

# PFLANZEN MESSUNGEN

Klasse: I4

*Verfasst von:*

Lenny Favre  
Bastian Schwery

*Ort:* HES-SO Sion

*Abgabetermin:* 2. Juni 2020

## Inhalt

1	Einleitung .....	2
2	Probenmodell.....	2
2.1	Berechnungen .....	2
2.2	Resultate .....	3
2.3	Simulation .....	4
3	Schaltung.....	7
3.1	Referenzspannung .....	7
3.2	Schaltung DC-Anteilverminderung.....	8
3.3	Abschaltung der Messschaltung .....	9
4	Stromverbrauch .....	10
5	Feuchtigkeitsskala .....	10
6	ADC Messungen .....	11
7	Bluetooth Kommunikation.....	12
8	Gehäuse .....	12
9	Abbildungsverzeichnis .....	13
10	Unterschriften .....	13
11	Anhang .....	14
11.1	Schema.....	14
11.2	Layout Top.....	15
11.3	Layout Bottom .....	15
11.4	3D PCB.....	16
11.5	Gehäuse .....	16

## 1 Einleitung

Die Aufgabe war es, festzustellen, wie trocken die Erde in einem Blumentopf ist. Hierfür wird ein Sensor in den Blumentopf gegeben, dieser nimmt je nach Trockenheit verschiedene Widerstandswerte an. Wir mussten dazu eine Messschaltung entwickeln. Mit dieser Messschaltung sollen der Strom und die Spannung durch diesen Widerstand gemessen werden. Als Referenz dienen 5 Proben, die unterschiedlich trocken sind, von nass bis sehr trocken.

## 2 Probenmodell

### 2.1 Berechnungen

Zu dieser Schaltung soll die Übertragungsfunktion bestimmt werden.

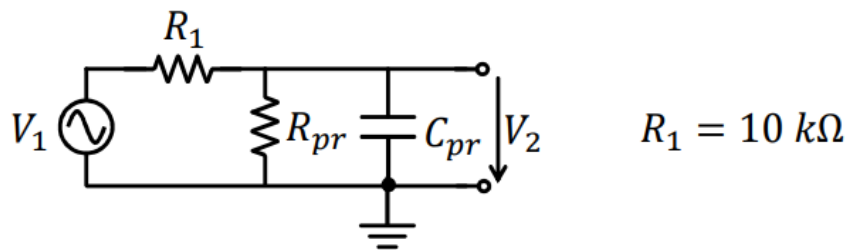


Abbildung 1: Schaltung

$$H = \frac{R_{pr}}{R_{pr} + R_1} * \frac{1}{1 + j\omega C \frac{R_1 R_{pr}}{R_{pr} + R_1}}$$

Abbildung 2: Übertragungsfunktion

Man kann diese Funktion in zwei Funktionen aufteilen. Eine für die Amplitude und eine für die Phase.

$$A = \frac{R_{pr}}{R_{pr} + R_1} * \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\omega C \frac{R_1 R_{pr}}{R_{pr} + R_1}\right)^2}}$$

$$\text{Arg}(H) = \arctan\left(-\omega C * \frac{R_{pr} * R_1}{R_{pr} + R_1}\right)$$

Abbildung 3: Aufteilung der Übertragungsfunktion

Um nun  $C_{pr}$  zu bestimmen, muss zuerst  $R_{pr}$  bestimmt werden.

$$R_{pr} = \frac{R_1}{\left(\frac{1}{A(\sqrt{1 + \tan^2(\phi)})} - 1\right)}$$

Abbildung 4: Bestimmung von  $R_{pr}$

Mit diesem Ergebnis können wir jetzt  $C_{pr}$  berechnen. Dies kann durch beide Gleichungen erfasst werden, so dass wir zwei Möglichkeiten haben  $C_{pr}$  zu erhalten.

$$C_{pr} = \sqrt{\left(\frac{R_{pr}}{(R_{pr} + R_1) * A}\right)^2 - 1} * \frac{R_{pr} + R_1}{R_{pr} * R_1 * w}$$

$$C_{pr2} = -\tan(\phi) * \frac{R_1 + R_{pr}}{R_1 * R_{pr} * w}$$

Abbildung 5: Bestimmung  $C_{pr}$

## 2.2 Resultate

Mit den gegebenen Messungen kann man  $R_{pr}$  und  $C_{pr}$  in Funktion von der Eingangsfrequenz plotten.

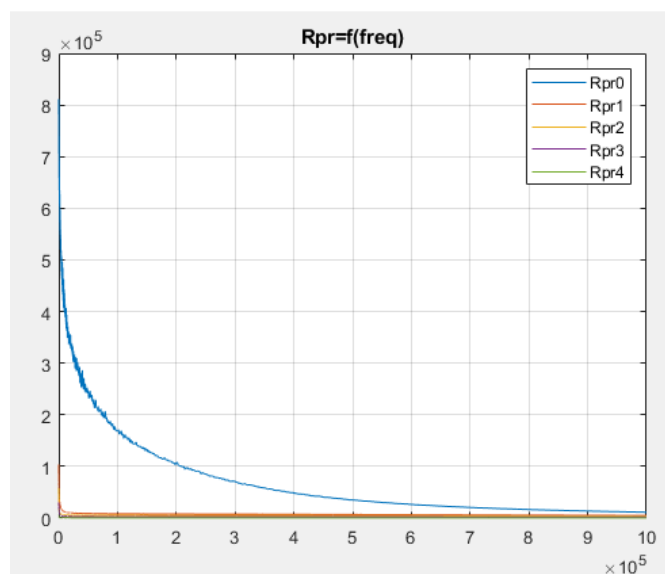


Abbildung 7: Plot  $R_{pr}$

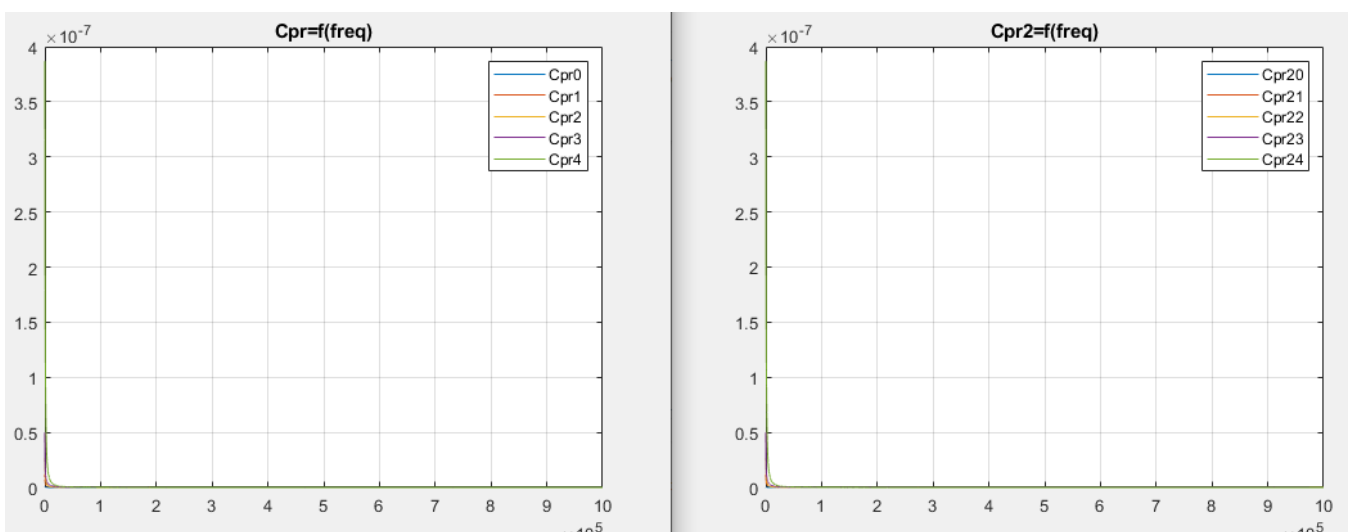


Abbildung 6: Plot  $C_{pr}$

## 2.3 Simulation

Nun kann die Sondenschaltung auf LTSpice simuliert werden. Folgend ist der Schaltplan ersichtlich.

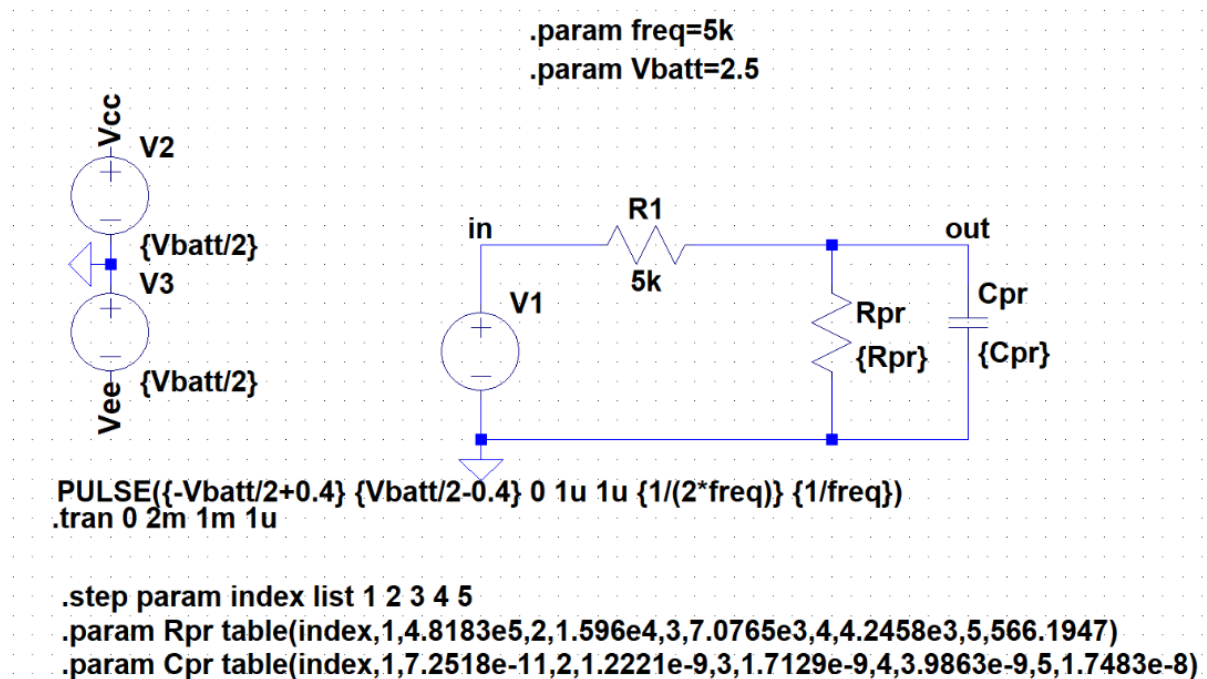


Abbildung 8: Schaltplan

Wir wählen eine Eingangsfrequenz von 5kHz und einen Wert für  $R_1$  von 5k $\Omega$ . Folgend sind die Werte von  $C_{pr}$  und  $R_{pr}$  für die gewählten Werte ersichtlich.

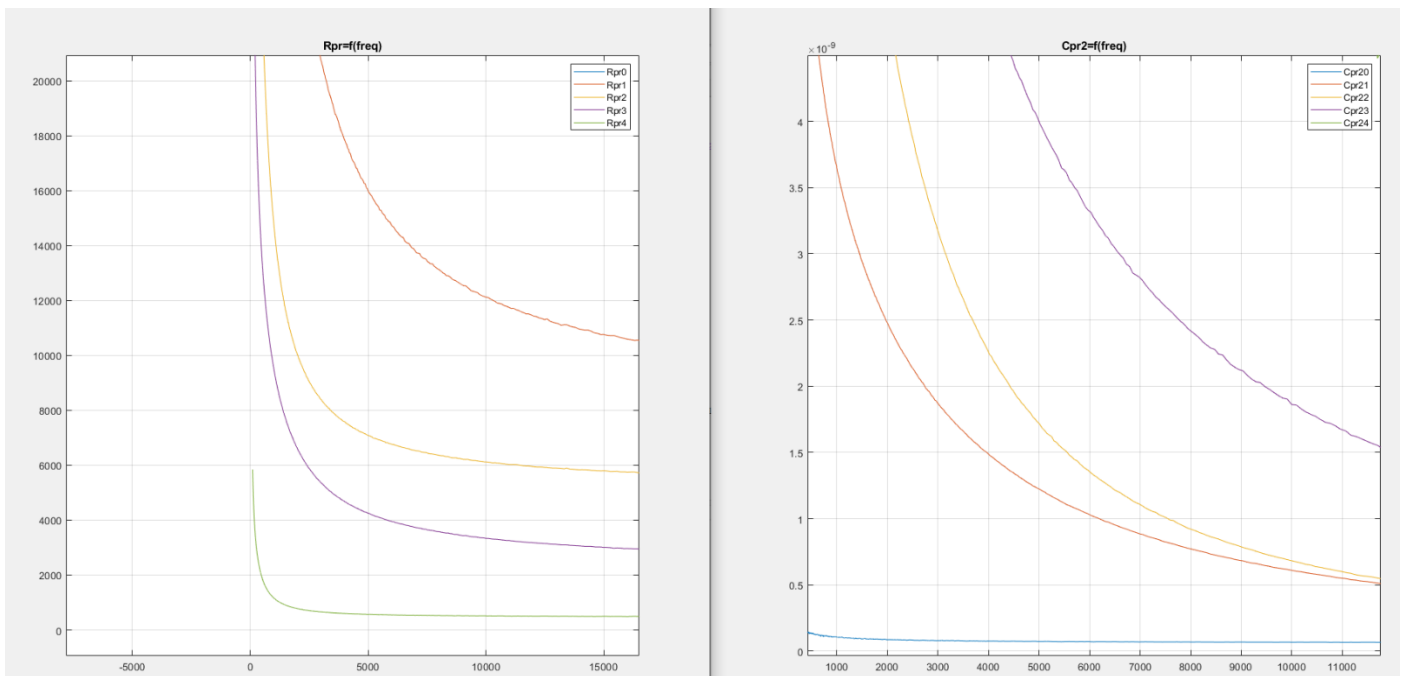


Abbildung 9:  $R_{pr}$  und  $C_{pr}$  für  $f=5\text{kHz}$  und  $R_1=5\text{k}\Omega$

	1	2	3	4	5
$R_{pr} [\Omega]$	481,8k	15,96k	7,076k	4,246k	566,2
$C_{pr} [F]$	72,5p	1.222n	1,713n	3,986n	174,8u

In den folgenden Grafiken sind die Resultate der Simulation ersichtlich.

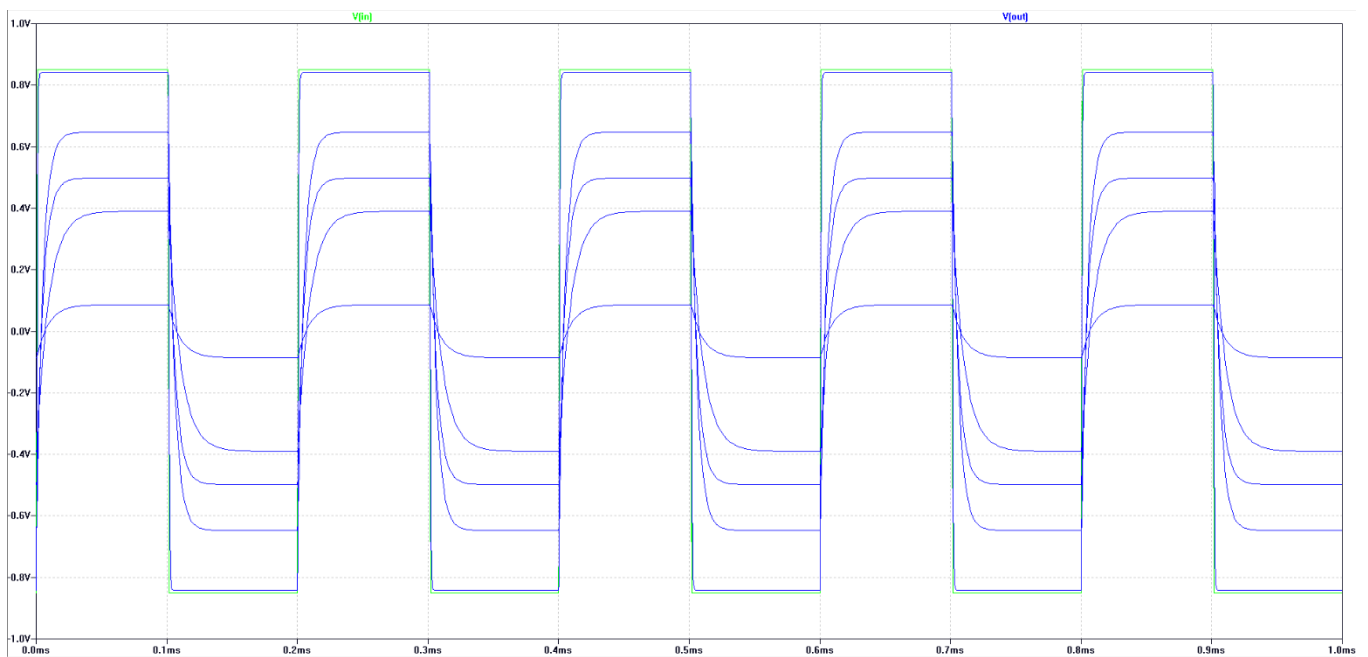


Abbildung 10: Resultate Simulation Spannung

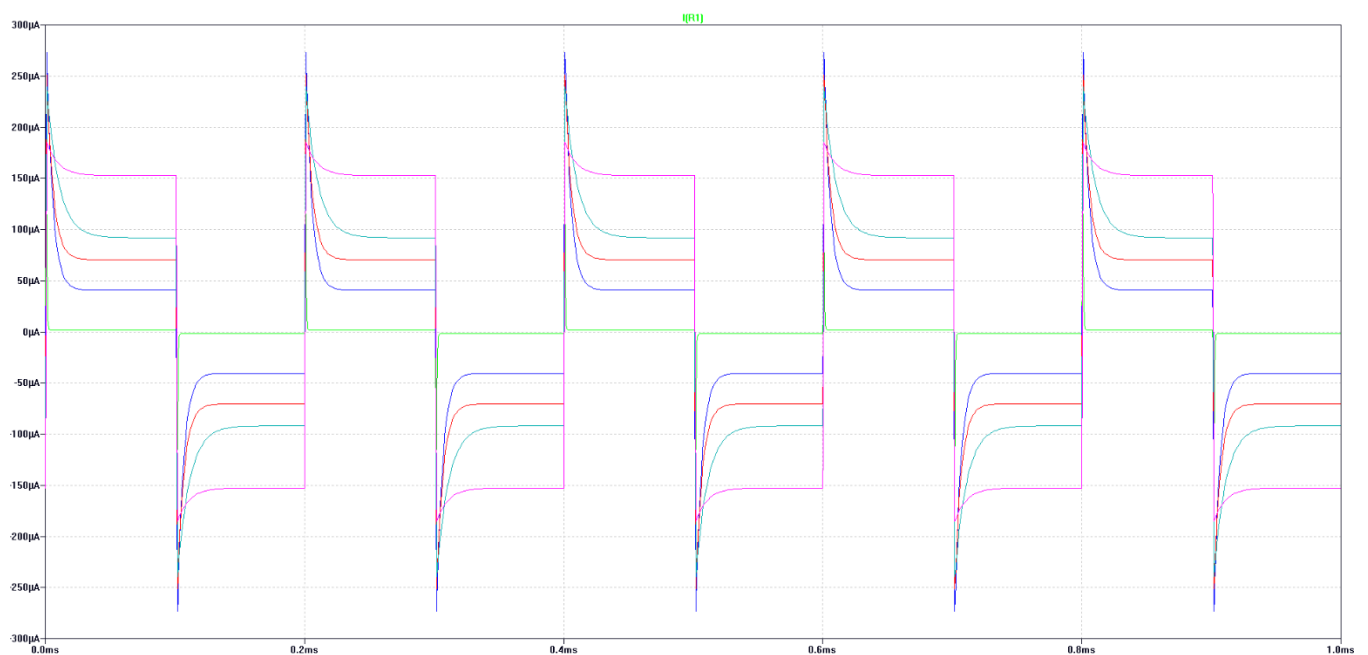


Abbildung 11: Resultate Simulation Strom

Nun konnten die Daten für die fünf Graphen exportiert werden und in Matlab importiert werden. Hier wurden die Daten dann geplottet. Der Plot ist in Abbildung 12 ersichtlich.

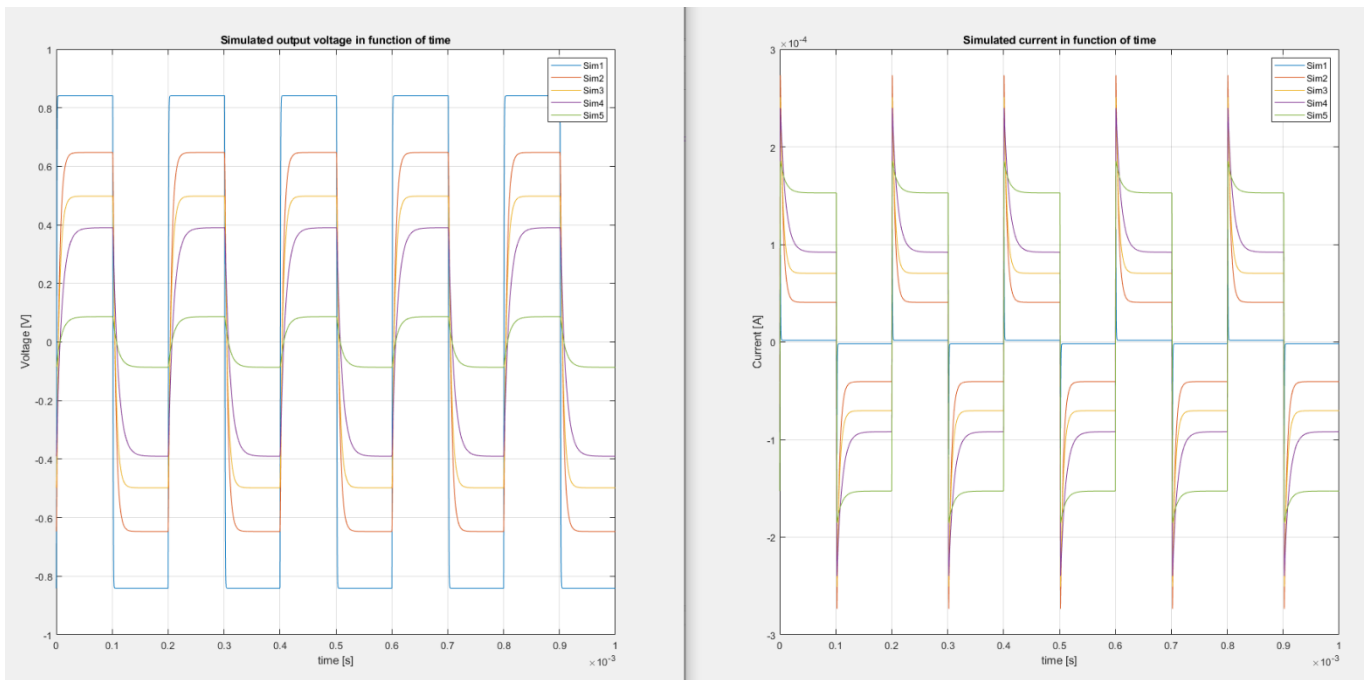


Abbildung 12: Plot der Spannung und des Stroms der Simulation von LTSpice in Matlab

Jetzt kann die Impedanz der Sonde berechnet und geplottet werden. Dies ist in Abbildung 13 ersichtlich.

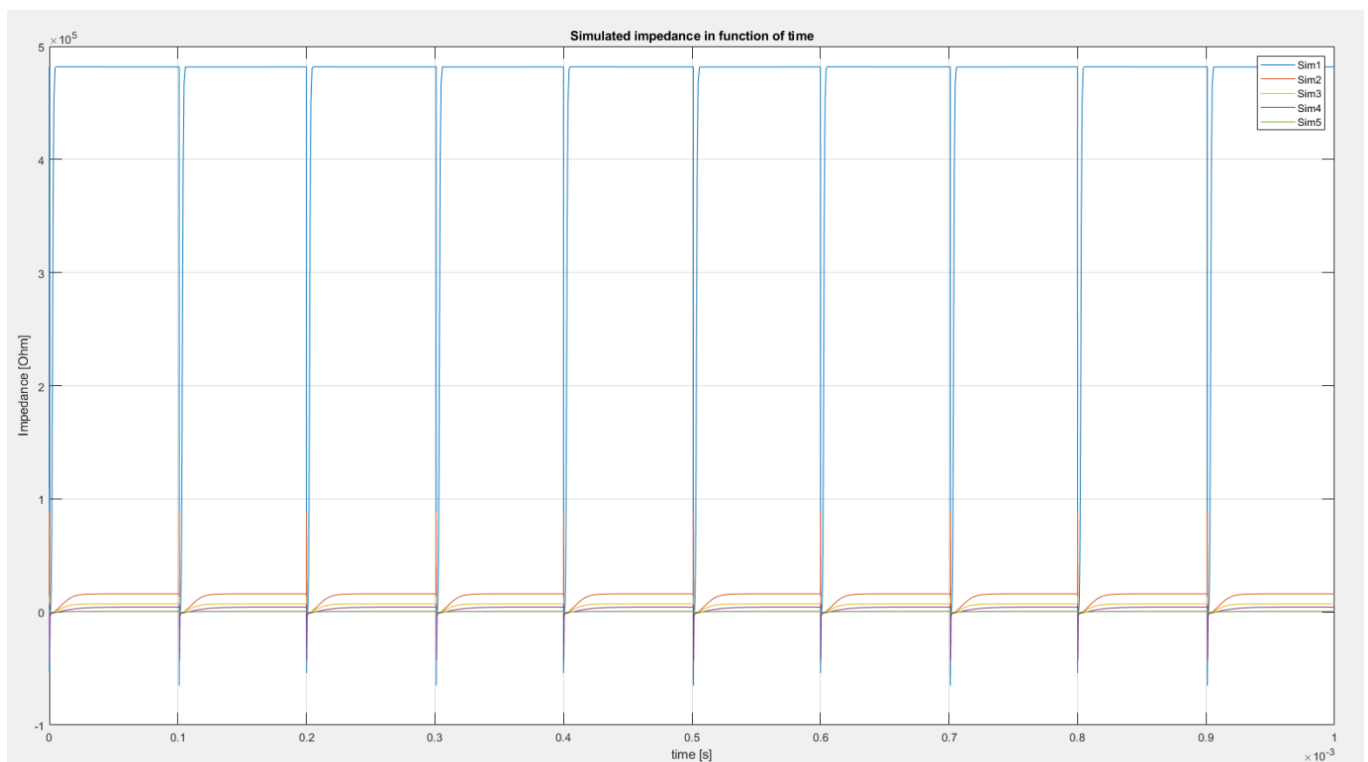


Abbildung 13: Impedanz der Sonde

Diese Resultate können mit den Werten von  $R_{pr}$  verglichen werden.

1	2	3	4	5
4.8183e+05	1.5960e+04	7.0765e+03	4.2458e+03	566.1947

Abbildung 14: Gemessene Werte von  $R_{pr}$

Berechnete Werte:

1: 481,8k $\Omega$

2: 15,96k $\Omega$

3: 7,076k $\Omega$

4: 4,206k $\Omega$

5: 565 $\Omega$

### 3 Schaltung

#### 3.1 Referenzspannung

Zur Versorgung der Sonden Schaltung wird eine Referenzspannung benötigt. Da die Spannung der Batterie 0/3[V] beträgt, muss die Referenzspannung in der Mitte liegen, um eine neue Masse zu erhalten, damit wir eine doppelte Versorgung -1,5/+1,5[V] verwenden können.

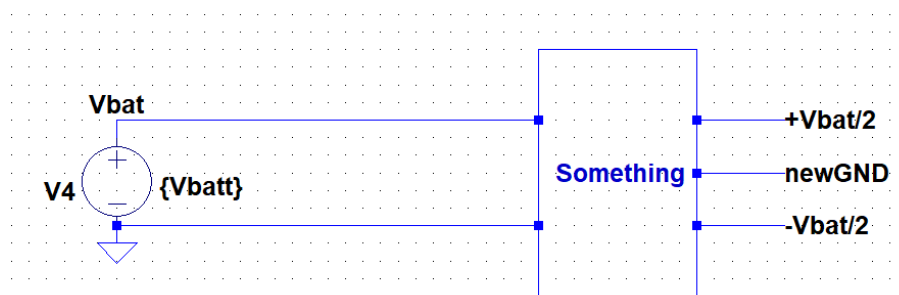


Abbildung 15: Schaltung Referenzspannung

Im „Something“ wird eine Referenzspannung benötigt. Die Eingangsspannung wird die Batterie 0/3[V] und die Ausgangsspannung 1,5[V] sein. Wir wählen den ISL21080CIH315Z-TK, der eine Ausgangsspannung von 1,5[V] bei einer minimalen Eingangsspannung von 2,1[V] liefert. Der maximale Ausgangsstrom beträgt +/-7[mA]. Hier ist der Graph der Delta-Ausgangsspannung in Abhängigkeit vom Ausgangsstrom für diese Schaltung.

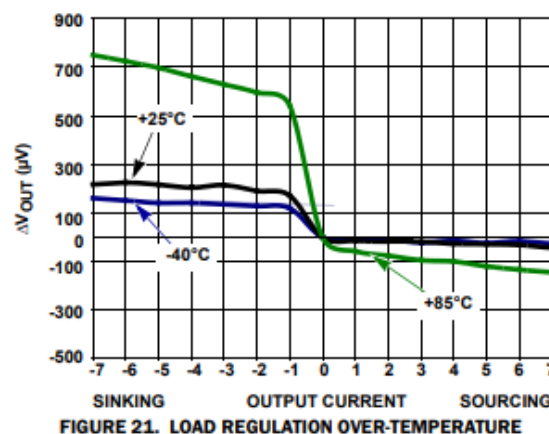


Abbildung 16: Delta-Ausgangsspannung - Ausgangsstrom



Mit dieser Schaltung hat man nun eine neue Masse in der Mitte der Batteriespannung. Sie wird für die Sonde als auch für den Rest der Schaltung verwendet.

### 3.2 Schaltung DC-Anteilverminderung

Mit dem vorherigen Schritt haben wir gesehen, dass Vee immer 1,5V niedriger sein wird als GND. Das ist bei  $V_{cc}$  nicht der Fall.  $V_{cc}$  wird gleich  $V_{bat} - 1,5V$  sein. Dies führt dazu, dass die Rechteckwelle, die wir an die Sonde senden, einen DC-Offset hat. Da die Sonde durch diesen Offset langsam beschädigt wird, müssen wir sie loswerden. Das machen wir mit einer kleinen Schaltung mit einem Operationsverstärker:

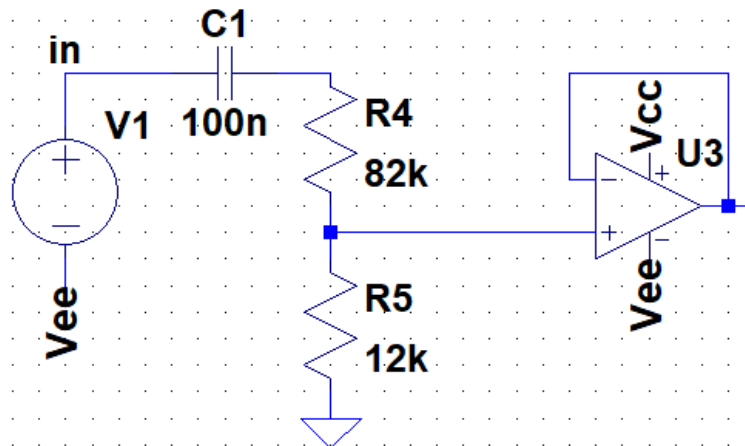


Abbildung 17: Schaltung der Verminderung des DC-Anteils

Diese Schaltung ermöglicht es uns, die Gleichspannung zu unterdrücken, während die Form der Welle intakt bleibt. Es wird dann die Amplitude des Signals (mit der Dämpfung  $A = 1 + R4/R5$ ) um  $\pm 0.2[V]$  verringern. Wir werden für diesen Teil den IC TLV2764 verwenden. Es handelt sich um 4 Rail-to-Rail-Eingangs-/Ausgangs-Operationsverstärker, die wir mit unserer geteilten Versorgung liefern können.

Wir werden dann in der Lage sein, die Impedanz zu bestimmen, indem wir die gemessene Spannung durch den Strom dividieren. Beide werden so gemessen:

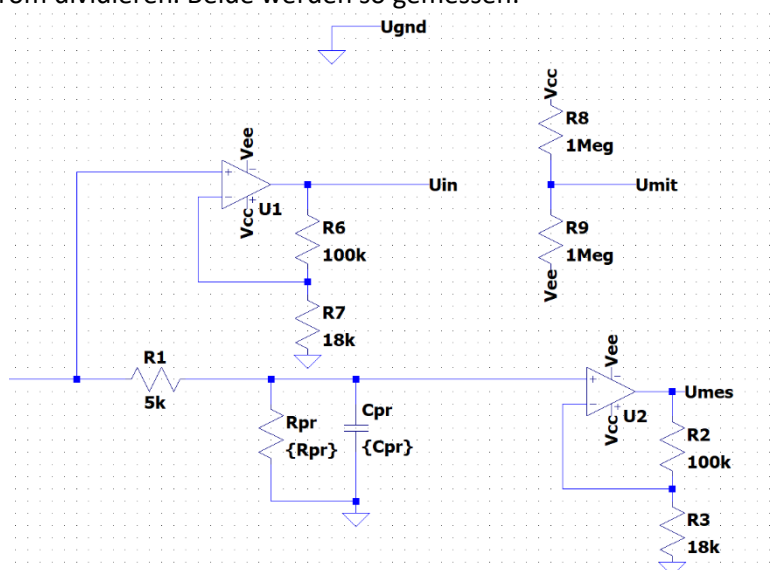


Abbildung 18: Messschaltung

Das Signal  $U_{mes}$  ist mit einem Impedanzwandler gekoppelt, so dass die Eingangsschaltung nicht belastet wird. Das Eingangssignal wird ohne Änderungen an den Ausgang übertragen. Die Verstärkung der beide Verstärker ist 90% von  $A (= 1 + R_4/R_5)$ .

Der Referenzpunkt wird auch gemessen. So können wir die Differenz zwischen einem gemessenen Signal und der Referenz feststellen. Die Signale „ $U_{mes}$ “, „ $U_{in}$ “, „ $U_{mit}$ “ und „ $U_{GND}$ “ werden dann direkt mit den analogen Eingangspins unseres Prozessors verbunden.

### 3.3 Abschaltung der Messschaltung

Wenn keine Messungen gemacht werden, können wir den Strom des Messkreises abschalten, damit er keinen Strom mehr verbraucht. Wir tun dies mit einem P-MOSFET, der als Schalter verwendet wird:

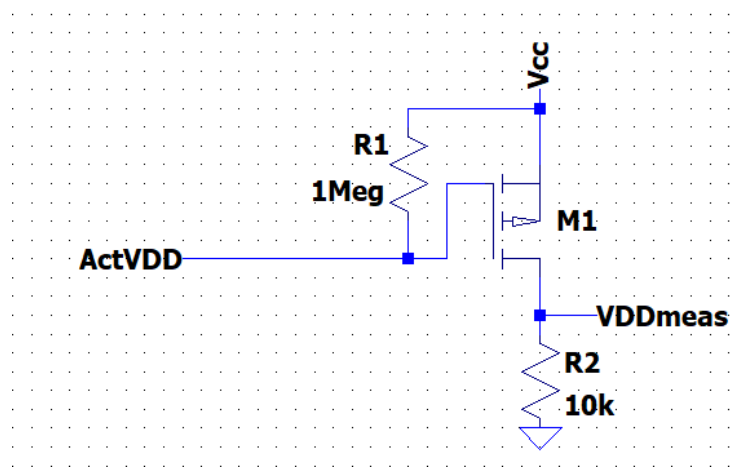


Abbildung 19: P-Mosfet als Schalter

Bei gegebenem Eingang (blau) gibt diese Schaltung dieses Signal (grün) aus:

Hinweis: Das Ausgangssignal ist der Kehrwert des Eingangssignals. Dies muss beim Schreiben des Codes, der im Prozessor programmiert werden soll, berücksichtigt werden.

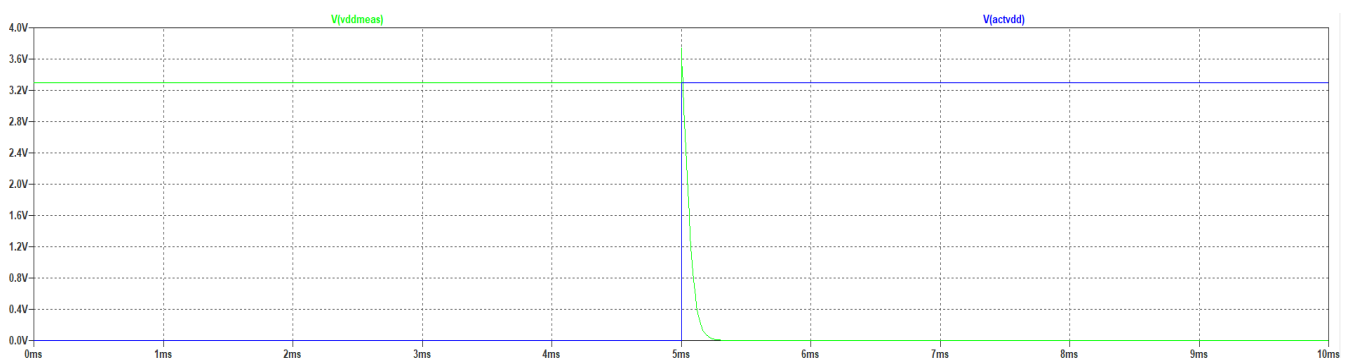


Abbildung 20: Test Stromabschaltung

## 4 Stromverbrauch

Die Schaltung wird mit einer Batterie versorgt. Wir müssen dann den Stromverbrauch berechnen, um die Lebenszeit der Batterie zu wissen.

Verbraucher	Strom	Zeit	Quelle
Strom pro Kanal eines OPV	240uA	10ms	Simulation (+ Sicherheitsspielraum)
Prozessor off	0.5uA	10min/1h	NRF52810 datasheet
Prozessor on	0.8uA (Seite 46)	10sec	NRF52810 datasheet
2 Timer	432uA (Seite 48)	2ms	NRF52810 datasheet
ADC	1.1mA	2ms (64 Messungen)	NRF52810 datasheet
RTC	1.1uA (Seite 46)	Immer	NRF52810 datasheet
Bluetooth advertising	80uA	5sec	Nordic Online Power Profiler
Daten senden	12nA	3.5ms	Nordic Online Power Profiler

Der Prozessor macht alle 10 Minuten Messungen und schaut ob ein Gerät die Daten abfragen will. Danach geht er in den Sleep Mode, dann wird die Stromversorgung für die Operationsverstärker abgestellt. In der Nacht (21:00 bis 07:00) werden nur jede Stunde Messungen gemacht, da zu dieser Zeit gewöhnlich geschlafen wird. Dies wird mit einem RTC (Real Time Clock) realisiert. Dies ergibt einen Gesamtstromverbrauch von 2.289[μA] am Tag und 1.714[μA] in der Nacht. Mit einer 150mAh Batterie, wird sie 8[Jahren]129[Tagen]15[Stunden] dauern.

## 5 Feuchtigkeitsskala

Auf der Grundlage der gegebenen Massnahmen können wir eine Skala erstellen, um zu sagen, wie nass/trocken unsere Anlage im Moment ist. Mit dieser Formel können wir die Amplitude der Signale berechnen:

$$U_{moy} = \frac{1}{i} \sum_{k=0}^i U_i$$

$$A = \frac{1}{i} \sum_{k=0}^i |U_i - U_{moy}|$$

Dabei ist i die Anzahl der Proben, die wir verwenden.

Die Sonden Impedanz wird dann mit dieser Formel berechnet:

$$Z = \frac{U_{mes}}{I_{mes}} = \frac{U_{mes}}{\frac{U_{in} - U_{mes}}{5[k\Omega]}} = 5000 * \frac{A_{mes}}{A_{in} - A_{mes}}$$

Wir können diese Impedanz nun auf einer Skala von 1 bis 5 skalieren; 1 ist sehr trocken und 5 sehr nass. Diese Formel ergibt die Skalenzahl in Abhängigkeit von der Impedanz:

$$Y_{scale} = -0.829 * \ln(Z) + 10.5$$

Dieser Wert wird dann gerundet, und wenn er kleiner als 1 ist, wird er auf 1 gesetzt. Das Ergebnis wird im Speicher abgelegt, damit wir es später an unser Telefon senden können.

Die Kurve dieser Gleichung ist hier gezeigt, und wir können sehen, dass es sich um eine ziemlich gute Schätzung handelt:

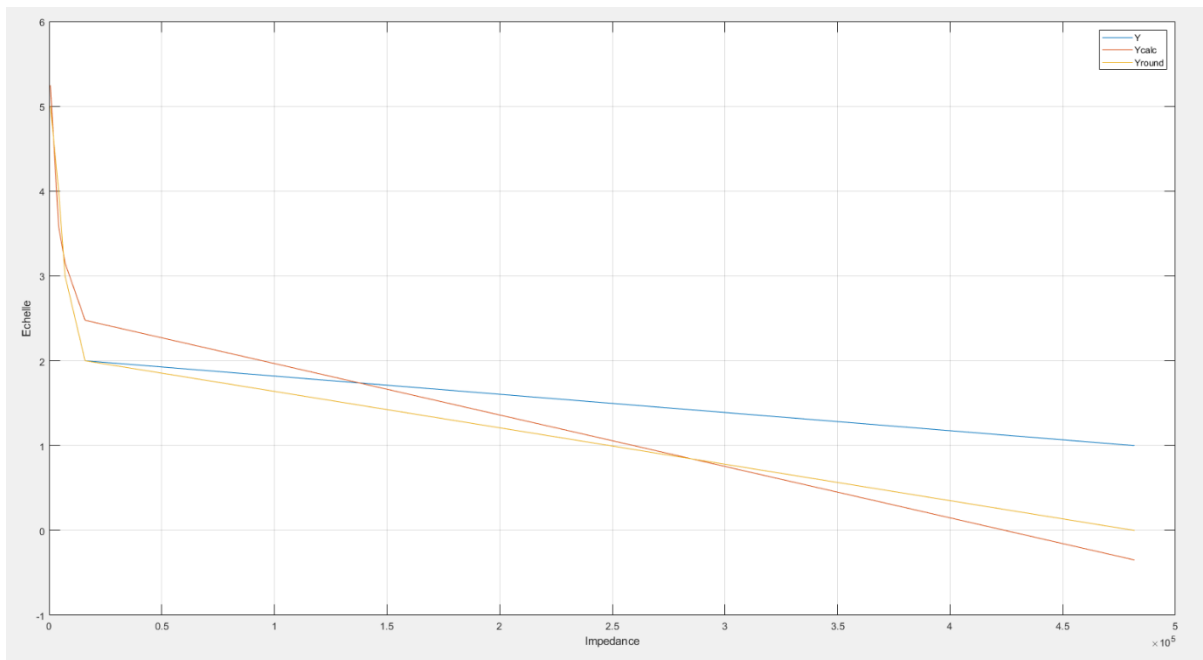


Abbildung 21: Graph Feuchtigkeitsskala

## 6 ADC Messungen

Die Signale  $U_{\text{mes}}$ ,  $U_{\text{in}}$ ,  $U_{\text{mit}}$  und  $U_{\text{gnd}}$  werden über den ADC unseres Prozessors (NRF52810) gemessen. Der ADC dieses Prozessors arbeitet im Abtastmodus. Wir werden eine Abtastfrequenz von 100[kHz] verwenden, um 64 Messungen an den beiden Signalen  $U_{\text{mes}}$  und  $U_{\text{in}}$  durchzuführen. Wir werden ein rechteckiges Eingangssignal erzeugen und 8[ms] warten, bevor wir Messungen machen, um sicherzustellen, dass sich der Ausgang stabilisiert hat. Die Messung dauert dann 2 [ms].

Die maximale Signalspannung beträgt 3,3 [V] und seine Frequenz 5 [kHz]. Der ADC hat eine Auflösung von 12 Bit, aber die 3 LSBs enthalten nur Rauschen und werden ignoriert, so dass wir eine Auflösung von 9 Bit haben.

Hier sind die simulierten Resultate:

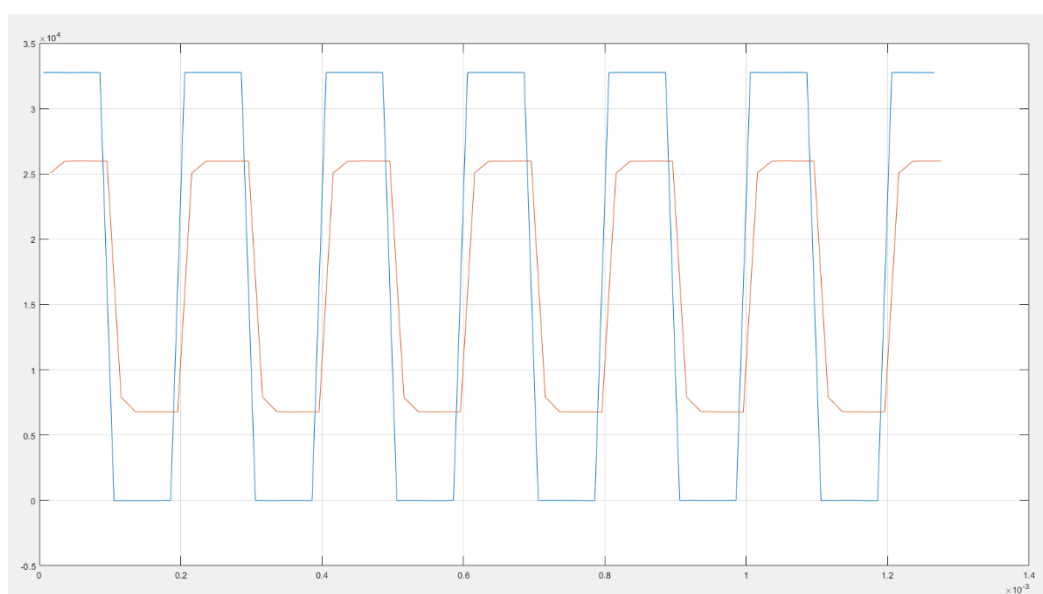


Abbildung 22: ADC-Werte

## 7 Bluetooth Kommunikation

Der NRF52810 hat einen eingebauten Funksender. Wir werden ihn benutzen, um unsere Daten über Bluetooth Low Energy an das Smartphone zu senden. Einmal alle 10 Minuten werden wir mit der Suche nach Geräten in der Nähe starten, so dass jedes Telefon, das uns entdeckt, die Messsonde sehen kann.

### Verbinden:

Ein Android-Telefon sucht nach neuen Bluetooth-Geräten im Scan-Modus mit geringem Stromverbrauch, der folgendermaßen aussieht:

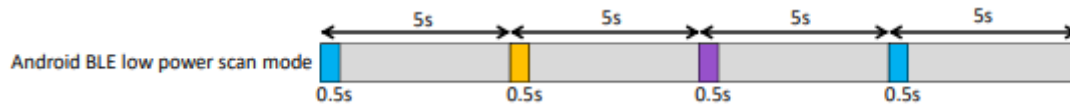


Abbildung 24: Suche nach anderen Geräten

Unser System wird sich folgendermassen verhalten:

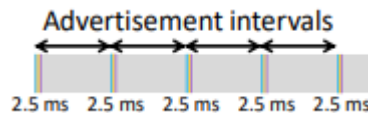


Abbildung 23: Verhalten unseres Systems

Wenn wir ein Suchintervall von 100 [ms] wählen, beträgt die durchschnittliche Zeit, in der ein Telefon uns erkennen würde, 5 [s]. Wir könnten dann die Daten verarbeiten, um diese an das verbundene Telefon zu senden. Der Strom, der während der 5 Sekunden der Suche verbraucht wurde, ist, beträgt 80 [uA].

Wenn nach 10 Sekunden kein Telefon sich mit dem Prozessor verbindet, geht er in den Sleep Modus.

### Daten senden:

Wenn ein Telefon antwortet, werden unsere gesammelten Daten an das Telefon gesendet und dann in unserem Speicher gelöscht. Wenn wir von 7 Uhr morgens bis 21 Uhr alle 10 Minuten eine Messung und von 9 Uhr abends bis 7 Uhr morgens eine stündliche Messung durchführen, ergibt dies 94 Messungen alle 24 Stunden. Der während dieser Aktion verbrauchte Strom beträgt 12[nA] während 3,5[ms].

## 8 Gehäuse

Es wurde ein rundes Gehäuse gewählt, da das PCB auch rund ist. Das PCB kann mit drei M2 Schrauben befestigt werden. Im Boden befindet sich ein Loch, damit die Sonde herausgeführt werden kann. Der Deckel kann mit drei Zylinderkopfschrauben zugeschraubt werden.

Bilder zum Gehäuse befinden sich im Anhang 11.5. Des Weiteren befindet sich das Schema und das Layout des PCB im Anhang.

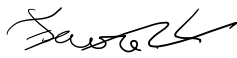
## 9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schaltung	2
Abbildung 2: Übertragungsfunktion	2
Abbildung 3: Aufteilung der Übertragungsfunktion	2
Abbildung 4: Bestimmung von $R_{pr}$	2
Abbildung 5: Bestimmung $C_{pr}$	3
Abbildung 6: Plot $C_{pr}$	3
Abbildung 7: Plot $R_{pr}$	3
Abbildung 8: Schaltplan	4
Abbildung 9: $R_{pr}$ und $C_{pr}$ für $f=5\text{kHz}$ und $R_1=5\text{k}\Omega$	4
Abbildung 10: Resultate Simulation Spannung	5
Abbildung 11: Resultate Simulation Strom	5
Abbildung 12: Plot der Spannung und des Stroms der Simulation von LTSpice in Matlab	6
Abbildung 13: Impedanz der Sonde	6
Abbildung 14: Gemessene Werte von $R_{pr}$	7
Abbildung 15: Schaltung Referenzspannung	7
Abbildung 16: Delta-Ausgangsspannung - Ausgangsstrom	7
Abbildung 17: Schaltung der Verminderung des DC-Anteils	8
Abbildung 18: Messschaltung	8
Abbildung 19: P-Mosfet als Schalter	9
Abbildung 20: Test Stromabschaltung	9
Abbildung 21: Graph Feuchtigkeitsskala	11
Abbildung 22: ADC-Werte	11
Abbildung 23: Verhalten unseres Systems	12
Abbildung 24: Suche nach anderen Geräten	12

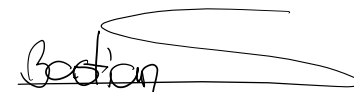
## 10 Unterschriften

01.06.2020

Datum

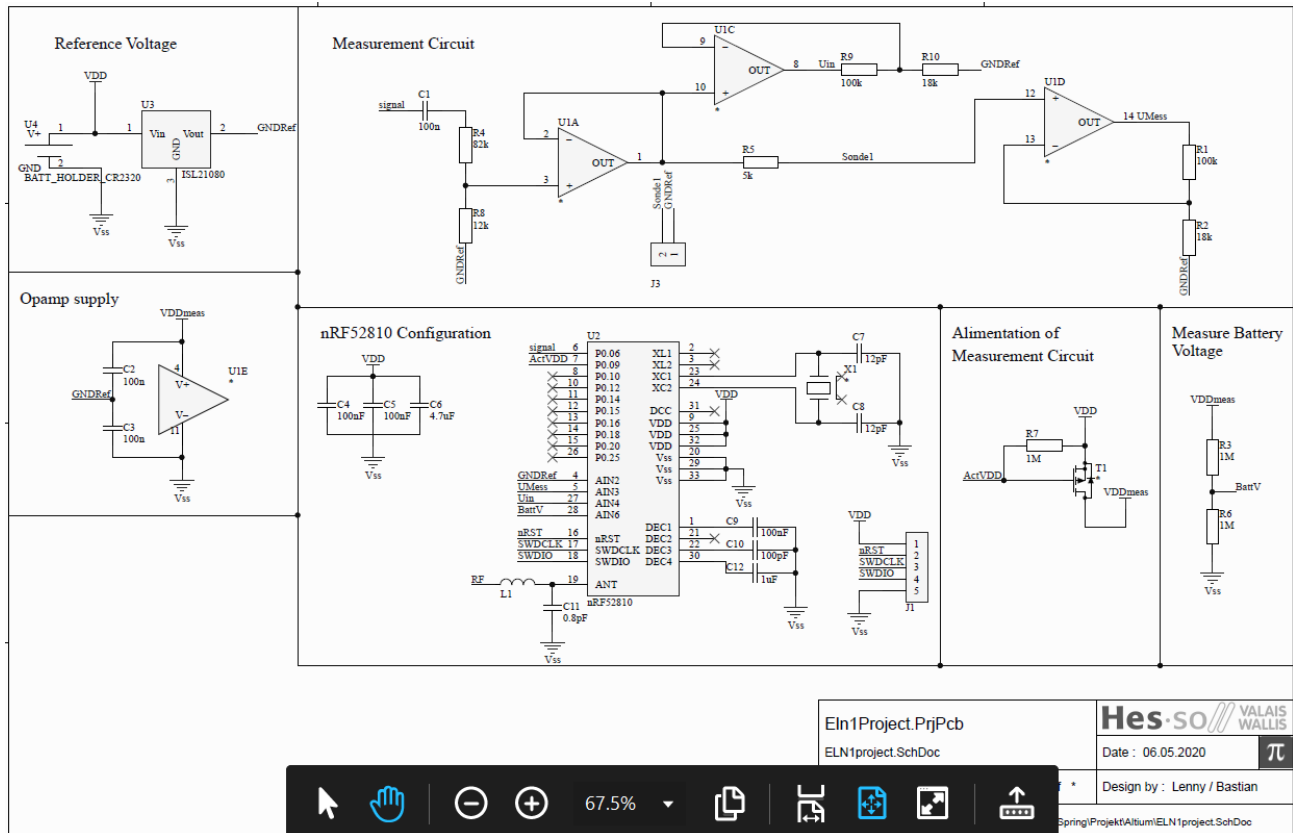


Lenny Favre

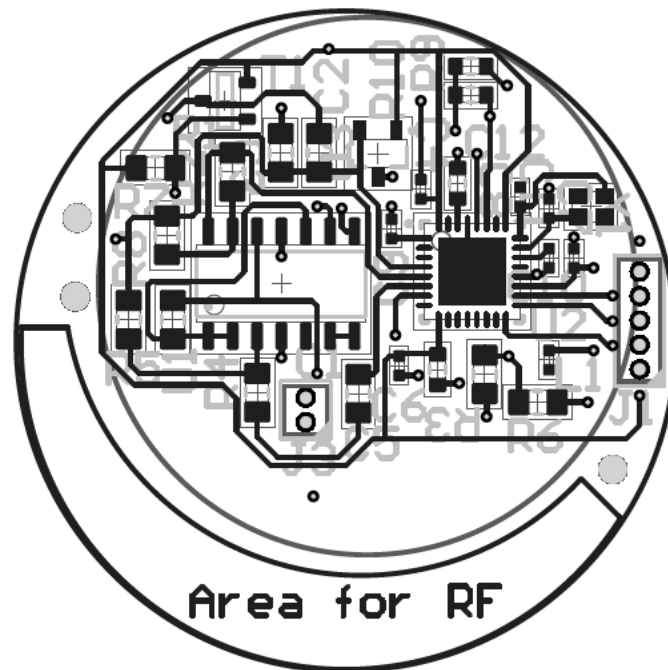


Bastian Schwery

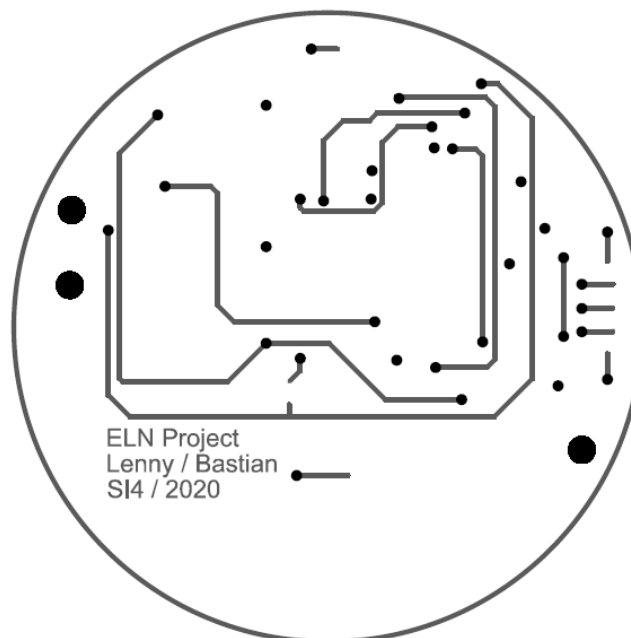
## 11.1 Schema



## 11.2 Layout Top

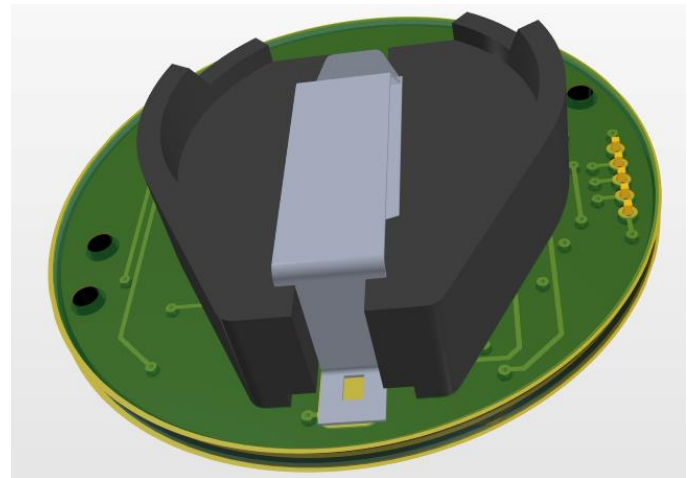
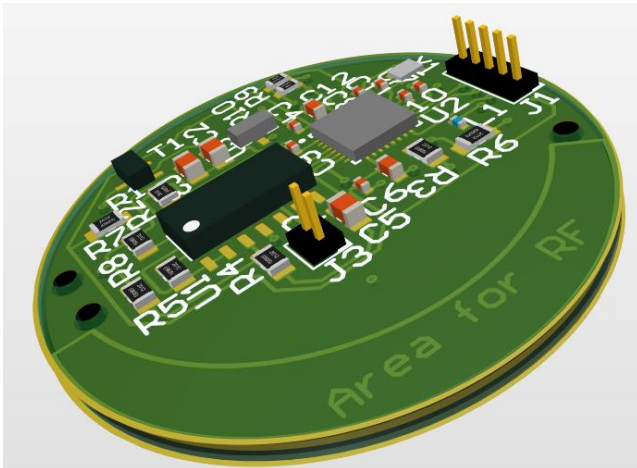


## 11.3 Layout Bottom





## 11.4 3D PCB



## 11.5 Gehäuse

