung über Steckernetzteil oder Netzmodul auf Print
- Umsetzung des jeweiligen Bedienungskonzeptes
- Kommunikation zum PC / Datenspeicher: wireless / SD-Karte

#### Anforderungen Firmware:

- Firmware zur Verarbeitung von G-Code
- Speichermöglichkeit für einen gesamten Druck (Job)
- Ansteuern und Einlesen aller Aktoren und Sensoren
- Kommunikationssoftware
- Verwendung eines Firmware-Konfigurators erwünscht

#### Wunschziele:

- Nachlauf-Erkennung Filament, beim Extruder (Alarmfunktion)
- Benachrichtigung des Benutzers über den aktuellen Druckfortschritt
- Power-Save Modus