

Projekt-Bericht

Isabell Albrecht, Erik Engelhardt, Oliver Kochan, Florian Steffens

Solarbetriebebene, mobile Wetterstation

Betreuung durch: Prof. Dr. Franz Schubert
Eingereicht am: 14. Januar 2019

*Fakultät Technik und Informatik
Department Informations- und Elektrotechnik*

*Faculty of Computer Science and Engineering
Department Information and Electrical Engineering*

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Die Wetterstation	1
1.2	Anforderungen	2
1.3	Vorüberlegungen	2
2	Spannungsversorgung	3
2.1	Anforderungen	3
2.2	Erzeugung benötigter Spannungen	4
2.2.1	3V3	4
2.2.2	5V	5
2.3	Spannungsabschaltung	6
2.4	Messung Strom/Spannung	7
3	Sensoren	8
3.1	Kompassmodul QMC5883L	8
3.1.1	Montage	8
3.2	GPS	9
3.2.1	Montage	9
3.3	Anemometer und Windfahne	9
3.3.1	Montage	9
3.4	Neigungssensor MPU6050	9
3.4.1	Montage	9
3.5	BME280	10
3.5.1	Montage	10
3.6	Anschlagssensor	10
3.6.1	Montage	10
4	C-Code	10
4.1	QMC5883L	10
4.2	GPS	10
4.3	Wind	10
4.4	MPU6050	10
4.5	BME280	10

5	Ausrichtung des Solarpanels	10
5.1	Berechnung der Sonnenposition	11
6	Benutzeroberfläche	12
6.1	Funktionen	13
6.2	Entwicklung	13
7	3D gedruckte Komponenten	13
7.1	Hauptgehäuse	13
7.2	Nebengehäuse	15
7.3	Adaptor	17
7.4	Herstellung	19
8	Fazit	19
	Literatur	20

Keywords: Leben, Universum, Alles

1 Einführung

Der folgende Bericht gibt einen Überblick über den Entwurf und die Umsetzung einer solarbetriebenen Wetterstation im Rahmen der Sensortechnikvorlesung. Hierbei sollen zunächst die Anforderungen und bereits vorhandene Konzepte/Komponenten kurz vorgestellt und dann sowohl auf die Soft- als auch die Hardwareseitige Umsetzung eingegangen werden.

1.1 Die Wetterstation

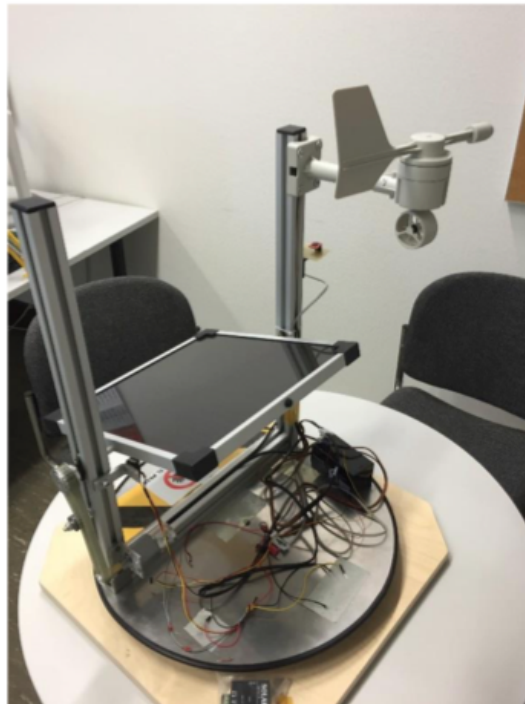


Abbildung 1: Gegebener Aufbau der Wetterstation

In Abbildung 1 ist der gegebene Aufbau der Wetterstation dargestellt. Dieser besteht aus einem kippbaren Solarpanel, das auf einer drehbaren Platte montiert ist.

Sowohl Dreh- als auch Kippbewegung wird über jeweils einen Getriebemotor ermöglicht. Des Weiteren ist bereits eine Windfahne zur Erfassung der Windrichtung und -geschwindigkeit montiert.

1.2 Anforderungen

Die Wetterstation soll folgende Werte erfassen:

- Temperatur
- Luftdruck
- Luftfeuchte
- Höhe über NN
- Windgeschwindigkeit
- Windrichtung
- Standort

Weiterhin soll die Wetterstation über das Solarpanel mit Strom versorgt werden, wobei aber dieses durch einen 12V Akku gepuffert werden soll, um z.B. die Nachtstunden ohne Ausfall der Spannungsversorgung überbrücken zu können. Für eine optimale Energieausbeute soll das Panel abhängig vom Sonnenstand über die beiden Getriebemotoren ausgerichtet werden. Außerdem soll der Akkuzustand erfasst und die drahtlose Kommunikation mit einem PC ermöglicht werden. Schließlich sollen die erfassten Sensordaten auf einer SD-Karte gespeichert werden.

1.3 Vorüberlegungen

Bevor die beschriebenen Anforderungen umgesetzt werden, sind einige Vorüberlegungen und die Auswahl der geeigneten Sensorik nötig. Letztere werden ausführlich in Abschnitt 3 dargestellt. Die Drahtloskommunikation soll über ein Bluetooth-Modul realisiert und um eine eigene GUI, die die Darstellung aktueller Sensordaten auf einem PC ermöglicht, erweitert werden. Des Weiteren wird die bisher vorhandene Windfahne ausgetauscht und ersetzt, da diese nur über eine unzureichende Dokumentation verfügt. Ebenfalls ist eine wasserdichte Ausführung der Wetterstation wünschenswert, die Umsetzbarkeit muss

überprüft werden. Um Energie zu sparen, soll die Ausrichtung der Wetterstation sowie die Abfrage der Sensordaten nicht kontinuierlich sondern in noch festzulegenden Zeitabständen erfolgen.

2 Spannungsversorgung

In diesem Abschnitt soll auf die hardwareseitige Umsetzung der Spannungsversorgung für die Wetterstation eingegangen werden. Ziel ist der Entwurf einer Platine, auf der sämtliche Anforderungen umgesetzt werden.

2.1 Anforderungen

Zunächst sollen in diesem Abschnitt die Anforderungen, die sich aus der Aufgabenstellung ableiten lassen, sowie solche, die sich aus den weiteren Überlegungen zur Umsetzung der Wetterstation ergeben.

- Messung des Ladestroms
- Messung der Batteriespannung (Ladezustand)
- Messung des Stromverbrauchs der Wetterstation

Des Weiteren soll der Stromverbrauch der Wetterstation so niedrig wie möglich sein, um die Puffer-Batterie zu schonen und sonnenarme Phasen bzw. die Nacht ohne Stromausfall überbrücken zu können. Die verwendete Batterie hat eine Ladeschlussspannung von 12 V. Da für den Mikrocontroller und die Sensoren allerdings Spannungspegel von 3,3 V und 5 V benötigt werden, müssen diese auf der Platine erzeugt werden.

Aus den mechanischen Anforderungen, dass Mikrocontroller, Platine und Sensoren möglichst in einem Gehäuse untergebracht werden sollen, ergibt sich, dass die entworfene Platine auf die Pinheader des Mikrocontrollers gesteckt werden soll.

2.2 Erzeugung benötigter Spannungen

Wie in 2.1 beschrieben, werden sowohl 3,3V als auch 5V-Pegel für die Wetterstation benötigt. Angestrebt ist, dass die verwendeten Buck-Spannungsregler eine möglichst geringe Ruhestromaufnahme und einen guten Wirkungsgrad haben. Die Wahl fiel hierbei auf den *LTC3621*. Dieser hat einen Eingangsspannungsbereich von 2,7V bis 17V und eine Ausgangsspannung, die sich über einen Spannungsteiler am Feedback-Pin zwischen 0,6V und der Eingangsspannung einstellen lässt. Der Ruhestrom beträgt laut Datenblatt $3,5\mu\text{A}$ [6]. Der Regler kann einen maximalen Ausgangsstrom von 1A liefern. Da bei der Wahl des Spannungsreglers noch keine Werte über die von der Peripherie benötigte Leistung vorlag, ist dieser Wert eventuell etwas überdimensioniert.

Die Beschaltung des Reglers entspricht den Empfehlungen des Datenblatts, wie sie in Abbildung 2 dargestellt ist:

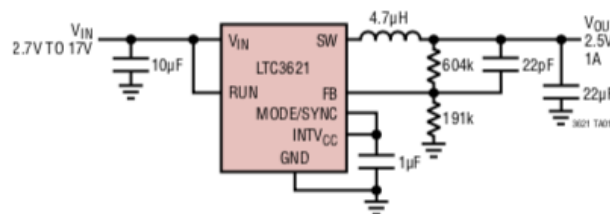


Abbildung 2: Darstellung des LTC3621 mit beispielhafter Beschaltung gemäß Datenblatt [6]

Zusätzlich verfügt dieser Regler über die Option, über einen Befehl des Mikrocontrollers manuell ein- bzw. ausgeschaltet zu werden, was weiterhin günstig für den Gesamtstromverbrauch ist.

2.2.1 3V3

Im folgenden soll hauptsächlich auf die Dimensionierung des Spannungsteilers zur Erzeugung von 3,3V eingegangen werden. Der Regler hat dabei eine interne Referenzspannung am FB-Pin, die 0,6V beträgt, über die die Ausgangsspannung geregelt wird.

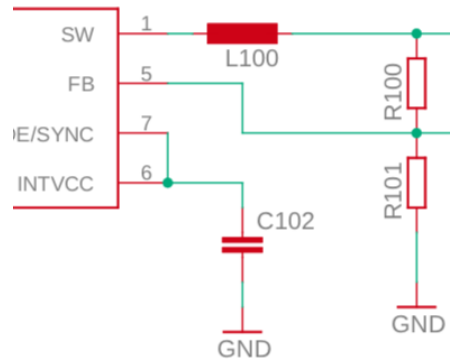


Abbildung 3: Spannungsteiler am FB-Pins des 3V3 Reglers

Es kann somit der folgende Spannungsteiler aufgestellt werden:

$$\frac{U_{FB}}{U_a} = \frac{R_{101}}{R_{101} + R_{100}} \quad (1)$$

Mit $U_{FB} = 0,6 \text{ V}$, $U_a = 3,3 \text{ V}$ und $R_{101} = 150 \text{ k}\Omega$ ergibt sich:

$$\frac{0,6 \text{ V}}{3,3 \text{ V}} = \frac{150 \text{ k}\Omega}{150 \text{ k}\Omega + R_{100}} \Rightarrow R_{100} = 680 \text{ k}\Omega \quad (2)$$

Der Spannungsteiler wurde hochohmig dimensioniert, um den Stromfluss möglichst klein zu halten.

2.2.2 5V

Die Bestimmung des Spannungsteilers für die Erzeugung von 5V erfolgt analog zu Abschnitt 2.2.1. Es lässt sich folgender Spannungsteiler aufstellen:

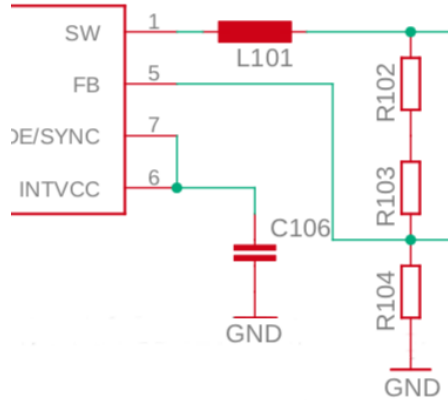


Abbildung 4: Spannungsteiler am FB-Pins des 5V Reglers

Dieser wird beschrieben durch:

$$\frac{U_{FB}}{U_a} = \frac{R_{104}}{R_{104} + R_{103} + R_{102}} \quad (3)$$

Mit $U_{FB} = 0,6 \text{ V}$, $U_a = 3,3 \text{ V}$ und $R_{104} = 100 \text{ k}\Omega$ ergibt sich:

$$\frac{0,6 \text{ V}}{3,3 \text{ V}} = \frac{100 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + R_{103} + R_{102}} \Rightarrow R_{103} = 680 \text{ k}\Omega; R_{102} = 47 \text{ k}\Omega \quad (4)$$

2.3 Spannungsabschaltung

Im Zuge der Überlegungen bezüglich möglicher Energiesparmaßnahmen wurden sowohl das Bluetooth- als auch das GPS-Modul als große Verbraucher ermittelt. Da beide Module auch nicht dauerhaft benötigt werden – das GPS-Modul nur alle 15 Minuten zur Neuausrichtung des Panels und das Bluetooth-Modul nur nach Bedarf – ist es sinnvoll, die Betriebsspannungen beider Module schaltbar zu machen. Eine Möglichkeit dafür ist die Verwendung eines p-Kanal-Mosfets, der von einem n-Kanal-Mosfet getrieben wird. Diese Schaltung wird in Abbildung 5 dargestellt.

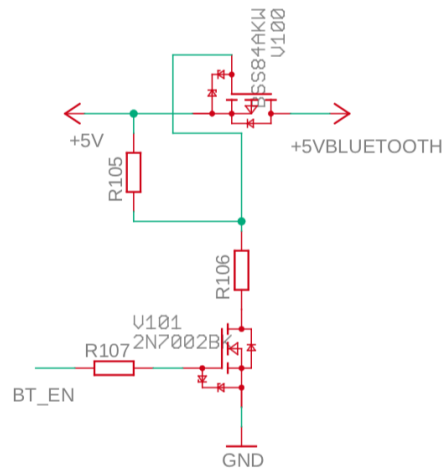


Abbildung 5: Spannungsabschaltung Bluetooth-Modul

Bei einem Einschaltsignal über BT_EN vom Mikrocontroller schaltet der n-Kanal-Mosfet V101 durch; der Spannungsteiler aus R_{105} und R_{106} ist aktiv. Es sei $R_{105} = 100\text{ k}\Omega$ und $R_{106} = 1\text{ k}\Omega$. Daraus ergibt sich für die Gate-Source-Spannung des p-Kanal-Transistors U_{GS} :

$$U_{GS} = 5\text{ V} - 5\text{ V} \cdot \frac{1\text{ k}\Omega}{101\text{ k}\Omega} = 4,95\text{ V} \quad (5)$$

Damit schaltet der p-Kanal-Transistor mit $U_{GS,th} = 1,6\text{ V}$ sicher durch. Die Schaltung für das GPS-Modul wird analog dazu entworfen.

2.4 Messung Strom/Spannung

Aus den Anforderungen abgeleitet wird auf der Platine die Messung von Strom und Spannung implementiert. Für die Messung der Stromaufnahme werden zwei Stromsensoren vom Typ ACS172 verwendet. Diese messen den Ladestrom der Batterie und die Stromaufnahme des Boards und geben diese Werte an den Mikrocontroller. Die Spannungsmessung wird mit einem einfachen Spannungsteiler umgesetzt, sodass bei $U_{Bat} = 12\text{ V}$ $3,3\text{ V}$ nicht überschritten werden. Mit $R_{109} = 270\text{ k}\Omega$ und $R_{110} = 100\text{ k}\Omega$ ergibt sich eine maximale Spannung von $3,24\text{ V}$.

3 Sensoren

3.1 Kompassmodul QMC5883L

Als Kompass dient uns der **QMC5883L**. Verwendet wird er, um die Ausrichtung der Wetterstation gen Norden zu messen. Diese Information wird benötigt, um das Solarpanel korrekt zur Sonne auszurichten zu können.

Mit einer Genauigkeit von 1° bis 2° ist er für unsere Zwecke ausreichend genau. Ebenfalls für den Sensor sprechen seine geringe Stromaufnahme von $75\mu\text{A}$ und die Möglichkeit ihn mittels I²C anzusprechen.

3.1.1 Montage

Das Kompassmodul hat 5 Anschlüsse, von denen wir vier verwenden: V_{CC} , GND, SDA und SCL. Der fünfte Anschluss wird nur bei einer häufigen Datenübertragung benötigt, er sendet die Information, dass Daten zum Abruf bereit stehen. Dargestellt ist die Verschaltung in Abbildung 6.

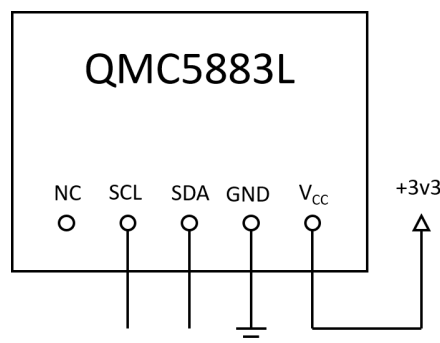


Abbildung 6: Verschaltung des QMC5883L

Da der Sensor das Magnetfeld misst, muss dieser entfernt von der Windfahne und dem Anemometer platziert werden, da beide mit magnetischen Bauteilen arbeiten. Andernfalls könnte es zu Fehlmessungen kommen. Umgesetzt wurde dies so, dass an der einen Stütze des Solarpanels das Kompassmodul und an der anderen die Windfahne, das Anemometer und das gegenüber magnetischen Beeinflussungen relativ unempfindliche GPS-Modul angebracht wurden.

3.2 GPS

Um den Standort des Geräts zu bestimmen und auch um die Berechnung der korrekten Auslenkung des Solarpanels auf Grund des Standorts zu ermöglichen, musste ein GPS-Modul genutzt werden. Wir haben uns für den

3.2.1 Montage

Da das GPS-Modul in Einheit mit einer Antenne funktioniert, musste das Modul entfernt von der Elektronik und damit außerhalb des Gehäuses platziert werden. Dazu bot sich an, das GPS-Modul an der zweiten Stütze des Solarpanels zu platzieren. Das Modul wurde dafür ebenso in einem Nebengehäuse untergebracht (s. Kap. 7.2. Die Antenne des Moduls wurde dabei mittels Kabelbinder an der Stütze angebracht. Dieses Vorgehen war einer dauerhaften Anbringung, etwa durch Kleber, vorzuziehen, da die Bauteile so leichter ausgetauscht werden können.

3.3 Anemometer und Windfahne

3.3.1 Montage

3.4 Neigungssensor MPU6050

3.4.1 Montage

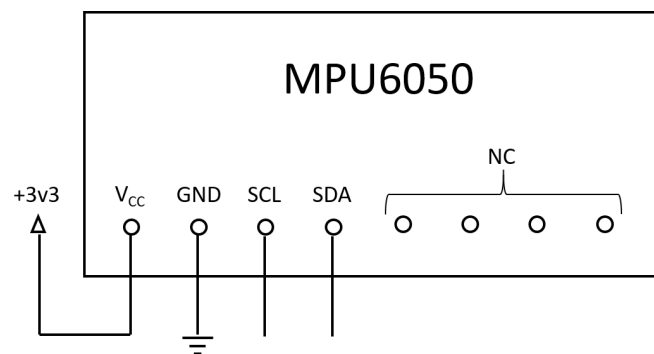


Abbildung 7: Verschaltung des MPU6050

3.5 BME280

3.5.1 Montage

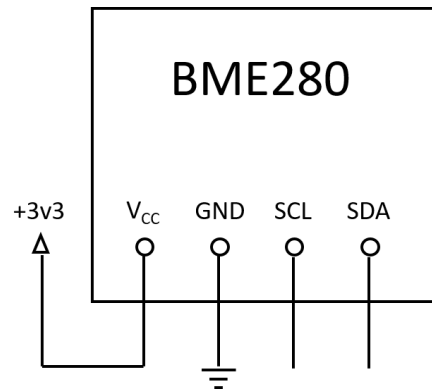


Abbildung 8: Verschaltung des BME280

3.6 Anschlagssensor

3.6.1 Montage

4 C-Code

4.1 QMC5883L

4.2 GPS

4.3 Wind

4.4 MPU6050

4.5 BME280

5 Ausrichtung des Solarpanels

Um die Leistungsaufnahme des Solarpanels zu optimieren ist es notwendig dieses direkt auf die Sonne auszurichten und diese Ausrichtung auch in geeigneten Zeitabständen zu

korrigieren. Im Vergleich mit einem fest ausgerichteten Solarpanel konnten J. Rizek *et al.* mit einem nachgeführten Solarpanel beispielsweise die Leistungsaufnahme um durchschnittlich 30% erhöhen [3].

Hierfür kommen grundsätzlich verschiedene Methoden in Frage. In diesen Fall soll die Position der Sonne relativ zur Wetterstation auf Grundlage des Längen- und Breitengrades, der Uhrzeit und des Kalendertages berechnet werden. Diese Information werden über das GPS-Modul bereitgestellt. Anschließend wird das Solarpanel mit Hilfe der Motoren, des Kompass-Moduls und des, am Panel befestigten Neigungssensors, auf die Sonne ausgerichtet.

5.1 Berechnung der Sonnenposition

Da die Formeln zur Berechnung der Sonnenposition in diesem Projekt lediglich benutzt werden wird an dieser Stelle auf eine Herleitung verzichtet. Die verwendeten Formeln können beispielsweise im *Astronomical Almanac* [2] gefunden werden. M. L. Roderick beschreibt die nötigen Berechnungen in seinem Report [5] und liefert zudem compilierbaren C-Code. Dieser wird im folgenden zur Berechnung der Sonnenposition verwendet.

Die Position der Sonne im Bezug auf einen Beobachter auf der Erde lässt sich durch die Werte *Zenith* und *Azimut* eindeutig beschreiben. Der Zenith beschreibt den Winkel zwischen einer Linie vom Beobachter zur Sonne und der Vertikalen. Der Azimut den Winkel zwischen der Horizontalen und Norden. Dabei stehen beispielsweise ein Azimut von 90° für Osten, 180° für Süden und 270° für Westen. Eine Veranschaulichung kann in Abbildung 9 gefunden werden.

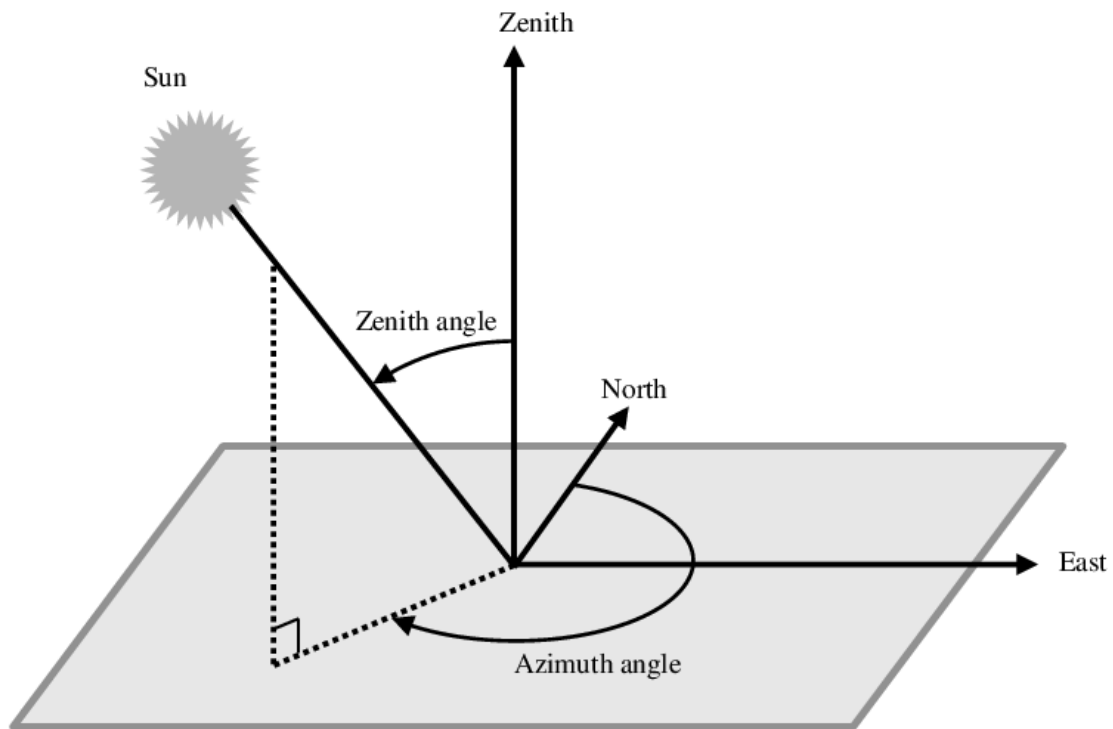


Abbildung 9: Beschreibung der Sonnenposition durch Zenith und Azimut [4]

Die Genauigkeit der verwendeten Formeln beträgt laut dem *Astronomical Almanac* 0.01° bezogen die auf die Position und 0.1 min bezogen auf die Zeit.

6 Benutzeroberfläche

Um eine leichte Handhabung der Wetterstation zu ermöglichen wird eine, auf dem PyQt5 [?] Framework basierende, Benutzeroberfläche verwendet.

In diesem Kapitel wird die zur Verfügung stehenden Funktionen sowie die Entwicklung der Benutzeroberfläche beschrieben.

6.1 Funktionen

6.2 Entwicklung

Als Entwicklungssprache wurde Python 3 verwendet. Der verwendete Quellcode befindet sich im Ordner UI.

7 3D gedruckte Komponenten

Für das Unterbringen des Mikroprozessors und der Sensoren werden zwei verschiedene Gehäusevarianten verwendet. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit deren Entwurf sowie dem Entwurf der Adaptors, mit welchem die Windfahne und das Anemometer an der Wetterstation befestigt sind.

Für den Entwurf der Komponenten wurde die Studentenversion von Autocad Fusion 360 verwendet.

7.1 Hauptgehäuse

Das Hauptgehäuse beinhaltet das Mikroprozessor-Board mit den zwei aufsteckbaren Platinen sowie den Sensoren. Drei der Sensoren befinden sich nicht im Hauptgehäuse (s. Kap. 7.2).

Das Gehäuse besteht aus zwei Teilen (s. Abb. 10), dem Hauptteil (links) und dem Deckel (rechts). Das STM8 Nucleo Board wird von drei Pins in Position gehalten (s. Abb. 10, 11). In der Vorderseite befindet sich zwei Aussparungen (s. Abb. 12). Über die Rechte ist der USB-Port des Mikroprozessor-Boards erreichbar. Hinter der Linken befindet sich der Motortreiber, welcher auf einer leicht erhöhten Plattform platziert wird (s. Abb. 11). Über die Aussparung an der rechten Seite kann die SD-Karte erreicht werden. Die Aussparung an der hinteren Seite wird verwendet um alle externen Komponenten mit dem Mikroprozessor-Board zu verbinden.

Im Deckel befinden sich drei Löcher, in welche Status-LEDs untergebracht werden.

Das Hauptteil und der Deckel werden lediglich aufeinander gesteckt. Bedingt durch die Geometrie entsteht ein relativ fester Halt. Optional können die Komponenten über die

vier Aussparungen an den Seiten, mit beispielsweise Kabelbindern, zusätzlich gesichert werden.

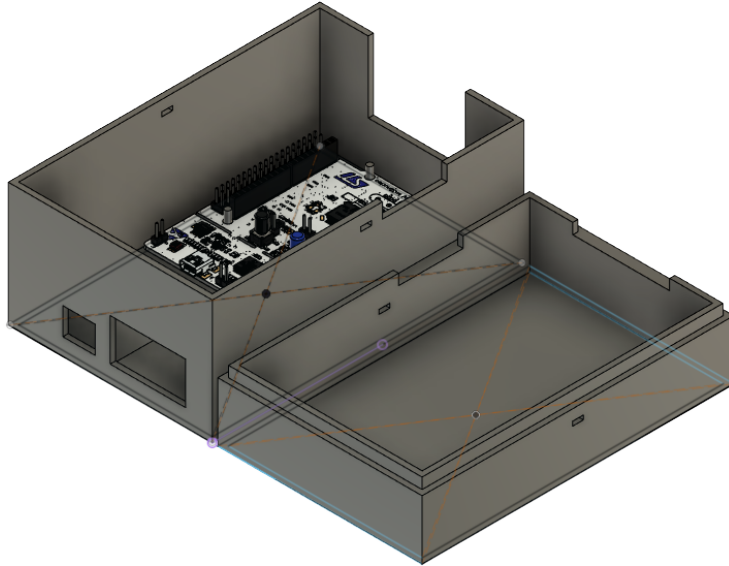


Abbildung 10: Hauptgehäuse

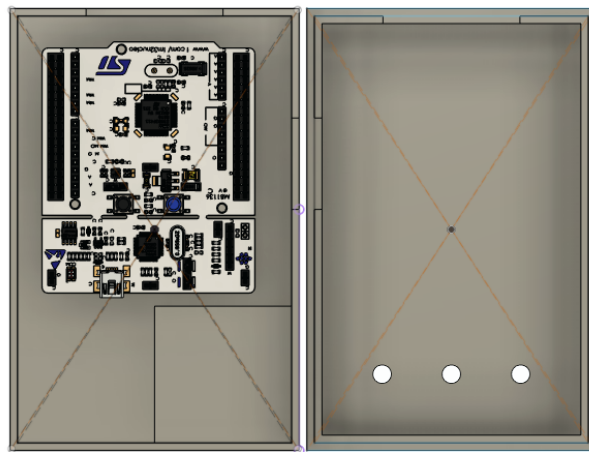


Abbildung 11: Hauptgehäuse, Ansicht von oben

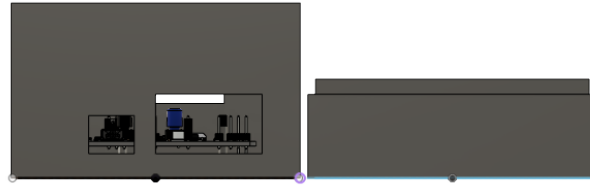


Abbildung 12: Hauptgehäuse, Ansicht von vorne

7.2 Nebengehäuse

Es wird jeweils ein Nebengehäuse für folgende Sensoren verwendet:

- der Neigungssensor, welcher an der Unterseite des Solarpanels befestigt werden muss
- der GPS-Empfänger, welcher für besseren Empfang am oberen Ende der Wetterstation befestigt wird
- das Kompass-Modul, welches empfindlich auf elektro-magnetische Störungen reagiert und aus diesem Grund auch am oberen Ende der Wetterstation untergebracht wird (auf der Seite gegenüber des GPS-Empfängers)

Nebengehäuse bestehen aus zwei Teilen, welche aufeinandergesteckt werden und zusätzlich, optional, über Kabelbinder, gesichert werden (s. Abb. 13, 15).

Die Befestigung der Nebengehäuse werden über eine Schraube und eine Mutter am Aluminium-Profil der Wetterstation befestigt (s. Abb. 14). Das Nebengehäuse, welches sich auf dem Solarpanel befindet kann nicht geschraubt werden und wird entsprechend mit Klebstoff befestigt.

Die runden Aussparungen an den linken und rechten Seiten dienen dem Durchführen von benötigten Leitungen.

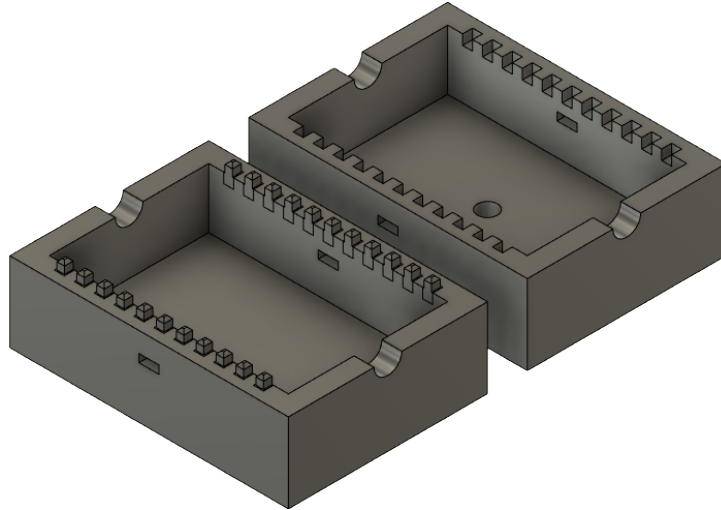


Abbildung 13: Nebengehäuse

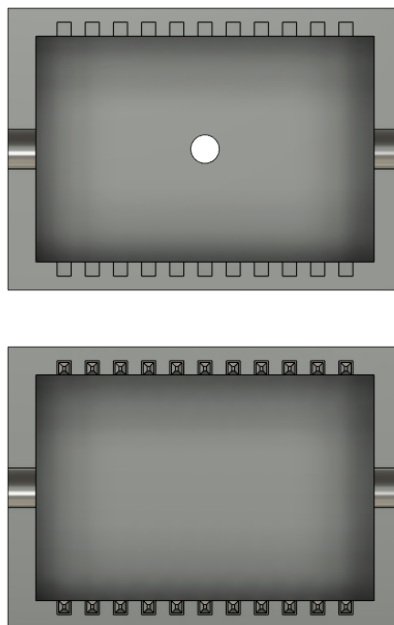


Abbildung 14: Nebengehäuse, Ansicht von oben

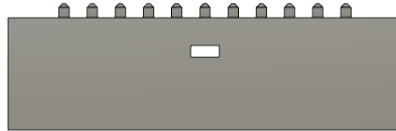


Abbildung 15: Nebengehäuse, Ansicht von vorne

7.3 Adaptor

Der Adaptor wird verwendet um eine feste Verbindung zwischen dem Aluminium-Profil der Wetterstation und dem Mast, mit Windfahne und Anemometer, herzustellen.

Die Verbindung zur Wetterstation erfolgt durch Stecken der vier trapez-förmigen Steckkontakte am unteren Ende des Adaptors (s. Abb. 16, 18).

Der Mast wird von Oben auf die angepasste Aussparung gesteckt. Optional kann der über eine Schraube und Mutter fixiert werden (s. Abb. 16, 17).

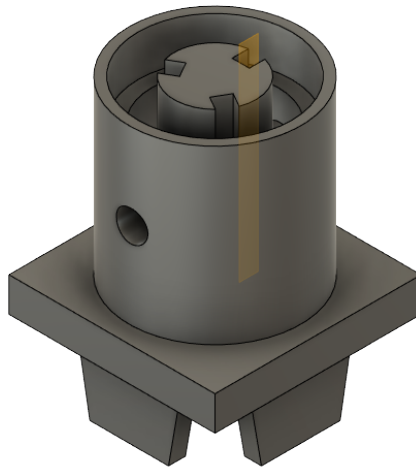


Abbildung 16: Adapter

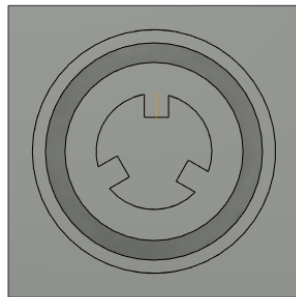


Abbildung 17: Adapter, Ansicht von oben

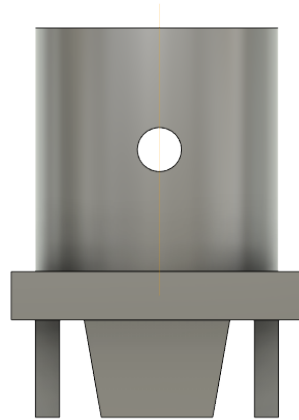


Abbildung 18: Adapter, Ansicht von vorne

7.4 Herstellung

Alle Komponenten wurden auf einem *Ender 5* in PLA mit einer Schichtdicke von 0.2 mm gedruckt. Es wurden drei Top-, Bottom- und Wandschichten gedruckt. Da die Komponenten keine großen Kräfte aushalten müssen wurden sie lediglich mit einem Infill von 20 % gedruckt.

8 Fazit

In Abbildung ?? wird der fertige Aufbau der Wetterstation dargestellt. Die Anforderung der Erfassung von Temperatur, Luftdruck und -feuchte wird mit dem BME280, der im Hauptgehäuse platziert ist, umgesetzt. Für die Erfassung von Windrichtung und -geschwindigkeit konnte ein neues Anemometer gefunden und implementiert werden.

Die Wasserfestigkeit des Aufbaus konnte leider mit den verfügbaren Mitteln in der vorgegebenen Zeit nicht erreicht werden. Das verwendete 3D-Druck-Material ist nicht für einen abgedichteten Aufbau geeignet.

Sowohl hardware- als auch softwareseitig wurden verschiedene Energiesparmaßnahmen implementiert. Die letztendliche Laufzeit müsste noch in einem Langzeittest ermittelt werden.

Grundlegend lässt sich sagen, dass alle gegebenen Anforderungen erfüllt wurden und sogar um eine zusätzliche Benutzeroberfläche zum Abrufen der gemessenen Werte erweitert.

Literatur

- [1] ADAMS, D.: *Douglas Adams Trilogy/Hitchhiker's Guide to Galaxy/Restaurant at the End of the Universe/Life, the Universe and Everything*. Random House Incorporated, 1995. – URL <https://books.google.de/books?id=bMWkPQAACAAJ>. – ISBN 9780345397041
- [2] ANON.: *The Astronomical Almanac*
- [3] J., Rizek ; Y., Chaiko: Solar Tracking System: More Efficient Use of Solar Panels. In: *World Academy of Science, Engineering and Technology* 41 (2008). – URL <http://www.mugla.edu.tr/data/03060010/belgeler/solar%20tracking.pdf>. – Zugriff: 17.10.2019
- [4] NOU, Julien ; CHAUVIN, Rémi ; THIL, Stéphane ; GRIEU, Stéphane: A new approach to the real-time assessment of the clear-sky direct normal irradiance. In: *Applied Mathematical Modelling* 40 (2016), 03
- [5] RODERICK, M.L.: Methods for calculating solar position and day length including computer programs and subroutines. In: *Resource Management Technical Reports* (1992). – URL <https://researchlibrary.agric.wa.gov.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1122&context=rmtr>. – Zugriff: 17.10.2019
- [6] TECHNOLOGY, Linear: *Datenblatt LTC3621*. – URL <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/3621fc.pdf>. – Zugriff: 18.11.2019