

Biosphären Mess- und Überwachungsgeräte – Funktionsprinzipien und Bedienungsanleitung

Tjark Gaudich

November 2021

0.1 Vorwort

Das folgende Dokument soll gleichzeitig als Dokumentation und Bedienungsanleitung für die Biosphären Umweltmessgeräte ("die Geräte") dienen, die ich für den Astrobiologie Projektkurs 2021/2022 bei Herr Krobbach entwickelt habe. Damit soll eine Nutzung und Wartung dieser Geräte weit über den Zeitraum meiner Schullaufbahn hinaus ermöglicht werden. Besonderer Fokus wird deshalb auf die Kommunikation mit dem PC zum Auslesen der Messwerte gelegt, da dieser vulnerabel für Änderungen des Betriebssystems ist, doch auch alle anderen Aspekte der Geräte sollen so sehr vertieft werden, dass sie ohne großes Vorwissen verstanden und repariert werden können. Sämtliche Quelldateien sind zusammen mit dieser Dokumentation auf GitHub[1] frei zugänglich.

Inhaltsverzeichnis

0.1	Vorwort	1
1	Mechanik	4
1.1	Grundplatte	5
1.2	Deckel	6
2	Elektronik	7
2.1	Mikrocontroller	7
2.2	Stromverteilung	8
2.3	USB-UART Wandler	8
2.4	Außensensoren	9
2.5	Anschlüsse Innensensoren	11
2.6	Adapterplatine	11
2.7	Bodenfeuchtigkeitssensor	11
3	Software	12
3.1	Instalation	12
3.2	Mikrocontroller	13
3.3	PC	13
3.4	Scripte	13

Abbildungsverzeichnis

1.1	Querschnitt durch das Gerät	4
1.2	Fertig montierte Stiftleisten mit Sensorplatine	5
1.3	Vollständig montiertes Gerät	6
2.1	Schaltplan Mikrocontroller	7
2.2	Pinbelegung Mikrocontroller	8
2.3	Schaltplan Außensensoren	9
2.4	Annäherung Messwerte	10

Kapitel 1

Mechanik

Mechanisch lassen sich die Geräte in vier Komponenten unterteilen: eine Grundplatte (in Abbildung 1.1 Dunkelgrau), an der alle andere Teile und das Glas der Biosphäre befestigt werden, eine Platine mit Sensoren im Inneren (nicht gezeigt) und die Hauptplatine (grün) außen sowie ein Deckel (hellgrau), der die Elektronik vor Beschädigungen schützt.

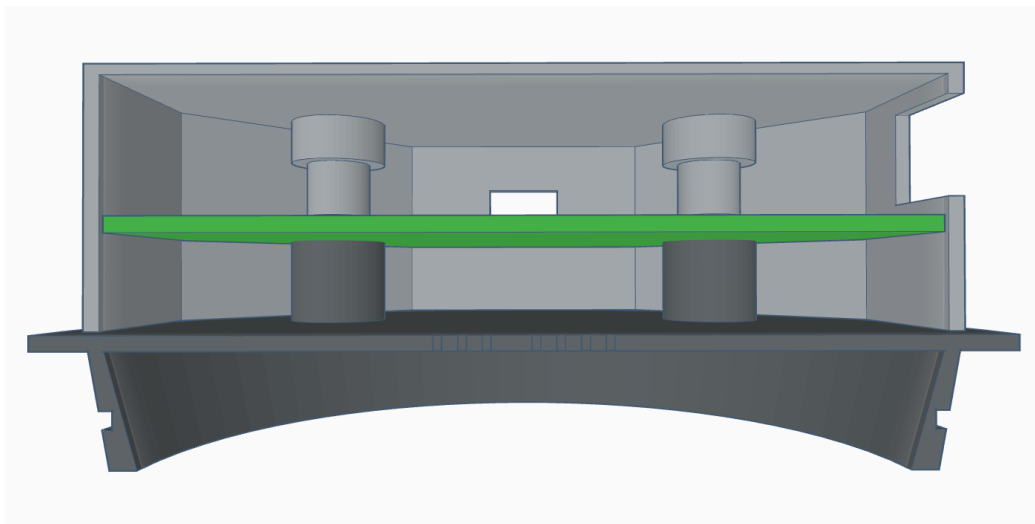


Abbildung 1.1: Querschnitt durch das Gerät

Auf die Platinen wird in Kapitel 2 näher eingegangen, hier reicht es uns zu wissen, dass die untere Platine nur über ihren Stecker befestigt wird und die obere ein Achteck von 85mm Durchmesser ist, vier Löcher mit je 50mm Abstand zueinander und 4mm Durchmesser zur Befestigung hat und 1,6mm dick ist.

Deckel und Grundplatte sind beide aus PLA 3d gedruckt. Dabei wurde eine Auflösung von 0,2mm bei 100% Infill verwendet.

1.1 Grundplatte

Entsprechend dieser Maße ist die Oberseite der Grundplatte mit vier Röhren ausgestattet, in die M4 Einschraubmuffen montiert werden. Interessant ist jedoch die Unterseite, die in das Gurkenglas eingeklebt wird. Da die Luftmenge in der Biosphäre konstant ist kommt es bei Temperaturänderungen zu einer Druckänderung nach dem Gesetz von Amontons [2, S. 119], denen die Grundplatte und ihre Verklebung standhalten müssen. p_0 und T_0 sind dabei Druck und absolute Temperatur beim Verschließen der Biosphäre.

$$\frac{p_0}{T_0} = \frac{p_1}{T_1} \iff \Delta p = T \times \frac{p_0}{T_0} - p_0 \quad (1.1)$$

Nehmen wir an, das die Biosphäre bei 20°C (293K) und Normaldruck verschlossen wurde und sich im Schlimmsten Falle auf 100°C (373K) aufgeheizt hat (darüber ist ihr Inhalt vermutlich tot, weshalb die Abdichtung irrelevant wird),

$$\Delta p = 373K \times \frac{1013hPa}{293K} - 1013hPa \approx 277hPa \quad (1.2)$$

so ergibt sich nach Gleichung 1.2 ein Druckunterschied von 277hPa. Diese Druckfestigkeit mit einer Silikon Verklebung zu erreichen ist relativ einfach, beim Übergang zwischen Grundplatte und anschließendem Ring wird sie jedoch zu Herausforderung. Um eine höhere Festigkeit zu erreichen wurde dieser Übergang nach dem Druck zusätzlich mit einem Lötkolben verschmolzen. Diese Kombination hielt beim Anschließen eines Kompressors an einen Modifizierten Deckel etwa 300hPa Überdruck stand.

Falls sich zeigen sollte, das dies nicht ausreicht wäre eine Verdickung des Übergangs oder der Druck aus einem festeren Material, z.B. Nylon, empfehlenswert.

Bei der Verklebung der Grundplatte mit dem Glas der Biosphäre sollte Aquariensilikon verwendet werden, da Sanitärsilikon für die Organismen in der Biosphäre schädliche Zusatzstoffe enthalten kann.

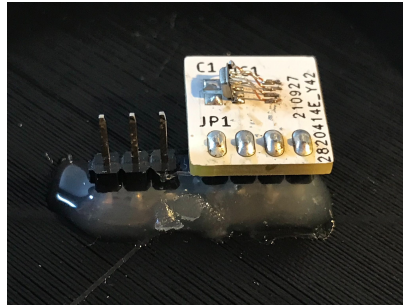


Abbildung 1.2: Fertig montierte Stiftleisten mit Sensorplatine

In der Platte befinden sich sieben Löcher, durch die Stiftleisten gesteckt werden um die Sensoren im Inneren mit der Hauptplatine zu verbinden. Dabei wird eine Stiftleiste von oben eingesteckt, mit Epoxidharz (UHU Endfest

3000) verklebt, von unten eine weitere Stiftleiste angelötet und die Lötstelle mit Heißkleber fixiert.

1.2 Deckel

Der Deckel besteht aus einem Achteck mit Abschlussplatte und eingesenkten Löchern, durch die er und die Hauptplatine mit vier M4 x 16 Schrauben an der Grundplatte befestigt werden. Beim Entfernen muss darauf geachtet werden, dass keine Kabel eingesteckt sind und der Deckel gerade nach oben abgezogen wird, um die durch ihn vorstehende Fotodiode nicht zu beschädigen.

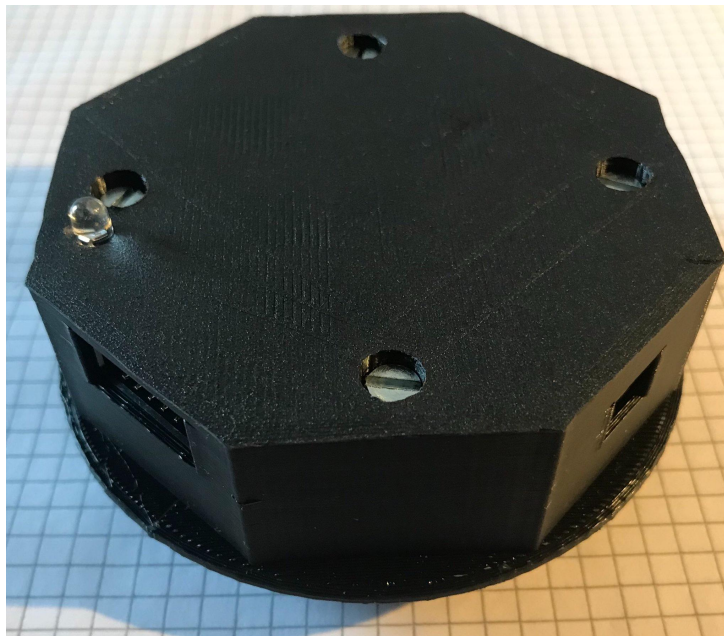


Abbildung 1.3: Vollständig montiertes Gerät

Kapitel 2

Elektronik

Die Elektronik besteht aus der Hauptplatine, die in fünf Funktionsblöcke unterteilt ist, einer Adapterplatine für den Luftsensor und einem ansteckbaren Bodenfeuchtigkeitssensor. Die Funktionsblöcke entsprechen den Seiten von „biosphereMonitor.sch“, die Adapterplatine findet sich in „Adapter.sch“. Beide Schaltpläne und ihre dazugehörigen Platinen sind mit Eagle verfasst worden.

Eagle ist als Demoversion und für Bildungszwecke kostenlos und lässt sich unter <https://www.autodesk.de/products/eagle/free-download> herunterladen.

2.1 Mikrocontroller

Als Mikrocontroller findet ein ATxmega32A4AU[3] oder 16A4AU von Microchip Verwendung (IC1).

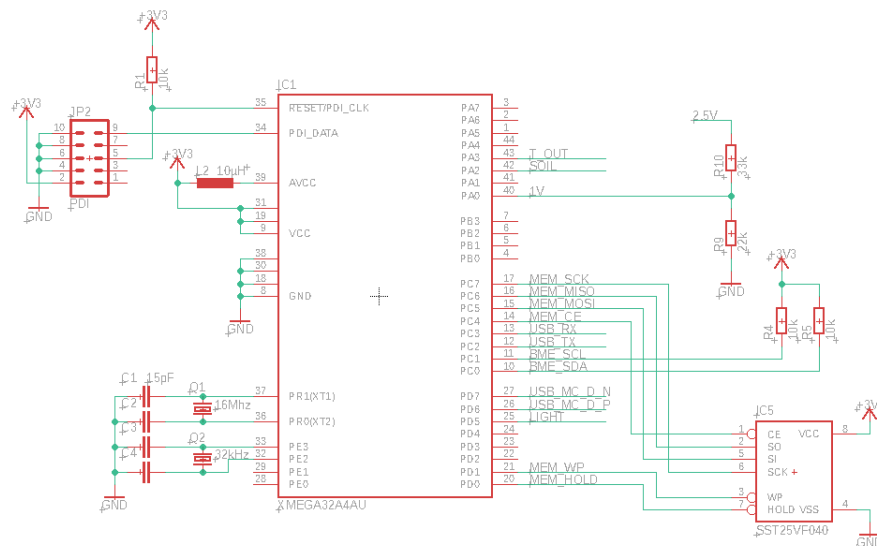


Abbildung 2.1: Schaltplan Mikrocontroller

Pins	Funktion
10, 11	TWI C, I ² C Schnittstelle für den Luftsensoren (Abschnitt 2.6)
12 (Tx), 13 (Rx)	UART0 zum USB UART Wandler (Abschnitt 2.3), in Revision 1.0 vertauscht
14 - 17	Flash Spi Schnittstelle
20, 21	Flash Kontrollsignale
25	Lichtsensord (Abschnitt 2.4), bei Steigender Flanke Pin Change Interuppt
26, 27	Reserviert für eingebautes USB
32, 33	Q2, 32.768kHz Uhrenquartz für die Realtimeclock
34, 35	PDI Programmierschnittstelle
36, 37	Q1, 4 - 20MHz Hauptquartz, (16MHz Standard)
40	1V Referenzspannung, über R9/10 aus 2,5V
42	ADC Eingang Bodenfeuchtigkeitssensor (siehe Abschnitt 2.7)
43	ADC Eingang Temperatursensor (siehe Abschnitt 2.4)

Abbildung 2.2: Pinbelegung Mikrocontroller

Dieser wird über die PDI Schnittstelle auf JP2 programmiert. Das Pinout dieses Steckers ist kompatibel mit dem des AVR ISP MK II Programmiergeräts von Atmel/Microchip. Die Frequenz von Q1 muss in *main.c* und *makefile* als F_CPU eingetragen werden

Beim Flash handelt es sich um einen 4Mb

2.2 Stromverteilung

2.3 USB-UART Wandler

2.4 Außensensoren

Außen werden zwei Messwerte erhoben: Temperatur und Helligkeit.

Die Temperatur wird mit einem analogen Temperatursensor vom Typ LM35 [6] der an TP6 eine Spannung von $10mV * t$ ($in\ ^\circ C$) anlegt. Diese wird vom Mikrocontroller (Abschnitt 2.1) gemessen.

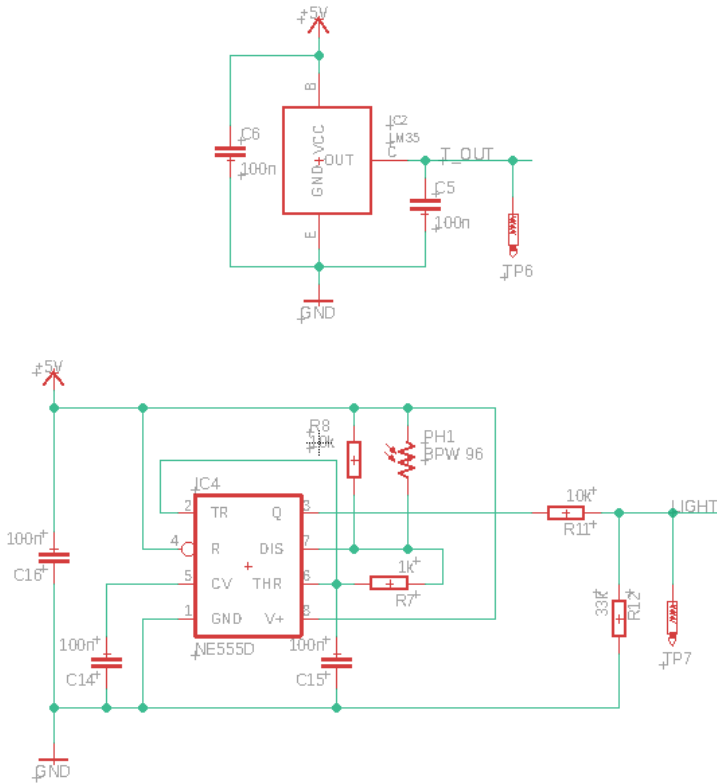


Abbildung 2.3: Schaltplan Außensensoren

Die Helligkeit wird mit einer Fotodiode vom Typ BPW96 [7] gemessen, die parallel zu R8 im Timingpfad des NE555 eingebaut ist. R11 und 12 teilen die Spannung des Ausgangssignales von 5V auf 3,3V, so dass an TP7 ein 3,3V Rechtecksignal mit einer Frequenz exponential zur Lichteinstrahlung anliegt. Um die Einstrahlung zu bestimmen ist im Mikrocontroller eine Funktion fest einprogrammiert, die anhand der Messreihe aus *Lux Messurments.ods* bestimmt wurde. Die Formel hat das Format $f(x) = a \cdot x^b + c$. Um diese Formel zu füllen werden zunächst drei Punkte, erster, letzter und mittlerer aus der Messreihe, ausgewählt.

Nr.	x	y
1	1,27	0
2	3,93	442
3	6,21	1880

Diese werden in Gleichung 2.1 bis 2.3 eingesetzt, um Gleichung 2.4 zu erhalten. Die dadurch erreichte Annäherung ist in Abbildung 2.4 oder *Lux Messurments.ods*¹ zu erkennen.

$$y_3 - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{b^{x_2} - b^{x_1}} \cdot (b^{x_3} - b^{x_1}) \iff b \approx 1,65 \quad (2.1)$$

$$a = \frac{y_2 - y_1}{b^{x_2} - b^{x_1}} = 83,75 \quad (2.2)$$

$$c = -a \cdot b^{x_1} + y_1 = -158,26 \quad (2.3)$$

$$f(x) = 83,75 \cdot 1,65^x - 158,26 \quad (2.4)$$

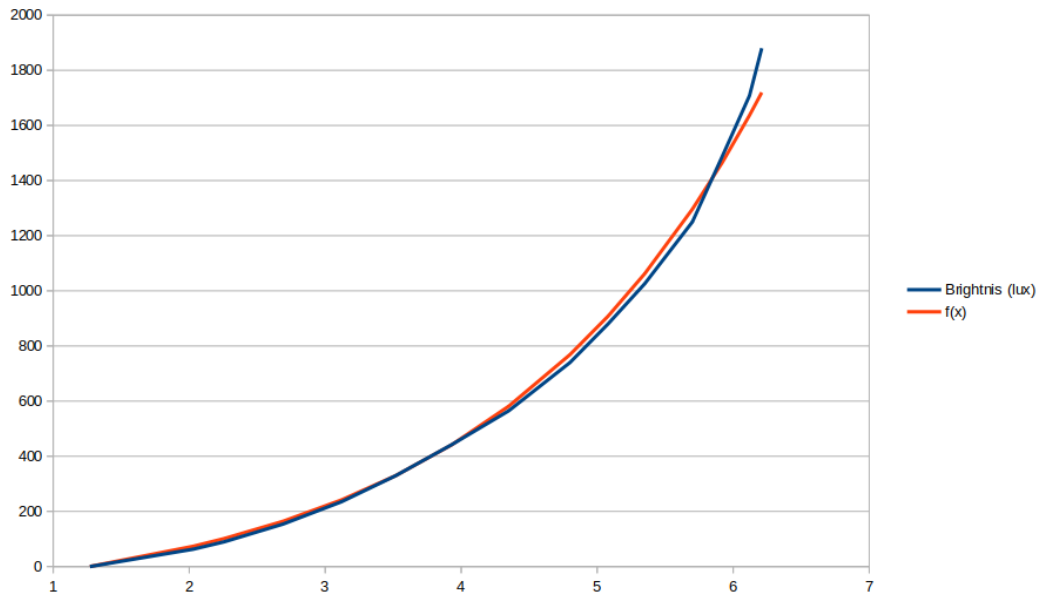


Abbildung 2.4: Annäherung Messwerte

Dieser Werte sind auch in die Entsprechende Funktion in *main.c*² eingesetzt

```
unsigned int getLight(void) //returns iluminace in lux
{
    if(lightFnom < 1200) //Sensor cutoff Frequency
        return 0;
    return (unsigned int) ((66.46 * pow(1.732, (lightFnom/1000.0)) ) - 133.5);
}
```

¹<https://github.com/TjarkG/biosphere-monitor/blob/main/Documentation/Lux%20Messurments.ods>

²<https://github.com/TjarkG/biosphere-monitor/blob/main/Microcontroller/main.c>

2.5 Anschlüsse Innensensoren

2.6 Adapterplatine

2.7 Bodenfeuchtigkeitssensor

Kapitel 3

Software

Die Software besteht aus zwei Teilen, dem Code für den Mikrocontroller und dem Ausleseprogramm für den PC. Um die eine installieren und die andere nutzen zu können müssen beide zunächst gecloned und ihre abhängigkeiten installiert werden. Die Befehle können für Debian Linux Varianten einfach kopiert werden, für andere Distributionen oder MacOS ist `sudo apt-get` durch das lokale Äquivalent zu ersetzen

3.1 Instalation

Sämtliche benötigte Software kann durch ausführen von

```
/bin/bash -c "$(curl -fsSL  
https://raw.githubusercontent.com/TjarkG/biosphere-monitor/main/Shell/install.sh)"
```

Installiert werden. Der Script wurde unter Ubuntu und Alpine Linux getestet. Falls dies nicht funktioniert kann die Installation auch manuell durchgeführt werden: Zum Clonen muss zunächst *git* installiert werden.

```
$ sudo apt-get install git
```

Dann kann das Repository gecloned

```
$ git clone https://github.com/TjarkG/biosphere-monitor
```

Und in den neuen Ort wechseln werden.

```
$ cd biosphere-monitor
```

Um die PC Software compilieren zu können ist außerdem GCC als Compiler notwendig.

```
$ sudo apt-get install gcc
```

Die aktuelle Version kann jetzt jeweils mit

```
$ cc PC/biosphere.c -o PC/biosphere; ./PC/biosphere /dev/ttyUSB0 -r
```

kompiliert und ausgeführt werden.

Um die Mikrocontroller Firmware aktualisieren zu können, werden neben der Hardware (Abschnitt 2.1) eine ganze Reihe Hilfsprogramme benötigt. Eine Erläuterungen zu ihrer Funktion findet sich unter [12]

```
$ sudo apt-get install avr-libc binutils-avr gcc-avr avrdude make
```

Das Upload der Firmware erfolgt mit

```
$ make program -C ./Microcontroller
```

3.2 Mikrocontroller

3.3 PC

3.4 Skripte

Im Ordner *Shell* befinden sich zwei Skripte: *install.sh* ist der installations-script aus Abschnitt 3.1. Dieser führt die selben Schritte aus die auch dort beschrieben sind, ermittelt allerdings von selber den verwendeten Paketmanager.

Des weiteren ist *kiosk.sh* enthalten. Dieser Script holt sich einmal pro Sekunde von *biosphere.c* die aktuellen Messwerte für das Messgerät an */dev/ttyUSB0* und zeigt sie auf dem Terminal an.

Literaturverzeichnis

- [1] Tjark Gaudich, *Biospher Monitor*,
github.com/TjarkG/biosphere-monitor
GitHub.com, 2021
- [2] Prof. Dr. Lothar Meyer et al., *Das große Tafelwerk interaktiv 2.0*,
Cornelsen Verlag, Berlin, 1. Auflage, 8. Druck 2018
- [3] Microchip Technology Inc., *ATxmega32A4U datasheet*,
www.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/ATxmega128-64-32-16A4U-DataSheet-DS40002166A.pdf
Microchip.com, 2011-2020
- [4] Microchip Technology Inc., *SST25VF040 datasheet*,
www.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005051E.pdf
Microchip.com, 2005-2020
- [5] Future Technology Devices International Limited, *FT2323R datasheet*,
www.ftdichip.com/wp-content/uploads/2020/08/DS_FT232R.pdf
ftdichip.com, 2020
- [6] Texas Instruments Incorporated, *LM35 datasheet*,
www.ti.com/lit/gpn/lm35
TI.com, 1999-2017
- [7] Vishay Semiconductors, *BPW96 datasheet*,
www.vishay.com/docs/81532/bpw96.pdf
vishay.com, 2011
- [8] Bosch Sensortec GmbH, *BMP280 datasheet*,
www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bmp280-ds001.pdf
bosch-sensortec.com, Oktober 2021
- [9] Bosch Sensortec GmbH, *BME280 datasheet*,
www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme280-ds002.pdf
bosch-sensortec.com, Oktober 2021

- [10] Bosch Sensortec GmbH, *BME680 datasheet*,
www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme680-ds001.pdf
bosch-sensortec.com, Januar 2021
- [11] Brian W.Kernighan, Dennis M.Ritchie, *The C Programming Language*,
Prentice Hall PTR, New Jersey, 2. Auflage, 58. Druck 2018
- [12] Ubuntu Wiki, *AVR*,
<https://wiki.ubuntuusers.de/AVR/>
Ubuntu Deutschland e.V., Januar 2021