

Wetterstation mit Solar Energie

Bachelor Diplomarbeit 2019

Brugg/Windisch, 6. August 2019

Hochschule	Hochschule für Technik - FHNW
Studiengang	Elektro- und Informationstechnik
Autoren	Mischa Knupfer, Andres Minder
Auftraggeber	Prof. Dr. Taoufik Nouri
Experte	Patrick Strittmatter
Betreuer	Prof. Dr. Taoufik Nouri
Version	2.1

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung	1
1. Einleitung	2
2. Auftragsbeschreibung	3
3. Ziele	4
4. Konzept	5
II. Firmware	6
5. Interfaces	7
6. Firmware	8
III. Hardware	9
6.0.1. Übersicht	10
6.0.2. MCU	14
6.0.3. RTC	16
6.0.4. Sensoren	18
6.0.5. Ergänzungen aus der Bachelor-Thesis	26
6.0.6. Datenspeicherung	29
6.0.7. Kommunikationsmodule	31
6.0.8. Energieversorgung	33
6.0.9. PCB	38
6.0.10. Das Gehäuse	39
IV. Abschluss	46
7. Konzeptvalidierung	47
8. Schluss	48
9. Authentizitätserklärung	49
V. Referenzen	50
Literatur	51
Tabellenverzeichnis	53

Abbildungsverzeichnis**54**

Teil I.

Einleitung

1. Einleitung

2. Auftragsbeschreibung

3. Ziele

4. Konzept

Teil II.

Firmware

5. Interfaces

6. Firmware

Teil III.

Hardware

6.0.1 Übersicht

Um eine bessere Vorstellung über die Wetterstation zu erhalten, wird hier das noch unbestückte PCB grafisch dargestellt und die verschiedenen Komponenten erläutert. Um die Übersichtlichkeit wahren zu können, werden in verschiedenen Bildern die Hauptbereiche mit einem roten Rahmen markiert und mit einer Zahl, jeweils neu beginnend bei 1, versehen. Wichtige Teilbereiche werden ebenfalls markiert und mit einem Buchstaben versehen, jeweils neu beginnend bei A.

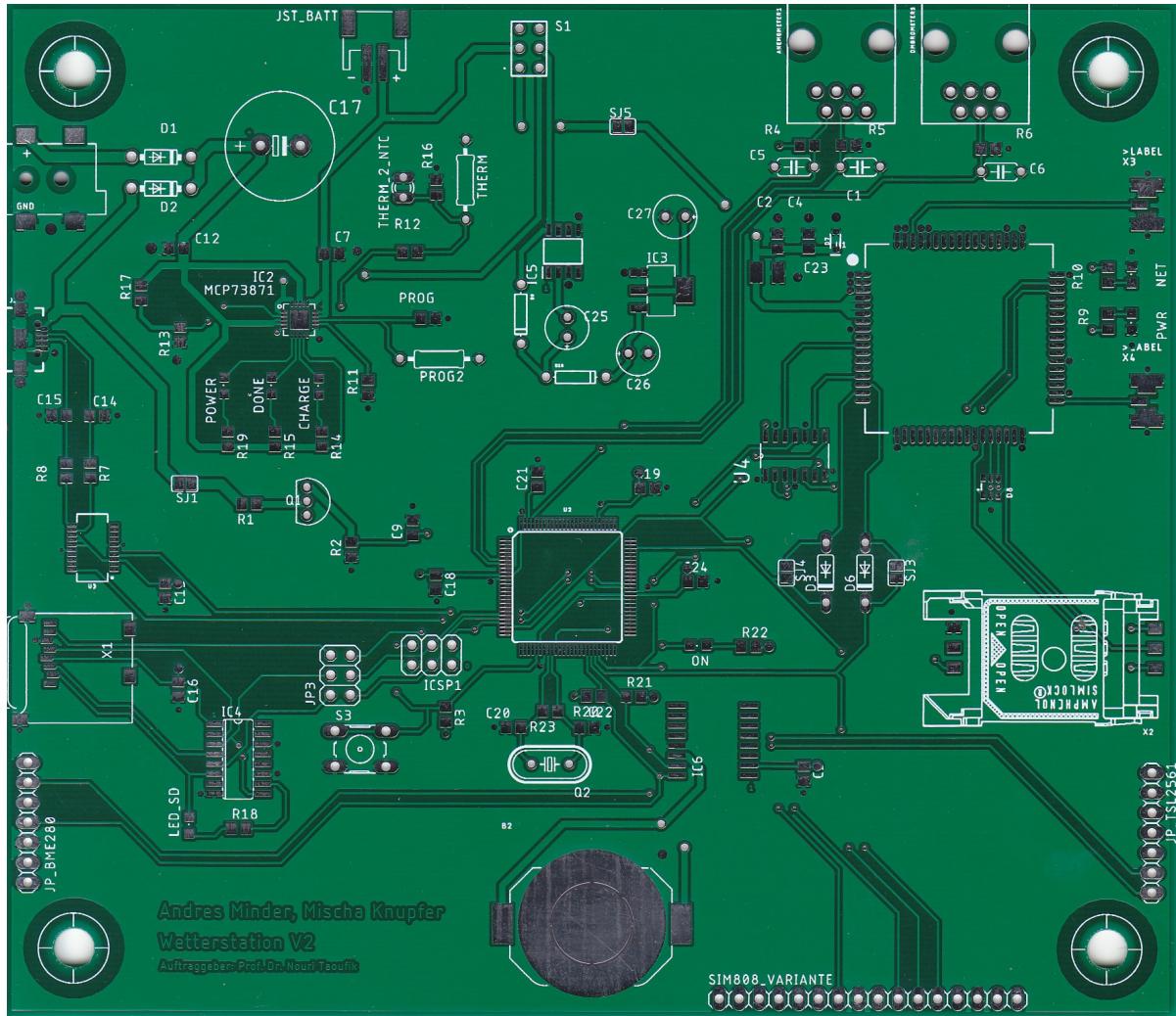


Abbildung 6.0.1.: Das noch unbestückte PCB.

Abbildung 6.0.1 zeigt das noch unbestückte PCB ohne markierte Bereiche. Man erkennt deutlich die Leiterbahnen sowie die Lötpads für die verschiedenen Bauteile. Welche Bauteile nun zur gleichen Bauteilgruppe gehören wird mit den nächsten Abbildungen erkenntlich.

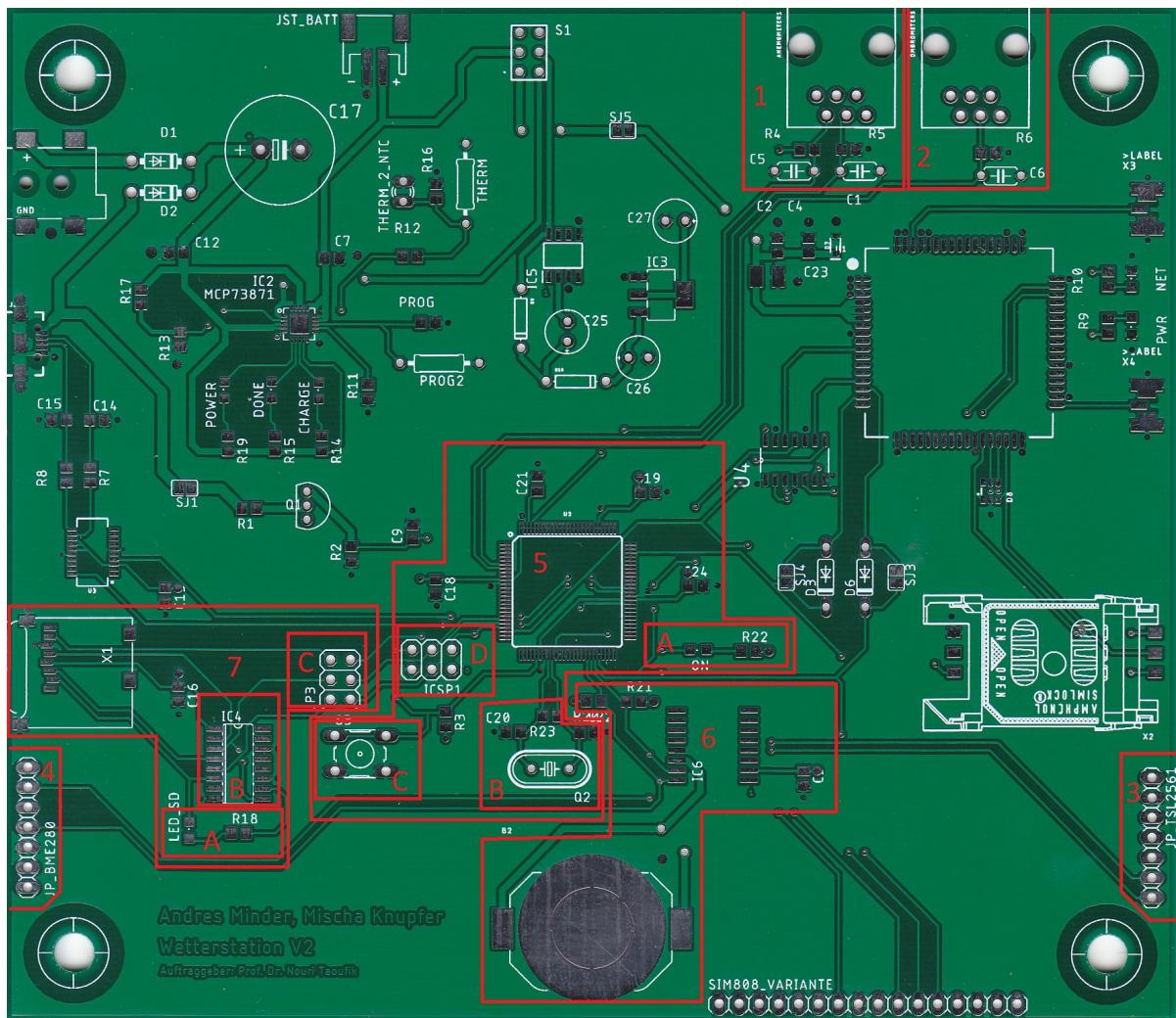


Abbildung 6.0.2.: Das unbestückte PCB mit den markierten Bereichen der MCU, der Datenspeicherung, der RTC und der Sensoren.

Sieben Bauteilgruppen wurden in der Abbildung 6.0.2 markiert. Markierung 1 zeigt den RJ11-Stecker für das Anemometer mit Windrichtungsgeber, wobei an den Ausgängen jeweils ein RC-Filter angefügt wurde um Störungen im höheren Frequenzbereich herauszufiltern, um so ein nutzbares Signal zu erhalten. Das Ombrometer trägt die Markierung 2 und besitzt ebenfalls ein RC-Filter am Ausgang. Die 3 markiert die Pinleiste für den Anschluss des TSL2561 (Lichtintensitätssensor), ein nach aussen geführtes Breakout Board. Gleich Verhält es sich mit der 4, dem BME280. Die 5 markiert die Bauteilgruppe der MCU (ATMega2560), welche 4 wichtige Untergruppen beherbergt. 5-A zeigt eine Status-LED, welche leuchtet, sobald die MCU in betrieb ist. 5-B ist ein externer Clock, welcher der MCU den Takt vorgibt. Ein Reset der MCU und somit des Systems ist über den Reset-Button (5-C) möglich. Über 5-D, ein ICSP-Header (In Circuit System Programming), kann die MCU mit der Firmware geladen werden. Die 6 markiert die Bauteilgruppe des RTC (Real Time Clock) mit der zugehörigen Stützbatterie (CR2032 Knopfbatterie). Die 7-te Bauteilgruppe ist die Datenspeicherung. 7-A zeigt ein Status-LED, welche bei Aktionen mit der μSD-Karte aufleuchtet. 7-B beherbergt ein IC mit integrierten Operationsverstärkern, welche die Leitungen der μSD-Karte treiben. Über 5-C kann die Datenspeicherung über Jumper abgekoppelt werden, dies ist notwendig, da es während des Ladens der Firmware auf die MCU es sonst zu unkontrollierte Zugriffe auf die μSD-Karte kommen kann.

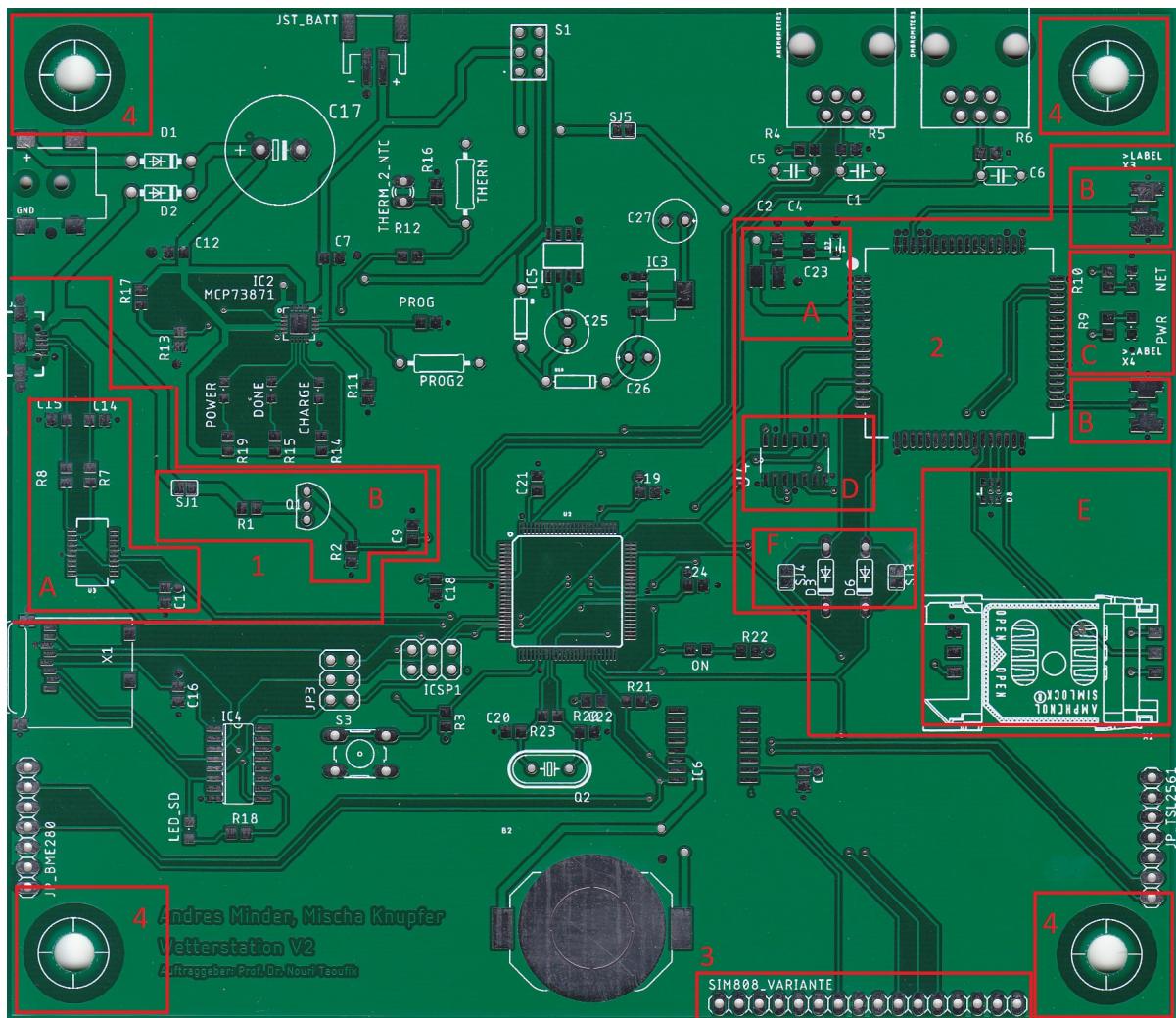


Abbildung 6.0.3.: Das unbestückte PCB mit den markierten Bereichen des μ USB-Interfaces, des SIM808 und der Bohrlöcher für die Montage im Gehäuse.

Abbildung 6.0.3 zeigt die markierten Bereiche für die SIM808 (2), des μ USB-Interfaces (1) und die Bohrlöcher für die Montage des PCBs im Gehäuse (4). Ausserdem gibt es eine Bestückungsvariante (3), bei der ein Breakout Board des SIM808 angeschlossen werden könnte, falls die On-Board Variante nicht funktionieren sollte. Im Bereich des μ USB-Interfaces (1) sieht man deutlich zwei Teilbereiche, A und B. Teilbereich 1-A enthält den FT231XS, ein USB-to-UART IC, und dessen Beschaltung gemäss Datenblatt [16]. Für die Anschlusserkennung wird die Schaltung im Teilbereich 1-B verwendet. Für die SIM808 wird eine SIM-Karte (2-E) verwendet, sowie Antennen (2-C) und eine Schaltung zur Stabilisierung und Entstörung der Speisung (2-A) benötigt. 2-C beinhaltet zwei Status-LED, um den Betrieb und die Konnektivität anzuzeigen. Für die Anpassung des Spannungspegels vom 4V gespiesenen SIM808 auf die mit 3.3V gespiesene MCU dient der 74VHC125, zu sehen im Teilbereich 2-D. Zwei Dioden schützen den RST- und den RX-Pin des SIM808 vor ungewollten Spannungsspitzen und deren Folgen im Teilbereich 2-F.

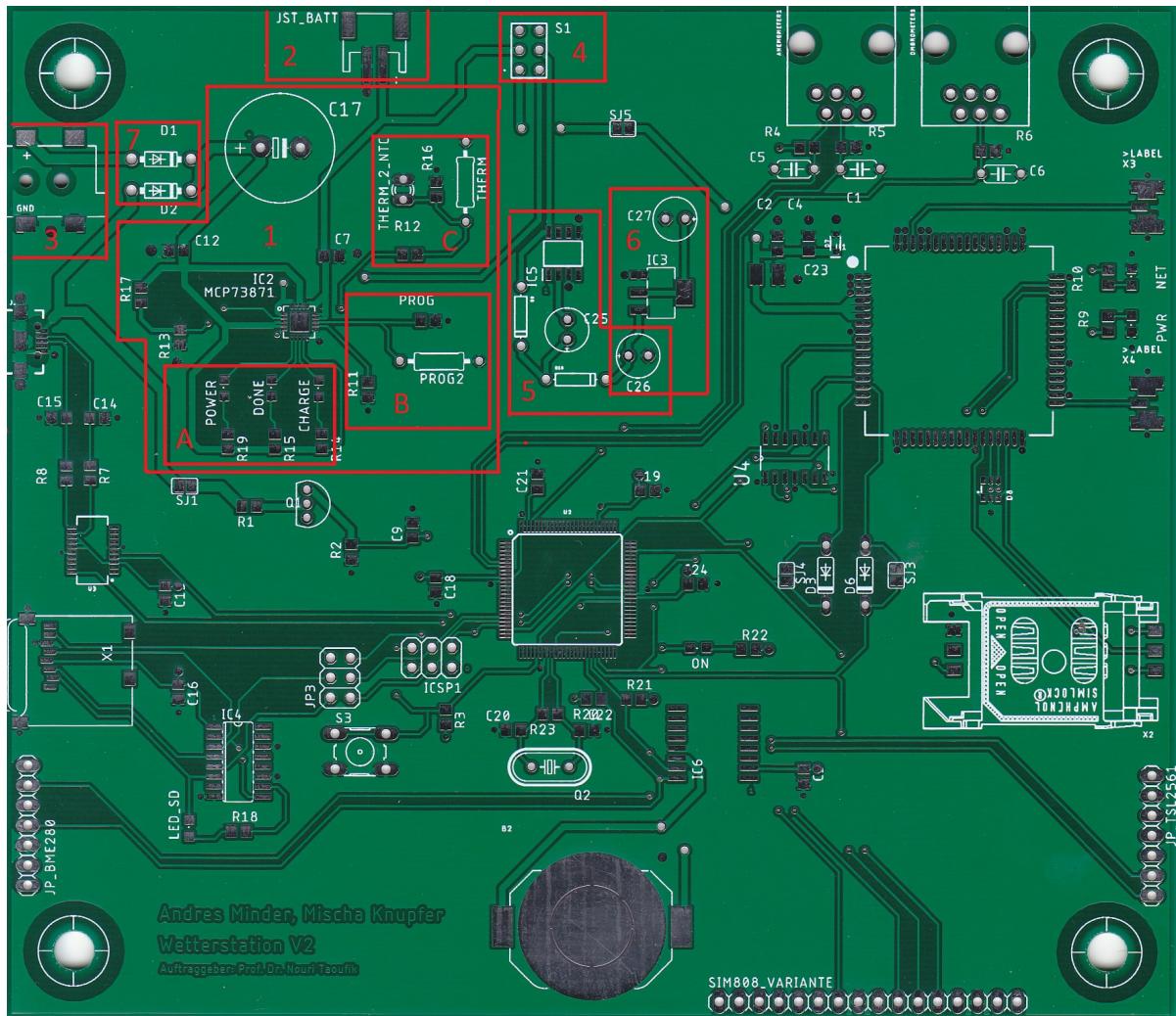


Abbildung 6.0.4.: Das unbestückte PCB mit den markierten Bereichen für die Energieversorgung.

Die gesamte Schaltung für die Energieversorgung wurde in Abbildung 6.0.4 in Bereiche unterteilt. Bereich 1 zeigt den MCP73871, den Power-Management-Chip, mit seinen Status-LED (1-A), sowie dessen Beschaltungen zur Einstellung des maximalen Ladestroms (1-B) und der Ausschalttemperatur (1-C). Der Anschluss für die Batterie erfolgt über den JST-Stecker (2). Über ein DC-Power Jack (3) wird die Photovoltaikanlage an die Wetterstation angeschlossen. Durch einen Schalter (4) können alle anderen Systeme der Wetterstation von der Energieversorgung getrennt werden. Die Charge-Pump (5) erhöht die erhaltene Batteriespannung, damit der Linearregler (6) die 3.3V-Ausgangsspannung mit möglichst kleinem Rippel erzeugen kann. Zwei Dioden (7) schützen die Eingänge vor rückfliessenden Strömen, indem diese nur in die gewünschte Richtung durchlassen und in die andere Richtung sperren.

In diesem Kapitel wurden die Bereiche des noch unbestückten PCBs erläutert und dadurch eine Übersicht über die Komponenten gegeben. In den nächsten Kapiteln soll auf diese Komponenten eingegangen werden, wobei mit der MCU begonnen wird.

6.0.2 MCU

Im Projekt 5 wurde bereits eine MCU ausgewählt, mit der das Prototyping erfolgte. Aufgrund der Verfügbarkeit (bei der FHNW bezugsbereit) wurde ein Arduino Mega2560 Board verwendet. Auf den kommenden Abschnitt aus dem Fachbericht des Projekt 5 folgt ein Abschnitt mit ergänzenden Informationen aus der Bachelor-Thesis.

MCU - Projekt 5

Die Micro Controller Unit (MCU) ist der zentrale Bestandteil für die Kommunikation, resp. für den Datenaustausch zwischen den unterschiedlichen Modulen. Sie interpretiert die Signale der Sensoren und rechnet sie in die interessierenden Messwerte um. Dann weist die MCU jedem Messwert einen Zeitstempel über das RTC zu und übergibt diesen der Datenspeicherung. Wenn die Daten vom Kommunikationsmodul angefordert werden, liest die MCU die Datenspeicherung aus und übergibt sie dem Kommunikationsmodul.

Für die Entwicklung der MCU wird ein Arduino Mega Board verwendet. Der Vorteil besteht darin, dass elementare Bauteile (Hardware) bereits implementiert sind, wie z.B. Oszillator, der USB-Anschluss und die PCB-Connectors für ein schnelles Prototyping. Die wichtigsten technischen Daten sind in der Tabelle 6.0.1 aufgelistet.

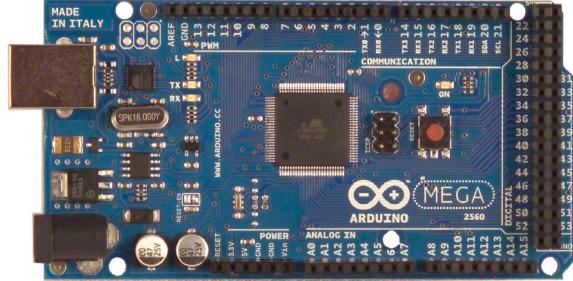


Abbildung 6.0.5.: Arduino Mega Board [1, S.1]

Tabelle 6.0.1.: Technische Daten [1, S.3]

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Digital I/O Pins	54
Analog Input Pins	16
Flash Memory	256 KB, 8 KB werden vom bootloader benötigt
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

Ergänzungen aus der Bachelor-Thesis

Während der Bachelor-Thesis kam die Idee auf, eine kleinere MCU zu verwenden. Eine kleinere MCU hat die Vorteile, dass diese günstiger ist in der Anschaffung, einen geringeren Stromverbrauch aufweist und weniger Platz auf dem PCB benötigt. Aufgrund der Firmware wird jedoch eine erhöhte Menge Speicher alloziert, weshalb die *Data Memory Usage* des verwendeten ATMega328 zu klein war und wieder auf den bereits für das Prototyping verwendeten ATMega2560 zurückgegriffen werden musste. Für die Wetterstation wird schlussendlich kein Board mehr verwendet, sondern der Mikroprozessor (ATMega2560, siehe Abbildung 6.0.6) selbst auf dem PCB platziert. Damit dieser wie gewünscht funktioniert, werden weitere Bauteile verwendet. Im nächsten Abschnitt wird mehr auf die zusätzlichen Bauteile eingegangen.

Wie in der Übersicht in Abbildung 6.0.2 zu sehen ist, wird für die MCU ein ICSP-Header (In Circuit System Programming) benötigt. Durch diesen ICSP-Header kann die Firmware über ein AVR-Dragon auf die MCU geladen werden, wobei spätere Anpassungen der Firmware möglich bleiben, was wiederum zur Skalierbarkeit (Erweiterbarkeit) des Systems beiträgt. Die MCU selbst (ATMega2560) hat einen internen Clock, welcher über ein RC-Oszillator generiert wird und eine wesentlich höhere Temperaturabhängigkeit besitzt als ein externer Quarz. Aus diesem Grund wird ein externer Quarz verwendet, wie in Abbildung 6.0.2 ebenfalls ersichtlich ist. Außerdem werden Kondensatoren bei den 3.3V-Speisepins verwendet, um Induktivitäten durch Leiterbahnängen auszugleichen. Um das System rebooten zu können wird ein Reset-Button hinzugefügt, wobei über eine Status-LED der Betrieb der MCU ersichtlich ist. Über ein CLI (Command Line Interface) soll mit der MCU interagiert werden können, wodurch eine Verbindung mit einem μ USB-Interface erforderlich wird. Die Sensorik, die RTC (Real Time Clock) und die SIM808 werden ebenfalls mit der MCU verbunden, was die MCU zum Herzstück der Wetterstation macht, da hier alle Daten verarbeitet werden. Die verarbeiteten Daten werden in der angeschlossenen Datenspeicherung wiederum gespeichert.

In diesem Kapitel wurde die Thematik der MCU eingehend thematisiert. RC-Oszillatoren und Quarze wurden ebenfalls erwähnt. Aus diesem Grund wird im nächsten Kapitel die RTC näher erläutert.



Abbildung 6.0.6.: Der Mikroprozessor ATMega2560, ohne Board.

6.0.3 RTC

Im vergangenen Kapitel (MCU) wurden bereits RC-Oszillatoren und Quarze erwähnt. Die RTC (Real Time Clock) beinhaltet ebenfalls einen Quarz, weshalb die RTC in diesem Kapitel näher erläutert wird. Die RTC wurde bereits während des Projekt 5 integriert und in dessen Fachbericht dokumentiert. Nachfolgender Text wurde übernommen, damit die Vollständigkeit gewahrt wird.

RTC - Projekt 5

Um die gewonnenen Messdaten mit einem Zeitstempel zu versehen, wird eine **RTC** (*real time clock*) benötigt. Um eine möglichst kleine Abweichung zu haben, wird eine hohe Präzision vorausgesetzt. Außerdem soll die **RTC** über das in Kapitel 5 erwähnte **I²C**-Bus angesteuert werden. Aus diesen Gründen wurde der **DS3231** implementiert, da dieser als Präzisions-I²C-RTC die Anforderungen erfüllt. Die hohe Präzision des **DS3231** wird mit einem internen Temperatursensor erreicht, welcher Temperaturbedingte Abweichungen des Oszillators kompensiert. Zu sehen ist der **DS3231** mit seinen Anschlüssen in Abbildung 6.0.7.

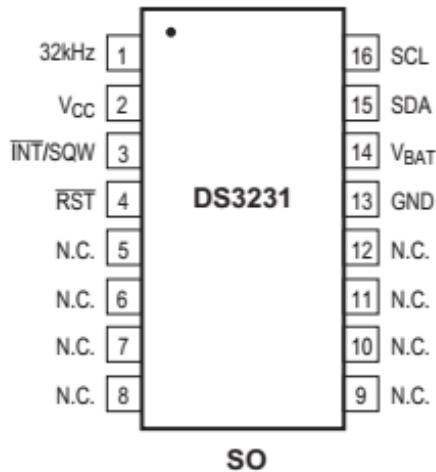


Abbildung 6.0.7.: DS3231 mit seinen Anschlüssen [2].

Die Anschlüsse des **DS3231** sind **VCC**, **GND**, **SCL**, **SDA**, **BAT**, **32K**, **SQW** und **RST**. **VCC** und **GND** werden für die Speisung benötigt. **SCL** und **SDA** sind Anschlüsse für den **I²C**-Bus. **BAT** ist der positive Anschluss der Knopfbatterie, worüber deren Zustand kontrolliert werden, etwas anderes gespiesen oder eine andere Battery als Backup angeschlossen werden kann. **32K** ist ein Anschlusspin um den Output des 32kHz-Oszillators des **RTC** abzugreifen, was jedoch nicht verwendet wird. **SQW** ist ein zusätzlicher Output- oder Interrupt-Pin, welcher jedoch auch nicht verwendet wird. **RST** wird verwendet, um ein externes Element zu reseten oder als Indikator wenn die Hauptspeisung unterbrochen wird. [2]

Die relevanten Spezifikationen des Chips sind in Tabelle 6.0.2 aufgelistet.

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Einheit	Condition
VCC	2.3	3.3	5.5	V	
VBAT	2.3	3	5.5	V	
Active Supply Current			200	μ A	3.63 V
			300	μ A	5.5 V
Standby Supply Current			110	μ A	3.63 V
			170	μ A	5.5 V
Crystal Aging	\pm 1			ppm	First Year
	\pm 5			ppm	0-10 Years
Active Battery Current			70	μ A	3.63 V
			150	μ A	5.5 V
Timekeeping Battery Current	0.84	3		μ A	3.63 V
	1	3.5		μ A	5.5 V

Tabelle 6.0.2.: Spezifikationen des **DS3231** [2].

Tabelle 6.0.2 zeigt die für das Projekt relevanten Spezifikationen des **DS3231**. Wichtig ist, dass die Alterung des Quarzes zu einem Fehler führt, dieser jedoch im ppm-Bereich liegt und somit erst über viele Jahre hinweg bemerkbar wird.

Wie erwähnt wurde, wird die RTC über den I²C-Bus von der MCU angesteuert. Da dies ebenfalls für gewisse Sensoren gilt, werden im nächsten Kapitel die Sensoren thematisiert.

6.0.4 Sensoren

Der grossteil der Sensorik wurde bereits während des Projekt 5 implementiert und in dessen Fachbericht dokumentiert. Die Dokumentation der bereits implementierten Sensoren wird in nachfolgendem Abschnitt inkludiert und darauf folgend die während der Bachelor-Thesis hinzugekommene Sensorik bzw. Ergänzungen in einem separaten Abschnitt erläutert.

Ombrometer - Projekt 5

Ermittlung der Niederschlagsmenge

Dieses Unterkapitel befasst sich mit der Realisierung der Niederschlagsmessung. Diese soll nach einem Kipplöffelprinzip funktionieren und gemäss definierten Zielen eine Genauigkeit von $\pm 100 \text{ ml/m}^2$ aufweisen. Ausserdem soll als alternative zusätzlich ein Messbecher an der Wetterstation installiert werden, damit der Bauer die Niederschlagsmenge anhand einer Skala ablesen kann. In einem ersten Schritt soll das Kipplöffelprinzip näher erläutert und mit einem Selbstbau die Funktionsweise getestet werden. Anschliessend soll ein gekaufter Sensor die Wetterstation erweitern und die Implementation in der Firmware thematisiert werden. Zu guter Letzt soll die Validierung des Teilsystems folgen.

Das Kipplöffelprinzip

Das Prinzip des Kipplöffels wird in Abbildung 6.0.8 graphisch dargestellt.

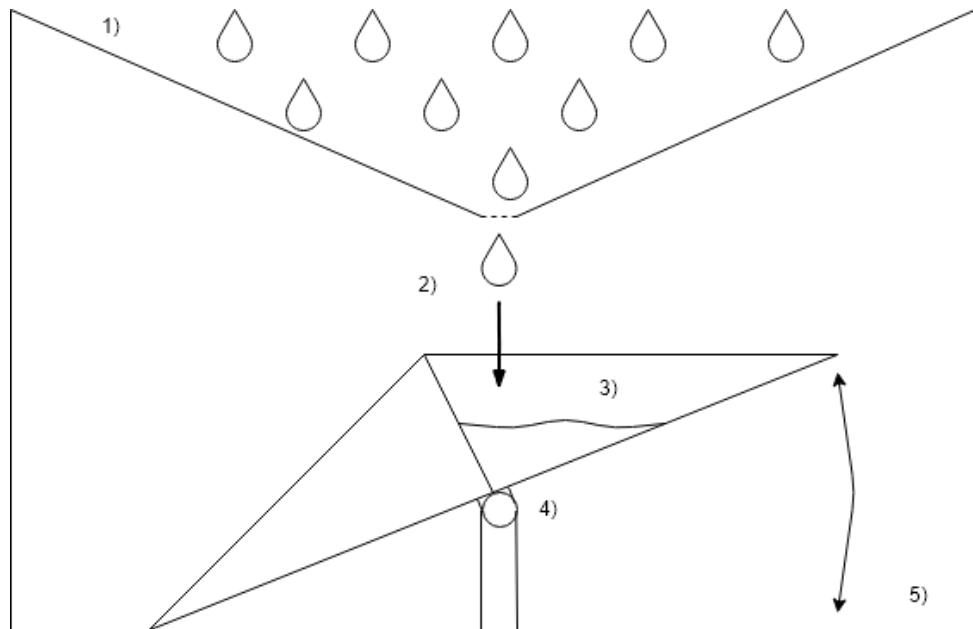


Abbildung 6.0.8.: Darstellung des Kipplöffelprinzips

Abbildung 6.0.8 zeigt das Kipplöffelprinzip. Der Kipplöffel („3“) besteht im Grunde aus zwei Löffeln und ist in der Mitte drehbar mit dem Gehäuse befestigt („4“). Regenwasser wird über eine Öffnung im Gehäusedeckel (Trichter, „1“) zum Kipplöffel befördert („2“). Ist der Löffel mit Regenwasser gefüllt, so kippt dieser aufgrund des Gewichts und leert das Wasser über eine Öffnung im Gehäuseboden („5“) aus. Durch die Kippung wird der andere Löffel in die Ausgangsposition bewegt und kann sich nun mit Wasser füllen. Mit der Hilfe von Reedkontakteen und Magneten wird die Anzahl der Kippbewegungen gezählt. Die Niederschlagsmenge ergibt sich aus der Anzahl Kippbewegungen, multipliziert mit dem Volumen des Kipplöffels.

Die Realisierung des Niederschlagsmengensensors

Um die Funktionsweise des Niederschlagsmengensensors zu testen, wird, wie im Pflichtenheft festgehalten, dieser in einem ersten Schritt selbst erstellt. Die Erstellung kann in vier Etappen unterteilt werden. Die erste Etappe ist die Erstellung des Kipplöffels. Die zweite Etappe folgt mit der Erstellung der drehbaren Lagerung. Als dritte Etappe folgt der Trichter und die vierte und letzte Etappe widmet sich dem Gehäuse, wobei der Trichter ein Teil des Gehäuses darstellt. Das Gehäuse wird, bei Verwendung der Eigenproduktion, erst im Projekt 6 mit dem Gehäuse der gesamten Wetterstation erstellt.

Etappe 1: Realisierung des Kipplöffels

Wichtig für die Erstellung des Kipplöffels sind die Dimensionierung und die Materialwahl.

Das Material soll wetterbeständig, einfach bearbeitbar und günstig sein und eine möglichst glatte Oberfläche haben. Die möglichst glatte Oberfläche ist notwendig, damit das Wasser im Kipplöffel sich nicht an der Oberfläche festhält und somit gut abfließt. Acrylglas erfüllt diese Bedingungen und ist in jedem Baumarkt erhältlich, weshalb es als Material gewählt wird.

Die Dimensionierung ist Abhängig von der gewählten Genauigkeit im Pflichtenheft. Damit eine Genauigkeit von $\pm 100 \text{ ml}/\text{m}^2$ erreicht werden kann, müssen beide Löffel des Kipplöffels bei genau 100 ml Fassungsvermögen kippen. Damit dies erreicht wird, kann man physikalisch die statische Gleichgewichtsbedingung aufstellen und daraus die Dimensionierung folgern. Dies ist jedoch ein sehr aufwändiger, komplizierter und zeitintensiver Weg. Einfacher ist es, wenn der Kipplöffel extra zu gross dimensioniert und die Füllmenge im Nachhinein justiert wird. Die Justierung erfolgt mittels einer in der Höhe verstellbaren Lagerung, sowie mit in der Höhe verstellbaren Schrauben im Gehäuseboden, welche die Neigung der Endposition des Kipplöffels beeinflusst. Ein weiterer Vorteil dieser Nachjustierung ist, dass auch eine andere Füllmenge einstellbar wäre.

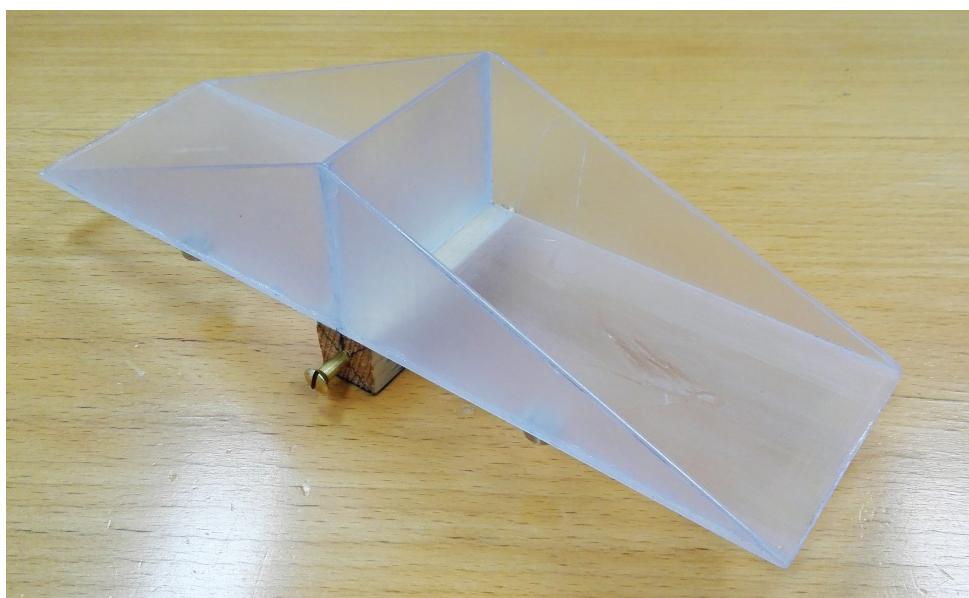


Abbildung 6.0.9.: Selbsterstellter Kipplöffel.

Abbildung 6.0.9 zeigt den selbsterstellten Kipplöffel aus Acrylglas. Die Drehachse ist mittig unter dem Kipplöffel befestigt und besteht aus einem Holzklotz mit je einer Schraube pro Seite.

Etappe 2: Realisierung der drehbaren Lagerung

Die drehbare Lagerung des Kipplöffels ist wichtig, damit der Kipplöffel auf beide Seiten kippen

kann. Die Drehachse soll direkt unterhalb der Mitte des Kipplöffels befestigt sein um ein gleichmässiges Kippen zu ermöglichen. Die Höhe des Kipplöffels wird definiert durch die einstellbare Höhe der Drehachsenlagerung.

Die Drehachse wird aus einem Stück Holz und zwei Schrauben gefertigt, wobei das Holz direkt am Kipplöffel befestigt wird. Die zwei Schrauben werden auf einem höhenverstellbarem Gerüst gelagert, so dass ein drehen möglich ist. Dieses Gerüst wird auch aus Holz gefertigt und enthält eine Metallische Fläche an der Kontaktstelle der zuvor erwähnten Schrauben, um aufkommende Reibkräfte zu verringern. Ausserdem ist dieses Gerüst höhenverstellbar über zwei mit Muttern feststellbaren Gewinden (für jede Seite eine).

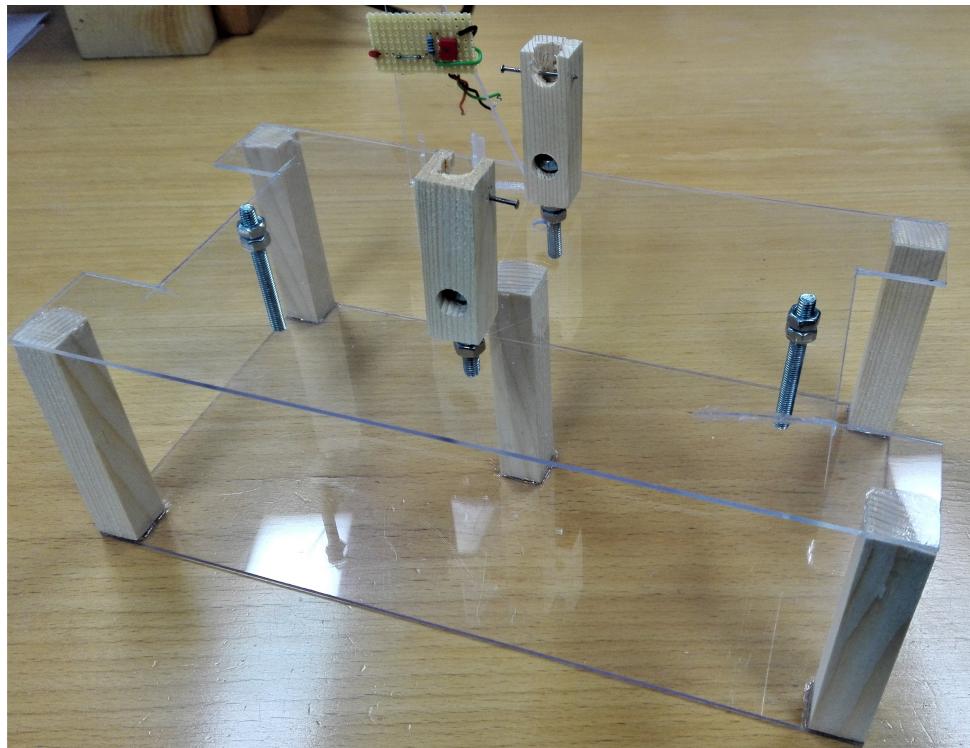


Abbildung 6.0.10.: Selbsterstelltes Gerüst.

Abbildung 6.0.10 zeigt das selbsterstellte Gerüst für die Höhenverstellbare, drehbare Lagerung des Kipplöffels. Es kann sowohl die Höhe des Kipplöffels, sowie dessen Neigung in den Endpositionen über Gewinden mit Muttern eingestellt werden. Die Schrauben des Kipplöffels kommen auf einen Stahlnagel zu liegen, womit Reibungsverluste gering gehalten werden.

Etappe 3: Realisierung des Trichters

Der Trichter sorgt dafür, dass der Regen, welcher auf die Trichterfläche fällt, über der Mitte des Kipplöffels in den Löffel fliesst. Die Trichterfläche stellt gleichzeitig die Referenzfläche dar, da die gesamte Regenmenge dieser Fläche über den Kipplöffel erfasst wird. Ist diese Fläche von 1 m^2 abweichend, so muss in der Firmware ein Skalierungsfaktor implementiert werden, damit die Regenmenge wie gewünscht gemäss Pflichtenheft ermittelt werden kann. Der Trichter wird aus demselben Material gefertigt wie der Kipplöffel, da hier die gleichen Anforderungen gelten. Es sei angemerkt, dass der Trichter nur bei weiteren Verwendung des selbst erstellten Kipplöffels, zusammen mit dem Gehäuse der gesamten Wetterstation, erstellt wird.

Etappe 4: Realisierung des Gehäuses

Das Gehäuse soll den Sensor vor ungewollten äusseren Einflüssen schützen, sowie umgebende Elektronik vor eventuellen Regenwasserspritzer. Ausserdem soll ein Schaltkreis mit Reedrelais

implementiert werden, damit die Kippbewegungen von der Elektronik erfasst werden können. Es sei erwähnt, dass das Gehäuse nur bei weiteren Verwendung des selbst erstellten Sensors, zusammen mit dem Gehäuse der Wetterstation, konstruiert wird.

Implementierung des Schaltkreises

Der Schaltkreis, welcher die Kippbewegungen feststellen soll, besteht im wesentlichen aus einem Reedrelais und einem Permanentmagneten. Das Reedrelais ist NO (Normally Open) und wirkt als stromkreisschliessender Schalter, sobald ein magnetisches Feld (z.B. das eines Permanentmagneten) sich in unmittelbarer Nähe befindet. Der Permanentmagnet wird auf dem Kipplöffel befestigt und das Reedrelais als Gegenstück an einem Fixpunkt in der Nähe. Wichtig dabei ist, dass das Reedrelais bei den Endpositionen des Kipplöffels nicht geschlossen ist, damit der Stromkreis geöffnet ist und Strom gespart werden kann. Das Reedrelais benötigt einen seriellen Widerstand, damit bei einem schliessen des Stromkreises kein Kurzschluss auftritt. Außerdem soll ein Kondensator parallel zum Widerstand sein, um die Speisespannung zu glätten und so ein nutzbares Signal zu erhalten. Die Speisespannung stellt den Pegel für ein schliessen des Reedrelais, und somit auch für eine Kippbewegung dar. Um die Kippbewegungen zu zählen, kann somit entweder jede steigende oder jede fallende Flanke des Signals gezählt werden.

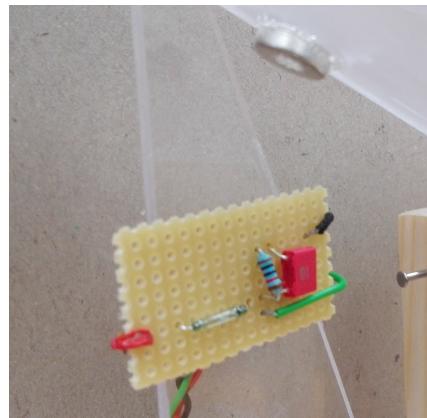


Abbildung 6.0.11.: Schaltkreis zur detektion der Kippbewegung.

Abbildung 6.0.11 zeigt den Schaltkreis zur detektion der Kippbewegung. Benutzt wurde ein $10\text{k}\Omega$ Widerstand mit einem parallel angeschlossenen 100nF Kondensator. Der Reedkontakt reagiert auf den ebenso sichtbaren Permanentmagneten, welcher an der Unterseite des Kipplöffels befestigt ist.

Nachteile des Selbstgebauten Niederschlagsmengensensor

Der selbstgebaute Niederschlagssensor beweist, dass das Prinzip des Kipplöffels funktioniert. Dennoch weist der Selbstbau Mängel auf. Der verwendete Permanentmagnet muss geklebt werden, weshalb dessen Magnetfeld massiv an Stärke verliert und die Schaltung deshalb äusserst nahe angebracht werden muss. Ausserdem kam es, dadurch dass keine Werkstatt zugänglich war, zu Improvisation bei nahezu allen Fertigungsschritten, was zu unkalkulierbaren Abweichungen führt. Als Beispiel sei das Spiel der drehbaren Lagerung des Kipplöffels auf dem Gerüst angeführt, was jegliche Justierungsversuche der Niederschlagsmenge beeinflusst. Aus den genannten Gründen wird vorgefertigter Sensor mit Kipplöffelprinzip verwendet.



Abbildung 6.0.12.: Das Ombrometer

Das verwendete Ombrometer von MISOL hat eine Auflösung von ca. 2ml pro Kippbewegung auf auf die Dimensionen $5.5E - 2m * 11.5E - 2m$ des Trichters. Zudem enthält der Trichter oben noch eine kleine Wasserwaage, damit das Ombrometer auch gerade steht und die gemessene Regenmenge nicht verfälscht wird.

Anemometer - Projekt 5

Für die Windgeschwindigkeitsmessung wurde ein Ersatz Anemometer von Froggit genommen (Abb. 6.0.13). Das Anschlusskabel hat einen vier poligen RJ-11 Stecker, dessen Signal über eine Buchse zum MCU geführt wird. Das Anemometer selbst hat allerdings nur zwei Anschlüsse, die Speisung (rot) und das durch einen mit einem Dauermagneten schließbaren Reedkontakt modulierte pulsförmige Ausgangssignal (grün, Abb. 6.0.14). In der Abb. 6.0.15 ist ersichtlich, dass das Ausgangssignal über R1 abfällt und C1 als Spannungsstabilisierung dient. Das daraus resultierende Signal ist in der Abb. 6.0.16 aufgezeigt. Die Windgeschwindigkeit ist nun aus der Anzahl Rechteckpulsen direkt interpretierbar:

Wenn über einen Zeitraum T die Anzahl Pulse A gemessen werden, dann kann auf die Winkelgeschwindigkeit ω nach

$$\omega = \frac{A}{T} \quad [s^{-1}] \quad (6.0.1)$$

geschlossen werden. Da allerdings verschiedene Faktoren wie das Trägheitsmoment des Schalenkreuzes, Reibungsverluste bei der Drehbewegung, Verfälschung bei wechselnder Windrichtung usw. zusätzlich auf das Anemometer wirken, wird es sehr komplex die Windgeschwindigkeit exakt zu berechnen. Deshalb wird nur ein Näherungswert ermittelt und mit einem Skalierungsfaktor SF korrigiert. Somit ergibt sich für die Windgeschwindigkeit v_{Wind} mit Radius r des Schalenkreuzes

$$v_{Wind} = \frac{A \cdot r \cdot SF}{T} \quad [m/s]. \quad (6.0.2)$$

Der Skalierungsfaktor SF wird mittels Referenzmessungen der Windgeschwindigkeit eines digitalen Anemometers eruiert.

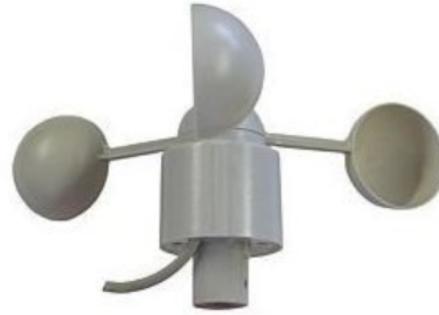


Abbildung 6.0.13.: Anemometer [3]

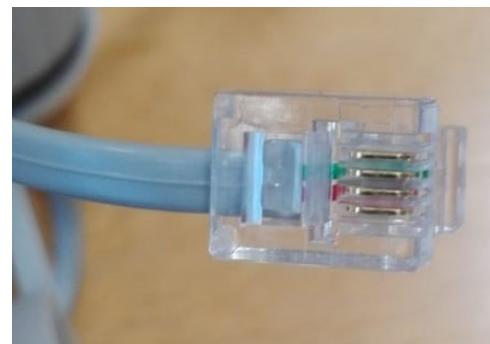


Abbildung 6.0.14.: RJ-11 Stecker

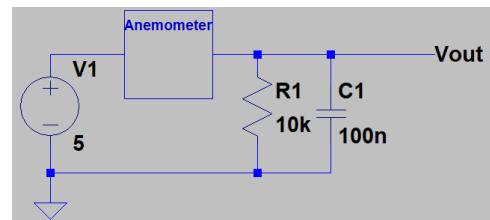


Abbildung 6.0.15.: Beschaltung des Ausgangs des Anemometers.

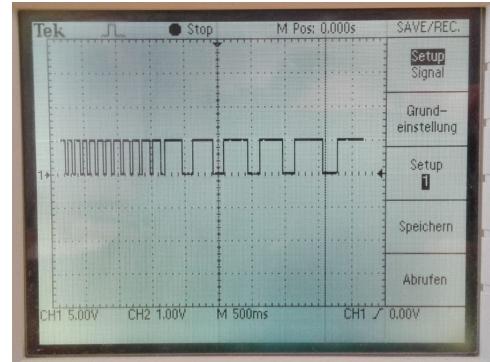


Abbildung 6.0.16.: Ausgangssignal V_{out}

Windrichtungsgeber - Projekt 5

Um die Windrichtung angeben zu können, wurde ein Windrichtungsgeber, wie in Abb. 6.0.19 gezeigt von MISOL verwendet. Er ist genau wie das Ombrometer und das Anemometer mit Reedkontakte realisiert worden (siehe Abb. 6.0.17). Dafür sind acht Reedkontakte im Kreis angeordnet und jeder hat einen in Serie geschalteten Widerstand von unterschiedlichen Dimensionen. Der Dauermagnet kann, je nach Drehwinkel bis zu zwei Reedkontakte gleichzeitig schließen. Dies erlaubt sechzehn verschiedene Winkelpositionen und somit eine Auflösung von 22.5° . Mit einem externen Widerstand $R = 10k\Omega$ (siehe Abb. 6.0.18) wird eine Spannung generiert, welche dann mit dem ADC des Microcontrollers gelesen werden kann. Der Windrichtungsgeber wird mit einer Speisespannung von $V_+ = 5V$ betrieben. Der Windrichtungsgeber hat einen vierpoligen RJ-11 Anschluss. Zudem hat er auf der unteren Seite noch eine RJ-11 Buchse, bei der das Anemometer direkt angeschlossen werden kann. Wie diese Anschlüsse gemapped sind, wird in der Abb. 6.0.17 gezeigt.

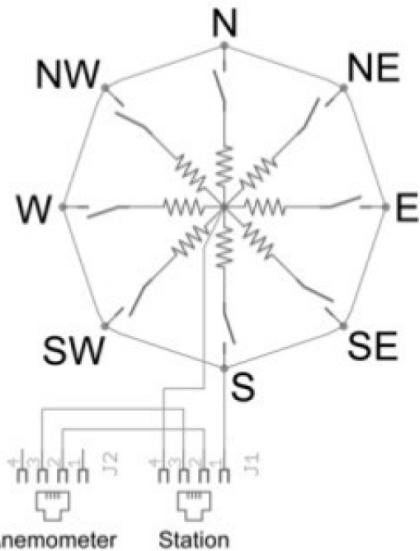


Abbildung 6.0.17.: Interne Schaltung [4]

Tabelle 6.0.3.: Technische Werte [4]

Richtung [°]	Himmelsrichtung	Widerstand [Ω]	Ausgangsspannung [V]
0	N	33k	3.84
22.5		6.57k	1.98
45	NE	8.2k	2.25
67.5		891	0.41
90	E	1k	0.45
112.5		688	0.32
135	SE	2.2k	0.90
157.5		1.41k	0.62
180	S	3.9k	1.40
202.5		3.14k	1.19
225	SW	16k	3.08
247.5		14.12k	2.93
270	W	120k	4.62
292.5		42.12k	4.04
315	NW	64.9k	4.33
337.5		21.88k	3.43

In der Tabelle 6.0.3 sind die Widerstandswerte der in Abb. 6.0.17 gezeigten Widerständen und die Werte der Ausgangsspannung bei variabler Winkelposition aufgelistet. Da nun abhängig von der Winkelposition unterschiedliche Widerstände parallel geschalten werden, resultiert am Ausgang eine vom Winkel abhängige Ausgangsspannung.

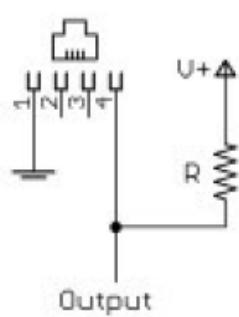


Abbildung 6.0.18.: Spannungsteiler mit $R = 10k\Omega$ [4]

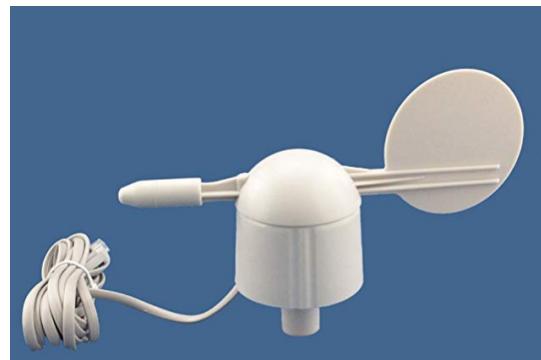


Abbildung 6.0.19.: Windrichtungsgeber von MISOL [5]

BME280 - Projekt 5

Der *BME280* ist ein low powered digitaler Feuchtigkeits-, Luftdruck- und Temperatursensor von Bosch. Er ist in einem 2.5mm x 2.5mm x 0.93mm metal lid LGA Gehäuse verpackt und kann über die Interfaces I²C und SPI kommunizieren. Durch seinen niedrigen Stromverbrauch, große operating range der drei Messgrößen und schnellen Ansprechzeit von etwa 1s eignet er sich für die solarbetriebene mobile Wetterstation besonders. [6]



Abbildung 6.0.20.: BME280 [6]

Tabelle 6.0.4.: Elektrische Spezifikationen [6]

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Einheit
Versorgungsspannung	1.71	1.8	3.6	V
Stromverbrauch (sleep mode)	0.1	0.3		μ A
Stromverbrauch inaktiv (normal mode)	0.2	0.5		μ A
Stromverbrauch Feuchtigkeitsmessung	340			μ A
Stromverbrauch Luftdruckmessung	714			μ A
Stromverbrauch Temperaturmessung	350			μ A

Bei einer Messfrequenz von 1Hz für die drei Messgrößen verbraucht der BME280 somit laut Datenblatt nur **3.6 μ A**. [6, S. 2]

Feuchtigkeitsmessung

In der Tabelle 6.0.5 sind die wichtigsten Parameter zur Feuchtigkeitsmessung aufgelistet. Zu vermerken ist, dass die digitalen Werte des BME280 zur Feuchtigkeitsmessung relativ sind und deshalb prozentual angegeben werden.

Tabelle 6.0.5.: Sezifikationen der Feuchtigkeitsmessung [6]

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Einheit
Operating range	-40 0	25	85 100	°C %
Absolute Genauigkeitstoleranz		±3		%
Hysterese		±1		%
Auflösung		0.008		%
Langzeitstabilität		0.5		% pro Jahr

Luftdruckmessung

Die Genauigkeit der Luftdruckmessung ist an einen Temperaturbereich gebunden. Bei niedrigeren Temperaturen ($<0^{\circ}\text{C}$) weist der Sensor eine höhere Unsicherheit auf als bei Temperaturen von 0 bis 65°C (siehe Tabelle 6.0.6).

Tabelle 6.0.6.: Sezifikationen der Luftdruckmessung [6]

Parameter	Temperaturbereich	Min.	Typ.	Max.	Einheit
Operating range		-40 300	25	85 1100	°C hPa
Absolute Genauigkeit	-20 bis 0°C 0 bis 65°C		±1.7 ±1		hPa hPa
Auflösung			0.18		hPa
Langzeitstabilität			±1		hPa pro Jahr

Temperaturmessung

Die Wetterstation wird hauptsächlich in einem Temperaturbereich von 0 bis 65°C betrieben, wodurch vom Sensor eine Unsicherheit von max. $\pm 1^{\circ}\text{C}$ erreicht werden kann.

Tabelle 6.0.7.: Sezifikationen der Temperaturmessung [6]

Parameter	Temperaturbereich	Min.	Typ.	Max.	Einheit
Operating range		-40	25	85	°C
Absolute Genauigkeit	25°C 0 bis 65°C -20 bis 0°C -40 bis -20 C		±0.5 ±1 ±1.25 ±1.5		°C
Auflösung			0.01		°C

6.0.5 Ergänzungen aus der Bachelor-Thesis

Während der Bachelor-Thesis soll ein Sensor zur Ermittlung der Sonnenstunden implementiert werden. Um dies zu erreichen wurde die Idee, die Sonnenstunden direkt über den Ladestrom

der Photovoltaikanlage zu eruiieren, verworfen, da auf diese Weise mit höheren Energieverlusten zu rechnen wäre durch das Abzweigen des Ladestroms und die damit verbundene zusätzliche Speisung der zusätzlichen Schaltung. Stattdessen wird über ein Lichtintensitätssensor die Bestrahlungsstärke gemessen, womit die Sonnenstunden über einen Schwellwert berechnet werden können. Im folgenden Abschnitt wird der verwendete Lichtintensitätssensor näher erläutert.

Lichtintensitätssensor

Die Lichtintensität wird über den TSL2561, ein digitaler low power Sensor, eruiert. Dieser misst über eine Kombination aus einer Breitband-Photodiode und einer Infrarot-Photodiode die Lichtstärke mit einer 16-Bit Auflösung. Über zwei integrierte AD-Wandler wird der Photodiodenstrom gewandelt und auf einen digitalen Ausgang gegeben. Über eine I²C Schnittstelle kann dieser Ausgang auf die MCU gegeben und so ausgewertet werden. Ab einem bestimmten Schwellenwert kann die Einstrahlung als direkte Sonnenstrahlung definiert, und so auch gezählt werden. Der erwähnte Schwellwert ist vom Ort abhängig an dem die Wetterstation sich befindet und muss eruiert und in der Firmware eingestellt werden, was im entsprechenden Teil (Literaturpart:Firmware II)) erläutert wird. Da dieser Sensor nicht direkt auf der Platine sondern am oberen Teil des Gehäuses montiert werden muss, wird der TSL2561 als Breakout Board (Abbildung 6.0.21) verwendet und über Pinheader mit dem PCB verbunden. Die wichtigsten elektrischen Spezifikationen sind in der Tabelle 6.0.8 zusammengefasst. [7]

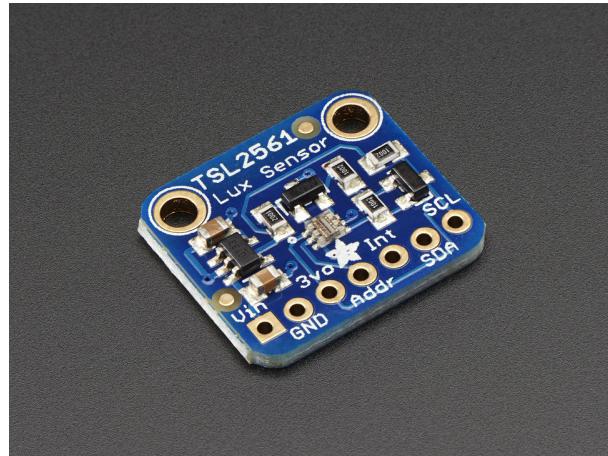


Abbildung 6.0.21.: TSL2561 Breakout Board von Adafruit [8]

Tabelle 6.0.8.: Elektrische Spezifikationen des TSL2561 [7]

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Einheit
Versorgungsspannung	2.7	3	3.6	V
Stromverbrauch (Aktiv)		0.24	0.6	mA
Stromverbrauch inaktiv (Power down)	3.2		15	µA

BME280

Im Verlauf der Bachelor-Thesis wurde über das Design des Gehäuses der Wetterstation diskutiert, dabei wurde ebenfalls die Notwendigkeit eines Zugangs zu frischer Umgebungsluft für den BME280 erwähnt. Würde der BME280 auf dem PCB angebracht werden, so würde dieser durch die Abwärme der Elektronik stärker beeinflusst und Fehlmessungen generieren. Aus diesem Grund soll der BME280 an der unteren Seite des Gehäuses, zugänglich zu frischer Außenluft, montiert werden. Damit Fehlmessungen möglichst vermieden werden können, wird wie beim TSL2561 für den BME280 ein Breakout Board verwendet (Abbildung 6.0.22) und über Pinheader mit dem PCB verbunden.

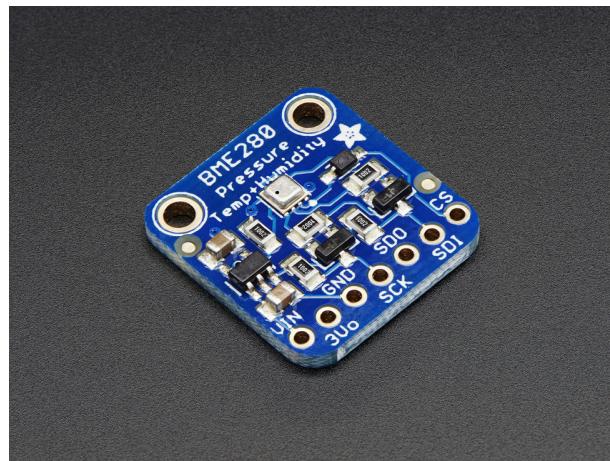


Abbildung 6.0.22.: BME280 Breakout Board von Adafruit [9]

Die gesammelten Daten der Sensorik werden an die MCU geliefert. Die MCU kann jedoch nicht alle Daten speichern, weshalb ein grösserer, externer Speicher notwendig ist. Aus diesem Grund wird im nächsten Kapitel auf die Datenspeicherung eingegangen.

6.0.6 Datenspeicherung

Während des Projekt 5 wurde die Datenspeicherung bereits mittels Breakout Board im Prototyp implementiert. Nachfolgend wird die Dokumentation aus dem Fachbericht des Projekt 5 übernommen und in einem weiteren Abschnitt Ergänzungen dazu aus der Bachelor-Thesis erläutert.

Datenspeicherung - Projekt 5

Die Datenspeicherung beinhaltet die gespeicherten Messwerte der Sensoren. Die Daten werden dann in einem *.txt-File nicht flüchtig gespeichert. Bei Beschädigung der Hardware können dann die zuletzt erfassten Daten immer noch mittels eines SD-Karten-Adapters von einem Computer ausgelesen werden. Als Kommunikationsprotokoll für das Schreiben und Auslesen der Karte wird SPI verwendet.

μ SD-Karte



Abbildung 6.0.23.: 16 GB μ SD-Karte
[10]

Bei der μ SD-Karte muss auf die Kompatibilität mit dem Breakoutboard geachtet werden. Dafür sind folgende Kriterien zu beachten:

- Die μ SD-Karte muss FAT16 oder FAT 32 formatiert sein.
- Es sind nur die SD und SD High Capacity (SDHC) kompatibel.

Für die Umsetzung dieses Projektes wurde eine μ SD-Karte der SD-Familie SDHC I verwendet (siehe Abb. 6.0.23). SDHC sind Kapazitäten bis zu 32GB möglich und FAT32 formatiert. [11] Die Grösse eines Strings lässt sich nach der Gleichung 6.0.3 berechnen, wenn angenommen wird, dass jeder Buchstaben (char) 8 Bit hat und zum Schluss noch ein Terminator für das Stringende angehängt wird:

$$\text{Anzahl Zeichen} * 1 \text{ Byte} + 1 = \text{String Grösse in Byte} \quad (6.0.3)$$

Bei einer Speicherung der Daten nach der Struktur in Abb. ?? würden somit leicht aufgerundet ca. 216 Byte pro Speichersatz benötigt werden.

Da momentan eine 16GB grosse μ SD-Karte verwendet wird, ergeben sich daraus

$$\frac{16E9}{216} = 74.1E6 \approx \underline{\underline{74E6}} \quad (6.0.4)$$

Speichersätze. Würden in einem zehn Minuten Zeitintervall ein Speichersatz abgespeichert werden, dann könnten 1411 Jahre 40 Wochen 4 Tage 21 Stunden 20 Minuten lang Werte von der Wetterstation abgespeichert werden. Diese Anzahl könnte noch verdoppelt werden, da wie oben bereits erwähnt μ SD-Karten bis zu 32GB kompatibel sind.

Kontrolle
ref
fig:datenausg

Ergänzungen aus der Bachelor-Thesis

Im Gegensatz zum Prototyping wird für die endgültige Wetterstation kein Breakout Board mehr verwendet. Die μ SD-Karte wird in ein μ SD-Karten-Adapter (Speicherkartenverbinder) gesteckt, welcher über ein Buffer (74HC4050) mit der MCU verbunden ist (siehe Abbildung 6.0.2). Der 74HC4050 kann als Levelshifter verwendet werden und als Treiber für kapazitive Ladungen. In unserem Fall werden MCU und Speicherkartenverbinder mit 3.3V betrieben, weshalb kein Levelshifter notwendig ist. Der 74HC4050 wird demnach bei der Wetterstation als Treiber für kapazitive Ladungen verwendet.

Die Daten werden mit der Sensorik ermittelt, über die MCU verarbeitet und in der μ SD-Karte gespeichert. Nun sollen die Daten jedoch per SMS (GSM) abrufbar sein und die Wetterstation ebenfalls über ein GPS-Modul verfügen. Aus diesem Grund wird im nächsten Kapitel auf die Kommunikationsmodule (GSM, GPS) eingegangen.

6.0.7 Kommunikationsmodule

Gemäss Auftraggeber sollen Daten der Wetterstation per SMS abrufbar und der Standort der Wetterstation ermittelbar sein. Um SMS empfangen und auch senden zu können, wird ein GSM-Modul benötigt. Weiter wird ein GPS-Modul benötigt, um eine Standortermittlung durchführen zu können. Der SIM808 ist ein Kombinationsmodul aus GSM und GPS, was nicht nur Platz auf dem PCB, sondern auch Energietechnisch und Preislich Vorteile bietet, da nur ein Modul betrieben werden muss. Aus diesen Gründen wurde der SIM808 implementiert.

SIM808

Der SIM808 (Abbildung 6.0.24) verfügt über GSM/GPRS (Global System for Mobile Communications / General Packet Radio Service), GPS (Global Positioning System) und BT (Bluetooth). Für die Wetterstation wird das GSM und das GPS verwendet. Tabelle 6.0.9 zeigt die elektrischen Spezifikationen des SIM808. [12]



Abbildung 6.0.24.: SIM808 von Vorne [12]

Tabelle 6.0.9.: Elektrische Spezifikationen des SIM808 [12]

Parameter	Min	Typ	Max	Einheit
Power Supply	3.4		4.4	V
Power saving		1		mA
Transmitting power (GSM)		2		W
SIM interface support		1.8/3		V
Power consumption (Idle GSM)	22.1			mA
Power consumption (Data GSM)	445.82			mA
Power consumption (TX Burst GSM)		2		A
Power consumption (GPS Acquisition)	42			mA
Power consumption (GPS Continuous tracking)	24			mA

Damit das GSM über den SIM808 genutzt werden kann, wird eine SIM-Karte benötigt. Dafür wurde eine Prepaid M-Budget SIM-Karte von Andres Minder erworben, welche jedoch Vertragsbedingt persönlich ist und nicht Teil der Wetterstation bleibt. Diese SIM-Karte wird lediglich zu Testzwecken genutzt und muss später durch eine SIM-Karte des Endbenutzers ersetzt werden. Die SIM-Karte wird mit einem SIM-Karten-Adapter (Speicherkartensteckverbinder) auf dem PCB integriert und mit dem SIM808 verbunden.

Wie in der Übersicht zu sehen ist (Abbildung 6.0.3), benötigt die SIM808 zwei verschiedene Antennen. Eine Antenne für das GSM, die andere für das GPS. Diese Antennen sind standarisert und können direkt online erworben werden. Die Energieversorgung des SIM808 benötigt eine Schaltung aus Kondensatoren und einer Diode, welche die Spannung des Akkus von möglichen Störungen befreit und den SIM808 vor Überspannung schützt. Der verwendete 74VHC125 wird als Pegelwandler verwendet, da die SIM808 mit einer höheren Spannung betrieben wird als die MCU. Außerdem schützen Dioden den RST- und RX-Pin des SIM808 vor ungewollten Spannungsspitzen und deren Folgen (z.B. das Auslösen eines Reset). Die SIM-Karte wird in einem entsprechenden Adapter über ein Schutzdioden-Array mit dem SIM808 verbunden. Das Schutzdioden-Array schützt ebenfalls die SIM-Karte vor Überspannungen, indem diese über die Ground-Plane abgeleitet werden. Zwei Status-LED zeigen den Betrieb der SIM808 und dessen Konnektivität.

Die verschiedenen Systeme wurden erläutert, wobei die Energieversorgung bereits öfter angesprochen und nie thematisiert wurde. Im nächsten Kapitel soll dies nachgeholt und die Energieversorgung detailliert erläutert werden.

6.0.8 Energieversorgung

Die verschiedenen Bauteile auf dem PCB müssen mit Energie versorgt werden. Gemäss Auftragsbeschreibung soll die Wetterstation desweiteren über Photovoltaik gespiesen werden. Da die Sonne nur tagsüber scheint und um eine konstante Versorgung gewährleisten zu können, wird ein Akku benötigt. Um die Speisung via Akku und gleichzeitig ein Speisen des Akkus über die Photovoltaikanlage zu gewährleisten, muss der Ladestrom geregelt werden, was mit einem Power-Management-IC, dem MCP73871, erfolgt. Der MCP73871 führt die Speisung des Akkus weiter auf einen Linearregler (LM1117), welcher das 3.3V-Netz generiert. Damit der LM1117 eine saubere Ausgangsspannung (3.3V mit möglichst kleinem Rippel) generieren kann, muss dieser einen erhöhten Spannungspegel am Eingang haben, weshalb eine ChargePump (Ladungspumpe) benötigt wird. Das Konzept der Energieversorgung wird in Kapitel ?? vorgestellt.

Energiekonzept

In diesem Kapitel wird das Energiekonzept erläutert. Dies soll eine Übersicht über die Energieversorgung geben.

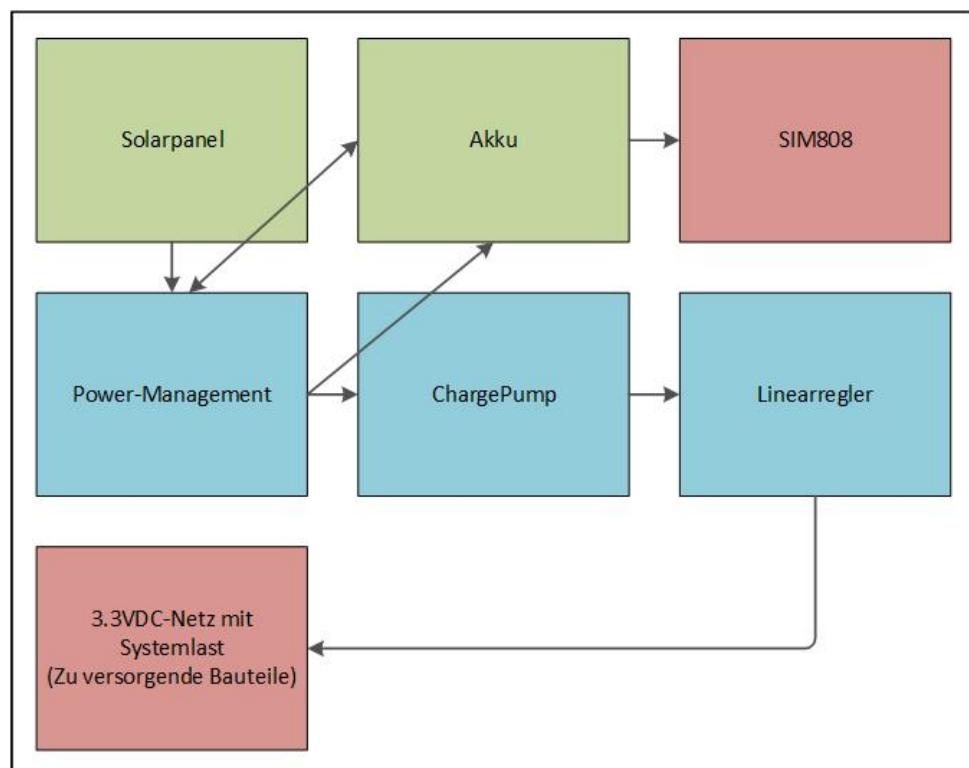


Abbildung 6.0.25.: Konzept der Energieversorgung

Abbildung 6.0.25 zeigt das Konzept der Energieversorgung. Darin sind Grün markiert die Energielieferanten, Blau die Schaltung um das 3.3V-Netz zu generieren und Rot die Verbraucher. Das Solarpanel speist über das Power-Management (MCP73871) den Akku. Der Akku ist die Quelle für die gesamte Wetterstation und speist diese ebenso über den MCP73871. Die Spannung des Akkus wird über den MCP73871 auf die ChargePump gegeben und dort erhöht, so dass der nachfolgende Linearregler (LM1117) mit dieser erhöhten Spannung einen möglichst konstanten (rippelfreien) 3.3V-Ausgang generiert. Mit diesem Ausgang des LM1117 wird das 3.3V-Netz generiert, woraus die benutzten Bauteile (die Systemlast) ihre benötigte Spannung erhalten. Einzige Ausnahme bildet hier der SIM808, da dieser eine höhere Spannung benötigt. Da der SIM808 eine erhöhte Betriebsspannung hat und Stromspitzen für das Senden und Empfangen von SMS aufweist, wird dieser direkt über den Akku betrieben. Falls die Wetterstation nicht benötigt werden sollte, können die Verbraucher über ein Schalter abgeschaltet werden. Es ist zu beachten, dass das Benutzen des Schalters die Energieversorgung sofort komplett trennt und auf dem PCB diverse Kondensatoren vorhanden sind, welche sich noch entladen. Außerdem wird der MCP73871 nicht ausgeschaltet, weshalb ein weiteres laden des Akkus über die Photovoltaik möglich ist.

Berechnung der Akkukapazität

Um die Kapazität des Akkus zu berechnen, muss eine Schätzung des Energieverbrauchs gemacht werden. In Tabelle 6.0.10 werden deshalb die verwendeten Bauteile mit ihrem Stromverbrauch aufgelistet.

Tabelle 6.0.10.: Übersicht über die verwendeten Bauteile mit ihrem Stromverbrauch.

Bauteilname	Modus	Min	Typ	Max	Einheit
MCP73871 [13]	Charge Complete	120	200	μA	
LM1117 [14]		5	10	mA	
SIM808 [12]	PWR Down	38	50	μA	
	Idle	22.1		mA	
	Data GSM	445.82		mA	
	GPS acquisition	42		mA	
	GPS continuous tracking	24		mA	
	TX Burst (peak)	2		A	
Anemometer					
Ombrometer					
Windrichtungsgeber [4]		0.028	4.8	mA	
74VHC125 [15]		20	40	μA	
ATMega2560 [1]	active	7		mA	
PN2222A	active	600		mA	
FT231XS [16]	normal	8	8	8.4	mA
	USB suspend	125		μA	
74HC4050 [17]			40	μA	
BME280 [6]	standby	0.2	0.5	μA	
	humidity measuring	340		μA	
	pressure measuring	714		μA	
	temperature measuring	350		μA	
TSL2561 [7]	active	0.24	0.6	mA	
	power down	3.2	15	μA	
DS3231 [2]	active		200	μA	
	standby		110	μA	

Tabelle 6.0.10 zeigt den Stromverbrauch der verwendeten Bauteile gemäss ihren Datenblättern. Das Anemometer und das Ombrometer besitzen keine Werte, da nur beim Schliessen eines der integrierten Reedkontakte ein Strom fließt, weshalb diese Ströme vernachlässigt werden. Die Ströme des Windrichtungsgebers wurden berechnet anhand der 3.3V Versorgungsspannung und den Widerstandswerten gemäss Datenblatt. Vom MCP73871 wurde lediglich der Strom bei geladenem Akku genommen, da das Laden des Akkus mit dem Ladestrom der Photovoltaik erfolgt und somit nicht direkt ein Verbrauch ist. Der SIM808 besitzt mit seinen 2A Spitzenstrom bei einem TX Burst (senden einer SMS) den höchsten Konsum, jedoch ist dieser Burst lediglich $577\mu\text{s}$ lang und wird somit auch nicht berücksichtigt, zumal nicht gesagt werden kann wie oft dieser Burst tatsächlich vorkommt. Der SIM808 wird im Normalbetrieb das GPS im continuous tracking und das GSM im Idle Modus haben, weshalb hier insgesamt ein Strom von Typ 46,1 mA verbraucht wird. Der ATMega2560 wird im Normalbetrieb stets im active Modus sein, weshalb nur dieser Wert aus dem Datenblatt ausgelesen wurde. Die serielle Schnittstelle wird im Normalbetrieb nicht benutzt (kein Notebook angehängt), weshalb beim FT231XS der USB suspend Modus zur Berechnung benutzt und der PN2222A vernachlässigt wird. Der BME280 sollte stets Messungen durchführen, weshalb hier mit dem höchsten Wert (pressure measuring Modus) gerechnet wird. Ähnlich verhält es sich beim TSL2561 und beim DS3231, hier werden die active Modi in die Rechnung mit einbezogen.

Um den SIM808 mit einer optimalen Spannung versorgen zu können, wird ein Akku mit einer Spannung von 4V benötigt. Der Gesamtstrombedarf im Normalbetrieb beläuft sich gemäss Tabelle 6.0.10 und verwendeten Maximalwerten auf rund 70mA. Multipliziert man die Spannung mit dem Gesamtstrombedarf, so ergibt dies eine Leistung von 0.28 Watt. Um daraus die benötigte Akkukapazität zu ermitteln, muss festgelegt werden, wie lange dieser die Wetterstation mindestens speisen können soll. Gemäss Pflichtenheft soll der Akku die Wetterstation für mindestens 100 Stunden aufrecht erhalten können. Die berechnete Leistung wird mit den Anzahl Stunden multipliziert, was 28 Wh ergibt. Bei einer Akkuspannung von 4V ergibt das (durch dividieren der 28 Wh mit den 4V) eine Mindest-Akkukapazität von 7Ah oder auch 7000mAh.

Einfluss der Photovoltaik

Die Photovoltaik (das Solarpanel) erzeugt Strom durch Sonnenenergie. Der erzeugte Strom wird dazu verwendet den Akku zu laden, während dieser die Wetterstation speist. Im vorhergehenden Kapitel wurde die benötigte Leistung der Wetterstation von 0.28 Watt berechnet und die daraus Resultierende Mindest-Akkukapazität von 7000mAh. Gemäss Pflichtenheft soll das Solarpanel den Akku innert einem Tag laden können.



Abbildung 6.0.26.: 6V 6W Solarpanel von Adafruit [18]

Da das Solarpanel nur bei Sonneneinstrahlung Strom erzeugen kann und die Sonnenstunden von Land zu Land abweichen, werden bei dieser Rechnung 6 Sonnenstunden pro Tag angenommen. Um 7000mAh innert 6h laden zu können, müssen konstant 1166.66mA bzw. rund 1.2A Strom erzeugt werden. Hier beschränkt jedoch der MCP73871, da dieser bei dementsprechender Be- schaltung ein Fast Charge Current von Typ 1A und Max 1.1A zulässt. Rechnet man zurück so wird das Solarpanel typischerweise 7h benötigen um bei einem erzeugten Ladestrom von 1A den Akku voll zu laden. Während den Sommermonaten sollte dies in den meisten Gegenden kein Problem darstellen, doch könnte dies über die Wintermonate nicht reichen. Um dies zu verifizieren rechnen wir den Verbrauch der Schaltung pro Tag aus und schauen, wie viele Sonnenstunden das Solarpanel bräuchte um bei 1A Ladestrom den Verbrauch auszugleichen. Bei 0.28W Verbrauch und 24h pro Tag ergibt das 6.72Wh. Da der Akku 4V liefert folgen daraus 1.68Ah Verbrauch für den Akku. Geht man wieder von einem Ladestrom von 1A aus, so werden 1.68 Sonnenstunden benötigt bei denen das Solarpanel 1A Ladestrom erzeugt um den Verbrauch zu decken. Aus diesem Grund kann gesagt werden, dass jedes Solarpanel wegen des MCP73871 nicht ausreichen wird, um die Mindest-Akkukapazität von 7000mAh innert 6 Sonnenstunden laden zu können. Wird jedoch ein Solarpanel verwendet das 1A Ladestrom erzeugen kann, so werden lediglich 1.68 Sonnenstunden benötigt um den Verbrauch zu decken. Für die Wetterstation wurde ein 6V 6W Solarpanel von Adafruit implementiert (Abbildung 6.0.26, was somit 1A Ladestrom erzeugen kann und ausreicht um den Verbrauch der Wetterstation innert 1.68 Sonnenstunden zu decken [18].

ChargePump und Linearregler

Die Wetterstation besteht aus einigen Bauteilen, welche eine 3.3V-Versorgungsspannung benötigen. Da der Akku eine höhere Spannung liefert, muss ein Linearregler die Spannung auf 3.3V regeln. Dafür wird der LM1117 verwendet, welcher eine Eingangsspannung von bis zu Max 15V aushält. Damit der LM1117 die Eingangsspannung sauber (möglichst ohne Rauschen) auf die 3.3V regeln kann, sollte die Eingangsspannung mindestens 5V betragen. Um von den 4V Batteriespannung auf mindestens 5V zu gelangen, wird eine ChargePump verwendet. Eine ChargePump ist eine Schaltung, welche aus einem Schalter, 2 Kondensatoren und 2 Dioden besteht, wie in Abbildung 6.0.27 schematisch dargestellt.

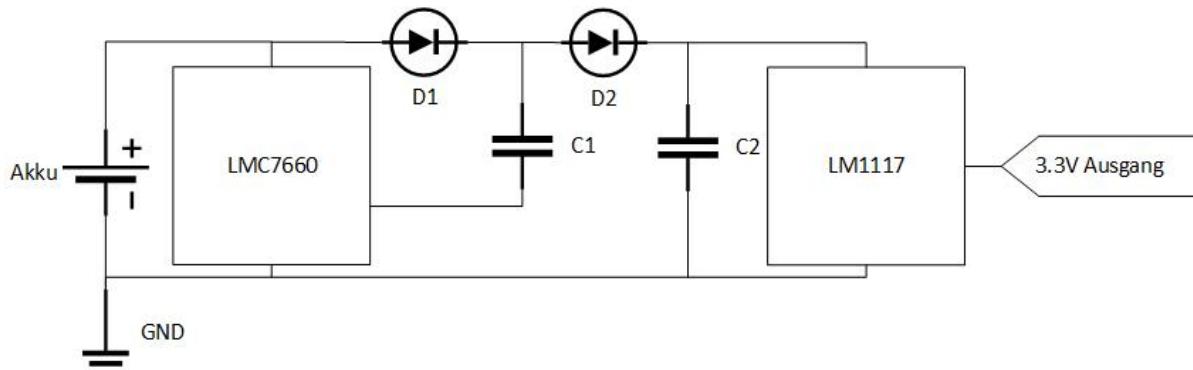


Abbildung 6.0.27.: Schematische Darstellung der ChargePump.

Abbildung 6.0.27 zeigt die Schematische Darstellung der verwendeten ChargePump. Als Schalter wird der LMC7660 verwendet, welcher zwischen 2 Stromkreisen wechselt. Das wechseln der Stromkreise bewirkt das aufladen des jeweiligen Kondensators. Im ersten Schalterzustand bilden D1, C1 und der Akku einen Stromkreis, wobei sich C1 auf die Akkuspannung lädt (abzüglich der Diodenspannung von D1). Im zweiten Zustand ist der Akku in Serie zu C1, welcher nun als Spannungsquelle fungiert, und der Kondensator wird auf die doppelte Akkuspannung (abzüglich der Diodenspannungen) geladen. In beiden Zuständen sorgen die Dioden dafür, dass sich der Kondensator kontrolliert auf die gewünschte Seite hin entlädt. Durch diese ChargePump soll im Idealfall eine Spannung von etwa 6.6V (Doppelte Akkuspannung von 8V abzüglich der zwei Diodenspannungen von je ca. 0.7V) generiert werden können. Durch diese erhöhte Spannung ist es dem LM1117 möglich die Spannung auf 3.3V zu regeln, wobei durch Toleranzen ein nur relativ kleiner Rippel entsteht. Die Spannung am Ausgang des Linearreglers ist Ausgangspunkt für die Speisespannungen der Bauteile, welche eine 3.3V-Speisespannung benötigen.

Nun wurde die Energieversorgung ebenfalls detailliert erläutert. Auf die verschiedenen Bauteilgruppen wurden nun in den verschiedenen Kapiteln jeweils näher eingegangen. Im nächsten Kapitel wird deshalb die Realisierung der Wetterstation auf einem PCB (Printed Circuit Board) thematisiert.

6.0.9 PCB

Ein PCB (Printed Circuit Board, dt. Leiterplatte) beherbergt die verwendeten Bauteile und verbindet diese elektronisch miteinander. Die verwendeten Bauteile werden auf das PCB gelötet, wobei es SMD (Surface Mount Device) und THT (Trough Hole Technology) zu unterscheiden gilt. Wie der Name schon sagt, werden THT-Bauteile durch das PCB gesteckt und SMD-Bauteile lediglich auf die Oberfläche gelegt, wobei beide vorgesehene Lötstellen haben auf diese sie gelötet werden um elektrischen Kontakt über Leiterbahnen zu erstellen.

SMD und THT unterschied per Bild aufzeigen

Das PCB und das dazugehörige Schema werden in einem EDA-Programm erstellt. Für die Wetterstation wurde das Programm EAGLE (Einfach Anzuwendender Grafischer Layout-Editor) der Firma Autodesk verwendet, wegen der im Namen schon angedeuteten einfachen Anwendung. Das Schema und das dazugehörige PCB-Layout ist im Anhang zu finden.

Anhang hinzufügen und referenzieren

In den nachfolgenden Kapiteln wird auf das Bestücken der Leiterplatte eingegangen und auf Mängel der ersten Version hingewiesen, sowie die Art und Weise wie diese Mängel behoben wurden.

Das Bestücken der Leiterplatte

Schreib mal du faule Sau!

Mängel der Erstversion

Schreib mal du faule Sau!

Verbesserungen für die Zweitversion

Schreib mal du faule Sau!

6.0.10 Das Gehäuse

Damit die Wetterstation gebraucht werden kann, muss das PCB vor den Wettereinflüssen geschützt werden. In Absprache mit dem Auftraggeber soll als Wunschziel ein provisorisches Design des Gehäuses erfolgen und dieses mit einem 3D-Drucker gedruckt werden um bei der Bachelor-Thesis Ausstellung am 16. August 2019 ein anschauliches Modell zu haben. Im folgenden Unterkapitel wird aufgezeigt, auf was beim Design des Gehäuses acht gegeben werden muss und in einem folgenden Unterkapitel wird das Design für das provisorische Gehäuse vorgestellt.

Wichtige Merkmale

Damit beim Design des Gehäuses nichts vergessen geht, werden hier die wichtigsten Punkte, auf die acht gegeben werden muss, erläutert. Die grobe Dimensionierung wird durch das PCB vorgegeben und ist in Abbildung 6.0.28 zu sehen.

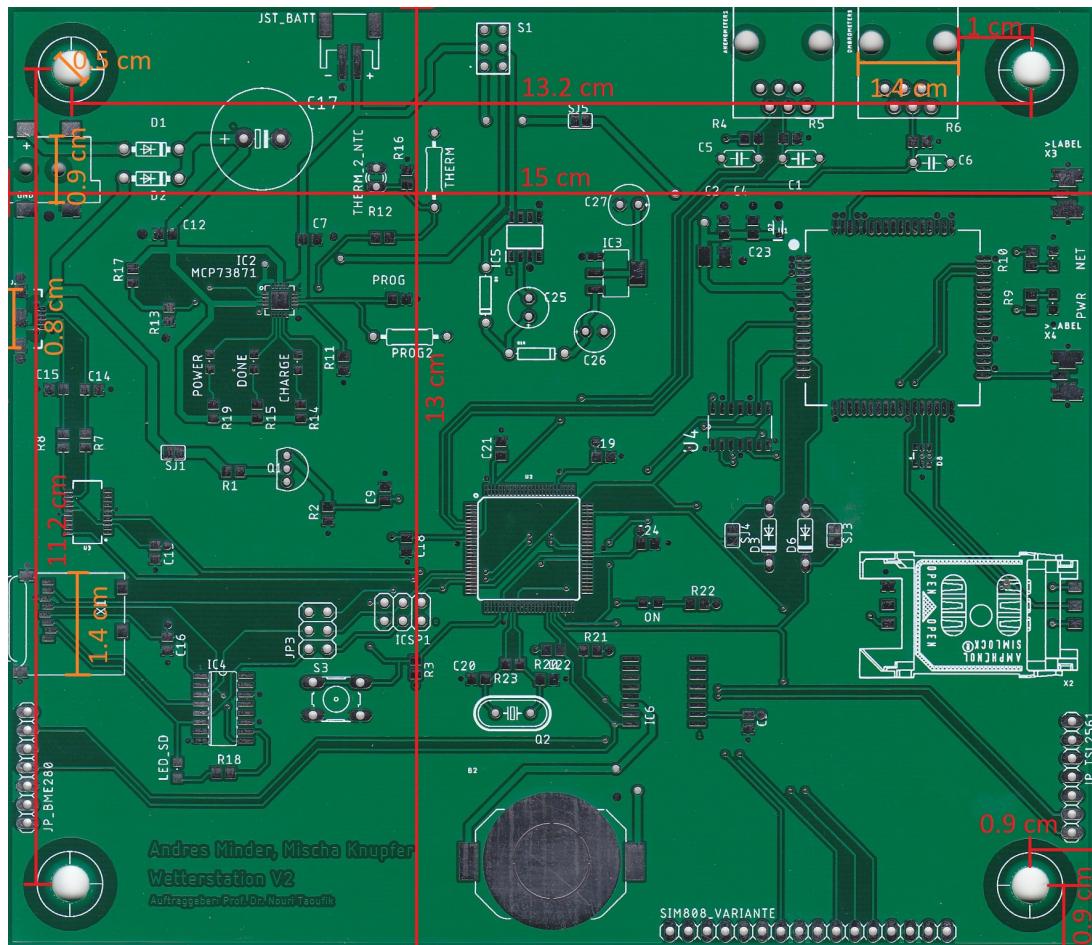


Abbildung 6.0.28.: Das noch unbestückte PCB mit den wichtigsten Dimensionen.

Abbildung 6.0.28 zeigt das noch unbestückte PCB, wie es schon in der Hardware Übersicht verwendet wurde, mit den wichtigsten Dimensionen. Das PCB hat eine Breite von 15cm, eine Länge von 13cm. Die Mittelpunkte der 5mm breiten Bohrlöcher sind 13.2cm weit entfernt in der Breite und 11.2cm in der Länge, wobei diese jeweils 9mm vom Rand entfernt sind. Die Breite der Bauteile die aus dem Gehäuse hinausragen sind 1.4cm (RJ11, μ SD), 0.9cm (DCIN Jack) und 0.8cm (μ USB). Damit alle Bauteile von der Höhe her Platz haben, muss das Gehäuse nach oben hin mindestens über 3cm Freiraum verfügen wegen dem zum MCP73871 gehörenden Elektrolyt-Kondensator (C17). Der Akkumulator soll ebenfalls im Gehäuse Platz finden, weshalb genügend Platz (min. 2cm) in der Tiefe für diesen zur Verfügung stehen muss. Da es eine Bestückungsvariante gibt für den SIM808, soll das Gehäuse an der unteren Seite um mindestens 4cm erweitert werden, da das Breakout Board des SIM808 ansonsten nicht angeschlossen werden kann. Auf der rechten Seite werden Antennen für den SIM808 angeschlossen, weshalb das Gehäuse auf dieser Seite um mindestens 1cm erweitert werden soll, damit diese nicht knicken. Ebenfalls sollen auch die Kabel des Akkumulators vom knicken geschützt werden, hier benötigt man eine Erweiterung des Gehäuses von mindestens 3mm, da die Kabel selbst eine höhere Flexibilität als die Antennen aufweisen. Auf der linken Seite befindet sich die μ USB-Buchse, sowie die Öffnung für die μ SD-Karte. Diese Öffnungen ragen ein wenig hinaus und sollten gut geschützt werden, weshalb eine Erweiterung der Dimensionierung auf der Linken Seite von 1mm empfohlen ist. Äußerst wichtig ist ebenfalls, dass der BME280 auf der linken Seite des Gehäuses nach aussen gebracht wird und in einem gut mit Aussenluft durchströmten eigenen Raum seinen Platz findet. Der TSL2561 wird ebenfalls auf der rechten Seite nach aussen geführt, damit dieser dort unter einem mit durchsichtigem Plexiglas versehenen eigenen Raum die Lichtintensität messen kann.

Die wichtigsten Punkte wurden erläutert, weshalb es nun zum Design des Gehäuses kommt, welches im nächsten Abschnitt vorgestellt wird.

Das Design

Im vorhergehenden Unterkapitel wurden die wichtigsten Merkmale und Dimensionen des Gehäuses erläutert. In diesem Unterkapitel wird nun das provisorische Design vorgestellt. Da für den Zusammenbau das PCB auf einen Teil des Gehäuses gelegt wird und mit einem zweiten Teil überdeckt, wird in diesem Abschnitt der Begriff *Boden* für den unteren Teil und *Deckel* für den oberen Teil verwendet. Das Design wurde mit dem CAD-Programm Autodesk Fusion 360 erstellt, welches den Studenten von Bildungseinrichtungen wie der FHNW frei zur Verfügung steht.

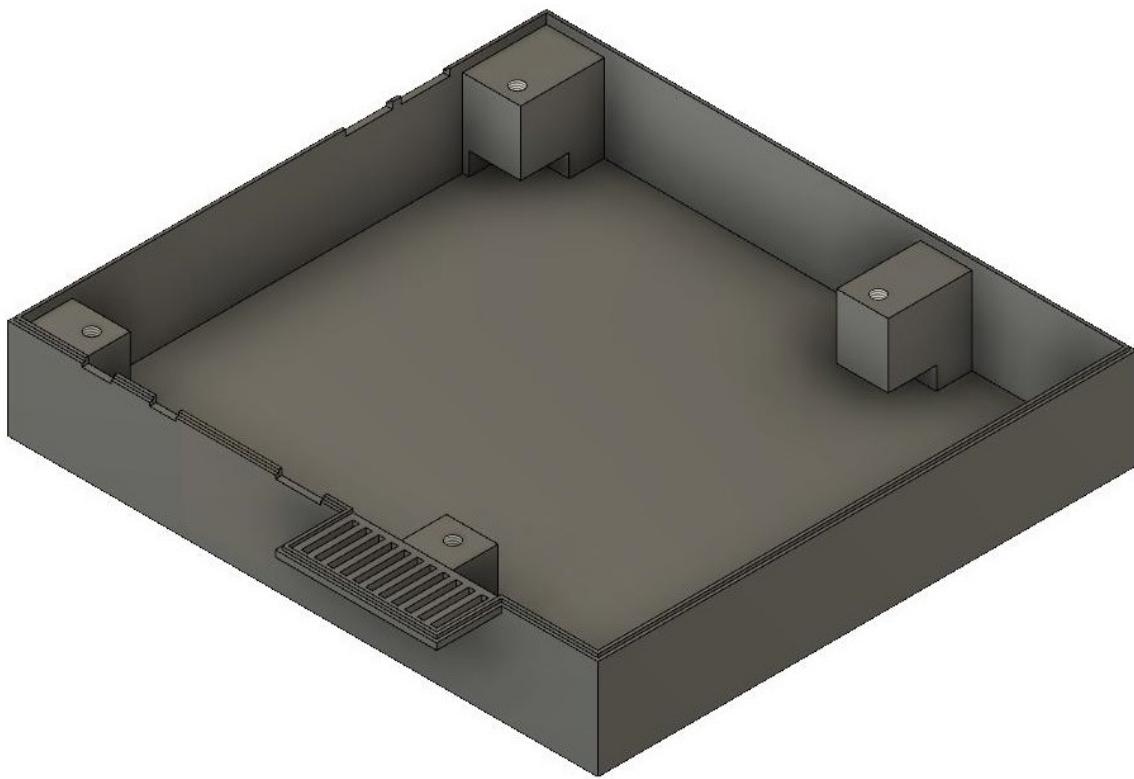


Abbildung 6.0.29.: Gesamtansicht des Designs des Bodens.

Die Gesamtansicht des Designs des Bodens ist in Abbildung 6.0.29 zu sehen. Diverse Blöcke und Aussparungen sind deutlich zu sehen, worauf mit der Hilfe von den nachfolgenden Abbildungen näher eingegangen wird.

Das PCB muss erhöht sein, damit der Akku darunter Platz findet. Außerdem soll eine Schraube das Gehäuse mit dem PCB verbinden. Aus diesen Gründen wurden im Boden Blöcke implementiert, welche ein Schraubengewinde besitzen, wie in Abbildung 6.0.30 ersichtlich ist. Am unteren Ende des Schraubenblocks befindet sich eine Aussparung. Diese Aussparung bietet Platz für eine Mutter, falls das implementierte Gewinde fehlerhaft gedruckt wird.

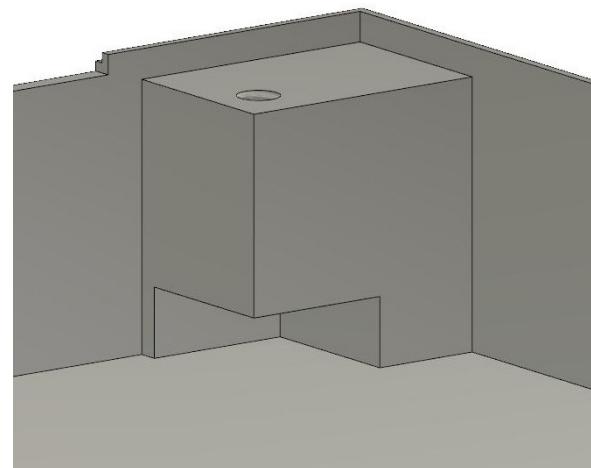


Abbildung 6.0.30.: Design des Schraubenblocks des Bodens.

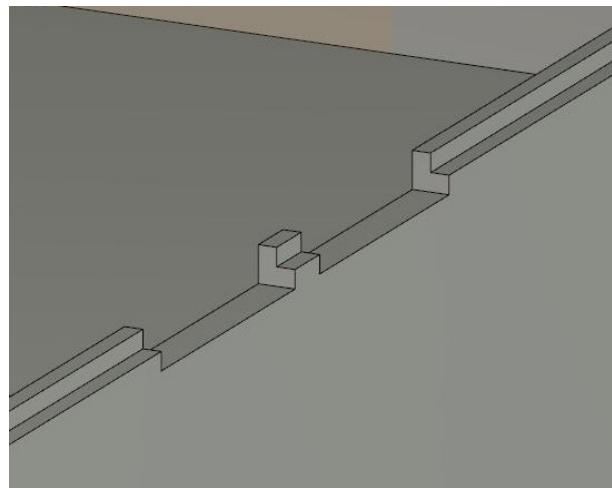


Abbildung 6.0.31.: Aussparungen für Bauteile, welche aus dem Gehäuse hinausragen.

Die in Abbildung 6.0.31 ersichtlichen Aussparungen sind notwendig um Öffnungen im Gehäuse zu generieren, welche Platz für die hinausragenden Bauteile bieten. Beim Boden sind diese Aussparungen alle gleich tief, da die Bauteile alle auf dem planen PCB angelötet sind und dieses somit als Referenz gilt.

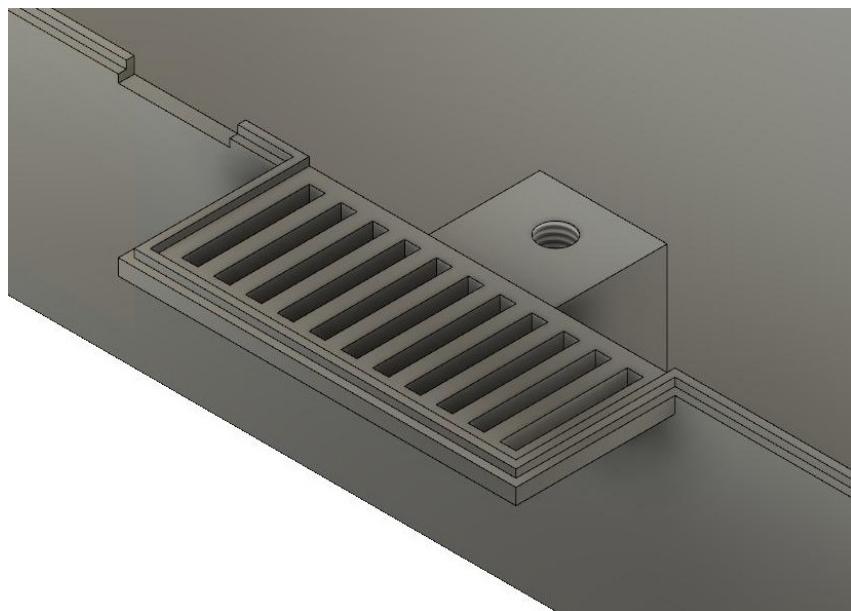


Abbildung 6.0.32.: Seitenwand für den BME280-Extraraum mit Luftschlitzten.

Der BME280 muss nach aussen geführt werden in einen kleinen Extraraum, welcher gut belüftet ist. Nur so ist der BME280 in der Lage, die exakten Messwerte liefern zu können. Aus diesem Grund wird ein kleiner Extraraum am Rand des Gehäuses gefertigt, welcher mit Luftschlitzten versehen ist. In Abbildung 6.0.32 sieht man den Boden für den im Deckel implementierten Extraraum. Der Boden ist, wie erwähnt, mit 2mm breiten Luftschlitzten versehen.

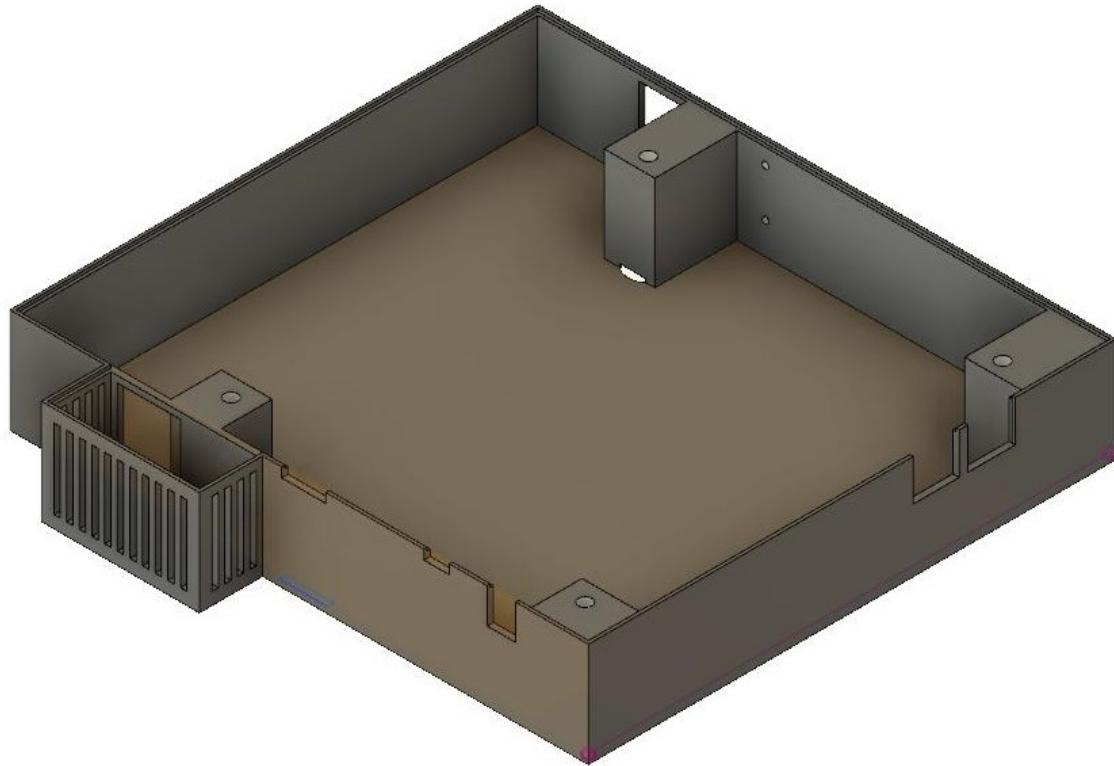


Abbildung 6.0.33.: Gesamtansicht des Designs des Deckels.

Die Gesamtansicht des Designs des Deckels ist in Abbildung 6.0.33 zu sehen. Wie schon beim Boden sind auch hier diverse Blöcke und Aussparungen zu sehen, auf welche mit der Hilfe von den nachfolgenden Abbildungen näher eingegangen wird.

Die Schraubenblöcke des Deckels sind weniger interessant, da diese durchgehende Blöcke sind mit einem entsprechenden Gewinde. Aus diesem Grund wurde in Abbildung 6.0.34 die Außenseite des Deckels abgebildet, welche die Schraubenversenkung zeigt. In dieser Schraubenversenkung wird der Kopf der verwendeten Schraube seinen Platz finden, weshalb es zu keinem herausragen einer Schraube kommt.



Abbildung 6.0.34.: Schraubenversenkung im Deckel.

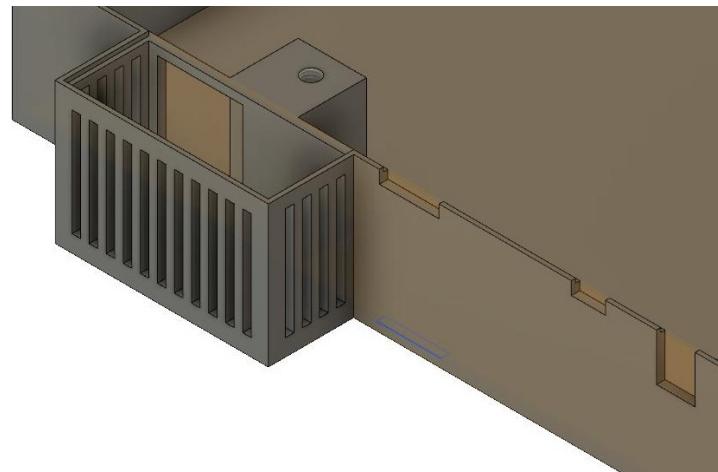


Abbildung 6.0.35.: Aussparungen für Bauteile, welche aus dem Gehäuse hinausragen und der designte Extraraum für den BME280 mit Luftschlitzten.

Abbildung 6.0.35 zeigt den bereits erwähnten Extraraum des BME280. Die Luftschlitzte sind deutlich zu erkennen und an jeder Seite des Extraraumes angebracht. Außerdem ist auf dieser Abbildung ebenso ersichtlich, dass die Aussparungen verschiedene Höhen aufweisen. Die Höhe einer Aussparung ist Bauteilabhängig, genauso wie deren Breite.



Abbildung 6.0.36.: Öffnung und Bohrungen für den TSL2561 und den BME280.

Um den BME280 und den TSL2561 hinausführen zu können, wurden im Gehäuse entsprechende Öffnungen und auch Schraubenlöcher eingelassen. Die eben genannten Öffnungen und Schraubenlöcher sind in Abbildung 6.0.36 äußerst gut ersichtlich.

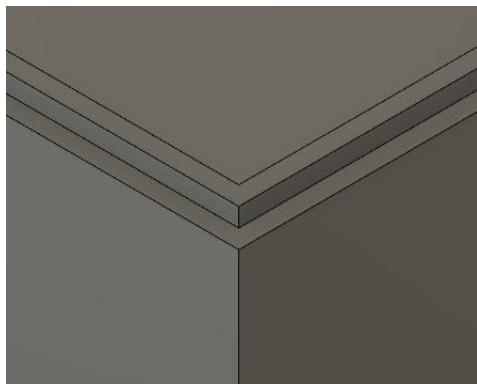


Abbildung 6.0.37.: Design des Randes vom Boden zum Deckel hin.

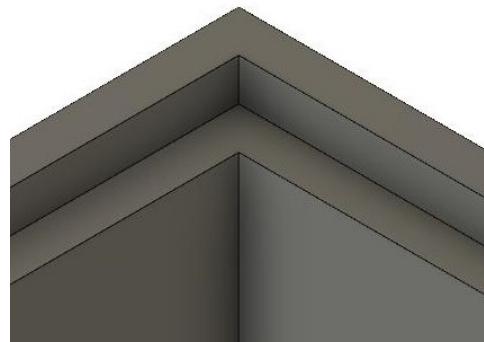


Abbildung 6.0.38.: Design des Randes vom Deckel zum Boden hin.

Damit das Befestigen des Bodens mit dem Deckel einfacher zu handhaben ist, wurde beim Boden die äussere Hälfte des Randes um 1mm gesenkt, wobei beim Deckel die innere Hälfte des Randes um 1mm gesenkt wurde. Dank diesem Feature ist es möglich den Deckel wie ein Puzzlestück am Boden anzubringen, bevor die Verschraubung von statten geht.

Das Design des Gehäuses für das PCB wurde in diesem Unterkapitel näher erläutert. Es sei jedoch erwähnt, dass dieses Gehäuse nicht geeignet ist um die Wetterstation im freien betreiben zu können. Das hier vorgestellte Design zeigt lediglich auf, auf was beim Gehäuse, in Bezug auf das PCB, geachtet werden muss. Damit das Gehäuse für den Gebrauch im freien taugt, muss es zwingend gegen Regen und Staub dicht sein, so dass die verwendete Elektronik keine Schäden erleidet. Dennoch muss der BME280 mit Aussenluft belüftet werden, was bei einem möglichst Regen- und Staubdichten Gehäuse eine zusätzliche, kontrollierte Belüftung notwendig macht. Ausserdem muss auf einen möglichen Hitzestau durch Sonneneinstrahlung getestet und gegebenfalls eine Kühlung integriert werden.

Teil IV.

Abschluss

7. Konzeptvalidierung

8. Schluss

9. Authentizitätserklärung

Wir, Mischa Knupfer und Andres Minder, versichern, dass dieses Projekt und Fachbericht selbstständig erarbeitet wurden. Alle Quellen und Hilfsmittel aus anderen Werken, die dem Wortlaut oder dem Sinne nach entnommen wurden und zu dieser Arbeit beigetragen haben, sind jeweils kenntlich referenziert.

Aufgrund dessen, dass der Fachbericht als PDF per E-Mail abgegeben wurde, wie vom Auftraggeber/Betreuer gefordert, wird keine Unterschrift gesetzt.

Ort, Datum:

Mitwirkende:

Brugg/Windisch,
6. August 2019

Teil V.

Referenzen

Literatur

- [1] Arduino, *Arduino Mega 2560 Datasheet*, Techn. Ber., keine Angabe. Adresse: <https://www.robotshop.com/media/files/pdf/arduinomega2560datasheet.pdf> (besucht am 30. Nov. 2018).
- [2] Maxim Integrated, „DS3231 Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal“, Maxim Integrated Products Inc., Datasheet, 25. Sep. 2018. Adresse: <https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-010908-124414/unrestricted/DS3231-DS3231S.pdf> (besucht am 16. Jan. 2019).
- [3] Amazon. (keine Angabe). Ersatz Sensor Windgeschwindigkeit für Froggit WH1080 WH3080 WH1090, Adresse: https://www.amazon.de/Ersatz-Sensor-Windgeschwindigkeit-Froggit-WH1080/dp/B00GGM5HEA/ref=pd_rhf_eetyp_p_img_1?_encoding=UTF8&psc=1&refRID=4R5P7RRF8H7RC3A4KAHQ (besucht am 30. Nov. 2018).
- [4] Argent Data Systems, „Weather Sensor Assembly p/n 80422“, Argent Data Systems, Bericht, keine Angabe. Adresse: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Weather/Weather%20Sensor%20Assembly..pdf> (besucht am 17. Jan. 2019).
- [5] Amazon, *MISOL 1 PCS of Spare part for weather station to test the wind direction*, keine Angabe. Adresse: https://www.amazon.de/gp/product/B00QDMBU80/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o00__o00_s00?ie=UTF8&psc=1 (besucht am 17. Jan. 2019).
- [6] Bosch Sensortec, „BME280 Combined humidity and pressure sensor“, Bosch, Datasheet, Sep. 2018. Adresse: https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BME280-DS002.pdf (besucht am 16. Jan. 2019).
- [7] TAOS, *TSL2560, TSL2561 Light-to-digital Converter*, Techn. Ber., 2009. Adresse: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/TSL2561.pdf> (besucht am 24. Juli 2019).
- [8] Adafruit, *Adafruit TSL2561 Digital Luminosity/Lux/Light Sensor Breakout*. Adresse: <https://www.adafruit.com/product/439> (besucht am 24. Juli 2019).
- [9] ——, *Adafruit BME280 I²C or SPI Temperature Humidity Pressure Sensor*. Adresse: <https://www.adafruit.com/product/2652> (besucht am 24. Juli 2019).
- [10] SanDisk. (keine Angabe). SanDisk microSDHC Speicherkarte, Adresse: <https://www.sandisk.de/home/memory-cards/microsd-cards/sandisk-microsd> (besucht am 27. Nov. 2018).
- [11] ——, (keine Angabe). SD/SDHC/SDXC Spezifikationen und Kompatibilitäten, Adresse: https://kb-de.sandisk.com/app/answers/detail/a_id/8317/~/sd%2Fsdhc%2Fsdxc-spezifikationen-und-kompatibilit%C3%A4ten (besucht am 27. Nov. 2018).
- [12] SIMCom, *SIM808 Hardware Design V1.00*, Techn. Ber., 2014. Adresse: https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/SIM808_Hardware+Design_V1.00.pdf (besucht am 24. Juli 2019).
- [13] Microchip, *Stand-Alone System Load Sharing and Li-Ion/Li-Polymer battery Charge Management Controller*, Techn. Ber., 2013. Adresse: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20002090C.pdf> (besucht am 24. Juli 2019).
- [14] Texas Instruments, *LM1117 800-mA Low-Dropout Linear Regulator*, Techn. Ber., 2016. Adresse: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1117.pdf> (besucht am 24. Juli 2019).
- [15] DIODES Incorporated, *74HC125*, Techn. Ber., 2013. Adresse: <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/74HC125.pdf> (besucht am 24. Juli 2019).

- [16] FTDI Chip, *Future Technology Devices International Ltd.* *FT231X (USB to FULL HANDSHAKE UART IC)*, Techn. Ber., 2013. Adresse: https://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT231X.pdf (besucht am 24. Juli 2019).
- [17] Nexpria, *74HC4050 Hex non-inverting HIGH-to-LOW level shifter*, Techn. Ber., 2016. Adresse: <https://www.mouser.ch/datasheet/2/916/74HC4050-1598370.pdf> (besucht am 24. Juli 2019).
- [18] Adafruit. (). Huge 6V 6W Solar panel - 6.0 Watt, Adresse: <https://www.adafruit.com/product/1525> (besucht am 26. Juli 2019).

Tabellenverzeichnis

6.0.1.	Daten [1, S.3]	14
6.0.2.	nen des DS3231 [2].	17
6.0.3.	Werte [4]	24
6.0.4.	Spezifikationen [6]	25
6.0.5.	en der Feuchtigkeitsmessung [6]	26
6.0.6.	en der Luftdruckmessung [6]	26
6.0.7.	en der Temperaturmessung [6]	26
6.0.8.	Spezifikationen des TSL2561 [7]	27
6.0.9.	Spezifikationen des SIM808 [12]	31
6.0.10.	ber die verwendeten Bauteile mit ihrem Stromverbrauch.	34

Abbildungsverzeichnis

6.0.1.	nbestückte PCB.	10
6.0.2.	ückte PCB mit den markierten Bereichen der MCU, der Datenspeicherung, der RTC und der Sensoren.	11
6.0.3.	ückte PCB mit den markierten Bereichen des μ USB-Interfaces, des SIM808 und der Bohrlöcher für die Montage im Gehäuse.	12
6.0.4.	ückte PCB mit den markierten Bereichen für die Energieversorgung. .	13
6.0.5.	Mega Board [1, S.1]	14
6.0.6.	rozessor ATMega2560, ohne Board.	15
6.0.7.	it seinen Anschlüssen [2].	16
6.0.8.	g des Kipplöffelprinzips	18
6.0.9.	lter Kipplöffel.	19
6.0.10.	S des Gerüst.	20
6.0.11.	ur detektion der Kippbewegung.	21
6.0.12.	o-ther	22
6.0.13.	A [3]	23
6.0.14.	R	23
6.0.15.	B des Ausgangs des Anemometers.	23
6.0.16.	A-Signal V_{out}	23
6.0.17.	Urtung [4]	24
6.0.18.	S-Piler mit $R = 10k\Omega$ [4]	25
6.0.19.	agsgeber von MISOL [5]	25
6.0.20.	R [7]	25
6.0.21.	C Breakout Board von Adafruit [8]	27
6.0.22.	B Breakout Board von Adafruit [9]	28
6.0.23.	Karte [10]	29
6.0.24.	S Vorne [12]	31
6.0.25.	Energieversorgung	33
6.0.26.	L panel von Adafruit [18]	35

6.0.27	Die Darstellung der ChargePump.	36
6.0.28	bestückte PCB mit den wichtigsten Dimensionen.	39
6.0.29	Gesamt des Designs des Bodens.	41
6.0.30	Schraubenblocks des Bodens.	41
6.0.31	Auflagen für Bauteile, welche aus dem Gehäuse hinausragen.	42
6.0.32	für den BME280-Extraraum mit Luftschlitzten.	42
6.0.33	Gesamt des Designs des Deckels.	43
6.0.34	Ersehung im Deckel.	43
6.0.35	Auflagen für Bauteile, welche aus dem Gehäuse hinausragen und der designte Extraraum für den BME280 mit Luftschlitzten.	44
6.0.36	Bohrungen für den TSL2561 und den BME280.	44
6.0.37	Landes vom Boden zum Deckel hin.	45
6.0.38	Landes vom Deckel zum Boden hin.	45