

# Protokoll Messprojekt 1

BALCKBOX & DIGITALBOARD

PETROVIC MILOS

Lehrveranstaltung: Labor Elektrotechnik

Institution: Fachhochschule Vorarlberg, Bachelor Elektrotechnik  
Dual, FRB-ELT-DU 2020

Betreuer: Dipl.-Ing. Anselmi Christian

Arbeitsplatz: Home-Office, Milos Petrovic, Bludenz

## INHALTSVERZEICHNIS

1.	Ziel des Messprojektes.....	2
2.	Verwendete Messgeräte.....	3
	Digitek Digitale Hand MultiMeter .....	3
	Analog Discovery Studio .....	3
	Messgeräte:.....	3
	Software:.....	3
3.	Messprojekt Black Box .....	4
3.1.	Aufgabenstellung.....	4
3.2.	Widerstandsmessung .....	5
3.3.	Kapazitätsmessung .....	7
3.4.	Frequenzabhängige Messung .....	8
3.5.	Bodediagramm .....	12
3.6.	Simulation.....	14
3.7.	Zusammenfassung der Messergebnisse.....	16
4.	Digital Board.....	17
4.1.	Aufgabenstellung.....	17
4.3.	RGB LED .....	22
4.4.	Strommaufname.....	24
4.5.	Serielle Schnittstelle Header 1 (IC2): .....	26
4.6.	Serielle Schnittstelle Header 2 (SPI).....	31
4.7.	Serielle Schnittstelle Header 3 (UART) .....	37
5.	Zusammenfassendes Kommentar:.....	41
	Abbildungsverzeichniss .....	42

## 1. ZIEL DES MESSPROJEKTES

Ziel ist es mit in den einzelnen Laborübungen erlernten Methoden ein Unbekannte Messobjekte auszumessen und zu dokumentieren.

Für die erste Abgabe sind eine Back Box, die aus rein passiven Bauelementen bestehen sollte und ein Digitalboard welches auf Knopfdruck verschiedene serielle Kommunikationen startet zu untersuchen.

## 2. VERWENDETE MESSGERÄTE

### DIGITEK DIGITALE HAND MULTIMETER

Hierbei handelt es sich um ein Gewöhnliches Hand Multimeter der Firma Digitek.

### ANALOG DISCOVREY STUDIO

Das Analog Discovery Studio der Firma Digilent ist ein kompaktes Messsystem welches alle für dieses Messprojekt benötigten Messgeräte beinhaltet. Das Gerät wird über USB an eine PC angeschlossen und über die Software WaveForms bedient.

Für diese Projekt wurden folgende Funktionen verwendet:

- Zwei Kanal Oszilloskop mit direkten differenziellemeingang und angeschlossenem passiven Taskopf
- Zweikanal Funktionsgenerator
- Network Nalyzer Funktion (für Bodediagramm)
- 16 Kanal Logic Analyzer
- Protocol Analyzer

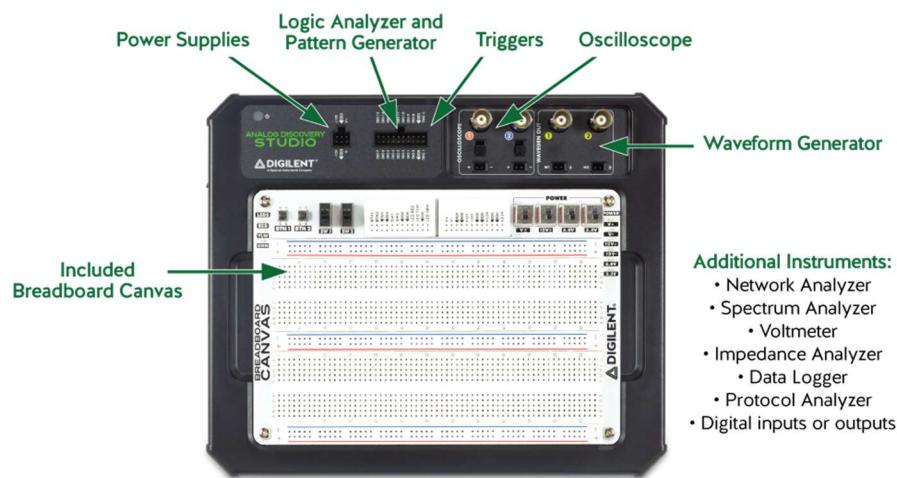


Abbildung 1: Anschlüsse Analog Discovery Studio

Die genauen Spezifikationen, eine Bedienungsanleitung und zahlreiche Tutorials zu den verschiedenen Messmöglichkeiten können der Hersteller website unter folgendem Link entnommen werden.

<https://reference.digilentinc.com/reference/instrumentation/analog-discovery-studio/start>

Auf die genaue Verwendung des Messsystems wird im weiteren Verlauf dieses Protokolls nicht weiter eingegangen.

#### MESSGERÄTE:

Funktion	Hersteller	Geräte Bezeichnung	Seriennummer
Messsystem	Digilent	Analog Discovery Studio	210384B01236
Digitales Multi Meter	Digitek	DT9602R	2182171

#### SOFTWARE:

Funktion	Hersteller	Name	Versions Nummer
Betriebssystem	Microsoft	Windows 10	10.0.18363 Build 18363
Interface Messsystem	Digilent	WaveForms	3.12.3 64-bit Qt5.9.7

### 3. MESSPROJEKT BLACK BOX

#### 3.1. AUFGABENSTELLUNG

Es sollte der Aufbau der Schaltung sowie die Werte der Bauteile bestimmt werden. Gegeben ist eine Pinbelegung welche den Eingang und Ausgang der Schaltung kennzeichnen.

## Pinbelegung Blackbox



Abbildung 2 : Pinbelegung Black Box

### 3.2. WIDERSTANDSMESSUNG

Durch die Widerstandsmessung wird festgestellt, wo sich in der Schaltung Widerstände, Durchverbindungen und gegebenenfalls Dioden befinden. Es werden alle Pins gegeneinander in beide Richtungen gemessen.

#### 3.2.1. MESSAUFBAU

Für die Messung wird das Digitale Multi Meter (DMM) der Marke Digitek verwendet. Für ein einfacheres Handling der BlackBox wurde das Steckbrett des Analog Discovery Studio verwendet, dazu war es nötig ein Adapter Kabel zu fertigen welches direkt von den Eingängen des Multimeters mit dem Steckbrett verbunden werden kann.

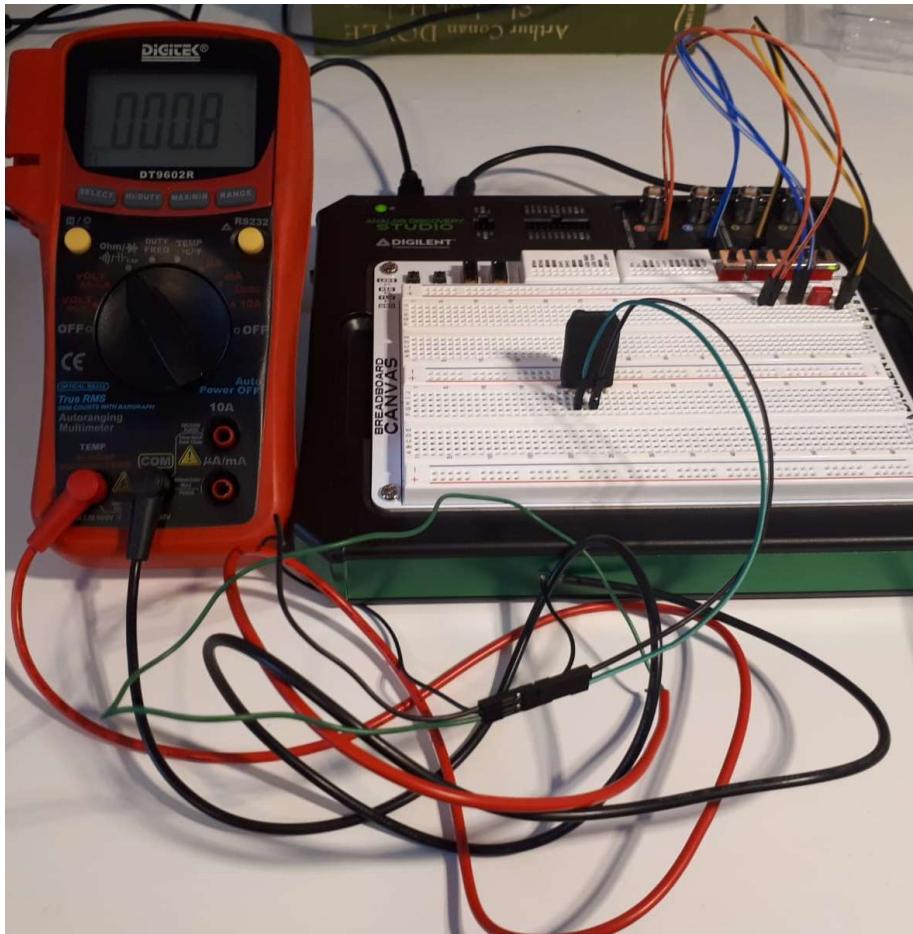


Abbildung 3: Messaufbau Widerstandsmessung

### 3.2.2. ERGEBNIS WIDERSTANDSMESSUNG

	Uvers+	GND	Sigin+	Sigin-	Sigout+	Sigout-
Uvers+		47,58k	O.L.	47,58k	O.L.	47,58k
GND	47,58k		O.L.	1,1	O.L.	1,1
Sigin+	O.L.	O.L.		O.L.	680	O.L.
Sigin-	47,58k	0,7	O.L.		O.L.	1,1
Sigout+	O.L.	O.L.	680	O.L.		O.L.
Sigout-	47,58k	0,7	O.L.	1,1	O.L.	

Tabelle 1: Widerstandsmessung

- Zwischen **Uvers+** und **GND** befindet sich ein Widerstand mit einem Wert von 47,58kOhm, da die Messung in beide Richtungen das gleiche Ergebnis liefert, kann eine Diode ausgeschlossen werden.
- Die Anschlüsse **GND**, **Sigin-** und **Sigin+** sind intern miteinander verbunden, der Widerstandswert von 1,1 Ohm lässt sich durch die Summe der Leitung und Übergangswiderstände erklären. Die drei Anschlüsse werden im weiteren Verlauf des Protokolls nur mehr als **COM** bezeichnet.
- Zwischen den Anschlüssen **Sigin+** und **Sigin-** wurde ein Widerstandswert von 680 Ohm gemessen, da der Wert 680 Bestandteile der E-Reihe für Widerstände ist, kann in erster Linie davon ausgegangen werden, dass es hierbei auch tatsächlich um einen Widerstand handelt. Theoretisch wäre auch eine Induktivität möglich, dies wird in einer späteren Messung noch genauer überprüft.
- Zwischen den Pins **Sigin+** und **COM** und **Sigout+** und **COM** zeigt das DMM einen Unterbruch an, allerdings wird dieses Ergebnis nicht gleich angezeigt. Der Wert wird innerhalb von wenigen Sekunden immer größer und größer bis O.L. dort steht. Wird nun eine Messtrippe kurz entfernt und dann wieder auf die gleiche Stelle gelegt, wird direkt OL angezeigt. Werden die Messtrippe nun vertauscht an den gleichen Pins angeschlossen, kann wieder das Steigen des Widerstandswertes beobachtet werden, bis OL erreicht wird. Dieses Verhalten weist darauf hin, dass sich zwischen diesen Anschlüssen eine Kapazität befinden könnte. Erklärt werden kann dies durch die Art der Messmethode welche das DMM für die Widerstandsmessung verwendet. Es wird ein konstanter Strom geliefert und dann der Spannungswert gemessen. Durch die Formel  $R = \frac{U}{I}$  wird anschließend der Widerstand berechnet und angezeigt. Ist nun eine ungeladene Kapazität zwischen den Anschlüssen des DMM, fließt ein Strom und lädt diese auf, dadurch wird die Spannung an der Kapazität immer größer und der Strom immer kleiner, bis er Null erreicht, da zeigt das DMM wieder einen Unterbruch an.

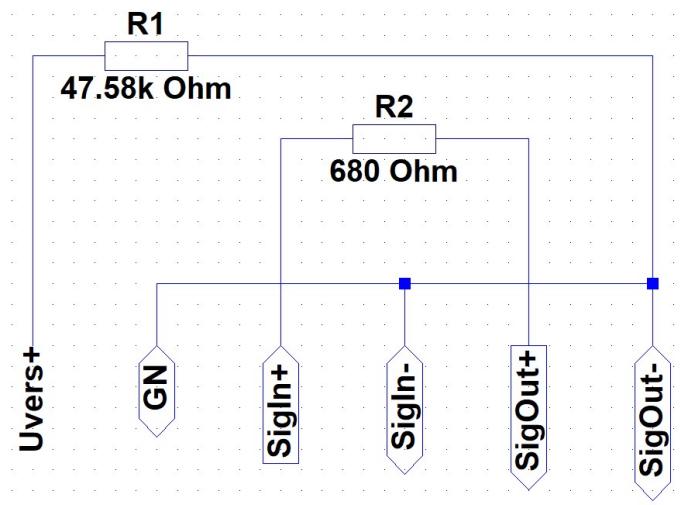


Abbildung 4: Black Box ERS nach Widerstandsmessung

### 3.3. KAPAZITÄTSMESSUNG

Um die Annahme vorhergehenden Messung zu bestätigen, wird nun mit der Kapazitätsmessfunktion des Multi Meters, wie bei der Widerstandsmessung zwischen allen Pins die Kapazität gemessen.

#### 3.3.1. MESSAUFBAU

Messaufbau ist gleich wie bei der Widerstandsmessung in Abbildung 2. Das DMM wird allerdings auf Kapazitätsmessung gestellt.

#### 3.3.2. ERGEBNIS KAPAZITÄTSMESSUNG

	Uvers+	GND	Sigin+	Sigin-	Sigout+	Sigout-
Uvers+		OL	1,38nF	OL	1,39nF	OL
GND	OL		29,99nF	OL	30,34nF	OL
Sigin+	1,38nF	29,99nF		29,99nF	OL	29,99nF
Sigin-	OL	OL	30,31nF		30,34nF	OL
Sigout+	1,38nF	30,34nF	OL	30,34nF		30,34nF
Sigout-	OL	OL	30,31nF	OL	30,34nF	

Tabelle 2: Kapazitätsmessung

Aus den Ergebnissen der Kapazitätsmessung lässt sich sagen, dass sich zwischen den Anschlüssen **Sigin+** und **COM** und **Sigout+** und **COM** eine Kapazität mit einem Wert von, in etwa, 30nF befindet.

Die Abweichenden Kapazitätswerte lassen sich durch erklären, dass je nach gewähltem Messpfad noch Hochohmige widerstände zwischen der Kapazität und dem Messgerät liegen. Wird Beispielsweise zwischen **Sigin+** und **Uver+** gemessen summieren sich die Widerstände  $47,47\text{k} + 680\text{Ohm}$  auf. Dies ist für die Kapazitätsmessung mit diesem DMM bereits ein zu großer Widerstand, um die Messwerte Richtig anzuzeigen. Das Kapazitätsmessgerät zeigt, wenn die Messtripen offen sind einen Wert von  $1,2\text{nF}$  an, in dem Pfad zwischen **Sigin+** und **Uver+** wird ein etwas größere Wert von  $1,38\text{nF}$  angezeigt.

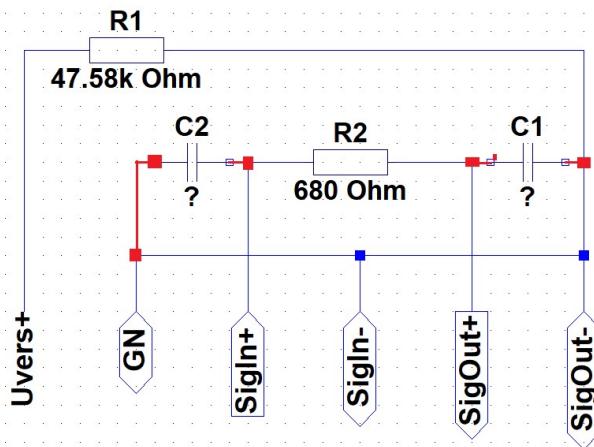


Abbildung 5: Black Box ERS nach Kapazitätsmessung

Aus den bis jetzt ermitteltes Date kann sich der Kondensator Zwischen **Sigin+** und **COM** oder zwischen **Sigin+** und **COM** befinden.

Die genaue Position wird mit einer Frequenzabhängigen Messung bestimmt.

### 3.4. FREQUENZABHÄNGIGE MESSUNG

Mit einer Frequenz Messung wird nun ermittelt wo sich der Kondensator in der Schaltung tatsächlich befindet.

#### 3.4.1. MESSAUFBAU

Funktionsgenerator W1 (gelb) wird auf einen 100 Ohm Vorwiderstand angelegt der dann mit **SigIn+** verbunden ist. CH1 des Oszilloskops (orange) wird ebenso auf den Vorwiderstand angelegt der negative Anschluss des Oszilloskops (orange-weiß) wird auf **COM** gelegt. CH2 (blau) wir an **SigOut+** angeschlossen und der negative Anschluss erneut auf **COM**.

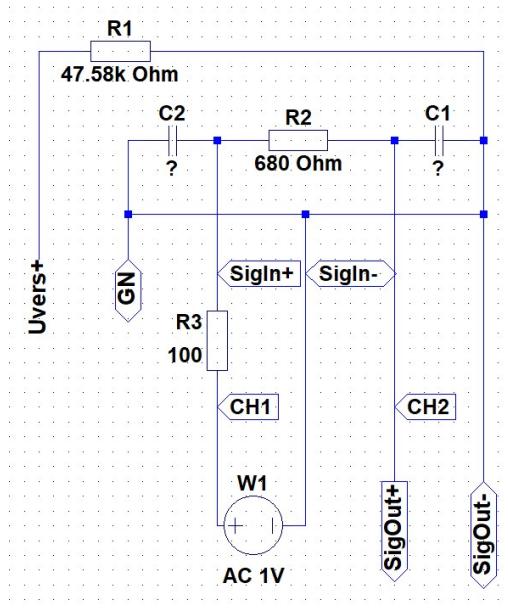


Abbildung6: Messaufbau Frequenz Messung Schaltplan

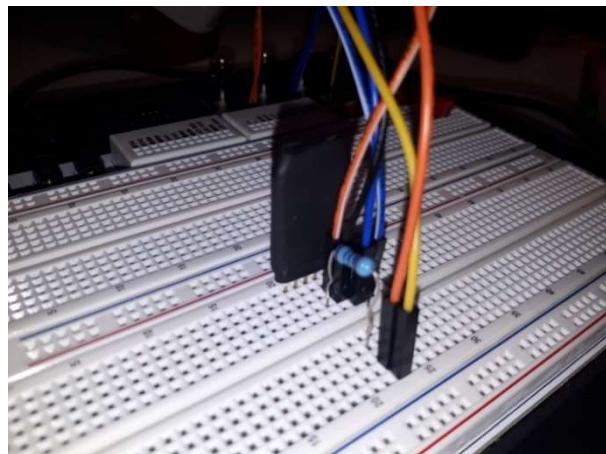


Abbildung7: Messaufbau Steckbrett

Für die Messung wird über den Funktionsgenerator ein Sinuswechselstromsignal bei **SigIn+** eingespeist

Zum Schutz des Funktionsgenerators wird noch ein Vorwiderstand mit 1000OHM eingebaut. Sollte sich der Kondensator zwischen **SigIn+** und **GND** befinden würde der Funktionsgenerator bei hohen Frequenzen kurzgeschlossen.

Je nachdem wo sich der Kondensator nun tatsächlich befindet, kann die Messung zwei unterschiedliche Ergebnisse liefern.

### 3.4.1.1. VARIANTE 1 KONDENSATOR ZWISCHEN SIGOUT+ UND SIGOUT-

Ist der Kondensator so angeordnet ergibt sich folgendes Ersatzschaltbild:

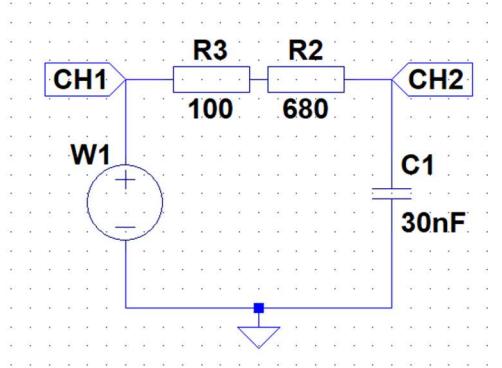


Abbildung 8: Frequenzmessung ERS1

Bei der Ersatzschaltung handelt es sich um ein RC Tiefpassfilter erster Ordnung. Durch die Formel für die Grenzfrequenz eines RC TP  $f_g = \frac{1}{2\pi RC}$  sollte bei dieser Frequenz ein Abfall von -3dB auf CH2 bezogen auf CH1 gemessen werden.

Bei einer Einspannung von 1V sollte nach der Formel für die Amplitude, bei Erreichen der Grenzfrequenz folgende Spannung gemessen werden.

$$A_{dB} = 20 * \log\left(\frac{U_a}{U_e}\right) \rightarrow U_a = U_e * 10^{\frac{A_{dB}}{20}} = 1V * 10^{\frac{-3dB}{20}} = 0.707V$$

$$f_g = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(R_3 + R_2) * C_2} = \frac{1}{2\pi(100 + 680) * 30nF} = 6801,49Hz$$

### 3.4.1.2. VARIANTE 2 KONDENSATOR ZWISCHEN SIGIN+ UND SIG IN-

Bei dieser Variante ergibt sich folgendes ERS:

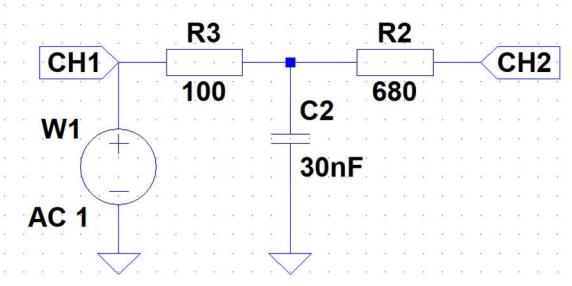


Abbildung 9: Frequenzmessung ERS2

Diese Schaltung ist erneut ein RC Tiefpass erster Ordnung, allerdings besteht das Filter nur aus dem Vorwiderstand R3 und ergibt somit eine andere Grenzfrequenz. Widerstand R2 am Ausgang hat für die Messung keine Wirkung da der Eingangswiderstand des Oszilloskops 10Mohm beträgt und der kleine Widerstand somit keine Rolle spielt.

$$f_g = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi * R_3 * C_2} = \frac{1}{2\pi * 100 * 30nF} = 53,051 kHz$$

### 3.4.2. MESSUNG

Für die Messung wird der Funktionsgenerator auf die erste berechnete Grenzfrequenz eingestellt, sollte das Ergebnis dem erwarteten Verhalten entsprechen, stimmt die erste Variante und die Messung kann hier abgebrochen werden. Sollte der -3db Punkt nicht erreicht werden, dann wird die zweite berechnete Frequenz eingestellt und dieser Fall überprüft.

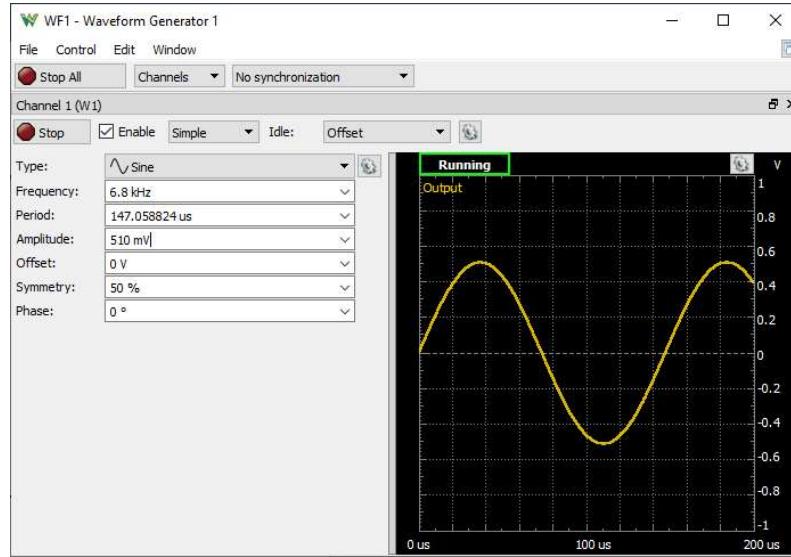


Abbildung 10: Frequenzmessung Einstellungen Funktionsgenerator

### 3.4.3. ERGEBNIS

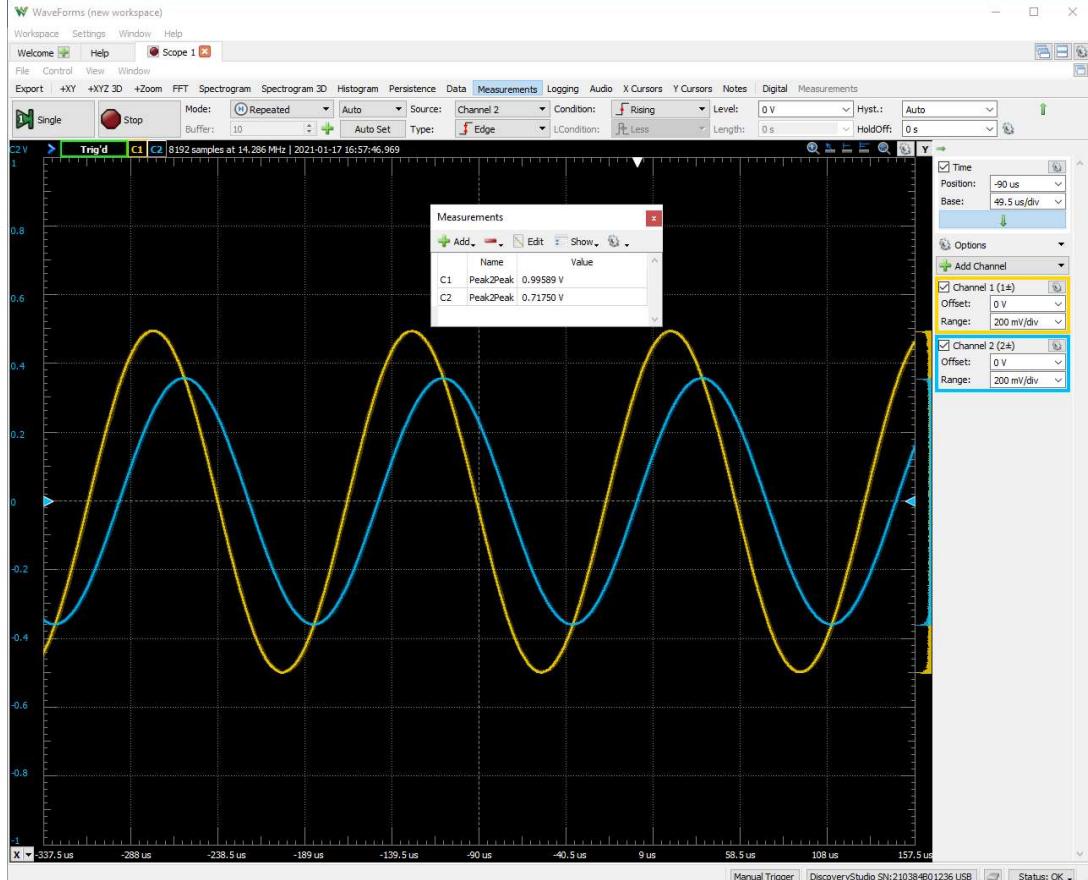


Abbildung 11: Ergebnis Frequenzmessung

Measurements		
	Name	Value
C1	Peak2Peak	0.99589 V
C2	Peak2Peak	0.71784 V

Abbildung 12: Ergebnis Frequenzmessung Zoom1

Wie das Messergebnis zeigt, wird ein Abfall von 3dB des Ausgangssignal bezogen zum Eingangssignal bei der ersten errechneten Grenzfrequenz bereits erreicht. Daraus lässt sich schließen, dass die erste Variante zutrifft und der Kondensator direkt zwischen **SigOut+** und **SigOut-** ist.

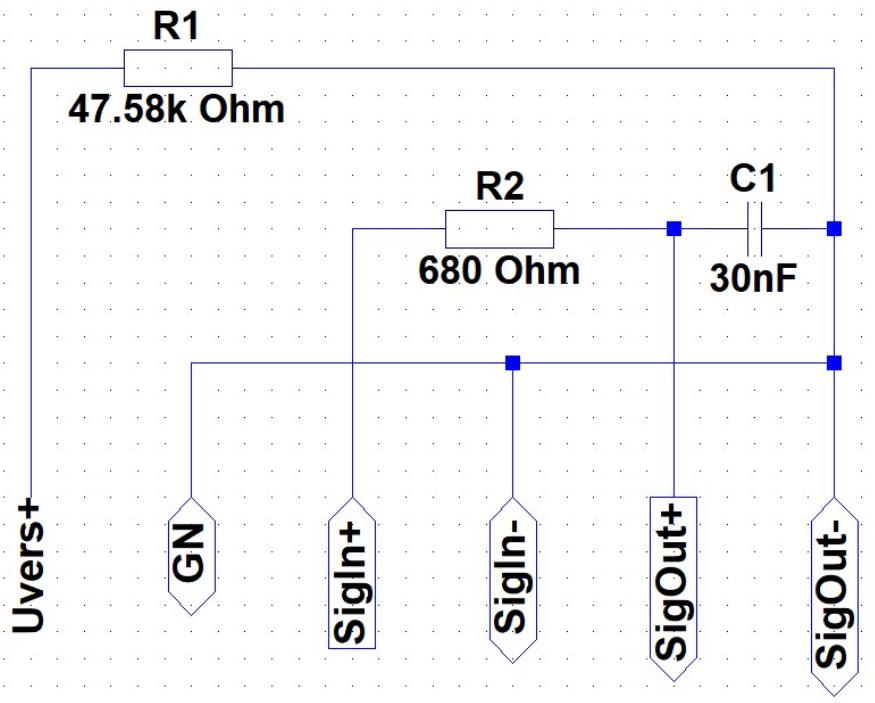


Abbildung 13: Black Box ERS nach Bestimmung der Kondensator Position

Das TP Filter erster Ordnung sollte nach den bis jetzt durchgeführte Messungen folgende Werte haben:

Da die Position des Kondensators bestimmt wurde kann zur Berechnung der Grenzfrequenz der Wert der Kapazitätsmessung zwischen dem Anschluss **SigOut+** und **GND**, aus der **Tabelle2** verwendet werden, da zwischen diesen Anschlüsse die Kapazitätsmessung am wenigsten verfälscht wird.

$$f_g = \frac{1}{2\pi R C} = \frac{1}{2\pi R_2 * C_1} = \frac{1}{2\pi * 680 * 30,34nF} = 7714,28Hz$$

### 3.5. BODEDIAGRAMM

Da nun der innere Aufbau der Balck Box bekannt ist, wird der Vorwiderstand entfernt und mittels der Network Analyzer Messfunktion des Analog Discovery Studio, ein Bodediagramm des Filters aufgezeichnet.

Dadurch lässt sich zeigen, dass es sich bei der Schaltung tatsächlich um ein RC Tiefpass Filter erster Ordnung handelt. Gleichzeitig wird damit ausgeschlossen das sich noch eine zusätzliche Induktivität in der Schaltung befindet.

Link zum User Guide für den Network Analyzer:

<https://reference.digilentinc.com/reference/instrumentation/guides/waveforms-network-analyzer>

#### 3.5.1. MESSAUFBAU

Funktionsgenerator W1 (gelb) wird auf **SigIn+** angelegt. CH1 des Oszilloskops (orange) wird auf den gleichen Eingang angelegt und der negative Anschluss des Oszilloskops (orange-weiß) wird auf **COM** gelebt. CH2 (blau) wird an **SigOut+** angeschlossen und der negative Anschluss erneut auf **COM**.

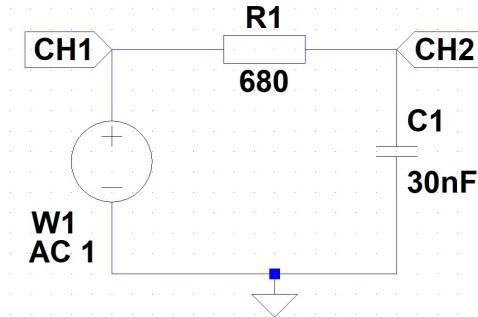


Abbildung 14: Bodediagramm Messschaltung

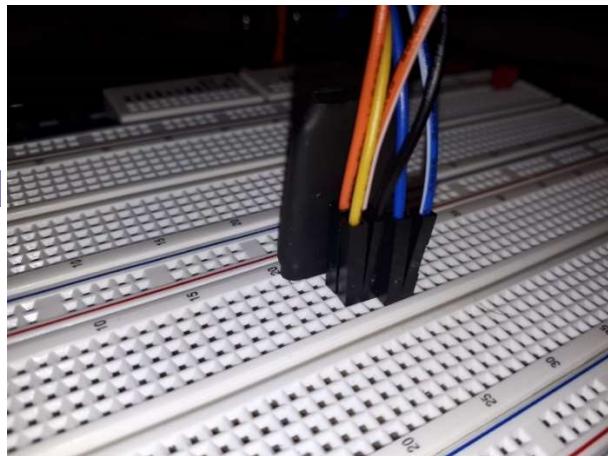


Abbildung 15: Bodediagramm Aufbau Steckbrett

Folgende Einstellungen wurden in der Software vorgenommen:

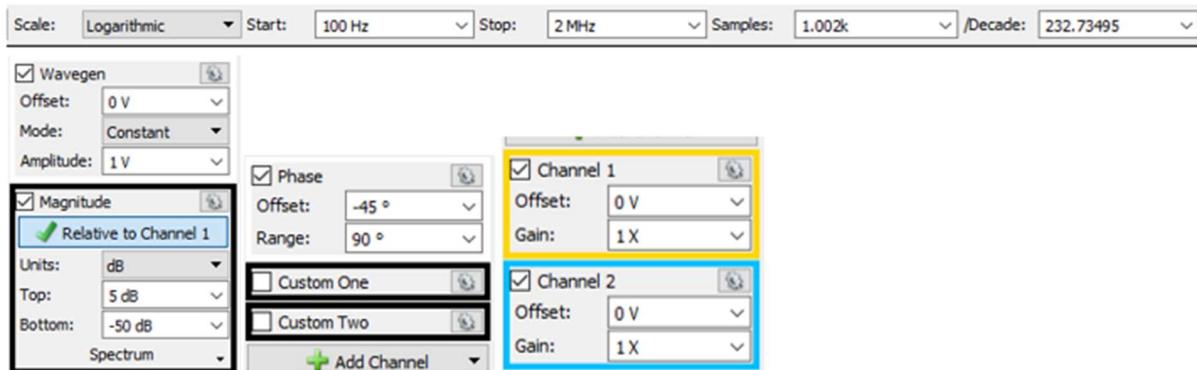


Abbildung 16: Einstellungen WaveForms Network Analyzer

### 3.5.2. ERGEBNIS

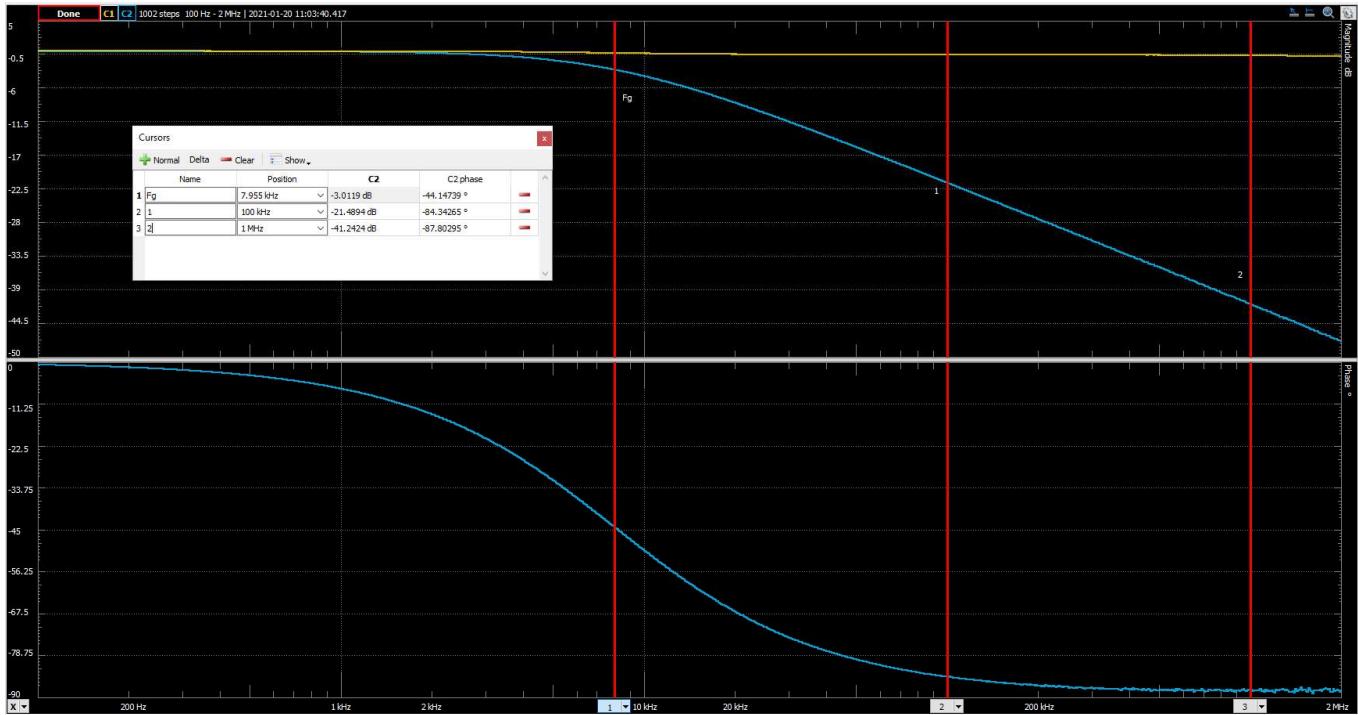


Abbildung 17: Ergebnis Bodediagramm TP Filter

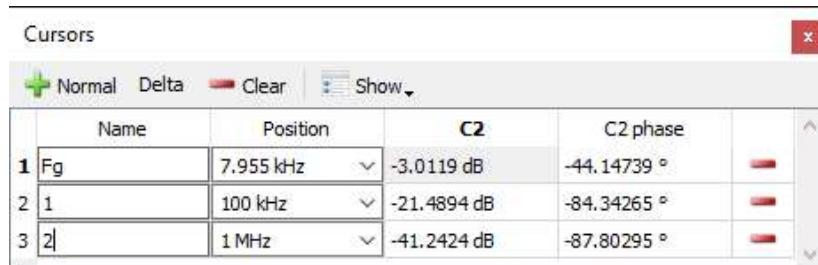


Abbildung 18: Bodediagramm Cursor Zoom

Das Ergebnis zeigt, dass es sich tatsächlich um einen TP Filter erster Ordnung handelt. Erkennen kann man diese am Abfall von -20dB pro Dekade, was typisch für einen passiven Filter erster Ordnung ist.

Da die Amplitude in diesem Frequenzbereich linear abfällt kann ausgeschlossen werden, dass sich zwischen R und C eine Induktivität befindet.

Die gemessene Grenzfrequenz weicht von der berechneten Grenzfrequenz ab, das lässt sich durch Toleranzen der Bauteile, Messgeräte, und den unterschiedlichen Messmethoden erklären.

### 3.6. SIMULATION

Mit einer abschließenden Simulation des RC Tiefpasses mit den ermittelten Werten für die Bauteile wird dient abschließend noch als Überprüfung des im Vorherigen schritt aufgenommenem Bodediagramm.

Die Simulation wird mit Der SW LT Spice durchgeführt.

#### 3.6.1. MESSAUFBAU

Der Kapazitätswert für die Simulation wird, mit der aus dem Bodediagramm ermittelten Grenzfrequenz und dem bereits bekannten Widerstand erneut berechnet.

$$C1 = \frac{1}{2\pi R1 * fg} = \frac{1}{2\pi * 680 * 7955Hz} = 29,4219nF$$

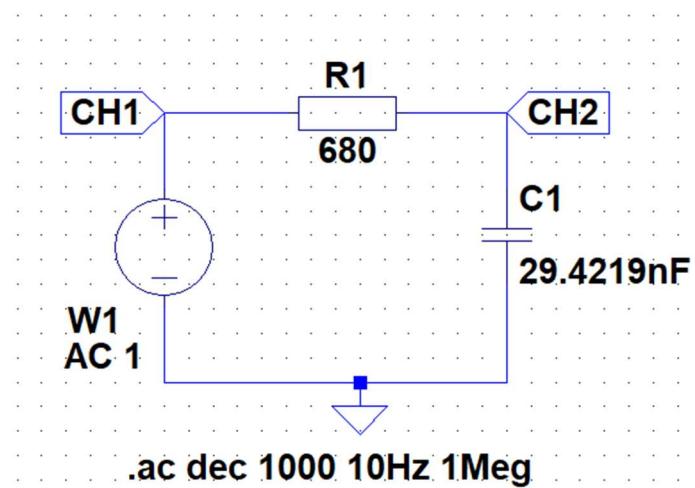


Abbildung 19: Schaltplan Simulation

### 3.6.2. ERGEBNIS

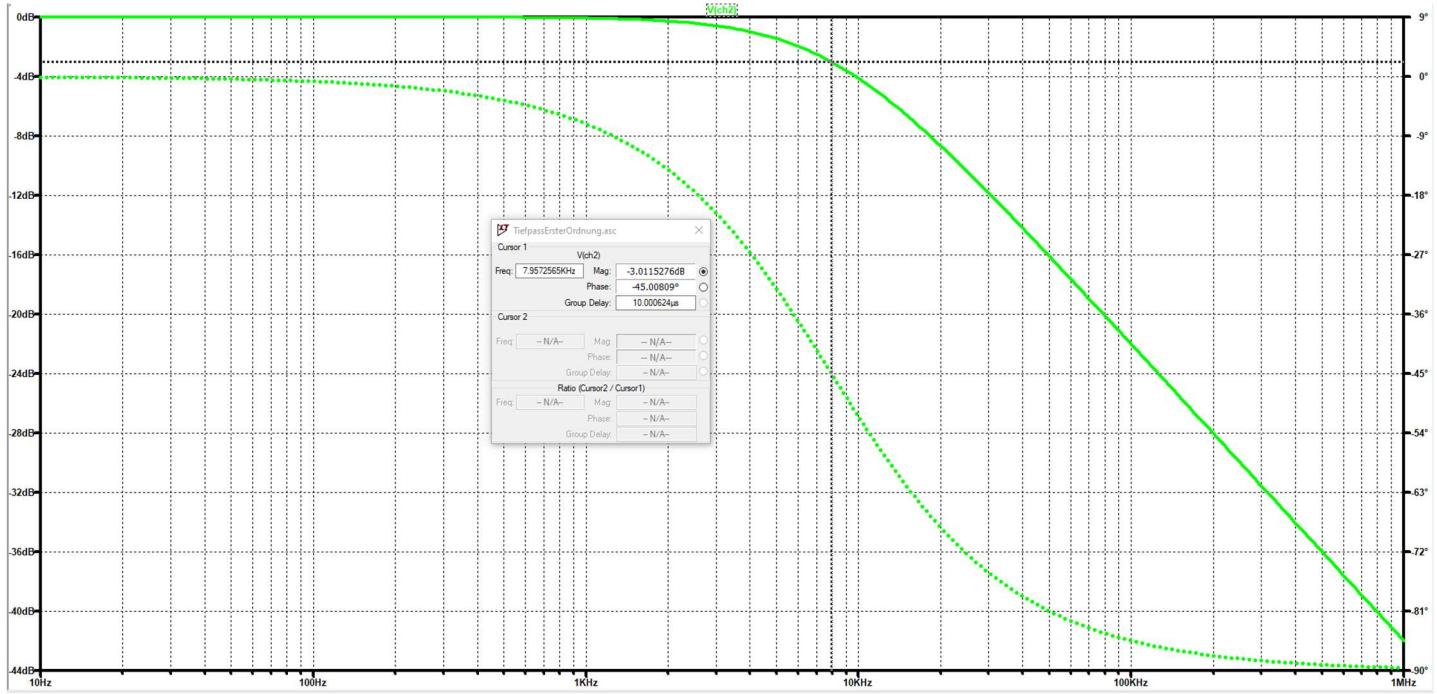


Abbildung 20: Ergebnis Simulation



Abbildung 21: Zoom Cursor

### 3.6.3. VERGLEICH BODE UND SIMULATION

Wie man aus den Grafiken entnehmen kann stimmt sie Simulation und die Messung größtenteils überein.  
Abweichungen sind durch die Toleranzen der Messgeräte und Bauteile zu erklären.

### 3.7. ZUSAMMENFASSUNG DER MESSERGEBNISSE

Zusammenfassend besteht die Black Box aus einem Passiven RC Tiefpassfilter 1.Ordnung. Der Eingang des Filters ist zwischen **SigIn+** und **SigIn-** und der Ausgang ist zwischen **SigOut+** und **SigOut-**.

Die Bauteilwerte sind für den Widerstand 680 Ohm und für den Kondensator 29,42nF. Die Grenzfrequenz des Filters ist somit bei 7.95kHz.

Zwischen **Uver+** und **GND** ist nur ein 47,7kOhm Widerstand verbaut. Dieser Teil der Schaltung und der TP Filter sind unabhängig von einander.

Anlegen einer Spannung zwischen **Uver+** und **GND** beeinflusst das RC Tiefpassfilter nicht. Da keine direkte interne Verschaltung vorhanden ist.

Eine nützliche Funktion für den Widerstand gibt es, wenn nur eine Versorgung angelegt wird, nicht.  
Theoretisch könnte dieser Teil mit dem Filter verschalten werden.

## 4. DIGITAL BOARD

### 4.1. AUFGABENSTELLUNG

Der Zweite Teil des Messprojektes ist ein Digitales Board welches laut den Informationen aus dem vorgegebenen Pin-Out auf Knopf druck an drei verschiedenen Ausgängen eine serielle Kommunikation starten sollte. Da bisher nur I2C, SPI und UART behandelt wurden ist die erste Annahme das es sich um diese Protokolle handeln wird.

Bevor etwas gemessen wird sollte zuerst der Aufbau des DUT beschrieben werden, was kann man durch draufschlauen auf das Board erkennen.

Anschließend sollten technische Spezifikationen wie Stromverbrauch und Prozessorgeschwindigkeit, falls möglich, ermittelt werden.

Abschließend sollte herausgefunden werden auf welchem der drei Pin-Header welche serielle Kommunikation stattfindet und es sollten quantitative Daten wie Busgeschwindigkeit und der jeweils eingestellte Übertragungsmodus und abschließen noch das übertragen Datenwort ermittelt werden.

Dies wird mittels Oszilloskops und Logic Analyzer des Analog Discovery Studios bewerkstelligt.

#### 4.1.1. BOARD AUFBAU

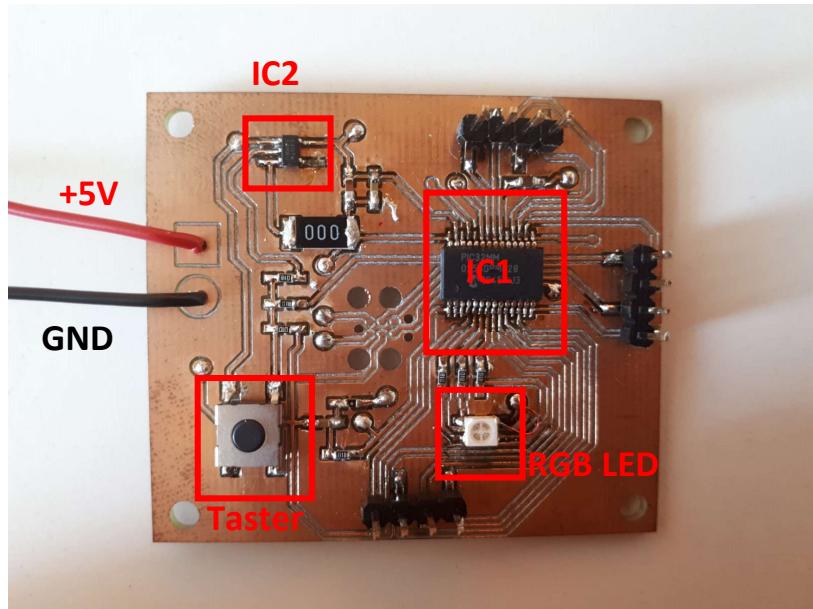


Abbildung 22: Aufbau Digital Board

Auf dem Board konnten folgende Komponente beobachtet werden.

Ein Taster, zwei ICs, eine RGB LED, drei vier-Pin Stifteleisten.

##### IC1: PIC32mm0256gpm028:

Hierbei handelt es sich um eine 32Bit Microcontroller der Firma Microchip.

##### IC2: Spannungsregler:

Auf dem Board befindet sich ein Bauteil im SOT23-5 Gehäuse mit der Bezeichnung **330T 34MRU**. Eine Internetrecherche zum Bauteil ergab kein brauchbares Ergebnis.

Da das Bauteil auf einem Pin direkt mit dem Anschluss der Versorgungsspannung verbunden ist und ein weiterer Anschluss auf den Microcontroller führt, wird es sich sehr wahrscheinlich um einen 3.3 V Linearen Spannungsregler handeln. Die Annahme basiert darauf das 330 in der Bezeichnung steht. Ob dies stimmt wir mit einer Messung überprüft.

##### RGB LED:

Ein weiteres Bauteil ist eine RGB LED die bei der Betätigung des Tasters Periodisch ein und ausgeschaltet wird, die Farbe der LED ist weiß was daraufhin deutet das alle Farben gleich stark leuchten. Die RGB LED ist über drei Vorwiderstände mit drei PINS des Microcontrollers Verbunden.

#### 4.1.2. GLEICHSPANNUNGS MESSUNG

Zuerst wird das Board versorgt und es wird im nicht aktiven Modus (Taste nicht gedrückt) mit dem DMM die Spannung an den Pins ermittelt. Anschließend wird die Messung mit Betätigtem Taster wiederholt.

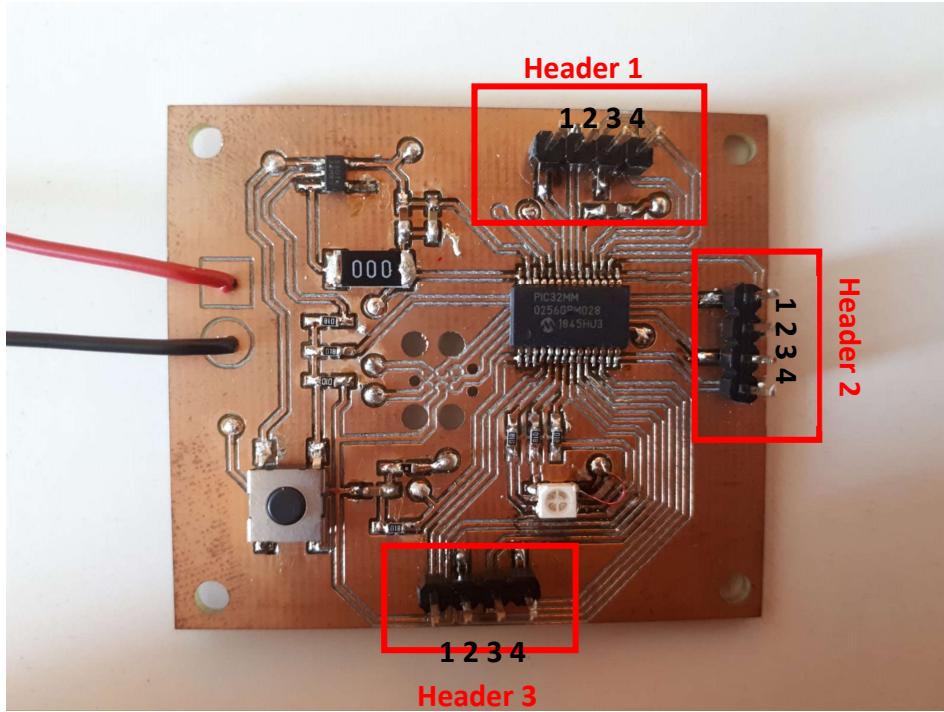


Abbildung 23: Pin-Nummerierung

Im Standby Modus kann keine Spannung an den Header Pins gemessen werden.

Nach Betätigung des Tasters konnte folgende Spannungen gemessen werden:

Header 1		Header 2		Header 3	
Pin	Spannung [V]	Pin	Spannung [V]	Pin	Spannung [V]
1	0	1	3,28	1	0
2	0	2	0	2	0
3	3,28	3	0	3	3,28
4	3,28	4	3,28	4	0

Tabelle 3: Gleichspannungsmessung Digital Board

An den Pins, an denen eine Spannung gemessen wurde, wird als nächstes eine Messung mit dem Oszilloskop durchgeführt.

---

## 4.2. SPANNUNGSREGLER.

Zuerst wird festgestellt, ob es sich bei IC2 tatsächlich um einen Spannungsregler handelt

---

### 4.2.1. MESSAUFBAU:

Das Board wird wie in der DC Messung vorab versorgt und der Taster wird noch nicht betätigt. Mit dem Oszilloskop wird wie in *Abbildung 24* zu sehen CH1+ auf ein Via gelegt welches direkt mit der Versorgungsspannung verbunden ist. CH2+ hingegen wird auf dem großen 0 Ohm SMD Widerstand gelegt, welcher direkt mit dem VCC Anschluss des Microkontrollers verbunden ist.

Das Board wird über die 5V 1A Versorgungsspannung des Analog Discovery Studio verbunden.

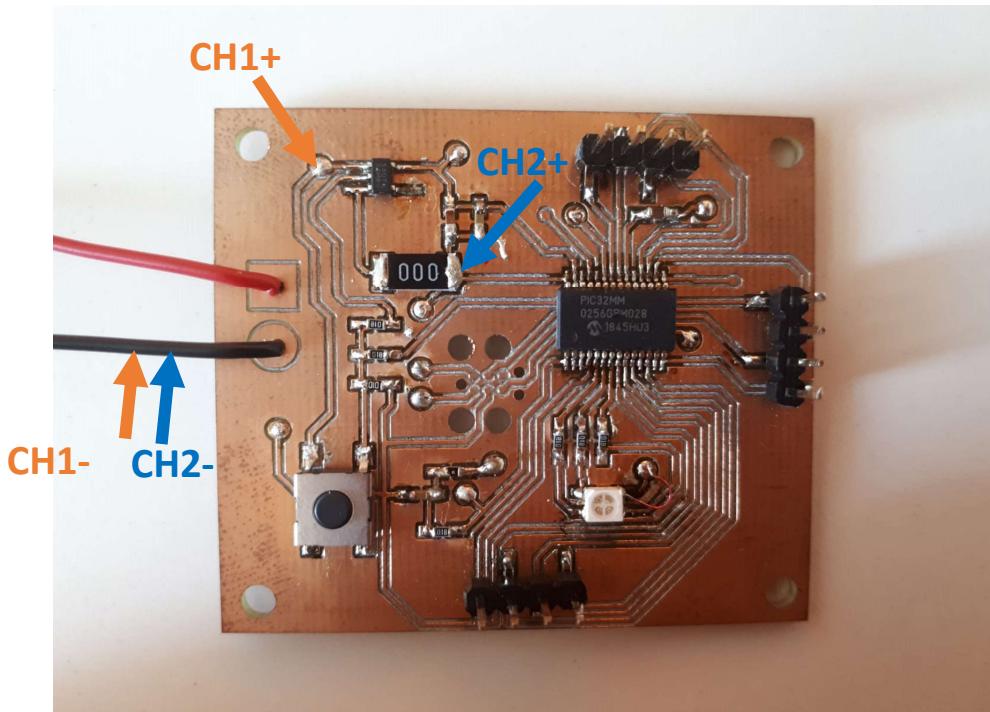


Abbildung 24: Spannungsregler Messpunkte

Für die Messung wird der Zeitbereich des Oszilloskops auf mehrere Sekunden gestellt, um die zwei Spannungen im Zustand des nicht betätigten Tasters und den Zustand nach Betätigung des Tasters aufzunehmen.

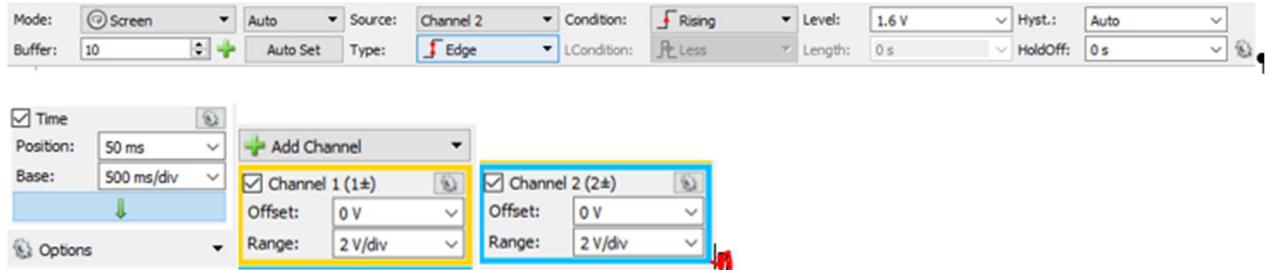


Abbildung 25: WaveForms Oszilloskop Settings Spannungsregler

#### 4.2.2. ERGEBNIS:

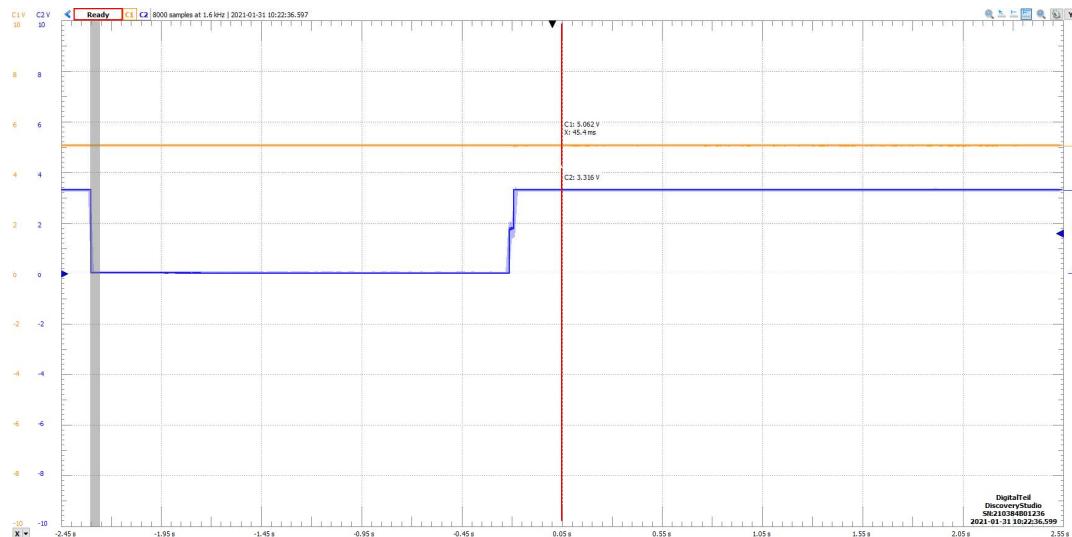


Abbildung 27: Ergebnis Spannungsregler Messung



Abbildung 26: Spannungsregler Messung zoom

Wie aus den Messungen zu erkennen ist bleibt die Versorgungsspannung (orange) konstant. CH2 ist zunächst auf null Volt der Sprung auf 3.3V ist der Zeitpunkt, an dem der Taster betätigt wurde. Das lässt darauf schließen, dass der µC bis zur Betätigung des Tasters keine Versorgungsspannung besitzt und der Spannungsregler einen Enable Eingang hat, welcher so bestalten ist, dass er nach Betätigung des Tasters aktiv bleibt.

#### 4.3. RGB LED

Beim Betätigen des Tasters wird beobachtet das die LED Periodisch ein- und aus-schaltet. Die erste Messung wurde mit einer Stoppuhr und der runden Funktion gemacht und ergab ein durchschnittliches Ergebnis von 1,245 Sekunden.

Runde	Zeit in [s]
1	1,19
2	1,27
3	1,21
4	1,22
5	1,29
6	1,39
7	1,17
8	1,22

$$t_{on} = \frac{1,19 + 1,27 + 1,21 + 1,22 + 1,29 + 1,39 + 1,17 + 1,22}{8} = 1,245 \text{ s}$$

Für ein Exaktes bestimmen der Blink Periode wird nun mit dem Oszilloskop direkt an der RGB LED gemessen:

##### 4.3.1. MESSAUFBAU:

Mit dem Oszilloskop CH1 (orange) wird über einen Passiven Tastkopf direkt an einem der Vorwiederstände der RGB LED gemessen.

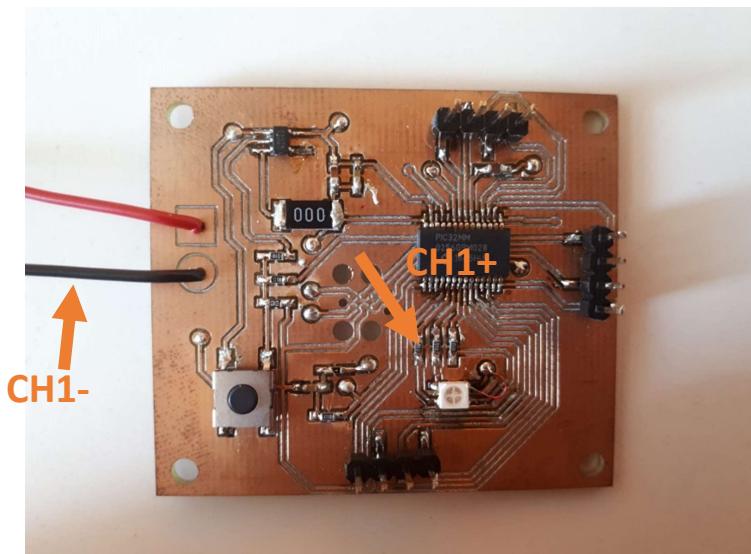


Abbildung 28: Messpunkte LED-Messung

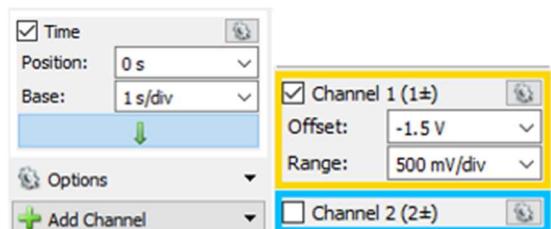


Abbildung 29: Oszilloskop Einstellungen LED

#### 4.3.2. ERGEBNIS:

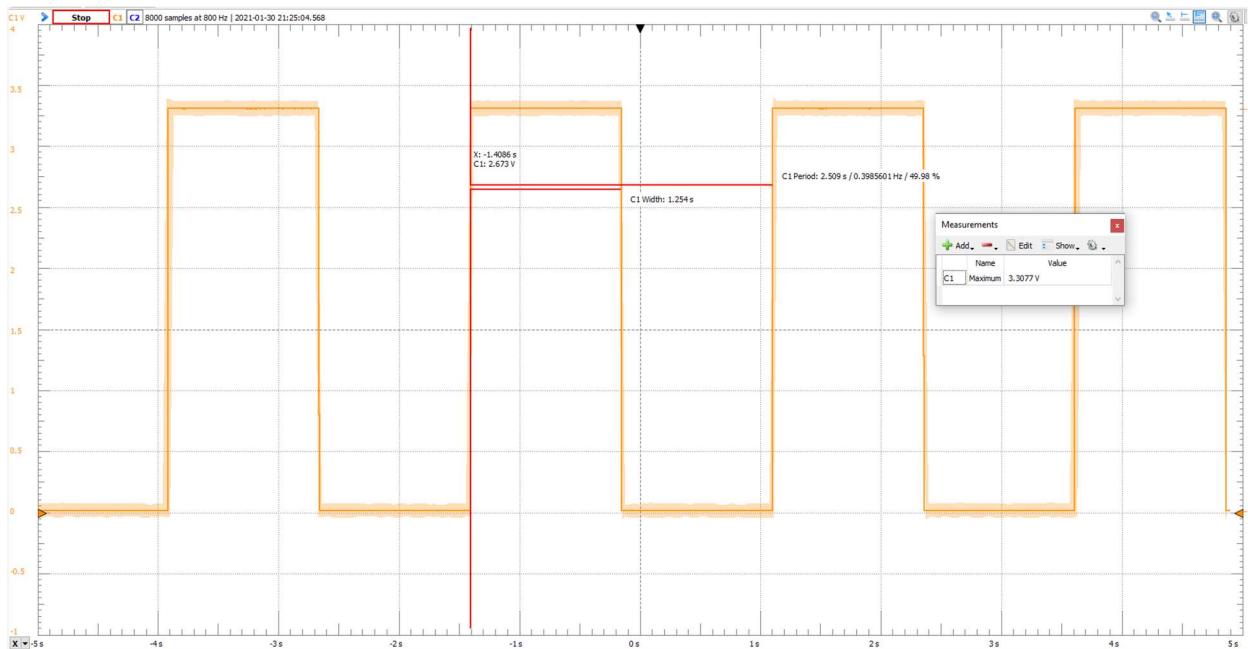


Abbildung 30: Ergebnis LED-Messung

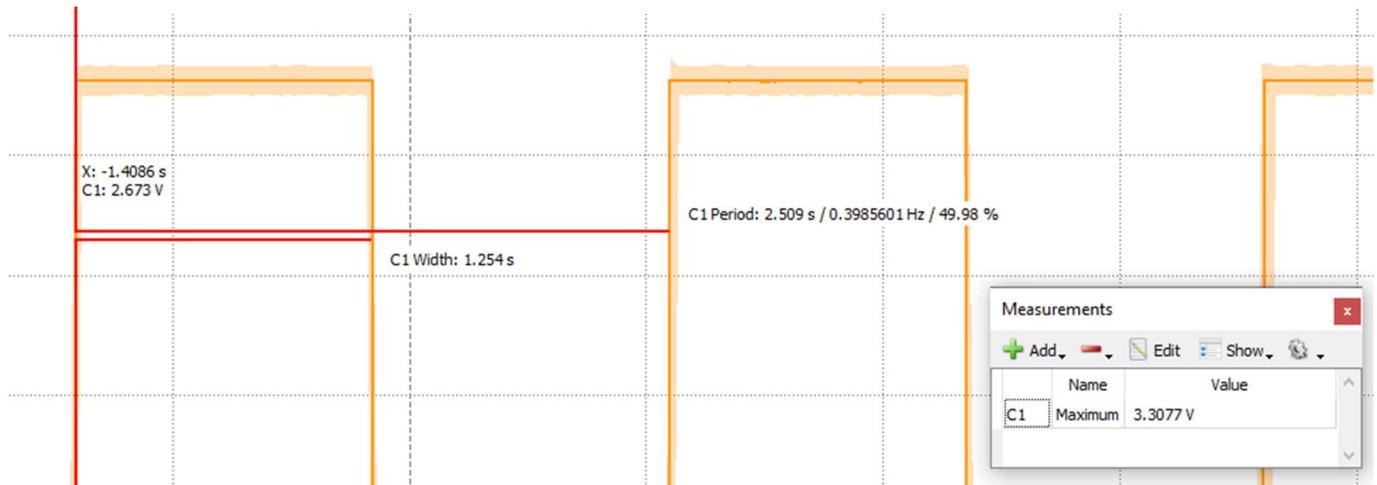


Abbildung 31: Ergebnis LED-Messung Zoom

Mit der Cursor Funktion wurden ermittelt, dass das Signal mit einem Duty cycle von 49.98% eine Periodendauer von 2.509 s und eine On-Time von 1.25s beträgt, was mit der Stoppuhrmessung übereinstimmt.

Mit der Messfunktion Maximum wurde auch ermittelt das die Led mit 3.3 V versorgt wird.

#### 4.4. STROMMAUFNAME

Die Stromaufnahme wurde über eine Messshunt und den Differenziellen Eingang CH1 (orange) Des Analog Discovery Studio durchgeführt.

In der Messung des Spannungsreglers wurde festgestellt das die gesamte Schaltung vor Betätigung des Tasters keinen Strom Verbrauch, daher kann die Strommessung im nicht aktiven zustand weggelassen werden. Hierzu wird über einen längeren Zeitraum die Spannung, die am Messshunt abfällt, gemessen und über das Ohm'sche Gesetz der Strom berechnet.

##### 4.4.1. MESSAUFBAU:

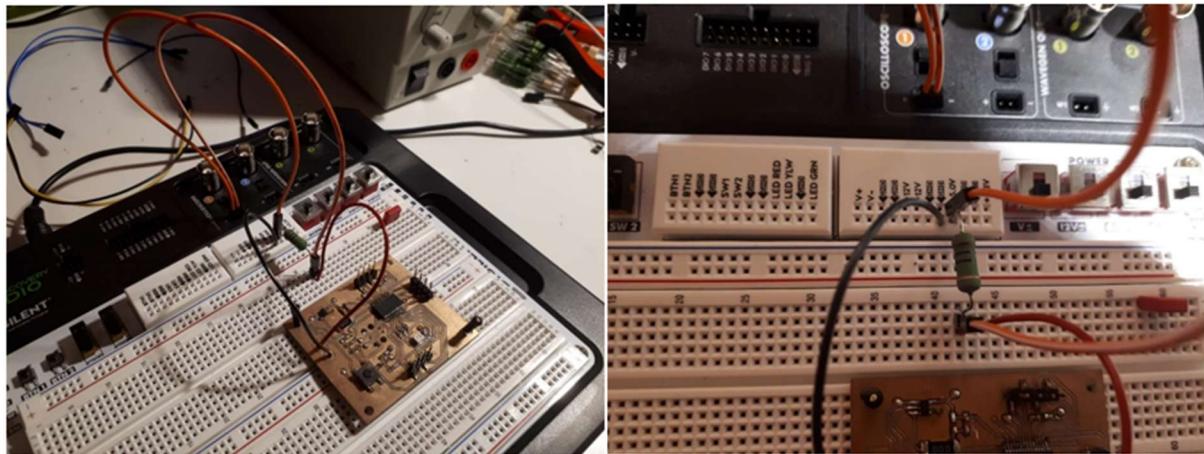


Abbildung 32: Messaufbau Stromverbrauch

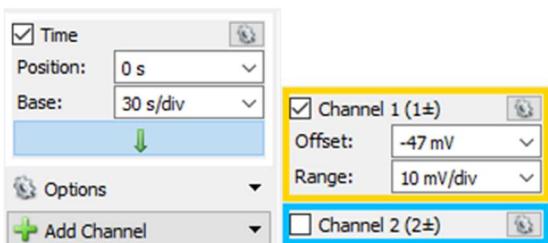


Abbildung 33: Oszilloskop Einstellungen Messung Stromverbrauch

#### 4.4.2. ERGEBNIS

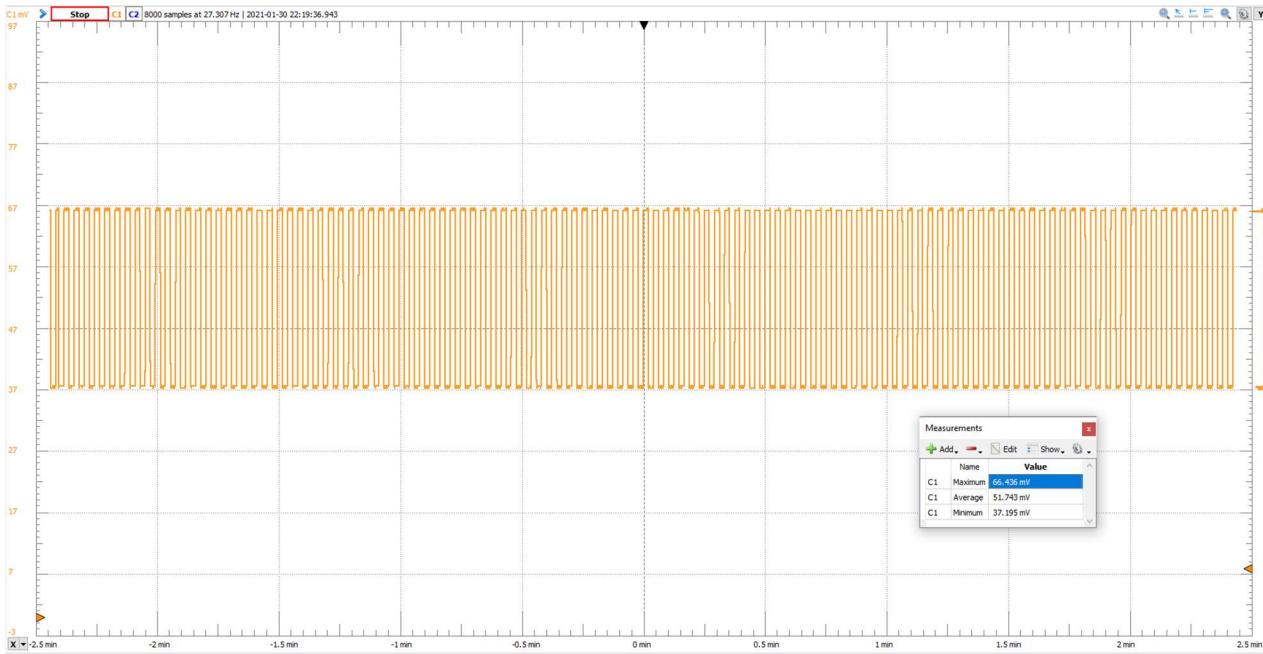


Abbildung 34: Ergebnis Messung Stromverbrauch

Measurements		
	Name	Value
C1	Maximum	66,436 mV
C1	Average	51,743 mV
C1	Minimum	37,195 mV

Abbildung 35: Zoom Messung Stromverbrauch

Der gesamte Stromverbrauch der Schaltung setzt sich zusammen aus einem minimalen Strom und dem Strom, der durch Aktivieren der LED noch hinzukommt. Das ständige Pulsieren des Stromes ist die LED und die untere Schwelle ist der allgemeine Stromverbrauch der restlichen Komponente auf dem Board. Mit der Messfunktion wurden der Maximale Spannungsabfall und der minimale Spannungsabfall automatisch gemessen. Zusätzlich wurde noch über die Avareg Messung der Durchschnittliche Spannungsabfall bestimmt. Mit den gemessenen Spannungen ergibt sich nun ein Strom wie folgt:

Maximalstrom:

$$I_{max} = \frac{U_{max}}{R_{shunt}} = \frac{66,436 mV}{10,4 \text{ Ohm}} = 6,388 mA$$

Durchschnitt:

$$I_{mean} = \frac{U_{mean}}{R_{shunt}} = \frac{51,743 mV}{10,4 \text{ Ohm}} = 4,975 mA$$

Minimalstrom:

$$I_{min} = \frac{U_{min}}{R_{shunt}} = \frac{37,195 mV}{10,4 \text{ Ohm}} = 3,576 mA$$

#### 4.5. SERIELLE SCHNITTSTELLE HEADER 1 (IC2):

Da nun Basis Werte der Schaltung ermittelt wurden beginnt die Suche nach den Seriellen Schnittstellen.

Die erste Messung wird auf dem Pin-Header 1 durchgeführt. Zuerst wird an den Pins gemessen wo bei der Messung mit dem DMM eine Spannung festgestellt wurde.

##### 4.5.1. MESSAUFBAU/ MESSUNG OSZILLOSKOP:

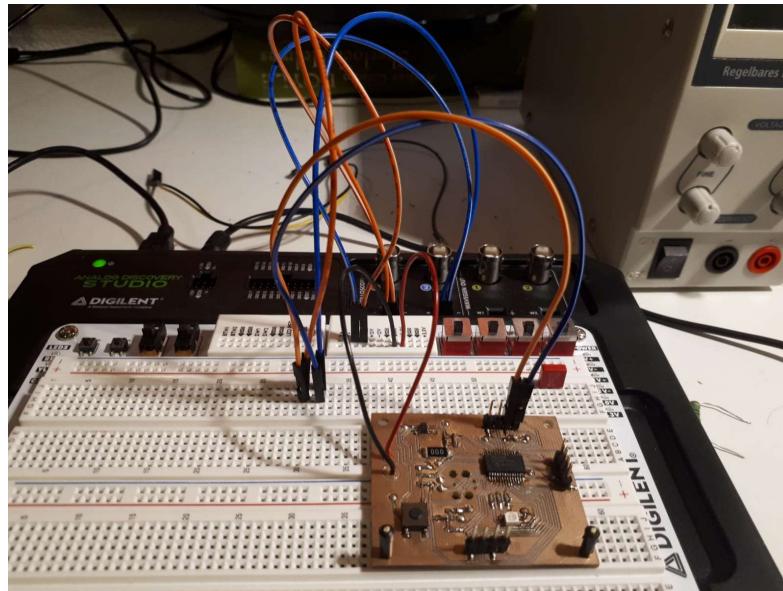


Abbildung 37: Messaufbau Oszilloskop Messung Header1

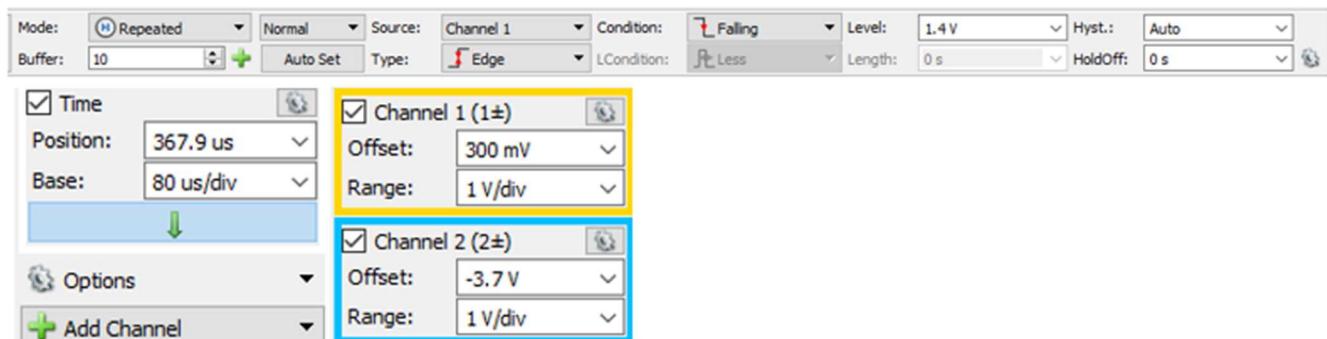


Abbildung 36: Oszilloskop Settings Header 1

CH1+ (orange) Auf Header 1 Pin3, CH2+ (blau) auf HEADER 1 Pin4, CH1-, CH2- auf GND

#### 4.5.2. ERGEBNIS OSZILLOSKOP MESSUNG

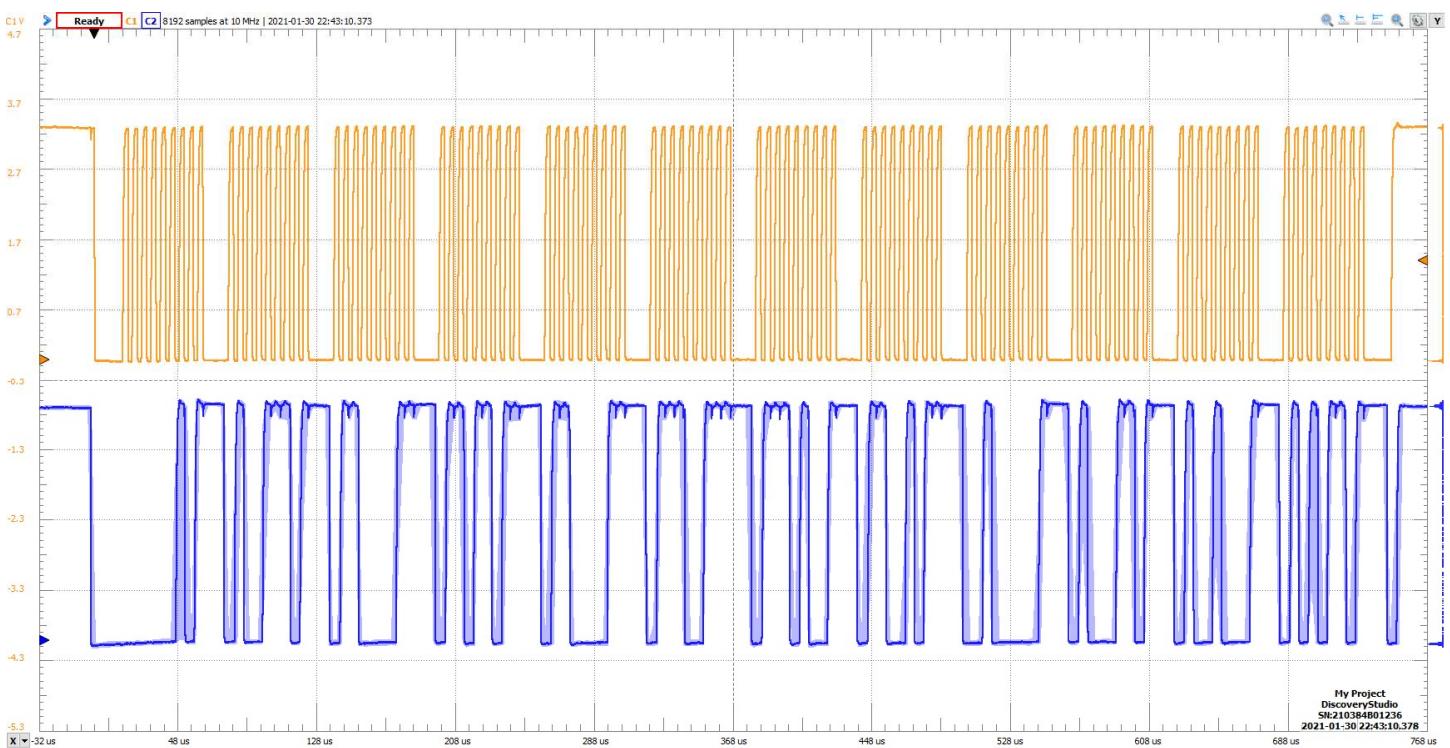


Abbildung 38: Ergebnis Messung Header1

Nach dieser Messung steht fest das es sich um den I2C Bus handelt Pin 3 ist SCL Pin 4 ist SDA. Auf den anderen zwei Pins konnte keine Spannung gemessen werden.

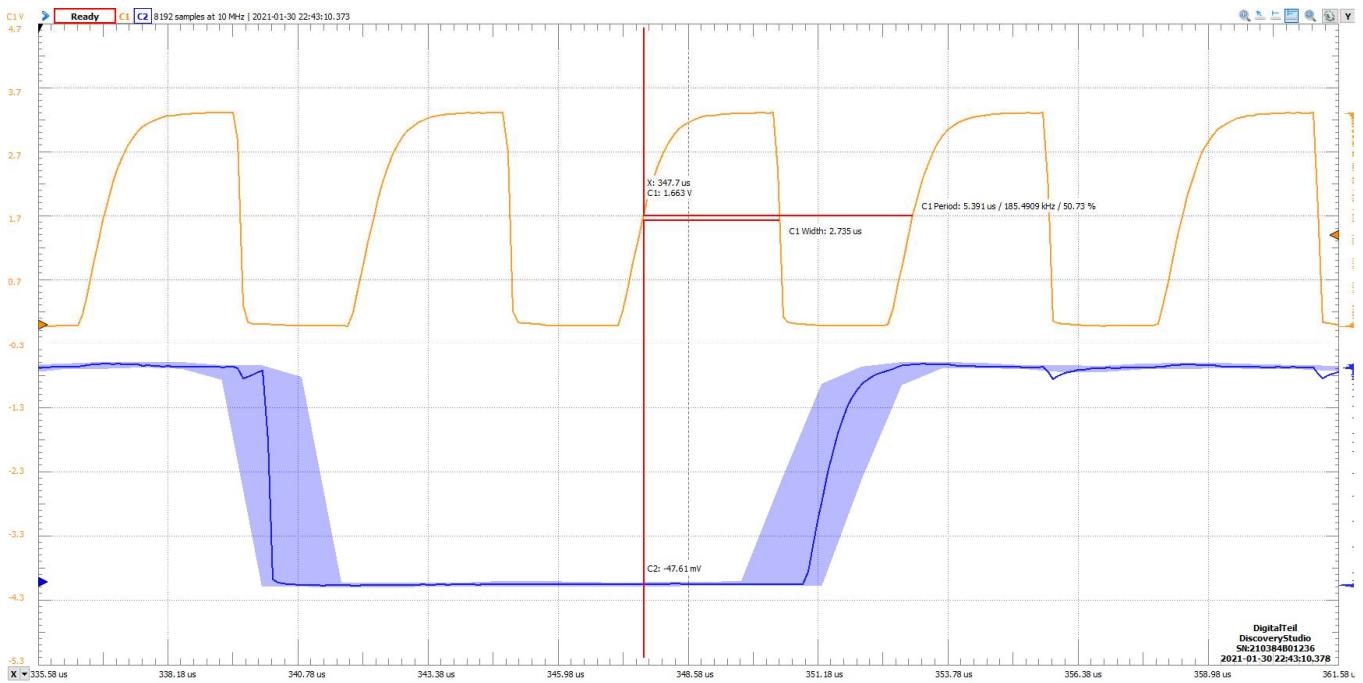


Abbildung 39: Zoom Bestimmung der Busgeschwindigkeit

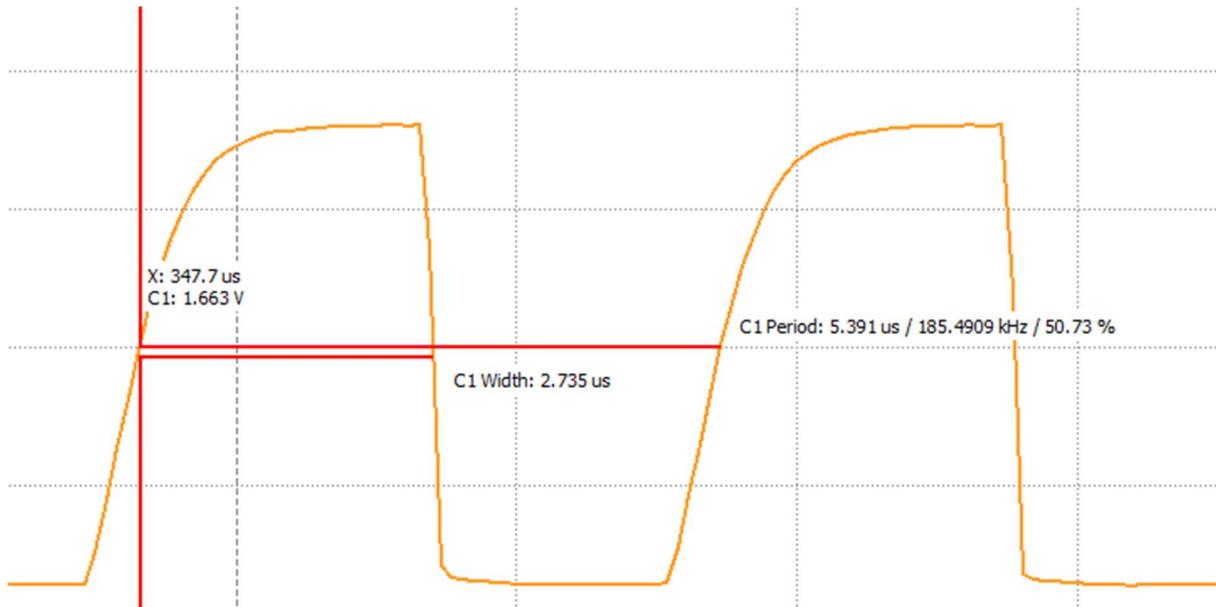


Abbildung 40: Zoom 2 Bestimmung der Busgeschwindigkeit

Um die Geschwindigkeit des Busses zu bestimmen, wurde auf der SCL Leitung die Frequenz des Taktes mit der Cursorfunktion gemessen und ergibt eine Bus Geschwindigkeit von 185.49kHz

---

#### 4.5.3. MESSAUFBAU /MESSUNG LOGIC ANALYZER

Nachdem nun eine Messung mit dem Oszilloskop gemacht wurde kann man nun die Einstellungen für den Protokoll Decoder des Logic Analyzers vornehmen und somit das übertragene Datenwort ermitteln.

Da neun SCL pulse gezählt werden können befindet sich der I2C Bus im 8 Datenbits + 1 RW Bit.

Die Anschlüsse DIO0 und DIO1 werden an Pin3 und Pin 4 angeschlossen.

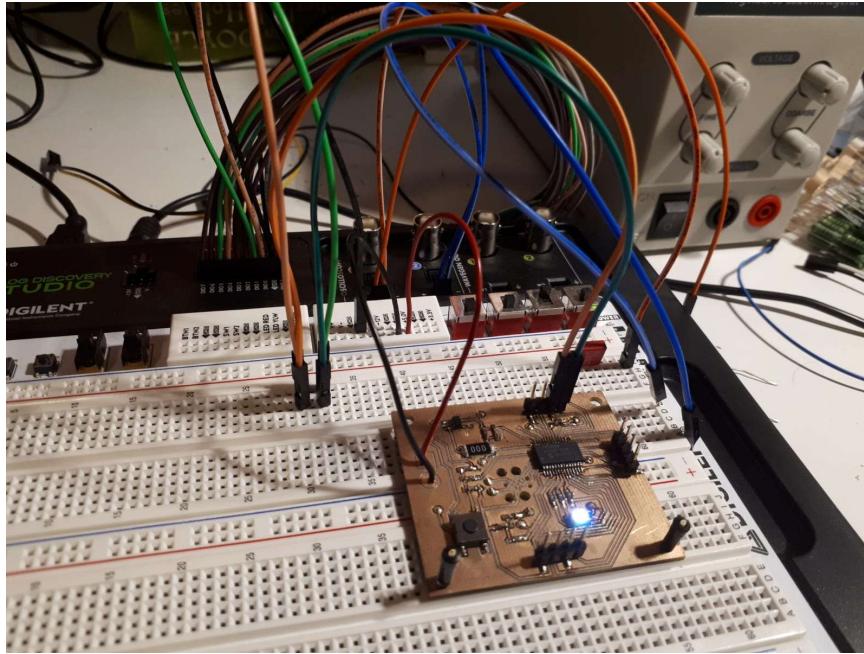


Abbildung 41: Messaufbau Logic Analyzer

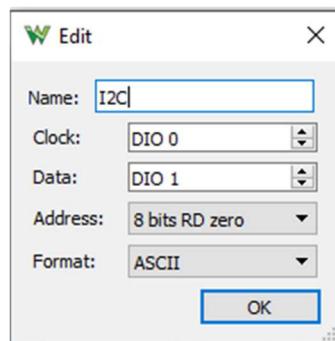


Abbildung 42: Decoder Einstellungen

Getriggert wir auf DIO0 (SCL) auf eine Fallende Flanke.

#### 4.5.4. ERGENIS MESSUNG LOGIC ANALYZER

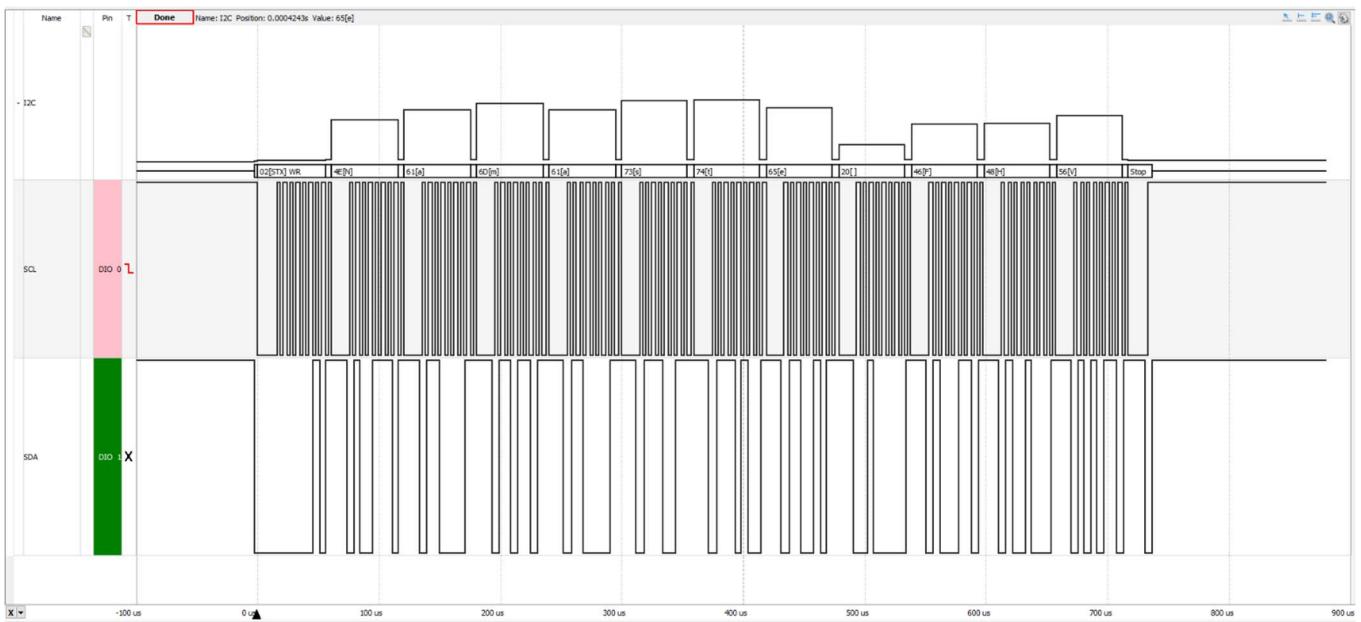


Abbildung 44: Ergebnis Logic Analyzer Messung

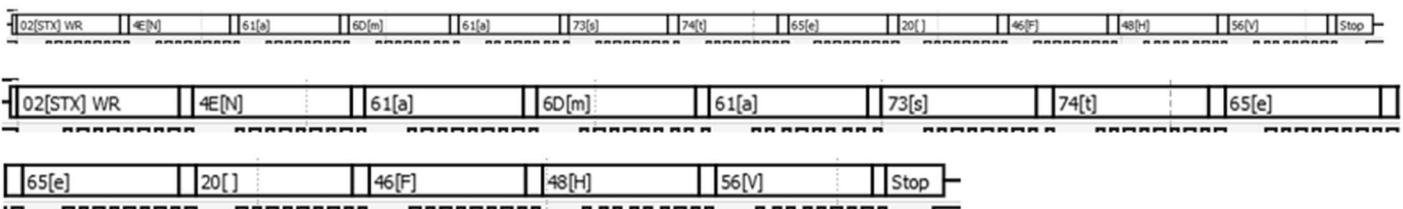


Abbildung 43: Zoom Dekodiertes Datenwort

Die Einstellungen des Decoders liefern ein Sinnvolles Ergebnis.

Das Übertragen Wort lautet: „**Namaste FHV**“

## 4.6. SERIELLE SCHNITTSTELLE HEADER 2 (SPI)

Als nächstes wurde mit dem Oszilloskop auf dem Headers 2 an den Pins 1 und 4 gemessen.

### 4.6.1. MESSAUFBAU / MESSUNG OSZILLOSKOP:

Des Messaufbau ist derselbe wie bei der Messung von Header 1 nur auf anderen Pins.

Die Erste Messung erfolgt auf Pin 1 (CH1+ orange) und Pin 4 (CH2+ blau).

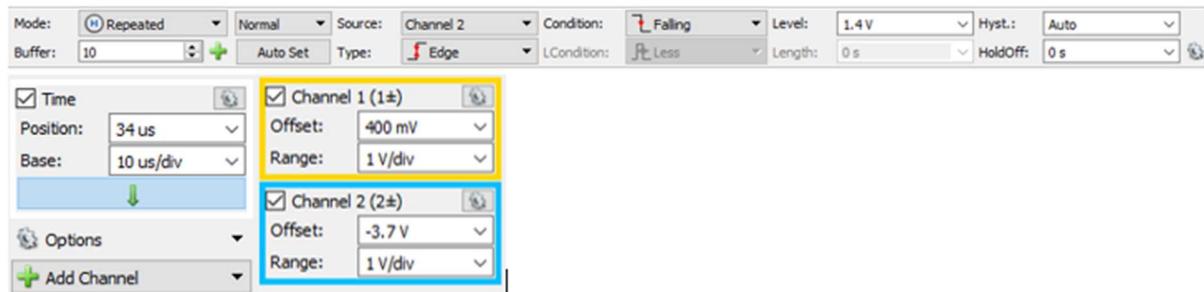
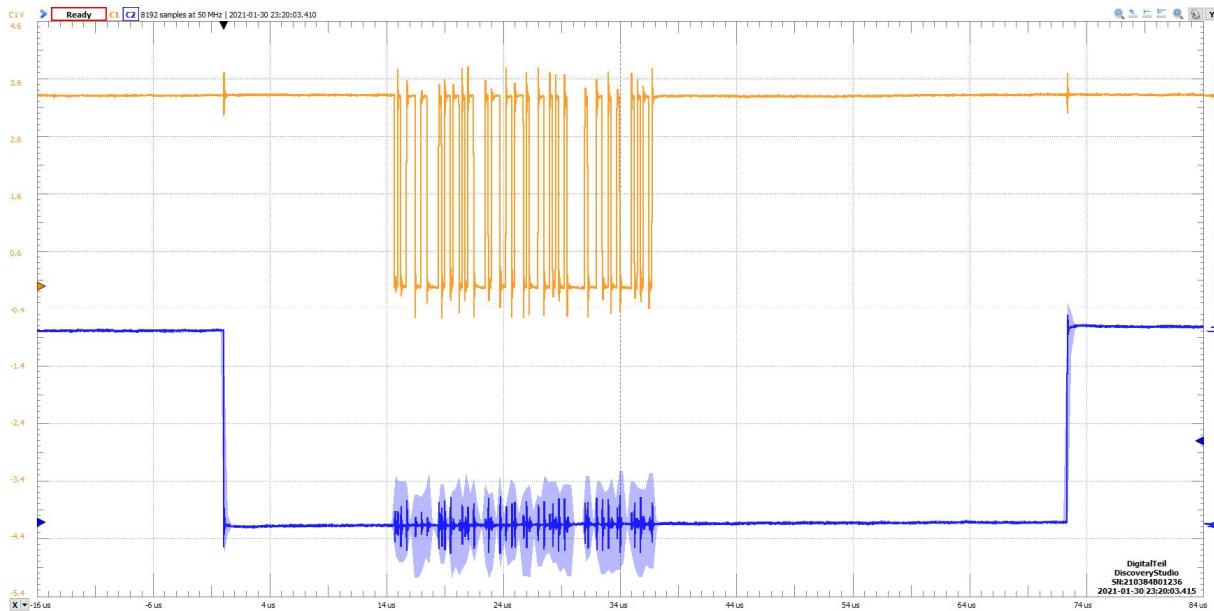


Abbildung 45: Oszilloskop Settings Header 2

#### 4.6.2. ERGEBNIS OSZILLOSKOP MESSUNG



Nach dieser Messung ist klar, dass es sich hier um ein SPI Protokoll handelt. CH2 zeigt das übliche Verhalten einer Chip Select Leitung und CH1 sieht aus wie die Datenübertragung

Als Nächstes wird mit CH2 des Oszilloskops Die CKL Leitung gesucht, um den Modus Des SPI festzustellen.

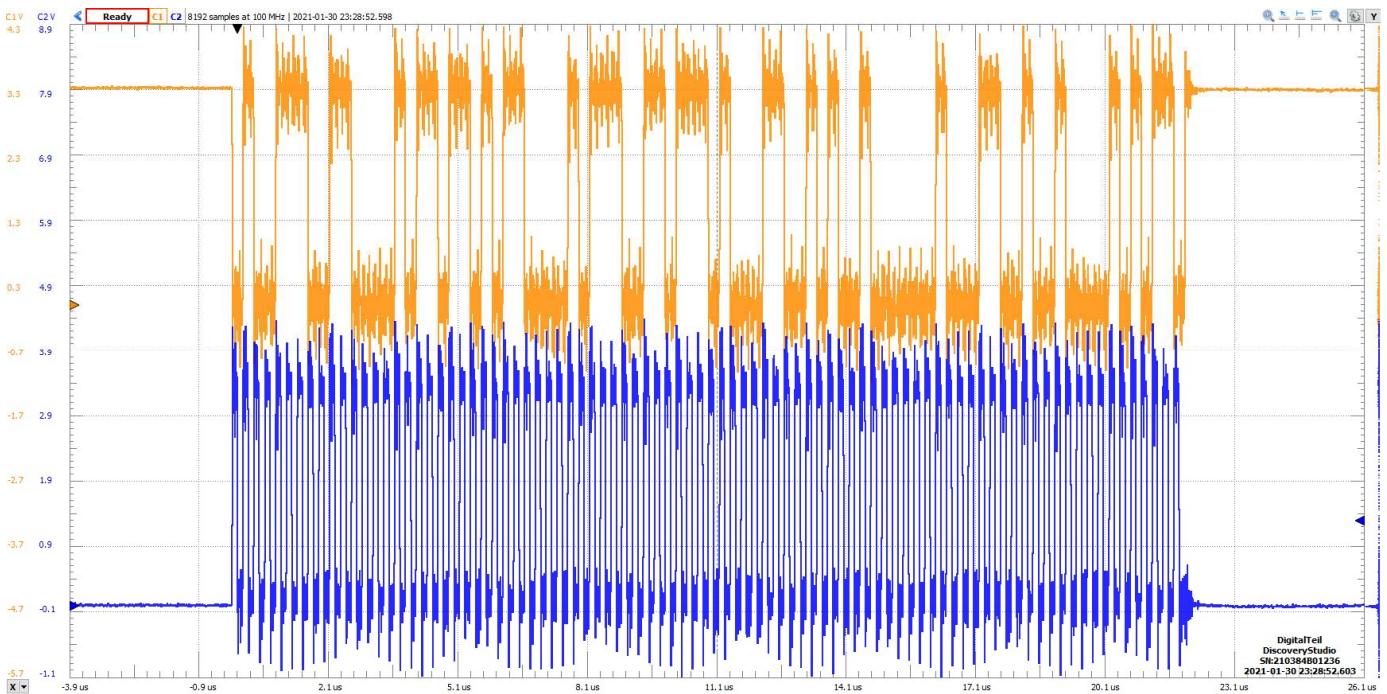


Abbildung 47: Ergebnis Messung Pin 3

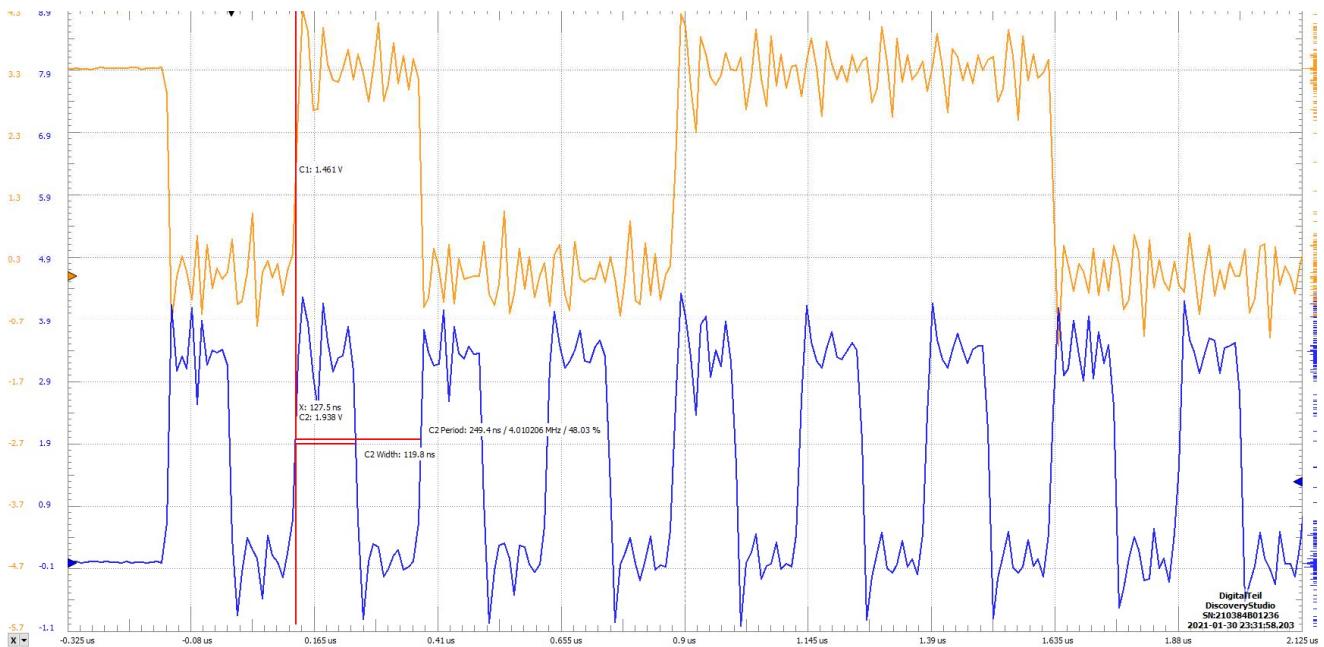
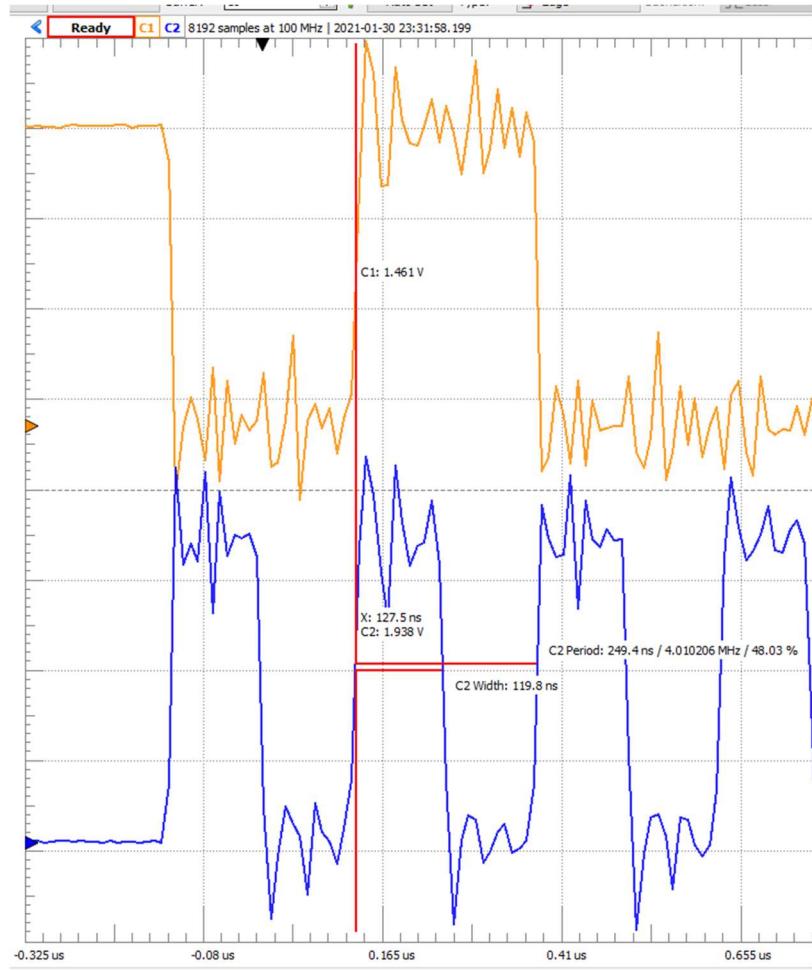


Abbildung 46: Zoom Ergebnis Pin 3

wie aus den Oberen zwei Bildern zu erkennen ist wurde die Clock Leitung auf Pin 3 des Headers gefunden. Auf Pin 2 konnte kein brauchbares Ergebnis ermittelt werden.



**Abbildung 48: Zoom Modus Bestimmung**

Aus den ermittelten Daten in *Abbildung 48* beträgt die Busgeschwindigkeit 4MHz.

Des Weiteren kann der SPI Mode bestimmt werden

CPOL = 0

Es muss sich um den MODUS handeln da die Takteleitung, bevor die Übertragung beginnt auf null Volt liegt.

CPHA = 1

Des Weiteren muss es sich um den Modus Clock Phase 1 handeln, da die steigende Flanke des CKL Signals direkt bei der Änderung der Datenleitung stattfindet und somit undefiniert sein kann, wohingegen bei der ersten Fallenden Flanke die Datenleitung einen definierten Zustand hat und die nächste Änderung der Datenleitung weiter entfernt ist

#### 4.6.3. MESSAUFBAU /MESSUNG LOGIC ANALYZER

Des Messaufbau ist derselbe wie bei der Messung von Header 1 nur auf anderen Pins.

Angeschlossen werden:

- DIO0 für die Select Leitung Pin4
- DIO1 für die Clock Leitung Pin3
- DIO2 für die Datenleitung Pin1

Getriggert wird auf DIO1 (Clock) auf eine Fallende Flanke.

Die Einstellung **Aktive Low** entspricht CPOL = 0, **Sample Falling** entspricht CPHA= 1, fallende Flanke.

Die Anzahl der übertragenen Bits und in welcher reinflogen die Daten gesendet werden wird zuerst eine Standard Einstellung vorgenommen. Sollte das Ergebnis ein unsinniges Resultat liefern wird durch Versuchen der richtige Modus erraten.

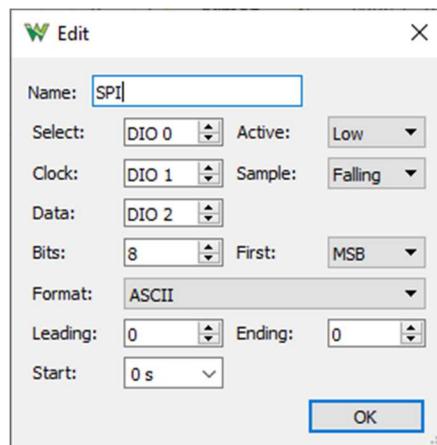


Abbildung 49: Einstellung Decoder SPI

#### 4.6.4. ERGEBNIS MESSUNG LOGIC ANALYZER

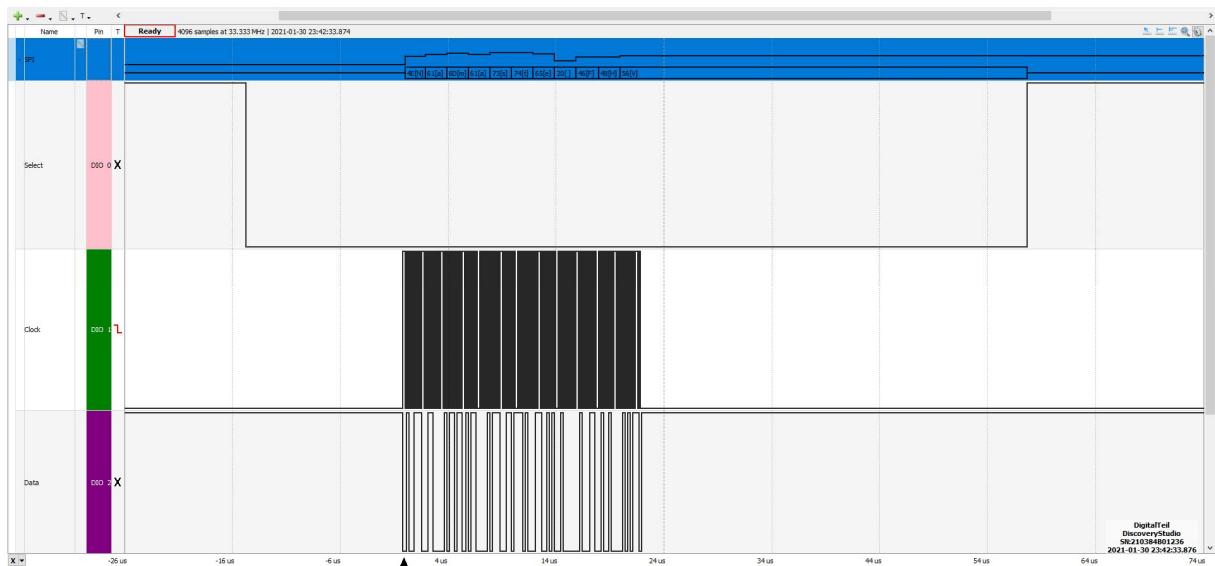


Abbildung 50: Ergebnis Logic Analyzer Messung Header 2 mit CS

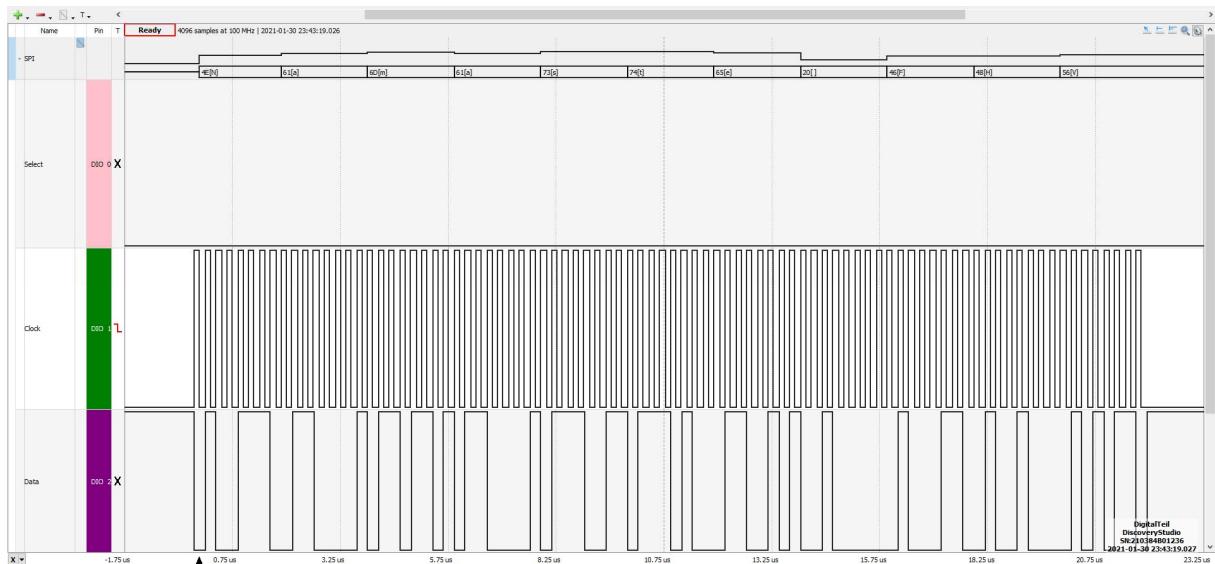


Abbildung 52: Ergebnis Logic Analyzer Messung ohne CS

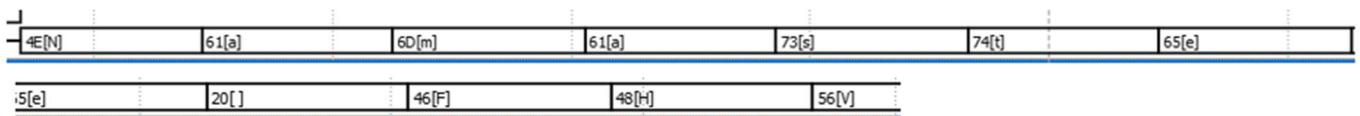


Abbildung 51: Zoom Decodiertes Datenwort SPI

Die Decoder Einstellung waren richtig.

Das Übertragen Wort lautet: „**Namaste FHV**“

## 4.7. SERIELLE SCHNITTSTELLE HEADER 3 (UART)

Nun bleibt nur noch ein Header übrig. Die Herangehensweise ist dieselbe wie beiden zwei Headern zuvor.

### 4.7.1. MESSAUFBAU / MESSUNG OSZILLOSKOP:

Des Messaufbau ist derselbe wie bei der Messung von Header 1 nur auf anderen Pins.

Es wird zuerst auf Pin 3 mit CH1 (orange) gemessen.

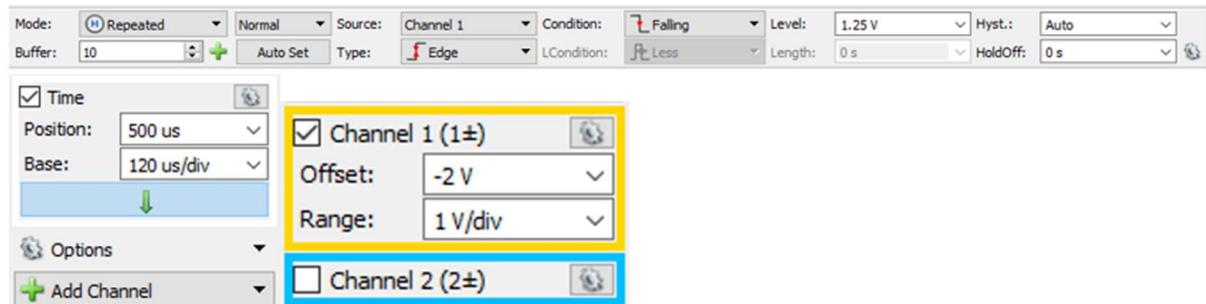


Abbildung 53: Oszilloskop Einstellungen Header 3

#### 4.7.2. EREGNIS MESSUNG OSZILOSKOP

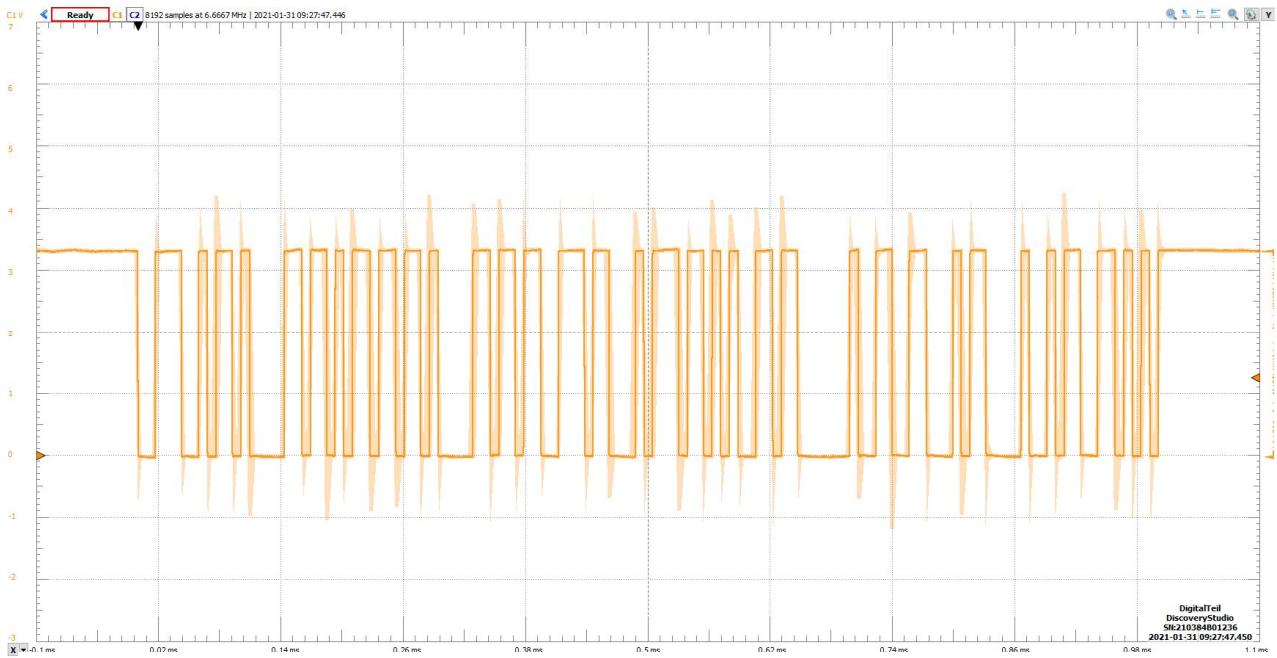


Abbildung 54: Ergebnis Oszilloskop Messung Header 3

Nur Auf Pin 3 konnte ein brauchbares Ergebnis gemessen werden, hierbei handelt es sich um eine Asynchrone Datenübertragung da eine Clock Leitung fehlt.

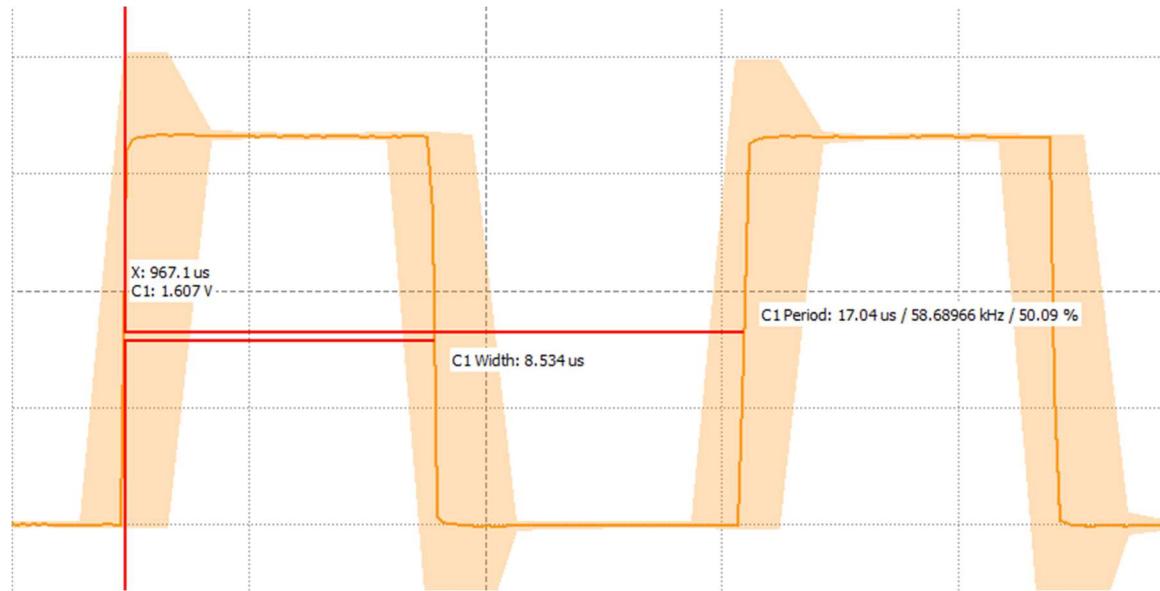


Abbildung 55: Messung Übertragungsrate

Es wurde eine Pulsbreite von 8,534us gemessen, durch folgende Formel kann die Übertragungsrate berechnet werden.

$$f_{BAUD} = \frac{1}{t_{ON}} = \frac{1}{8.534\mu s} = 117,178 \text{ kHz}$$

---

#### 4.7.3. MESSAUFBAU/ MESSUNG LOGIC ANALYZER:

DIO0 wird auf Pin3 von Header 3 angeschlossen und GND des Logic Analyzers Auf den gemeinsamen GND des - Analog Discovery Studio. Aus den Messungen mit dem Oszilloskop konnten die Baudrate bestimmt werden. Des Weiteren konnte bestimmt werden das 8 Bits übertragen werden plus einen Start und ein Stop Bit. Mit diesen Erkenntnissen wird nun die Decodier Funktion des Logic Analyzers eingestellt. Der Trigger wird so eingestellt das er auf eine Fallende Flanke triggert.

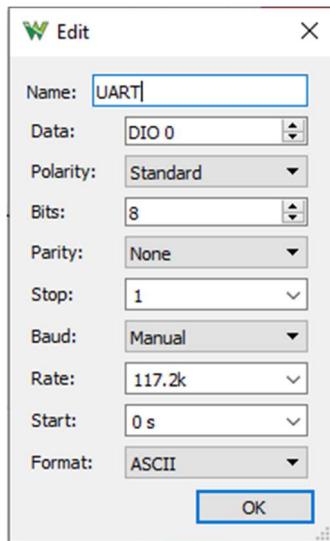


Abbildung 56: Logic Analyzer Decoder Einstellungen UART

#### 4.7.4. ERGENIS LOGIC ANALYZER:

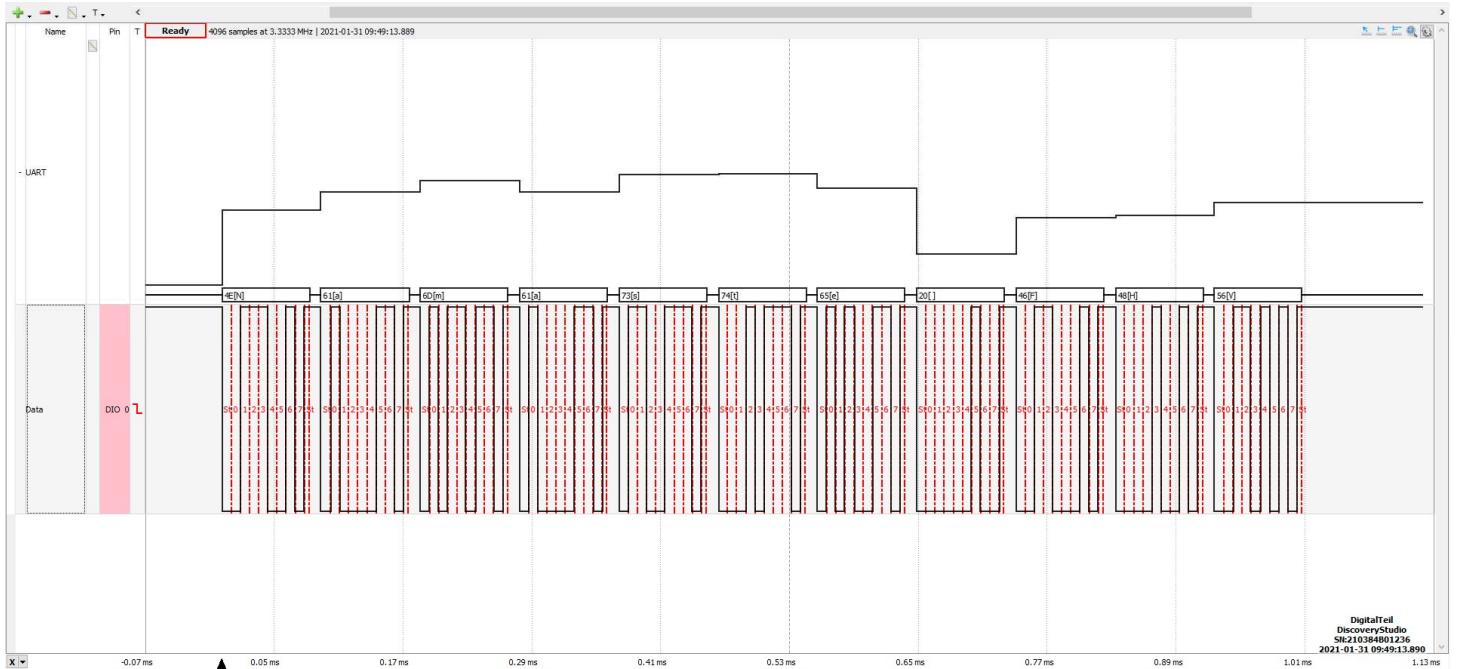


Abbildung 57: Ergebnis Messung Logic Analyzer

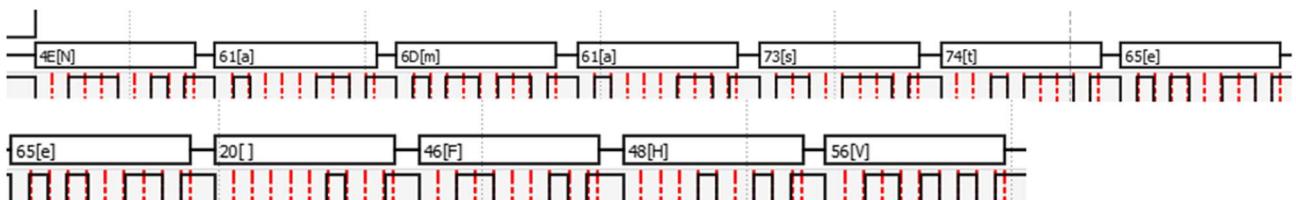


Abbildung 58: Zoom Übertragenes Datenwort

Die Einstellungen für die Dekodierung liefern ein Sinnvolles Ergebnis.

Erneut lautet das Übertragen Datenwort: „**Namaste FHV**“

## 5. ZUSAMMENFASSENDES KOMMENTAR:

## ABBILDUNGSVERZEICHNISS

Abbildung 1: Anschlüsse Analog Discovery Studio.....	3
Abbildung 2 : Pinbelegung Black Box .....	4
Abbildung 3: Messaufbau Widerstandsmessung.....	5
Abbildung 4: Black Box ERS nach Widerstandsmessung.....	6
Abbildung 5: Black Box ERS nach Kapazitätsmessung.....	7
Abbildung6: Messaufbau Frequenz Messung Schaltplan	
Abbildung7: Messaufbau Steckbrett.....	8
Abbildung 8: Frequenzmessung ERS1 .....	9
Abbildung 9: Frequenzmessung ERS2 .....	9
Abbildung 10: Frequenzmessung Einstellungen Funktionsgenerator.....	10
Abbildung 11: Ergebnis Frequenzmessung .....	10
Abbildung 12: Ergebnis Frequenzmessung Zoom1 .....	11
Abbildung 13: Black Box ERS nach Bestimmung der Kondensator Position .....	11
Abbildung 14: Bodediagramm Messschaltung	
Abbildung 15: Bodediagramm Aufbau Steckbrett .....	12
Abbildung 16: Einstellungen WaveForms Network Analyzer.....	12
Abbildung 17: Ergebnis Bodediagramm TP Filter.....	13
Abbildung 18: Bodediagramm Cursor Zoom.....	13
Abbildung 19: Schaltplan Simulation .....	14
Abbildung 20: Ergebnis Simulation .....	15
Abbildung 21: Zoom Cursor .....	15
Abbildung 22: Aufbau Digital Board.....	18
Abbildung 23: Pin-Nummerierung .....	19
Abbildung 24: Spannungsregler Messpunkte .....	20
Abbildung 25: WaveForms Oszilloskop Settings Spannungsregler .....	21
Abbildung 26: Spannungsregeler Messung zoom.....	21
Abbildung 27: Ergebnis Spannungsregler Messung .....	21
Abbildung 28: Messpunkte LED-Messung.....	22
Abbildung 29: Oszilloskop Einstellungen LED .....	22
Abbildung 30: Ergebnis LED-Messung.....	23
Abbildung 31: Ergebnis LED-Messung Zoom.....	23
Abbildung 32: Messaufbau Stromverbrauch .....	24
Abbildung 33: Oszilloskop Einstellungen Messung Stromverbrauch .....	24
Abbildung 34: Ergebnis Messung Stromverbrauch.....	25
Abbildung 35: Zoom Messung Stromverbrauch .....	25
Abbildung 36: Oszilloskop Settings Header 1.....	26
Abbildung 37: Messaufbau Oszilloskop Messung Header1 .....	26
Abbildung 38: Ergebnis Messung Header1 .....	27

Abbildung 39: Zoom Bestimmung der Busgeschwindigkeit.....	28
Abbildung 40: Zoom 2 Bestimmung der Busgeschwindigkeit .....	28
Abbildung 41: Messaufbau Logic Analyzer .....	29
Abbildung 42: Decoder Einstellungen .....	29
Abbildung 43: Zoom Dekodiertes Datenwort .....	30
Abbildung 44: Ergebnis Logic Analyzer Messung .....	30
Abbildung 45: Oszilloskop Settings Header 2.....	31
Abbildung 46: Zoom Ergebnis Pin 3 .....	33
Abbildung 47: Ergebnis Messung Pin 3 .....	33
Abbildung 48: Zoom Modus Bestimmung.....	34
Abbildung 49: Einstellung Decoder SPI .....	35
Abbildung 50: Ergebnis Logic Analyzer Messung Header 2 mit CS .....	36
Abbildung 51: Zoom Decodiertes Datenwort SPI.....	36
Abbildung 52: Ergebnis Logic Analyzer Messung ohne CS .....	36
Abbildung 53: Oszilloskop Einstellungen Header 3.....	37
Abbildung 54: Ergebnis Oszilloskop Messung Header 3 .....	38
Abbildung 55: Messung Übertragungsrate .....	38
Abbildung 56: Logic Analyzer Decoder Einstellungen UART .....	39
Abbildung 57: Ergebnis Messung Logic Analyzer .....	40
Abbildung 58: Zoom Übertragenes Datenwort.....	40