|  |  |
| --- | --- |
| HTBLuVA Graz–Gösting  Ibererstraße 15-21  8051 Graz | bulme logo neu |

Abteilung für Elektronik und Technische Informatik

Ausbildungszweig Hardware-Software Co-Design und Biomedizintechnik

Smart-Display

Diplomarbeit in den Fächern  
HWE und FSST

Eingereicht von: Christian Lukas

Hannes Posch

im Schuljahr 2019/2020

der Klasse 5BHEL

bei Prof DI Rudolf Schamberger

am 03. März 2020

Inhaltsverzeichnis

[Abbildungsverzeichnis III](#_Toc35953757)

[Tabellenverzeichnis IV](#_Toc35953758)

[Abkürzungsverzeichnis V](#_Toc35953759)

[1 Danksagung 1](#_Toc35953760)

[2 Ziele und Inhalte 2](#_Toc35953761)

[2.1 Kurzbeschreibung 2](#_Toc35953762)

[2.2 Abstract 2](#_Toc35953763)

[3 Projektplanung 3](#_Toc35953764)

[3.1 Pflichtenheft 3](#_Toc35953765)

[3.2 Aufgabenteilung 3](#_Toc35953766)

[4 Kosten- und Zeitplan 4](#_Toc35953767)

[4.1 Kostenplan 4](#_Toc35953768)

[4.2 Zeitplan 5](#_Toc35953769)

[5 Projektrealisierung 7](#_Toc35953770)

[5.1 Mechanischer Aufbau 7](#_Toc35953771)

[5.1.1 Tischtennisballfläche 7](#_Toc35953772)

[5.1.2 Rahmen 9](#_Toc35953773)

[5.1.3 LED-Streifen 9](#_Toc35953774)

[5.1.4 Grundplatte 10](#_Toc35953775)

[5.1.5 Zusammenbau 11](#_Toc35953776)

[5.2 Hardware 12](#_Toc35953777)

[5.2.1 NodeMCU ESP8266 12](#_Toc35953778)

[5.2.2 WS2812B 12](#_Toc35953779)

[5.2.3 RTC DS3231 12](#_Toc35953780)

[5.2.4 DHT22 13](#_Toc35953781)

[5.2.5 LM1117 13](#_Toc35953782)

[5.2.6 Widerstand 16](#_Toc35953783)

[5.2.7 Kondensator 17](#_Toc35953784)

[5.2.8 Schaltplan und Layout 18](#_Toc35953785)

[5.2.9 Platinenanfertigung 18](#_Toc35953786)

[5.2.10 Netzteil 18](#_Toc35953787)

[5.3 Software 19](#_Toc35953788)

[5.3.1 Matrix 19](#_Toc35953789)

[6 Diskussion 21](#_Toc35953790)

[6.1 Reflexion der Projektrealisierung 21](#_Toc35953791)

[7 Literaturverzeichnis 22](#_Toc35953792)

[8 Quellen der Grafiken 23](#_Toc35953793)

# Abbildungsverzeichnis

[Abbildung 4.2‑1: Zeitplan von Lukas Christian 5](#_Toc35951471)

[Abbildung 4.2‑2: Zeitplan von Posch Hannes 6](#_Toc35951472)

[Abbildung 5.1‑1: Zuschneiden eines Tischtennisballs 7](#_Toc35951473)

[Abbildung 5.1‑2: Konstruktion für das Kleben der Tischtennisbälle 8](#_Toc35951474)

[Abbildung 5.1‑3: Tischtennisballfläche 8](#_Toc35951475)

[Abbildung 5.1‑4: Rahmen 9](#_Toc35951476)

[Abbildung 5.1‑5: LED-Streifen 10](#_Toc35951477)

[Abbildung 5.1‑6: Grundplatte mit aufgeklebten LED-Streifen 10](#_Toc35951478)

[Abbildung 5.1‑7: Vorderseite des Smart-Displays 11](#_Toc35951479)

[Abbildung 5.1‑8: Rückseite des Smart-Displays 12](#_Toc35951480)

[Abbildung 5.1‑9: Befestigung der Grundplatte an den Rahmen 12](#_Toc35951481)

[Abbildung 5.2‑1: LM1117 13](#_Toc35951482)

[Abbildung 5.2‑2: Aufbau der Schaltung des LM1117 14](#_Toc35951483)

[Abbildung 5.2‑3: Einstellungen zur Simulation 15](#_Toc35951484)

[Abbildung 5.2‑4: Simulation der Spannung am ADJ-Pin 16](#_Toc35951485)

[Abbildung 5.2‑5: Wirkung eines elektrischen Widerstandes 17](#_Toc35951486)

[Abbildung 5.2‑6: Plattenkondensator 17](#_Toc35951487)

[Abbildung 5.3‑1: Matrix 19](#_Toc35951488)

# Tabellenverzeichnis

[Tabelle 4.1‑1: Kostenplan 4](#_Toc35941236)

[Tabelle 5.3‑1: Stellenwertsystem 18](#_Toc35941237)

# Abkürzungsverzeichnis

µC Mikrocontroller

LED Light-emitting diode

PSRR Power supply rejection ratio

RGB Rot, Grün und Blau

RTC Real-time clock

# Danksagung

Wir bedanken uns herzlich bei Dipl.-Ing. Rudolf Schamberger für die Betreuung der Diplomarbeit. Außerdem möchten wir uns auch für seine antreibenden Worte bedanken.

Weiters möchten wir uns bei Ing. Günther Amtmann für die Unterstützung bei EAGLE und auch bei Ing. Jürgen Wieland für die Unterstützung bei der Fertigung der Platine bedanken.

Anschließend bedanken wir uns auch bei unserem Klassenvorstand Mag. Horst Kollingbaum, da wir immer mit seiner Unterstützung rechnen konnten.

Zu guter Letzt möchten wir uns bei Valentin Posch für die Unterstützung beim Aufbau und für die Zurverfügungstellung des Materials bedanken.

# Ziele und Inhalte

## Kurzbeschreibung

Das Diplomarbeitsprojekt ist eine mobile Tischtennisball-LED-Anzeige und als Ideengeber hat dazu das Projekt „Ping Pong Ball LED Clock“ gedient. Der Aufbau des Smart-Display verfügt über einen µC, dazu wird das NodeMCU ESP8266 verwendet, und hinter der Tischtennisballfläche befindet sich eine RGB-LED Matrix, bestehend aus WS2812B LED-Streifen. Die Daten für die Anzeige von Uhrzeit und Datum lesen wir von der RTC D23231 aus. Der DHT22 Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor dient für die Daten des gleichnamigen Sensors. Eine 7 x 5 Matrix im Code dient dazu Buchstaben, Zahlen und Sonderzeichen darzustellen.

## Abstract

The diploma thesis is a mobile table tennis ball LED display and the project "Ping Pong Ball LED Clock" served as the idea generator. The structure of the Smart-Display has a µC, for this purpose the NodeMCU ESP8266 is used, and behind the ping pong ball surface there is a RGB LED matrix consisting of WS2812B LED strips. The data for displaying time and date is read from the RTC D23231. The DHT22 temperature and humidity sensor is used for the data of the sensor of the same name. A 7 x 5 matrix in code is used to display letters, numbers and special characters.

# Projektplanung

## Pflichtenheft

## Aufgabenteilung

**Lukas Christian:**

Lukas Christian ist verantwortlich für die Software. Bei der Software kümmert er sich um die Anzeige von Uhrzeit, Datum, Temperatur und Luftfeuchtigkeit und um die Ausgabe des Lauftextes.

**Posch Hannes:**

Posch Hannes ist verantwortlich für die mechanischen und elektronischen Komponenten und deren Aufbau. Bei der Hardware ist er für den Schaltplan, das Layout und die Anfertigung und Bestückung der Platine zuständig.

# Kosten- und Zeitplan

## Kostenplan

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Bezeichnung** | **Stückpreis** | **Anzahl** | **Preis** |
| Tischtennisbälle 6 Stk. 40 mm weiß | 0,79 € | 23 | 18,17 € |
| NEU026 Steckverbindungen, Stecker | 0,95 € | 1 | 0,95 € |
| LM 1117 MPX-ADJ | 1,16 € | 3 | 3,48 € |
| DEBO DHT 22 BRD | 5,69 € | 3 | 17,09 € |
| RTC DS3231 | 6,35 € | 1 | 6,35 € |
| NodeMCU ESP8266 | 6,35 € | 1 | 6,35 € |
| WS2812b | 22,06 € | 1 | 22,06 € |
| 4 pcs 1m/3.28ft 3 Pin JST SM Männlich Weiblich Stecker | 9,99 € | 1 | 9,99 € |
| SMD WID. 470R 1206 | 0,05 € | 5 | 0,25 € |
| SMD-Widertand, 0603, 120 Ohm, 200 mW | 0,02 € | 6 | 0,10 € |
| SMD-Widertand, 0603, 200 Ohm, 200 mW | 0,02 € | 6 | 0,10 € |
| ELKO RAD. 100 µF 50V | 0,15 € | 5 | 0,75 € |
| Kondensator 0,1 µF KDPU 2,54 MM | 0,35 € | 5 | 1,75 € |
| MINI EL Kondensator 10 µF 35V | 0,25 € | 5 | 1,25 € |
| Dehner SYS 1449-1505-W2E Netzt Blister | 18,99 € | 1 | 18, 99 € |
| Holzrahmen, Grundplatte, Kleinmaterial, Heißklebepatronen |  |  | 45,00 € |
|  |  |  | 133,64 € |

Tabelle 4.1‑1: Kostenplan

## Zeitplan



Abbildung 5.1.1‑1: Zeitplan von Lukas Christian



Abbildung 5.1.1‑2: Zeitplan von Posch Hannes

# Projektrealisierung

## Mechanischer Aufbau

### Tischtennisballfläche

Als erstes wird eine Halterung mit drei Holzstücken für die Tischtennisbälle angefertigt, in einem Schraubstock eingespannt und mit einer Schraubzwinge befestigt. Anschließend wird ein Tischtennisball nach dem anderen eingespannt. Folgend wird mit der Taschenlampe geschaut, dass die Mittellinie nicht von der Vorderseite sichtbar ist und danach können die Tischtennisbälle durchgeschnitten werden. Zum Schluss können mittels eines Stanley-Messers und Schleifpapier überstehende Reste weggeschnitten und zurecht geschliffen werden.



Abbildung 5.1.1‑1: Zuschneiden eines Tischtennisballs

Anschließend werden die zugeschnittenen Tischtennisbälle zusammengeklebt. Als erstes nimmt man zwei Tischtennisbälle und spannt sie in eine Halterung von 4 Holzstücken ein und befestigt diese mit zwei Schraubzwingen. An der Seite werden noch zwei Holzstücke platziert, damit die Tischtennisbälle nicht verrutschen. Zum Schluss schaut man mit einer Holzleiste, dass sie waagrecht liegen. Als nächstes kann mit der Heißklebepistole an der Schnittstelle der zwei Tischtennisbälle mit einem Tropfen Heißkleber zusammenkleben. Sobald der Heißkleber getrocknet ist, kann man weitere Tischtennisbälle dazu kleben. Diesen Vorgang wiederholt man für jede Reihe. Nachdem alle Reihen geklebt wurden, beginnt man diese miteinander an jedem Berührungspunkt für eine gute Stabilität zusammenzukleben. Wenn zum Schluss von den Klebestellen noch Kleber weg steht, kann man mittels einer Pinzette, diesen entfernen.

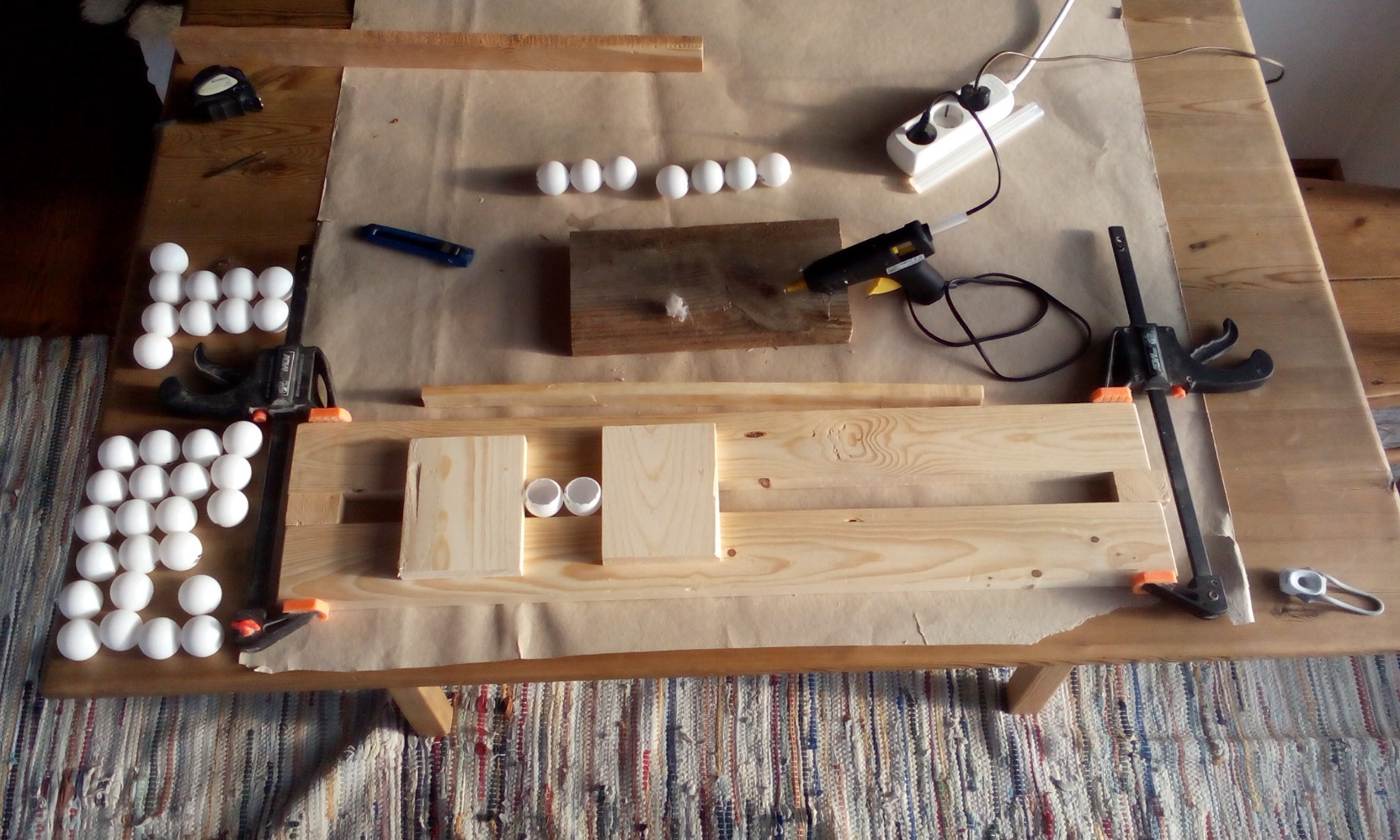


Abbildung 5.1.1‑2: Konstruktion für das Kleben der Tischtennisbälle



Abbildung 5.1.1‑3: Tischtennisballfläche

### Rahmen

Als nächstes werden mithilfe der Tischtennisballfläche und einem Lineal, die Außenmaße der Tischtennisballfläche (= Innenmaße des Rahmens) eingezeichnet. Anschließend werden die Maße auf das Holz eingezeichnet und ausgeschnitten. Danach wird mit der Nutfräse bei allen sechs Holzstücken beidseitig hineingefräst. Im Anschluss wird bei allen Berührungspunkten der einzelnen Holzstücke Holzleim aufgetragen und Flachdübel hineingepresst. Zum Schluss befestigt man den Rahmen mit Schraubzwingen. Wenn der Rahmen getrocknet ist, kann man ihn noch mit einem Lack bestreichen, damit er besser gegen die Witterung geschützt ist.



Abbildung 5.1.2‑1: Rahmen

### LED-Streifen

Im nächsten Schritt wird der LED-Streifen in einen LED-Streifen mit einer LED, in einen LED-Streifen mit drei LEDs, in einen LED-Streifen mit fünf LEDs und in 17 LED-Streifen mit sieben LEDs zugeschnitten. Von den Litzenleitungen werden pro Farbe 17 Stück zu je zehn cm und 2 Stück zu je 15 cm benötigt. Zum Schluss werden circa 0,5 cm von den Litzenleitungen mittels einer Abisolierzange abisoliert.

Anschließend werden an die abgeschnittenen LED-Streifen die Litzenleitungen angelötet. Nachdem alles fertig gelötet ist, kann die LED-Fläche für den Prototypenaufbau auf einen Karton mit Klebeband befestigt werden. Bei diesem Schritt kann auch geschaut werden, dass die LEDs passend hinter der Tischtennisballfläche positioniert werden.

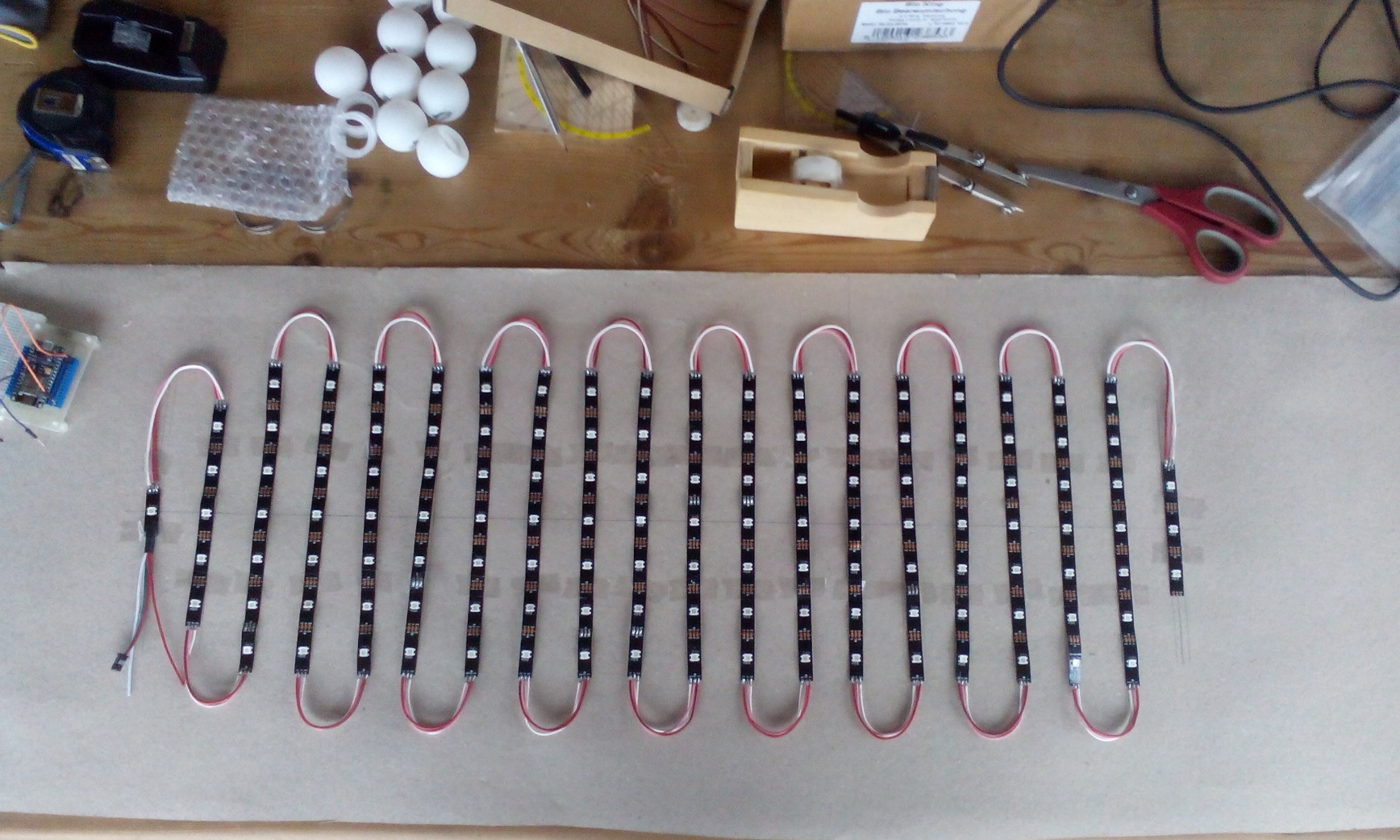


Abbildung 5.1.3‑1: LED-Streifen

### Grundplatte

Als erstes nimmt man die Außenmaße der Tischtennisballfläche (= Innenmaße des Rahmens) und überträgt diese auf eine Holzplatte. Als nächstes wird die Holzplatte zugeschnitten und die Positionen der LED-Streifen aufgezeichnet. Danach verwendet man einen 15 mm Bohrer und bohrt bei jedem eingezeichneten Punkt ein Loch. Anschließend schneidet man bei jeder Bohrung einen schmalen Pfad hinein, um im nächsten Schritt den LED-Streifen einfacher auf der Grundplatte zu befestigen können.

Folgend wird von den einzelnen LED-Streifen der Klebestreifen nacheinander abgezogen und aufgeklebt.

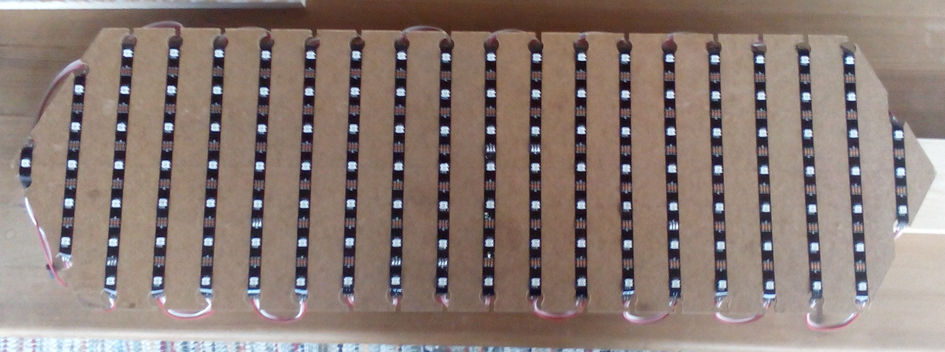


Abbildung 5.1.4‑1: Grundplatte mit aufgeklebten LED-Streifen

### Zusammenbau

Im nächsten Schritt nimmt man den Rahmen und verwendet die Grundplatte als Abstand, dass die Tischtennisballfläche nicht auf einer Linie mit dem Rahmen ist und legt die Tischtennisballfläche auf die Grundplatte in den Rahmen. Anschließend wird bei jedem Schnittpunkt zwischen dem Rahmen und der Tischtennisballfläche geklebt. Bei diesem Schritt sollte man aufpassen, dass der Heißkleber nicht in die Tischtennisbälle rinnt.



Abbildung 5.1.5‑1: Vorderseite des Smart-Displays

Der letzte Schritt beschäftigt sich mit der Fertigstellung des mechanischen Aufbaues. Als erstes werden acht Holzstücke auf eine beliebige Größe zugeschnitten und mit einem Bohrer durchgebohrt. Anschließend legt man die Grundplatte mit der aufgeklebten LED-Fläche in den Rahmen mit der aufgeklebten Tischtennisballfläche. Mit leichtem Druck schraubt man die Holzstücke mit einem beliebigen Abstand voneinander an den Rahmen an.

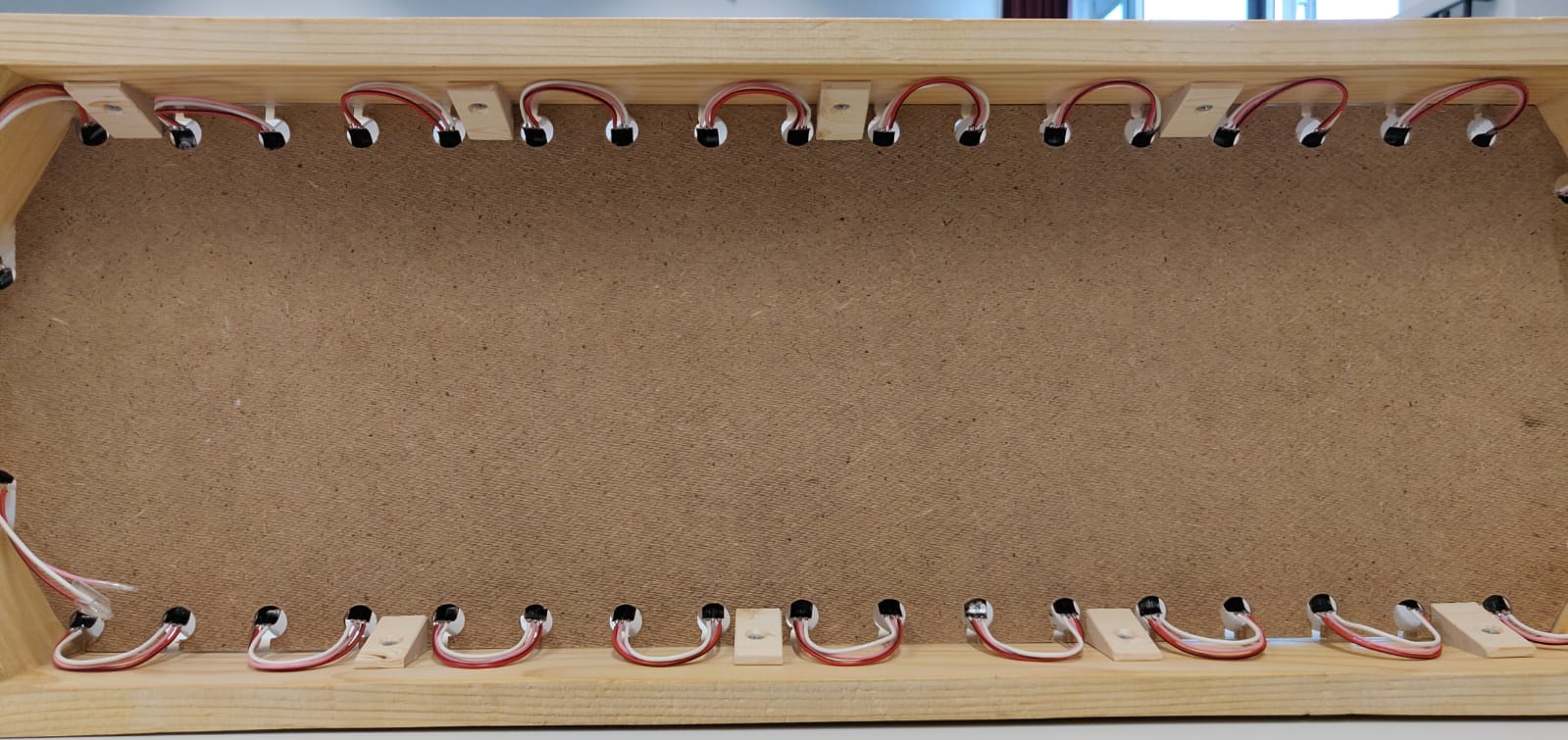


Abbildung 5.1.5‑2: Rückseite des Smart-Displays

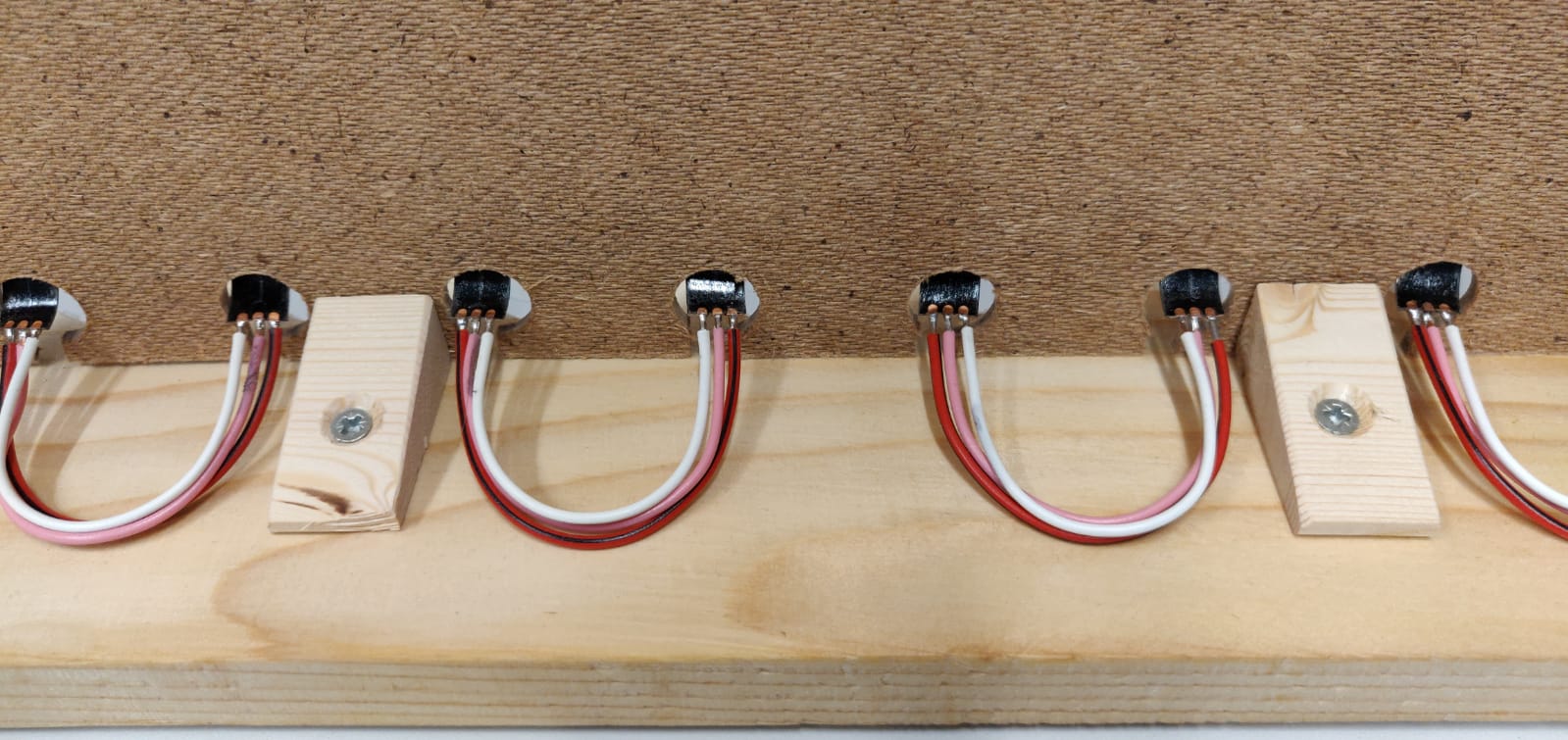


Abbildung 5.1.5‑3: Befestigung der Grundplatte an den Rahmen

## Hardware

### NodeMCU ESP8266

### WS2812B

### RTC DS3231

### DHT22

### LM1117

Der LM1117 ist ein vielseitiger und leistungsstarker Linearregler mit einem breiten Temperaturbereich und einem engen Leitungs-/Last-Regelbetrieb. Ein Ausgangskondensator von mindestens 10 µF ist erforderlich, um das Einschwingverhalten und die Stabilität weiter zu verbessern. Bei der ADJ-Version des LM1117 kann der ADJ-Pin überbrückt werden, um sehr hohe Welligkeitsunterdrückungsraten zu erreichen. Der LM1117 ist vielseitig einsetzbar, unter anderem als Nachregler für DC/DC-Wandler, Batterieladegeräte und auch für die Stromversorgung von Mikroprozessoren.

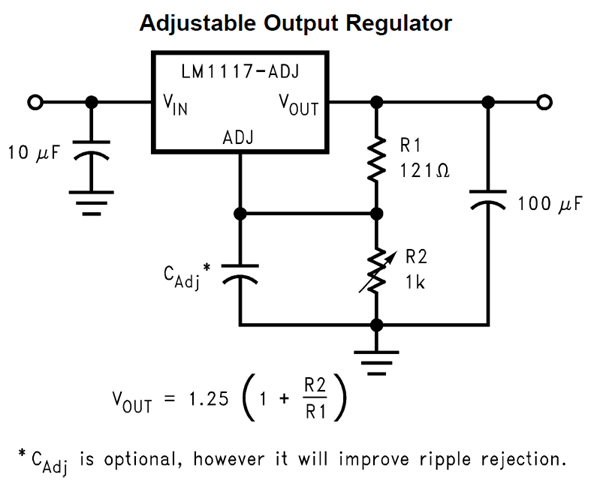


Abbildung 5.2.5‑1: LM1117

Die Anzahl der Komponenten für den LM1117 ist sehr gering. Die zwei Widerstände R1 und R2 werden in der Schaltung für einen Spannungsteiler und der Ausgangskondensator zur Lastregelung verwendet. Als Ausgangskondensator verwenden wir in unserer Schaltung, wie in Abbildung 5.2.5-1, einen 100 µF Kondensator. Ein 10 µF Kondensator am Eingang ist ein geeigneter Eingangskondensator für fast alle Anwendungen. Die Ausgangsspannung kann mit der Auswahl der beiden Widerstände R1 und R2 eingestellt werden. Ein optionaler Überbrückungskondensator CADJ über R2 kann ebenfalls zur Verbesserung des PSRR verwendet werden. Als Überbrückungskondensator verwenden wir in unserer Schaltung einen 100 nF Kondensator.

**Berechnung des Widerstandes für den LM1117:**

**Multisim:**

Nach der Berechnung des Widerstandes R2, ist es sicher auch gut zu wissen, wie viel Leistung die Widerstände benötigen. Als erstes werden die Bauteile eingefügt, positioniert und anschließend verbunden.

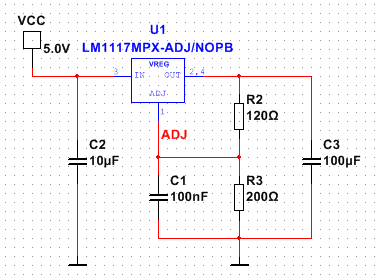


Abbildung 5.2.5‑2: Aufbau der Schaltung des LM1117

Als nächstes wird unter dem Punkt Simulieren auf Analysen und Simulation geklickt und beim Zeitverhalten die Spannung am ADJ-Pin hinzugefügt. Zum Schluss wird noch auf Start geklickt, um zu erfahren, wie viel Spannung am ADJ-Pin anliegt.

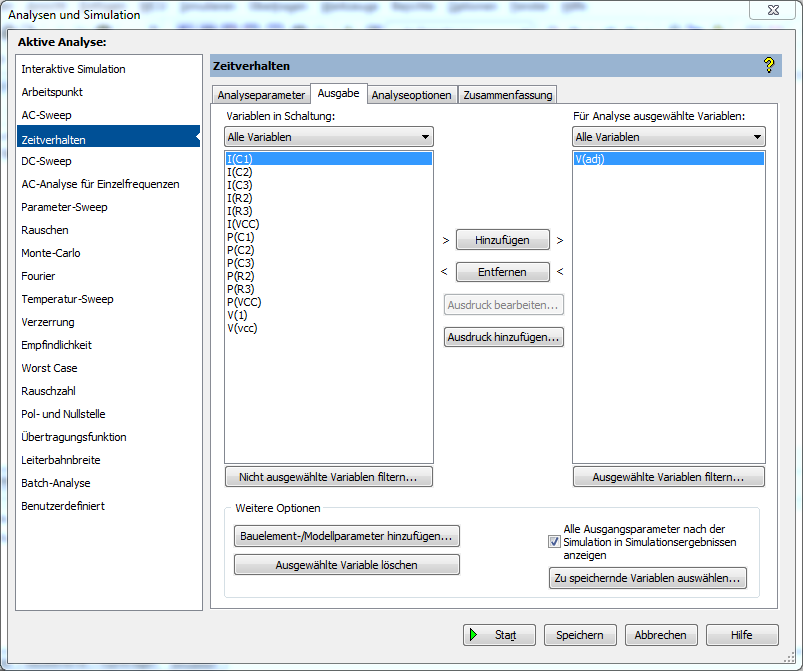


Abbildung 5.2.5‑3: Einstellungen zur Simulation

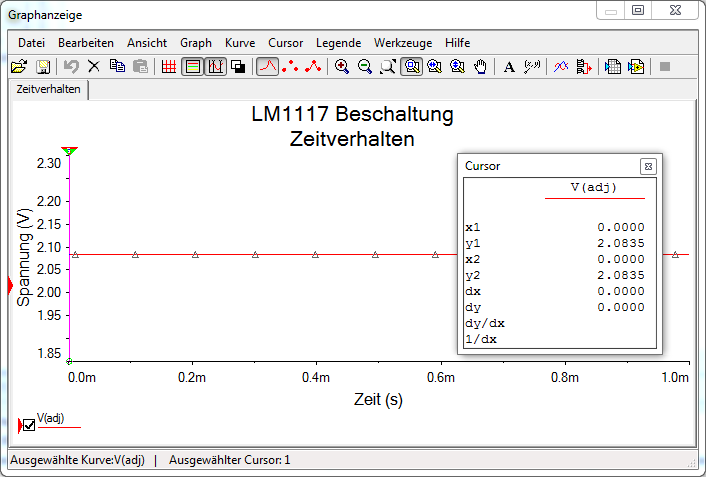


Abbildung 5.2.5‑4: Simulation der Spannung am ADJ-Pin

**Berechnung der Leistung an den Widerständen:**

### Widerstand

In der Elektronik spielen Widerstände eine sehr große Rolle. Neben den klassischen Widerständen hat jedes Bauteil einen Widerstandswert, der Einfluss auf Spannungen und Ströme in Schaltungen nimmt. Der elektrische Widerstand wird auch als ohmscher Widerstand bezeichnet.

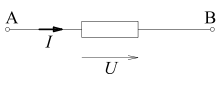


Abbildung 5.2.6‑1: Schaltzeichen

Die Wirkung eines elektrischen Widerstandes auf den elektrischen Strom muss man sich wie folgt vorstellen: Die Bewegung freier Ladungsträger im Innern eines Leiters hat zur Folge, dass die freien Ladungsträger gegen Atome stoßen und in ihrem Fluss gestört werden. Diesen Effekt nennt man Widerstand, der die Eigenschaft hat, den Strom in einem Stromkreis zu begrenzen.

<https://www.elektronik-kompendium.de/sites/grd/0201112.htm>

21.02.2020 10:23

Das Formelzeichen des elektrischen Widerstandes ist R (engl. „resistor“, dt. „Widerstand“; lat. „resistere“, dt. „widerstehen“). Die Einheit des elektrischen Widerstandes ist Ohm mit dem Einheitenzeichen Ω (großes Omega). Der elektrische Widerstand zählt zu den abgeleiteten SI-Einheiten.

Zur Berechnung des elektrischen Widerstandes wird diese Formel verwendet:

### Kondensator

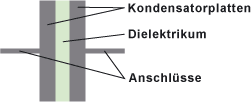


Abbildung 5.2.7‑1: Plattenkondensator

Kondensatoren sind Bauelemente, die elektrische Ladungen bzw. elektrische Energie speichern können. Die einfachste Form eines Kondensators besteht aus zwei gegenüberliegenden Metallplatten. Dazwischen befindet sich ein Dielektrikum, welches keine elektrische Verbindung zwischen den Metallplatten zulässt. Das Dielektrikum ist als Isolator zu verstehen. Legt man an einen Kondensator eine Spannung an, so entsteht zwischen den beiden metallischen Platten ein elektrisches Feld. Eine Platte nimmt positive, die andere Platte negative Ladungsträger auf. Die Verteilung der Ladungsträger ist auf beiden Seiten gleich groß. Kondensatoren unterscheiden sich nach Art der Spannung. Es gibt Gleichspannungs- und Wechselspannungskondensatoren. Gleichspannungskondensatoren sind gepolt. Die Anschlüsse dürfen nicht vertauscht werden. Wechselspannungskondensatoren sind ungepolt und dürfen sowohl an Wechsel- als auch an Gleichspannung betrieben werden. Die Höhe des Effektivwerts der Nennwechselspannung darf dabei nicht überschritten werden.

<https://www.elektronik-kompendium.de/sites/bau/0205141.htm>

21.02.2020 10:23

Das Formelzeichen der elektrischen Kapazität ist C (engl. „capacity“, dt. „Kapazität“; lat. „capacitas“, dt. „Fassungsvermögen“). Die Einheit der elektrischen Kapazität ist Farad mit dem Einheitenzeichen F. Die elektrische Kapazität zählt zu den abgeleiteten SI-Einheiten.

Für die Berechnung des Kondensators wird weiters die elektrische Ladung benötigt, welche als Formelzeichen Q (lat. „quantum“, dt. „wie viel“) mit der Einheit Coulomb mit dem Einheitenzeichen C besitzt und zählt, wie der elektrische Widerstand und die elektrische Kapazität, zu den abgeleiteten SI-Einheiten.

Zur Berechnung der elektrischen Kapazität wird diese Formel verwendet:

### Schaltplan und Layout

Der Schaltplan und das Layout wurden mit der Software Eagle 7.7.0 erstellt. Als erstes werden die benötigten Bauteile mit der Funktion „Add“ eingefügt und mit der Funktion „Net“ verbunden. Nachdem der Schaltplan fertig gestellt ist, wird mit der Funktion „Zum Board wechseln“ gleichnamiges erledigt. Im Board werden als erstes die Bauelemente auf eine geeignete Position gebracht, damit alles so einfach wie möglichst verbunden werden kann. Die Leiterbahnen sollen im 45° Modus verbunden werden, da der fließende Strom bei 90° Verbindungen, sonst mit voller Wucht gegen die Leitungen stoßen würde. Die Leiterbahnbreite wird an den Stromfluss angepasst.

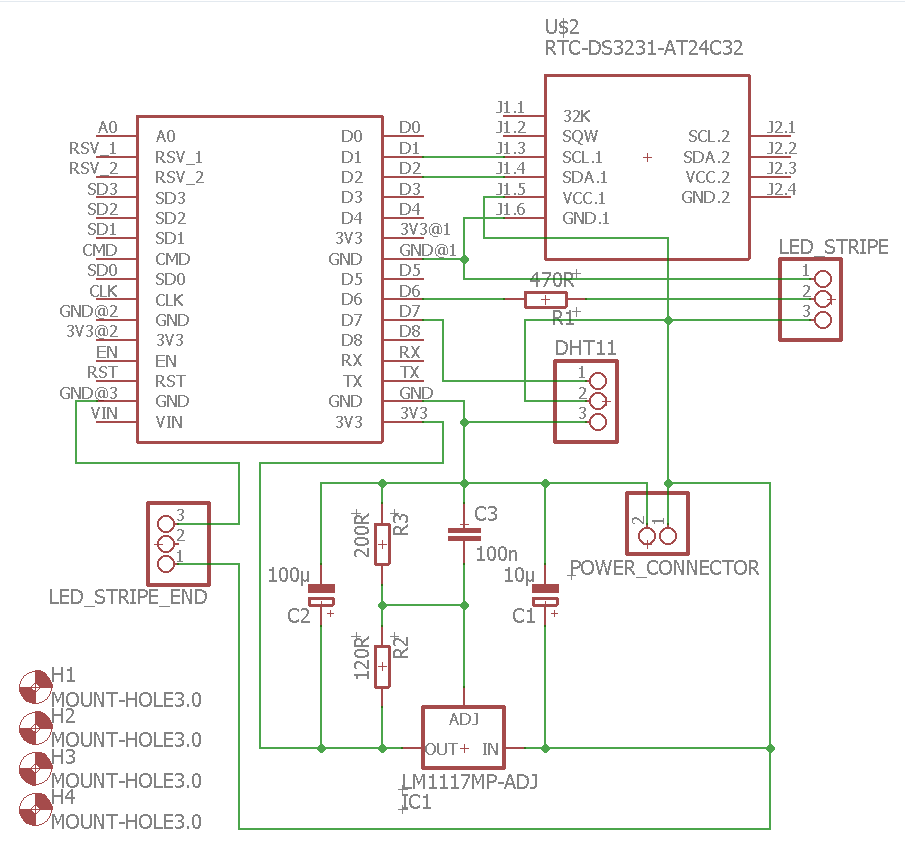


Abbildung 5.2.8‑1: Schaltplan Version 1.0



Abbildung 5.2.8‑2: Layout Version 1.0

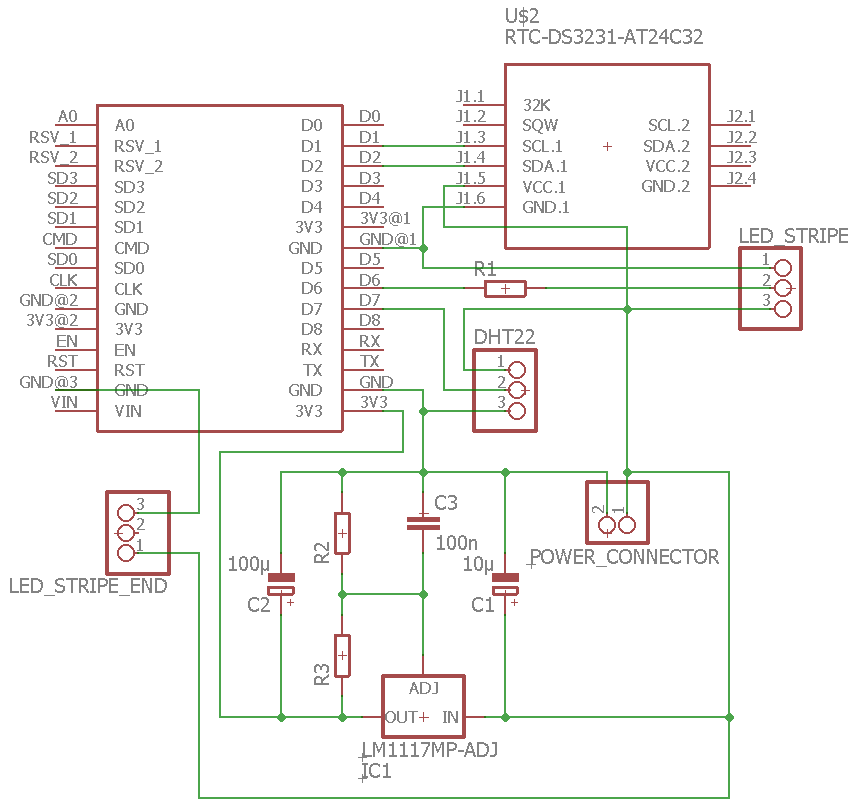


Abbildung 5.2.8‑3: aktueller Schaltplan

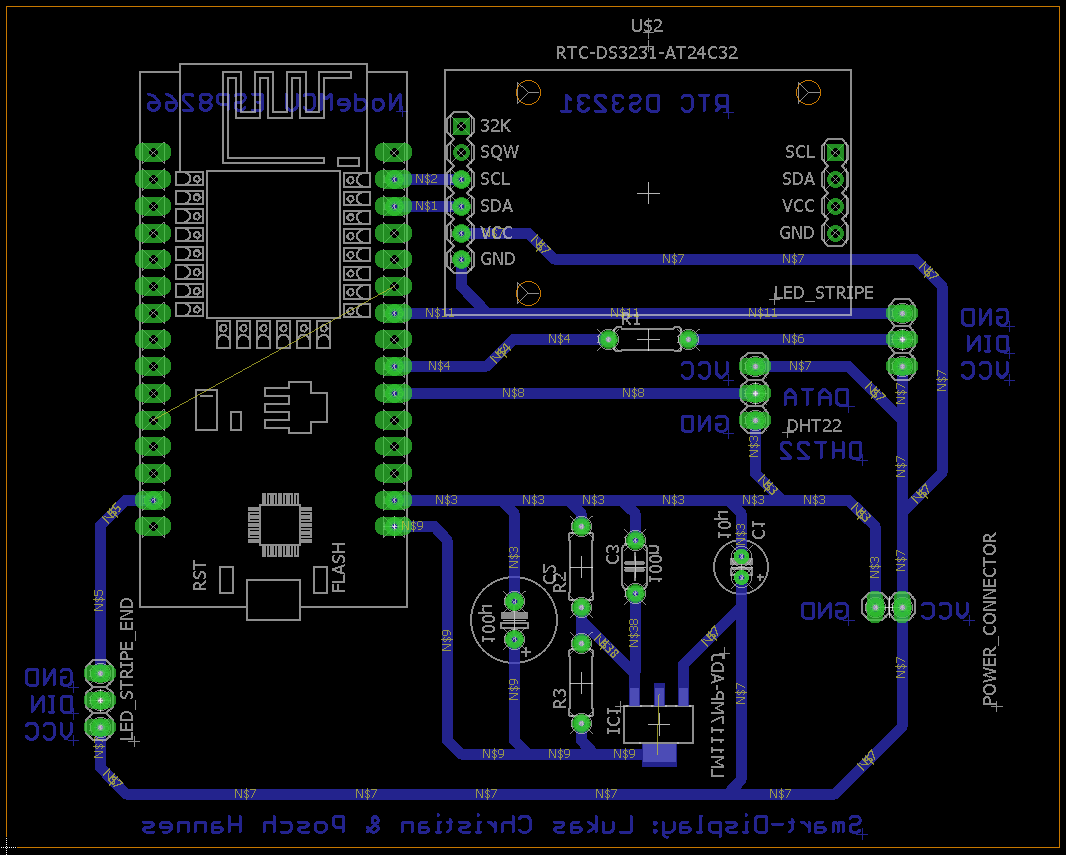


Abbildung 5.2.8‑4: aktuelles Layout

### Platinenanfertigung

### Netzteil

## Software

### Matrix

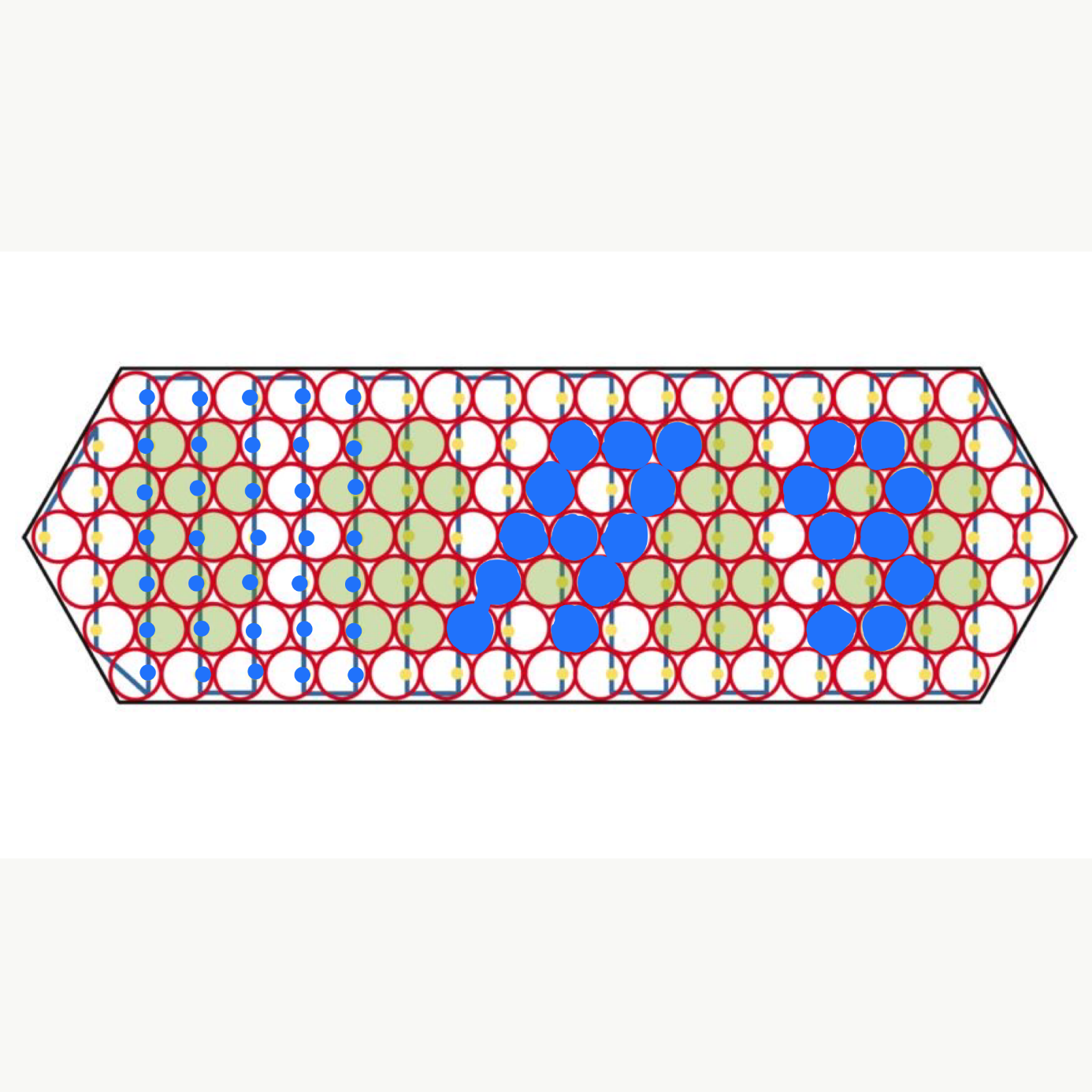


Abbildung 5.3.1‑1: Matrix

Für die Darstellung der Buchstaben, Zahlen und Sonderzeichen ist eine 7x5 Matrix erstellt worden, wobei die erste und letzte Zeile nie gesetzt werden. Die Buchstaben sind meistens kursiv dargestellt, da dies auf unserem Smart-Display gut funktioniert. Die Zahlen sind hingegen zu den Buchstaben gerade dargestellt und die Sonderzeichen sind an beide Arten angepasst worden. Für die Darstellung der Zeichen im Code beginnt man links unten Spalte für Spalte hinauf zu zählen. Zuerst wird einzeln in den Spalten geschaut, welches Bit gesetzt werden muss und anschließend wird in der Tabelle des Dualsystems nachgeschaut, welche Hexadezimalzahl mit den gesetzten Bits herauskommt. Anschließend wird der Font im Programm in ein Zweidimensionales Array geschrieben.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Dezimal** | **Dualsystem** | **Hexadezimal** |
| 00 | 0 0 0 0 | 0 |
| 01 | 0 0 0 1 | 1 |
| 02 | 0 0 1 0 | 2 |
| 03 | 0 0 1 1 | 3 |
| 04 | 0 1 0 0 | 4 |
| 05 | 0 1 0 1 | 5 |
| 06 | 0 1 1 0 | 6 |
| 07 | 0 1 1 1 | 7 |
| 08 | 1 0 0 0 | 8 |
| 09 | 1 0 0 1 | 9 |
| 10 | 1 0 1 0 | A |
| 11 | 1 0 1 1 | B |
| 12 | 1 1 0 0 | C |
| 13 | 1 1 0 1 | D |
| 14 | 1 1 1 0 | E |
| 15 | 1 1 1 1 | F |

Tabelle 5.3‑1: Stellenwertsystem

**Beispielfont für die Zeichen „A“ und „9“:**

{0x01,0x06,0x1D,0x16,0x18}, // A Stelle: 0  
{0x1D,0x15,0x0A,0x00,0x00}, // 9 Stelle: 35

# Diskussion

## Reflexion der Projektrealisierung

# Literaturverzeichnis

# Quellen der Grafiken