

Wetterstation mit Solar Energie

Bachelor Diplomarbeit 2019

Brugg/Windisch, 25. Juli 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
7. Übersicht	10
8. MCU	11
8.1. MCU - Projekt 5	11
8.2. Ergänzungen aus der Bachelor-Thesis	11
9. RTC	13
9.1. RTC - Projekt 5	13
10. Sensoren	15
10.1. Sensoren - Projekt 5	15
10.1.1. Ombrometer	15
10.1.2. Anemometer	21
10.1.3. Windrichtungsgeber	22
10.1.4. BME280	23
10.2. Ergänzungen aus der Bachelor-Thesis	25
10.2.1. Lichtintensitätssensor	25
10.2.2. BME280	26
11. Datenspeicherung	27
11.1. Datenspeicherung - Projekt 5	27
11.1.1. μ SD-Karte	27
11.2. Ergänzungen aus der Bachelor-Thesis	28

12. Kommunikationsmodule	29
12.1. SIM808	29
13. Energieversorgung	30
13.1. Energiekonzept	30
13.2. Berechnung der Akkukapazität	31
14. PCB	33
IV. Abschluss	34
15. Konzeptvalidierung	35
16. Schluss	36
17. Authentizitätserklärung	37
V. Referenzen	38
Literatur	39
Tabellenverzeichnis	41
Abbildungsverzeichnis	42

Teil I.

Einleitung

1. Einleitung

2. Auftragsbeschreibung

3. Ziele

4. Konzept

Teil II.

Firmware

5. Interfaces

6. Firmware

Teil III.

Hardware

7. Übersicht

8. 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.

8.1 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 8.1.1 aufgelistet.

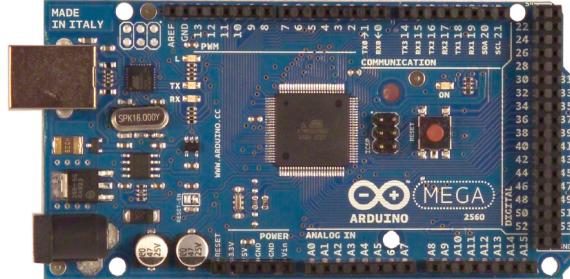


Abbildung 8.1.1.: Arduino Mega Board [1, S.1]

Tabelle 8.1.1.: 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

8.2 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.

9. RTC

Die RTC (Real Time Clock) wurde bereits während des Projekt 5 integriert und in dessen Fachbericht dokumentiert. Nachfolgender Text wurde übernommen, damit die Vollständigkeit gewahrt wird.

9.1 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 ?? 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 9.1.1.

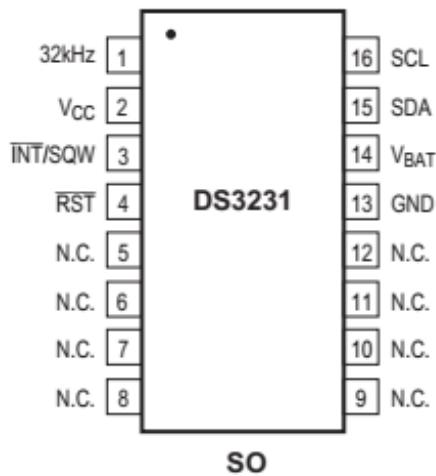


Abbildung 9.1.1.: DS3231 mit seinen Anschlüssen [2].

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 9.1.1 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 9.1.1.: Spezifikationen des **DS3231** [2].

Tabelle 9.1.1 zeigt die für das Projekt relevanten Spezifikationen des **DS3231**. Wichtig ist, dass die Alterung des Oszillators zu einem Fehler führt, dieser jedoch im ppm-Bereich liegt und somit erst über viele Jahre hinweg bemerkbar wird.

10. 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 der Sensor zur Messung der Sonnenstunden, welcher während der Bachelor-Thesis implemenert wurde, in einem separaten Abschnitt erläutert.

10.1 Sensoren - Projekt 5

10.1.1 Ombrometer

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 10.1.1 graphisch dargestellt.

Abbildung 10.1.1 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.

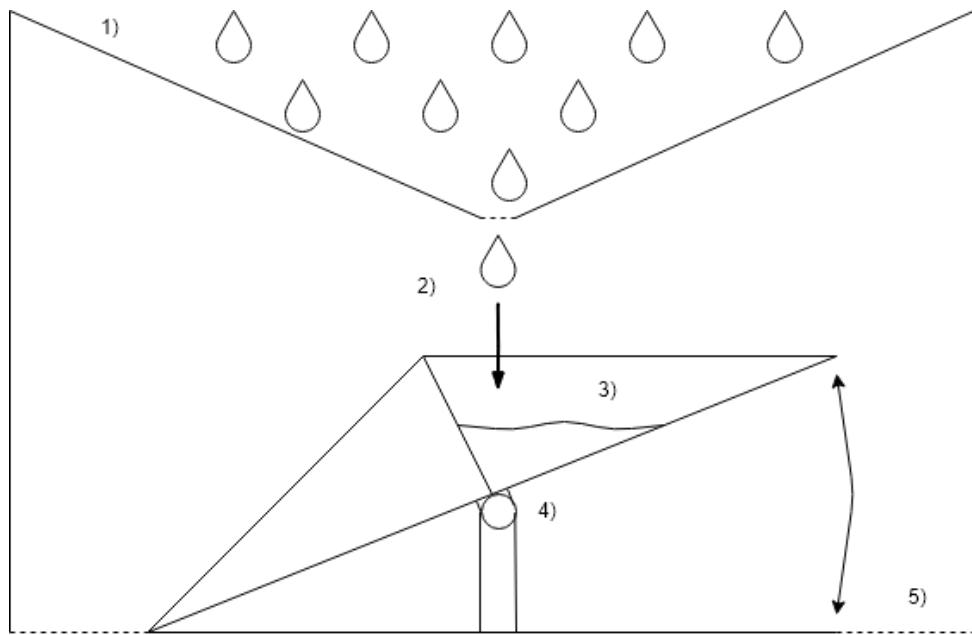


Abbildung 10.1.1.: Darstellung des Kipplöffelprinzips

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 witterbeständig, 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 10.1.2 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.

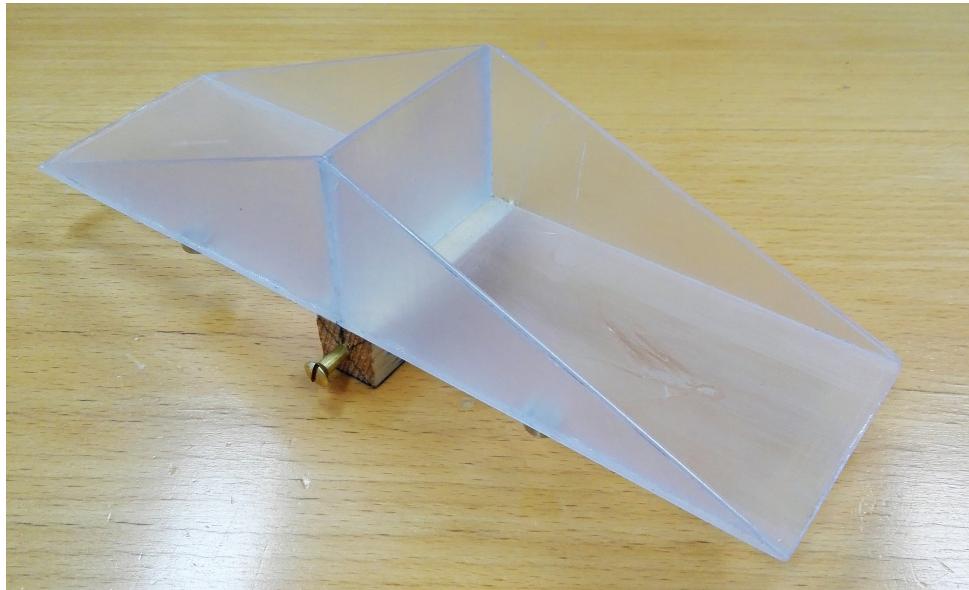


Abbildung 10.1.2.: Selbsterstellter Kipplöffel.

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 10.1.3 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 Regenwasserspritzern. Ausserdem soll ein Schaltkreis mit Reedrelais implementiert werden, damit die Kippbewegungen von der Elektronik erfasst werden können.

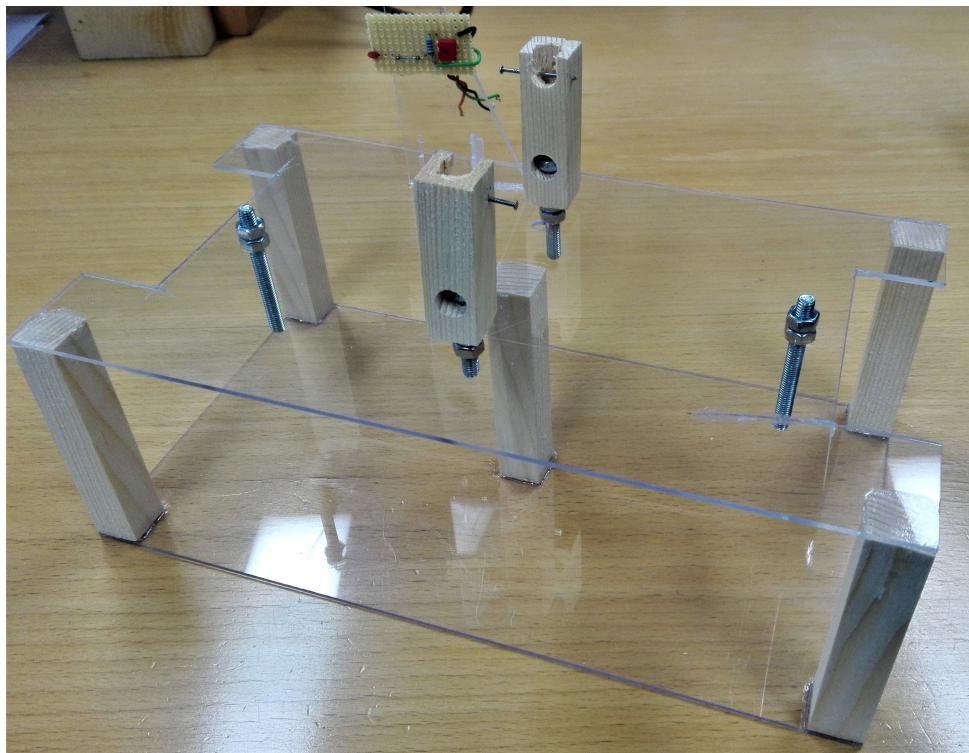


Abbildung 10.1.3.: Selbsterstelltes Gerüst.

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

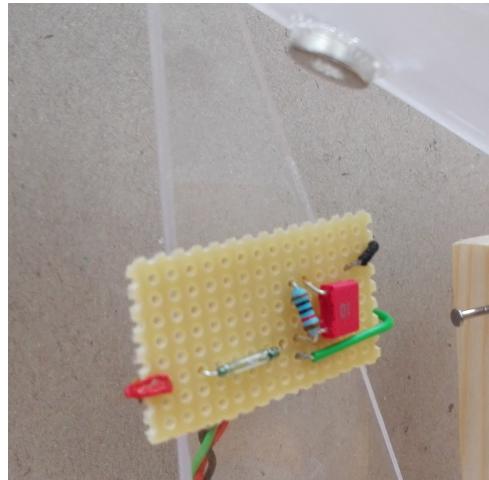


Abbildung 10.1.4.: Schaltkreis zur detektion der Kippbewegung.

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 anstärke 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 10.1.5.: 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.

10.1.2 Anemometer

Für die Windgeschwindigkeitsmessung wurde ein Ersatz Anemometer von Froggit genommen (Abb. 10.1.6). 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. 10.1.7). In der Abb. 10.1.8 ist ersichtlich, dass das Ausgangssignal über R1 abfällt und C1 als Spannungsstabilisierung dient. Das daraus resultierende Signal ist in der Abb. 10.1.9 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

$$\omega = \frac{A}{T} \quad [s^{-1}] \quad (10.1.1)$$

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

$$v_{Wind} = \frac{A * r * SF}{T} \quad [m/s]. \quad (10.1.2)$$

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



Abbildung 10.1.6.: Anemometer [3]

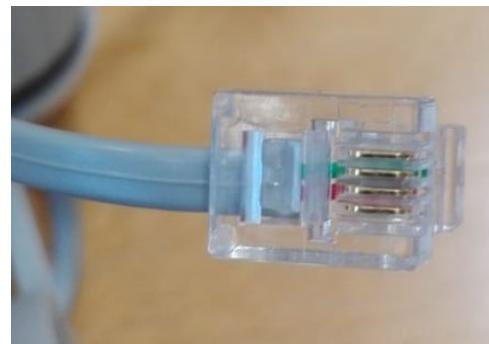


Abbildung 10.1.7.: RJ-11 Stecker

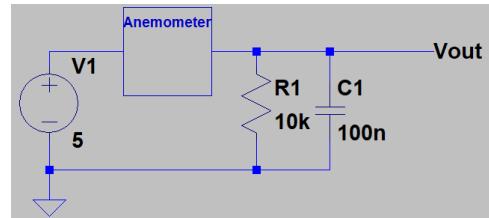


Abbildung 10.1.8.: Beschaltung des Ausgangs des Anemometers.

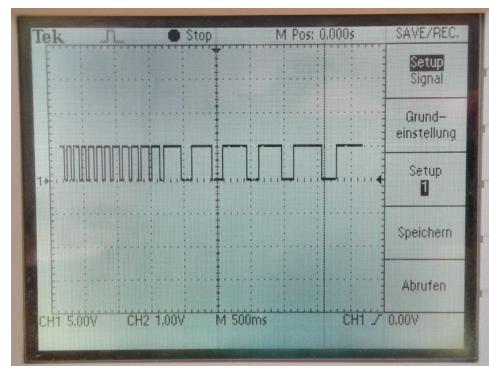


Abbildung 10.1.9.: Ausgangssignal V_{out}

10.1.3 Windrichtungsgeber

Um die Windrichtung angeben zu können, wurde ein Windrichtungsgeber, wie in Abb. 10.1.12 gezeigt von MISOL verwendet. Er ist genau wie das Ombrometer und das Anemometer mit Reedkontakte realisiert worden (siehe Abb. 10.1.10). 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. 10.1.11) 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. 10.1.10 gezeigt.

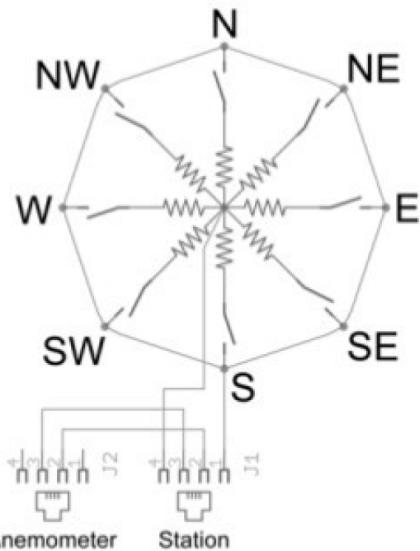


Abbildung 10.1.10.: Interne Schaltung [4]

Tabelle 10.1.1.: Technische Werte [4]

Richtung [$^\circ$]	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 10.1.1 sind die Widerstandswerte der in Abb. 10.1.10 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.

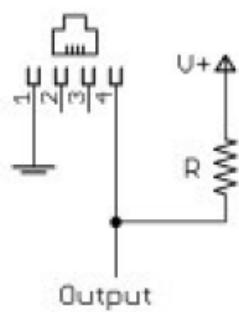


Abbildung 10.1.11.: Spannungsteiler mit $R = 10k\Omega$ [4]

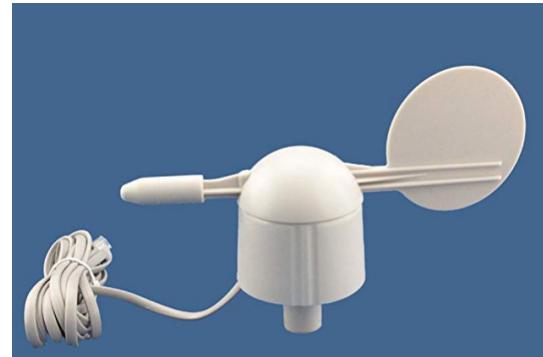


Abbildung 10.1.12.: Windrichtungsgeber von MISOL [5]

10.1.4 BME280

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 10.1.13.: BME280 [6]

Tabelle 10.1.2.: 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 10.1.3 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 10.1.3.: 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 10.1.4).

Tabelle 10.1.4.: 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 10.1.5.: 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

10.2 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 eruieren, verworfen, da auf diese Weise mit höheren Energieverlusten zu rechnen wäre durch das Abzweigen des Ladestroms und die damit verbundene zusätzliche Speisung der 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.

10.2.1 Lichtintensitätssensor

Die Lichtintensität wird über den TSL2561, ein digitaler low power Sensor, eruier. 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 Schwellenwert ist vom Ort abhängig an dem die Wetterstation sich befindet und muss eruier 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 10.2.1) verwendet und über Pinheader mit dem PCB verbunden. Die wichtigsten elektrischen Spezifikationen sind in der Tabelle 10.2.1 zusammengefasst. [7]

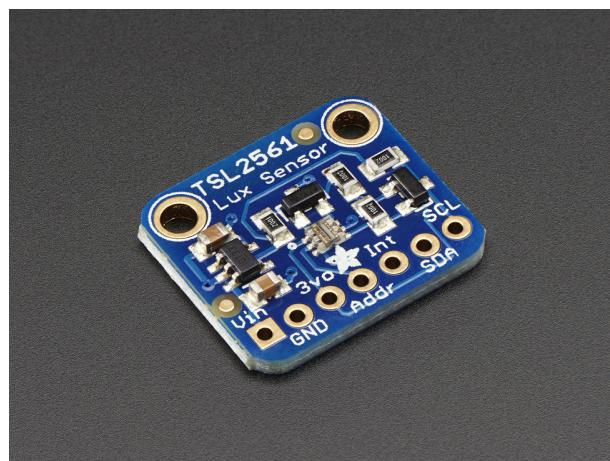


Abbildung 10.2.1.: TSL2561 Breakout Board von Adafruit [8]

Tabelle 10.2.1.: 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

10.2.2 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 10.2.2) und über Pinheader mit dem PCB verbunden.

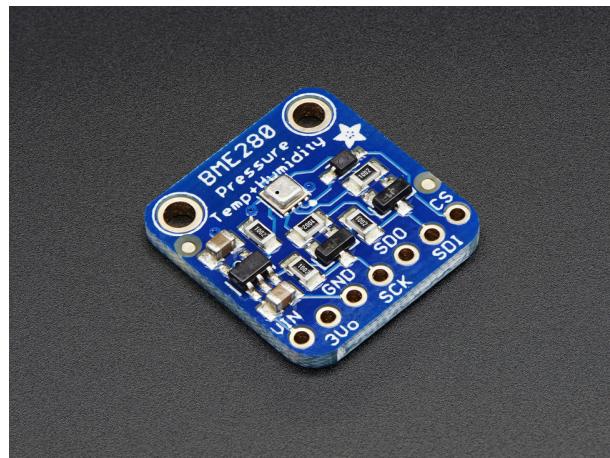


Abbildung 10.2.2.: BME280 Breakout Board von Adafruit [9]

11. 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.

11.1 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.

11.1.1 μ SD-Karte



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.

Abbildung 11.1.1.: 16 GB μ SD-Karte
[10]

Für die Umsetzung dieses Projektes wurde eine μ SD-Karte der SD-Familie SDHC I verwendet (siehe Abb. 11.1.1). SDHC sind Kapazitäten bis zu 32GB möglich und FAT32 formatiert. [11]

Die Grösse eines Strings lässt sich nach der Gleichung 11.1.1 berechnen, wenn angenommen wird, dass jeder Buchstaben (char) 8 Bit hat und zum Schluss noch ein Terminator für das Stringende angehängt wird:

$$\text{Anzahl Zeichen} * 1 \text{ Byte} + 1 = \text{String Grösse in Byte} \quad (11.1.1)$$

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

$$\frac{16E9}{216} = 74.1E6 \approx \underline{\underline{74E6}} \quad (11.1.2)$$

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.

11.2 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. Der 74HC4050 kann als Levelshifter verwendet werden und als Treiber für kapazitive Ladungen. In unserem Fall werden MCU und Speicherkartenverbinder mit 3,3 V betrieben, weshalb kein Levelshifter notwendig ist. Der 74HC4050 wird demnach bei der Wetterstation als Treiber für kapazitive Ladungen verwendet.

12. 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.

12.1 SIM808

Der SIM808 (Abbildung 12.1.1) 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 12.1.1 zeigt die elektrischen Spezifikationen des SIM808. [12]



Abbildung 12.1.1.: SIM808 von Vorne [12]

Tabelle 12.1.1.: 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.

13. 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 zu gewährleisten 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.

13.1 Energiekonzept

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

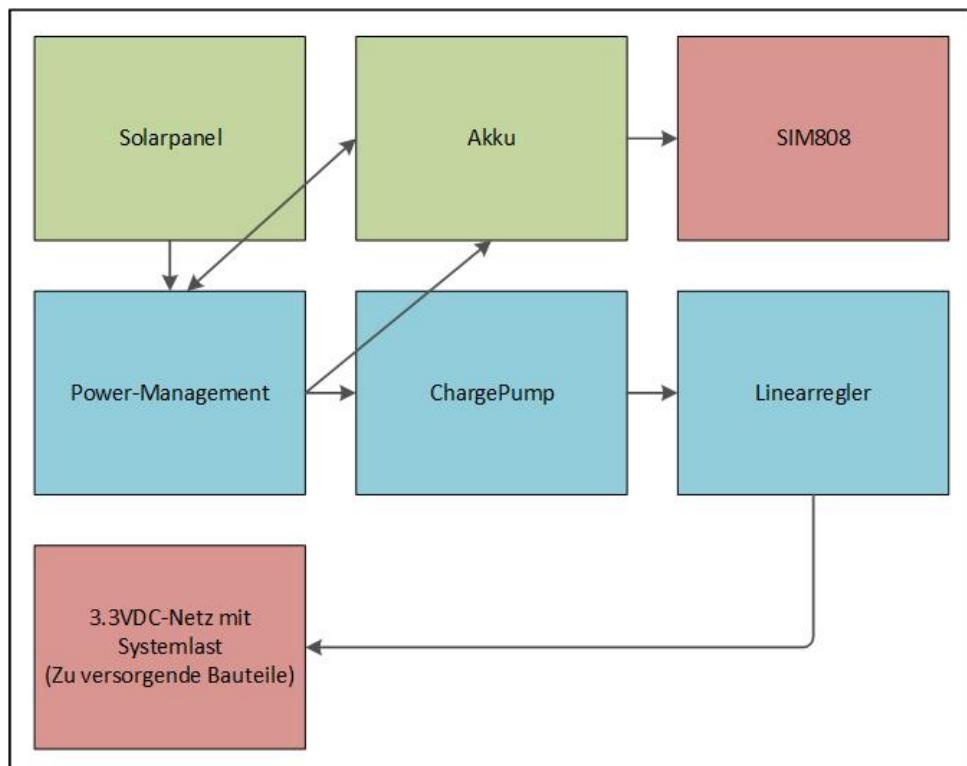


Abbildung 13.1.1.: Konzept der Energieversorgung

Abbildung 13.1.1 zeigt das Konzept der Energieversorgung. Darin sind Grün markiert die Energie lieferanten, 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.

13.2 Berechnung der Akkukapazität

Um die Kapazität des Akkus zu berechnen, muss eine Schätzung des Energieverbrauchs gemacht werden. In Tabelle 13.2.1 werden deshalb die verwendeten Bauteile mit ihrem Stromverbrauch aufgelistet.

Tabelle 13.2.1.: 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 13.2.1 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 13.2.1 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.

14. PCB

Teil IV.

Abschluss

15. Konzeptvalidierung

16. Schluss

17. 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,
25. Juli 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).

Tabellenverzeichnis

8.1.1. [] Daten [1, S.3]	11
9.1.1. [] ngen des DS3231 [2].	14
10.1. II [] Verte [4]	22
10.1.2E [] Spezifikationen [6]	23
10.1.3S [] n der Feuchtigkeitsmessung [6]	24
10.1.4S [] n der Luftdruckmessung [6]	24
10.1.5S [] n der Temperaturmessung [6]	24
10.2. E [] Spezifikationen des TSL2561 [7]	25
12.1. E [] Spezifikationen des SIM808 [12]	29
13.2. II [] er die verwendeten Bauteile mit ihrem Stromverbrauch.	31

Abbildungsverzeichnis

8.1.1.	mega Board [1, S.1]	11
9.1.1.	it seinen Anschlüssen [2].	13
10.1.1.	llung des Kipplöffelprinzips	16
10.1.2.	er Kipplöffel	17
10.1.3.	des Gerüst	18
10.1.4.	ur detektion der Kippbewegung	19
10.1.5.	o-ther	19
10.1.6.	A [3]	21
10.1.7.	R	21
10.1.8.	llung des Ausgangs des Anemometers	21
10.1.9.	Ausgangssignal V_{out}	21
10.1.10.	llung [4]	22
10.1.11.	Sp	23
10.1.12.	W	23
10.1.13.	[]	23
10.2.1.	Breakout Board von Adafruit [8]	25
10.2.2.	Breakout Board von Adafruit [9]	26
11.1.1.	Karte [10]	27
12.1.1.	S Vorne [12]	29
13.1.1.	Energieversorgung	30