



Höhere Technische Bundeslehranstalt Wien 3, Rennweg
Rennweg 89b
A-1030 Wien, Tel +43 1 24215-10

Diplomarbeit

smartLantern

ausgeführt an der
Höheren Abteilung für Mechatronik

im Schuljahr 2020/2021

durch

Jan Reinsperger
Simon Schmidmayr
Christoph Steiner
Moritz Vögl

unter der Anleitung von

Richard Drechsler
Wolfgang Juen
Johannes Stehlik
Claus Bürger

Wien, März 2021

Kurzfassung

Herkömmliche Straßenbeleuchtung leuchtet oftmals, wenn sie nicht benötigt wird, beispielsweise am späten Nachmittag, wenn es noch nicht dunkel ist, beziehungsweise am Morgen, wenn es bereits hell genug ist. Dadurch nimmt nicht nur die Lichtverschmutzung zu, was sich negativ auf Tiere und Menschen auswirkt, es wird auch sehr viel Energie verschwendet.

Da sich in den vergangenen Jahrzehnten beim Thema Straßenbeleuchtung nicht viel verbessert hat, wurde smartLantern ins Leben gerufen. Durch eingebaute Helligkeitssensoren und Radarsensoren leuchtet diese nur dann, wenn sie wirklich benötigt wird. Selbst in der Nacht verbraucht die smartLantern nur ein Minimum an Energie, da sie gedimmt ist, solange sich keine Person in der Nähe befindet. Bewegt sich ein Mensch auf die smartLantern zu, gibt diese ein Signal an die nächsten Laternen weiter und der Weg wird bereits im Vorhinein ausgeleuchtet.

Durch diese Anpassung der Helligkeit, sowie den Einsatz von LEDs können im Vergleich zu den früher eingesetzten Quecksilber-Hochdrucklampen 80% der Energie eingespart werden. [6]

Weiters werden gemessene Umweltdaten, wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck und Feinstaubbelastung auf einem am Mast verbauten ePaper-Display ausgegeben. Zusätzlich werden Daten wie die aktuelle Uhrzeit, sowie die Energieeinsparung angezeigt.

Durch integrierte Steckdosen können beispielsweise E-Bikes an der smartLantern aufgeladen werden und währenddessen an einer der zwei Abspermmöglichkeiten, welche sich am Mast befinden, gesichert werden. Auch das Aufladen eines Smartphones ist durch eingebaute USB-Steckdosen kein Problem.

Abstract

Conventional street lighting often shines when it is not needed, for example in the late afternoon when it is not even dark yet, or in the morning when it is already bright enough. This does not only increase light pollution, which has a negative impact on animals and people, but also wastes a lot of energy.

Since street lighting has not developed much in the past decades, smartLantern was created. With built-in brightness and motion sensors that detect people, it only lights up if it is really needed. Even at night, the smartLantern consumes only a minimum of energy because it is dimmed as long as there is no person nearby. If a person moves towards the smartLantern, it sends a signal to the next lanterns and the path illuminates in advance.

This adjustment of brightness, as well as the use of LEDs, can save up to 80% of the energy compared to the high-pressure mercury lamps used in the past. [6]

Furthermore, measured environmental data such as temperature, humidity, air pressure and particulate matter pollution are visualized on an ePaper display installed on the mast. In addition, data such as the current time and energy savings are displayed.

Integrated sockets allow e-bikes to be charged at the smartLantern while they can be secured at one of the two bicycle attachment options on the pole. Charging a smartphone is also no problem thanks to the built-in USB sockets.

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere,

- dass ich meinen Anteil an dieser Diplomarbeit selbstständig verfasst habe,
- dass ich keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe
- und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bzw. Hilfsmittel bedient habe.

Wien, am 26.03.2021

Simon Schmidmayr

Jan Reinsperger

Christoph Steiner

Moritz Vögl

Präambel

Die Inhalte dieser Diplomarbeit entsprechen den Qualitätsnormen für „Ingenieurprojekte“ gemäß § 29 der Verordnung des Bundesministers für Unterricht und kulturelle Angelegenheiten über die Reife- und Diplomprüfung in den berufsbildenden höheren Schulen, BGBl. Nr. 847/1992, in der Fassung der Verordnungen BGBl. Nr. 269/1993, Nr. 467/1996 und BGBl. II Nr. 123/97.

Liste der betreuenden Lehrer

- Dipl. Ing. Richard Drechsler Hauptbetreuer
- Dipl. Ing. Wolfgang Juen, MA Hauptbetreuer Stellvertreter
- Johannes Stehlik
- Dipl. Ing. Claus Bürger

Kooperationspartner:

- **Schrack Technik**

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	Projektteam	1
1.1.1	Simon Schmidmayr.....	2
1.1.2	Jan Reinsperger	2
1.1.3	Christoph Steiner	2
1.1.4	Moritz Vögl.....	2
1.2	Projektidee	3
1.3	Ausgangssituation	3
1.4	Beschreibung der Idee	3
1.5	Grundkonzept.....	4
1.6	Forschungsgrundlage.....	5
1.7	Projektziele.....	6
1.7.1	Haupt-Ziele	6
1.7.2	Optionale-Ziele	7
1.7.3	Nicht-Ziele.....	9
1.7.4	Individuelle Aufgabenstellungen der Teammitglieder im Gesamtprojekt	10
1.8	Projektorganisation.....	12
1.8.1	Grafische Darstellung	12
1.9	Projektplanung.....	13
1.9.1	Projektumfeldanalyse - Grafische Darstellung	13
1.9.2	Risikoanalyse.....	18
1.9.3	Objektstrukturplan.....	23
1.9.4	Projektstrukturplan.....	24
1.10	SOLL-IST Vergleich	26
1.10.1	Meilensteine.....	26
1.11	Ressourcen	27
1.11.1	Personell.....	27
1.11.2	Budget	28
1.11.3	Externe Kooperationspartner.....	29

1.12	Projektmarketing	30
1.12.1	Logo	30
1.12.2	Werbeauftritt	31
2	MECHANIK	39
2.1	Konstruktion	39
2.2	Übersicht	40
2.3	Mast.....	41
2.3.1	Grundplatte	44
2.3.2	Fahrradanhängemöglichkeit	44
2.3.3	Steckdosen	45
2.3.4	Montageschiene	46
2.3.5	Kabelverschraubung.....	46
2.3.6	Bohrungen Display- und Radarsensorhalterung	47
2.4	Leuchte.....	47
2.4.2	Lüftungsraum.....	50
2.4.3	Helligkeitssensor.....	52
2.4.4	Display- und Radarsensorhalterung	53
2.4.5	Verbindungsstück Mast und Leuchte	56
2.5	Fertigung	57
2.5.1	3D-Druck.....	57
3	ELEKTRONIK	61
3.1	Übersichts-Blockschaltbild.....	61
3.2	Detailliertes Blockschaltbild	63
3.3	Schaltplan.....	64
3.4	Bauteile	65
3.4.1	ESP-32	65
3.4.2	Netzgerät	66
3.4.3	Step-Down-Converter AMS1117	66
3.4.4	Hall-Sensor ACS712.....	67
3.4.5	Helligkeitssensor GY-302 BH1750	68
3.4.6	Umweltsensor BME280	69

3.4.7	Feinstaubsensor	70
3.4.8	Lüfter	71
3.4.9	Uhrzeit	72
3.4.10	Display	74
3.4.11	Funkmodul HC12	76
3.4.12	Radarsensor	77
3.4.13	DALI	78
3.4.14	LS/FI-Kombischutzschalter	83
3.4.15	Steckdosen	84
3.5	Platinen	85
3.5.1	Hauptplatine	85
3.5.2	Hauptplatinen-Layout	86
3.5.3	Nebenplatinen-Layout	87
3.5.4	Displayplatine	88
4	PROGRAMMIERUNG	89
4.1	Übersicht 1	89
4.2	Übersicht 2	90
4.3	Programmierung Allgemein	91
4.4	ESP32 - MicroController	91
4.5	Hauptprogramm Hauptlaterne	91
4.5.1	Automatische Regelung der Helligkeit	92
4.5.2	Umweltdaten	96
4.5.3	Uhrzeit	98
4.5.4	Strom-Sensor	101
4.6	Display	103
4.6.1	Serial Peripheral Interface SPI	103
4.6.2	Trennung der Display-Steuerung	104
4.6.3	Display Daten senden	104
4.6.4	Display Daten empfangen	106
4.6.5	Display ansteuern	107
4.7	Kommunikation zwischen Laternen	109

4.8	Nebenlaternen	110
4.8.1	Verzögerung der Nebenlaternen	111
4.9	LED-Ring	112
5	PROJEKTABSCHLUSS	115
5.1	Verwertung des Projektes	115
5.2	Wirkung auf die Gesellschaft	115
5.3	Ausblick	116
6	LESSONS LEARNED	117
6.1	Reinsperger	117
6.2	Schmidmayr	118
6.3	Steiner	119
6.4	Vögl	120
7	LITERATURVERZEICHNIS	122
8	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	129
9	TABELLENVERZEICHNIS	134
10	ANHANG	135

1 Einleitung

1.1 Projektteam



Abbildung 1: Projektteam

Das Projektteam von smartLantern besteht aus folgenden Personen:

- Simon Schmidmayr - Projektleiter
- Jan Reinsperger - Projektleiter Stv.
- Christoph Steiner - Projektmitarbeiter
- Moritz Vögl - Projektmitarbeiter

1.1.1 Simon Schmidmayr



Abbildung 2: Simon Schmidmayr

Rolle	Projektleiter
E-Mail	Simon.schmidmayr@htl.rennweg.at
Fachbereiche	<ul style="list-style-type: none"> • Projektmanagement • Elektronik • Marketing

Tabelle 1: Simon Schmidmayr

1.1.2 Jan Reinsperger



Abbildung 3: Jan Reinsperger

Rolle	Projektleiter Stv.
E-Mail	Jan.Reinsperger@htl.rennweg.at
Fachbereiche	<ul style="list-style-type: none"> • Konstruktion • Mechanik

Tabelle 2: Jan Reinsperger

1.1.3 Christoph Steiner



Abbildung 4: Christoph Steiner

Rolle	Projektmitarbeiter
E-Mail	Christoph.steiner@htl.rennweg.at
Fachbereich	<ul style="list-style-type: none"> • Elektronik

Tabelle 3: Christoph Steiner

1.1.4 Moritz Vögl



Abbildung 5: Moritz Vögl

Rolle	Projektmitarbeiter
E-Mail	Moritz.voegl@htl.rennweg.at
Fachbereich	<ul style="list-style-type: none"> • Programmierung

Tabelle 4: Moritz Vögl

1.2 Projektidee

Die Idee hinter smartLantern ist, Straßenbeleuchtung so weit zu verbessern, dass der Energieverbrauch auf ein Minimum reduziert wird. Um dies zu verwirklichen sind Sensoren in der smartLantern eingebaut, damit diese nur dann leuchtet, wenn sie wirklich benötigt wird. Dies ist der Fall, wenn sich eine Person der Laterne nähert und die Umgebungshelligkeit nicht ausreicht. Zusätzlich werden gemessene Umweltdaten auf einem Display ausgegeben.

1.3 Ausgangssituation

Straßenbeleuchtung gibt es bereits seit der Antike. Ab dem 19. Jahrhundert wurde bereits Strom zur Beleuchtung genutzt. Doch seit diesem Zeitpunkt hat sich nicht mehr viel verändert. Heutzutage leben wir in einer globalisierten und digitalisierten Welt und trotzdem stehen an vielen Straßen noch veraltete Laternen. Daher beschlossen wir die Laterne auf das nächste Level zu heben.

1.4 Beschreibung der Idee

Straßenlaternen werden heutzutage ab einer bestimmten Uhrzeit eingeschaltet, unabhängig vom Verkehrsaufkommen und der Helligkeit. Oftmals leuchten die Laternen nicht, wenn sie benötigt werden, beispielsweise bei einem Gewitter. Die smartLantern passt die Leuchtstärke je nach Helligkeit und Verkehrsaufkommen an. Dadurch wird nicht nur Energie eingespart, da die Laterne nur leuchtet, wenn das Licht benötigt wird, sondern auch dem globalen Problem der Lichtverschmutzung entgegengewirkt.

Um den Weg für eine sich dem schwach bzw. unbeleuchteten Gehweg nähernde Person im Vorhinein auszuleuchten, werden zwei weitere Straßenlaternen mit vereinfachter Funktion hergestellt, die Signale von der Hauptlaterne empfangen.

Außerdem werden in der Straßenlaterne Umweltdaten gesammelt. Hierbei werden Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck und Feinstaubbelastung gemessen, welche neben weiteren Informationen, wie der aktuellen Uhrzeit sowie der Energieeinsparung, auf einem am Mast verbauten Display dargestellt werden. Zusätzlich sind an der Straßenlaterne je zwei Absperrmöglichkeiten für Fahrräder, USB-Steckdosen und Haushaltssteckdosen vorhanden, um beispielsweise ein Smartphone aufzuladen.

1.5 Grundkonzept

Das Konzept der smartLantern weist im Vergleich zu herkömmlicher Straßenbeleuchtung sehr viele Vorteile auf.

Energieeinsparung

Zum einen wird durch die Verwendung von LEDs im Gegensatz zu früher eingesetzten Leuchten bis zu 80% Energie [1] eingespart. Zum anderen wird der Stromverbrauch zusätzlich reduziert, da die smartLantern nur leuchtet, wenn sie benötigt wird. Die volle Leuchtkraft wird ausschließlich dann verwendet, wenn es nicht hell genug ist und sich eine Person der Laterne nähert. Ist dies nicht der Fall, ist die Leuchte gedimmt beziehungsweise aus.

Vermeidung von Lichtverschmutzung

Viele Menschen fühlen sich vor allem im urbanen Raum von hellen Straßenbeleuchtungen belästigt. Diese führen zu einer Störung des Hell-Dunkel-Rhythmus, was sich negativ auf den Schlaf und die allgemeine Gesundheit auswirkt.

Für Tiere sind die Auswirkungen von übermäßiger Beleuchtung noch höher, auch sie haben mit einem gestörten Hell-Dunkel-Rhythmus zu kämpfen, dies ist vor allem für nachtaktive Lebewesen schlecht. [2]

Auch auf Astronomen wirkt sich die zunehmende Lichtverschmutzung aus. Beobachtungen des Nachthimmels werden durch die künstliche Aufhellung immer schwieriger.

smarte Features

Umweltdaten wie Temperatur, Luftdruck und Feinstaubbelastung werden von der smartLantern erfasst und auf einem verbauten Display ausgegeben. Diese können weiters für statistische Zwecke verwendet werden.

Eingebaute Steckdosen ermöglichen das Aufladen von mobilen Geräten wie Smartphones, aber auch E-Bikes, welche während dem Ladevorgang an den integrierten Absperrmöglichkeiten gesichert werden können.



Abbildung 6: smartLantern

1.6 Forschungsgrundlage

Da das Hauptziel des Projektes die Einsparung von Energie ist, wurde zu Beginn recherchiert, welche Aspekte einen großen Einfluss auf den Stromverbrauch der Straßenlaternen haben.

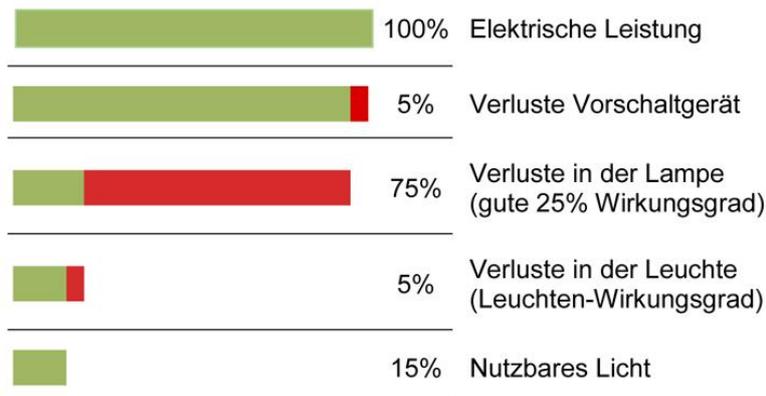


Abbildung 8: Verluste einer Leuchtstofflampe

Bevor teilweise auf LEDs umgerüstet wurde, sind vor allem Leuchtstofflampen bei Straßenbeleuchtungen eingesetzt worden. Wie in Abbildung 8: Verluste einer Leuchtstofflampe erkennbar ist, werden 85% der verwendeten Energie nicht in nutzbares Licht umgewandelt. Die Effizienz einer Leuchtstofflampe beträgt zwischen 45 und 100 Lumen pro Watt. [3]

LEDs hingegen weisen einen Wirkungsgrad von 30 – 40% auf, [4] die bei der smartLantern verwendete Parc II Aufsatzleuchte hat eine Effizienz von 128 Lumen pro Watt. [5]

Beim Austausch von Leuchtstofflampen zu LEDs kann somit bis zu 50% an Energie eingespart werden. Durch zusätzlich verbaute Bewegungsmelder, im Falle der smartLantern Radarsensoren, kann der Verbrauch, je nach Anzahl der erkannten Bewegungen, noch einmal um etwa 68% reduziert werden. [6]

1.7 Projektziele

1.7.1 Haupt-Ziele

RE-H 1 Automatische Regelung der Helligkeit

Die Leuchtstärke der Lampe reguliert sich je nach Helligkeit und Aktivität.

Die Lampe leuchtet mit einer geringen Grundhelligkeit, wenn die Umgebungshelligkeit nicht ausreicht. Wenn ein Bewegungssensor die Fortbewegung eines Menschen im Umkreis von 4,5m der Laterne erkennt, wird die Lampe heller. Dazu werden ein Helligkeits- und ein Bewegungssensor verwendet.

RE-H 2 Messen von Umweltdaten

Sensoren in der Straßenlaterne messen verschiedene Umweltdaten.

In der smartLantern werden Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck und Feinstaubbelastung gemessen. Die Sensoren sind mit einem Microcontroller verbunden, auf dem ein Messprogramm abläuft.

RE-H 3 Datenausgabe

Die durch Sensoren gemessenen Daten werden ausgegeben.

Die Daten aus Ziel RE-H2 werden auf einem ePaper Display an der Laterne ausgegeben. Die Diagonale des Displays beträgt mindestens 5 Zoll.

RE-H 4 Teilnahme an Wettbewerben

Es wird an mindestens zwei Wettbewerben teilgenommen.

Zusätzlich zur Öffentlichkeitsarbeit wird an mindestens zwei Wettbewerben teilgenommen, sofern diese stattfinden. Beispielsweise am „Bosch Technik fürs Leben Preis“ und an „Jugend Innovativ“.

RE-H 5 Projektmanagement

Das Projekt wird sorgfältig durchgeplant, Controllingaufgaben werden durchgeführt.

Neben einer vollständigen Umwelt/Umfeldanalyse mit Risikoanalyse werden OSP, PSP, Termin-, Meilenstein- und Kostenpläne erstellt. Weiters werden Meetingprotokolle verfasst und Soll-Ist-Vergleiche durchgeführt. Die Wasserfallmethode wird angewendet.

RE-H 6 Laternenmast

Der Mast wird mit den benötigten Öffnungen und Aufnahmen ausgestattet.

Um die Sensoren und die restlichen Bauteile am Laternenmast anzubringen, werden verschiedenen Halterungen und Aufnahmen hergestellt, sowie Bearbeitungen am Mast durchgeführt.

1.7.2 Optionale-Ziele

RE-O 1 Kommunikation zwischen Laternen

Mehrere Laternen kommunizieren miteinander und tauschen Signale aus.

Die zusätzlichen Laternen aus dem Ziel RE_O 2 erhalten von der Hauptlaterne mittels Funkmodul ein Signal und beleuchten den Weg im Voraus.

RE-O 2 Herstellung zwei weiterer Laternen

Zur Veranschaulichung der Funktionsweise des Ziels RE-O1 werden zwei weitere Straßenlaternen mit vereinfachten Funktionen hergestellt.

Die vereinfachten Laternen können die Signale der Hauptlaterne ausschließlich empfangen und die Leuchtstärke in Abhängigkeit dieser Informationen regulieren.

RE-O 3 Lademöglichkeit für Smartphones

An der Laterne befindet sich eine Lademöglichkeit für Smartphones

Im Mast sind zwei USB-Typ A Stecker verbaut, welche das Aufladen von Smartphones und anderen elektronischen Gegenständen ermöglichen.

RE-O 4 Marketing/Medienpräsenz

Es werden verschiedene Maßnahmen ergriffen, um das Projekt in der Öffentlichkeit darzustellen.

Um die Diplomarbeit in der Öffentlichkeit präsentieren zu können, werden Visitenkarten gestaltet und beispielsweise beim Tag der offenen Tür der HTL Rennweg vergeben. Weiters wird mindestens alle zwei Wochen ein Beitrag auf Instagram gepostet und eine Projektwebsite erstellt.

RE-O 5 Lademöglichkeit

Zwei Geräte können an der Straßenlaterne aufgeladen werden.

Zwei Geräte, beispielsweise E-Bikes oder Smartphones, können an zwei 230V Haushaltssteckdosen an der Laterne aufgeladen werden. Diese werden durch eine LS-FI Kombi mit 13A abgesichert.

RE-O 6 Uhr

Die aktuelle Uhrzeit wird auf dem Display (RE-H 3) ausgegeben.

RE-O 7 Anzeige der Energieeinsparung

Die eingesparte Energie wird ausgegeben.

Die durch das Dimmen der Lampe eingesparte Energie wird auf dem Display ausgegeben. Dazu wird die benötigte Energie gemessen und mit dem Energieverbrauch der Lampe ohne Dimmen verglichen.

RE-O 8 Fahrradanhängemöglichkeit

Zwei Fahrräder können an der smartLantern angehängt werden.

Am Mast ist eine mechanische Anhängvorrichtung integriert, an welcher zwei Fahrräder gleichzeitig an der smartLantern abgesperrt werden können.

1.7.3 Nicht-Ziele

RE-N 1 Straßenlaterne ist energieautark

Die Straßenlaterne versorgt sich mit selbst erzeugtem Strom.

Die Elektronik und die Lampe sind vom Netzstrom unabhängig. Der gesamte Verbrauch wird durch eigene Stromquellen, wie zum Beispiel mittels Solarpanel, erzeugt.

RE-N 2 Straßenlaterne wird von Grund auf selbst konstruiert

Jegliche Bauteile der Straßenlaterne werden selbst konstruiert und gebaut.

Sowohl die Grundplatte, der Mast als auch die Leuchte werden selbst in Creo konstruiert und anschließend eigenständig hergestellt.

RE-N 3 Leuchte wird selbst gebaut

Der Leuchtkopf der Laterne wird selbst konstruiert und gebaut.

Die reflektierenden Elemente der Leuchte werden berechnet, konstruiert und zusammengebaut, um eine perfekte Ausleuchtung zu garantieren.

RE-N 4 Handyapp

Die gemessenen Sensordaten können über eine Handyapp eingesehen werden.

Sowohl Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit und Feinstaubbelastung, als auch die Helligkeit können in einer App eingesehen werden.

1.7.4 Individuelle Aufgabenstellungen der Teammitglieder im Gesamtprojekt

1.7.4.1 Simon Schmidmayr

Themenschwerpunkt	Projektleiter Projektleitung, Projektmanagement, Öffentlichkeitsarbeit, Unterstützung bei Elektronik
Aufgabenstellung Auflistung der einzelnen Ziele und Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> • ZIEL-H 1 Automatische Regelung der Helligkeit – Unterstützung Platine • ZIEL-H 4 Teilnahme an Wettbewerben • ZIEL-H 5 Projektmanagement • ZIEL-O 2 Herstellung zwei weiterer Laternen – Unterstützung bei Elektronik • ZIEL-O 4 Marketing/ Medienpräsenz • ZIEL-N 4 Handyapp

Tabelle 5: individuelle Aufgabenstellung Simon Schmidmayr

1.7.4.2 Jan Reinsperger

Themenschwerpunkt	Projektleiter Stellvertreter Konstruktion, Herstellung und Einbau
Aufgabenstellung Auflistung der einzelnen Ziele und Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> • ZIEL-H 1 Automatische Regelung der Helligkeit - Hardware • ZIEL-H 3 Datenausgabe - Befestigung • ZIEL-H 6 Laternenmast • ZIEL-O 2 Herstellung zwei weiterer Laternen – Hardware, Zusammenbau • ZIEL-O 3 Lademöglichkeit für Smartphones - Einbau • ZIEL-O 5 Lademöglichkeit - Einbau • ZIEL-O 8 Fahrradanhängemöglichkeit • ZIEL-N 2 Straßenlaterne wird von Grund auf selbst konstruiert • ZIEL-N 3 Leuchte wird selbst gebaut

Tabelle 6: individuelle Aufgabenstellung Jan Reinsperger

1.7.4.3 Christoph Steiner

Themenschwerpunkt	Projektmitarbeiter Platinen Design und Herstellung, Dimensionierung und Einbau der Elektronik
Aufgabenstellung Auflistung der einzelnen Ziele und Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> • ZIEL-H 1 Automatische Regelung der Helligkeit - Elektronik • ZIEL-H 2 Messen von Umweltdaten - Elektronik • ZIEL-H 3 Datenausgabe – Elektronik • ZIEL-O 2 Herstellung zwei weiterer Laternen - Elektronik • ZIEL-O 3 Lademöglichkeit für Smartphones - Elektronik • ZIEL-O 5 Lademöglichkeit - Elektronik • ZIEL-O 6 Uhr - Elektronik • ZIEL-O 7 Anzeige der Energieeinsparung - Elektronik • ZIEL-N 1 Straßenlaterne ist energieautark • ZIEL-N 3 Leuchte wird selbst gebaut

Tabelle 7: individuelle Aufgabenstellung Christoph Steiner

1.7.4.4 Moritz Vögl

Themenschwerpunkt	Projektmitarbeiter Microcontroller Programmierung
Aufgabenstellung Auflistung der einzelnen Ziele und Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> • ZIEL-H 1 Automatische Regelung der Helligkeit - Software • ZIEL-H 2 Messen von Umweltdaten - Software • ZIEL-H 3 Datenausgabe - Software • ZIEL-O 1 Kommunikation zwischen Laternen - Software • ZIEL-O 6 Uhr - Software • ZIEL-O 7 Anzeige der Energieeinsparung - Software • ZIEL-N 4 Handyapp

Tabelle 8: individuelle Aufgabenstellung Moritz Vögl

1.8 Projektorganisation

1.8.1 Grafische Darstellung

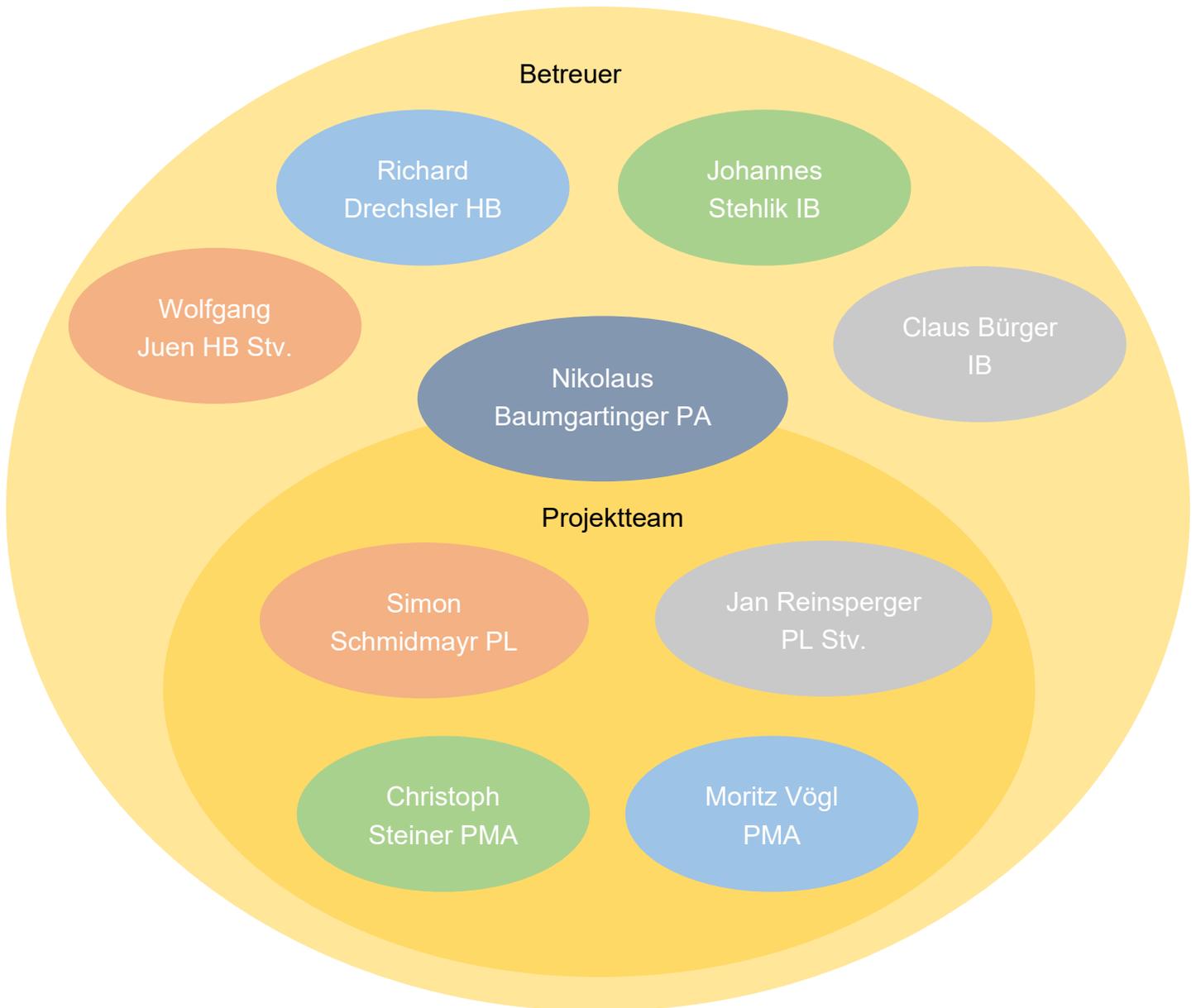


Abbildung 9: Projektorganisation

1.9 Projektplanung

1.9.1 Projektumfeldanalyse - Grafische Darstellung



Abbildung 10: Projektumfeldanalyse

1.9.1.1 Beschreibung der wichtigsten Einflüsse

#	Bezeichnung	Beschreibung	Bewertung
1	Simon Schmidmayr PL	Projektleiter, zuständig für Projektplanung und -management, Unterstützung bei Elektronik	+
2	Jan Reinsperger PL Stv.	Projektleiter Stellvertreter, zuständig für Konstruktion, Herstellung und Einbau	+
3	Christoph Steiner PMA	Projektmitarbeiter, zuständig für Platinendesign und -herstellung sowie Dimensionierung und Einbau der Elektronik	+
4	Moritz Vögl PMA	Projektmitarbeiter, zuständig für Programmierung	+
5	Nikolaus Baumgartinger PA	Projektauftraggeber	o
6	Richard Drechsler HB	Hauptbetreuer des Projekts, individueller Betreuer von Moritz Vögl, hilft bei allgemeinen Fragen, sowie bei der Programmierung	+
7	Wolfgang Juen	Hauptbetreuer Stellvertreter des Projekts, individueller Betreuer von Simon Schmidmayr, hilft bei Fragen zum Projektmanagement	+
8	Johannes Stehlik	Nebenbetreuer, individueller Betreuer von Christoph Steiner, hilft bei Fragen zur Elektronik	+
9	Claus Bürger	Nebenbetreuer, individueller Betreuer von Jan Reinsperger, hilft bei Fragen zur Mechanik	+
10	Schrack Technik	Unterstützt das Projekt im Idealfall durch die Bereitstellung von Bauteilen wie Mast, Leuchte, Sicherungselementen, Steckdosen und weiteren elektronischen Komponenten	o

11	Generali	Unterstützt das Projekt finanziell	+
12	Weitere Sponsoren	Unterstützen die Diplomarbeit durch Bereitstellung von Bauteilen sowie finanzieller Unterstützung	o
13	Zulieferer	Liefern die benötigten Bauteile	o
14	Gemeinde/Städte	Sind möglicherweise am Projekt interessiert und berichten darüber bzw. unterstützen das Projekt durch finanzielle Mittel	+
15	Conexx	Mitbewerber, haben bereits ähnliches Produkt	-
16	ewo	Mitbewerber, haben bereits ähnliches Produkt	-
17	Pandemie	Die Infektionszahlen des Corona-Virus steigen erneut an	-
18	Leuchte	Leuchtet je nach Helligkeit bzw. Bewegung gar nicht, gedimmt oder mit voller Stärke. Wird durch Microcontroller gesteuert	o
19	Mast	Im Mast werden elektronische Komponenten verbaut, am oberen Ende des Masts ist die Leuchte befestigt, am unteren Ende des Masts ist die Grundplatte befestigt	o
20	Grundplatte	Die Grundplatte ist am Mast befestigt, damit die gesamte Straßenlaterne vor Umkippen sicher ist	o
21	Microcontroller	Steuert die Lampe, zusätzlich werden damit Sensordaten ausgelesen und auf dem Display ausgegeben	o

22	Bewegungssensor Gehäuse	Mit diesem wird der Bewegungssensor am Laternenmast angebracht	o
23	Displaygehäuse	Mit diesem wird das Display am Laternenmast angebracht	o
24	Fahrradmodul	Ermöglicht das Anhängen eines Fahrrads am Laternenmast	o
25	Spannungsversorgung	Ermöglicht eine Versorgung des Microcontrollers, sowie der Sensoren, der Leuchte und der Lademöglichkeiten	o
26	Display	Gibt Sensordaten, sowie die Uhrzeit aus	o
27	Haushaltssteckdosen	Ermöglicht das Aufladen eines elektronischen Gerätes durch im Mast eingebaute Stecker	+
28	USB-Stecker	Ermöglicht das Aufladen eines elektronischen Gerätes durch im Mast eingebaute Stecker	+
29	Platine	Dient zur mechanischen Befestigung sowie zur elektrischen Verbindung von Bauteilen	o
30	Schutzschalter	Elektronische Absicherung der Haushaltssteckdosen, welche im Mast verbaut sind	+
31	Umweltsensor	Temperatur-, Luftdruck-, Luftfeuchtigkeits- und Feinstaubsensor messen in einem bestimmten Intervall Daten und geben diese Informationen an einen Microcontroller weiter	o
32	GPS-Uhr-Modul	Dieses Modul gibt die aktuelle Uhrzeit an den Microcontroller weiter	o
33	Helligkeitssensor	Der Helligkeitssensor misst die aktuelle Helligkeit und gibt diese an den Microcontroller weiter	o

34	Bewegungssensoren	Die Bewegungssensoren erkennen Bewegungen und geben Daten wie die aktuelle Entfernung von Objekten an den Microcontroller weiter	o
35	Hall-Sensor	Der Hall-Sensor ermittelt den aktuellen Stromverbrauch und gibt diesen an den Microcontroller weiter	o

Tabelle 9: Projekteinflüsse

1.9.2 Risikoanalyse

1.9.2.1 Risikoportfolio

100 Eintrittswahrscheinlichkeit

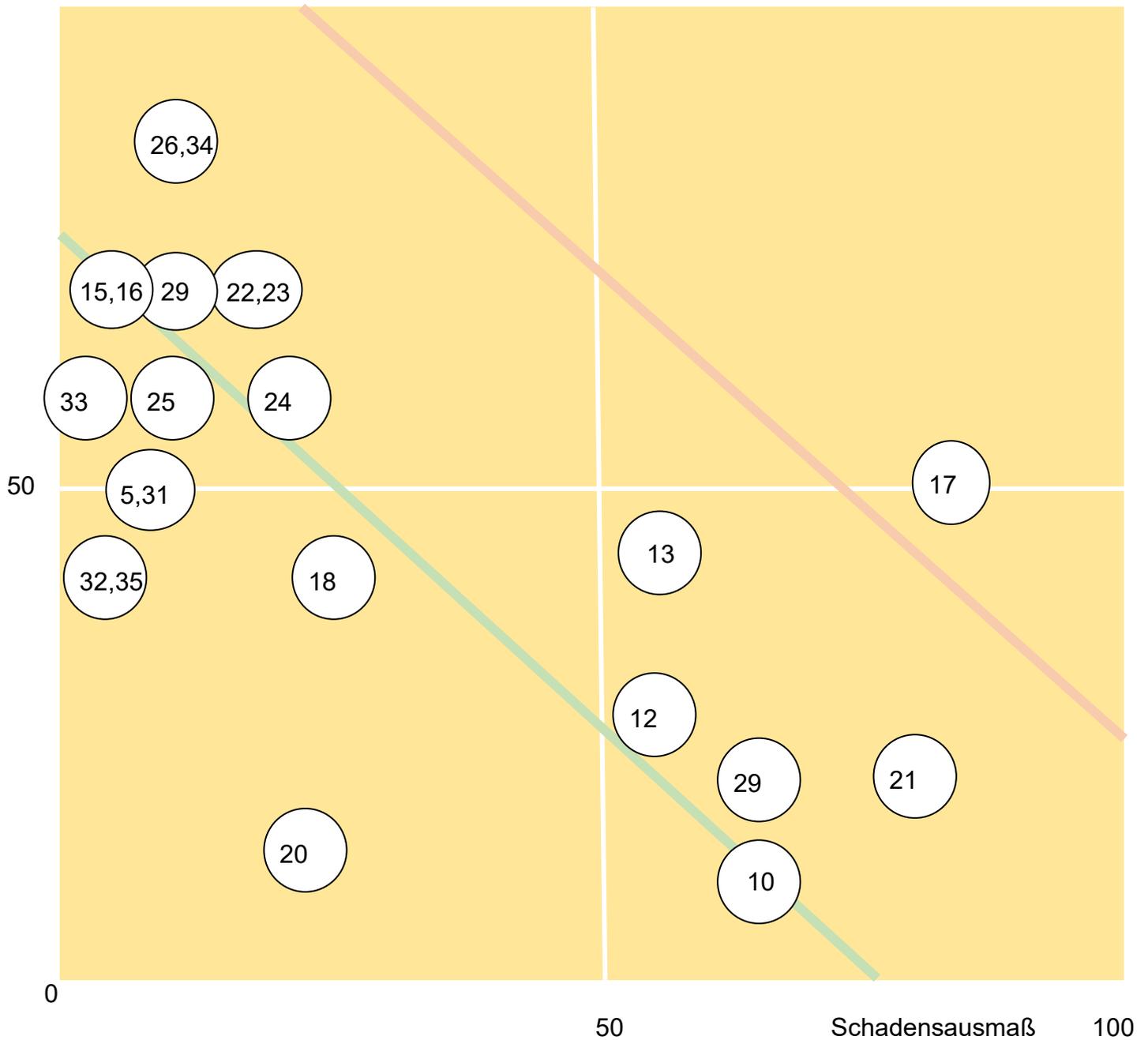


Abbildung 11: Risikoanalyse

1.9.2.2 Beschreibung der wichtigsten Risiken

#	Bezeichnung	Beschreibung des Risikos	P	A	RF
17	Pandemie	Aufgrund steigender Infektionszahlen des Corona-virus ist es nur möglich online zusammenzuarbeiten, wodurch das Arbeiten massiv erschwert wird	50	80	4000
13	Zulieferer	Liefern nicht rechtzeitig bzw. gar nicht	40	60	2400
29	Platine	Die Platine ist fehlerhaft, einzelne Bauteile sind nicht bzw. falsch verbunden. Dadurch können einzelne Bauteile nicht angesteuert werden, weiters können dadurch Bauteile zerstört werden	20	70	1750
21	Microcontroller	Firmware funktioniert nicht wie geplant	20	80	1600
12	Weitere Sponsoren	Es werden keine Sponsoren gefunden, somit muss das gesamte Projekt aus eigener Tasche finanziert werden	25	60	1500
24	Fahrradmodul	Mast ist an dieser Stelle nicht mehr stabil genug und knickt	20	60	1200
22	Bewegungssensor-gehäuse	Das Gehäuse des Bewegungssensors ist nicht abgedichtet, wodurch Staub und Wasser in den Mast eindringen und die Elektronik zerstört	15	70	1050
23	Displaygehäuse	Das Gehäuse des Displays ist nicht abgedichtet, wodurch Staub und Wasser in den Mast eindringt und das Display sowie die Elektronik zerstört	15	70	1050
18	Leuchte	Leuchte ist nicht dimmbar	25	40	1000
26	Display	Die Ansteuerung des Displays funktioniert nicht planmäßig, wodurch die gewünschten Daten nicht ausgegeben werden können	10	80	800
34	Bewegungssensoren	Die ausgegebenen Daten sind fehlerhaft bzw. die Sensoren funktionieren nicht wie geplant, dadurch, dass mehrere Bewegungssensoren verwendet werden, stören sich diese untereinander	10	80	800

10	Schrack Technik	Entscheiden sich doch gegen eine Unterstützung des Projekts, Bauteile wie Mast und Leuchte müssen daher aus eigener Tasche finanziert werden, das Projekt kann somit nicht im derzeitig geplanten Ausmaß realisiert werden	10	70	700
19	Mast	Mast ist nach Einbau der Elektronik aufgrund von Einfräsungen und Bohrungen nicht mehr stabil genug	10	60	600
25	Spannungsversorgung	Die Leistung der Versorgungsspannung reicht nicht für alle Funktionen der smartLantern aus	10	60	600
5	Nikolaus Baumgartinger PA	Projektauftraggeber kann über Änderungen entscheiden	10	50	500
31	Umweltsensor	Die ausgegebenen Daten sind fehlerhaft bzw. der Sensor funktioniert nicht richtig	10	50	500
15	Connexx	Entwickeln ein Produkt mit denselben Features wie smartLantern, dadurch ist kein Alleinstellungsmerkmal mehr gegeben	5	70	350
16	ewo	Entwickeln ein Produkt mit denselben Features wie smartLantern, dadurch ist kein Alleinstellungsmerkmal mehr gegeben	5	70	350
33	Helligkeitssensor	Die ausgegebenen Daten sind fehlerhaft bzw. der Sensor funktioniert nicht richtig	5	60	300
20	Grundplatte	Verbindungsschweißnaht zwischen Mast und Grundplatte ist nicht stabil genug	10	20	200
32	GPS-Uhr-Modul	Die Ansteuerung des Moduls funktioniert nicht richtig bzw. das Bauteil ist fehlerhaft	5	40	200
35	Hall-Sensor	Die ausgegebenen Daten sind fehlerhaft bzw. der Sensor funktioniert nicht richtig	5	40	200

Tabelle 10: Beschreibung der wichtigsten Risiken

1.9.2.3 Risiko Gegenmaßnahmen

#	Bezeichnung	Gegenmaßnahme
5	Nikolaus Baumgartinger PA	Dokumente und Richtlinien der Diplomarbeit ordnungsgemäß befolgen
10	Schrack Technik	Per E-Mail in Kontakt bleiben, ansonsten bei Conrad und Reichelt anfragen
12	Weitere Sponsoren	Sponsoren bereits im September und Oktober anschreiben, Bekannte fragen, ob Möglichkeit für ein Sponsoring besteht
13	Zulieferer	Vertrauenswürdige Zulieferer wählen (Empfehlungen der Lehrer bzw. Sponsoren), zB. Conrad, RS-Components
15	Connex	-
16	ewo	-
17	Pandemie	Möglichkeiten zur Online-Zusammenarbeit im Vorhinein planen, zum Beispiel über Teams und Discord sowie E-Mail mit den Betreuungslehrern, Hardware in den Werkstätten der Teammitglieder bearbeiten, falls die Werkstätten der Schule nicht verwendet werden können
18	Leuchte	Dimmbare Leuchte auswählen, ansonsten Lampensteuerung umbauen
19	Mast	Einfräsungen und Bohrungen möglichst klein machen, kritische Stellen berechnen
20	Grundplatte	Entweder größer machen oder andere Verbindung zum Mast auswählen
21	Microcontroller	Tutorials anschauen, von Lehrkräften unterstützen lassen, Elektronik Schritt für Schritt in Betrieb nehmen
24	Fahrradmodul	Im Vorhinein berechnen, um nicht zu viel Material wegzunehmen

25	Spannungsversorgung	Im Vorhinein recherchieren und Datenblätter durchlesen, von Lehrkräften beraten lassen
26	Display	Im Vorhinein Datenblätter durchlesen, im Problemfall anderen Display verwenden
29	Platine	Schaltplan sowie Platinenlayout vor der Herstellung von FI. Stehlik abnehmen lassen, sollte die Platine trotzdem fehlerhaft sein, erneut herstellen
31	Umweltsensor	Im Vorhinein gut über Sensoren informieren, mehr als 1 Stück kaufen
32	GPS-Uhr-Modul	Im Vorhinein darüber informieren, mehr als 1 Stück kaufen
33	Helligkeitssensor	Im Vorhinein darüber informieren, mehr als 1 Stück kaufen
34	Bewegungssensoren	Im Vorhinein darüber informieren, Ersatzsensor kaufen, da die Bewegungssensoren recht kompliziert sind im Vorhinein mit Prof. Drechsler besprechen
35	Hall-Sensor	Im Vorhinein darüber informieren, mehr als 1 Stück kaufen

Tabelle 11: Risikogegenmaßnahmen

1.9.3 Objektstrukturplan

smartLantern				
Leuchte	Mast	Grundplatte	Displaygehäuse	Fahrradmodul
Aufsatzleuchte	Mast Prototyp	Grundplatte	Bewegungssensorgehäuse	Anhängemöglichkeit
Aufnahme	Mast	Verbindungsstück		
	Verbindungselemente			

smartLantern					
Elektronik					
Spannungsversorgung	Auflademöglichkeit	Sensorik	Steuerung	Firmware	Marketing/Ergebnisse
230V Anschluss	Haushaltssteckdosen	Temperatur	Mikrocontoller	Datenauswertung	Wettbewerbsberichte
Spannungswandlung	USB-Stecker	Luftfeuchte		Datenausgabe	Dokumentation
Konstantstromquelle für Leuchte	Sicherungselemente	Luftdruck		Steuerung	Präsentation
		Feinstaub			Diplomarbeitsbuch
		Bewegung			Website
		Helligkeit			Social Media
		Hallsensor			

Tabelle 12: Objektstrukturplan

1.9.4 Projektstrukturplan

smartLantern					
1.1	Projektplanung	1.2	technische Planung	1.3	Umsetzung
1.1.1	Konzept entwickeln	1.2.1	Konzeptskizzen anfertigen	1.3.1	Mast-Prototypen herstellen
1.1.2	Ziele definieren	1.2.2	Materialliste anfertigen	1.3.2	Anhängemöglichkeit herstellen
1.1.3	Ziele definiert	1.2.3	mechanische Konstruktion planen	1.3.3	Bauteile besorgen
1.1.4	OSP erstellen	1.2.4	Flussdiagramm anfertigen	1.3.4	Website erstellen
1.1.5	Ansuchen erstellen	1.2.5	fliegender Aufbau mit vorhandenen Bauteilen	1.3.5	Social Media Account erstellen
1.1.6	Ansuchen fertiggestellt	1.2.6	Bauteile dimensionieren	1.3.6	Social Media Beiträge posten
1.1.7	Kickoff-Meeting durchführen	1.2.7	Konstantstromquelle für Leuchte auslegen	1.3.7	Visitenkarten herstellen
1.1.8	Umfeldanalyse durchführen	1.2.8	Bauteile auswählen	1.3.8	Leuchtkopfhardware herstellen
1.1.9	Risikoanalyse durchführen	1.2.9	Anhängemöglichkeit konstruieren	1.3.9	Mast bearbeiten
1.1.10	PSP erstellen	1.2.10	Displayrahmen konstruieren	1.3.10	Grundplatte herstellen
1.1.11	Gantt Diagramm erstellen	1.2.11	Bewegungssensorgehäuse konstruieren	1.3.11	Displayrahmen herstellen
1.1.12	Sponsoren anschreiben	1.2.12	Schaltplan anfertigen	1.3.12	Bewegungssensorgehäuse herstellen
1.1.13	Antrag erstellen	1.2.13	Platinenlayouts anfertigen	1.3.13	Testaufbau durchführen
1.1.14	Antrag fertiggestellt	1.2.14	technische Planung abgeschlossen	1.3.14	Platinen ätzen
1.1.15	Projektplanung abgeschlossen			1.3.15	Platinen bestücken
				1.3.16	Platinenherstellung abgeschlossen
				1.3.17	TOFT-Vorbereitung durchführen
				1.3.18	Verkabelung durchführen
				1.3.19	Elektronik fertiggestellt
				1.3.20	Umweltsensoren programmieren
				1.3.21	automatische Regelung der Helligkeit programmieren
				1.3.22	GPS-Uhr-Modul programmieren
				1.3.23	Hallsensorauswertung programmieren
				1.3.24	Display programmieren
				1.3.25	Kommunikation zw. 2 Laternen programmieren
				1.3.26	Kommunikation zw. mehreren Laternen programmieren
				1.3.27	Mast mit Leuchte verbinden
				1.3.28	Anhängemöglichkeit einbauen
				1.3.29	Zusammenbau der Hardware
				1.3.30	2 Modelllaterne herstellen
				1.3.31	Mechanik fertiggestellt
				1.3.32	Elektronik in Mast einbauen
				1.3.33	Aufbau abgeschlossen
				1.3.34	Programmstruktur fertiggestellt
				1.3.35	Programm fertiggestellt
				1.3.36	Umsetzung abgeschlossen

1.10 SOLL-IST Vergleich

1.10.1 Meilensteine

PSP-Code	Benennung	Soll-Termin	Ist-Termin
1.1.3	Ziele definiert	09.06.2020	09.06.2020
1.1.6	Ansuchen fertiggestellt	13.06.2020	11.06.2020
1.1.14	Antrag fertiggestellt	15.09.2020	14.09.2020
1.1.15	Projektplanung abgeschlossen	15.09.2020	15.09.2020
1.2.14	Technische Planung abgeschlossen	25.10.2020	27.10.2020
1.3.16	Platinenherstellung abgeschlossen	11.11.2020	10.11.2020
1.3.19	Elektronik fertiggestellt	15.12.2020	09.02.2021
1.3.31	Mechanik fertiggestellt	31.12.2020	09.02.2021
1.3.33	Aufbau abgeschlossen	10.01.2021	16.02.2021
1.3.34	Programmstruktur fertiggestellt	31.01.2021	28.01.2021
1.4.10	Programm fertiggestellt	07.03.2021	03.03.2021
1.3.35	Umsetzung abgeschlossen	15.03.2021	03.03.2021
1.4.11	Testphase abgeschlossen	15.03.2021	08.03.2021
1.5.4	Projekt abgenommen	26.03.2021	09.03.2021
1.5.6	Abschlusspräsentation gehalten	16.03.2021	23.03.2021
1.5.8	Diplomarbeitsbuch abgegeben	30.04.2021	26.03.2021
1.5.9	Diplomarbeit abgeschlossen	31.05.2021	

Tabelle 14: Meilensteinplan

Da das Auslegen der geeigneten DALI-Anpassungselektronik etwas mehr Zeit in Anspruch nahm als geplant, konnte der Meilenstein „technische Planung abgeschlossen“ erst zwei Tage nach dem geplanten Termin erledigt werden. Weiters kam es aufgrund einer Lieferverzögerung der Masten zu Verspätungen bei den Meilensteinen „Elektronik fertiggestellt“, „Mechanik fertiggestellt“ und „Aufbau abgeschlossen“.

Da allerdings mehrere Arbeitspakete vorgezogen werden konnten und ein Puffer eingeplant wurde, kam es zu keiner Gefährdung des Projekts. Schlussendlich konnte die Abnahme sogar bereits zwei Wochen früher als geplant, am 09.03.2021 durchgeführt werden, da zu diesem Zeitpunkt alle Arbeiten erledigt waren. Da der Termin der Abschlusspräsentation um eine Woche verschoben wurde, wurde diese am 23.03.2021 gehalten.

1.11 Ressourcen

1.11.1 Personell

Arbeitsstunden		
Person	Geplant	Tatsächlich
Jan Reinsperger	170	215
Simon Schmidmayr	185	227
Christoph Steiner	170	210
Moritz Vögl	170	227
Summe	695	879

Tabelle 15: Arbeitsstunden

Generell wurden 184 Arbeitsstunden mehr benötigt als geplant, um das Projekt abzuschließen. Dies bedeutet ein Plus von 26%, wie Tabelle 15: Arbeitsstunden, zeigt, dass alle Teammitglieder eine ähnliche Anzahl an Stunden investiert haben. In Abbildung 12: Arbeitsstunden sind die Tagesstunden und die Gesamtstunden in Abhängigkeit des Datums abgebildet. Auffallend ist, dass vor allem zu Beginn und am Ende recht viel gearbeitet wurde, dies ist durch die Überschreitung der schwarzpunktierten Trendlinie zu erkennen.

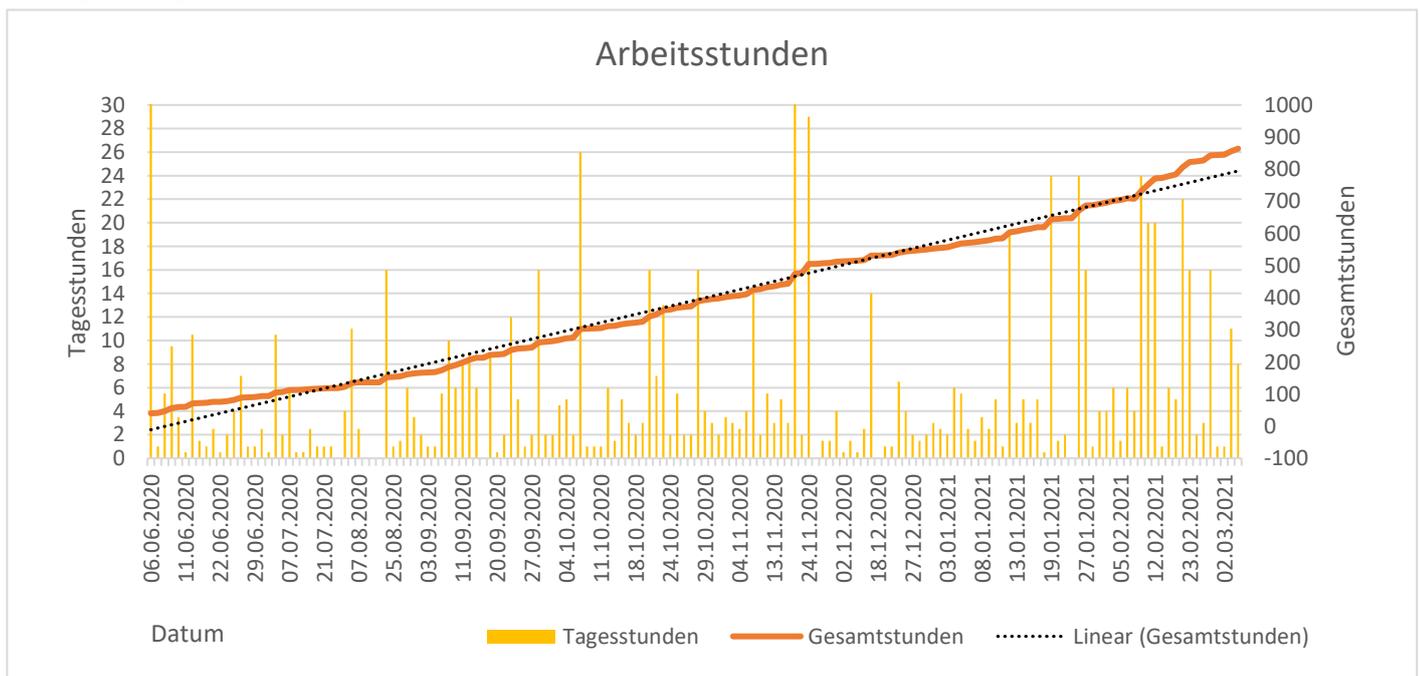


Abbildung 12: Arbeitsstunden

1.11.2 Budget

Kosten		
	geplant	tatsächlich
Aufsatzleuchten	€ 1800	€ 1600
Masten	€ 600	€ 600
Netzgeräte	€ 250	€ 215
Schutzschalter	€ 225	€ 138
Konstantstromquelle	€ 150	€ 200
Lademöglichkeiten	€ 115	€ 115
mechanische Komponenten	€ 100	€ 366
Sensorik	€ 75	€ 95
Display	€ 75	€ 175
Werbematerial	€ 50	€ 160
3D-Druck Filament	€ 50	€ 140
Grundplatten	€ 150	€ 0
elektronische Komponenten	€ 50	€ 205
Fahrradanhängemöglichkeiten	€ 50	€ 0
Mikrocontroller	€ 30	€ 45
Gesamt	€ 3770	€ 4054

Tabelle 16: Budget

Die Kosten teilen sich, wie in Abbildung 13: Aufteilung der Kosten ersichtlich, auf. Der größte Teil wurde für elektronische Komponenten, wie Leuchten, Mikrocontroller, Sensoren und Kabeln verwendet. Die mechanischen Elemente machen 26% der gesamten Kosten aus.

Größere Unterschiede zwischen geplanten und tatsächlichen Kosten gibt es beispielsweise bei den mechanischen Komponenten, diese waren deutlich höher, da unter anderem die Masten lackiert wurden und die Befestigungselemente nur in relativ großen Stückzahlen gekauft werden konnten. Auch die Kosten für das Display waren höher, dies liegt daran, dass dieser zweimal neu gekauft werden musste, da es sehr filigran ist und defekt geworden ist. Allerdings musste sowohl für die Fahrradhalterungen als auch für die Grundplatten kein Geld aufgewendet werden, da diese mit den Masten mitbestellt wurden und somit gleich integriert waren.

Die tatsächlichen Kosten sind um € 284 höher als anfangs angenommen. Da während des Projekts zahlreiche Unterstützer gefunden wurden, konnten diese vollständig durch deren Sponsorings finanziert werden. Es war somit nicht notwendig, dass die einzelnen Teammitglieder privates Geld aufwenden mussten.

Aufteilung der Kosten

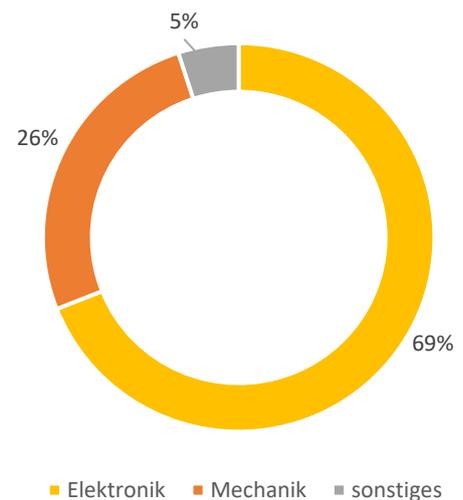


Abbildung 13: Aufteilung der Kosten

1.11.3 Externe Kooperationspartner

Während des Projekts wurde mit folgenden Unternehmen zusammengearbeitet:

- Schrack for Students
unser Hauptsponsor unterstützt das Projekt nicht nur mit den benötigten elektronischen Komponenten, sondern auch bei Fragen zum Thema Beleuchtung.
- Würth
stellt Befestigungselemente zur Verfügung
- Knipex, Gedore, kurz ersa
sponsern Werkzeug
- Winkhaus, Generali, EVN
unterstützen das Projekt finanziell
- Spusu
stellt WLAN zur Verfügung



Abbildung 14: Sponsoren

1.12 Projektmarketing

1.12.1 Logo

Das Team war sich von Anfang an einig, dass das Logo eine Leuchte beinhalten soll. Nach mehreren Entwürfen wurde das finale smartLantern Logo ausgewählt. Als Schriftart wurde Century Gothic verwendet. Das Design wurde mit Adobe Illustrator erstellt.



Abbildung 15: smartLantern Logo Entwurf 1



Abbildung 16: smartLantern Logo Entwurf 2



Abbildung 17: smartLantern Logo Entwurf 3



Abbildung 18: smartLantern Logo

1.12.2 Werbeauftritt

Um das Nebenziel „Marketing/Medienpräsenz“ zu erfüllen, wurden Visitenkarten gestaltet, eine Projektwebsite erstellt, sowie ein Instagram Account eingerichtet, auf welchem in einem 2-Wochen Intervall Beiträge gepostet wurden.

1.12.2.1 Instagram Profil

Auf dem Instagram Profil von smartLantern wurden Beiträge über den Projektfortschritt, sowie Sponsoren und Partner veröffentlicht. Dieses wurde am 15.09.2020 erstellt.



Abbildung 19: smartLantern Instagramprofil

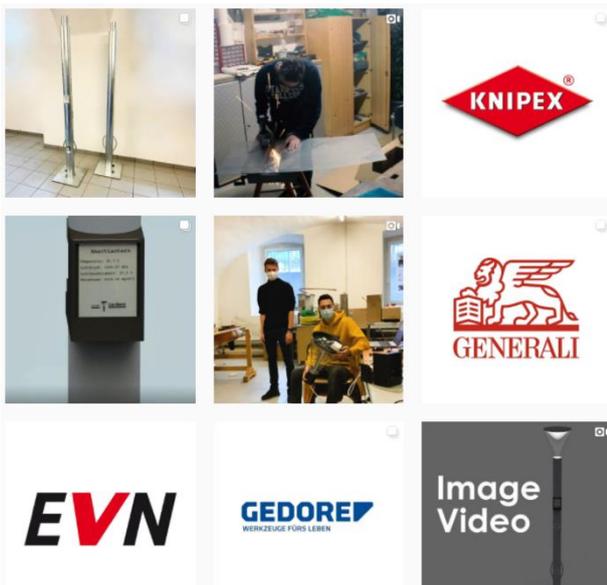


Abbildung 20: Instagram Beiträge 1

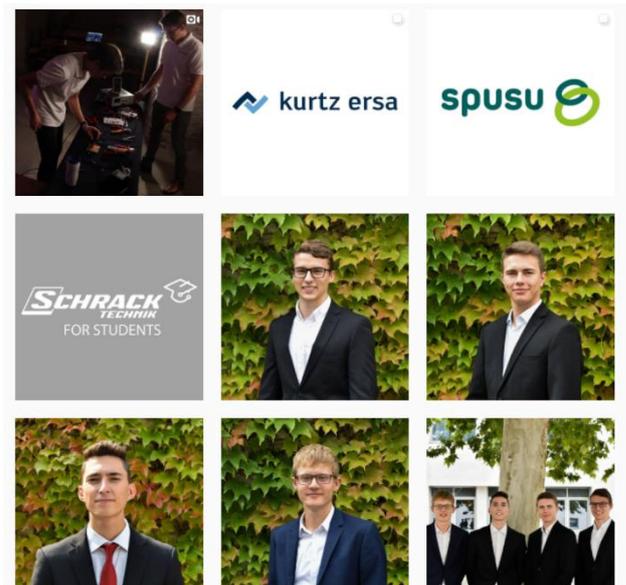


Abbildung 21: Instagram Beiträge 2

1.12.2.2 Website

Für die Erstellung einer Projektwebsite wurde Jimdo verwendet. Dadurch war es auch ohne Website-Programmierenkenntnisse möglich, diese relativ einfach zu gestalten.

Auf der Website findet man nicht nur Informationen zum Projekt, sondern auch zum Team und den Sponsoren. Weiters sind Instagram sowie YouTube - Account verlinkt. Die Website ist unter www.smartLantern.jimdosite.com abrufbar.

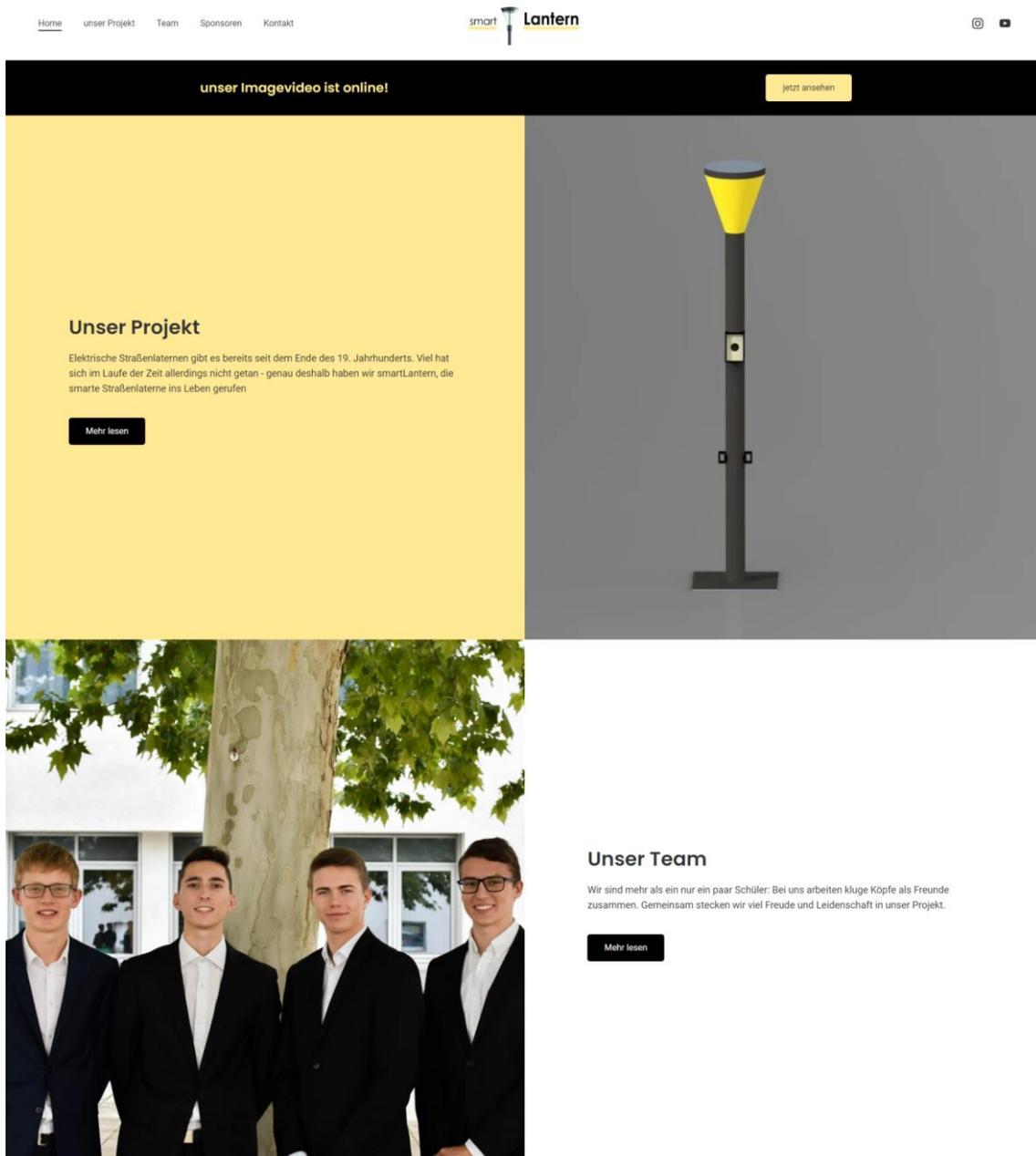


Abbildung 22: Projektwebsite smartLantern.jimdosite.com

1.12.2.3 Visitenkarten

Da Anfangs geplant war, dass der Tag der offenen Tür der HTL Rennweg vor Ort stattfinden sollte, wurden Visitenkarten erstellt. Diese wurden mit Adobe Photoshop gestaltet.



Abbildung 23: Visitenkarte Vorderseite

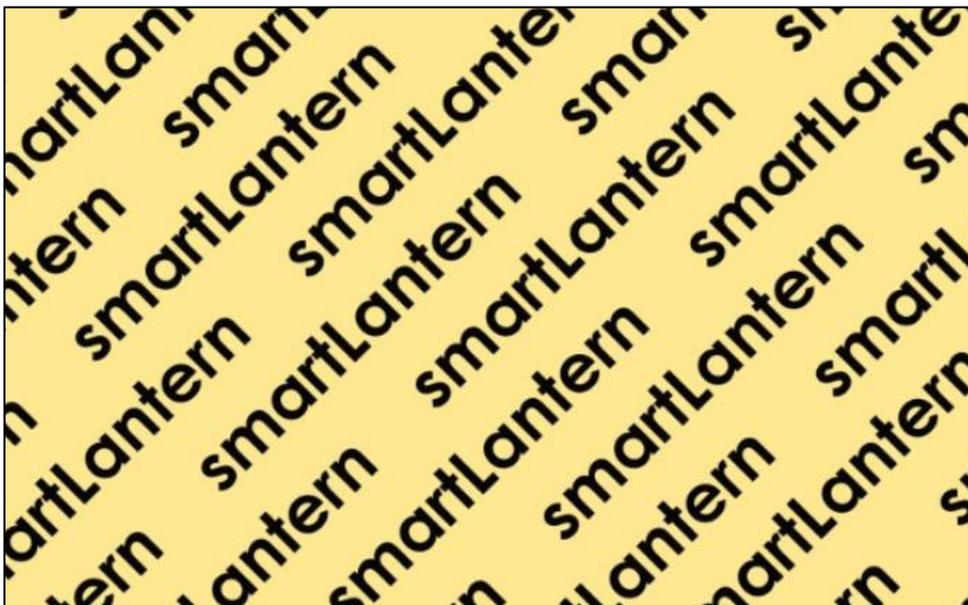


Abbildung 24: Visitenkarte Rückseite

1.12.2.4 Projektplakat

Jedes Diplomarbeitsteam hatte die Aufgabe, ein A1 Plakat zu erstellen, welches im Schulhaus aufgehängt werden sollte. Dieses wurde mit Adobe InDesign erstellt.



Mechatronik
smartLantern
 die smarte Straßenlaterne

Aufgabenstellung

Um Lichtverschmutzung und Energieverschwendung zu vermeiden regelt sich die Helligkeit der Laterne automatisch, je nach Umgebung und erkannter Bewegung. Weiters werden diverse Umweltdaten ermittelt und auf einem im Mast verbauten Display ausgegeben. Um den Gehweg bereits im Vorhinein für eine Person auszuleuchten, kommunizieren mehrere Straßenlaternen untereinander.

INFO	
Schuljahr	2020/21
Projektleitung	Simon Schmidmayr
Rolle PMA	Jan Reinsperger
Rolle PMA	Christoph Steiner
Rolle PMA	Moritz Vögl
Hauptbetreuer	Richard Drechsler
Gesamtstunden	850

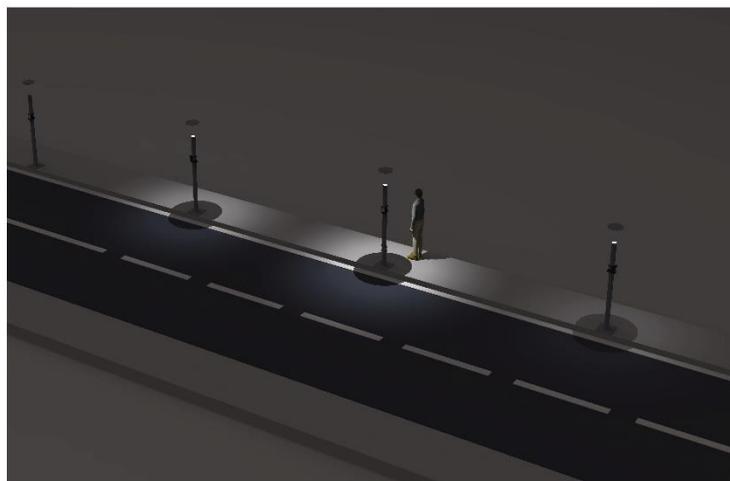


Abbildung 25: Diplomarbeitplakat

1.12.2.5 TOFT – Tag der offenen Tür

Da der Tag der offenen Türe der HTL Rennweg aufgrund der Coronapandemie nicht vor Ort stattfinden konnte, gab es im Dezember 2020 eine virtuelle Alternative. Hierfür sollten die einzelnen Diplomarbeiten ein 1-minütiges Video drehen, um Ihre Arbeit vorzustellen.

Am 23.10.2020 wurde angefangen ein Konzept für die Umsetzung zu entwickeln. Dieses wurde in die folgenden Abschnitte unterteilt:

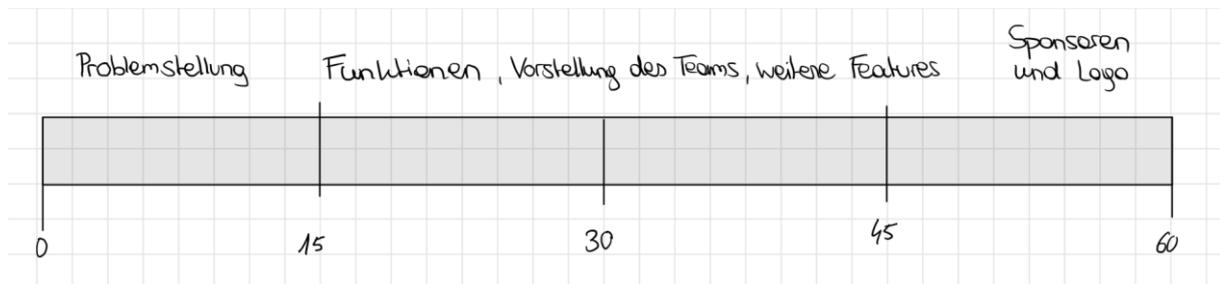


Abbildung 26: TOFT-Video-Abschnitte

Um die Problemstellung aufzuzeigen, wurden Straßenlaternen in Langenzersdorf gefilmt, welche trotz ausreichender Umgebungshelligkeit leuchteten.



Abbildung 28: Straßenbeleuchtung 1



Abbildung 27: Straßenbeleuchtung 2

Zum Veranschaulichen der Funktionen der smartLantern wurden mehrere Animationen erstellt. Dafür wurde das Programm KeyShot 9 verwendet. Die erste Animation zeigt, wie die Laternen untereinander kommunizieren. Hierfür wurde eine Straße gezeichnet und aus Creo 7 eine Person importiert.

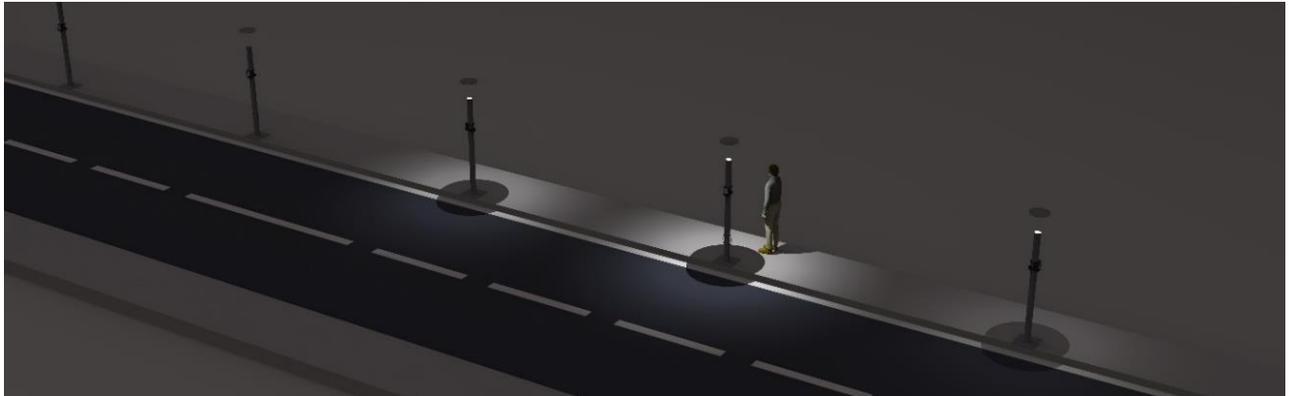


Abbildung 29: Kommunikation zwischen den Laternen Animation

In der zweiten Animation wird die Hauptlaterne mit der Grundplatte, der Fahrradanhängemöglichkeit, den Steckdosen und dem Display in einem 360 Grad Shot gezeigt. Zusätzlich wird am Ende der Animation das Display mit den Umweltdaten im Detail dargestellt.



Abbildung 30: Display mit Umweltdaten Animation

Weiters werden die einzelnen Teammitglieder, sowie deren Tätigkeitsbereich vorgestellt und die zum Zeitpunkt der Videoerstellung vorhandenen Sponsoren und Partner präsentiert.

Schlussendlich wurde das Imagevideo auf dem YouTube Kanal „smartLantern“ veröffentlicht. Dieses kann durch Scannen des QR-Codes abgerufen werden.



Abbildung 32: QR-Code Imagevideo



Abbildung 31: smartLantern Imagevideo

2 Mechanik

2.1 Konstruktion

Um ein langlebiges Produkt herzustellen, wurde bei der Konstruktion der smartLantern besonders auf die Materialien geachtet.

Der Mast der Laterne wurde bei der Firma Fonatsch GmbH bestellt und besteht aus verzinktem Stahl. Nachträglich wurden die Masten mit Anti-Rost Metallschutzlack in der Farbe Anthrazitgrau matt lackiert.

Die Leuchten wurden bei der Firma LUG Light Factory LTD. in der Farbe Anthrazitgrau bestellt.

Alle 3D gedruckten Teile, die sich im Außenbereich befinden, wurden mit dem Kunststoff ASA (**A**crylnitril-**S**tyrol-**A**crylester-Copolymer) gedruckt, da dieser UV-beständig ist und eine hohe Temperaturbeständigkeit und eine hohe Schlag- und Verschleißfestigkeit aufweist. Da dieses Material etwas teurer ist, wurde im Innenbereich, wo solche Beeinflussungen nicht auftreten, das Material PLA (Polylactide) verwendet.

Die Edelstahlschrauben, Edelstahlmuttern und Edelstahlbeilagscheiben wurden von dem Unternehmen Würth gesponsort.

2.2 Übersicht

Die folgende Abbildung zeigt eine Übersicht der smartLantern. Beim Einbau der Komponenten wurde vor allem darauf geachtet, diese im Leuchtenkopf und im Mast zu „verstecken“, sodass sie von außen nicht sichtbar sind.

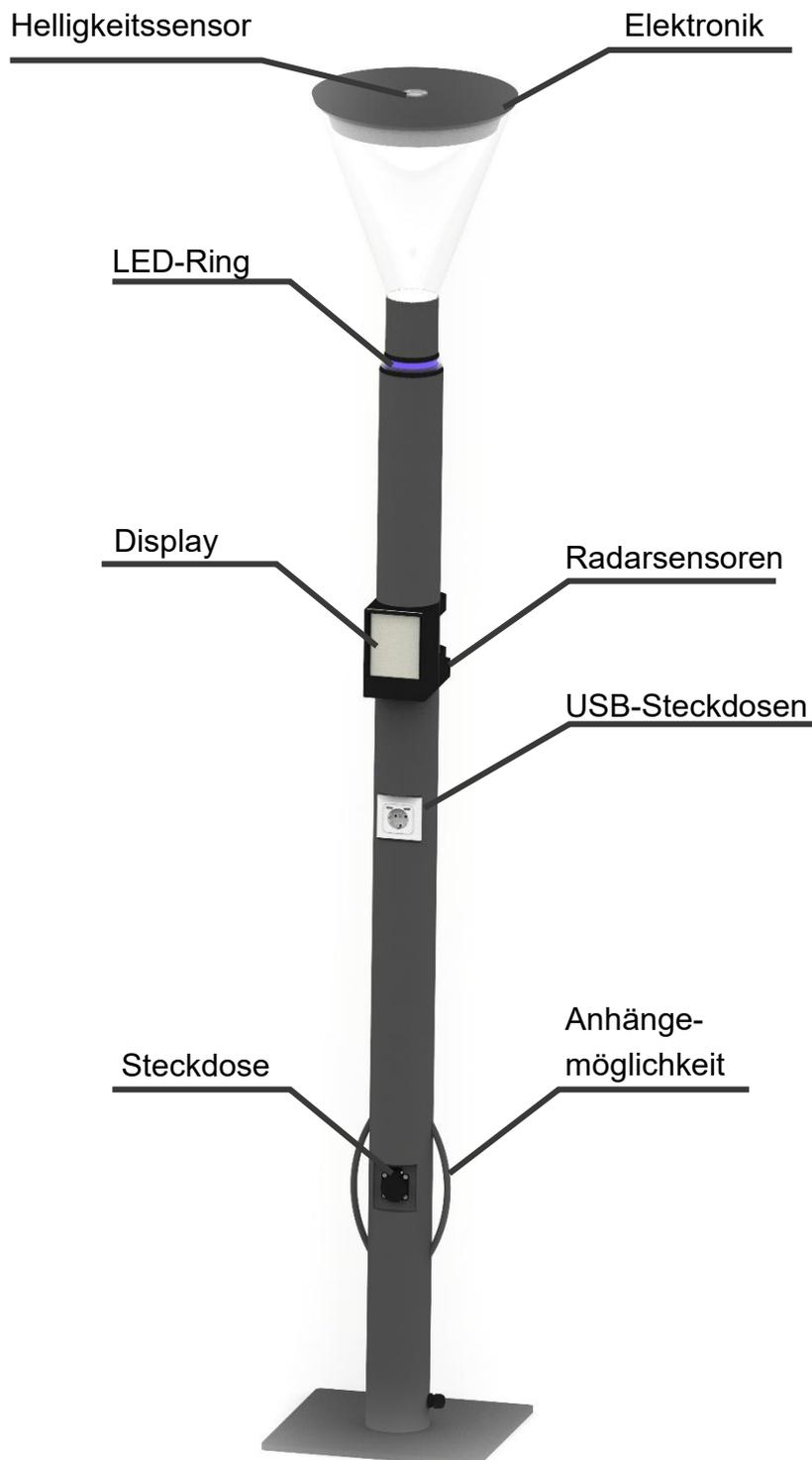


Abbildung 33: smartLantern Übersicht

2.3 Mast

Durch den Hauptsponsor Schrack Technik GmbH wurde Kontakt zum Unternehmen Fonatsch hergestellt. Dieses Unternehmen hat sich auf Masten von Straßenlaternen spezialisiert. Bei ihnen wurde der Mast ALZY20-114-76x150 mit 2m Länge und einem Durchmesser von 114mm als Basis ausgewählt. Zusätzlich wurde eine Konzeptskizze mit Besonderheiten der Masten mitgeschickt.

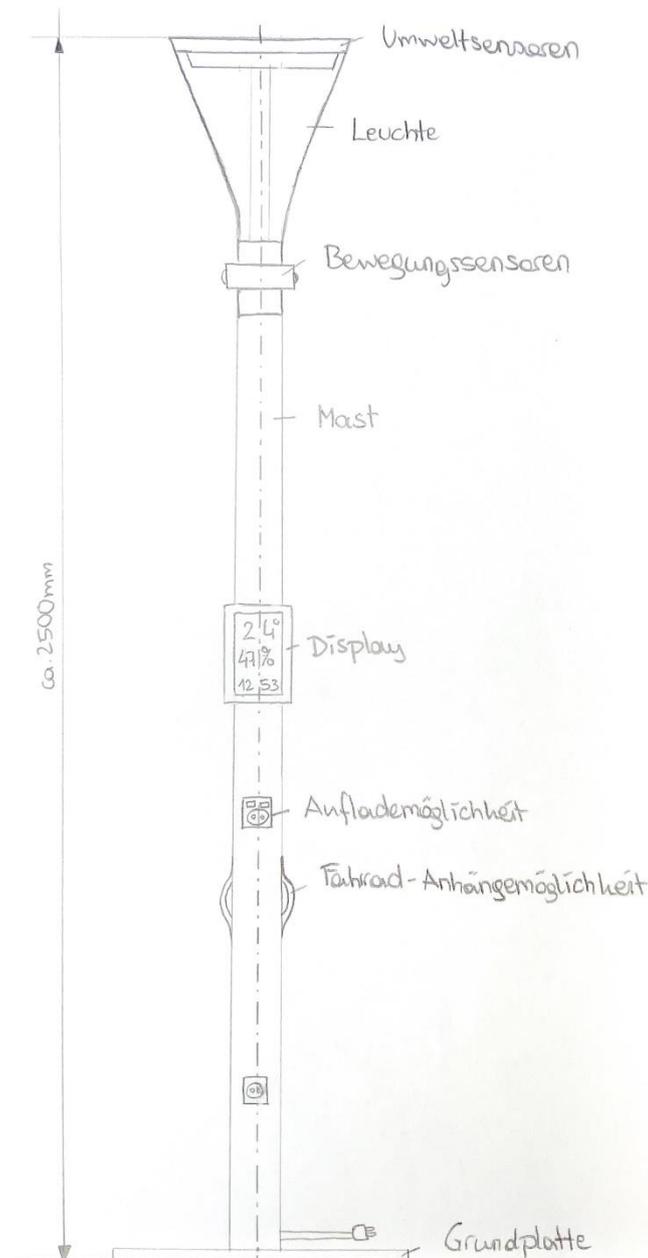


Abbildung 34: smartLantern Konzeptskizze

Die Masten wurden bei Fonatsch in Auftrag gegeben. Der Auftrag enthielt drei Masten: Der erste Mast wurde mit zwei eingebauten Steckdosen, zwei Fahrradanhängemöglichkeiten, einer Kabelverschraubung und der Grundplatte bestellt. Die beiden Nebenmasten wurden ohne Steckdosen, aber mit den anderen Extras, wie den Fahrradanhängemöglichkeiten, der Kabelverschraubung und der Grundplatte bestellt.

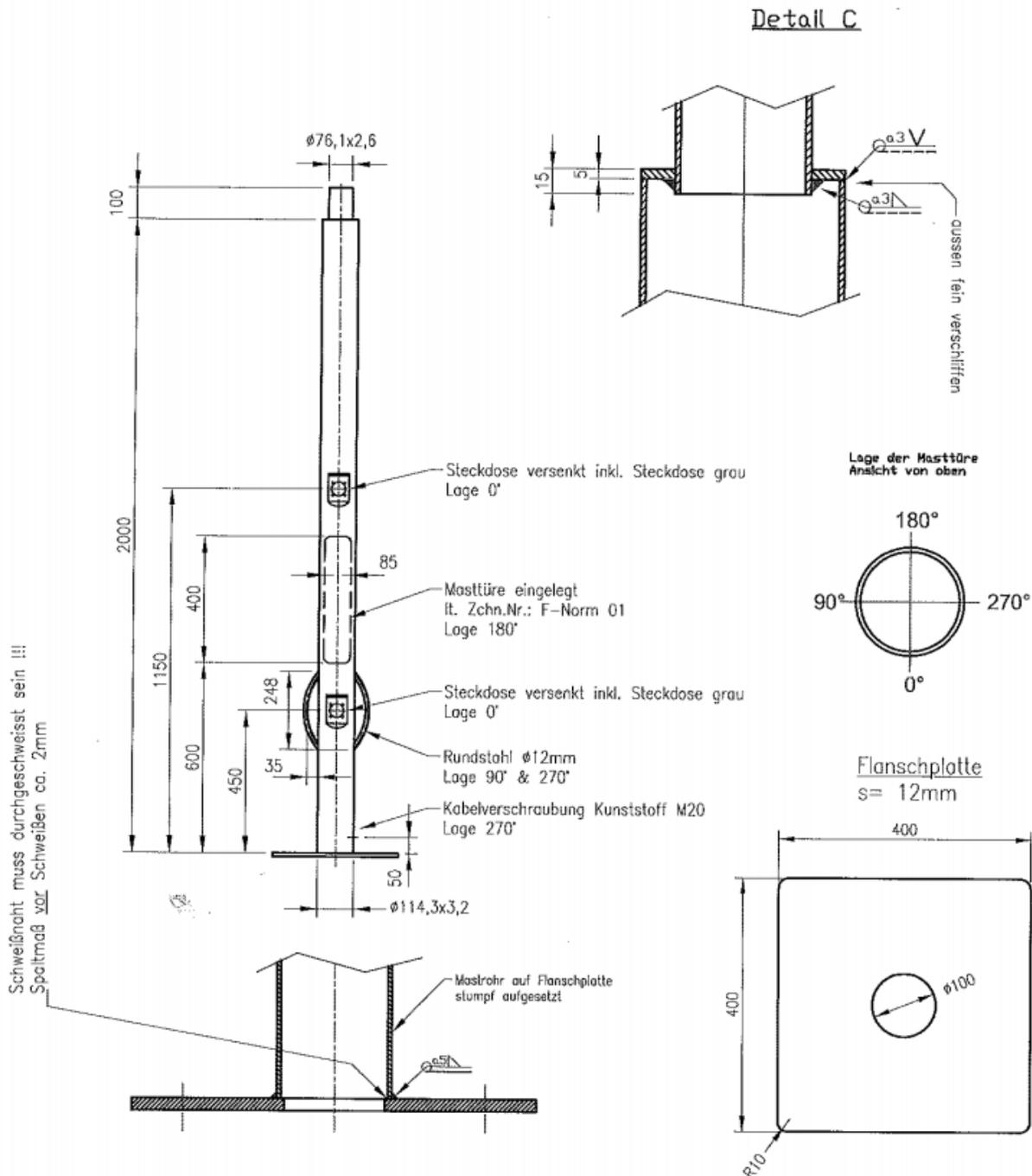


Abbildung 35: Werkstattzeichnung von Fonatsch

Da die Masten feuerverzinkt geliefert wurden und somit farblich nicht zu den Leuchten passten, wurden die Masten zuerst angeschliffen und danach mit einem Salmiak-Geist Reinigungsmittel gereinigt. Dies diente dazu die Zinksalze zu entfernen, denn diese können die Bindungsmittel im Lack angreifen und zerstören. Daraufhin würde der Lack nicht richtig haften und im schlimmsten Fall abblättern. Weiters wurde ein Spezial-Haftgrund in der Farbe Weiß flächendeckend auf alle drei Masten aufgetragen. Die Grundierung wurde zwei Mal durchgeführt, mit einem Trocknungsabstand von jeweils 6 Stunden. Danach wurde der Metallschutz-Lack in Anthrazitgrau drei Mal aufgetragen, mit einem Trocknungsabstand von jeweils 5 Stunden.



Abbildung 36: Lackierungsstufen [38] [39] [40] [42]

2.3.1 Grundplatte

Die Grundplatte besteht aus einer 400x400x12mm großen stahlverzinkten Platte und wiegt in etwa 15 Kilogramm. Bei dieser wurden die Ecken mit einem 10mm Radius abgerundet, um spitze Kanten zu vermeiden. In der Mitte der Grundplatte befindet sich ein Loch mit einem Durchmesser von 100mm, welches dazu dient den Masten besser an die Grundplatte anschweißen zu können. Die Grundplatte wurde von der Firma Fonatsch hergestellt und an den Masten geschweißt.

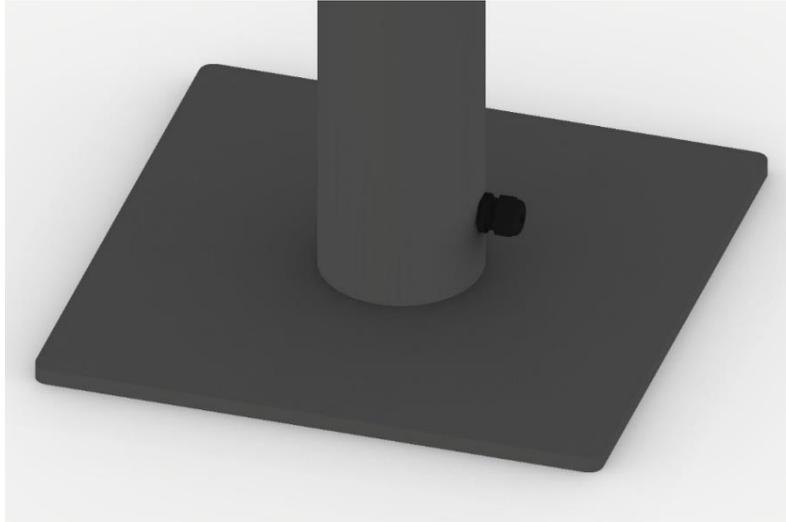


Abbildung 37: Grundplatte

2.3.2 Fahrradanhängemöglichkeit

Für die Fahrradanhängemöglichkeiten wurden zwei 12mm Rundstahlstangen verwendet. Diese wurde anschließend ebenfalls von der Firma Fonatsch zurechtgebogen und auf einer Höhe von 450mm an den Masten geschweißt.



Abbildung 38: Fahrradanhängemöglichkeit

2.3.3 Steckdosen

In den Mast der Hauptlaterne wurden zwei Steckdosen verbaut. Die untere Steckdose befindet sich auf einer Höhe von 450mm und ist mit einer Klappe spritzwassergeschützt. Die zweite Steckdose befindet sich auf einer Höhe von 1150mm. Bei der oberen Steckdose handelt es sich um eine Haushaltssteckdose mit zwei zusätzlichen USB-Steckern. Die Öffnungen der Steckdosen im Mast wurden von der Firma Fonatsch vorbereitet, die untere Steckdose musste nur noch eingebaut werden. Bei der oberen Steckdose musste das Loch für die Steckdose größer geschnitten werden und es mussten neue M4 Gewindelöcher gebohrt werden, da darin eine Steckdose mit zusätzlichen USB-Ladestellen eingebaut wurde.



Abbildung 39: Spritzwassergeschützte Steckdose



Abbildung 40: USB-Steckdose

2.3.4 Montageschiene

In die Masten wurde zusätzlich eine Montageschiene verbaut. Diese dient dazu die LS-FI Kombinationssicherung zu befestigen. Die Montageschiene wurde mit einer M6 Schraube an eine bereits vorhandene Schiene angeschraubt.



Abbildung 41: Montageschiene

2.3.5 Kabelverschraubung

Da ein Kabel in die Masten führen musste, wurde eine wasserdichte M20 Kabelverschraubung eingebaut. Dafür wurde seitlich in den Masten ein M20 Gewinde gebohrt, um dann die Kabelverschraubung zu befestigen.

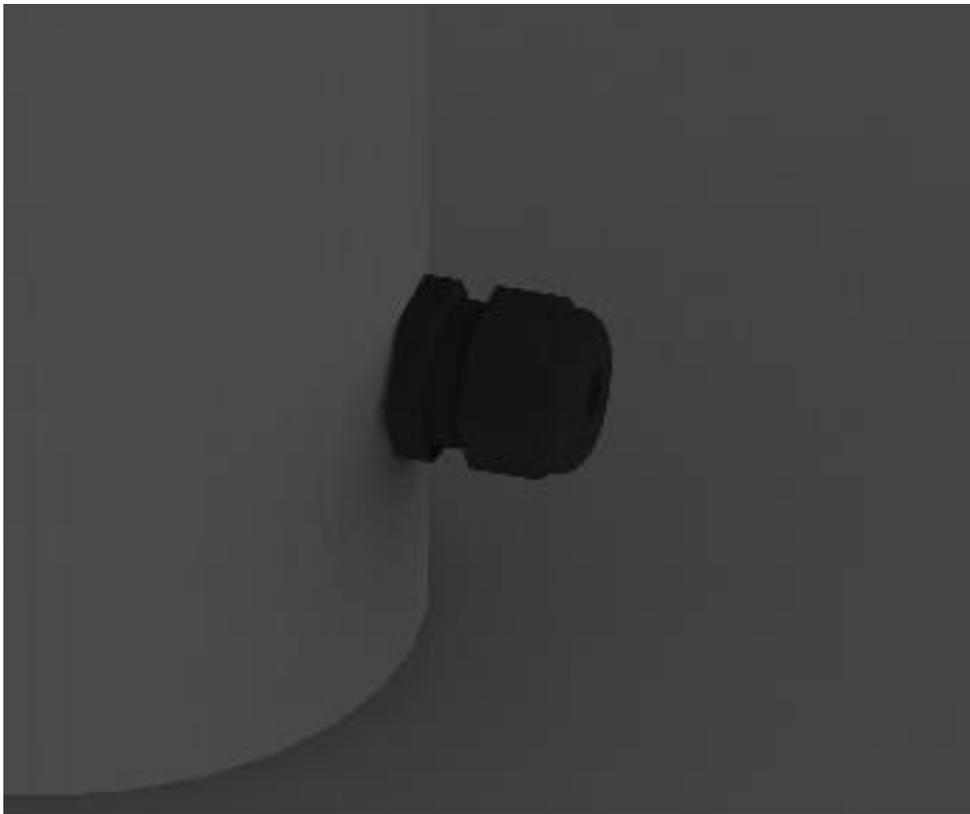


Abbildung 42: Kabelverschraubung

2.3.6 Bohrungen Display- und Radarsensorhalterung

Für die Displayhalterung und die Radarsensoren mussten 10mm Löcher in den Masten gebohrt werden, um die Schrauben und Kabel durch den Mast führen zu können.



Abbildung 43: Bohrungen im Mast

2.4 Leuchte

Die Leuchten wurden bei dem Unternehmen LUG Light Factory bestellt. Alle drei Leuchten wurden mit einem Lochblech ausgestattet, an diesen Lochblechen wurden alle Elektronischenbauteile befestigt. Um das Lochblech in den Leuchten zu befestigen, wurden M4 Zylinderkopfschrauben verwendet. Dazu wurden in die Leuchte M4 Gewindebohrungen gebohrt.



Abbildung 44: Gewindebohrungen in der Leuchte

Zusätzlich wurden zwei Löcher in die Hauptleuchte gebohrt, um die Luftzufuhr für den Lüftungsraum zu gewährleisten.

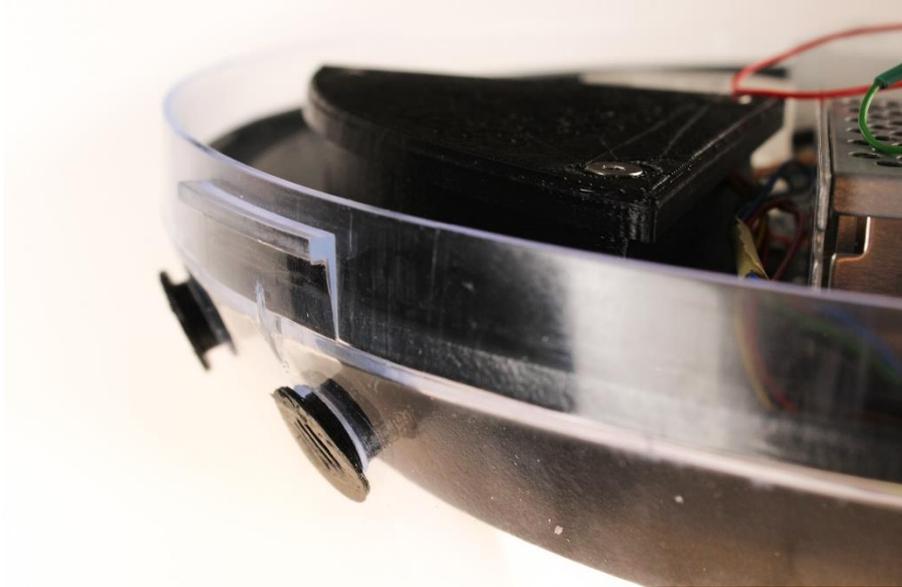


Abbildung 45: Lüftungsbohrungen

Für den Helligkeitssensor wurde ebenfalls in den Deckel der Hauptleuchte ein 25mm große Öffnung gebohrt. Zusätzlich wurden drei M4 Durchgangslöcher gebohrt, um das Plexiglas und das Gehäuse des Helligkeitssensor zu befestigen.



Abbildung 46: Helligkeitsbohrungen

2.4.1.1 Lochblech

Um alle Bauteile in der Leuchte befestigen zu können wurde ein Edelstahl Lochblech mit einem Durchmesser von 280mm angefertigt und in die Leuchte verbaut. Das Lochblech hat eine Dicke von 0,7mm. Des Weiteren wurde in der Mitte ein 60mm großes Loch geschnitten, um die Kabel der Laterne ohne Probleme durchführen zu können. Für die Hauptlaterne musste ein Teil vom Lochblech für den Lüftungsraum weggeschnitten werden.



Abbildung 47: Lochblech

2.4.1.2 Abstandhalter Lochblech

Da das Lochblech nicht auf einer Ebene auflag mussten Abstandhalter 3D gedruckt werden. Für die Abstandhalter wurde das Filament PLA verwendet, da dieses Material günstig und einfach im Drucken ist. Außerdem sind die Abstandhalter keinen Witterungen ausgesetzt und werden nicht stark beansprucht, weshalb das Material perfekt dafür geeignet ist. Zusätzlich wurden Abstandhalter gedruckt, um einen Abstand zwischen dem Lochblech und der Platine zu schaffen, womit ein Kurzschluss zwischen den beiden verhindert wird.

2.4.1.3 Schraube

In der gesamten Leuchte wurden M4x25 Edelstahl Zylinderkopfschrauben verbaut, da fast alle Schrauben zu lang waren, mussten sie auf die benötigten Längen gekürzt werden.

2.4.2 Lüftungsraum

Da in der Leuchte Netzgeräte verbaut wurden und diese die Laterne aufwärmen, wurde für den Temperatursensor und den Feinstaubsensor ein eigener Lüftungsraum konstruiert. In diesem Lüftungsraum ist ein 40x40x10mm Lüfter verbaut, welcher die Außenluft über einen Gang einzieht und dann durch den Feinstaubsensor zu dem Temperatursensor führt. Danach wird die Luft über einen weiteren Gang wieder aus der Leuchte hinausgeführt. Um die Sensoren und den Lüfter einzubauen wurde der Raum mit einem abnehmbaren Deckel konstruiert. Weiters wurden Löcher für Gewindeeinsätze eingeplant, um den Deckel mit dem Lüftungsraum zu verschrauben. Um die Kabel für die Sensoren und den Lüfter aus dem Lüftungsraum zu führen, wurden auf der Seite des Raumes Bohrungen eingeplant. Der gesamte Lüftungsraum liegt am Boden des inneren der Leuchte auf und wurde mit sechs M4x25 Schrauben und Muttern mit der Lochplatte verbunden. Auf der Vorderseite des Bauteiles wurden zwei 12mm Bohrungen eingeplant, um die Verbindungsstücke einbauen zu können. Der Lüftungsraum und der dazugehörige Deckel wurden beide aus PLA Filament gedruckt.

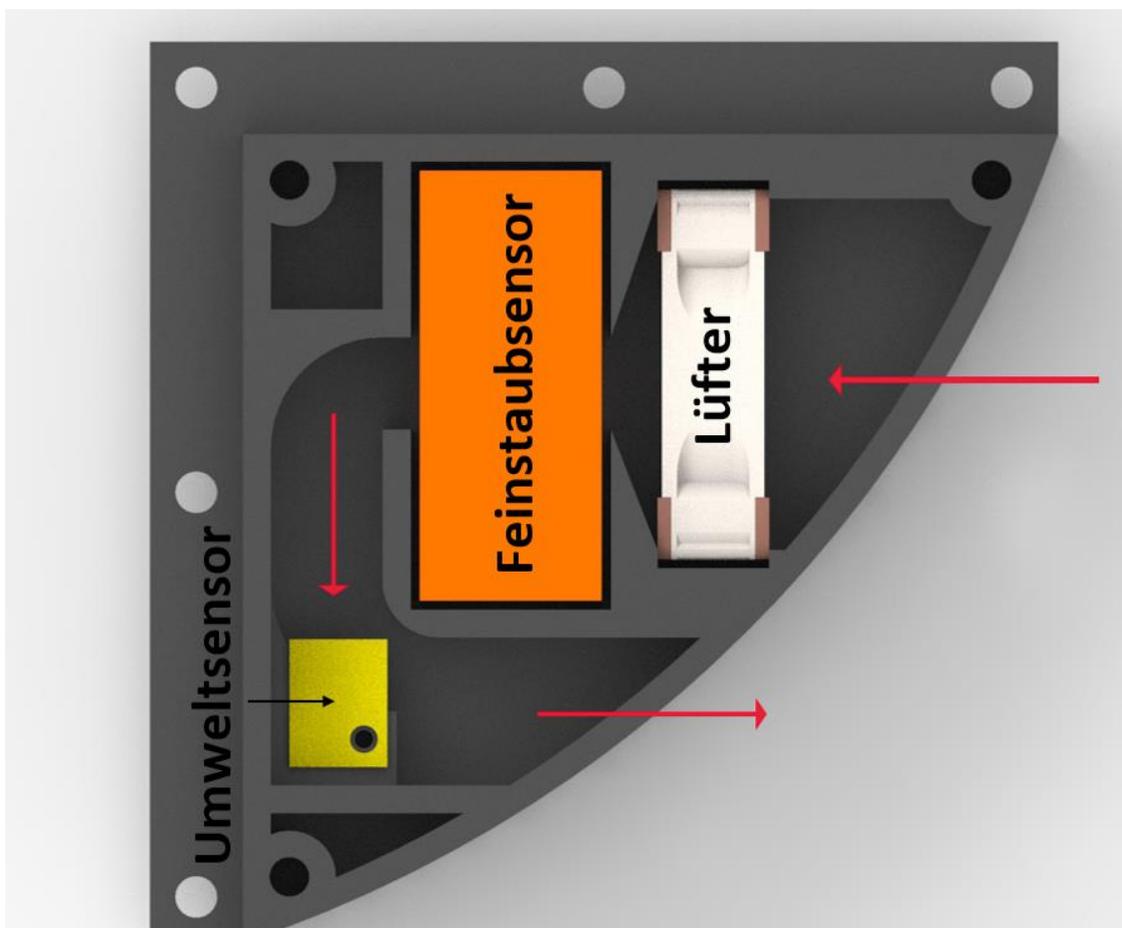


Abbildung 48: Lüftungsraum

2.4.2.1 Lüftungsraumdeckel

Der Lüftungsraumdeckel wurde konstruiert, um den Lüftungsraum so gut wie möglich abzudichten. Dafür wurde eine überstehende Kante am Bauteil eingeplant. Zusätzlich wurden im 3D gedrucktem Teil Senkungen für die M4x10 Edelstahl Senkkopfschrauben vorgesehen.

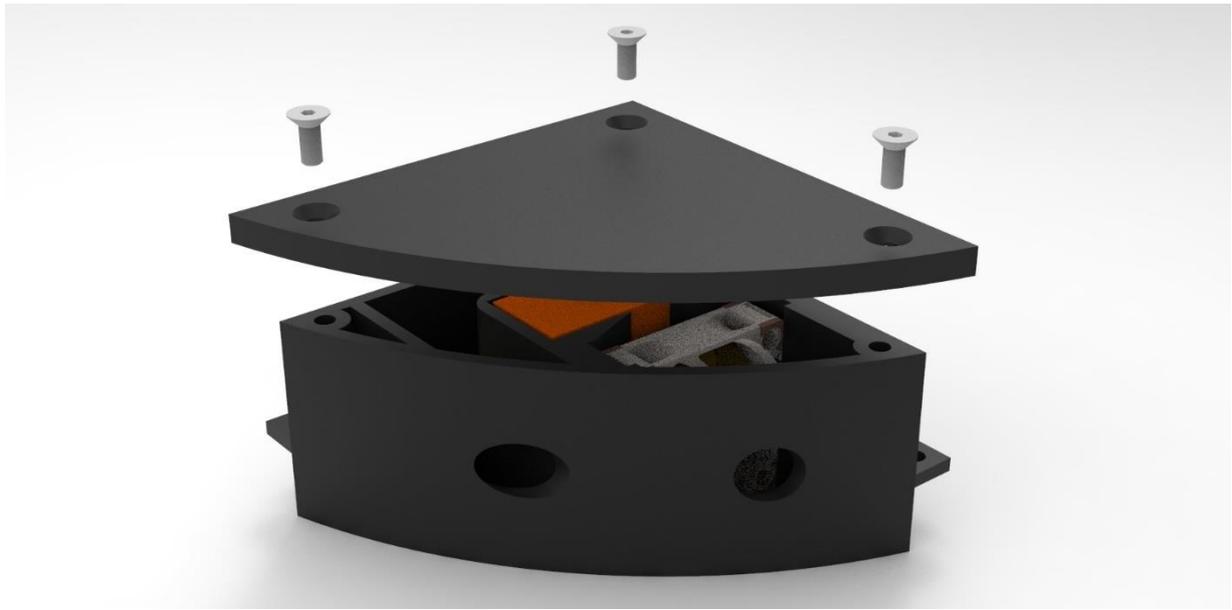


Abbildung 49: Lüftungsraumdeckel

2.4.2.2 Verbindungsstücke

Der Lüftungsraum musste vom Inneren der Laterne mit dem Äußeren der Laterne verbunden werden. Hierfür wurde ein Verbindungsstück aus flexiblem TPU (Thermoplastisches Polyurethan) Filament verwendet, da die gebohrten Löcher durch etwaige Abweichungen nicht zuverlässig durch ein steifes Verbindungsstück mit dem Lüftungsraum verbunden werden konnten.



Abbildung 50: Verbindungsstück

2.4.3 Helligkeitssensor

Für den Helligkeitssensor wurde eine Halterung aus PLA gedruckt. In diese Halterung wurden drei M4 Gewindeeinsätze verbaut. Durch drei M4x10 Edelstahl Senkkopfschrauben wird die Halterung mit dem Leuchten Deckel und dem Plexiglas verschraubt.

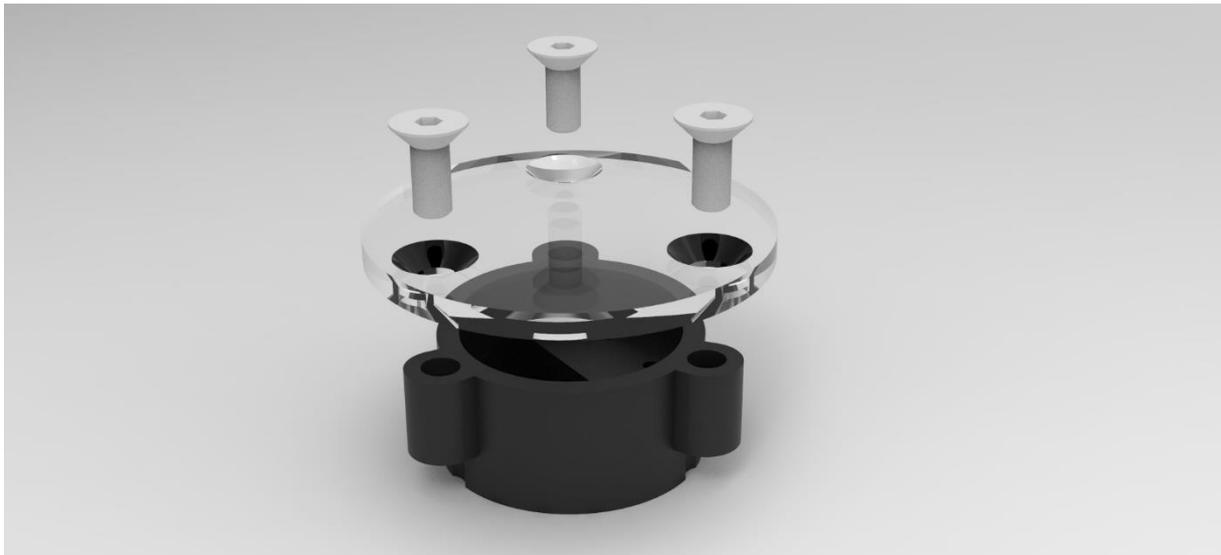


Abbildung 51: Helligkeitssensor

2.4.3.1 Plexiglas

Das Plexiglas für den Helligkeitssensor hat einen Durchmesser von 45mm und wird mit drei Senkkopfschrauben mit der Halterung für den Helligkeitssensor verbunden. Für die Senkkopfschrauben wurden in das Plexiglas drei Bohrungen und Senkungen gebohrt.



Abbildung 52: Plexiglas für Lichtsensor

2.4.4 Display- und Radarsensorhalterung

Die Displayhalterung und Radarsensorhalterung wurden mit dem Material ASA gedruckt. Dieses Material hat die Besonderheiten UV-beständig zu sein und zusätzlich eine hohe Temperaturbeständigkeit, Schlag- und Verschleißfestigkeit und ist deshalb perfekt für den Außenbereich geeignet.



Abbildung 53: Display- und Radarsensorhalterung

2.4.4.1 Vorderteil für Display und Radarsensor

Im vorderen Teil der Halterung wurde das Display, das Plexiglas, der ESP und ein Radarsensor verbaut. Für das Display wurde im 3D gedrucktem Teil ein Schlitz mit den Maßen 106x4x129mm eingeplant, um den E-Paper Bildschirm von oben hineinzuführen. Der Radarsensor wurde unter dem Display in einem zusätzlichen Raum verbaut, in welchem sich zwei diagonal angeordnete M4 Gewindeeinsätze befinden, um die Platine des Radarsensors in dem 3D gedruckten Bauteil zu befestigen. Für die Befestigen der Platine wurde zwei M4x10 Edelstahl Zylinderkopfschraube verbaut. Der ESP und die Verkabelung des Displays und des Radarsensors wurden hinter dem Display eingebaut. Zusätzlich wurden vier M8 Gewindeeinsätze in das Bauteil verbaut, welche dazu dienen das Bauteil mit den M8x125mm Edelstahl Zylinderkopfschrauben zu befestigen.

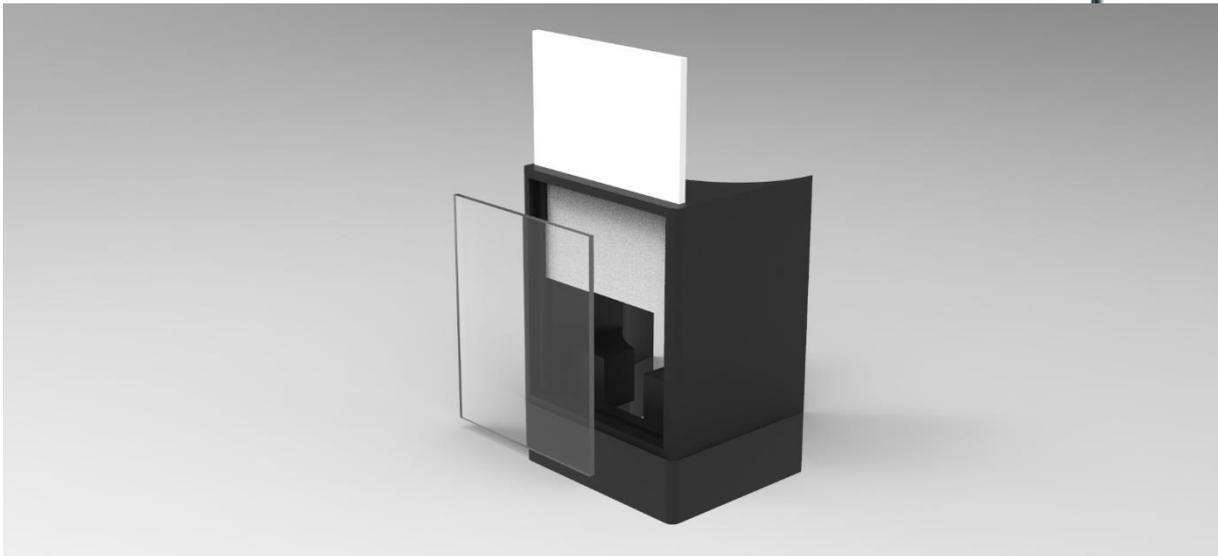


Abbildung 54: Vorderteil für Display und Radarsensor

2.4.4.2 Rückseite des Radarsensors

Der zweite Radarsensor wurde auf der Rückseite der smartLantern angebracht. Dafür wurde eine Halterung 3D gedruckt, in welcher sich ebenfalls zwei M4 Gewindeeinsätze befinden. Die Platine wurde wie bereits im Vorderteil mit zwei M4x10 Edelstahl Zylinderkopfschraube angeschraubt. Durch die Radarsensorhalterung werden die M8x125mm Schrauben geschraubt, weshalb im Bauteil ein Durchgangsloch und eine Senkung für die Zylinderkopfschraube eingeplant wurde.

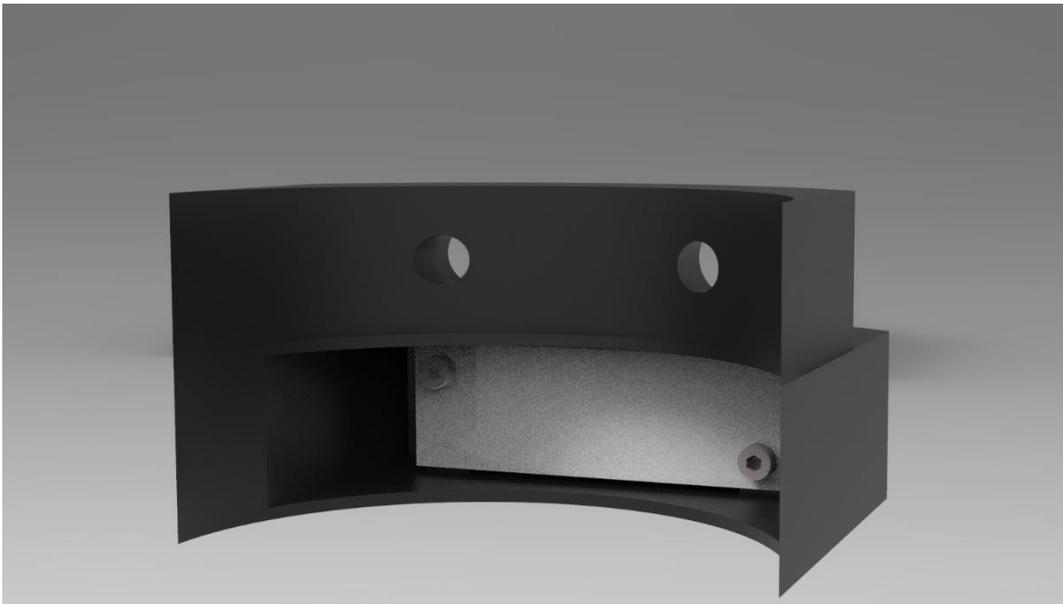


Abbildung 55: Rückseite des Radarsensors

2.4.4.3 Rückseite der Displayhalterung

Für den hinteren oberen Teil der Befestigung der Displayhalterung wurde ebenfalls ein Bauteil mit einem Durchgangsloch und einer Senkung für die Zylinderkopfschraube gedruckt.

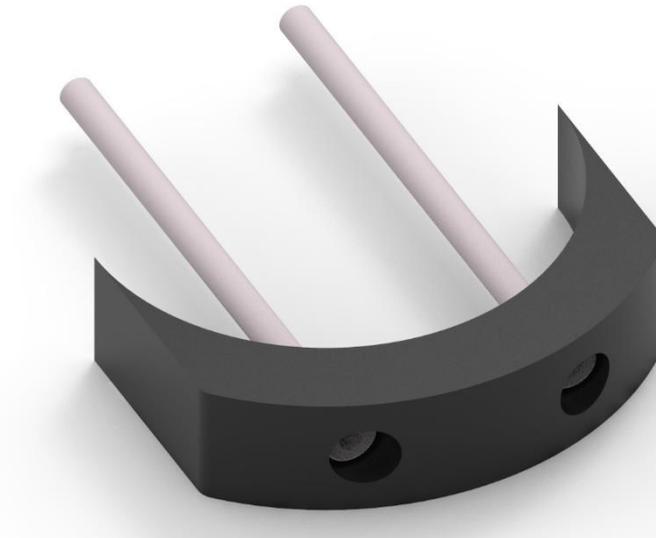


Abbildung 56: Rückseite der Displayhalterung

2.4.4.4 Plexiglas

Um das Display zu schützen, wurde eine Plexiglas Scheibe mit den Maßen 100x3x120mm angefertigt. Dieses Plexiglas wurde dann mit Superkleber in die dafür vorgesehene Vertiefung geklebt.



Abbildung 57: Display Plexiglas

2.4.5 Verbindungsstück Mast und Leuchte

Da die smartLantern keinen nahtlosen Übergang zwischen Masten und Leuchte hatte wurde ein Zwischenstück mit LEDs angefertigt. Dazu wurde das Bauteil mit dem Material ASA gedruckt.

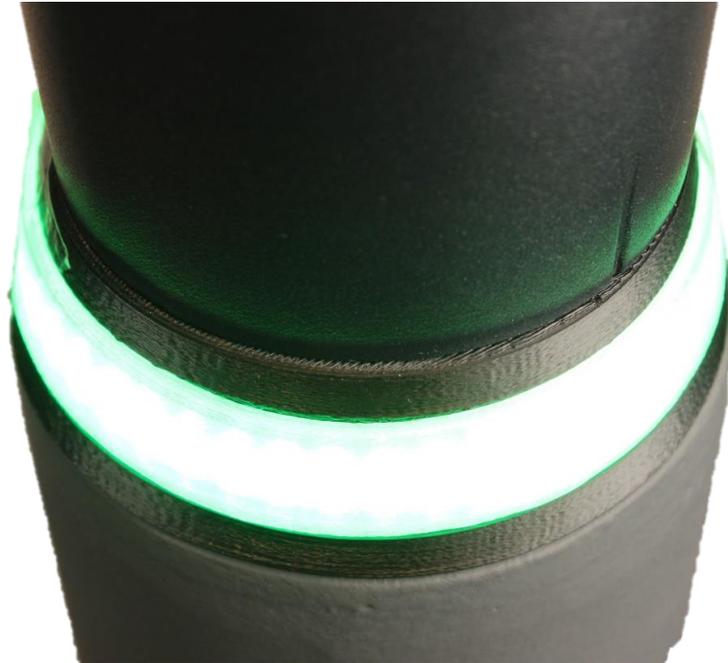


Abbildung 58: Verbindungsstück

2.4.5.1 Diffuse Abdeckung

Um die einzelnen LEDs zu einer leuchtenden Fläche zu machen, wurde ein Bauteil aus transparentem PLA gedruckt. Durch dieses Bauteil werden die LEDs abgedeckt und es wird eine diffuse Optik erzeugt.



Abbildung 59: Diffuse Abdeckung

2.5 Fertigung

2.5.1 3D-Druck

2.5.1.1 Modellierung

Der erste Schritt zu einem erfolgreichen 3D-Druck ist die richtige Modellierung des zu druckenden Bauteils. Dafür wurde das CAD-Programm Creo 7 verwendet. Nachdem das benötigte Bauteil konstruiert worden ist, muss es in eine Stereolithografie Datei, kurz STL, umgewandelt werden, um weiter verwendet werden zu können.

Beim Export der STL Datei muss die Genauigkeit des Exportes angepasst werden, damit der 3D Drucker auch Rundungen exakt drucken kann. Dabei wurde bei allen 3D gedruckten Bauteilen eine Genauigkeit der Sehnenhöhe von 0.01 und einer Winkelsteuerung von 0.005 eingestellt, diese Werte sind Erfahrungswerte.

2.5.1.2 Slicing

Nachdem die Creo Datei richtig exportiert wurde, kann das Teil gesliced werden, was in dem Fall mit dem Programm Cura 4.8.0 durchgeführt worden ist. Beim Slicen geht es darum, die STL Datei, unter Angabe der gewünschten Parameter für den Druck, in Maschinencode, auch G-Code genannt, umzuwandeln.

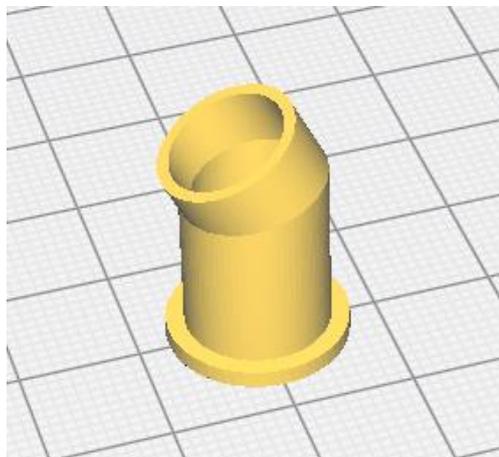


Abbildung 61: Cura 4.8.0



Abbildung 60: STL-Export

2.5.1.3 3D-Druck Verfahren

Danach wird der G-Code auf eine Mikro-SD Karte geladen und auf den 3D-Drucker gespielt. Zum Drucken aller Teile wurde ein Fused Deposition Modeling 3D-Drucker verwendet, welcher das Material mit einer Nozzle erhitzt und auf die Build plate aufträgt.

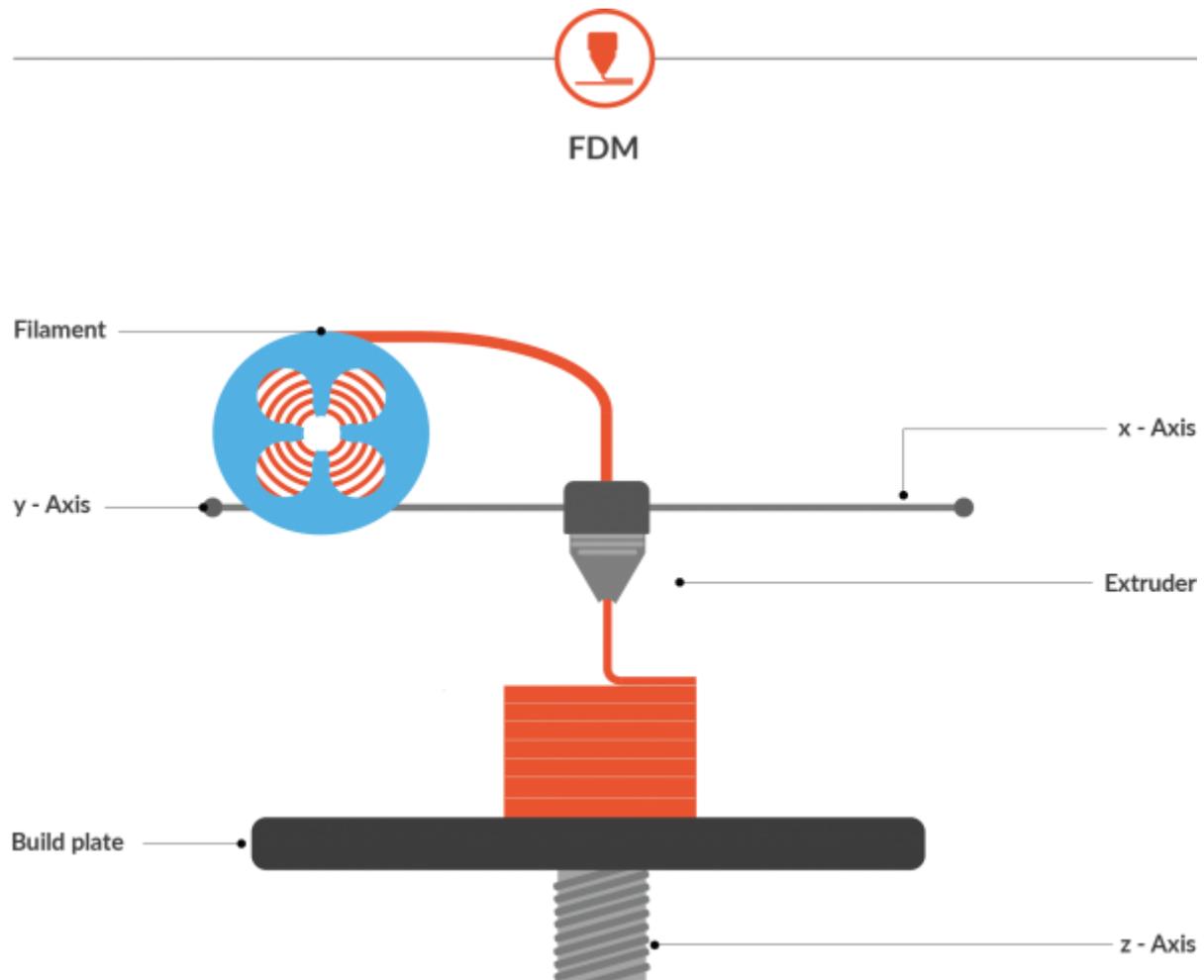


Abbildung 62: FDM 3D-Druck [7]

2.5.1.4 Druckdauer

Um alle 3D gedruckten Bauteile zu drucken, die in der smartLantern verbaut wurden, wurde eine Zeit von 70,5 Stunden benötigt und gesamt 777g Material verdruckt, davon wurden 129g PLA, 6g flexiblem TPU, 564g ASA und 78g transparenten PLA verdruckt.

Zusätzlich wurden einige Testdrucke gedruckt, wenn man diese zu den verbauten Bauteilen rechnet, ergibt das eine gesamt Druckzeit von 121 Stunden und gesamt Gewicht von 1332g.

Bauteil	Material	Anzahl	Gesamt Gewicht in Gramm	Gesamte Druckdauer in Stunden
Helligkeitssensor	PLA Schwarz	1	7	0,72
Abstandhalter Lochblech	PLA Schwarz	6	6	0,50
Abstandhalter Platine	PLA Schwarz	12	12	1,00
Lüftungsraum	PLA Schwarz	1	76	7,80
Lüftungsraumdeckel	PLA Schwarz	1	28	2,82
Lüftungsraumverbindungen	TPU Flexibel	2	6	0,73
Verbindungsstück Mast/Leuchte	ASA Schwarz	3	174	15,35
Diffusor	PLA Transparent	6	78	7,70
Displayhalterung vorne	ASA Schwarz	1	244	20,90
Radarsensorhalterung hinten	ASA Schwarz	1	105	9,55
Befestigung oben	ASA Schwarz	1	41	3,43
Gesamt:			777	70,5

Tabelle 17: Druckdauer

3 Elektronik

In den Aufgabenbereich der Elektronik fielen das Auswählen von elektronischen Komponenten, die Verkabelung, das Erstellen von Schaltplänen sowie die Planung und Herstellung von Platinen.

Die smartLantern wird mit Netzspannung (230V / 50Hz) betrieben und ist durch einen LS/FI Kombischutzschalter gesichert. Weiters kann die Elektronik in zwei Bereiche unterteilt werden, einerseits in den Niederspannungskreis (230V), welcher zwei Steckdosen, zwei USB-Steckdosen, ein DALI-Netzgerät und ein Netzgerät (5V DC) enthält. Andererseits kann der Stromkreis für diverse Sensoren und Bauteile, die benötigt werden, um die Laterne zu steuern und Daten zu erfassen, aufgebaut werden. Der Großteil dieser Sensoren ist auf einer Platine verbaut und wird mit 3,3V oder 5V betrieben.

3.1 Übersichts-Blockschaltbild

Die technische Planung begann mit einem Übersichts-Blockschaltbild, um aufzulisten, welche Komponenten verwendet werden und wie diese miteinander verbunden sind: Auf der linken Seite befindet sich die Sensorik, das sind Bauteile, die Daten an den Mikrocontroller weitergeben. Als Mikrocontroller ist der ESP32 in der Mitte des Schaltbildes zu finden. Er empfängt die Daten der Sensorik, verarbeitet diese und gibt sie dann an die Aktorik weiter. Diese wird vom ESP gesteuert und ist auf der rechten Seite zu finden.

Daraus wurde ein detailliertes Blockschaltbild entworfen, wobei die Anschlüsse am ESP32 ausgewählt wurden. Diese mussten im Laufe des Projektes einige Male geändert werden, da Sensoren ausgetauscht wurden, Pins für andere Funktionen verwendet werden mussten oder damit das Platinen-Layout realisiert werden konnte. So konnten kleine Teile des Schaltplans gezeichnet, getestet und in einen gesamten Schaltplan integriert werden. Das machte rasche Anpassungen und Änderungen möglich, da immer nur kleine Teile bearbeitet werden mussten und nicht gleich der komplette Plan neu zu erstellen war. Teile, die für die Platine vorgesehen waren, ließen sich so in einen separaten Schaltplan kopieren. Zur Erstellung der Schaltpläne und der Platinen-Layouts wurde das Programm EAGLE verwendet.

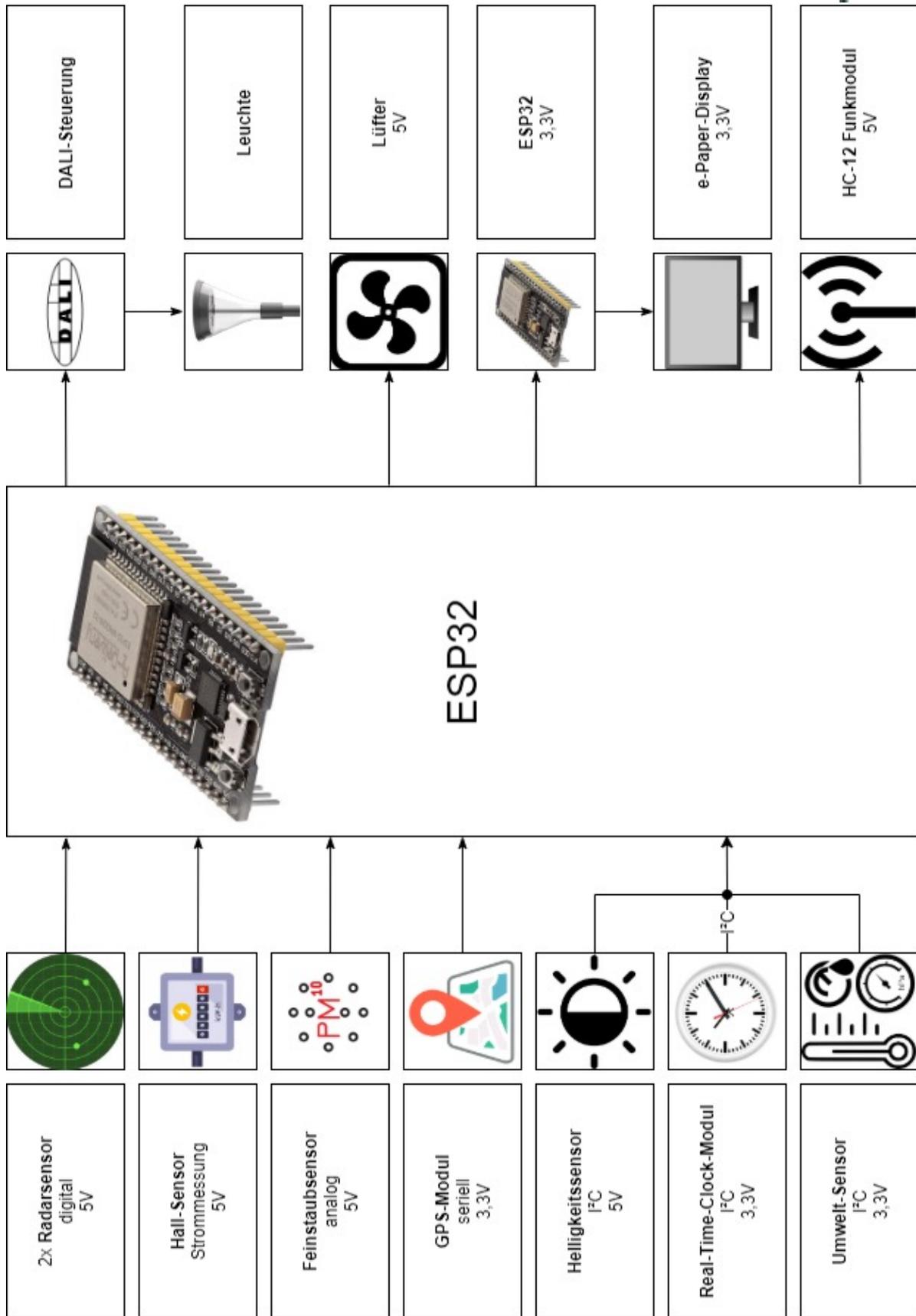


Abbildung 63: Übersichts-Blockschaltbild [29] [49] [50] [51] [52] [53] [54] [55] [56] [57] [58] [59] [60] [61] [62]

3.2 Detailliertes Blockschaltbild

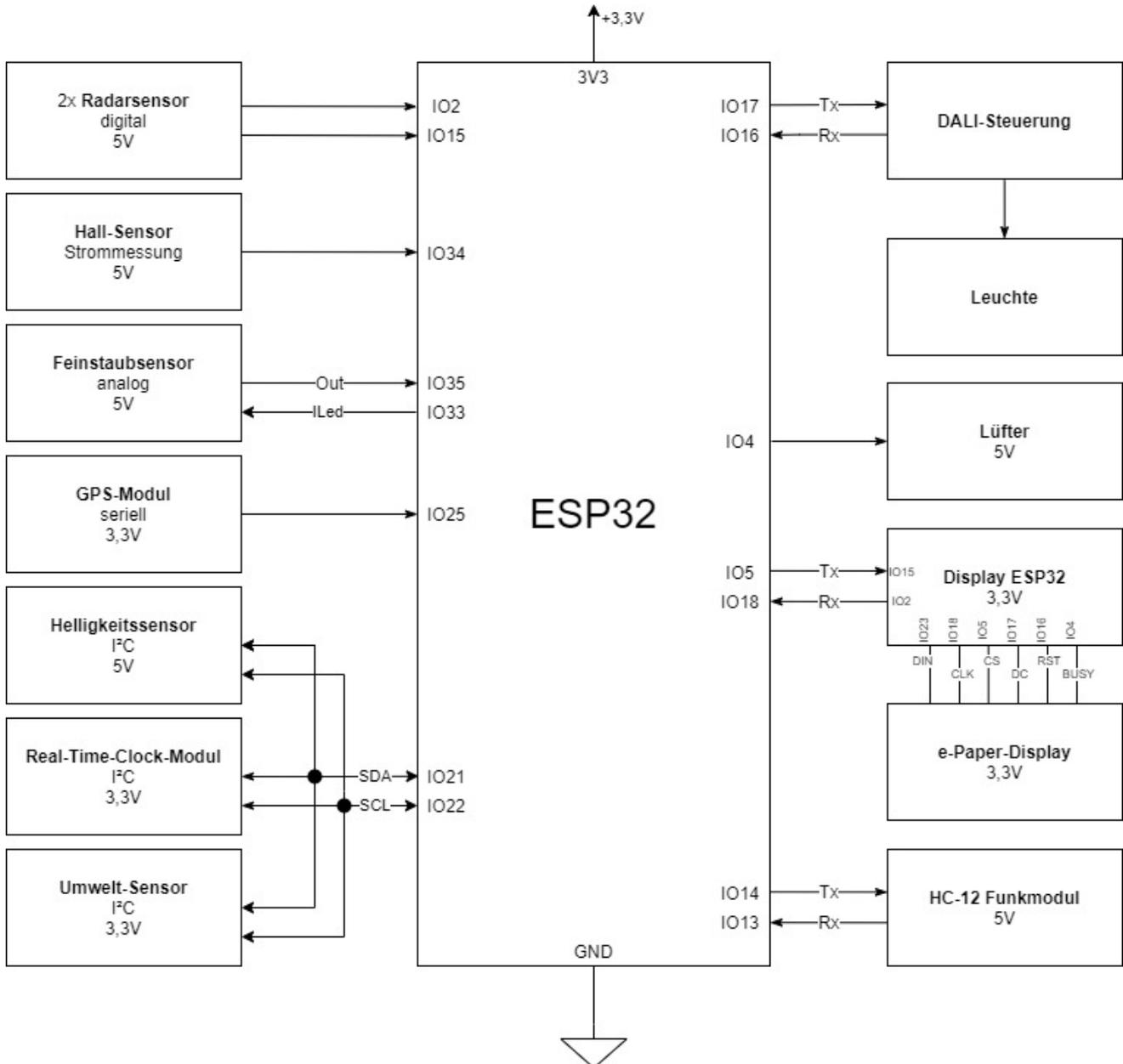


Abbildung 64: Detailliertes Blockschaltbild

3.3 Schaltplan

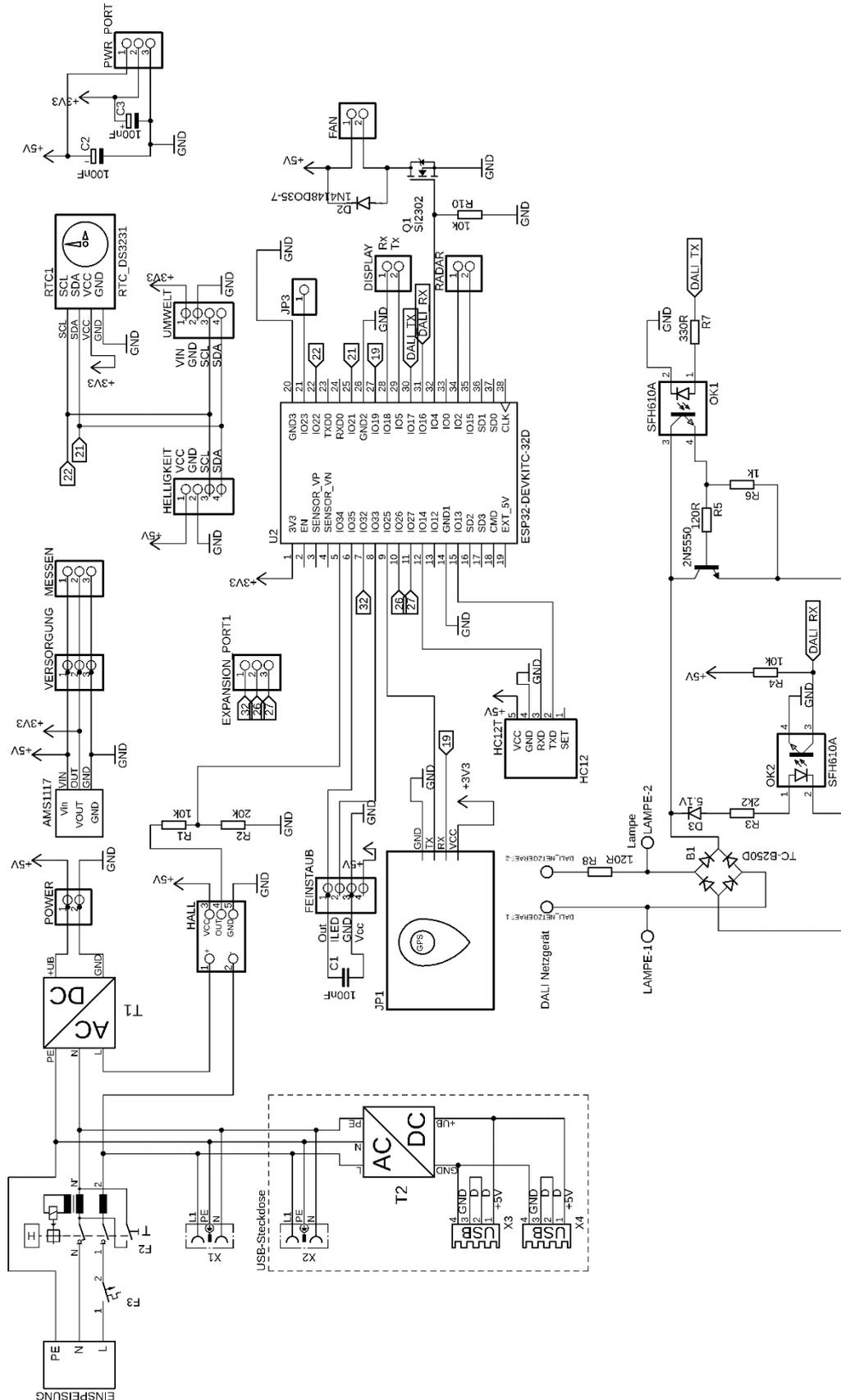


Abbildung 65: Schaltplan

3.4.2 Netzgerät

Das Netzgerät SGS15-5 wird benötigt, um von der Netzspannung AC 230V auf DC 5V herunterzuregeln, da Bauteile wie Helligkeits- und Feinstaubsensor, das HC-12 Funkmodul oder die Radarsensoren mit 5V zu versorgen sind.



Abbildung 68: Netzgerät SGS15-5 [30]

3.4.3 Step-Down-Converter AMS1117

Der AMS1117 ist ein Step-Down-Converter, der eine Eingangsspannung von 4,75V – 12V in eine Ausgangsspannung von 3,3V umwandelt. Für das vorliegende Projekt eignet er sich ideal, da das verwendete Netzgerät eine Ausgangsspannung von 5V hat und einige Bauteile, wie beispielsweise der ESP32, der Umweltsensor BME280 oder das Display mit 3,3V betrieben werden müssen.

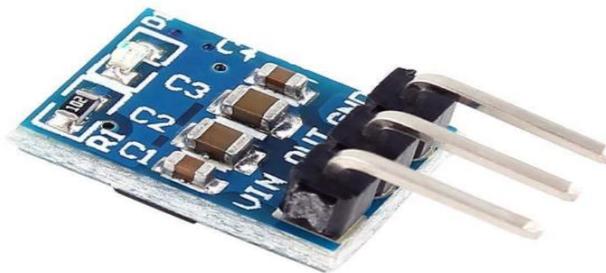


Abbildung 69: Step-Down Converter AMS1117 [32]

3.4.4 Hall-Sensor ACS712

Der Strom-Sensor wird benutzt, um die Stromstärke zu messen, die im Anschluss mit der Spannung multipliziert wird, um die Leistung zu erhalten. Die verbrauchte Leistung wird mit einer „normalen“ Laterne verglichen, um anzeigen zu können, wieviel Energie durch die smartLantern eingespart werden kann. Der gewählte Strom-Sensor hat eine Versorgungsspannung von 5V. Das Messergebnis wird analog über einen Pin übertragen.

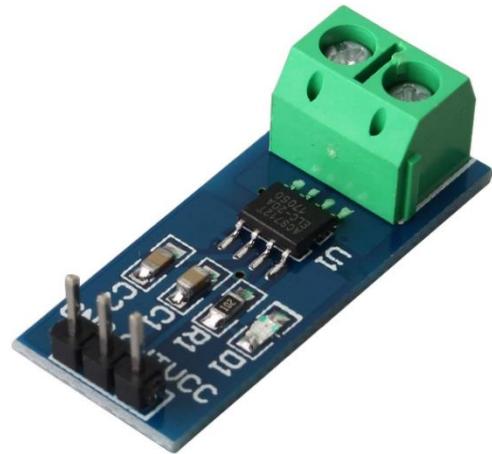


Abbildung 70: Hall-Sensor [28]

analoges Ausgangssignal	gemessene Stromstärke
0 V	-30 A
2,5 V	0 A
5 V	+30 A

Tabelle 18: Hall-Sensor Messwerte

Bei der ersten Inbetriebnahme des Sensors fiel auf, dass auch das Ausgangssignal von 0-5V reicht, der ESP (Mikrocontroller) allerdings nur mit 3,3V arbeitet. Daher musste ein Spannungsteiler gebildet werden. Hierzu werden Präzisionswiderstände (10kΩ und 20kΩ) verwendet, um einen möglichst genauen Spannungsabfall zu realisieren, da sich ansonsten durch die Analog-Digital-Wandlung falsche Werte ergeben.

Zu Testzwecken wurde ein Netzgerät kurzgeschlossen, um mittels der Strombegrenzung einstellen zu können wie viel Strom durch den Hall-Sensor fließt. Die Ausgangsspannung wurde sowohl mittels eines Multimeters als auch eines Mikrocontrollers gemessen. So ließ sich die analoge Eingangsspannung in der Software auf einen Ampere-Wert umrechnen.

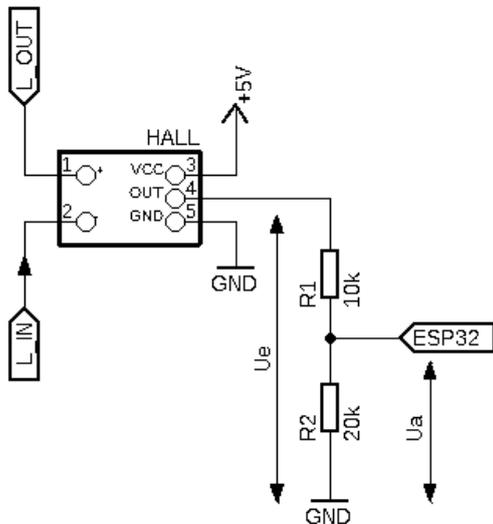


Abbildung 71: Spannungsteiler Hall-Sensor

$$U_e = 5V$$

$$U_a = 3,3V$$

$$R_1 = 10k\Omega$$

$$R_2 = \frac{U_a}{U_e} * R_1$$

$$1 - \frac{U_a}{U_e}$$

$$R_2 = \frac{3,3V}{5V} * 10k\Omega$$

$$1 - \frac{3,3V}{5V} \approx 19k\Omega$$

gewählt: $R_2 = 20k\Omega$

3.4.5 Helligkeitssensor GY-302 BH1750

Da sich die Laterne nur dann anschalten soll, wenn die Umgebungshelligkeit nicht mehr ausreichend ist, wurde der Helligkeitssensor GY-302 BH 1750 verbaut. Dieser misst die Helligkeit in einem Bereich von 0,11 – 100.000 Lux bei einer Schwankungsbreite von +/- 20%. Der Helligkeitssensor besteht aus einer Fotodiode, deren elektrischer Widerstand sinkt, je höher die einfallende Strahlung wird. Die dadurch entstehende Spannung wird in einen Lux-Wert umgewandelt und anschließend mit einem einstellbaren Grenzwert aus der Software verglichen.

Die Betriebsspannung beträgt 5V und die Daten werden mittels I²C-Bus an den ESP-32 weitergegeben. Damit die Messung nicht von der Laterne beeinflusst wird, ist der Helligkeitssensor im Deckel des Leuchtkopfes verbaut.

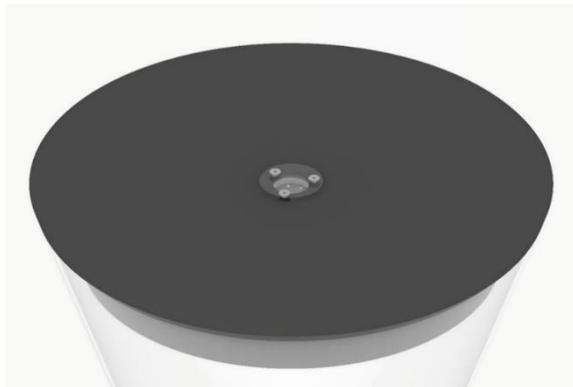


Abbildung 72: Helligkeitssensor Montage

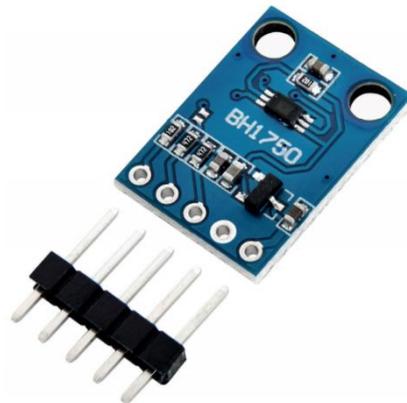


Abbildung 73: Helligkeitssensor [31]

3.4.6 Umweltsensor BME280

Um das urbane Leben in Zukunft umweltfreundlicher gestaltet zu können, sind in den Laternen Sensoren zur Ermittlung diverser Umweltdaten verbaut. Dazu wurde unter anderem auch der Umweltsensor BME280 ausgewählt. Er misst die Temperatur, den Luftdruck und die Luftfeuchtigkeit.

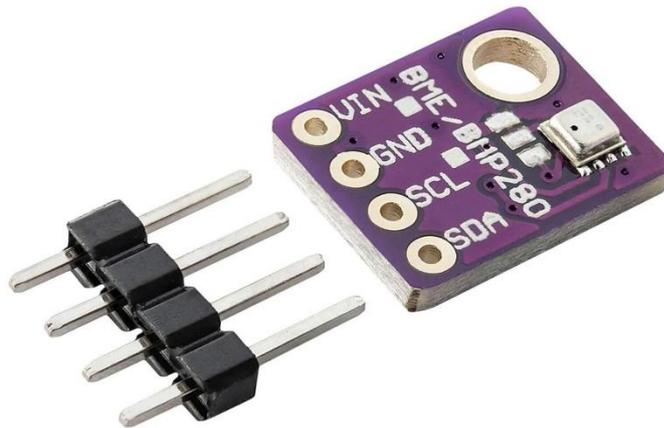


Abbildung 74: Umweltsensor BME280 [47]

Operating Voltage	3.3V
Current Consumption	<1mA
Temperature Range	-40°C to 85°C
Temperature Accuracy	±1.0°C
Pressure Range	300 to 1100 hPa
Pressure Accuracy	±1hPa
Humidity Range	0 to 100% RH
Humidity Accuracy	±3%
Dimensions	9mm x 11mm x 2mm

Tabelle 19: Spezifikationen BME280 [8]

3.4.7 Feinstaubsensor

Die Feinstaubbelastung misst der optische Feinstaubsensor GP2Y1014AU der Firma „Joy-IT“. Optische Messung bedeutet, dass mit Hilfe von Licht die Staubpartikel erfasst werden. Dazu werden eine Infrarot-Leuchtdiode und ein Phototransistor verwendet. Infrarot-LEDs emittieren Licht mit Wellenlängen von 700nm bis 1000nm und sind daher für das menschliche Auge nichtmehr erkennbar. Phototransistoren können jedoch Licht mit einer Wellenlänge bis zu 1100nm messen.



Abbildung 75: Feinstaubsensor [33]

Die untenstehende Abbildung zeigt den schematischen Aufbau und die Funktionsweise des Feinstaubsensors. Von der Infrarot-LED geht ein Licht aus, das von den Partikeln gebrochen wird. Das Streulicht wird dann von dem Phototransistor aufgefangen und gemessen.

Der GP2Y1014AU wird mit 5V betrieben und kann Partikel ab einer Größe von $0,8\mu\text{m}$ erfassen. Die Übertragung der Daten an den ESP erfolgt über eine analoge Schnittstelle.

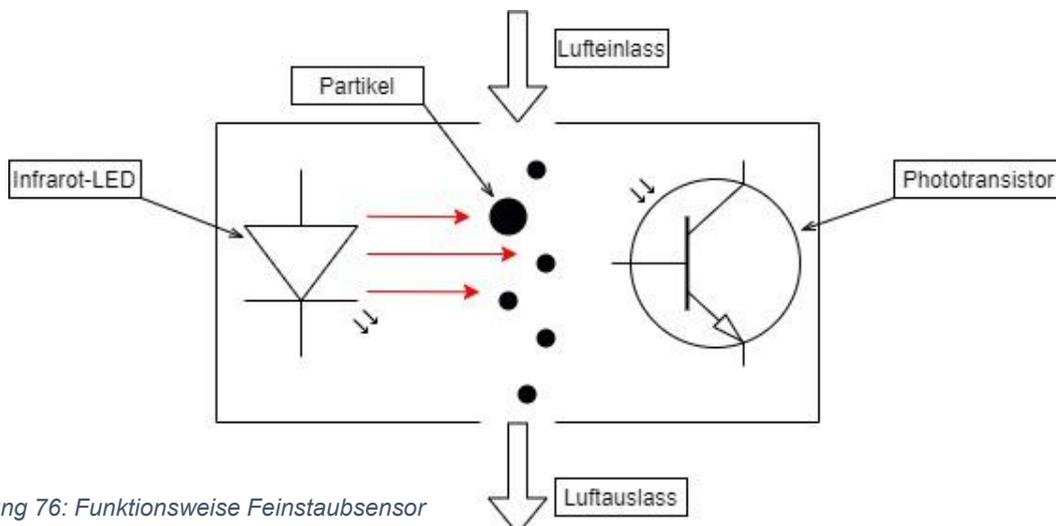


Abbildung 76: Funktionsweise Feinstaubsensor

3.4.8 Lüfter

Damit der Umweltsensor und der Feinstaubsensor immer mit frischer Luft von außerhalb der Laterne versorgt sind, wurde der Lüfter BF-A4x10 FLX der Firma Noctua verbaut. Die Wahl fiel auf dieses Gerät, da es trotz seiner Abmessungen von lediglich 40x40x10mm einen Volumenstrom von 8,2m³/h und die geringe Geräuscentwicklung von 17,9dB aufweist.

Da der Lüfter mit dem ESP angesteuert wird und dieser nur 3,3V statt der notwendigen 5V liefern kann, wird ein n-Kanal MOSFET als Schalter verwendet. Die Wahl fiel auf den Si2302, da einerseits der maximale Drain-Strom mit 2,8A ausreichend ist und andererseits seine Gate-Threshold-Spannung bei 0,65V liegt, wodurch er problemlos vom ESP (3,3V) durchgesteuert werden kann. [9]

Damit der MOSFET nicht durch induzierte Spannungen des Motors zerstört wird, wurde die Freilaufdiode 1N4148 verbaut. Über diese kann im Fall, dass der Transistor sperrt, die Induktionsspannung abgebaut werden.



Abbildung 77: Lüfter [34]

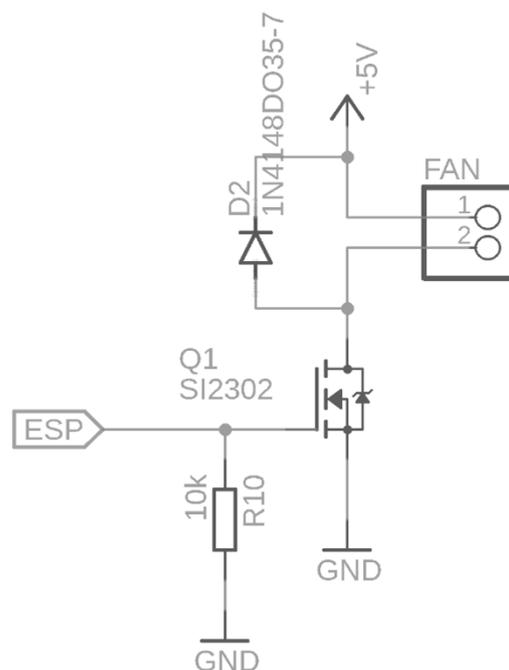


Abbildung 78: Ansteuerung Lüfter

3.4.9 Uhrzeit

Damit die aktuelle Uhrzeit am ePaper-Display angezeigt werden kann, wird eine Kombination aus einem GPS-Modul und einer Real-Time-Clock verwendet. Dazu wird die momentane Uhrzeit vom GPS-Modul abgefragt und an die Real-Time-Clock übergeben. Diese läuft dann, dank Schwingquarz, eigenständig weiter. Deshalb muss die Uhrzeit nur einmal täglich abgerufen werden. Somit wird der Stromverbrauch minimiert. Die Eigenschaften des Quarzes lassen über einen größeren Zeitraum kleine Abweichungen erkennen, unter anderem durch Temperaturunterschiede, weshalb es sinnvoll ist, die Uhrzeit immer wieder mit dem GPS-Modul abzugleichen. Ein weiterer Vorteil dieser Methode ist, dass in dem RTC-Modul eine Knopfatterie verbaut ist, die es möglich macht, die Uhrzeit weiterzuzählen, selbst wenn die Hauptspannungsversorgung unterbrochen wird.

3.4.9.1 GPS-Modul

Das verwendete GPS-Modul GY-GPSV3-NEO-7m besteht aus einer Antenne und dem GPS-Chip NEO-7m der Firma u-blox. Die Betriebsspannung beträgt 3,3V. Die Daten werden über eine UART-Schnittstelle übertragen. Beim Anschließen an dem Mikrocontroller ist zu beachten, dass die Transmit-Data Pins (TxD) und Receive-Data Pins (RxD) gekreuzt werden, da sonst keine Kommunikation möglich ist. Außerdem könnten Probleme auftreten, falls die Masseanschlüsse nicht miteinander verbunden sind.



Abbildung 79: GPS-Sensor [35]

3.4.9.2 RTC-Modul

Als Real-Time-Clock wurde die DS3231 verwendet. Die Kommunikation mit dem ESP32 läuft über einen I²C-Bus, auf dem die RTC die aktuelle Uhrzeit des GPS-Moduls empfängt und bei einer Abfrage des Mikrocontrollers die weitergezählte Uhrzeit zurückliefert. Betrieben wird das Modul mit einer Spannung von 3,3V. Es kann eine CR2032 Lithium-Batterie integriert werden, damit im Fall einer Unterbrechung der Hauptstromversorgung die Uhrzeit trotzdem läuft. Die Knopfzellen aus Lithium-Mangandioxid haben eine Nennspannung von 3V und können damit problemlos die RTC betreiben, da diese eine Mindestspannung von 2,3V hat.

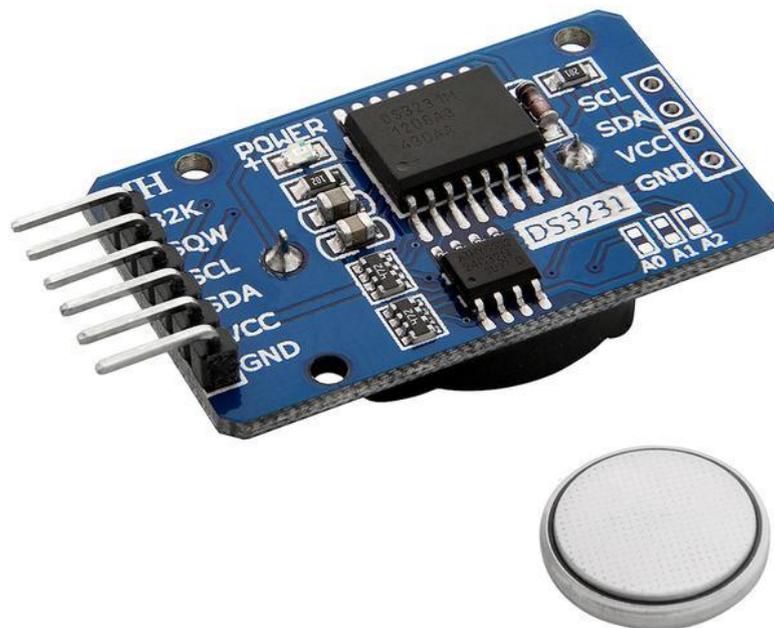


Abbildung 80: Real-Time-Clock [36]

3.4.10 Display

Um die gemessenen Daten gleich an Ort und Stelle auszugeben und dabei auch noch so wenig Energie wie möglich zu verbrauchen, wird ein 5,83inch (14,8cm) e-Paper-Display der Firma Waveshare verwendet. Das Display kann Inhalte mit einer Auflösung von 600x448 Pixeln in den Farben Schwarz oder Weiß darstellen. Der große Vorteil von e-Paper-Displays ist, dass sie nur dann eine dauerhafte Spannungsversorgung benötigen, wenn eine Veränderung der Anzeige stattfinden soll.

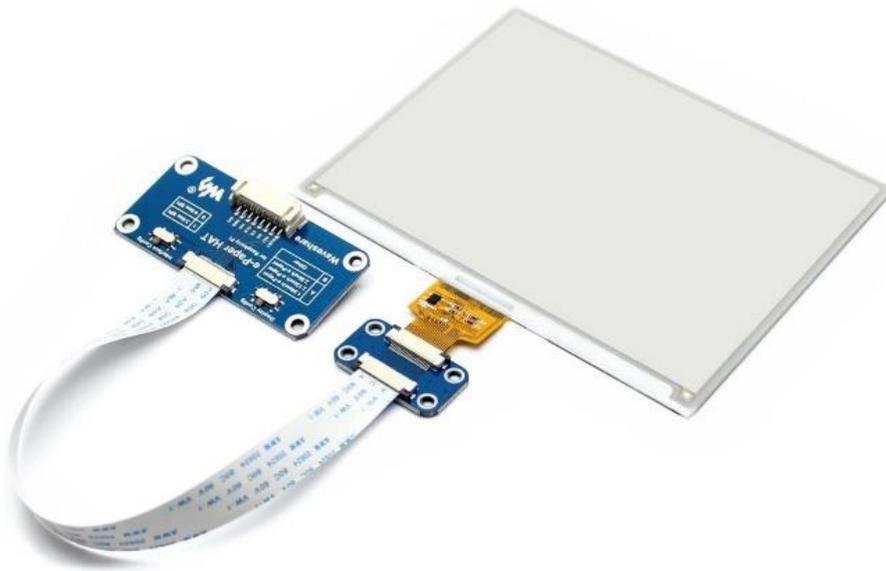


Abbildung 82: ePaper Display [23]

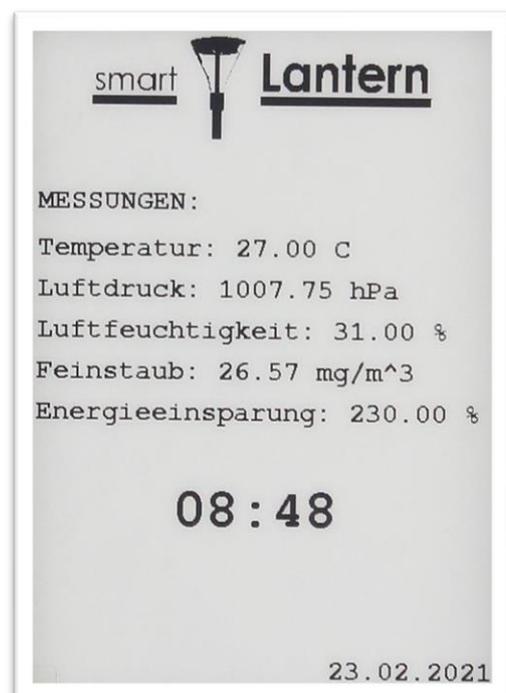


Abbildung 81: Display der smartLantern

In der nebenstehenden Abbildung ist die Funktionsweise eines ePaper-Displays abgebildet. Es besteht aus vielen kleinen Kugeln, die mit einer durchsichtigen Flüssigkeit gefüllt sind. Darin befinden sich negativ geladene schwarze und positiv geladene weiße Pigmente. Liegt an der Elektrode ein positives elektrisches Feld an, werden die weißen Pigmentteile abgestoßen, an die Oberfläche gedrückt, und die Kugel erscheint weiß. Umgekehrt wird beim Anlegen eines negativen elektrischen Feldes die Kugel schwarz.

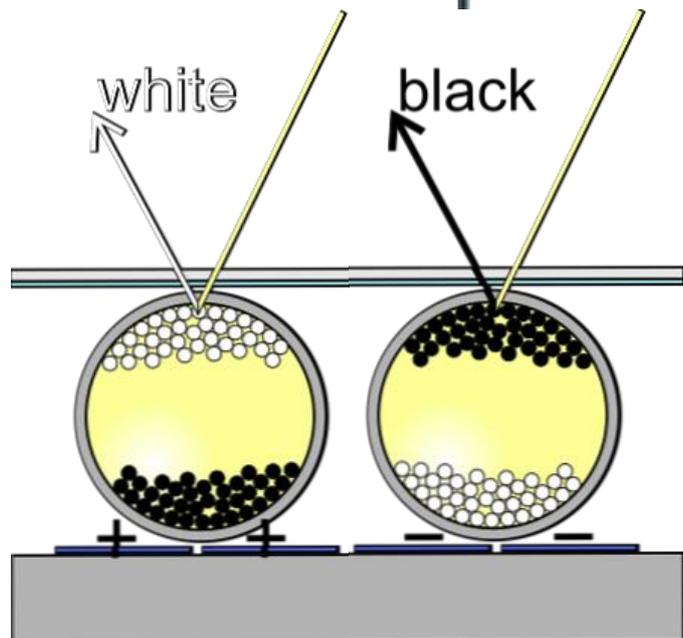


Abbildung 83: Funktionsweise ePaper-Display [37]

Bei der Ansteuerung des Displays durch den Haupt-ESP, war dieses sehr unzuverlässig und fiel immer wieder aus. Da auch in der Software keine Fehlermeldungen auftraten, wurde testweise ein zweiter ESP verbaut. Wie in Abbildung 79 zu erkennen ist, wurden die Aufgaben der beiden Mikrocontroller aufgeteilt. Der Haupt-ESP empfängt die Daten der Sensoren und gibt diese über eine serielle Schnittstelle an den Display-ESP weiter. Dieser ist ausschließlich für die Ansteuerung des Displays zuständig.

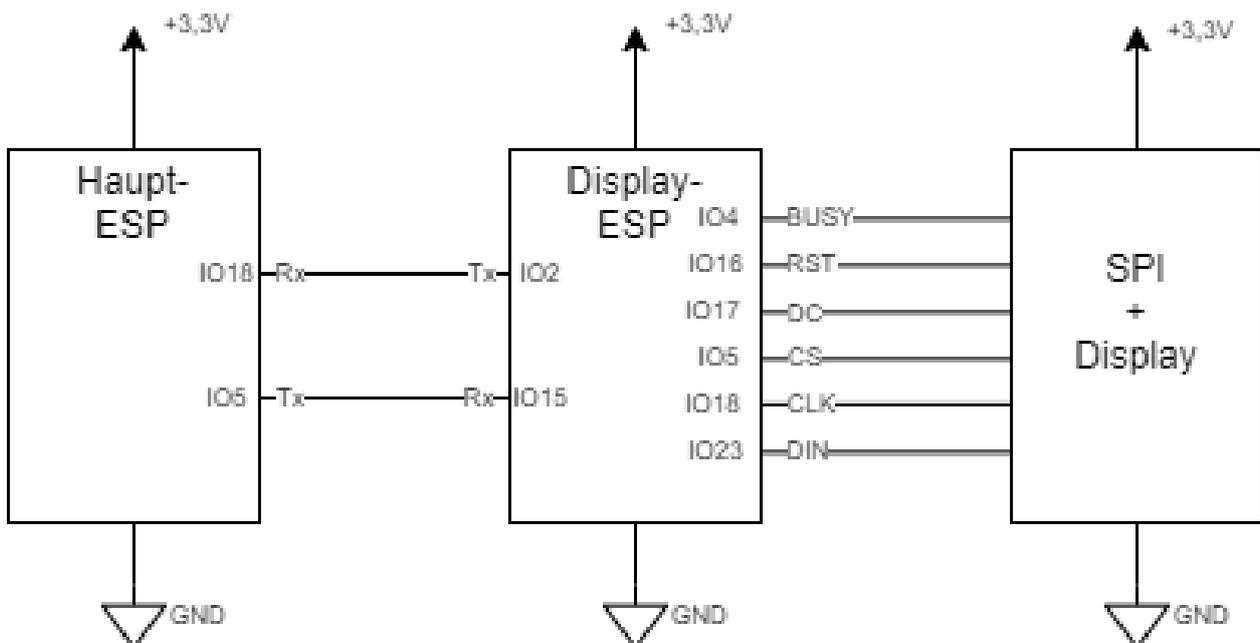


Abbildung 84: Blockschaltbild Display-Ansteuerung

3.4.11 Funkmodul HC12

Um bei Dunkelheit für ein möglichst großes Sicherheitsgefühl zu sorgen, kommunizieren die Laternen miteinander und der Weg wird automatisch im Vorhinein ausgeleuchtet. Damit das drahtlos und über mehrere Meter Abstand funktioniert, befinden sich HC-12 Funkmodule im Kopf jeder Leuchte. So werden die Laternen über das Annähern einer Person im Vorhinein informiert und leuchten derart den Weg schrittweise in Bewegungsrichtung aus. Hinter dem Passanten werden die Laternen anschließend wieder gedimmt.

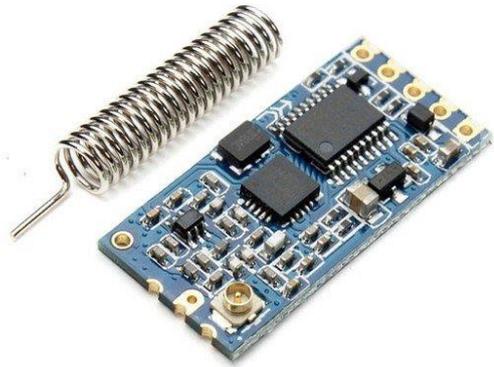


Abbildung 85: Funkmodul HC-12 [41]



Abbildung 86: automatische Ausleuchtung

Die Betriebsspannung beträgt 5V und die Datenübertragung an den Mikrocontroller erfolgt mittels serieller Schnittstelle. Das Frequenzband ist in 100 Kanäle, in 400kHz Schritten unterteilt und reicht von Ch001 = 433.4MHz bis zu Ch100 = 473,0MHz. Weiters kann das Funkmodul in vier Übertragungsmodi betrieben werden, dabei unterscheiden sich der Ruhestrom, die Baudraten sowie die Übertragungsdistanz. Verwendet wurde der Modus FU3 mit folgenden Eigenschaften [10]:

Ruhestrom	ca. 16mA
Sendekanal	Ch001 (433,4 MHz)
UART-Baudrate	9600bps
Luft-Baudrate	15000bps
Empfangsempfindlichkeit	-111dBm
Sendeleistung	20dBm = 100mW

Tabelle 20: Spezifikationen HC-12

3.4.12 Radarsensor

Falls sich jemand bei Dunkelheit der Laterne nähert, soll diese mit maximaler Helligkeit leuchten. Damit Personen im Umkreis von mindestens 4,5m erkannt werden, wurden zwei HW-MS03 Radarsensoren eingebaut. Sie sind in entgegengesetzte Richtungen montiert, um Bewegungen, beispielsweise auf einem Gehsteig, bestmöglich zu erkennen. Außerdem kann so ermittelt werden aus welcher Richtung sich eine Person nähert.

Die Abkürzung Radar steht für *radio direction and ranging* und bedeutet so viel wie funkgestützte Richtungs- und Abstandsmessung. Die Sensoren werden mit 5V versorgt und liefern ein HIGH Signal (3,3V) bei einer Bewegung. Ihre Arbeitsfrequenz reicht von 2,4GHz bis zu 5,8GHz und die Distanz wird mit maximal 10m angegeben.

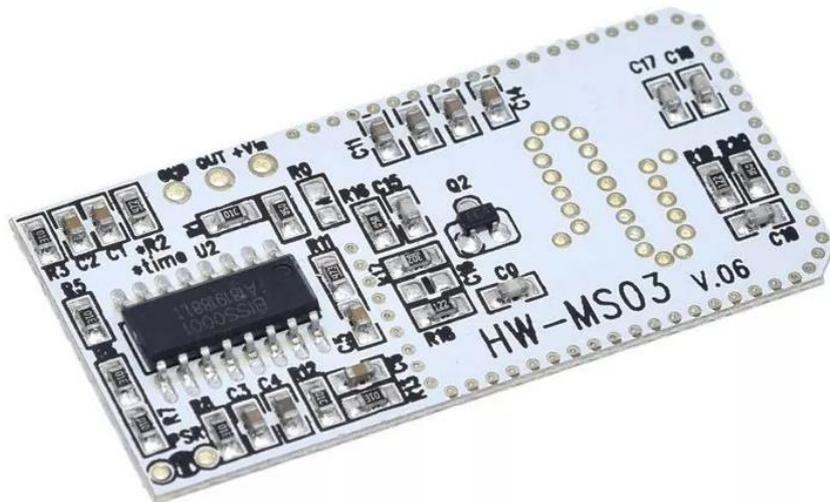


Abbildung 87: Radarsensor [11]

3.4.13 DALI

Die Leuchten in den Straßenlaternen werden über das DALI-Protokoll (**D**igital **A**ddressable **L**ighting **I**nterface) gesteuert. DALI-Netzwerke sind einfach erweiterbar und sehr flexibel, da Anpassungen in der Software vorgenommen werden können ohne dass Hardwareänderungen notwendig werden. Deshalb wird es häufig in der Beleuchtungstechnik eingesetzt. DALI ist ein bidirektionales Master-Slave-System und benutzt zwei verpolungssichere Drahtleitungen für Versorgung und Datenübertragung. Ein Netzwerk besteht aus einem DALI-Netzgerät, Control Devices und Aktoren.

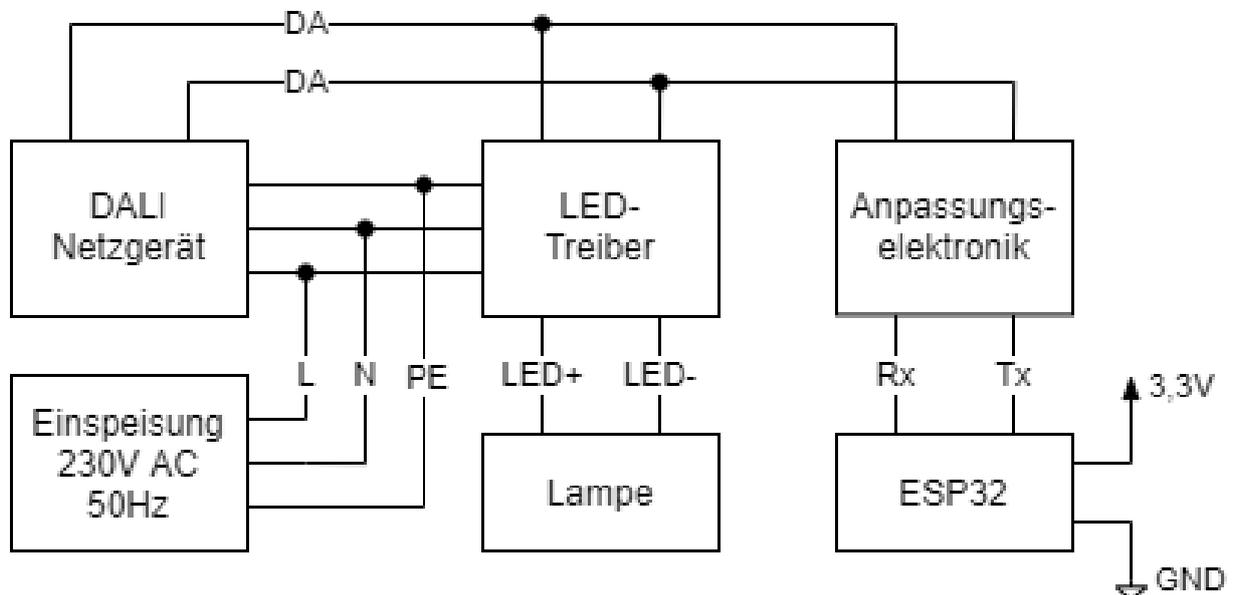


Abbildung 88: Blockschaltbild DALI-Bus

3.4.13.1 DALI-Netzgerät

In der smartLantern ist ein DALI-Netzgerät der Firma ESYLUX verbaut. Dank der geringen Abmessungen des Gehäuses (48x45x25mm) konnte es im Deckel des Leuchtkopfes untergebracht werden. Die Eingangsspannung von 230V AC wird in eine Ausgangsspannung von 16V DC und einen Strom von 200mA umgewandelt.



Abbildung 89: DALI Netzgerät [43]

Der maximale Spannungsbereich reicht von -6.5V bis 22,5V. Üblicherweise, so wie auch bei diesem Netzgerät, liegt der Spannungsbereich zwischen 0V und 16V. Wie in der nebenstehenden Abbildung erkennbar ist, liegt der Spannungsbereich „low“ zwischen 0V und 6,5V und der Bereich „high“ zwischen 9,5V und 16V. Von 6,5V bis 9,5V ist der Zustand undefiniert.

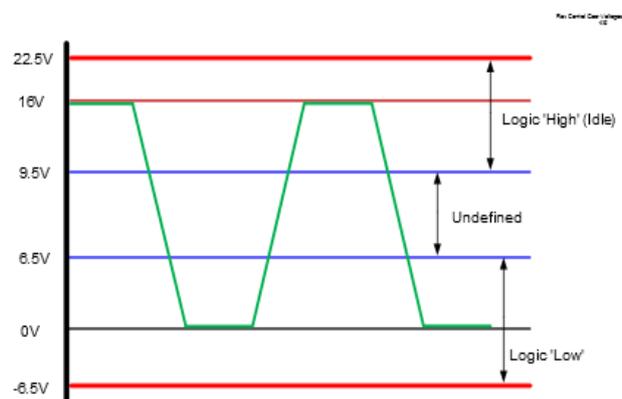


Abbildung 90: Zustände DALI-Bus [13]

Beim ersten Test ließ sich mittels eines Oszilloskops feststellen, dass der Spannungshub am DALI-Bus zu gering war und somit keine Zustandsänderung stattfand. Durch Testen konnte herausgefunden werden, dass das DALI-Netzgerät nicht ausreichend belastet wurde, weshalb der Innenwiderstand künstlich durch einen in Serie dazu gehängten 120Ω Widerstand erhöht wurde. Damit war das Problem gelöst.

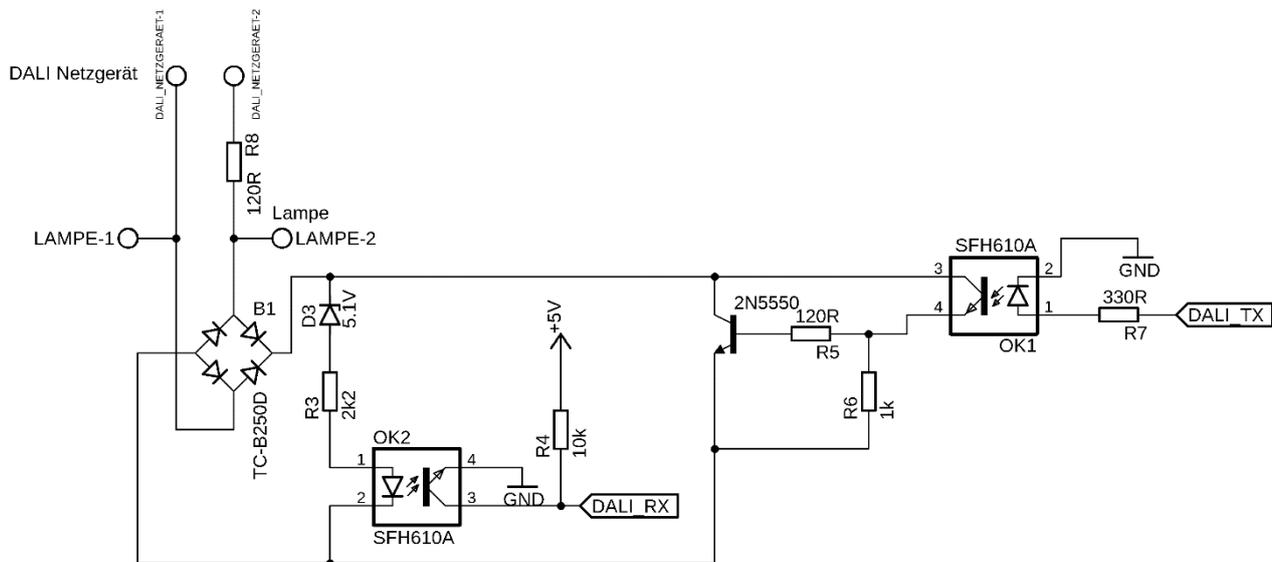


Abbildung 94: DALI Anpassungselektronik

Der ESP-32 übermittelt die Daten mittels serieller Schnittstelle und wird mit Pin IO17 an DALI_TX und mit PIN IO16 an DALI_RX verbunden. Um ein Signal auf den Bus zu schreiben, wird an DALI_TX eine Spannung von 3,3V angelegt, wodurch die LED im Optokoppler OK1 leuchtet, und der Phototransistor durchschaltet. In weitere Folge schaltet auch der Bipolartransistor 2N5550 durch. Derart werden die Leitungen des DALI-Buses miteinander verbunden, weshalb der Potenzialunterschied 0V beträgt, was den Zustand „low“ bedeutet, wie in Abbildung 90: Zustände DALI-Bus dargestellt.

Das Einlesen der Daten erfolgt über den DALI_RX Pin, welcher durch den 10kΩ Widerstand auf 5V gezogen wird und dadurch „active low“ ist. Herrscht nun zwischen den beiden Leitungen des DALI-Buses ein Potenzialunterschied von mehr als 9,5V, also der Zustand „high“, leitet die Zenerdiode D3 in Sperrrichtung und die LED im Optokoppler OK2 leuchtet. Dadurch wird der Phototransistor in OK2 leitend und der Pin IO16 (DALI_RX) mit Masse verbunden. Der ESP würde nun 0V und damit den Zustand „low“ messen, obwohl am DALI-Bus ein „high-Signal“ anliegt. Das bedeutet, dass er Eingang DALI_RX in der Software invertiert werden muss, um die Daten richtig einlesen zu können.

3.4.13.4 Lampe

Der Leuchtenkopf AVENIDA LENS LED samt der verbauten LEDs kommt von der Firma LUG. Wie sich der nachstehenden Photometrie entnehmen lässt, wird das Licht, dank integrierter Linsen vor allem seitlich gestreut. Dadurch eignet sich die Leuchte ideal für Parks, Rad- oder Gehwege.

Mit einer Leistung von 19W bei einer Wirksamkeit von 137lm/W, haben die LEDs eine sehr hohe Effizienz. Im Vergleich dazu bringen Quecksilberdampf-Hochdruck oder Leuchtstofflampen, mit einer Lichtausbeute von lediglich 55 lm/W [13], eine deutlich geringere Lichtausbeute. Weiters liegt die Farbtemperatur mit 4000K im neutralweißen Bereich und die Farbwiedergabe, also wie natürlich die Farben im Licht erscheinen, ist mit >70Ra angegeben.



Abbildung 95: Avenida Lens LED [45]

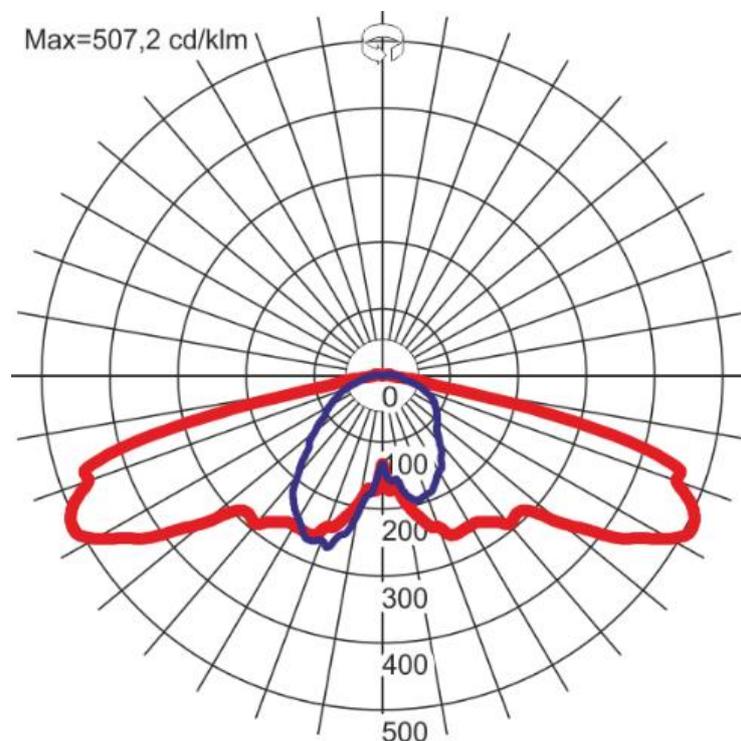


Abbildung 96: Photometrie der Leuchte [46]

3.4.14 LS/FI-Kombischutzschalter

Gemäß ÖVE Norm ÖVE/ÖNORM EN 60204-1:2009-12-01 müssen Stromkreise mit Steckdosen mittels eines Fehlerstrom-Schutzschalters (FI-Schalter, F...Fehler, I...Strom) mit einem Auslösestrom von maximal 30mA abgesichert werden. Der FI-Schutzschalter muss pulsierende Gleichfehlerströme erkennen, deshalb ist Typ A notwendig. Damit er nicht sofort bei einem kurzen Einschaltstrompuls auslöst, ist eine Kurzzeitverzögerung notwendig, wodurch sich Bauart G ergibt.

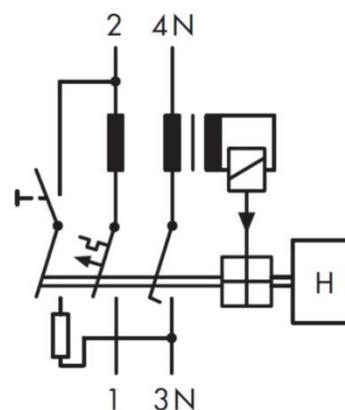
Da die Steckdosen hauptsächlich für das Laden von Handys oder E-Bikes verwendet werden sollen, werden keine besonders hohen Leistungen erwartet. Der Fast Charger von Bosch hat beispielsweise einen maximalen Ladestrom von 6A [14]. Daher ist ein Nennstrom von 13A mehr als ausreichend. Das Ladegerät kann zwar einen höheren Einschaltstrom haben, allerdings sollte dieser unter dem 5-fachen Nennstrom des Leitungsschutzschalters (LS-Schalter) bleiben ($5 \times 13A = 65A$). Deshalb kann Charakteristik B gewählt werden [15].

Aufgrund dessen bot sich ein LS/FI-Kombischalter der Firma Schrack mit folgenden Eigenschaften an [16]:

- Typ A (pulsstromsensitiv)
- Bauart G (kurzzeitverzögert)
- Auslösestrom: max. 30mA
- Nennstrom: 13A



Abbildung 97: LS/FI-Kombischutzschalter [17]



SCHRACK Technik GmbH, AT-1235 Wien, Seybelgasse 13, Phone: +43 1 86685-0, www.schrack.com

Abbildung 98: LS/FI Schalter Schaltbild [48]

3.4.15 Steckdosen

Durch im Mast integrierte Steckdosen können E-Bikes an der smartLantern aufgeladen und währenddessen an der dort angebrachten Anhängemöglichkeit abgesperrt werden. Auch können Smartphones und andere mobile Geräte an eingebauten USB-Steckdosen geladen werden. Die Steckdosen sind durch einen LS/FI-Kombischutzschalter gesichert.



Abbildung 100: USB-Steckdose

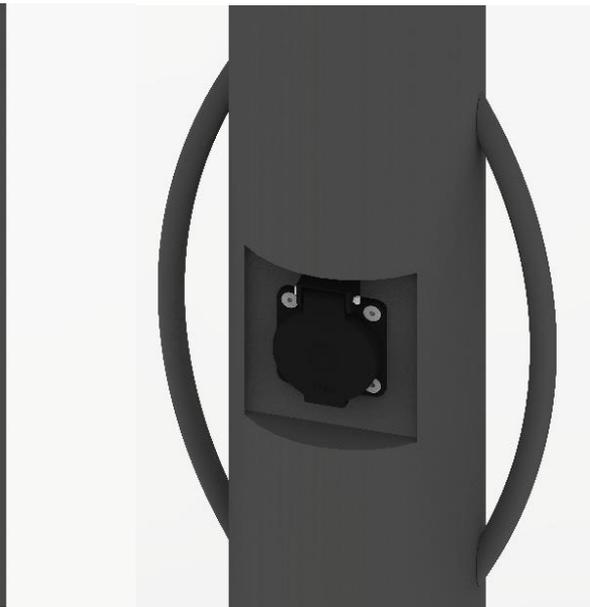


Abbildung 99: Steckdose

3.5 Platinen

3.5.1 Hauptplatine

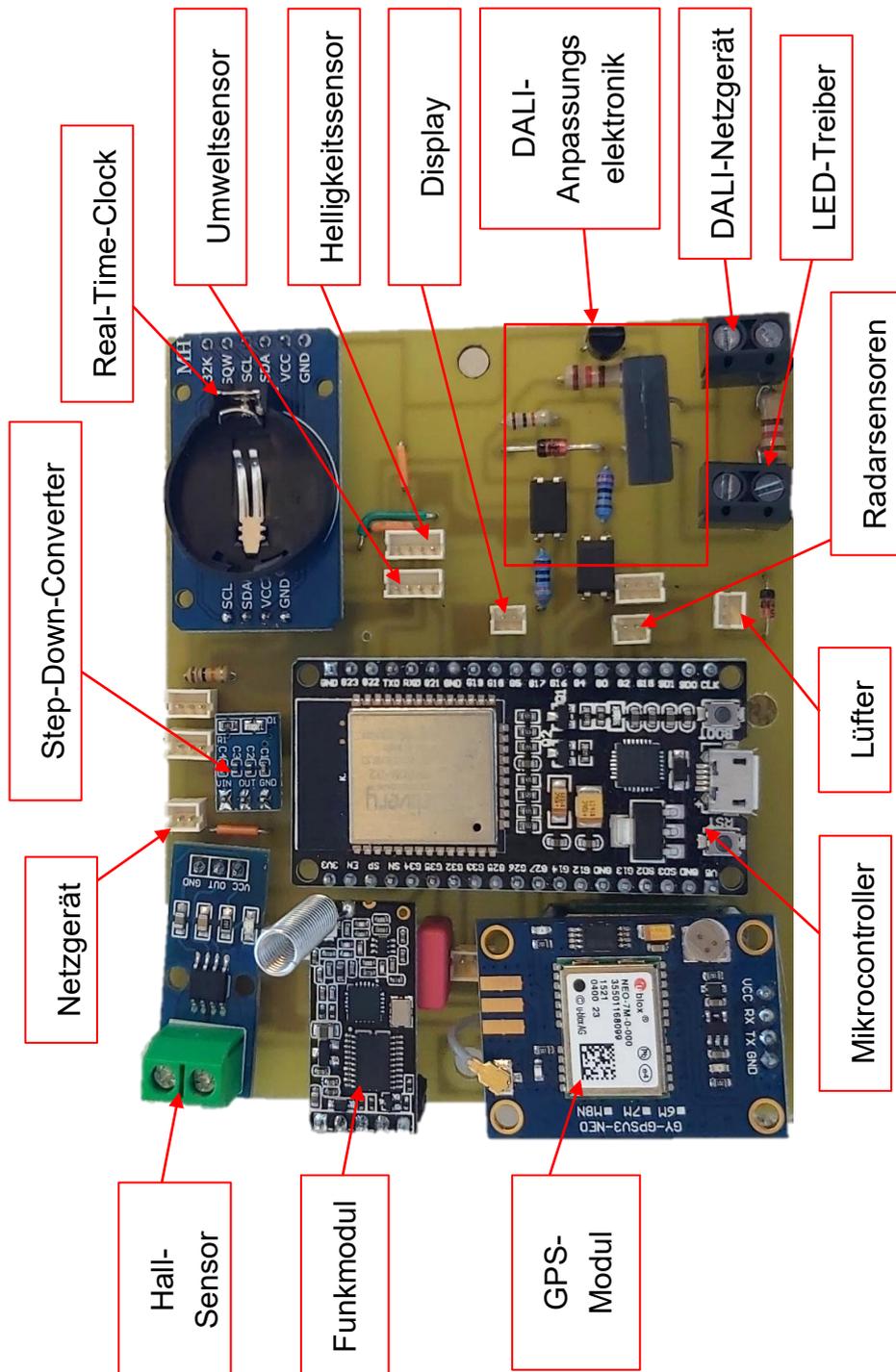


Abbildung 101: Hauptplatine

3.5.2 Hauptplatinen-Layout

Damit die Leitungen zwischen Sensorik und Mikrocontroller möglichst kurzgehalten werden können, befindet sich der Großteil der elektronischen Bauteile auf der Hauptplatine. Lediglich Komponenten die nicht direkt im Leuchtenkopf verbaut oder zu groß für die Platine sind, werden über Kabel mit der Platine verbunden. Das sind beispielsweise das Display, das Netzgerät oder die Radarsensoren. Außerdem sind Präzisionswiderstände, Kondensatoren und ein MOSFET in SMD Bauform direkt auf dem *Bottom-Layer* verlötet. Die Abmessungen der Platine betragen 100 x 80 x 1mm.

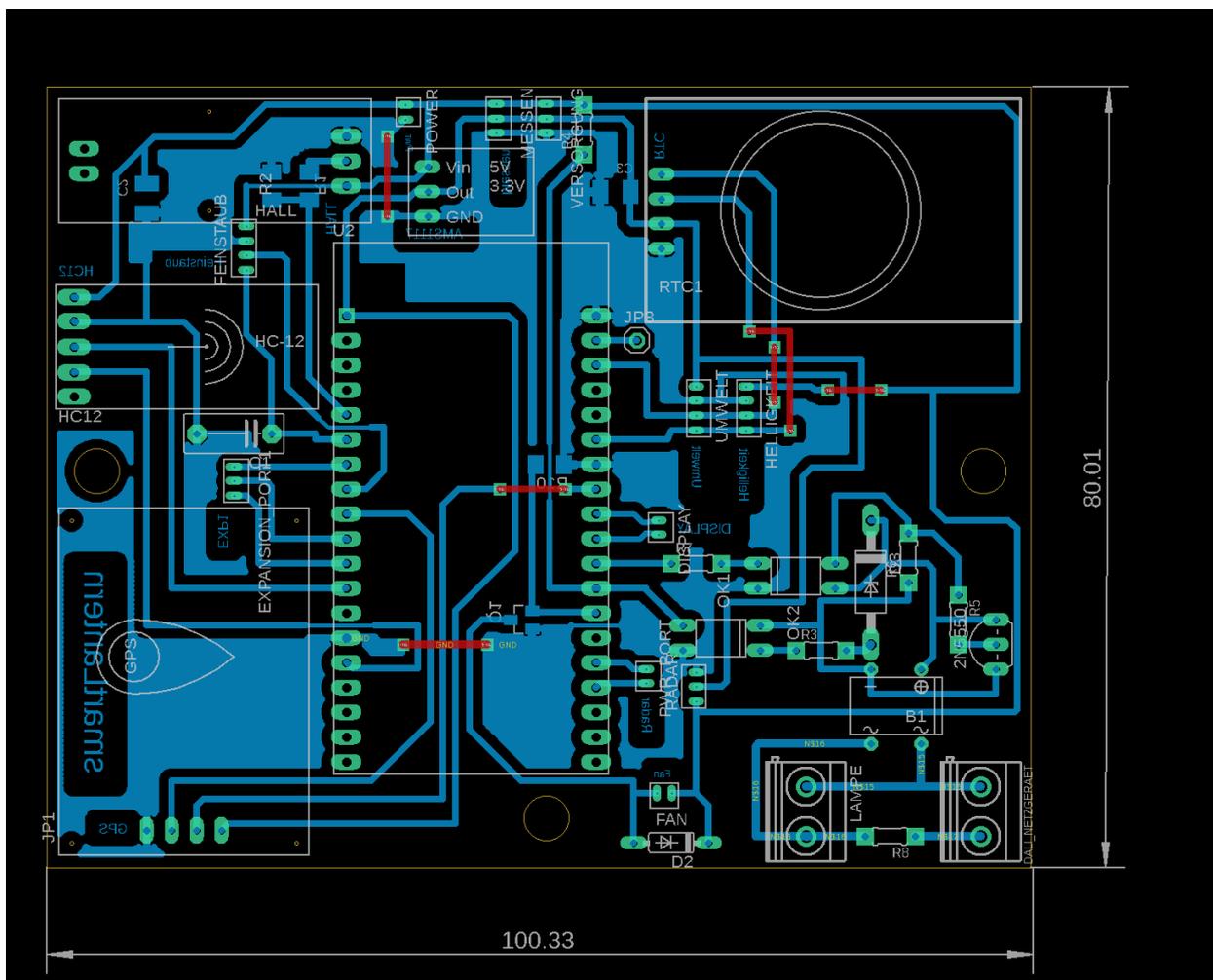


Abbildung 102: Platinen-Layout der Hauptplatine

3.5.3 Nebenplatten-Layout

Es gibt zwei Nebenplatten, jeweils eine pro Nebenlaterne. Die auf Lochraster-Platine aufgebaute DALI-Anpassungselektronik, ist über der freien Fläche mit der Platine verschraubt. Die Abmessungen sind mit 100 x 80 x 1mm ident mit denen der Hauptplatine.

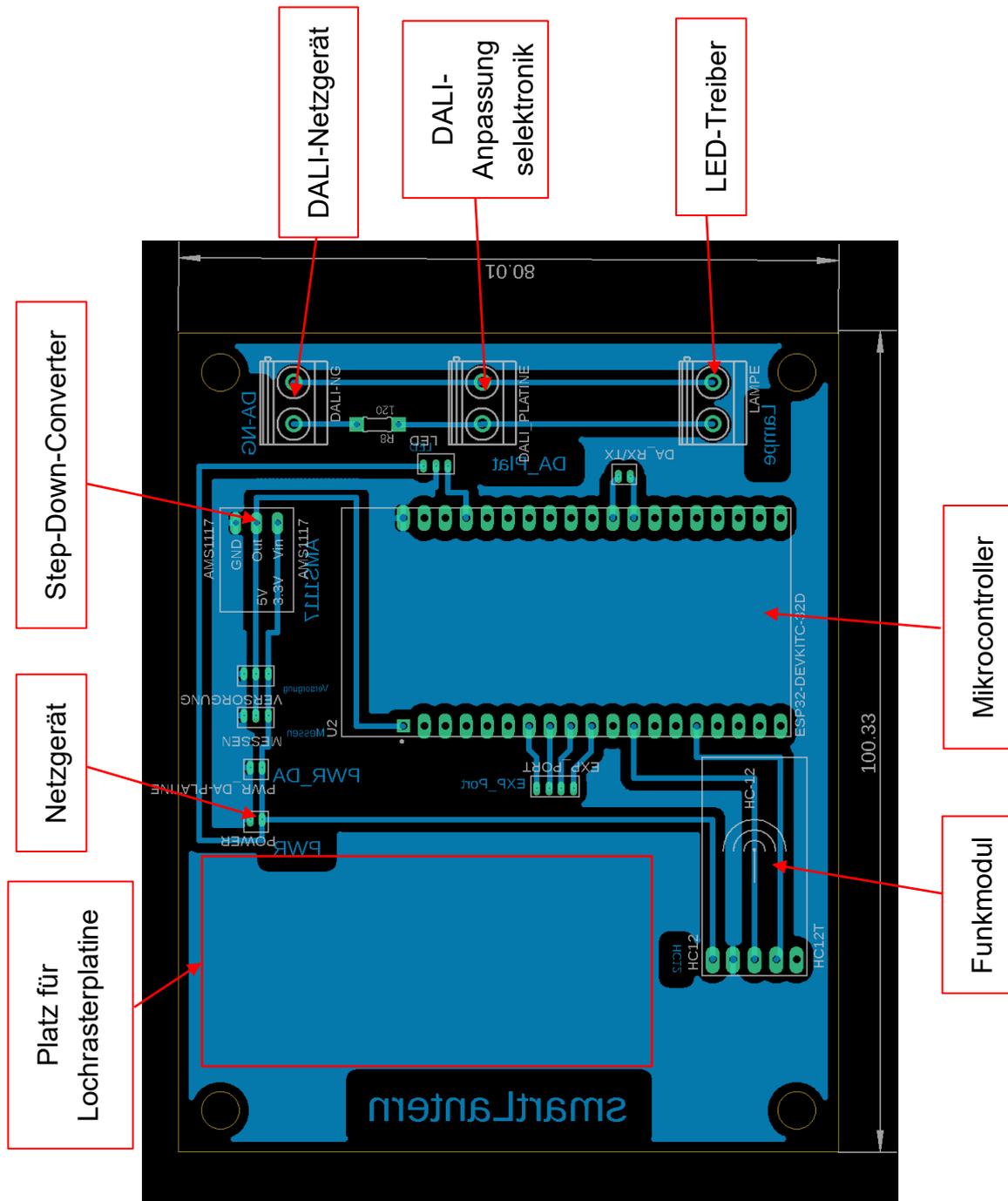


Abbildung 103: Platinen-Layout Nebenplatte

3.5.4 Displayplatine

Um den im Mast integrierten Display ansteuern zu können, wurde ein zusätzlicher ESP32 Mikrocontroller verwendet. Dieser ist auf der Displayplatine verbaut, welche sich in der 3D-gedruckten Displayhalterung befindet. Weiters befinden sich auf der Platine die Anschlüsse für die beiden Radarsensoren.

Sowohl die Spannungsversorgung als auch die Bereitstellung der benötigten Daten funktioniert über ein Kabel, welches die Displayplatine, mit der im Leuchtenkopf verbauten Hauptplatine verbindet.

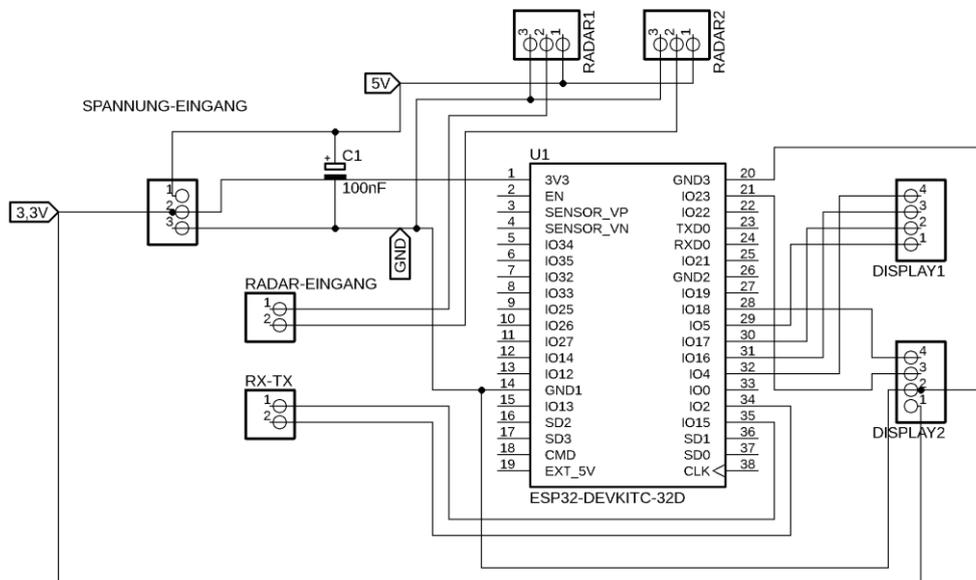


Abbildung 104: Schaltplan der Displayplatine

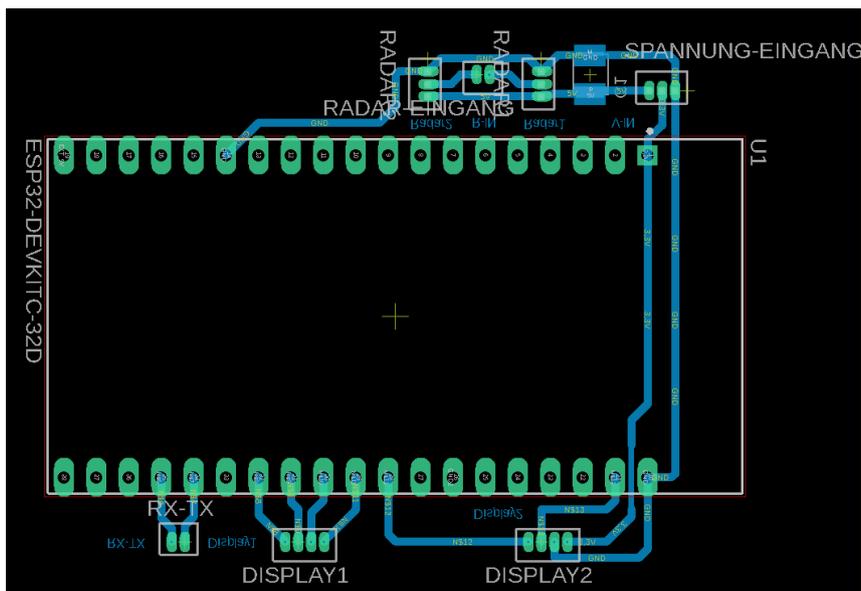


Abbildung 105: Boarddesign der Displayplatine

4 Programmierung

In den folgenden beiden Abbildungen ist der Aufbau der Software dargestellt.

4.1 Übersicht 1

In dieser Abbildung ist der Zusammenhang zwischen den einzelnen Sensoren und Aktoren zu erkennen.

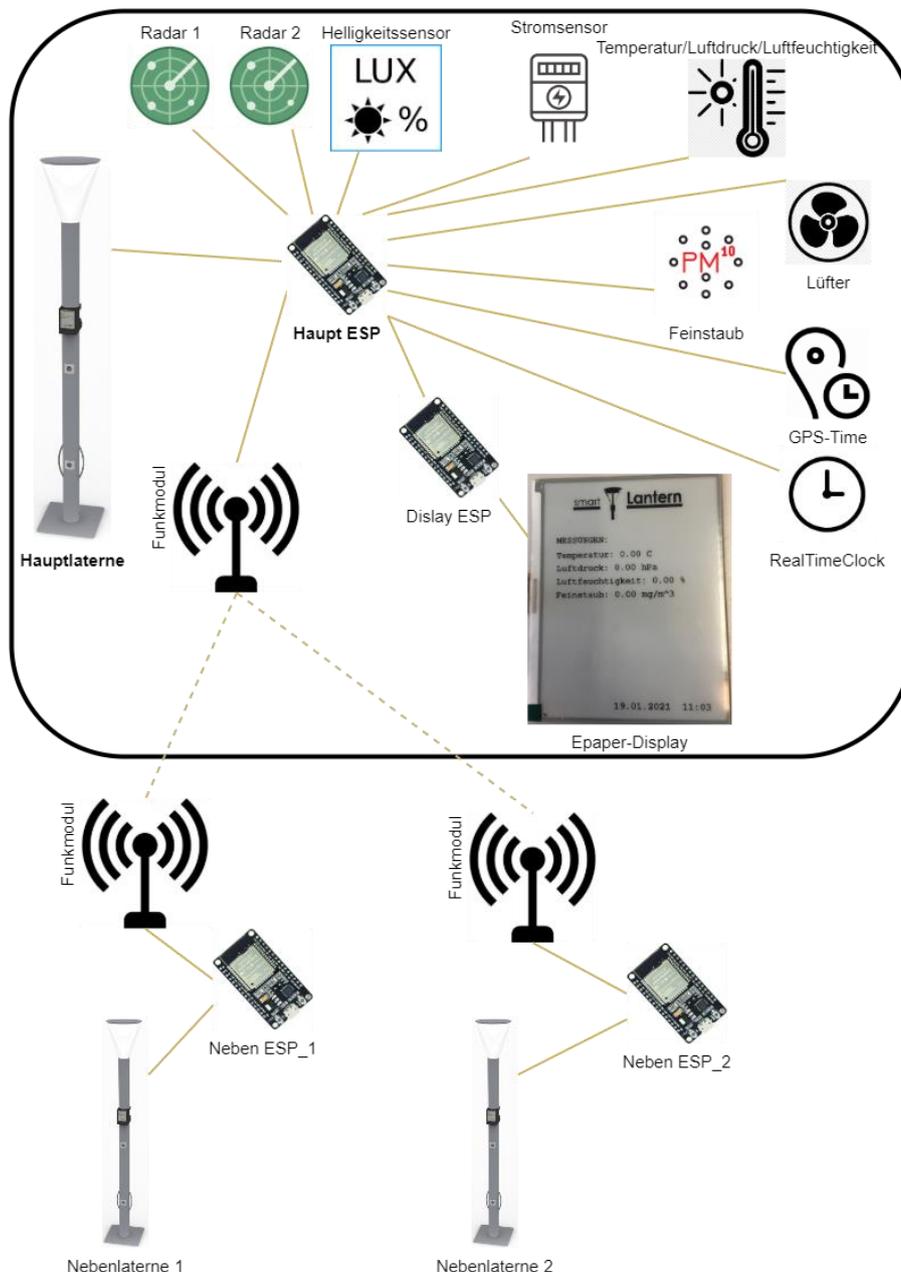


Abbildung 106: Programm Übersicht 1 erstellt mit (<https://app.diagrams.net/>)

4.2 Übersicht 2

In der Abbildung 107 sind die Funktionen der drei einzelnen Programmen aufgelistet.

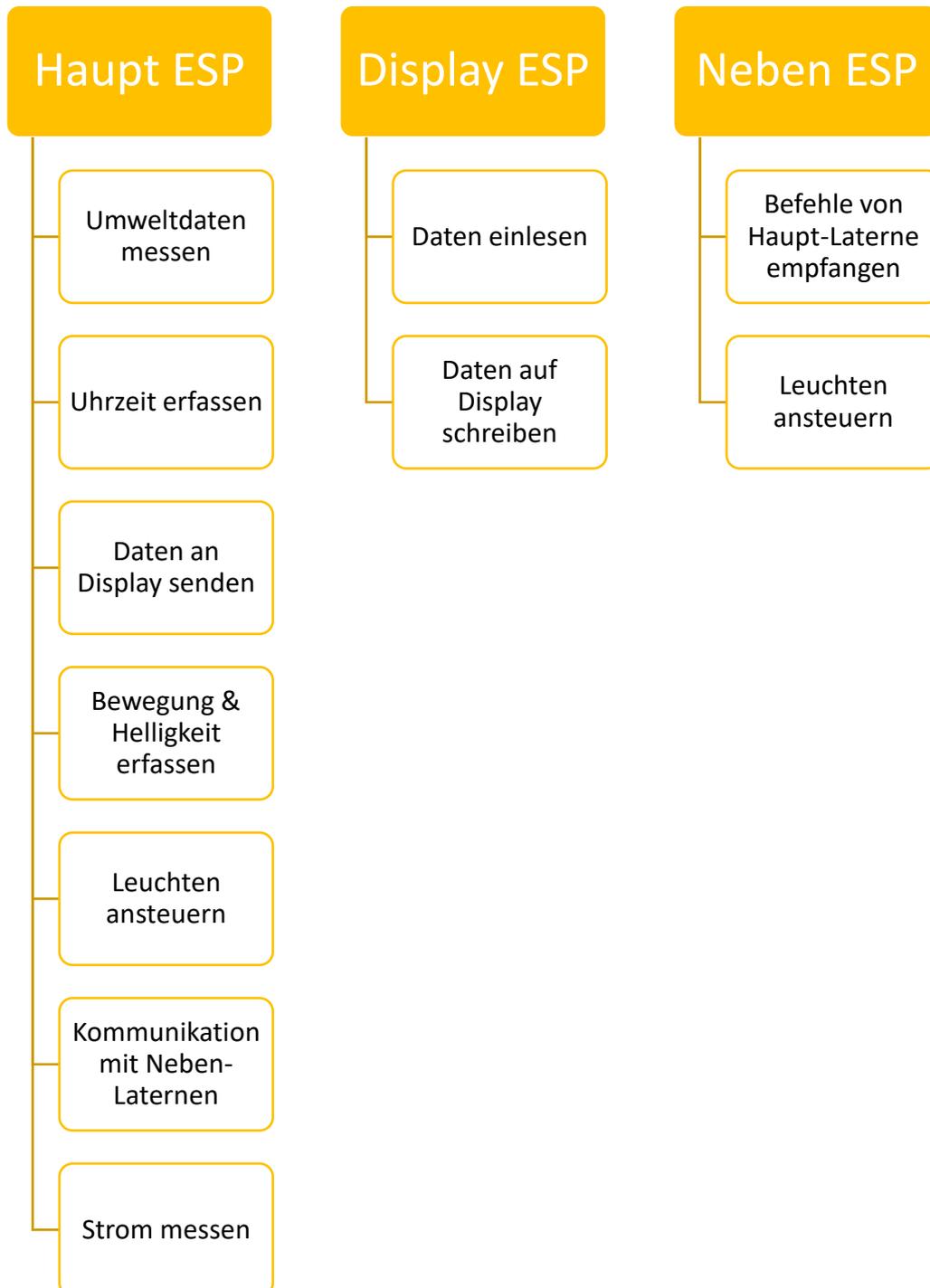


Abbildung 107: Programmierung Übersicht 2

4.3 Programmierung Allgemein

Die Aufgabe der Programmierung bestand darin, eine Firmware zu schreiben, welche die einzelnen Bauteile verbindet und ansteuert. Hierbei wurden Programmteile geschrieben, zusammengeführt, ergänzt, implementiert und getestet. Weiters wurde zu Beginn das Projekt geplant, Bauteile ausgewählt und Schaltpläne und Flussdiagramme erstellt sowie OSP und PSP mitdefiniert.

Die Software des Projekts besteht aus drei unterschiedlichen Programmen wie in Abbildung 107 dargestellt. Das Programm „Haupt-ESP“ ist dabei das Komplexeste. In diesem Programm werden alle Sensoren und Laternen gesteuert. Das Programm Display-ESP wird nur zur Displayausgabe genutzt und das optionale Neben-Laternen Programm empfängt die Befehle der Hauptlaterne und schaltet damit die Neben-Laternen.

4.4 ESP32 - MicroController

Für das Projekt wurden vier MicroController des Typs ESP32s eingesetzt. In der Hauptlaterne ist ein ESP32 zur Auswertung der Sensoren und zur Steuerung der Helligkeit verbaut, sowie ein weiterer ESP32 nur für die Ansteuerung des Displays. In den Nebenlaternen befindet sich jeweils ein ESP32. Der ESP32 wurde aufgrund seiner vielen Anschlüsse sowie der Vielzahl an Peripherieschnittstellen (bspw.: UART, SPI und I2C) ausgewählt. Außerdem hat der ESP32 die Möglichkeit sich mit WLAN und Bluetooth zu verbinden, wodurch die Laterne noch „smarter“ werden kann. Programmiert wird der ESP32 über die weit verbreitete ARDUINO IDE.

4.5 Hauptprogramm Hauptlaterne

Im Hauptprogramm werden die Umweltdaten (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck und Feinstaub) in einem bestimmten Intervall gemessen und gemeinsam mit der Uhrzeit, welche aus einer RealTimeClock abgefragt wird, an den „Display-ESP“ geschickt. Zwei Radarsensoren liefern Bewegungsdaten, welche in Kombination mit der Umgebungshelligkeit genutzt werden, um die Laterne nur leuchten zu lassen, wenn sie wirklich benötigt wird. Außerdem fungiert das „Hauptprogramm“ als Master für die Leuchtstärke der Nebenlaternen. Die hierzu erforderliche Kommunikation wird über HC12 Funkmodule bewerkstelligt. Für die grafische Beschreibung der Funktionalität siehe Abbildung 107.

4.5.1 Automatische Regelung der Helligkeit

4.5.1.1 DALI

Die Vorschaltel Elektronik der LEDs der Laterne werden mittels DALI angesteuert. DALI steht für „Digital Addressable Lighting Interface“ und ist ein Protokoll zur Steuerung von Lichttechnik. Hierzu wird ein serielles, asynchrones Datenprotokoll mit einer Übertragungsrate von 1200 Bit/s und einer Spannung von 16V verwendet [17]. Ein DALI Netzwerk besteht aus einem Controller und mindestens einem Leuchtmittel. Im Netzwerk können Daten bi-direktional also von Controller zu Leuchtmittel und von Leuchtmittel zu Controller gesendet werden. DALI spricht jede Leuchte mit einer eigenen Adresse an, wobei mittels Gruppen- und Broadcastbefehlen mehrere Leuchtmittel gleichzeitig angesprochen werden können. Ein DALI Befehl besteht aus 16 Bits (plus Start- und Stoppbit). Die ersten acht Bits ergeben die Adresse und die letzten acht Bits den Befehl, wie in Abbildung 108 zu erkennen ist.

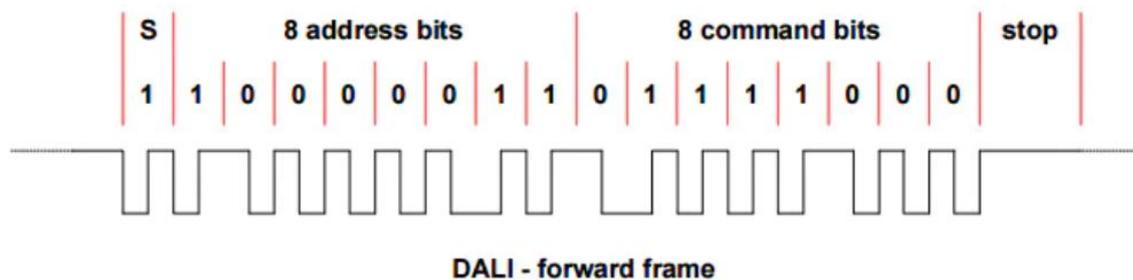


Abbildung 108: DALI Protokoll [18]

Als Basis für den Programmteil der DALI-Steuerung dient die von „NabiyevTR“ zur Verfügung gestellte Bibliothek und die Beschreibung seines Projekts [18]. Hierbei wurde allerdings eine andere Schaltung verwendet und anstatt eines analogen und eines digitalen Eingangs, hat die neue Schaltung zwei digitale Eingänge. Deshalb wurde in der Datei Dali.cpp die Funktion „*Dali.receive()*“ von „*analogRead*“ auf „*digitalRead*“ geändert. Außerdem wird das Ergebnis negiert, da die Logik der anderen Schaltung invertiert ist.

In Abbildung 109 ist zu erkennen, dass die beiden Pins GPIO16 und GPIO17 für die serielle Kommunikation genutzt werden. Weiters werden Namen definiert, um nicht ständig die binären Zahlen (Bits) schreiben zu müssen. Im Haupt-Programm kann dadurch mittels eines einfachen Befehls die ganze Leuchte angesteuert werden. Um alle LEDs der Laterne vollständig einzuschalten, wird beispielsweise der Befehl: „*dali.transmit(BROADCAST_DP, ON_DP)*“ verwendet, zum Ausschalten der Befehl: „*dali.transmit(BROADCAST_DP, OFF_DP)*“ und zum Dimmen kann auf die Funktion

„dali.transmit(BROADCAST_DP, Var)“ zurückgegriffen werden. Als Var (=Variable) kann hier die Leuchtstärke in logarithmischen Schritten von 0 bis 254 angegeben werden.

```

1 #include "Dali.h"
2 #include <Wire.h>
3 const int DALI_TX = 17;
4 const int DALI_RX_A = 16;
5 #define BROADCAST_DP 0b11111110
6 #define ON_DP 0b11111110
7 #define OFF_DP 0b00000000
8 [...]
9 int Radar1 = 2;
10 int Radar2 = 15;
11 #include <BH1750.h>
12 BH1750 lightMeter;
13 int low_light_limit = 40;
14 [...]
15 int interval_lantern_stays_on = 10000;
16 bool movement_status = 0;
17 int actualTime1 = millis();
18 int interval_lux = 10000;
19 bool lux_status;
20 int actualTime3 = millis();
21 bool delayed_lux_status;

```

Abbildung 109: Initialisierung der Helligkeitsregelung

4.5.1.2 Bewegungserkennung - Radar

Um eine sich annähernde Person zu erkennen bzw. deren Bewegung, wird in der smartLantern auf zwei Radarsensoren, dargestellt in Abbildung 110, zurückgegriffen. Leider existiert für dieses Exemplar keine ausführliche Dokumentation, weshalb einige wichtige Informationen nicht bekannt waren. Um diese herauszufinden wurden einige Tests durchgeführt. So wird beispielsweise die Reichweite je nach Onlineshop zwischen 3m und 10m angegeben. Für das Projekt wird eine Reichweite von 4,5m benötigt, welche in Tests auch ohne Problem bei einer größeren Bewegung (ganzer Arm winkt) erreicht wurde.

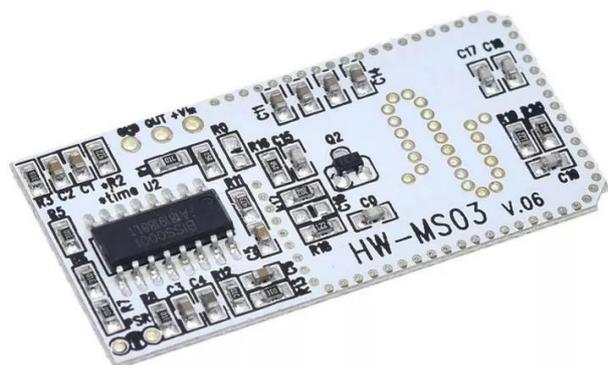


Abbildung 110: Radar Sensor [11]

4.5.1.3 Helligkeit

Zur Helligkeitserkennung wird ein BH1750 Licht Sensor verwendet, welcher sich oben auf der Laterne befindet. Dieser Sensor gibt auf einer I2C Schnittstelle die Lichtstärke in Lux (SI-Einheit der Beleuchtungsstärke) aus. In Abbildung 111 Zeile 10 ist zu erkennen, wie der Sensor und die I2C Schnittstelle implementiert werden.

```
1 void setup(){
2   Serial.begin(115200);
3   pinMode(Radar1, INPUT);
4   pinMode(Radar2, INPUT);
5   [...]
6   dali.setupTransmit(DALI_TX);
7   dali.setupAnalogReceive(DALI_RX_A);
8   dali.busTest();
9   dali.msgMode = true;
10  Wire.begin(21,22); //implementation of I2C
11  lightMeter.begin(); //implementation of BH1750 light sensor
12  [...]
13 }
```

Abbildung 111: Setup der Helligkeitsregelung

Damit die Helligkeitsmessung nicht zu sensibel reagiert wurde ein Algorithmus geschrieben, welcher die Laternen erst ansteuert, sobald die Helligkeit 10 Sekunden lang gleichgeblieben ist. Dadurch wird verhindert, dass durch einen kurzzeitigen Schatten oder einer Abdeckung des Sensors sofort die Laternen an- bzw. ausschalten. Dies ist in der Abbildung 112 im „void-loop()“ zu erkennen. Die Helligkeit wird im realen Gebrauch ohnehin nur einmal am Abend und einmal in der Früh den „Leucht-Schwellwert“ erreichen.

4.5.1.4 Programmausschnitt: automatischen Helligkeitsregelung

```
1 void loop(){
2   float lux = lightMeter.readLightLevel();
3   bool low_light = lux < low_light_limit;
4   if (low_light != lux_status) {
5     actualTime3 = millis();
6   }
7   if(low_light != delayed_lux_status && (millis()-actualTime3 >
8     interval_lux)) {
9     delayed_lux_status = low_light;
10  }
11  lux_status = low_light;
12  if (delayed_lux_status) {
13    bool radar1 = digitalRead(Radar1);
14    bool radar2 = digitalRead(Radar2);
15    if((radar1 || radar2 == HIGH)){
```

```
15     dali.transmit(BROADCAST_DP, ON_DP);
16     actualTime1 = millis();
17     movement_status = 1;
18     [...]
19 }
20 else {
21     if ((movement_status == 1) && millis() >
        interval_lantern_stays_on + actualTime1){
22         movement_status = 0;
23     }
24     if (movement_status == 0) {
25         dali.transmit(BROADCAST_DP, 40);
26         [...]
27     }
28 }
29 }
30 else {
31     dali.transmit(BROADCAST_DP, OFF_DP);
32     [...]
33 }
34 [...]
35 }
```

Abbildung 112: Ausschnitt aus dem Haupt-Laternenprogramm bezüglich der automatischen Helligkeitsregelung

4.5.1.5 Erläuterung Programmausschnitt: automatischen Helligkeitsregelung

Zu Beginn wird in Zeile 2 die Umgebungshelligkeit abgefragt, sollte diese zehn Sekunden lang unterhalb des definierten Grenzwertes liegen, leuchtet die Laterne im gedimmten Zustand. Daraufhin werden die Radarsensoren abgefragt, sobald diese eine Bewegung erkannt haben, leuchtet die Laterne in voller Stärke. Die Radarsensoren werden hierbei mithilfe des Befehls „*digitalRead(Radar1)*“ abgefragt. Sobald keine Bewegung mehr stattfindet, bleibt die Laterne noch die eingestellte Dauer (in diesem Fall 10sek) an, um auch hinter der vorbeigehenden Person den Weg zu beleuchten. Nach Ablauf der Zeit, wechselt die smartLantern in den gedimmten Zustand, bis sich die nächste Person nähert. Bei Erreichen ausreichender Helligkeit, schaltet sich die Laterne vollständig aus.

4.5.2 Umweltdaten

4.5.2.1 Feinstaub

Um die Feinstaubbelastung zu messen, wird auf den optischen Sensor GP2Y1014AU von „Joy-it“ zurückgegriffen. Der Sensor erkennt Staubpartikel mit einer minimalen Partikelgröße von 0.8 Mikron. Durch eine integrierte Infrarot-Diode und einen Phototransistor wird das vom Staub reflektierte Licht erkannt und dadurch kann auf den Staubanteil zurückgerechnet werden. Das Messergebnis wird als analoger Wert ausgegeben [19].

Hierzu wurde die Funktion „*feinstaub_messen()*“ geschrieben, welche in der Abbildung 113 dargestellt ist. In dieser Funktion wird die Infrarot-Diode kurzzeitig eingeschaltet und nach einer vordefinierten Zeit, der analoge Wert eingelesen. Dieser Wert wird umgerechnet und an das Hauptprogramm zurückgegeben. Bei der Umrechnung wird zuerst aus dem analogen Wert eine Spannung berechnet. Danach wird eine „Ausgangsspannung“ von 0,4V abgezogen und schlussendlich wird noch mit der Steigung der Kennlinie 0,2 und 1000 multipliziert, um von mg auf μg umzurechnen.

```

1. float feinstaub_messen() {
2.   digitalWrite(ledPower, LOW);
3.   delayMicroseconds(delayTime);
4.   dustVal=analogRead(dustPin);
5.   delayMicroseconds(delayTime2);
6.   digitalWrite(ledPower, HIGH);
7.   delayMicroseconds(offTime);
8.   return((adc_factor*dustVal-0.4)*200);
9. }

```

Abbildung 113: Funktion "feinstaub_messen()"

In der Abbildung 114 (aus dem Datenblatt) ist erkennbar, dass die LED kurzzeitig eingeschaltet werden muss und währenddessen der Output-Puls stattfindet. Hierbei ist zu beachten, dass der höchste Punkt gemessen wird. Allerdings funktioniert die Auswertung mit der im Datenblatt angegebenen Verzögerungszeit von 0,28ms nicht korrekt. Für die verwendete Hard- und Softwarekonfiguration wurde daher mithilfe eines Oszilloskops die Zeit bis zum Erreichen der maximalen Amplitude ermittelt, um das Delay dementsprechend anzupassen.

- The specified output value is the one that is measured 0.28ms after the LED is turned on. Therefore, it is recommended that microcomputer to read the output 0.28ms after the LED emission also.

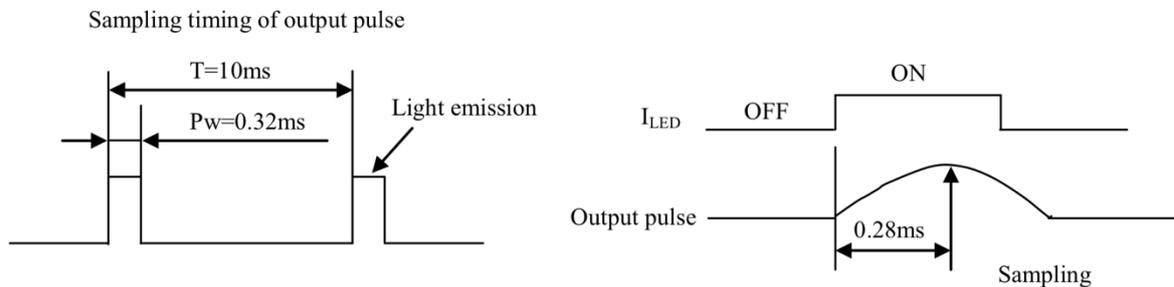


Abbildung 114: Feinstaubsensor Sampling Time [20]

Im Hauptprogramm wird die „feinstaub_messen()“ Funktion 80-mal durchlaufen und der Messwert kumuliert und gewichtet gemittelt. Hierbei werden die ungültigen Werte aussortiert. Der gemittelte Wert wird danach am Seriellen-Monitor und auf dem Display ausgegeben. Die Einheit der Feinstaubbelastung beträgt schlussendlich $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.5.2.2 BME280: Sensor für Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftdruck

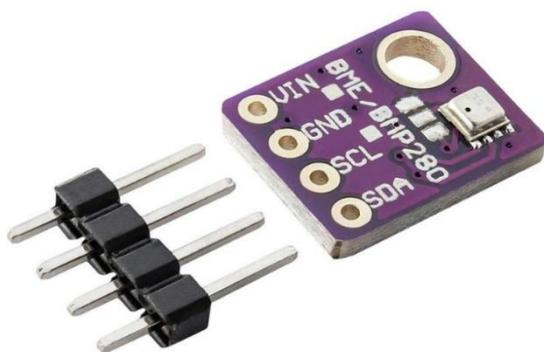


Abbildung 115: BME280 Lüfter [21]

Das Breakoutboard GY-BME-280 liefert die Messdaten über eine I2C Schnittstelle. Mit diesem kann die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit sowie der Luftdruck gemessen werden. Die einzelnen Messwerte sind in unterschiedlichen Registern abgespeichert und bei der Datenabfrage wird auf das jeweilige Register zurückgegriffen.

4.5.2.3 Lüfter

Da der Deckel der Leuchte normalerweise annähernd luftdicht verschlossen ist und die Temperatur im Inneren durch die Abwärme der Netzteile stark ansteigen würde, ist ein Lüfter eingebaut. Dieser Lüfter versorgt die beiden Umweltsensoren mit Luft von außerhalb der Laterne. Zu Beginn war geplant den Lüfter lediglich kurz vor der Messung einzuschalten, allerdings steigt die Temperatur im Inneren in diesem Fall zu stark an. Aus diesem Grund läuft der Lüfter nun ständig. Doch auch diese Maßnahme reicht nicht vollständig aus, um die Temperatur im Inneren gleich der Außentemperatur zu halten. Daher wird zusätzlich ein Faktor in die Temperaturmessung miteinbezogen. Dieser Faktor wurde durch Versuche und Tests ermittelt.

Der Lüfter wird über einen Transistor an Pin 4 angesteuert, da der ESP in Summe nicht genug Strom an seinen Pins bereitstellen kann. Mit dem Befehl „*digitalWrite(fan, HIGH)*“ wird der Lüfter einmalig im „*void setup()*“ eingeschaltet und läuft daraufhin permanent.

4.5.3 Uhrzeit

Um die Uhrzeit anzeigen zu können, wird auf eine Kombination von GPS-Modul und Echtzeituhr („RealTimeClock“) zurückgegriffen. Das GPS-Modul wird verwendet, um die genau synchronisierte Uhrzeit abzufragen und damit die RealTimeClock auf die aktuelle Uhrzeit zu setzen. Dadurch muss die Uhrzeit nicht ständig über das GPS Modul abgefragt werden, was sehr viel Strom verbrauchen würde. Die RealTimeClock erhält vom GPS-Modul einmalig die aktuelle Uhrzeit und läuft dann dank ihres Quarzes von selbst weiter. Um kleine Abweichungen auszugleichen, welche über lange Zeiträume entstehen würden, kann beispielsweise alle 12 Stunden die Uhrzeit der RealTimeClock mit dem GPS-Modul abgeglichen werden. Ein weiterer Vorteil der Kombination von GPS-Modul und RealTimeClock ist, dass die RealTimeClock selbst ohne externe Spannungsversorgung weiterläuft, da sie eine Knopfzelle integriert hat. Dadurch steht die Uhrzeit ständig zur Verfügung, auch wenn kurz keine Spannungsversorgung oder keine Verbindung zu den Satelliten vorhanden ist. Für den Testbetrieb in Innenräumen wurde ausschließlich die RealTimeClock verwendet, da das GPS-Modul in Innenräumen nur sehr schlecht eine Satellitenverbindung aufbaut, wodurch es auch keine Uhrzeit empfängt.

Eine andere mögliche Lösungsvariante, bei der sowohl die RTC als auch das GPS-Modul eingespart werden können, ist eine Internetanbindung. In diesem Fall würde die Uhrzeit aus dem Internet bezogen werden. Die Anbindung an das Internet bietet noch weitere Möglichkeiten, welche im Kapitel 5.3 detailliert erläutert werden.

4.5.3.1 GPS

In dem Projekt wird das GPS-Modul: GY-GPSV3-NEO-7m verwendet. Dies ist ein Board mit einer angeschlossenen Antenne und einem uBlox NEO-7m Chip. Die Datenübertragung läuft über eine UART-Schnittstelle. Hierbei ist zu beachten, dass die Leitungen (RX und TX) gekreuzt werden müssen. Die verwendete Baudrate beträgt 9600 Bit pro Sekunde.

Da der ESP32 nur über drei UART-Schnittstellen verfügt und diese nicht ausreichen, wurde eine zusätzliche SoftwareSerial-Schnittstelle verwendet. Dies ist eine Bibliothek, welche es ermöglicht Pins, die hardwaremäßig nicht als UART-Schnittstelle vorgesehen sind trotzdem als solche zu nutzen. Dadurch können sogar mehrere SoftwareSerial-Ports mit Geschwindigkeiten von bis zu 115.200 bps genutzt werden. Allerdings kann dabei immer nur ein Port empfangen und nicht jeder beliebige Pin kann dafür verwendet werden.



Abbildung 116: GPS-Modul

```

1. #include <TinyGPS++.h>
2. TinyGPSPlus gps;
3. static const int RXPin_GPS = 19, TXPin_GPS = 25;
4. static const uint32_t GPSBaud = 9600;
5. SoftwareSerial ss_GPS(RXPin_GPS, TXPin_GPS);
6. #define time_offset 2// two hour offset

```

Abbildung 117: GPS-Implementierung

Wie in Abbildung 117 erkennbar, wurde für die Programmierung des GPS-Empfängers eine Bibliothek benutzt. Die Bibliothek „TinyGPS++“ wird genutzt um den NEMA-Code, den das Modul von den Satelliten empfängt, zu übersetzen. Außerdem ist in Zeile 5 zu erkennen, wie die SoftwareSerial-Schnittstelle implementiert wird. Zusätzlich wurde noch ein Time_Offset von 2 Stunden definiert, um auf die richtige Zeitzone umzurechnen.

Wie bereits erwähnt kann das GPS-Modul in Innenräumen nur sehr schlecht eine Satellitenverbindung aufbauen, wodurch keine Uhrzeit empfangen wird. Daher wurde für den Testbetrieb in Innenräumen ausschließlich die RealTimeClock verwendet.

4.5.3.2 RealTimeClock RTC

Um die Uhrzeit und das Datum auf dem Display anzeigen zu können, wird eine RTC (RealTimeClock) verwendet. Bei jedem Programm-Upload wird die aktuelle Uhrzeit an die RTC gesendet. Diese zählt dann durch den eingebauten Quarz und eine Batterie selbstständig weiter. Der Haupt-ESP fragt bei jeder Display-Aktualisierung die aktuelle Uhrzeit ab und schickt diese samt den Umweltdaten an den Display-ESP, welcher die Uhrzeit und das Datum dann auf dem Display anzeigt. Die Programmierung basiert auf einer Vorlage aus der Website „tronixstuff.com“ [22].

```
1. #define DS3231_I2C_ADDRESS 0x68 //RealTimeClock initialisation
2. byte minute, hour, dayOfMonth, month, year;
```

Abbildung 118: Programm Real-Time-Clock

Mit den Programmzeilen wird einerseits dem Programm die I2C-Adresse der RTC mitgegeben um auf der I2C -Schnittstelle auch mit dem richtigen Teilnehmer zu kommunizieren. Andererseits werden die Variablen in denen Uhrzeit und Datum gespeichert werden global definiert, damit im späteren Verlauf auch aus Unterfunktionen auf diese Variablen zurückgegriffen werden kann.



Abbildung 119: RTC Funktionen

In Abbildung 119 sind die einzelnen Schritte zur Zeitermittlung abgebildet. Die Funktion „*data_to_display*“ sendet die gesamten Daten an das Display. Um hierfür die Uhrzeit zu erfahren ruft sie zuerst die Funktion „*display_time_senden*“ auf, welche als Übersetzer von binär auf dezimal dient. Um an die binären Werte zu gelangen wird weiters die Funktion „*readDS3231_time*“ verwendet. Diese Funktion kommuniziert direkt mit der RealTimeClock und fragt aus deren Registern die einzelnen Daten für Uhrzeit und Datum ab.

4.5.4 Strom-Sensor

Um die eingesparte Energie auf dem Display anzuzeigen, ist ein Strom-Sensor zur Energieerfassung eingebaut. Dieser soll den in die Laterne fließenden Strom (Steckdosen sind ausgenommen) messen. Zur Leistungsberechnung wird der Strom mit der Spannung multipliziert. Die verbrauchte Leistung wird weiters mit einer unregelmäßig leuchtenden Laterne verglichen, um anzeigen zu können wie viel Energie durch die smartLantern eingespart werden kann.

Die Schwierigkeit hierbei ist der Wechselstrom am Sensor. Um mit dem Sensor Wechselstrom messen zu können, muss mehrmals innerhalb einer Periode die Stromstärke gemessen werden. Weiters muss diese quadriert werden, um sowohl den negative als auch den positiven Strom addieren zu können. Allerdings schwankt die so gemessene Leistung aufgrund der wahrscheinlich zu geringen Messfrequenz sowie der geringen Auflösung des Sensors sehr stark.

Folglich wurde entschieden die Leistung in den einzelnen Leuchtzuständen einmalig mit einem Netzanalysator zu messen und lediglich die Zeit in den jeweiligen Zuständen zu speichern. Da die Laterne nur zwischen drei definierten Zuständen wechselt, gibt es auch nur drei Leistungen. Zustand eins ist hierbei „ausgeschaltet“ in diesem Zustand ist keine Leistung vorhanden. Zustand zwei ist „gedimmt“, hier ergab die Messung mit dem Netzanalysator wie in Abbildung 120 erkennbar 10,86W. Bei Zustand 3 „volle Leuchtstärke“ weist die smartLantern eine verbrauchte Leistung von 34,3W auf.

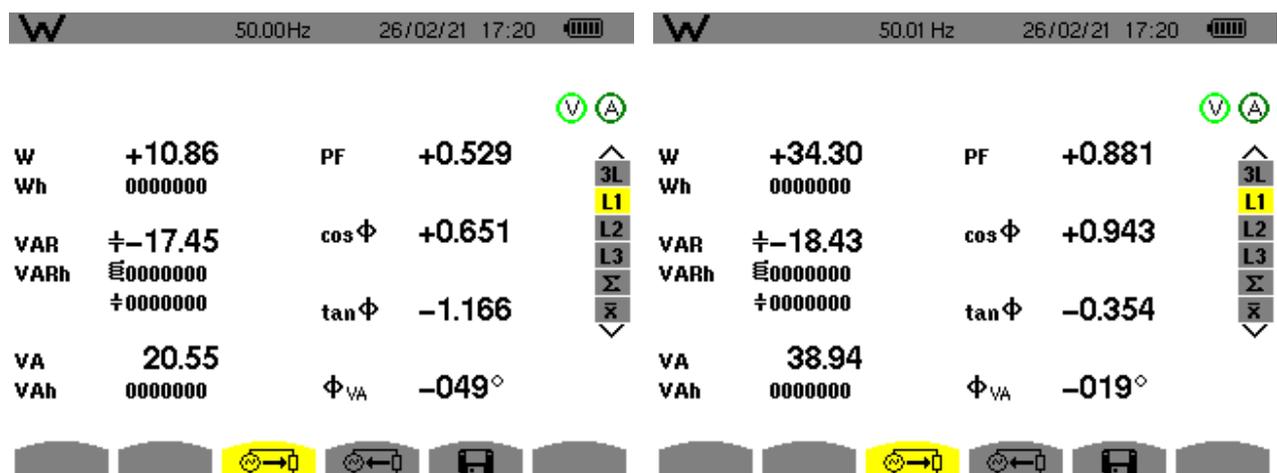


Abbildung 120: Ergebnisse der Netzanalysator Messung

Wenn sich die smartLantern im gedimmten Zustand befindet, wird somit eine Einsparung von 68,34% erreicht.

$$\text{Einsparung} = \frac{\text{ungedimmt} - \text{gedimmt}}{\text{ungedimmt}} * 100 = 68,34\%$$

Um die aktuelle Einsparung anzeigen zu können muss das Verhältnis von gedimmter Zeit zu Gesamtleuchtzeit mit der Einsparung (68,34%) multipliziert werden.

$$\text{aktuelle Einsparung} = 68,34\% * \frac{\text{gedimmte Zeit}}{\text{gesamt Leucht Zeit}}$$

Um die Zeiten in den einzelnen Zuständen zu erfassen, wird jeweils ein Timer mit der „*millis()-Funktion*“ gestartet und die gemessenen Zeiten in den Zuständen aufsummiert und gespeichert.

Je länger sich die Laterne im gedimmten Zustand befindet, desto höher ist die Einsparung. Wenn kaum Verkehr vorhanden ist, und die Laterne den Großteil der Zeit gedimmt ist, wird die maximale Einsparung von 68,34% erreicht. Je länger die Laterne auf voller Leuchtstärke leuchtet, desto geringer wird auch die Einsparung.

4.6 Display

Als Display wurde ein ePaper Display gewählt, da dieses einerseits sehr Strom sparend ist und folglich das Ziel Energie einzusparen unterstützt, und andererseits lässt sich ein ePaper Display sehr gut im Freien und unter Sonneneinstrahlung ablesen. Das Display hat eine Bilddiagonale von 5.83“ und 600x448 Pixel und wird über ein SPI-Interface angesteuert.

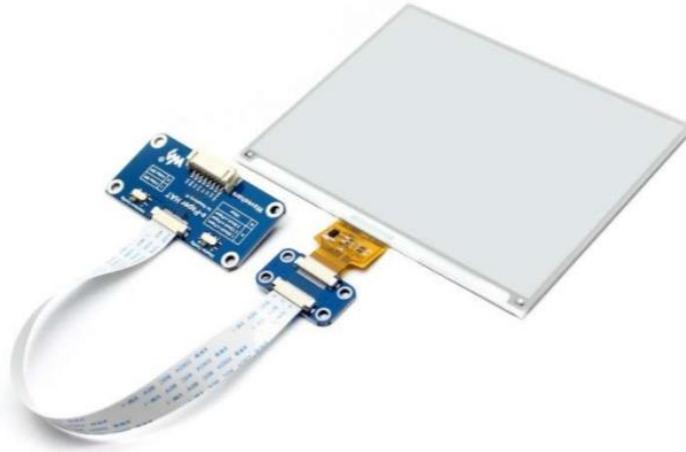


Abbildung 121: ePaper Display [23]

4.6.1 Serial Peripheral Interface SPI

Serial Peripheral Interface ist ein synchroner, serieller Datenbus mit einem Master-Slave Prinzip [24]. Ein Master kann mehrere Slaves ansprechen, allerdings wird dies bei diesem Projekt nicht benötigt, da der ESP (Master) nur ein Display (Slave) ansprechen muss. Mittels einer Chip-Select Leitung (SS) kann der Slave ausgewählt werden, welcher angesprochen werden soll. Weiters wird der Takt über die SCLK-Leitung übertragen. Die Daten werden über die MOSI-Leitung (Master Output, Slave Input) an das Display übertragen.

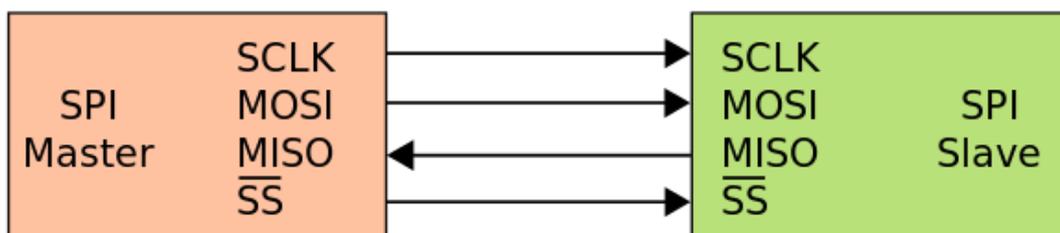


Abbildung 122: SPI-Erklärung [24]

4.6.2 Trennung der Display-Steuerung

Das Display funktionierte oft nicht zuverlässig und ließ sich nicht mehr ansteuern, da das Programm ohne jegliche Fehlermeldung oder Anmerkung stoppte. Um dieses Problem zu lösen, wurde ein weiterer ESP32 eingebaut. Dieser ESP erhält die Daten von dem Haupt-ESP und schreibt diese dann auf das Display. Somit sind die wichtigsten Funktionen wie die Steuerung der Helligkeit und das Einlesen der Sensorwerte am Haupt-ESP sichergestellt. Der Display-ESP dient nur zur Steuerung des Displays. Diese Aufspaltung ist auch in den Übersichtsdiagrammen in 4.1 und 4.2 zu erkennen.

4.6.3 Display Daten senden

Die zwei ESPs kommunizieren über eine serielle Schnittstelle. Über diese Schnittstelle wird zu Beginn jeder Kommunikation ein Startzeichen („<“) und ein Buchstabe gesendet. Der Buchstabe definiert welcher Sensorwert übertragen wird, beispielsweise ein „T“ für Temperatur. Danach folgt der Zahlenwert und zum Schluss ein Endzeichen („>“). Durch die Zeichen am Anfang und am Ende wird sichergestellt, dass ein Datenpaket immer vollständig eingelesen wird. Die UART-Kommunikation wird mit 19.200 Baud betrieben.

In der Abbildung 123 ist die Schleife abgebildet, mit welcher die Daten zum Display gesendet werden. Mithilfe der millis-Funktion wird diese Schleife in einem beliebigen Intervall durchgeführt. Für den Testbetrieb wurden die Daten alle 15 Sekunden an den Display ESP gesendet. Dies bedeutet auch, dass die Daten der Umweltsensoren alle 15 Sekunden abgefragt werden. Zum eigentlichen Senden wird die Funktion „data_to_display“ aufgerufen. Die eingesparte Energie ist hierbei der einzige Parameter, welcher der Funktion aus der void-loop-Schleife mitgegeben wird.

```
1. if (millis() > interval + actualTime) { //every 15 seconds
2.   actualTime = millis();
3.   data_to_display(energie_einsparung);
4. }
```

Abbildung 123: data_to_display_Aufruf

In Abbildung 124 ist die Funktion „data_to_display“ abgebildet. Zu Beginn werden die Sensoren abgefragt und deren Messwerte in Variablen gespeichert. Außerdem werden Character-Variablen definiert, in welchen später das Datum und die Uhrzeit stehen werden. Um an diese zu kommen, wird folgend die Funktion „displayTime_senden“ benutzt.

```
1. void data_to_display(float leistung_gemittelt) {
2.   float temp_1 = bme.readTemperature();
3.   float luftdruck_1 = bme.readPressure() / 100.0F;
4.   int luftfeuchtigkeit_1 = bme.readHumidity();
5.   float feinstaub_1 = feinstaub_sensor();
6.   char rtc_date [20];
7.   char rtc_time [20];
8.   displayTime_senden();
9.
10.  Serial.println("temp_1 - Senden");
11.  Serial.println(temp_1);
12.  ss_Display.print("<T");
13.  ss_Display.print(temp_1);
14.  ss_Display.print(">");
15.  [...]
16.  ss_Display.print("<U");
17.  Serial.println("Uhrzeit  ");
18.  sprintf(rtc_time, 6, "%02d:%02d", hour, minute);
19.  Serial.println(rtc_time);
20.  ss_Display.println(rtc_time);
21.  ss_Display.print(">");
22.  ss_Display.print("<D");
23.  Serial.println("Datum  ");
24.  sprintf(rtc_date, 11, "%02d.%02d.20%2d", dayOfMonth, month,
    year);
25.  Serial.println(rtc_date);
26.  ss_Display.println(rtc_date);
27.  ss_Display.print(">");
28.  ss_Display.print("<S");
29.  Serial.println("strom_einsparung - Senden");
30.  Serial.println(leistung_gemittelt);
31.  Serial.println();
32.  ss_Display.print(leistung_gemittelt
33.  ss_Display.print(">");
34. }
```

Abbildung 124: Funktion: Display-Daten senden

Der Sendeteil beginnt wie beschrieben immer mit einem „<“ als Startzeichen und dem darauffolgenden Buchstaben. Bei den Umweltdaten, welche als Zahlenwert gesendet werden kann einfach mittels der Funktion „`ss_Display.print(Sensorwert)`“ die Zahl gesendet werden. Bei dem Datum und der Uhrzeit hingegen wird zuerst eine `sprintf`-Funktion aufgerufen. Diese Funktion erstellt einen String mit dem Format, welches die `printf`-Funktion ausgegeben hätte. Dadurch werden die einzelnen Zahlen zum Beispiel die Minuten und Stunden im richtigen Format, also mit Doppelpunkt dazwischen in einen neuen String gespeichert. Erst dieser neu erstellte String wird an den Display-ESP übermittelt.

4.6.4 Display Daten empfangen

```
1. void loop(){
2.   char c = 0;
3.   while((ss.available() > 0) && c != '<'){
4.     c = ss.read();
5.   }
6.   if (c == '<') {
7.     while(!ss.available());
8.     char code = ss.read();
9.
10.    if (code == 'T') {      //Temperatur
11.      temp = ss.parseFloat();
12.    }
13.    [...]
14.    if (code == 'U') {      //Uhrzeit
15.      uhrzeit = ss.readStringUntil('>');
16.    }
17.    if (code == 'D') {      //Datum
18.      datum = ss.readStringUntil('>');
19.    }
20.    if (code == 'S') {      //Strom
21.      strom = ss.parseFloat();
22.    }
23.    measurements(temp, luftdruck, feuchtigkeit, feinstaub);
24.  }
25. }
```

Abbildung 125: Funktion Display-Daten empfangen

Der Empfänger liest zu Beginn so lange ein, bis er das Startzeichen erhält. Dadurch wird sichergestellt, dass ein Datenpaket immer vollständig erhalten wird. Nachdem ein Startzeichen eingetroffen ist, wird der Buchstabe verglichen, der beschreibt welche Daten gerade gesendet werden. Nach dem Buchstaben folgt bereits der Zahlenwert, welcher mit der Funktion „*parseFloat()*“ eingelesen wird. Um die Uhrzeit oder das Datum, welche in einem String gespeichert sind, einlesen zu können wird die Funktion „*ss.readStringUntil('>')*“ verwendet. Nachdem alle Daten in Variablen gespeichert wurden, werden diese mittels der Funktion „*measurements()*“ an dem Display angezeigt.

4.6.5 Display ansteuern

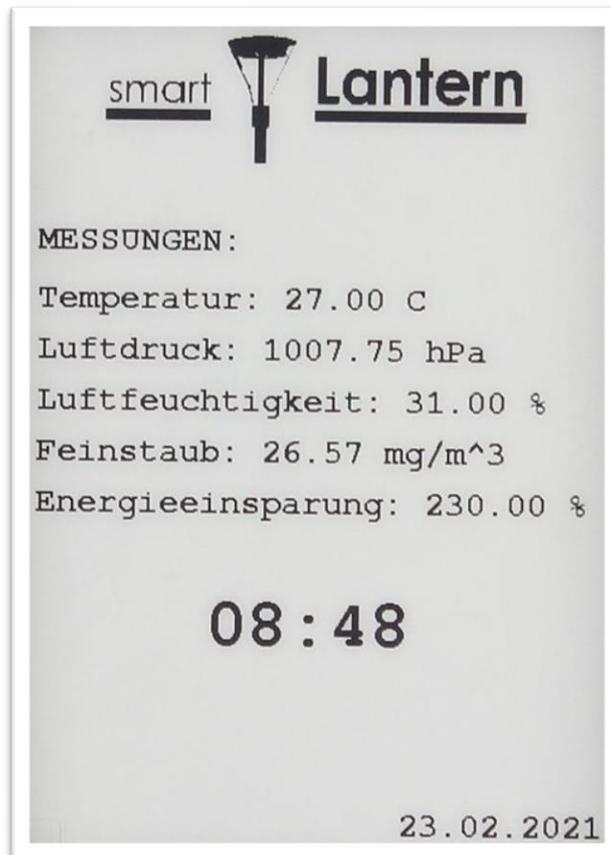


Abbildung 126: Display-Inhalt

Um auf dem Display das Logo, die Messdaten und die Uhrzeit samt Datum anzuzeigen, wird die Bibliothek GxEPD2 [25] verwendet. Mithilfe dieser Bibliothek können nahezu alle über SPI angesteuerte ePaper Displays beschrieben werden.

In Abbildung 127 ist die Einbindung der Bibliotheken sowie die Definition der verwendeten Pins zu erkennen. Außerdem werden unterschiedliche Schriftarten miteingebunden.

```
1. #define ENABLE_GxEPD2_GFX 0
2. #include <GxEPD2_BW.h>
3. #include <U8g2_för_Adafruit_GFX.h>
4. #include <Fonts/FreeMonoBold9pt7b.h>
5. #include <Fonts/FreeMonoBold12pt7b.h>
6.
7. #if defined(ESP32)
8. GxEPD2_BW<GxEPD2_583, GxEPD2_583::HEIGHT>
   display(GxEPD2_583(/*CS=5*/ SS, /*DC=*/ 17, /*RST=*/ 16,
   /*BUSY=*/ 4));
9. #endif
```

Abbildung 127: Initialisierung des Displays

Damit das Display vollständig initialisiert ist, muss im „*void setup()*“ die Funktion „*display.init()*“ aufgerufen werden. Durch Tests und Recherche stellte sich heraus, dass das Display am zuverlässigsten funktioniert, wenn der *init*-Funktion keine Baud-Rate wie beispielsweise „*display.init(115200)*“ mitgegeben wird.

```
1. void setup() {
2.   [...]
3.   delay(100);
4.   display.init();
5. }
6.
7. void measurements(float temperatur, float luftdruck, float
   luftfeuchtigkeit, float feinstaub) {
8.   display.setRotation(3);
9.   display.setTextColor(GxEPD_BLACK);
10.  display.setFont(&FreeMonoBold12pt7b);
11.  display.setFullWindow();
12.  display.firstPage();
13.  do{
14.    display.fillScreen(GxEPD_WHITE);
15.    display.setCursor(30, 180);
16.    display.print("MESSUNGEN: ");
17.    display.setCursor(30, 220);
18.    display.print("Temperatur: ");
19.    display.print(temperatur);
20.    display.print(" °C");
21.    [...]
22.    display.setFont(&FreeMonoBold24pt7b);
23.    display.setCursor(147, 450);
24.    display.print(uhrzeit);
25.    display.setFont(&FreeMonoBold12pt7b);
26.    display.setCursor(280, 580);
27.    display.print(datum);
28.    logo1();
29.  }
30.  while (display.nextPage());
31. }
```

Abbildung 128: Text auf Display schreiben

Die Funktion „*measurements()*“ abgebildet in der obigen Abbildung 128 schreibt die ihr mitgegeben Daten auf das Display. Hierzu wird zu Beginn die Rotation des Displays sowie die Hintergrund- und Schriftfarbe eingestellt. Nachdem der gesamte Bildschirm weiß gefüllt wurde, kann mit schwarzer Schrift darauf geschrieben werden. Dazu kann der Cursor an eine beliebige Position am Display platziert werden und mittels der Funktion „*display.print()*“ werden Text oder Variablen geschrieben.

Nachdem der gesamte Text auf das Display geschrieben wurde, wird die Funktion „logo1()“ aufgerufen, welche das smartLantern Logo visualisiert. Das Logo wurde hierfür als Bitmap abgespeichert. Durch die in Abbildung 129 dargestellte Funktion, können die Größe des Logos, der „Datei-Name“ des Logos sowie die Position eingestellt werden. Außerdem muss noch die Farbe, in diesem Fall schwarz als Parameter eingestellt werden.

```
1. display.drawBitmap(70,30,gImage_logo5, 300,91, GxEPD_BLACK);
```

Abbildung 129: Bitmap Befehl

4.7 Kommunikation zwischen Laternen

Damit mehrere Laternen miteinander kommunizieren können, ist jede Laterne mit einem HC12 Funkmodul ausgestattet. Dieses wird über eine serielle-Schnittstelle angesteuert und weist eine Reichweite von bis zu 1000m im Freien auf. Die Hauptlaterne dient als Master, sie erkennt Bewegungen und passt ihre Helligkeit dementsprechend an. Außerdem meldet sie den folgenden Laternen über das Funkmodul, dass sich jemand nähert und die Laternen ebenfalls leuchten sollen. Dadurch kann der Weg im Vorhinein ausgeleuchtet werden. Die Nebenlaternen sind in diesem System nur Slaves, und führen lediglich die Befehle der Hauptlaterne aus.

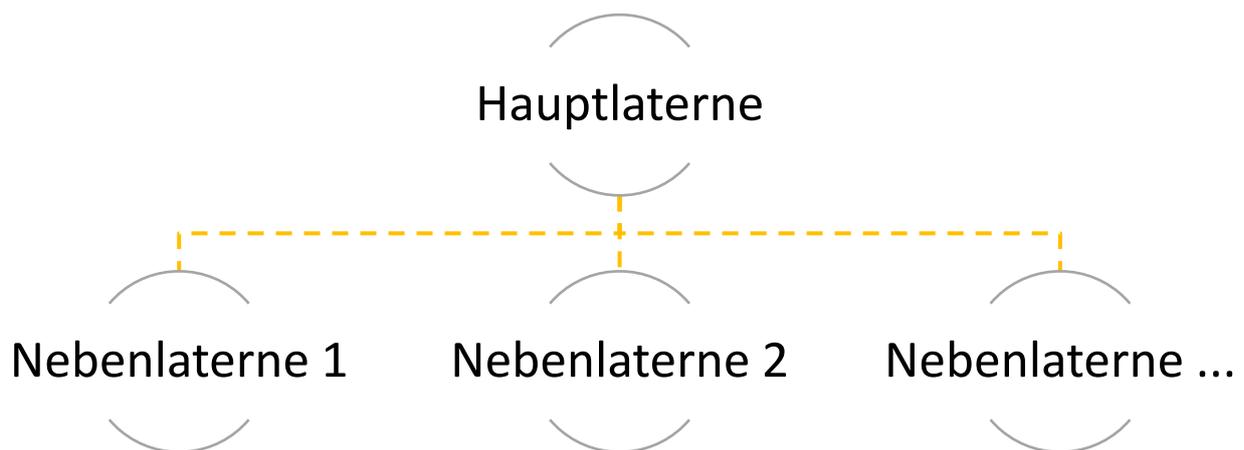


Abbildung 130: Kommunikation zwischen Laternen

Zum Senden der Daten wurde die Funktion „*radio()*“ geschrieben, dargestellt in Abbildung 131. Durch diese Funktion kann mittels des Befehls „*radio(2,'L')*“ jede Laterne individuell angesteuert werden. Der Funktion wird die Nummer der gewünschten Laterne sowie der gewünschte Leuchtzustand mitgegeben. Die Funktion sendet dann in einem Broadcast Befehl an alle Laternen, wobei jede Laterne alle Befehle empfängt. Allerdings wird zusätzlich zum Befehl noch ein Buchstabe mitgeschickt, anhand dessen die Laternen unterschieden werden. Aufgrund dieses Systems kann problemlos die Laternenanzahl erhöht werden.

```

1. void radio(int lantern, char brightness){
2.   ss_HC12.print("<");           //Start-Zeichen
3.   if (lantern == 1) {
4.     ss_HC12.print("A");         //A für Nebenlaterne 1
5.   }
6.   if (lantern == 2) {
7.     ss_HC12.print("B");         //B für Nebenlaterne 2
8.   }
9.   if (brightness == 'L') {     //L: mit voller Stärke leuchten
10.    ss_HC12.print("L");
11.  }
12.  if (brightness == 'H') {     //H: mit halber Stärke leuchten
13.    ss_HC12.print("H");
14.  }
15.  if (brightness == 'N') {     //N: Nicht leuchten
16.    ss_HC12.print("N");
17.  }
18.  ss_HC12.print(">"); }         //End-Zeichen

```

Abbildung 131: Funktion zur Kommunikation zwischen Laternen

4.8 Nebenlaternen

Die Nebenlaternen können nur die Leuchtstärke regulieren sowie Daten von den anderen Laternen empfangen. Die Kommunikation zwischen den Laternen funktioniert ähnlich der Kommunikation zwischen Haupt-ESP und Display-ESP. Zu Beginn wird ein Startzeichen („<“) übertragen, danach folgt der Buchstabe anhand dessen die Laternen unterschieden werden und anschließend, das gewünschte Leuchtlevel. Die Kommunikation wird wieder mit einem Endzeichen („>“) beendet.

Jede Nebenlaterne wird mit dem gleichen Programm gesteuert, lediglich der Buchstabe zur Identifikation der Laterne unterscheidet sich. Außerdem besitzen die Nebenlaterne eine eingebaute Verzögerung, damit nicht alle Laternen gleichzeitig aufleuchten, wenn eine Bewegung erkannt wird, sondern eine nach der anderen. Dadurch kann innerhalb einer Straße der Weg im Vorhinein beleuchtet werden und hinter der Person wieder gedimmt werden.

4.8.1 Verzögerung der Nebenlaternen

Damit eine Verzögerung auftritt, wird beim Empfangen von den Leuchtbefehlen jeweils ein Timer gestartet und erst nach Ablauf der eingestellten Zeit, wird der Leuchtbefehl durchgeführt. Dies findet sowohl beim „Voll-Leuchten-Befehl“ als auch beim „gedimmt-Leuchten-Befehl“ statt. Damit es hier zu keinen falschen Leuchtzuständen kommt, wird mittels status-Variablen immer eine der beiden Leuchtvarianten aktiviert und die andere automatisch deaktiviert. Dies ist in der untenstehenden Abbildung 132 zu erkennen.

```
1.  if (code == 'L') {      //L für leuchten
2.    if (status_delay1 == 0){
3.      actualTime1 = millis();
4.      status_delay1 = 1;
5.      status_delay2 = 0;
6.    }
7.  }
8.
9.  if (code == 'H') {      //H für Halb leuchten
10.   if (status_delay2 == 0){
11.     actualTime2 = millis();
12.     status_delay2 = 1;
13.     status_delay1 = 0;
14.   }
15. }
16.
17. if (code == 'N') {      //N für nicht-leuchten
18.   dali.transmit(BROADCAST_DP, OFF_DP);
19. }
20.
21. if ((status_delay1 == 1) && (millis()-actualTime1 >
   lantern_delay)){
22.   status_delay1 = 0;
23.   dali.transmit(BROADCAST_DP, ON_DP);
24. }
25. if ((status_delay2 == 1) && (millis()-actualTime2 >
   lantern_delay)){
26.   status_delay2 = 0;
27.   dali.transmit(BROADCAST_DP, 40);
28. }
```

Abbildung 132: Verzögerung der Nebenlaternen

4.9 LED-Ring

Unterhalb der Leuchte befindet sich ein LED-Ring bestehend aus 41 RGB-LEDs. Der Ring dient zur optischen Darstellung der Leuchtstärke, so leuchtet der Ring grün, wenn die Laterne in voller Stärke leuchtet. Sobald die Laterne keine Bewegung mehr erkennt, startet ein Countdown bis die Leuchte gedimmt wird. Dieser Countdown wird durch schrittweises Ausschalten des LED-Ring symbolisiert. Befindet sich die Laterne im gedimmten Zustand leuchtet der LED-Ring nur schwach gelb. Sollte die Laterne aus sein, so ist auch der LED-Streifen aus.



Abbildung 133: Leuchte sam LED-Ring

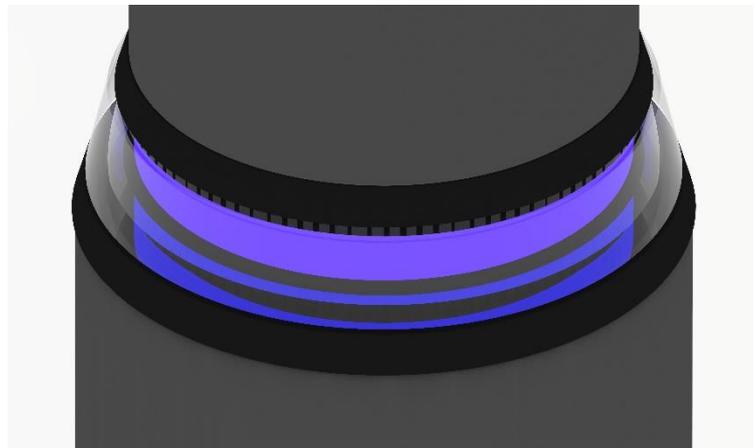


Abbildung 134: LED-Ring Detail

Der LED-Ring wurde eingebaut, um aufzuzeigen, welche Möglichkeiten durch eine zusätzliche optische Anzeige entstehen. Beispielsweise könnte der LED-Ring rot blinken, um Personen vor einer zu hohen Feinstaubbelastung zu warnen oder er signalisiert ob die Lademöglichkeiten an der Laterne bereits besetzt sind. Realisiert wurden allerdings nur die Anzeige der Leuchtstärke und der Countdown in Form eines Lauflichts.

Zur Programmierung wurden die beiden Bibliotheken „Adafruit_NeoPixel.h“ und „portmacro.h“ genutzt. Die „Adafruit_NeoPixel.h“ dient hierbei zur Ansteuerung der RGB-LEDs. Während die Daten zu den LEDs geschickt werden, dürfen möglichst keine Unterbrechungen in Form von Interrupts stattfinden. Damit diese Interrupts kurzzeitig deaktiviert werden können, werden die sich in der Bibliothek „portmacro.h“ befindenden Befehle „`portDISABLE_INTERRUPTS()`“ und „`portENABLE_INTERRUPTS()`“ genutzt.

In der Abbildung 135 ist die Funktion für den LED-Countdown abgebildet. In den Zeilen 1 bis 5 wird die Anzahl der zu leuchtenden LEDs berechnet und der Funktion mitgegeben. Der Countdown beginnt mit 41 LEDs und verringert sich, bis keine LED mehr leuchtet. Die Anzahl wird der Funktion „*led_stripe_countdown()*“ mitgegeben. In dieser Funktion sind zwei Schleifen zu erkennen, eine dient zum Einschalten der LEDs, die andere Schleife stellt sicher, dass alle nicht benötigten LEDs auch aus sind. Außerdem ist zu erkennen, wie die Interrupts in Zeile 9 deaktiviert werden und erst wieder in Zeile 21 aktiviert werden, um die LEDs möglichst ohne Störungen anzusteuern.

```
1. int test_1 = millis()-actualTime1;
2. float test_2 = test_1/interval_lantern_stays_on;
3. float test_3 = 1 - test_2;
4. int led_anzahl = test_3 * NUMPIXELS;
5. led_countdown(led_anzahl);
6.
7.
8. void led_stripe_countdown (int number) {
9.   portDISABLE_INTERRUPTS();
10.
11.   for(int i=0;i<number;i++){
12.     pixels.setPixelColor(i, pixels.Color(0,255,0));
13.     pixels.show();
14.   }
15.
16.   for(int i=NUMPIXELS;i>=number;i--){
17.     pixels.setPixelColor(i, pixels.Color(0,0,0));
18.     pixels.show();
19.   }
20.
21.   portENABLE_INTERRUPTS();
22. }
```

Abbildung 135: Funktion *Led_stripe_countdown*

5 Projektabschluss

5.1 Verwertung des Projektes

Wie das Projekt über die Diplomarbeit hinaus verwertet wird, ist zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht fixiert. Allerdings besteht eventuell die Möglichkeit das Projekt für unseren Hauptsponsor Schrack-Technik weiter zu entwickeln. Außerdem hat sich bereits ein Kleingartenverein als Kaufinteressent gemeldet, da das Konzept der smartLantern ideal für dessen Kleingartensiedlungen geeignet ist.

Da die smartLantern eine große Wirkung auf die Gesellschaft hat und noch viel Weiterentwicklungspotential vorhanden ist, besteht die Möglichkeit dieses Projekt als Startup weiterzuführen. Hierbei wäre das Geschäftsmodell die Herstellung und der Verkauf der Laternen, sowie die Verwertung der Daten. Besonders durch die Daten entsteht dabei ein sehr großes wirtschaftliches Potential, da diese für Meteorologen, Stadt-Verwaltungen, Netzbetreiber, Verkehrsindustrie und Anrainer relevant sind.

5.2 Wirkung auf die Gesellschaft

Die smartLantern ist ein Prototyp, welcher aufzeigt, dass das Konzept von vernetzten smarten Straßenlaternen umsetzbar ist. Sollte die smartLantern tatsächlich im realen Leben eingesetzt werden, hätte dies große Auswirkungen auf die Bevölkerung. Die smartLantern spart durch die automatische Regelung der Helligkeit Energie ein, was dabei hilft die Erderwärmung und Klimakrise zu verlangsamen. Hierzu werden Faktoren wie die aktuelle Umgebungshelligkeit, die Bewegung einer Person, die Richtung der Bewegung sowie Informationen von anderen Laternen berücksichtigt.

Durch die ständige Beleuchtung wird bei Menschen und nachtaktiven Tieren und Insekten die Innere-Uhr gestört. Dies wirkt sich negativ auf den Schlaf und damit direkt auf die Gesundheit aus. Diese Lichtverschmutzung wird bei der smartLantern einerseits durch die eingebauten LEDs, andererseits durch die intelligente Dimmung und Vernetzung reduziert.

Außerdem weist die smartLantern aufgrund ihrer robusten Bauweise die gleiche hohe Lebenserwartung wie herkömmliche Laternen auf und ist dadurch sehr nachhaltig. Durch die mögliche Vernetzung können durch Fernwartung und Frühwarnsysteme eine deutlich längere Laufzeit und geringere Ausfallszeiten erreicht werden.

Mithilfe der in der Laterne integrierten Umwelt- und Wettersensoren lassen sich in Zukunft detailliertere Wetterkarten und Wettervorhersagen erstellen. Da Laternen in 10 bis 15 Meter Abständen an jeder Straße stehen, entsteht ein sehr dichtes Netz an Messstationen. Dadurch können Wetterprognosen auf eine deutlich größere Anzahl an Daten zurückgreifen, was wiederum die Genauigkeit erhöht. Weiters ist es möglich sehr lokale „Phänomene“ zu messen. Beispielsweise können Bewohner an einer vielbefahrenen Straße oder an einer Baustelle gewarnt werden, wenn die Feinstaubbelastung zu hoch ist.

5.3 Ausblick

Bereits in der Planungsphase wurde festgestellt, dass das Projekt viel weiteres mögliches Entwicklungspotential aufweist. Sogar so viel, dass extra Nicht-Ziele definiert wurden, um den Rahmen der Diplomarbeit nicht zu sprengen.

Die smartLantern könnte in Zukunft modular aufgebaut werden. Dadurch können mögliche Kunden aus einer Vielzahl an Modulen und Funktionen auswählen. Beispielsweise ist es möglich, dass in jeder Straße nur eine Laterne mit einem Display ausgestattet wird, dafür könnten die Laternen vor Wohnhäusern alle mit Ladestationen ausgerüstet werden. Weiters könnte zusätzlich zu den momentan verwendeten 230V Steckdosen eine E-Tankstelle integriert werden, um die Schnellladefunktionen von modernen Elektroautos zu unterstützen. Dadurch würde in Städten ein sehr dichtes Netz an Ladestation entstehen, um den künftigen Anstieg an e-Autos zu bewältigen. Das größte Entwicklungspotential liegt in der Anbindung an das Internet. Durch die Vernetzung mit dem Internet wäre es möglich Echtzeitdaten aus der gesamten Stadt auszuwerten. Dies hilft unter anderem in den Bereichen Verkehrsplanung, Stau-Management, Wettervorhersage, Fernwartung, IOT und SmartGrid (Energie-Netzwerk). Zusätzlich können noch weitere Daten erfasst werden, beispielsweise die Lärmbelastung, das Verkehrsaufkommen und die Anzahl an freien Park- und Ladeplätzen.

6 Lessons Learned

6.1 Reinsperger

Über die gesamte Projektlaufzeit war zu erkennen, wie wichtig eine genau strukturierte und definierte Projektplanung für den letztendlichen Erfolg ist. Beispielsweise kam es bei den Masten zu einer Lieferverzögerung, doch da durch den Projektleiter ein passender Puffer eingeplant wurde, wurde der Projektablauf nicht gefährdet. Es konnte ohne weiters ein Arbeitspaket vorgezogen werden, wodurch mit dem 3D-Druck begonnen wurde und die Masten später bearbeitet wurden.

Da beim 3D-Druck verschiedene Materialien verwendet worden sind, wie zum Beispiel ASA, PLA und TPU, konnte festgestellt werden, wie wichtig es ist die zu den Materialien gehörigen Temperaturen am 3D-Drucker einzustellen. Besonders schwierig war es auch die verschiedenen Kunststoffe am Druckbett zum Haften zu bringen. Dafür mussten eigene Einstellungen im Slicer Programm aktiviert werden. Sehr interessant war außerdem mit flexiblem TPU Filament zu drucken, da dieses trotz der Flexibilität sehr robust ist.

Es hat sich erneut herausgestellt, wie wichtig in einem Projekt die Zusammenarbeit im Team ist, wenn die Dynamik im Team nicht stimmt, wird aus der besten Idee nichts, da sie nicht im Team umgesetzt werden kann. Das Team hat sich in den letzten fünf Jahren perfekt aufeinander abgestimmt, sodass es keine Probleme gab und jeder genau wusste, wo er helfen konnte.

Da die Masten mit etwas Verspätung geliefert wurden, packte das ganze Team bei der Bearbeitung der Masten an. Zusätzlich wurde damit dem Mechaniker sehr geholfen, da dieser allein einige Tage an den Masten gearbeitet hätte und somit wurde die Arbeitszeit durch das ganze Team drastisch reduziert. Auch beim Zusammenbau aller Komponenten der smartLantern spielte das Teamwork eine wichtige Rolle, da meist eine zweite Person helfen musste, um die Bauteile richtig zu befestigen.

Weiters war besonderes Werkzeug wie eine Crimpzange oder ein Dremel von Vorteil, da diese den Arbeitsaufwand deutlich verringerten und vereinfachten. Auch Kleinigkeiten wie Schrumpfschläuche oder WAGO Klemmen vereinfachten das Arbeiten sehr. Deshalb ist es immer wichtig, mit dem richtigen Werkzeug und den richtigen Utensilien zu arbeiten.

6.2 Schmidmayr

Da das Projekt bereits zu Beginn gut geplant wurde und die einzelnen Arbeitspakete in chronologischer Reihenfolge definiert wurden, war es zu jeder Zeit klar, von welcher Person, welche Arbeit durchgeführt werden musste, um nicht in Verzug zu kommen.

Ohne diese Planung wäre es sehr schwierig gewesen, das Projekt erfolgreich abzuschließen. Beispielsweise kam es bei der Lieferung der Masten zu einer Verzögerung von sechs Wochen, dadurch verspäteten sich mehrere Meilensteine und Arbeitspakete. Da allerdings Puffer eingeplant wurden und andere Arbeitspakete vorgezogen werden konnten, wurde das Projekt schlussendlich zwei Wochen früher abgenommen als geplant, da bereits alle Arbeiten erledigt waren. Weiters kam es aufgrund von defekten Bauteilen, wie zum Beispiel dem Display oder einer Konstantstromquelle zu kurzen Verzögerungen, da Ersatzteile bestellt werden mussten. Bei günstigen Bauteilen lohnt es sich daher gleich mehrere zu kaufen, um bei einem Problem nicht in Verzug zu kommen.

Besonders wichtig ist es ebenfalls, geeignete Sponsoren zu finden. Diese unterstützen nicht nur mit finanziellen Mitteln, Bauteilen und Werkzeugen, sondern oft auch mit Knowhow. Da Schrack for Students gleich zu Beginn des Projekts als Partner gewonnen werden konnte und bei gemeinsamen Treffen über Realisierungsmöglichkeiten diskutiert wurde, konnten einige Fehler und Schwierigkeiten vermieden werden. Hätte Schrack for Students eine Unterstützung abgelehnt, wäre es maximal möglich gewesen eine einzelne, anstatt drei Straßenlaternen herzustellen.

Einen großen Vorteil hatte darüber hinaus die Wahl von motivierten, verlässlichen Betreuern, die uns bei etwaigen Schwierigkeiten zur Seite standen. Mit diesen wurde bei Jour Fixe Meetings in einem zweiwöchigen Intervall der aktuelle Stand des Projekts besprochen, Probleme konnten dadurch schon frühzeitig behoben bzw. verhindert werden. Da auch im Team bei Bedarf Meetings abgehalten wurden und über mögliche Lösungsstrategien diskutiert und abgestimmt wurde, funktionierte die Zusammenarbeit einwandfrei.

Weiters sollte besonderer Wert auf die Testphase des Projekts gelegt werden. Während einige Funktionen an einem Tag einwandfrei funktionierten, kam es am nächsten Tag zu Schwierigkeiten. Dies lag zum Beispiel an defekten Lötstellen, Kabeln oder kleinen Fehlern im Programmcode.

6.3 Steiner

Dank eines von Anfang an gut geplanten Managements war ein strukturiertes und effizientes Arbeiten während des gesamten Projekts möglich. Die Arbeitspakete waren zeitlich gut definiert und es war zu jeder Zeit klar, wer was zu tun hat. Da es zu einer Verzögerung bei der Lieferung der Masten kam, musste der Zeitplan angepasst werden. Das hat sehr gut funktioniert, da einerseits Puffer eingeplant waren und andererseits Arbeitspakete vorgezogen werden konnten. Außerdem hat das gesamte Team bei der Bearbeitung der Masten geholfen, damit die Verspätung nicht noch größer wurde.

Durch die Zusammenarbeit im Team konnten die besten Wege zur Umsetzung und auch Lösungen für Probleme gefunden werden. Kam es zu zeitlichem Druck, ausgelöst durch externe Faktoren, wie zum Beispiel Prüfungen im Bereich der Schule, wurde dieser gemeinsam bewältigt. Damit die einzelnen Teilbereiche, wie Mechanik, Programmierung und Elektronik reibungslos miteinander funktionieren, war eine gute Absprache unter den am Projekt Beteiligten notwendig. Hier traten keinerlei Probleme auf, da sich das Team bereits in den fünf Schuljahren zuvor gut eingespielt hat.

Im Bereich der Elektronik war es möglich das bereits erlernte Wissen in die Tat umzusetzen. Bei neuen Themen wie beispielsweise dem DALI-Protokoll, konnte auf die Erfahrungen und die Unterstützung der Betreuungslehrer gesetzt werden.

Bei der Planung der Elektronik war es sinnvoll immer nur kleine Teile zu entwickeln, diese dann mit der Software abzustimmen und zu Testen. Wenn ein Fehler bemerkt wurde oder Anpassungen durchgeführt werden mussten, konnte dies sofort erledigt werden und eine aufwändige Fehlersuche blieb aus. Da während des Testens oft Einfälle für eine noch bessere und effizienter Umsetzung aufkamen, wurden auf den Platinen-Layouts einige nicht verwendete Pins mit Steckerleisten verbunden. Die Idee LED—Streifen als Status Anzeige zu verbauen, entstand erst nachdem die Platinen bereits geätzt und bestückt waren. Die freigelassenen Anschlüsse ermöglichten es dennoch die LED-Streifen ohne Änderungen der Hardware nachträglich zu integrieren.

6.4 Vögl

Meine Erwartungen, dass Programmieren äußerst langwierig ist und nur Code auf dem Bildschirm angestarrt wird, hat sich nicht erfüllt. Vielmehr wurde deutlich, wie vielseitig die Aufgaben eines „Programmierers“ sind. Angefangen bei der Projektplanung, der Auswahl der Bauteile und der Sensoren bis hin zur Mitwirkung am Platinendesign und bei der Positionierung der Sensoren.

Die Software verbindet eigentlich alle anderen Teilbereiche miteinander, dies wurde besonders in der Testphase deutlich, als die Bauteile verkabelt und getestet wurden. Das Gesamtsystem funktioniert nur, wenn die Elektronik und die Mechanik durch eine funktionsfähige Software ergänzt werden.

Erleichtert wurde die Programmierung durch unzählige Bibliotheken und Beispielsprojekte, welche bereits existieren. Dadurch musste nicht von Grund auf alles neu programmiert werden, sondern es konnten Programme aufeinander angepasst und ergänzt werden. Dieser Vorgang aus Anpassen von Programmabschnitten und darauffolgenden Tests, war ein zentraler Teil der Programmierung. Allerdings war dies kein leichtes Unterfangen, da die smartLantern unzählige einzelne Sensoren, Schnittstellen und Funktionen verbindet.

Um einen Überblick zu behalten wurde die Programmierung von Beginn an in einzelne Teilbereiche aufgeteilt. Diese Teilbereiche waren meistens voneinander unabhängig, wodurch immer an einem Bereich gearbeitet werden konnte, auch wenn woanders Probleme oder Verzögerungen vorhanden waren. Dadurch konnten die einzelnen Teilbereiche der Software auch ständig getestet und verändert werden. Zum Abschluss musste lediglich das System zusammengefügt werden. Ein weiterer Vorteil dieser Aufteilung lag in der erhöhten Spontanität. Ohne große Probleme konnten kurzfristig einzelne Sensoren ausgetauscht oder gar ganze Systeme verändert oder eingefügt werden.

Bereits von Beginn an waren einige Erweiterungen zum Grundkonzept der smartLantern bekannt. Im Laufe dieses Projekts kamen noch unzählige weitere Verbesserungsmöglichkeiten hinzu. Außerdem fand ich das gemeinsame Arbeiten an einem eigenen Projekt großartig. Weshalb momentan überlegt wird das Projekt nach Abschluss der Diplomarbeit weiterzuführen.

7 Literaturverzeichnis

- [1] OÖ Energiesparverband, „ww.energiesparverband.at,“ [Online]. Available: https://www.energiesparverband.at/fileadmin/esv/Broschueren/Strassenbeleuchtung_dt.pdf. [Zugriff am 04 02 2021].
- [2] „Wikipedia,“ [Online]. Available: https://de.wikipedia.org/wiki/Lichtverschmutzung#Problembewusstsein_und_Abhilfem%C3%B6glichkeiten.
- [3] „ledtipps - Leuchtstoff,“ [Online]. Available: <https://ledtipps.net/leuchtstoff-led-vergleich/#gute-effizienz>. [Zugriff am 25 2 2021].
- [4] „ledtipps - LED,“ [Online]. Available: <https://ledtipps.net/wirkungsgrad/>. [Zugriff am 25 2 2021].
- [5] „Online Datenblatt Avenida LED 25W 3200lm,“ [Online]. Available: <https://www.schrack.at/shop/parc-ii-led-25w-3200lm-740-ip66-asymmetrisch-grafit-lig5505211.html>. [Zugriff am 25 2 2021].
- [6] „WKO,“ [Online]. Available: <https://www.wko.at/service/netzwerke/infopoint-beleuchtung.html>. [Zugriff am 25 2 2021].
- [7] „Druckwege,“ [Online]. Available: https://druckwege.de/wp-content/uploads/2017/06/FDM_Principle-595x495.png. [Zugriff am 20 03 2021].
- [8] Az-Delivery, „BME280 Datasheet,“ [Online]. Available: <https://www.amazon.de/AZDelivery-GY-BME280-Barometrischer-Temperatur-Luftfeuchtigkeit/dp/B07D8T4HP6?source=ps-sl-shoppingads-lpcontext&psc=1?source=ps-sl-shoppingads-lpcontext&psc=1>. [Zugriff am 24 März 2021].
- [9] Vishay, „Mouser.at,“ [Online]. Available: <https://www.mouser.at/datasheet/2/427/70628-1765343.pdf>. [Zugriff am 24 März 2021].

- [10] Meine Arduino-Projekte, „Parametrieren des HC-12,“ [Online]. Available: <https://arduino-projekte.webnode.at/meine-projekte/parametrieren-des-hc-12/>. [Zugriff am 24 März 2021].
- [11] Semaf Electronics, „semafelectronics,“ [Online]. Available: <https://electronics.semaf.at/Microwave-Bewegung-Vibration-Radar-Sensor-HW-MS03>. [Zugriff am 16 März 2021].
- [12] Mouser Electronics, „mouser.at,“ [Online]. Available: https://www.mouser.at/applications/lighting-digitally-addressable/?utm_medium=email&utm_source=november2013&utm_campaign=electronics-mx&utm_content=article. [Zugriff am 24 März 2021].
- [13] Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V., „Umrüstung konventioneller Straßenbeleuchtung auf LED,“ 21 Februar 2017. [Online]. Available: <https://www.litg.de/media/13120.2017-02-21%20Umr%C3%BCstung%20konventioneller%20Sta%C3%9Fenleuchten%20in%20Wohngebieten%20auf%20LED>. [Zugriff am 24 März 2021].
- [14] Bosch, „Charger: die eBike-Ladegeräte,“ [Online]. Available: <https://www.bosch-ebike.com/at/produkte/charger>. [Zugriff am 24 März 2021].
- [15] energie-experten, „Technik, Typen und Auswahl von FI-Schutzschaltern,“ [Online]. Available: <https://www.energie-experten.org/haustechnik/elektroinstallation/sicherungskasten/fi-schutzschalter>. [Zugriff am 24 März 2021].
- [16] Schrack Technik, „LS-FI-Schalter, Kennl. B, 13A, 30mA, 1+N, Bauart G, Typ A,“ [Online]. Available: <https://www.schrack.at/shop/verteilereinbau-ls-fi-ueberspannungsableiter-d0-und-nh/schutzschaltgeraete-fi-ls-und-zubehoer/l-s-fi-kombischutzschalter/l-s-fi-kombischutzschalter-serie-bolf-1-n-10ka-typ-a-bauart-g/l-s-fi-schalter-kennl-b-13a-30ma-1-n-bauart-g-t>. [Zugriff am 24 März 2021].
- [17] -, „Wikipedia-Digital Addressable Lighting Interface,“ 9 Dezember 2020. [Online]. Available: https://de.wikipedia.org/wiki/Digital_Addressable_Lighting_Interface. [Zugriff am 31 Jänner 2021].

- [18] NabiyevTR, „arduino.cc project hub,“ 22 jänner 2017. [Online]. Available: <https://create.arduino.cc/projecthub/NabiyevTR/simple-dali-controller-506e44>. [Zugriff am 31 Jänner 2021].
- [19] Joy-IT.net, „Joy-IT.net,“ [Online]. Available: <https://joy-it.net/de/products/SEN-GP2Y1014AU>. [Zugriff am 02 Februar 2021].
- [20] „sharp- Application note of Sharp dust sensor GP2Y1010AU0F,“ [Online]. Available: https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y1010au_apppl_e.pdf. [Zugriff am 02 Jänner 2021].
- [21] Az-Delivery, „Az-Delivery,“ [Online]. Available: https://www.az-delivery.de/products/gy-bme280?_pos=2&_sid=3031ea901&_ss=r. [Zugriff am 16 März 2021].
- [22] C. Wu, „tronixstuff.com,“ [Online]. Available: <https://tronixstuff.com/2014/12/01/tutorial-using-ds1307-and-ds3231-real-time-clock-modules-with-arduino/>. [Zugriff am 11 November 2020].
- [23] berrybase, „BaerryBase The Maker Shop,“ [Online]. Available: <https://www.berrybase.de/raspberry-pi-co/sensoren-module/displays/epaper-displays/5.83-600-215-448-epaper-display-hat-f-252-r-raspberry-pi>). [Zugriff am 16 März 2021].
- [24] Wikipedia, „Wikipedia Serial Peripheral Interface,“ 13 Oktober 2020. [Online]. Available: https://de.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface. [Zugriff am 06 Februar 2021].
- [25] ZinggJM, „Github.com,“ [Online]. Available: <https://github.com/ZinggJM/GxEPD2>. [Zugriff am 02 Oktober 2020].
- [26] H. M. D. J. D. V. J. Wittel, Roloff/Matek Maschinenelemente, Wien: Springer Vieweg, 2019.
- [27] „Amazon,“ [Online]. Available: https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61GjIUAEXLL_AC_SL1500_.jpg. [Zugriff am 15 03 2021].

- [28] Az-Delivery, „Az-Delivery ESP32,“ [Online]. Available: <https://www.az-delivery.de/products/esp32-developmentboard>. [Zugriff am 24 März 2021].
- [29] RS Components, „RS Components SGS15 Power Supply,“ [Online]. Available: <https://docs.rs-online.com/ffdc/0900766b8169c801.pdf>. [Zugriff am 24 März 2021].
- [30] Az-Delivery, „Az-Delivery GY-302,“ [Online]. Available: https://cdn.shopify.com/s/files/1/1509/1638/files/GY-302_Licht_Sensor_Modul_Datenblatt_AZ-Delivery_Vertriebs_GmbH.pdf?v=1608197155. [Zugriff am 24 03 2021].
- [31] Amazon, „Amazon AMS1117,“ [Online]. Available: https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61djPJ6jL._AC_SL1000_.jpg. [Zugriff am 24 März 2021].
- [32] „Joy-It.net GP2Y1014AU,“ [Online]. Available: <https://joy-it.net/de/products/SEN-GP2Y1014AU>. [Zugriff am 24 März 2021].
- [33] Noctua, „Noctua NF-A4x10 FLX,“ [Online]. Available: <https://noctua.at/de/nf-a4x10-flx>. [Zugriff am 24 März 2021].
- [34] Amazon, „Amazon GY-GPSV3-NEO,“ [Online]. Available: <https://www.amazon.de/Wal-gy-gpsv3-m8t-Empf%C3%A4nger-R%C3%BCckw%C3%A4rts-Kompatibel-Standard/dp/B07G16CPS2>. [Zugriff am 03 März 2021].
- [35] Az-Delivery, „Real Time Clock DS3231,“ [Online]. Available: <https://www.az-delivery.de/products/ds3231-real-time-clock>. [Zugriff am 24 März 2021].
- [36] ephesossoftware, „ephesossoftware,“ [Online]. Available: https://www.ephesossoftware.com/img/images_6/what-is-e-ink-how-it-works-why-every-ebook-fan-needs-it.png. [Zugriff am 24 März 2021].
- [37] „Stahlverzinkt,“ [Online]. Available: https://d2gg9evh47fn9z.cloudfront.net/800px_COLOURBOX6946554.jpg. [Zugriff am 25 03 2021].

- [38] „Stahlverzinkt aufgeraut,“ [Online]. Available: <https://www.harzspezi.de/media/image/product/9335/md/farbpaste-titanweiss-unsere-hausfarbe-hochweiss.jpg>. [Zugriff am 25 03 2021].
- [39] „Grundierung,“ [Online]. Available: https://www.nektardesign.ch/images/satinierter-stahl-tischgestell_2x.jpg?crc=122764039. [Zugriff am 25 03 2021].
- [40] allaboutcircuits, „allaboutcircuits HC12,“ [Online]. Available: <https://www.allaboutcircuits.com/uploads/thumbnails/HC12.jpg>. [Zugriff am 24 März 2021].
- [41] „Grau,“ [Online]. Available: https://www.nektardesign.ch/images/satinierter-stahl-tischgestell_2x.jpg?crc=122764039. [Zugriff am 25 03 2021].
- [42] Schrack, „Schrack.at,“ [Online]. Available: https://image.schrackcdn.com/340x380/f_esc430008-.jpg. [Zugriff am 24 März 2021].
- [43] microchip, „microchip UART with DALI protocol,“ [Online]. Available: https://image.schrackcdn.com/340x380/f_esc430008-.jpg. [Zugriff am 24 März 2021].
- [44] Osram, „Osram OT 40/170,“ [Online]. Available: https://www.osram.de/ecat/OT%20DIM%20NFC%20IP20%20Outdoor-Konstantstrom%20-%20Dimmbar-Konstantstrom%20-%20Outdoor-LED-Treiber-Digital%20Systems/de/de/GPS01_2941564/ZMP_4055802/. [Zugriff am 24 März 2021].
- [45] LUG, „LUG Avenida Lens LED,“ [Online]. Available: https://www.luglightfactory.de/de/produkte/images/zdjecia_produkto/oswietenie_zewnetrzne/oswietenie_uliczne_i_parkowe/AVENIDA_LENS_LED.png. [Zugriff am 24 März 2021].
- [46] LUG, „luglightfactory.de,“ [Online]. Available: https://www.luglightfactory.de/de/produkte/images/krzywe_swiatlosci/130275.5L162.141.png. [Zugriff am 24 März 2021].

- [47] Amazon, „Amazon Az-Delivery GY-BME280,“ [Online]. Available: <https://www.amazon.de/AZDelivery-GY-BME280-Barometrischer-Temperatur-Luftfeuchtigkeit/dp/B07D8T4HP6?source=ps-sl-shoppingads-lpcontext&psc=1?source=ps-sl-shoppingads-lpcontext&psc=1>. [Zugriff am 24 März 2021].
- [48] Schrack Technik, „Schrack .at LS-FI-Schalter,Kennl. B, 13A, 30mA, 1+N, Bauart G, Typ A,“ [Online]. Available: https://image.schrackcdn.com/schaltplanzeichnungen/s_bo2186xx--.jpg. [Zugriff am 24 März 2021].
- [49] Flaticon, „Flaticon.com,“ [Online]. Available: <https://image.flaticon.com/icons/png/512/196/196345.png>. [Zugriff am 15 März 2021].
- [50] freepik.com, „img.freepik.com,“ [Online]. Available: https://img.freepik.com/free-vector/electricity-meter-to-record-energy-consumption-flat-illustration_124715-580.jpg?size=626&ext=jpg. [Zugriff am 15 März 2021].
- [51] iStock, „istockphoto.com,“ [Online]. Available: <https://media.istockphoto.com/vectors/particulate-matter-pm-10-pollution-icon-vector-id1185088963?k=6&m=1185088963&s=170667a&w=0&h=49Db-T3Z-A5C80zC132SRGPX8MkSfzMpaAX68PCMsIY=>. [Zugriff am 15 März 2021].
- [52] subpng, „subpng.com GPS,“ [Online]. Available: <https://www.subpng.com/png-29heo9/>. [Zugriff am 15 März 2021].
- [53] subpng, „subpng.com Clock,“ [Online]. Available: <https://www.subpng.com/png-mx82cw/>. [Zugriff am 15 März 2021].
- [54] Subpng, „subpng.net,“ [Online]. Available: <https://spng.subpng.com/20190223/fx/kisspng-computer-icons-scalable-vector-graphics-portable-n-brightness-adjustment-svg-png-icon-free-download-5c715327949c09.6007512815509307276087.jpg>. [Zugriff am 15 März 2021].
- [55] subpng, „subpng.com Temperatur,“ [Online]. Available:

<https://www.subpng.com/png-28pmww/>. [Zugriff am 15 März 2021].

- [56] subpng, „subpng.com Cloud Symbol,“ [Online]. Available: <https://www.subpng.com/png-sosvmv/>. [Zugriff am 15 März 2021].
- [57] subpng, „subpng.com Clock Cartoon Transparent,“ [Online]. Available: <https://www.subpng.com/png-zzea8l/>. [Zugriff am 15 März 2021].
- [58] encrypted, „encrypted-tbn0.gstatic.com,“ [Online]. Available: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQrUmYYXkkE2cfXDHDk-C_JMeP70sfYEaCN2QBpf--S7vVSRiBjzohbHANKgmnTMAf0Dkl&usqp=CAU. [Zugriff am 15 März 2021].
- [59] luglightfactory, „www.luglightfactory.de,“ [Online]. Available: https://www.luglightfactory.de/de/produkte/images/zdjecia_produktoiw/oswietlenie_zewnetrzne/oswietlenie_uliczne_i_parkowe/AVENIDA_LENS_LED.png. [Zugriff am 15 März 2021].
- [60] subpng, „subpng.com Flower Silhouette,“ [Online]. Available: <https://www.subpng.com/png-owtdjy/>. [Zugriff am 15 März 2021].
- [61] subpng, „subpng.com TV Cartoon Transparent,“ [Online]. Available: <https://www.subpng.com/png-od7nyc/>. [Zugriff am 15 März 2021].
- [62] subpng, „subpng.com Wifi Logo,“ [Online]. Available: <https://www.subpng.com/png-duj02i/>. [Zugriff am 15 März 2021].

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektteam.....	1
Abbildung 2: Simon Schmidmayr.....	2
Abbildung 3: Jan Reinsperger	2
Abbildung 4: Christoph Steiner	2
Abbildung 5: Moritz Vögl.....	2
Abbildung 6: smartLantern.....	4
Abbildung 7: smartLantern Übersicht	4
Abbildung 8: Verluste einer Leuchtstofflampe	5
Abbildung 9: Projektorganisation	12
Abbildung 10: Projektumfeldanalyse	13
Abbildung 11: Risikoanalyse.....	18
Abbildung 12: Arbeitsstunden.....	27
Abbildung 13: Aufteilung der Kosten	28
Abbildung 14: Sponsoren	29
Abbildung 15: smartLantern Logo Entwurf 1.....	30
Abbildung 16: smartLantern Logo Entwurf 2.....	30
Abbildung 17: smartLantern Logo Entwurf 3.....	30
Abbildung 18: smartLantern Logo.....	30
Abbildung 19: smartLantern Instagramprofil.....	31
Abbildung 20: Instagram Beiträge 1	31
Abbildung 21: Instagram Beiträge 2	31
Abbildung 22: Projektwebsite smartLantern.jimdosite.com.....	32
Abbildung 23: Visitenkarte Vorderseite.....	33
Abbildung 24: Visitenkarte Rückseite	33
Abbildung 25: Diplomarbeitsplakat	34
Abbildung 26: TOFT-Video-Abschnitte	35
Abbildung 27: Straßenbeleuchtung 2	35

Abbildung 28: Straßenbeleuchtung 1	35
Abbildung 29: Kommunikation zwischen den Laternen Animation	36
Abbildung 30: Display mit Umweltdaten Animation	36
Abbildung 31: smartLantern Imagevideo	37
Abbildung 32: QR-Code Imagevideo	37
Abbildung 33: smartLantern Übersicht	40
Abbildung 34: smartLantern Konzeptskizze.....	41
Abbildung 35: Werkstattzeichnung von Fonatsch	42
Abbildung 36: Lackierungsstufen [38] [39] [40] [42].....	43
Abbildung 37: Grundplatte	44
Abbildung 38: Fahrradanhängemöglichkeit	44
Abbildung 39: Spritzwassergeschützte Steckdose	45
Abbildung 40: USB-Steckdose	45
Abbildung 41: Montageschiene	46
Abbildung 42: Kabelverschraubung.....	46
Abbildung 43: Bohrungen im Mast.....	47
Abbildung 44: Gewindebohrungen in der Leuchte.....	47
Abbildung 45: Lüftungsbohrungen	48
Abbildung 46: Helligkeitsbohrungen	48
Abbildung 47: Lochblech	49
Abbildung 48: Lüftungsraum.....	50
Abbildung 49: Lüftungsraumdeckel	51
Abbildung 50: Verbindungsstück	51
Abbildung 51: Helligkeitssensor.....	52
Abbildung 52: Plexiglas für Lichtsensor	52
Abbildung 53: Display- und Radarsensorhalterung	53
Abbildung 54: Vorderteil für Display und Radarsensor	54
Abbildung 55: Rückseite des Radarsensors	54
Abbildung 56: Rückseite der Displayhalterung	55

Abbildung 57: Display Plexiglas.....	55
Abbildung 58: Verbindungsstück	56
Abbildung 59: Diffuse Abdeckung	56
Abbildung 60: STL-Export.....	57
Abbildung 61: Cura 4.8.0	57
Abbildung 62: FDM 3D-Druck [7].....	58
Abbildung 63: Übersichts-Blockschaltbild [29] [49] [50] [51] [52] [53] [54] [55] [56] [57] [58] [59] [60] [61] [62].....	62
Abbildung 64: Detailliertes Blockschaltbild	63
Abbildung 65: Schaltplan	64
Abbildung 66: ESP32 [29].....	65
Abbildung 67: ESP32 Datasheet Pinout [29]	65
Abbildung 68: Netzgerät SGS15-5 [30].....	66
Abbildung 69: Step-Down Converter AMS1117 [32].....	66
Abbildung 70: Hall-Sensor [28]	67
Abbildung 71: Spannungsteiler Hall-Sensor	68
Abbildung 72: Helligkeitssensor Montage.....	68
Abbildung 73: Helligkeitssensor [31].....	68
Abbildung 74: Umweltsensor BME280 [47]	69
Abbildung 75: Feinstaubsensor [33]	70
Abbildung 76: Funktionsweise Feinstaubsensor.....	70
Abbildung 77: Lüfter [34].....	71
Abbildung 78: Ansteuerung Lüfter	71
Abbildung 79: GPS-Sensor [35].....	72
Abbildung 80: Real-Time-Clock [36].....	73
Abbildung 81: Display der smartLantern.....	74
Abbildung 82: ePaper Display [23]	74
Abbildung 83: Funktionsweise ePaper-Display [37].....	75
Abbildung 84: Blockschaltbild Display-Ansteuerung.....	75

Abbildung 85: Funkmodul HC-12 [41].....	76
Abbildung 86: automatische Ausleuchtung.....	76
Abbildung 87: Radarsensor [11]	77
Abbildung 88: Blockschaltbild DALI-Bus.....	78
Abbildung 89: DALI Netzgerät [43]	79
Abbildung 90: Zustände DALI-Bus [13]	79
Abbildung 91: Konstantstromquelle [44]	80
Abbildung 92: Lochraster vorne.....	80
Abbildung 93: Lochraster hinten	80
Abbildung 94: DALI Anpassungselektronik.....	81
Abbildung 95: Avenida Lens LED [45].....	82
Abbildung 96: Photometrie der Leuchte [46].....	82
Abbildung 97: LS/FI-Kombischutzschalter [17].....	83
Abbildung 98: LS/FI Schalter Schaltbild [48].....	83
Abbildung 99: Steckdose	84
Abbildung 100: USB-Steckdose	84
Abbildung 101: Hauptplatine.....	85
Abbildung 102: Platinen-Layout der Hauptplatine.....	86
Abbildung 103: Platinen-Layout Nebenplatine.....	87
Abbildung 104: Schaltplan der Displayplatine.....	88
Abbildung 105: Boarddesign der Displayplatine	88
Abbildung 106: Programm Übersicht 1 erstellt mit (https://app.diagrams.net/).....	89
Abbildung 107: Programmierung Übersicht 2	90
Abbildung 108: DALI Protokoll [18].....	92
Abbildung 109: Initialisierung der Helligkeitsregelung	93
Abbildung 110: Radar Sensor [11].....	93
Abbildung 111: Setup der Helligkeitsregelung	94
Abbildung 112: Ausschnitt aus dem Haupt-Laternenprogramm bezüglich der automatischen Helligkeitsregelung	95

Abbildung 113: Funktion "feinstaub_messen()"	96
Abbildung 114: Feinstaubsensor Sampling Time [20]	97
Abbildung 115: BME280 Lüfter [21]	97
Abbildung 116: GPS-Modul	99
Abbildung 117: GPS-Implementierung	99
Abbildung 118: Programm Real-Time-Clock	100
Abbildung 119: RTC Funktionen	100
Abbildung 120: Ergebnisse der Netzanalysator Messung	101
Abbildung 121: ePaper Display [23]	103
Abbildung 122: SPI-Erklärung [24]	103
Abbildung 123: data_to_display_Aufruf	104
Abbildung 124: Funktion: Display-Daten senden	105
Abbildung 125: Funktion Display-Daten empfangen	106
Abbildung 126: Display-Inhalt	107
Abbildung 127: Initialisierung des Displays	107
Abbildung 128: Text auf Display schreiben	108
Abbildung 129: Bitmap Befehl	109
Abbildung 130: Kommunikation zwischen Laternen	109
Abbildung 131: Funktion zur Kommunikation zwischen Laternen	110
Abbildung 132: Verzögerung der Nebenlaternen	111
Abbildung 133: Leuchte sam LED-Ring Abbildung 134: LED-Ring Detail	112
Abbildung 135: Funktion Led_stripe_countdown	113

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Simon Schmidmayr	2
Tabelle 2: Jan Reinsperger.....	2
Tabelle 3: Christoph Steiner	2
Tabelle 4: Moritz Vögl.....	2
Tabelle 5: individuelle Aufgabenstellung Simon Schmidmayr.....	10
Tabelle 6: individuelle Aufgabenstellung Jan Reinsperger	10
Tabelle 7: individuelle Aufgabenstellung Christoph Steiner	11
Tabelle 8: individuelle Aufgabenstellung Moritz Vögl.....	11
Tabelle 9: Projekteinflüsse.....	17
Tabelle 10: Beschreibung der wichtigsten Risiken	20
Tabelle 11: Risikogegenmaßnahmen	22
Tabelle 12: Objektstrukturplan.....	23
Tabelle 13: Projektstrukturplan	25
Tabelle 14: Meilensteinplan	26
Tabelle 15: Arbeitsstunden.....	27
Tabelle 16: Budget	28
Tabelle 17: Druckdauer	59
Tabelle 18: Hall-Sensor Messwerte.....	67
Tabelle 19: Spezifikationen BME280 [8].....	69
Tabelle 20: Spezifikationen HC-12	76

10 Anhang

- Abnahmeprotokoll
- Management Summary
- Jour Fixe Protokoll
- Begleitprotokolle
- Konstruktionszeichnungen
- Programmcode
- Datenblätter

