

# Fachliches Pflichtenheft

PROJEKT 4 - TEAM 1

29. Oktober 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>5</b>
3.1	Motor Control Unit (MCU) . . . . .	5
3.2	Debugging Interface Unit (DIU) . . . . .	5
3.3	Printer Controlling Unit (PCU) . . . . .	5
3.4	Storage Disk Unit (SDU) . . . . .	6
3.5	Heater-Fan-Controll Unit (HFU) . . . . .	6
3.6	Interface Controlling Unit (ICU) . . . . .	6
3.7	Human-Machine-Interface (HMI) . . . . .	6
3.8	Power Management Unit (PMU) . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Software</b>	<b>8</b>
4.1	Interface Controlling Unit (ICU) . . . . .	8
4.2	Web Management Unit (WMU) . . . . .	8
4.3	Human Machine System (HMS) . . . . .	8
4.4	Printer Control Unit (PCU) . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Bedienung</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>Testkonzept</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>Projektvereinbarung</b>	<b>11</b>
<b>A</b>	<b>Lastenheft</b>	<b>12</b>

# 1 Übersicht

In diesem Kapitel soll eine Übersicht über den Inhalt des Projekt 4 des Studiengangs Elektro- und Informationstechnik gegeben werden. 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 für jedermann erschwinglich. 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 Extruder (Druckkopf) baut dann mit dem austretenden Kunststoffaden Schicht um Schicht ein dreidimensionales Objekt auf **3D\_DruckverfahrenFused\_Deposition\_Modeling**.

---

<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 $\pm 1mm$ Genauigkeit
P3	Regelung der Heizleistung von Extruder und Heizbett.	Erreichen der Solltemperatur auf $\pm 5^{\circ}C$
P4	Temperaturmessung für Extruder und Heizbett.	Messgenauigkeit auf $\pm 5^{\circ}C$
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

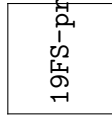
**Tabelle 1.1:** Pflicht- und Wunschziele

## 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



**Abbildung 2.1:** Blockschaltbild des Lösungskonzepts

## 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 *Ender 3* der Firma *Crealitiy3D*.

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 mittels 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.

### 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 Einheiten 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-Bewegungen. 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  $\sim 2\text{A}$  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 *Ender 3* 3D-Druckers ( $\sim 13.9\text{mm}$  Durchmesser) ergibt dies einen Weg von 0.218mm 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 0.0136mm pro Schritt. Dies ist jedoch nur eine Überschlagsrechnung. Eine genaue Kalibration kann, nach einem Testdruck, in der Software vorgenommen werden.

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

---

<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.

sind um die verwendete Peripherie anzusteuern. Als Grundlage für die Firmware des Mikrocontrollers wird die Firmware *Marlin* verwendet **marlin\_webseite** welche unter *GNU General Public License Version 3* frei verfügbar ist **marlin\_gnu\_lizenz**. Aus Kompatibilitätsgründen zu den erforderlichen Pins der Firmware *Marlin* wird als Mikrocontroller ein *ATmega2560* **ATmega2560\_spezifikation** 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 110°C **ender3\_spezifikation** 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 **ESP8266\_spezifikation**.

### 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 *Ender 3* 3D-Druckers (24VDC / 15A) vorgesehen.

Um die genaue Leistungsaufnahme des Gerätes besser bestimmen zu können soll hier eine kurze Überschlagsrechnung 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 2.5A, eine Betriebsspannung von 3.1V und somit eine maximale Leistung von 7.7W **steppermotor**. Das Heizbett wird mit 24V gespiesen und hat eine Leistung von 220W **Heizbett\_Ender3**. Die Extruder Heizung hat nach Hersteller eine Leistung von 40W



**Extruder\_Heizung.** Somit ergibt sich, mit eine maximale Leistung von  $\sim 290\text{W}$  für diese wichtigen Bauteile.

Das von *Crealty3D* bereitgestellte Netzteil mit  $\sim 360\text{W}$  ist somit für unsere Zwecke gut dimensioniert und muss nicht geändert werden **ender3\_spezifikation**.

## 4 Software

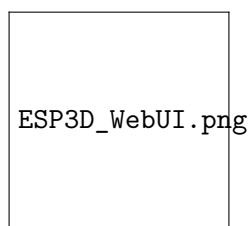
Das Kapitel Software befasst sich mit der Programmierung des Mikrocontroller *ATmega2560* **ATmega2560\_\_spezifiaktion** sowie des WLAN Moduls *ESP8266-E12* **ESP8266\_\_spezifiaktion**. Des Weiteren wird hier das Lösungskonzept für das Webinterface erläutert.

### 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 **ESP3D\_\_git**.

### 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) **ESP3D\_\_git**.



**Abbildung 4.1:** Übersicht der Weboberfläche des ESP3D **ESP3D\_\_Web\_\_UI**. 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 Webserver. 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) **G\_\_Code\_\_Tutorial**. 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 **Marlin\_\_Configuration**.

## 5 Bedienung

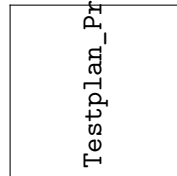
Der 3D-Drucker kann entweder durch das webbasierte GUI oder über ein eingebautes Display mit einem Drehgeber gesteuert werden, welche auf der Leiterplatte verbaut sind. Die jeweils verfügbaren Funktionen und Einstellungen sind identisch. Weiterhin können G-Code Dateien wahlweise mittels WLAN oder einer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



**Abbildung 6.1:** Testkonzept zur Validierung der Projektziele

## 7 Projektvereinbarung

### Auftraggeber

Prof. Hans Gysin

Ort, Datum:

---

Unterschrift:

---

### Projektleiter

Fabian von Büren

Ort, Datum:

---

Unterschrift:

---

**A Lastenheft**

\AM@current

.pdf