



# Laborbericht: Messprojekt 1

PASSIVE BLACKBOX UND DIGITAL BOARD

Lehrveranstaltung: Labor Elektrotechnik  
Institution: Fachhochschule Vorarlberg Elektrotechnik Dual  
Studiengang: B.Sc., FTB-ELT-DUxx  
Betreuer: Dipl.-Ing. Christian Anselmi

# Messprojekt 1

1. Ziel des Messprojekts .....	2
2. Aufgabenstellung allgemein .....	2
3. Passive Blackbox .....	3
3.1. Aufgabenstellung passive Blackbox .....	3
3.2. Vorbereitung .....	3
3.2.1. Theorie: Passive Filter .....	3
3.2.2. Bauteilkombinationen .....	3
3.2.3. Bestimmung der Art eines Filtersystems .....	4
3.2.4. Bestimmung der Bauteilanordnung .....	4
3.2.5. Ermittlung der Bauteilwerte .....	5
3.2.6. Simulation .....	5
3.2.7. Verwendete Messgeräte .....	5
3.3. Messungen .....	6
3.3.1. Kontinuität .....	6
3.3.2. RLC-Messungen zwischen den Pins .....	6
3.3.3. Erste Hypothese .....	8
3.3.4. Frequenzabhängige Messung .....	9
3.3.5. Bode 100 .....	13
3.3.6. Zweite Hypothese .....	13
3.3.7. Nachstellen auf dem Steckbrett .....	14
3.4. Fazit .....	15
4. Serielle Kommunikation .....	16
4.1. Aufgabenstellung Digitalteil .....	16
4.2. Vorbereitung .....	16
4.2.1. Theorie: Serielle Protokolle .....	16
I <sup>2</sup> C .....	16
SPI .....	16
UART .....	16
4.2.2. Aufbau .....	17
4.2.3. Daten der Micro Controlling Unit .....	17
4.2.4. Pinbelegung und -funktionen .....	18
4.3. Messungen .....	20
4.3.1. Stromversorgungsmessung .....	20
4.3.2. Pinbelegung .....	20
4.3.3. Pin Header 1 .....	21
4.3.4. Pin Header 2 .....	23
4.3.5. Pin Header 3 .....	25
4.4. Digitalteil – Zusammenfassung .....	28
5. Abbildungsverzeichnis .....	29

# Messprojekt 1

## 1. Ziel des Messprojekts

Ziel des Projektes ist es, die im Laborunterricht erlernten Methoden anzuwenden sowie die behandelten Messgeräte zu bedienen. Dabei soll das Messobjekt auf quantitative und qualitative Eigenschaften geprüft werden, beispielsweise einzelne Bestandteile, Aufbau, Frequenzverhalten, Stromverbrauch, Spezifikation usw. Die Ergebnisse sollen ausführlich dokumentiert und interpretiert werden, sodass schlussendlich die Funktionsweise des Messobjekts bestimmt werden kann.

## 2. Aufgabenstellung allgemein

Es sind drei Objekte zu vermessen:

- eine analoge, passive Blackbox
- eine analoge, aktive Blackbox
- eine digitale Blackbox (serielle Schnittstelle)

Während des Messprojekts sollen eine quantitative Analyse und darauf basierend eine qualitative Analyse der einzelnen Messobjekte durchgeführt werden.

Zur quantitativen Analyse zählen im Allgemeinen:

- Kontinuität
- Widerstands-, Kapazitäts- und Induktivitätsmessungen
- Spannungs- und Strommessungen
- Messung des Frequenzverhaltens, Grenzfrequenz, Phasenverschiebung, Dämpfung, Resonanzfrequenz, Impedanz
- Bitrate, MSB oder LSB first, Clock Polarity, Clock Phase, Prozessorgeschwindigkeit
- ...

Die qualitative Analyse behandelt u. a. folgende Aspekte:

- Art (Filter, serieller Bus, einfacher Spannungsteiler ...)
- Spezifikationen (aktiv/passiv, Hochpass/Tiefpass/Bandpass/Bandsperre, SPI/I<sup>2</sup>C/UART ...)
- Bestandteile und Aufbau
- Funktionsweise und Nutzen

Daraus soll dann ermittelt werden, wie die Blackboxes aufgebaut sind und wie sie funktionieren.

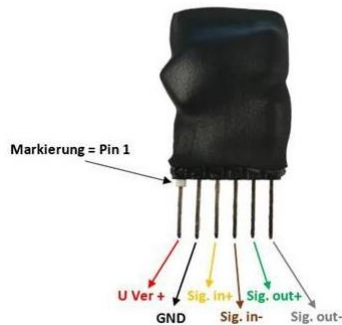
# Messprojekt 1

## 3. Passive Blackbox

### 3.1. Aufgabenstellung passive Blackbox

Der passive Teil des Messprojekts besteht aus einer in einem Schrumpfschlauch versteckten Platine, deren passive Bauteile vermessen und deren Werte herausgefunden werden sollen. Folgende Informationen sind gegeben:

#### Pinbelegung Blackbox



#### Allgemeine Informationen (gegeben):

Versorgungsspannung:	5V
Strombegrenzung:	50mA
Eingangssignal max.:	200mVpp

Abbildung 1: Pinbelegung Blackbox

### 3.2. Vorbereitung

#### 3.2.1. Theorie: Passive Filter

Die in Frage kommenden passiven Bauteile sind:

- Widerstände (R)
- Kapazitäten (C)
- Induktivitäten (L)

Mithilfe von Widerständen können frequenzunabhängige Gleichstromsysteme wie Spannungs- und Stromteiler konstruiert werden. Nimmt man Kapazitäten und Induktivitäten hinzu, sind Schaltungen möglich, deren Verhalten sich abhängig von der Frequenz des eingespeisten Wechselstroms verändert. Diese Effekte sind Filter, die je nach Konstellation und Werten der RLC-Bauteile gewisse Frequenzen dämpfen.

#### 3.2.2. Bauteilkombinationen

Sind in der Schaltung C- oder L-Bauteile vorhanden, so können folgende Filtertypen realisiert werden:

- LR-, RC- oder LRC-Hochpass (HP)
- LR-, RC- oder LRC-Tiefpass (TP)
- LR-, RC- oder LRC-Bandpass (BP)
- LR-, RC- oder LRC-Bandsperre (BS)
- LRC-Serienschwingkreis (SS)
- LRC-Parallelschwingkreis (PS)

# Messprojekt 1

## 3.2.3. Bestimmung der Art eines Filtersystems

Ob es sich bei der vorliegenden Schaltung um einen Filter handelt, kann mit drei oder mehr verschiedenen Spannungen als Eingangssignal geprüft werden:

- Niederfrequente Wechselspannung (z. B. 200 Hz)
- Mittlere Wechselspannung (z. B. 20kHz)
- Hochfrequenter Wechselstrom (z. B. 200 kHz)

Wenn sich die Amplitude verändert, liegt ein Filter vor. Durch die Beobachtung des Verhaltens des Signals über mehrere Frequenzen hinweg kann ermittelt werden, ob es sich beispielsweise um einen HP oder einen TP handelt.

Um den Messvorgang zu vereinfachen und die Möglichkeit eines SS, PS, BP oder einer BS zu berücksichtigen, kann mit dem Bode100 ein Bodediagramm erstellt werden, welches das Verhältnis des Eingangs- und des gedämpften Ausgangssignals sowie den Phasengang in Abhängigkeit von der Frequenz darstellt.

Bei der passiven Blackbox kann, aber muss es sich nicht um einen Filter handeln. Weitere Möglichkeiten sind ein einfacher Spannungsteiler, ein Stromteiler, ein Leerlauf oder ein Kurzschluss.

## 3.2.4. Bestimmung der Bauteilanordnung

Für HP und TP können folgende Ersatzschaltbilder (ESB) angenommen werden:

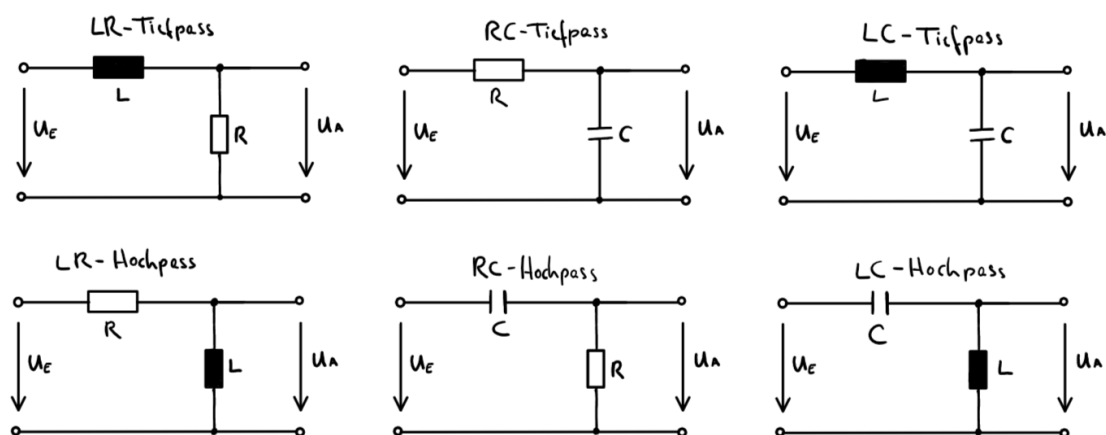


Abbildung 2: Hoch- und Tiefpass-Schaltbilder

# Messprojekt 1

Weiters bekannt sind LRC-Schwingkreissysteme, die eine Resonanzfrequenz besitzen:

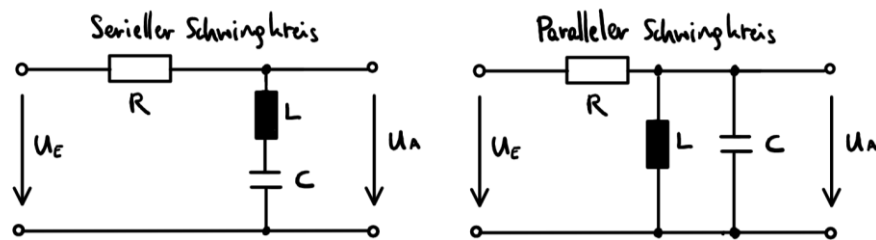


Abbildung 3: Schwingkreis-Schaltbilder

Für alle weiteren Filtertypen (BP, BS, Filter z. B. zweiter Ordnung) sind komplexere Schaltbilder notwendig. Jeder Filter kann durch ein ESB beschrieben und anschließend weiter vermessen werden: Über einen Spannungsteiler eines bekannten Widerstands und zwei Pins der Blackbox können die Bauteiltypen zwischen den Pins ermittelt werden. Dabei helfen nochmals die Messungen mit DC, AC 20 Hz und AC 200 kHz beziehungsweise mit dem Bode100.

## 3.2.5. Ermittlung der Bauteilwerte

Einige Bauteile (Widerstand, Kapazität) können mit dem Multimeter gemessen und ermittelt werden. Jene Bauteile, die nicht direkt gemessen werden können, können durch die Grenzfrequenz  $f_g$  berechnet werden.

$$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

$$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

$$f_g = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$$

## 3.2.6. Simulation

Wenn erste Annahmen getroffen werden, können diese in der Simulationssoftware LTspice nachgestellt und mit den Messergebnissen verglichen werden.

## 3.2.7. Verwendete Messgeräte

- Oszilloskop Teledyne LeCroy
- Bode100
- Multimeter Fluke 87 V
- RLC-Meter TEMNA72-960
- Signalgenerator Keysight 33600A

# Messprojekt 1

## 3.3. Messungen

### 3.3.1. Kontinuität

Die Pins Ground, Signal.in- und Signal.out- sind laut Angabe und Messung direkt miteinander verbunden. Sie werden daher in einigen Situationen zu Common Ground, abgekürzt COM, zusammengefasst.

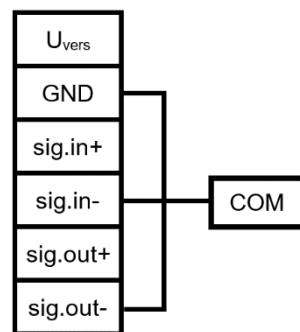


Abbildung 4: Kontinuität

### 3.3.2. RLC-Messungen zwischen den Pins

Messaufbau:

Messung jeweils zwischen  $U_{\text{vers}}$ , COM, sig.in+ und sig.out+

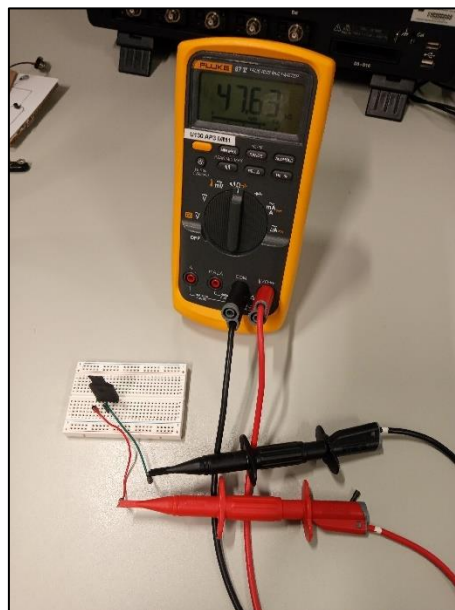


Abbildung 5: Messaufbau RCL-Messungen

# Messprojekt 1

Widerstandsmessung: Fluke 87 Handmultimeter

	U vers	COM	Sig.in+	Sig.out+
U vers	---	47.63 k $\Omega$	OL	OL
COM	47.63 k $\Omega$	---	OL	OL
Sig.in+	OL	OL	---	330.0 $\Omega$
Sig.out+	OL	OL	330.0 $\Omega$	---

Kapazitätsmessung: Tenma LCR Meter

120Hz	U vers	COM	Sig.in+	Sig.out+
U vers	---			
COM		---	30.1nF	30.2nF
Sig.in+	13.4nF	30.1nF	---	
Sig.out+	13.5nF	30.0nF	OL	---

1kHz	U vers	COM	Sig.in+	Sig.out+
U vers	---	0		
COM	0	---	29.6nF	29.8nF
Sig.in+	367.9pF	29.6nF	---	
Sig.out+	373.7pF	29.8nF	OL	---

Induktivitätsmessung: Tenma LCR Meter

120Hz	U vers	COM	Sig.in+	Sig.out+
U vers	---	OL	55H	55H
COM	OL	---	54.1H	54.1H
Sig.in+	55H	54.1H	---	0.3mH
Sig.out+	55H	54.1H	0.3mH	---

1kHz	U vers	COM	Sig.in+	Sig.out+
U vers	---	OL	35H	OL
COM	OL	---	35.3H	7.6mH
Sig.in+	35H	35.3H	---	35H
Sig.out+	OL	7.6H	35H	---



# Messprojekt 1

## 3.3.3. Erste Hypothese

Die Induktivitätswerte sind nicht kontinuierlich, eine Spule kann ausgeschlossen werden. Mit den relevanten, kontinuierlichen Werten (hellblau markiert) ergibt sich folgendes Schaltbild:

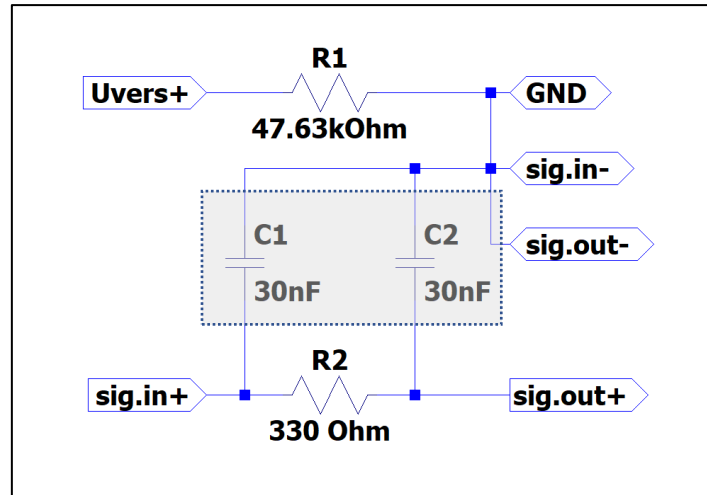


Abbildung 6: Schaltbild erste Hypothese

Es gibt nur einen Kondensator, der entweder an Stelle von C1 oder C2 platziert ist. Für die Ermittlung der Stelle des Kondensators wird ein Ersatzschaltbild erstellt und simuliert, welches nur sig.in und sig.out beinhaltet.

### Möglichkeit 1

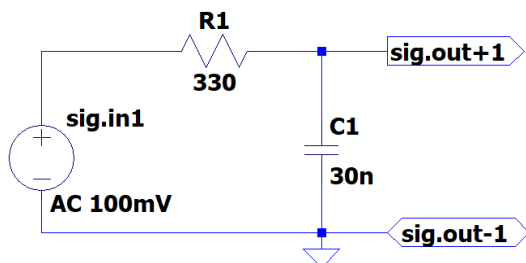


Abbildung 7: Erste Hypothese Schaltbild 1

### Möglichkeit 2

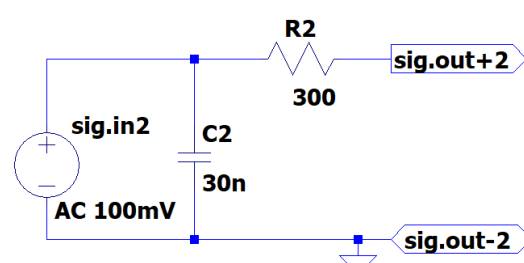


Abbildung 8: Erste Hypothese Schaltbild 2

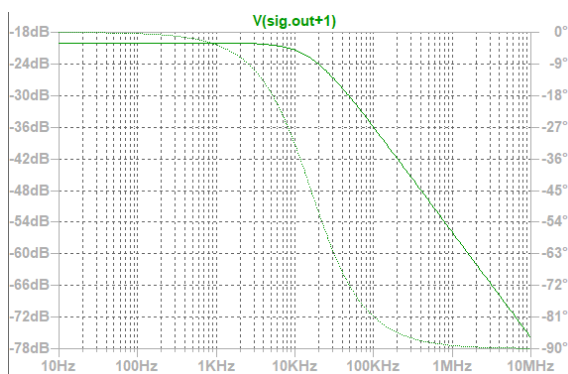


Abbildung 9: Erste Hypothese Simulation 1

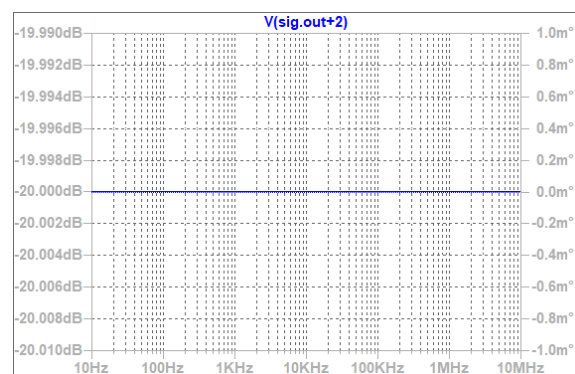


Abbildung 10: Erste Hypothese Simulation 2

# Messprojekt 1

Möglichkeit 1 ist ein RC-Tiefpass erster Ordnung mit einer Grenzfrequenz von

$$f_g = \frac{1}{2\pi \cdot 330\Omega \cdot 30nF} \approx 16 \text{ kHz.}$$

Möglichkeit 2 hat keine Auswirkung auf die Spannung des Signals, sprich Eingangssignal = Ausgangssignal. Für den Strom wirkt der Kondensator bei niederen Frequenzen wie ein Leerlauf und bei hohen Frequenzen wie ein Kurzschluss. Um einen Kurzschluss zu verhindern und die Blackbox zu schützen wird ein 100-Ohm-Widerstand vor sig.in+ gelegt.

## 3.3.4. Frequenzabhängige Messung

Messaufbau:

Pin	Anschluss	Kabel
sig.in+	Spannungsversorgung+ über 100-Ohm-Widerstand, Oszilloskop CH1	rote Klemme, gelber Tastkopf
sig.out+	Oszilloskop CH2	oranges Kabel und roter Tastkopf
COM	Spannungsversorgung-, Masseanschluss der Tastköpfe	grünes, blaues Kabel

sig.in wird vom Funktionsgenerator versorgt, die Tastköpfe leiten das Signal zum Oszilloskop. Am Funktionsgenerator wird ein Sinus mit 100 mV Peak-to-Peak ohne Offset und Phase mit der jeweiligen Frequenz eingestellt.

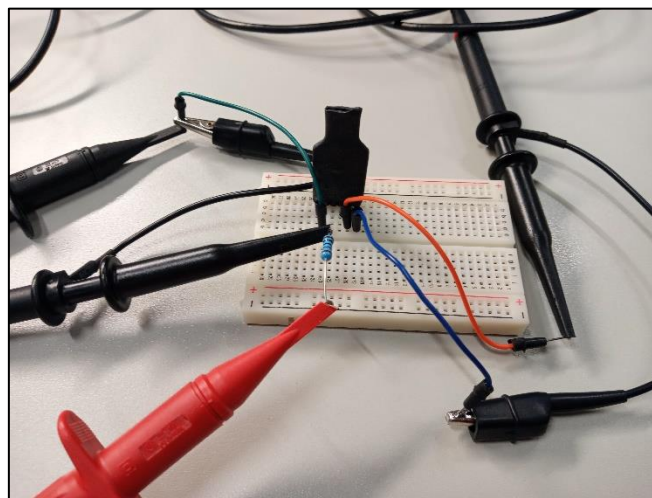


Abbildung 11: Messaufbau frequenzabhängige Messungen

# Messprojekt 1

## AC-Messung 200Hz



Abbildung 12: Frequenzabhängige Messung mit 200Hz-Sinus-Signal

Es ist kein Unterschied zwischen Eingangssignal- und Ausgangssignal zu erkennen. Ein Hochpassfilter ist ausgeschlossen.

# Messprojekt 1

## AC-Messung 20kHz

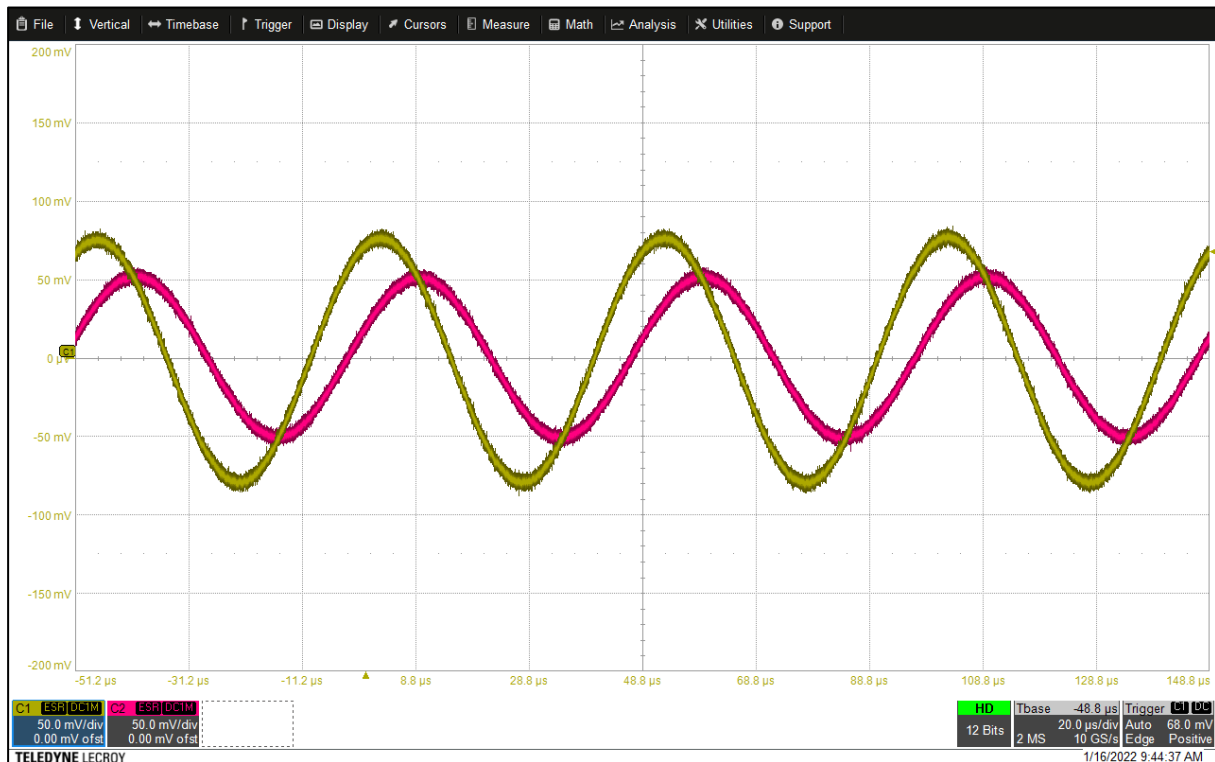


Abbildung 13: Frequenzabhängige Messung mit 20kHz-Sinus-Signal

Die Ausgangsspannung wird bereits etwas gedämpft.

# Messprojekt 1

## AC-Messung 200kHz

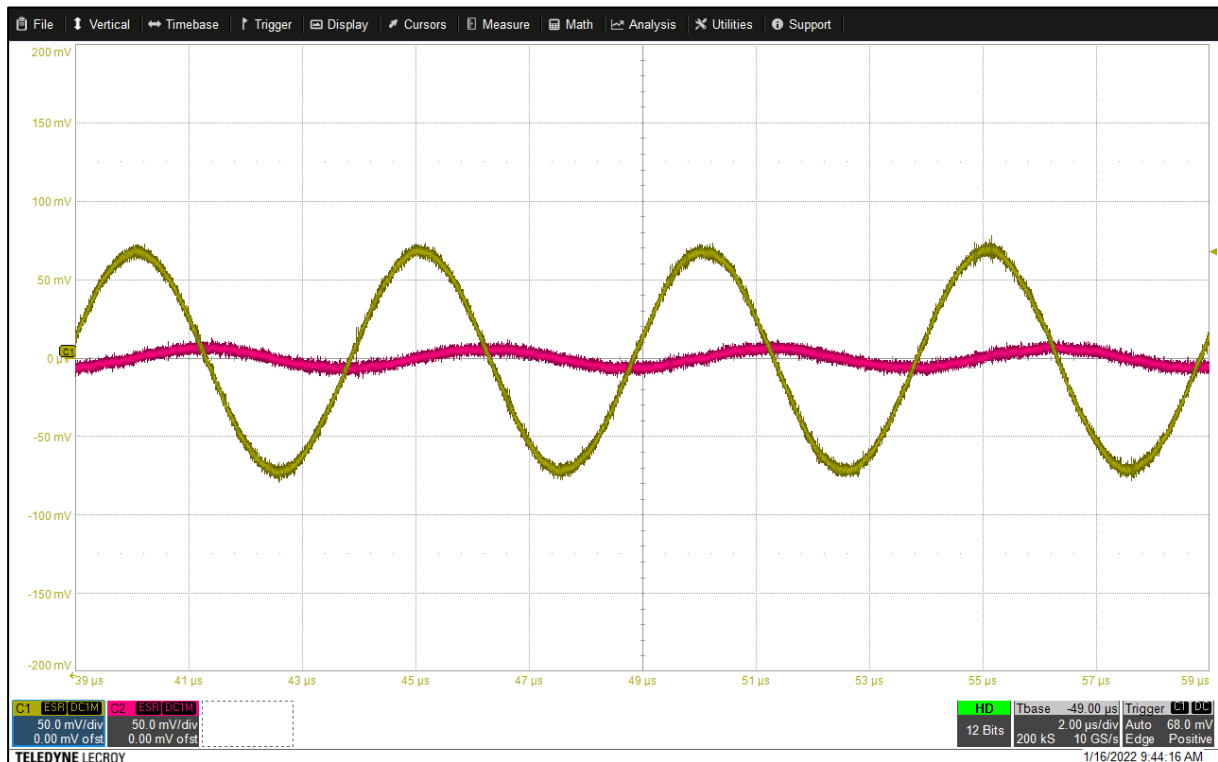


Abbildung 14: Frequenzabhängige Messung mit 200kHz-Sinus-Signal

Das Signal wird stark gedämpft. Möglichkeit 2 ist hiermit ausgeschlossen. Das Schaltbild sollte also Möglichkeit 1 entsprechen. Um die Annahme um einen RC-Tiefpass zu verifizieren, wird ein Bodediagramm erstellt. Der Vorwiderstand kann dabei weggelassen werden.

# Messprojekt 1

## 3.3.5. Bode 100

Messaufbau:

Der Messaufbau ist ähnlich dem vorhergehenden Verfahren. Statt dem Funktionsgenerator wird sig.in nun aber an OUTPUT und die Tastköpfe an CH1 und CH2 des Bode100 angeschlossen. In der Bode Analyzer Suite wird der Modus „Gain/Phase“ eingestellt.

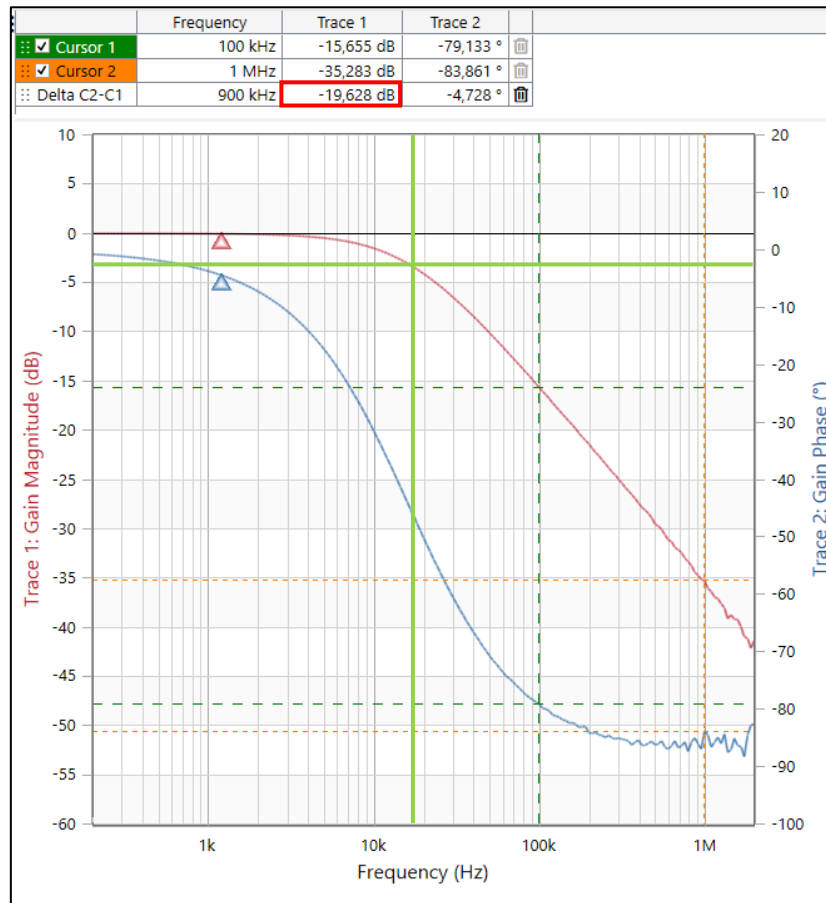


Abbildung 15: Gain/Phase Bodediagramm der passiven Blackbox

Es ist eindeutig zu erkennen, dass es sich um einen Tiefpassfilter erster Ordnung handelt. Eine Dämpfung von 20 Dezibel pro Dekade ist gegeben (rot eingerahmter Wert). Die Grenzfrequenz bei einer Dämpfung von 3 Dezibel liegt ca. zwischen 15 und 20kHz.

## 3.3.6. Zweite Hypothese

Das Ergebnis deckt sich mit der Simulation von Möglichkeit 1. Die Grenzfrequenz liegt sowohl bei Berechnung und LTspice-Simulation als auch bei den Messungen bei 16 kHz. Die Werte für den Widerstand und den Kondensator sind eindeutig. Folgendes Schaltbild ergibt sich:

# Messprojekt 1

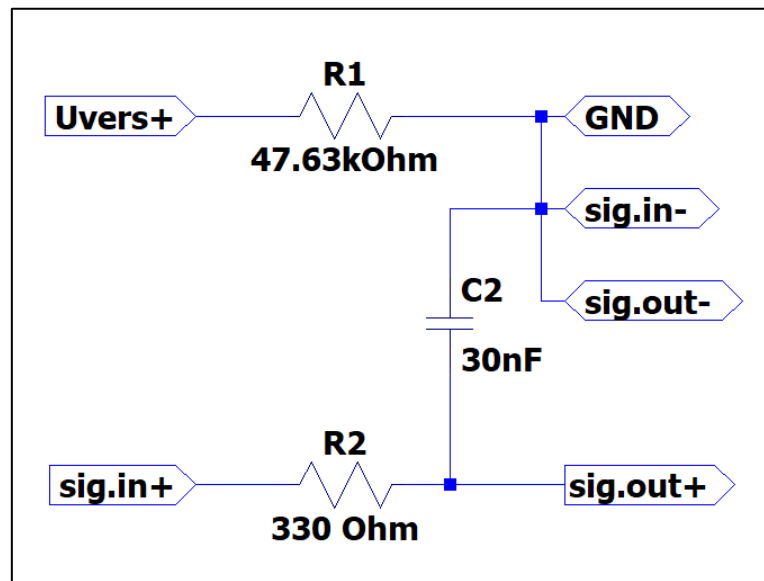


Abbildung 16: Zweite Hypothese Schaltbild

## 3.3.7. Nachstellen auf dem Steckbrett

Die finale Kontrolle ist das Nachbauen der Hypothese auf dem Steckbrett. Eine 5V<sub>DC</sub>-Versorgungsspannung sollte keinen Effekt auf das Ausgangssignal haben.

Aufbau mit Output, Channel 1 und Channel 2 am Bode100:

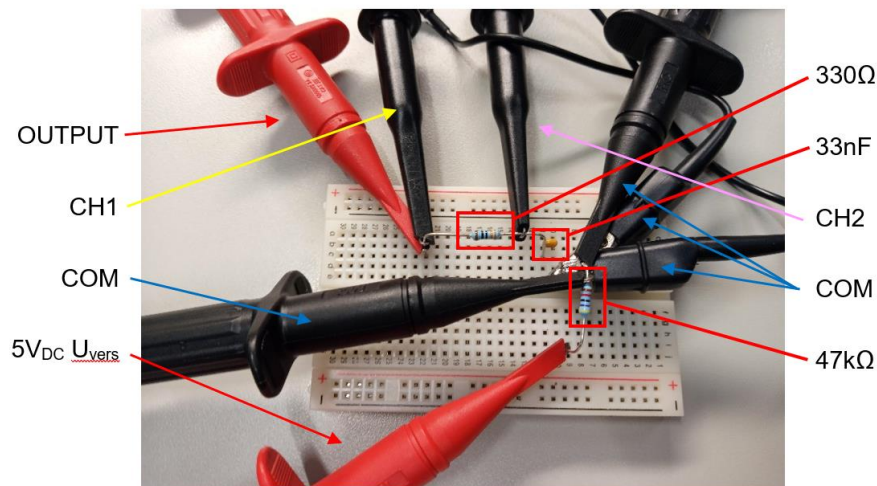


Abbildung 17: Nachstellung der zweiten Hypothese

# Messprojekt 1

Ergebnis:

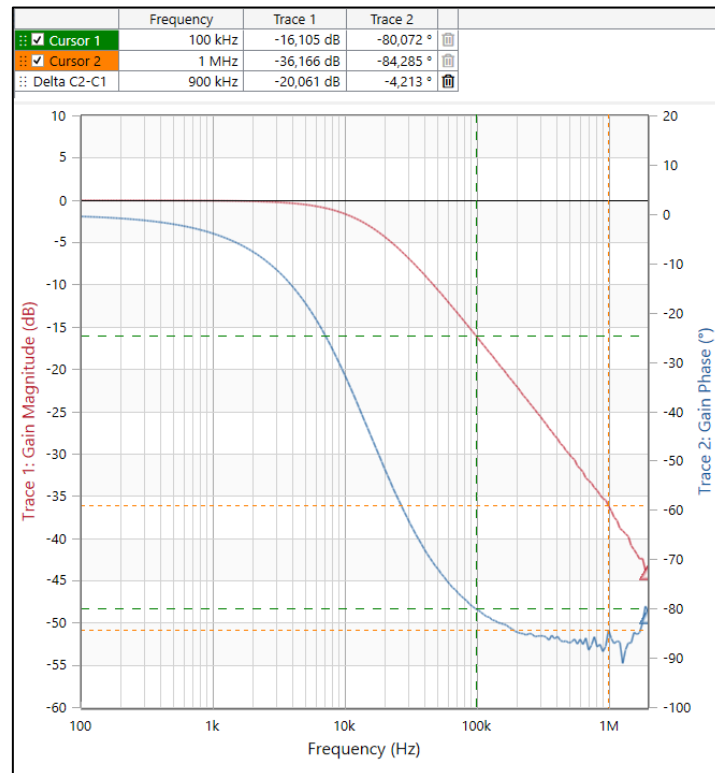


Abbildung 18: Gain/Phase Bodediagramm der Nachstellung der Blackbox

## 3.4. Fazit

Berechnungen, Simulationen, Messungen und Nachstellungen ergeben alle das gleiche Ergebnis. In der Blackbox befindet sich ein Tiefpassfilter erster Ordnung mit  $f_g \approx 16\text{kHz}$ ,  $R = 330\text{ Ohm}$  und  $C = 30\text{ nF}$ . Das Schaltbild der passiven Blackbox ist also:

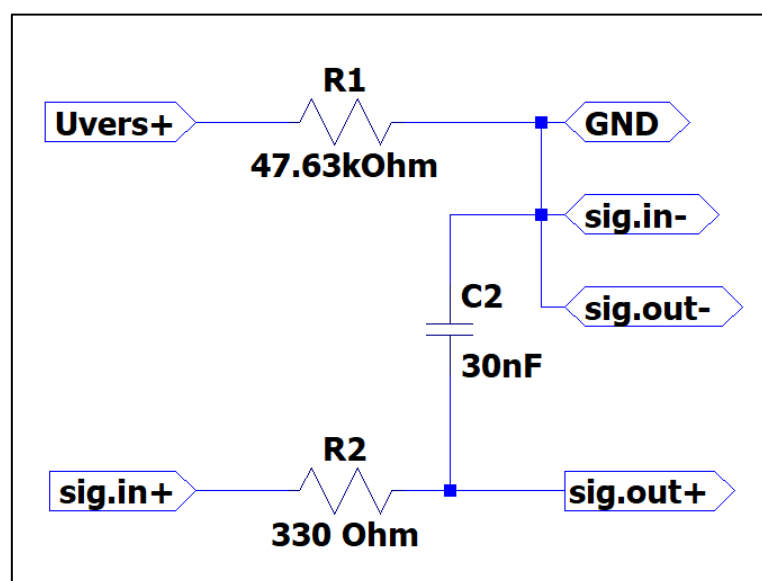


Abbildung 19: Schaltbild des Ergebnisses



# Messprojekt 1

## 4. Serielle Kommunikation

### 4.1. Aufgabenstellung Digitalteil

Der digitale Teil des Messprojekts ist eine grüne Platine mit einer vorprogrammierten Micro Controlling Unit, die nach Knopfdruck in periodischen Abständen eine Nachricht aussendet. Diese soll dekodiert und die dabei verwendeten Protokolle dokumentiert werden.

### 4.2. Vorbereitung

#### 4.2.1. Theorie: Serielle Protokolle

Bei der seriellen Datenübertragung werden die einzelnen Bits eines Datenwortes zeitlich nacheinander übermittelt. Damit Sender und Empfänger die Datenwörter entsprechend lesen können, geschieht die Übertragung synchron mit einer taktgebenden Leitung bzw. dienen das Start- und das Stoppbit als Richtlinie.

Die hier behandelten Protokolle sind SPI, I<sup>2</sup>C und UART.

#### I<sup>2</sup>C

In einem Inter-Integrated-Circuit-Protokoll führen jeweils zwei Leitungen von jedem Slave zum Master: SCL (serial clock) und SDA (serial data). Daten werden in Sequenzen von 8 Bit übertragen. Jeder Slave hat seine eigene Adresse (7 Bit). Das 8. Bit bestimmt, ob der Master schreibt oder liest (write or read). Danach kann die eigentliche Datenübertragung gestartet werden. Auf jeweils 8 Bit (ein Byte) muss das sogenannte ACK-Bit (eng. acknowledge) folgen. Dieses Bit signalisiert, ob der Empfänger bzw. der Sender bereit ist, mit dem nächsten Byte fortzufahren. Dies geschieht so lange, bis der Master das Stoppsignal sendet.

#### SPI

SPI steht für Serial Peripheral Interface. Die mindestens vier Leitungen sind MISO (Master In Slave Out), MOSI (Master Out Slave In), SCL (Serial Clock) und SS bzw. CS (Slave Select/Chip Select). SPI ist voll duplexfähig und kann mit bis zu 20 Megabit pro Sekunde sehr schnell Daten austauschen. Es können mehrere Slaves mit nur einem Master kommunizieren. Wichtige Fragen sind, ob SS idle high oder idle low und ob bei MOSI und MISO jeweils mit dem Most Significant Bit oder dem Least Significant Bit gesendet wird.

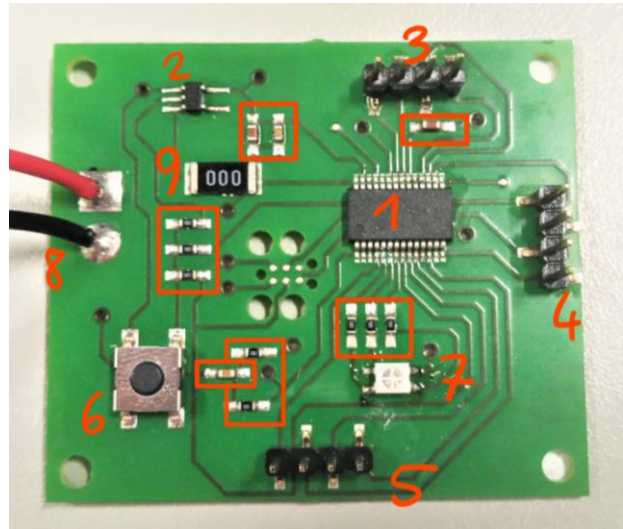
#### UART

Das "Universal Asynchronous Receiver Transmitter"-Protokoll kommuniziert asynchron, d. h. ohne Clock. Die Datenübertragung erfolgt zwischen dem Start- und dem Stopp-Bit. Mit dem optionalen Parity-Bit können Übertragungsfehler erkannt werden. Pro Slave und Master sind zwei Leitungen (eine von Master zu Slave und eine von Slave zu Master) benötigt. Um die Daten am Oszilloskop dekodieren zu können, muss zuerst die Bitrate bestimmt werden.

# Messprojekt 1

## 4.2.2. Aufbau

1. Micro Controlling Unit (MCU)
2. IC-Spannungsregler 3,3V
3. Pin Header 1
4. Pin Header 2
5. Pin Header 3
6. Taster
7. RGB LED
8. Versorgungsanschlüsse
9. Brücke



Eingerahmt: div. Widerstände und Kondensatoren

An den Leiterbahnen bzw. durch Kontinuitätsmessung kann erkannt werden, welche Pins der MCU zu den jeweiligen Pins der Header führen (siehe Abb. 24)

## 4.2.3. Daten der Micro Controlling Unit

Dem Datenblatt werden folgende Informationen entnommen:

**TABLE 1: PIC32MM0256GPM064 FAMILY DEVICES**

Device	Pins	Program Memory (Kbytes)	Data Memory (Kbytes)	General Purpose I/O/PPS	16-Bit Timers Maximum	PWM Outputs Maximum	Remappable Peripherals						10/12-Bit ADC (External Channels)	Comparators	CRC	RTCC	I <sup>2</sup> C	USB	Packages
							Dedicated 16-Bit Timers	UART <sup>(1)</sup> /LIN/J2602	MCCP <sup>(4)</sup>	SCCP <sup>(3)</sup>	CLC	SPI <sup>(2)</sup> /I <sup>2</sup> S							
PIC32MM0064GPM028	28	64	16	21/18	21	18	3	3	3	6	4	3	12	3	Yes	Yes	3	Yes	SSOP/QFN/ UQFN
PIC32MM0128GPM028	28	128	16	21/18	21	18	3	3	3	6	4	3	12	3	Yes	Yes	3	Yes	SSOP/QFN/ UQFN
PIC32MM0256GPM028	28	256	32	21/18	21	18	3	3	3	6	4	3	12	3	Yes	Yes	3	Yes	SSOP/QFN/ UQFN

Abbildung 21: Tabelle aus dem Datenblatt der MCU

Die im Laborunterricht behandelten Protokolle SPI, I<sup>2</sup>C und UART sind vorhanden.

# Messprojekt 1

## 4.2.4. Pinbelegung und -funktionen

Bei der Aufgabenstellung gegebene Pinbelegung:

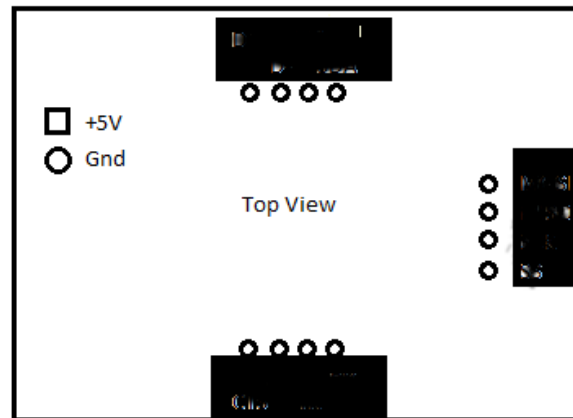


Abbildung 22: Pinbelegung aus der Angabe

Pinbelegung aus dem Datenblatt:

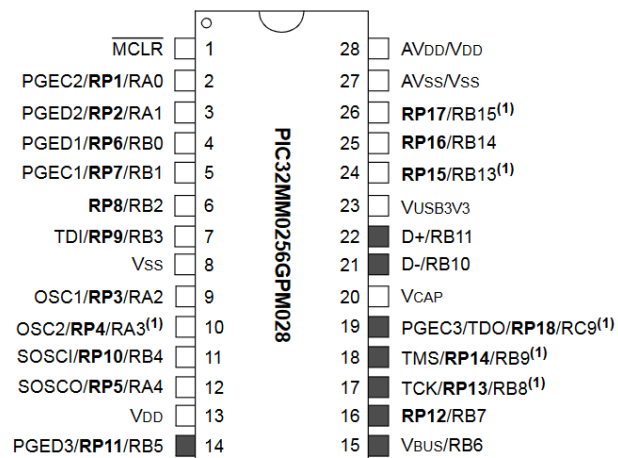


Abbildung 23: Pinbelegung aus dem Datenblatt der MCU

# Messprojekt 1

Pin	Function	Pin	Function
1	MCLR	15	V <sub>BUS</sub> /RB6
2	PGEC2/VREF+/CVREF+/AN0/ <b>RP1</b> /OCM1E/INT3/RA0	16	<b>RP12</b> /SDA3/SDI3/OCM3F/RB7
3	PGED2/VREF-/AN1/ <b>RP2</b> /OCM1F/RA1	17	TCK/ <b>RP13</b> /SCL1/U1CTS/SCK1/OCM1A/RB8 <sup>(1)</sup>
4	PGED1/AN2/C1IND/C2INB/C3INC/ <b>RP6</b> /OCM2C/RB0	18	TMS/REFCLKI/ <b>RP14</b> /SDA1/T1CK/T1G/T2CK/T2G/U1RTS/U1BCLK/SDO1/OCM1B/INT2/RB9 <sup>(1)</sup>
5	PGEC1/AN3/C1INC/C2INA/ <b>RP7</b> /OCM2D/RB1	19	PGEC3/TDO/ <b>RP18</b> /ASCL1 <sup>(2)</sup> /T3CK/T3G/USBOEN/SDO3/OCM2A/RC9 <sup>(1)</sup>
6	AN4/C1INB/ <b>RP8</b> /SDA2/OCM2E/RB2	20	V <sub>CAP</sub>
7	TDI/AN11/C1INA/ <b>RP9</b> /SCL2/OCM2F/RB3	21	D-/RB10
8	V <sub>SS</sub>	22	D+/RB11
9	OSC1/CLKI/AN5/ <b>RP3</b> /OCM1C/RA2	23	V <sub>USB3V3</sub>
10	OSC2/CLKO/AN6/C3IND/ <b>RP4</b> /OCM1D/RA3 <sup>(1)</sup>	24	AN8/LVDIN/ <b>RP15</b> /SCL3/SCK3/OCM3A/RB13 <sup>(1)</sup>
11	SOSCI/AN7/ <b>RP10</b> /OCM3C/RB4	25	CVREF/AN9/C3INB/ <b>RP16</b> /RTCC/U1TX/VBUSON/SDI1/OCM3B/INT1/RB14
12	SOSCO/SCLKI/ <b>RP5</b> /PWRLCLK/OCM3D/RA4	26	AN10/C3INA/REFCLKO/ <b>RP17</b> /U1RX/SS1/FSYNC1/OCM2B/INT0/RB15 <sup>(1)</sup>
13	V <sub>DD</sub>	27	AV <sub>SS</sub> /V <sub>SS</sub>
14	PGED3/ <b>RP11</b> /ASDA1 <sup>(2)</sup> /USBID/SS3/FSYNC3/OCM3E/RB5	28	AV <sub>DD</sub> /V <sub>DD</sub>

**Note 1:** High drive strength pin.  
**Note 2:** Alternate pin assignments for I2C1 as determined by the I2C1SEL Configuration bit.

Abbildung 24: Tabelle der Pinfunktionen aus dem Datenblatt

Markierungen:

- Rot -> Pin-Header 1
- Blau -> Pin-Header 2
- Gelb -> Pin-Header 3

# Messprojekt 1

## 4.3. Messungen

### 4.3.1. Stromversorgungsmessung

Messaufbau:

Versorgung über Labornetzteil (5V), Strommessung mit Fluke 87 Handmultimeter

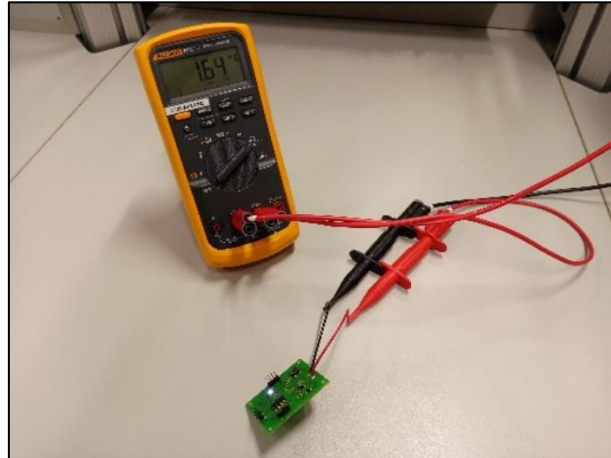


Abbildung 25: Messaufbau Stromversorgungsmessung

Ergebnisse:

0x Knopf gedrückt, LED aus: 0.0uA (AC-Messung)

1x Knopf gedrückt, LED an: 1.63mA (AC-Messung)

### 4.3.2. Pinbelegung

Die Pin-Belegung ist bei den meisten Pins optisch erkennbar, jedoch ist diese Methode fehleranfällig und nicht geeignet für Leiterbahnen, die z. B. unter einem Bauteil verlaufen.

Messaufbau:

Messung mit FLUKE 87 Handmultimeter und zwei feinen Messspitzen

# Messprojekt 1

## 4.3.3. Pin Header 1

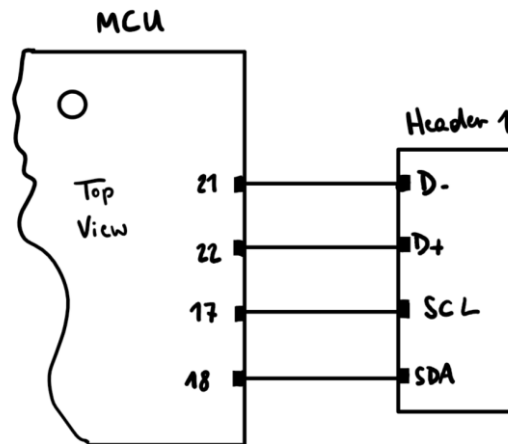


Abbildung 26: Pinbelegung Pin Header 1

Aufgrund von Informationen aus dem Datenblatt und der Angabe kann darauf geschlossen werden, dass die Datenübertragung über die Pins auf Header 1 einerseits mit USB, andererseits mit I<sup>2</sup>C erfolgt.

### Messung I<sup>2</sup>C

Pin	Funktion/Name	Angeschlossen an
Pin 17	Serial Clock (SCL)	Oszilloskop CH 1 (gelb)
Pin 18	Serial Data (SDA)	Oszilloskop CH 2 (rot)

### Messaufbau:

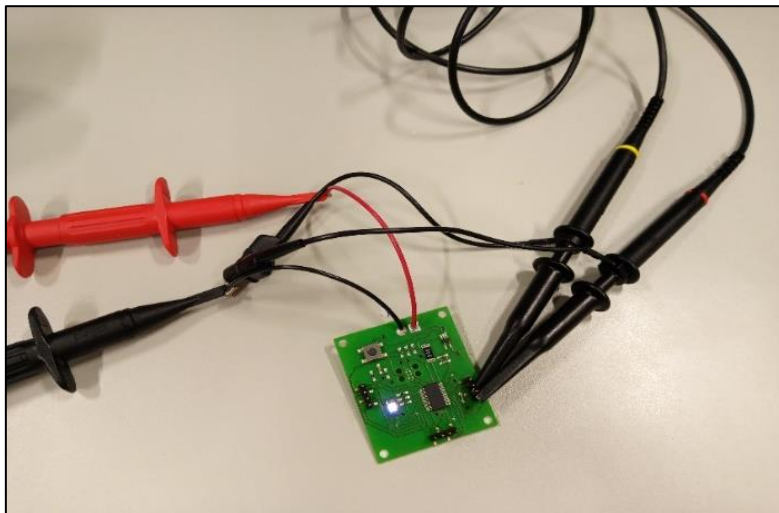


Abbildung 27: Messaufbau I<sup>2</sup>C

# Messprojekt 1

Einstellungen am Oszilloskop:

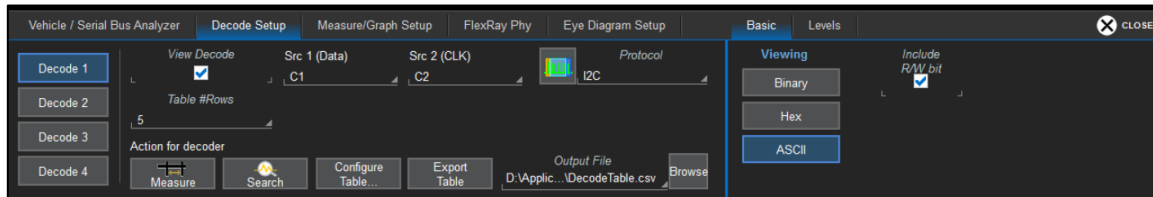


Abbildung 28: I<sup>2</sup>C-Einstellungen am Oszilloskop

Unter „Decode Setup“ wird das Protokoll I<sup>2</sup>C ausgewählt und die jeweiligen Kanäle (C1, C2) ihren Funktionen laut Pinbelegung zugewiesen. „Viewing“ wird auf „ASCII“ gestellt, um die Datensätze als lesbare Zeichen zu dekodieren.

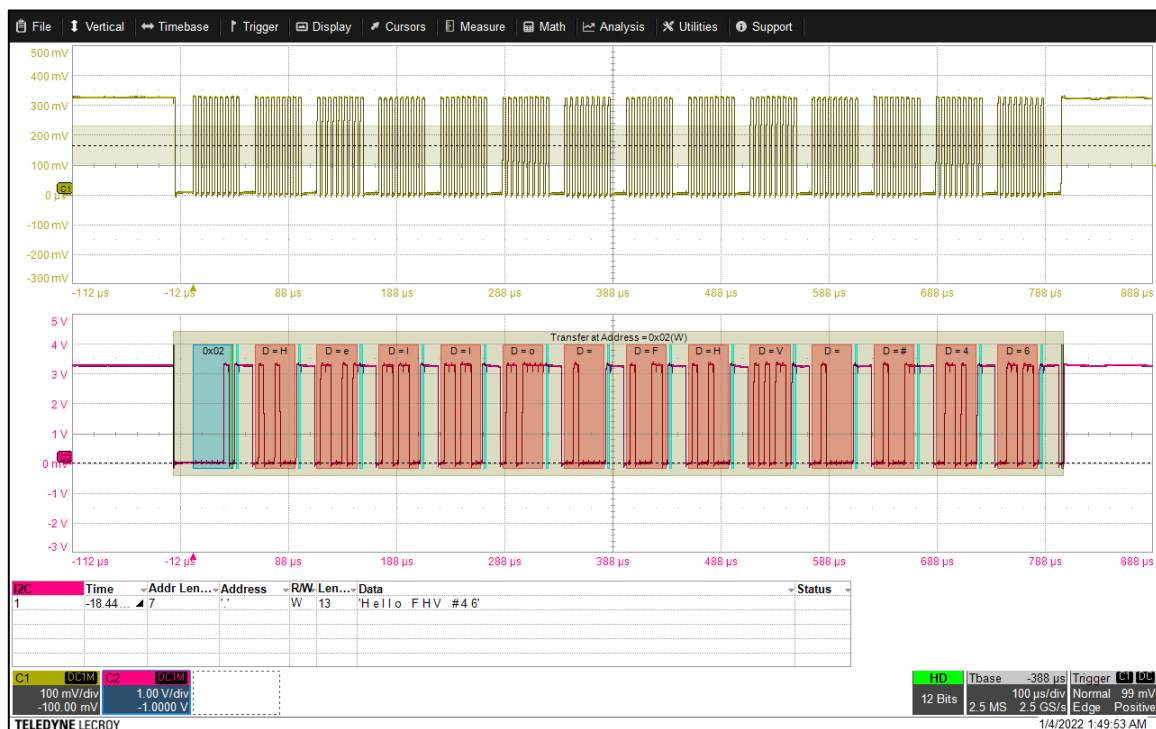


Abbildung 29: I<sup>2</sup>C-Messung am Oszilloskop

Ergebnis: „Hello FHV #46“

# Messprojekt 1

## Messung USB

Pin	Funktion/Name	Angeschlossen an
Pin 21	D-	Oszilloskop CH 1 (gelb)
Pin 22	D+	Oszilloskop CH 2 (rot)



Abbildung 30: USB-Messung am Oszilloskop

Die beiden Pins senden kein Signal aus und können ignoriert werden.

### 4.3.4. Pin Header 2

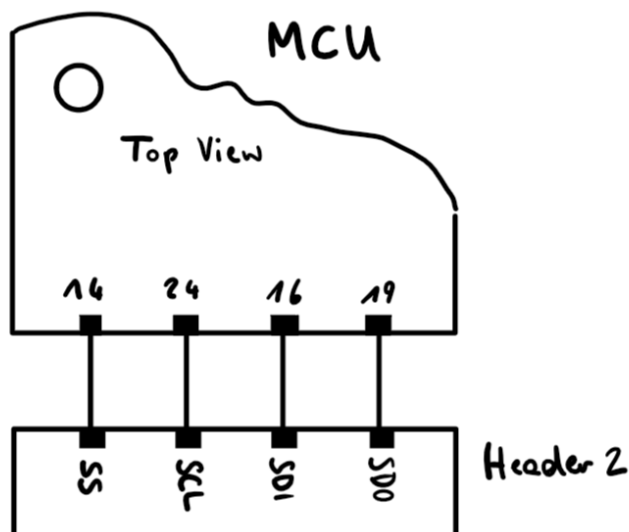


Abbildung 31: Pinbelegung Pin Header 2



# Messprojekt 1

Header 2 kommuniziert folglich über SPI. Pin 16 ist hier überflüssig, weil nur ein Signal ausgelesen und nicht eingespeist wird.

## Messung SPI

Pin	Funktion/Name	Angeschlossen an
Pin 14	Slave Select (SS)	Oszilloskop CH 3 (blau)
Pin 24	Serial Clock (SCL)	Oszilloskop CH 1 (gelb)
Pin 16	Serial Data In (SDI)	-
Pin 19	Serial Data Out (SDO)	Oszilloskop CH 2 (rot)

Einstellungen am Oszilloskop:

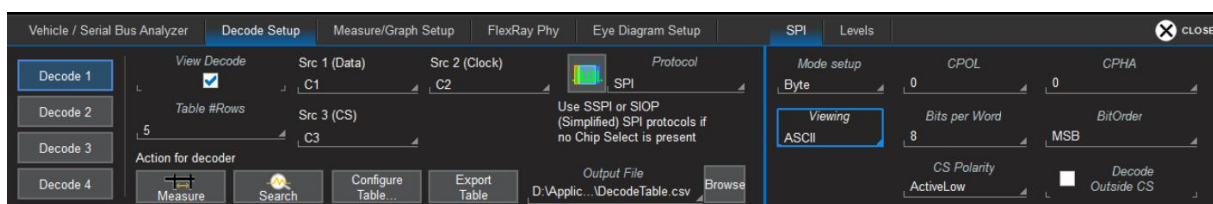


Abbildung 32: SPI-Einstellungen am Oszilloskop

Wichtig ist hierbei, die jeweiligen Kanäle auf ihre Funktion anzupassen. Um die Daten als Wörter auszulesen, wird bei „Viewing“ der Modus „ASCII“ ausgewählt. Auch die Clock Polarity (CPOL), die Clock Phase (CPHA), die Slave Select Polarity sowie die BitOrder müssen entsprechend eingestellt werden. Diese können am Signal festgestellt bzw. einfach manuell umgestellt werden, bis das richtige Ergebnis erscheint.

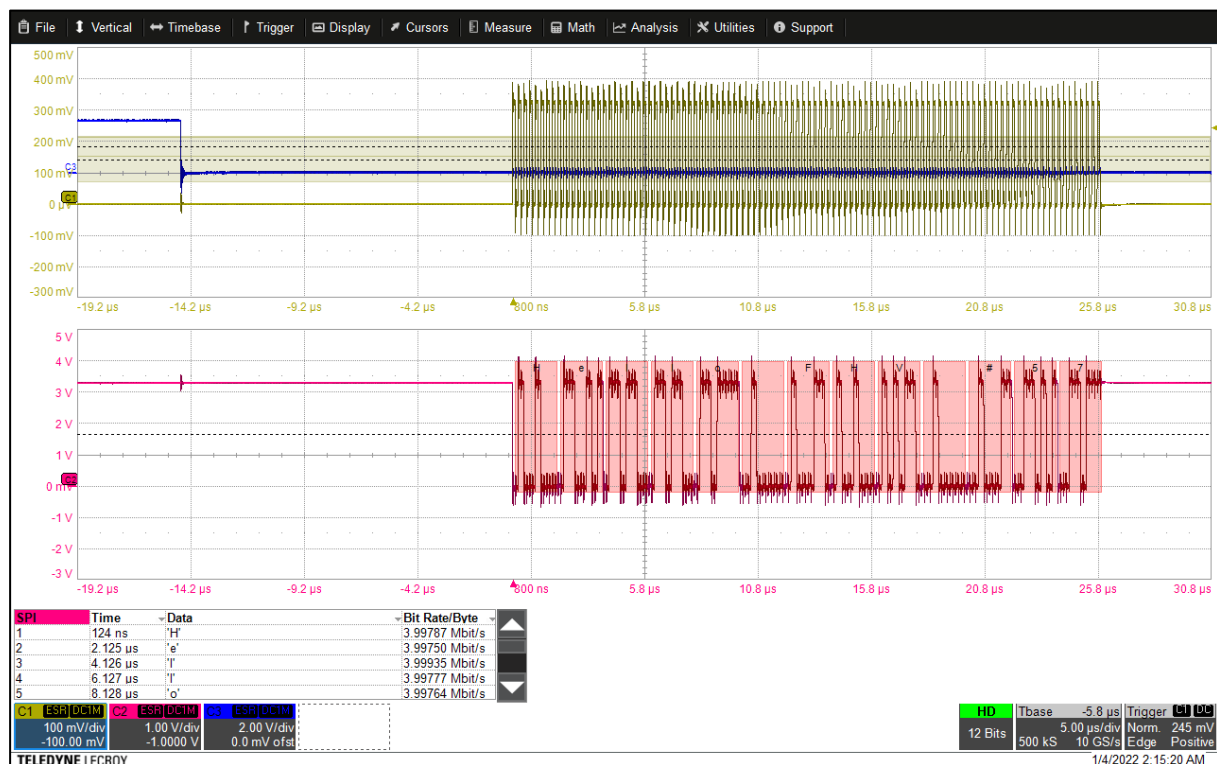


Abbildung 33: SPI-Messung am Oszilloskop

Ergebnis: „Hello FHV #46“

# Messprojekt 1

## 4.3.5. Pin Header 3

Auf der Platine ist folgende Pinbelegung zu erkennen:

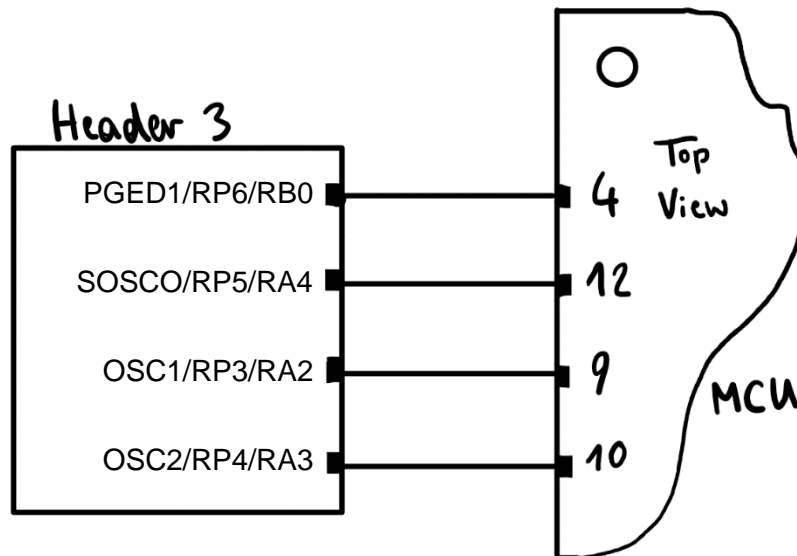


Abbildung 34: Pinbelegung Pin Header 3

Daraus lässt sich kein serielles Protokoll erkennen. Allerdings weisen die RP-Pins (Remappable Peripheral Pins) darauf hin, dass es sich um eine UART-Schnittstelle handeln könnte. Diese Hypothese wird nun durch eine Messung verifiziert oder falsifiziert.

## Messung UART

Pin	Funktion/Name	Angeschlossen an
Pin 4	?	Oszilloskop CH 1 (gelb)
Pin 12	?	Oszilloskop CH 2 (rot)
Pin 9	?	Oszilloskop CH 3 (blau)
Pin 10	?	Oszilloskop CH 4 (grün)

# Messprojekt 1

Eine erste Messung der einzelnen Pins ergibt:

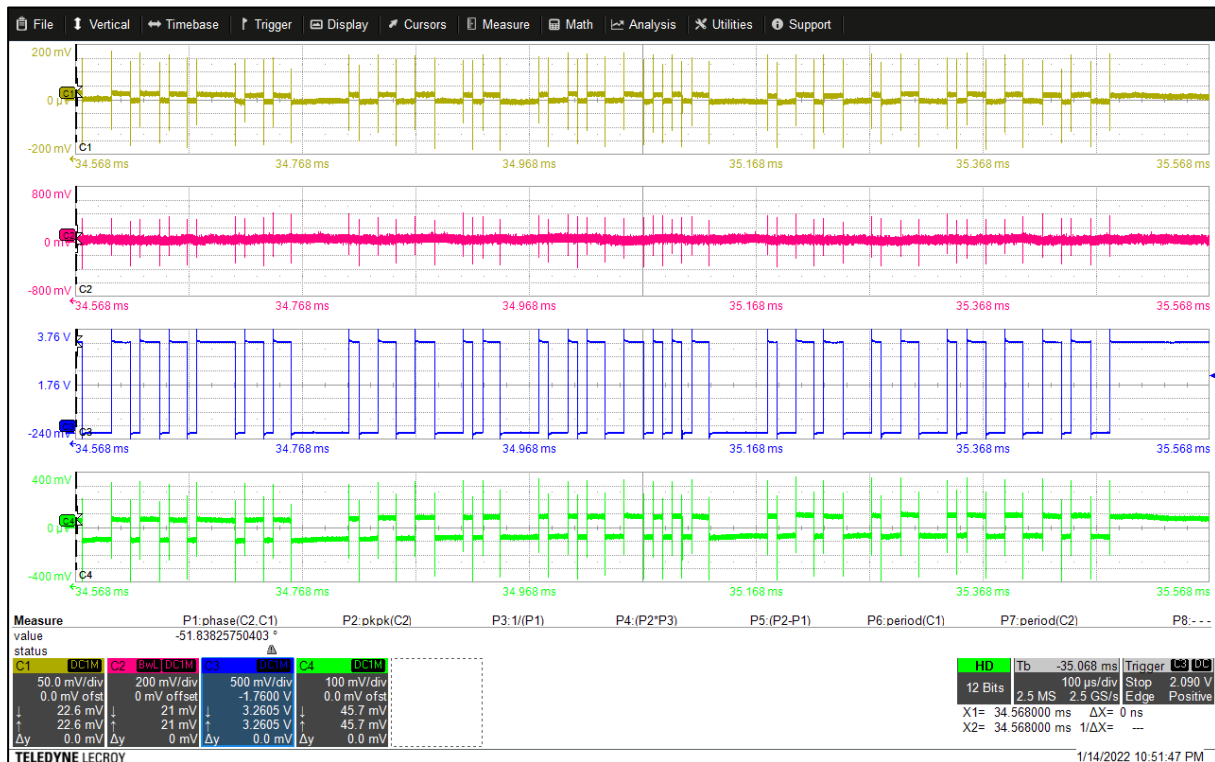


Abbildung 35: UART: Pin Header 3: Messung der einzelnen Pins

Pin 9 scheint der entscheidende Datensender zu sein, die anderen Pins schwingen nur leicht mit. Der Grund dafür könnte ein Kondensator zwischen den Pins sein, der die Spannung auf den Pins 4, 10 und 12 mit dem Hauptsignal mitschwingen lässt.

Pin	Funktion/Name	Angeschlossen an
Pin 9	mitschwingendes Signal	Oszilloskop CH 1 (gelb)
Pin 10	Hauptsignal	Oszilloskop CH 2 (rot)

Einstellungen am Oszilloskop:

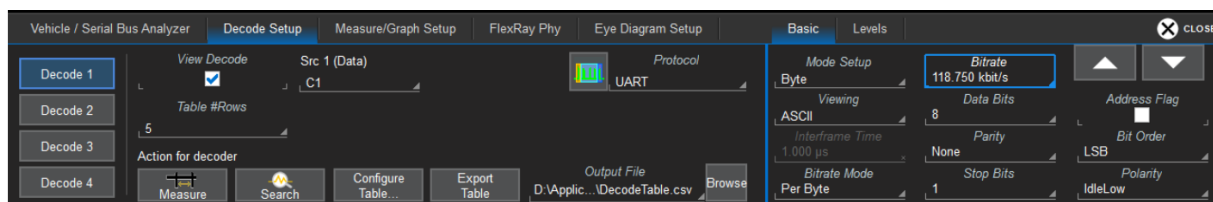


Abbildung 36: UART-Einstellungen

# Messprojekt 1

Bitrate:

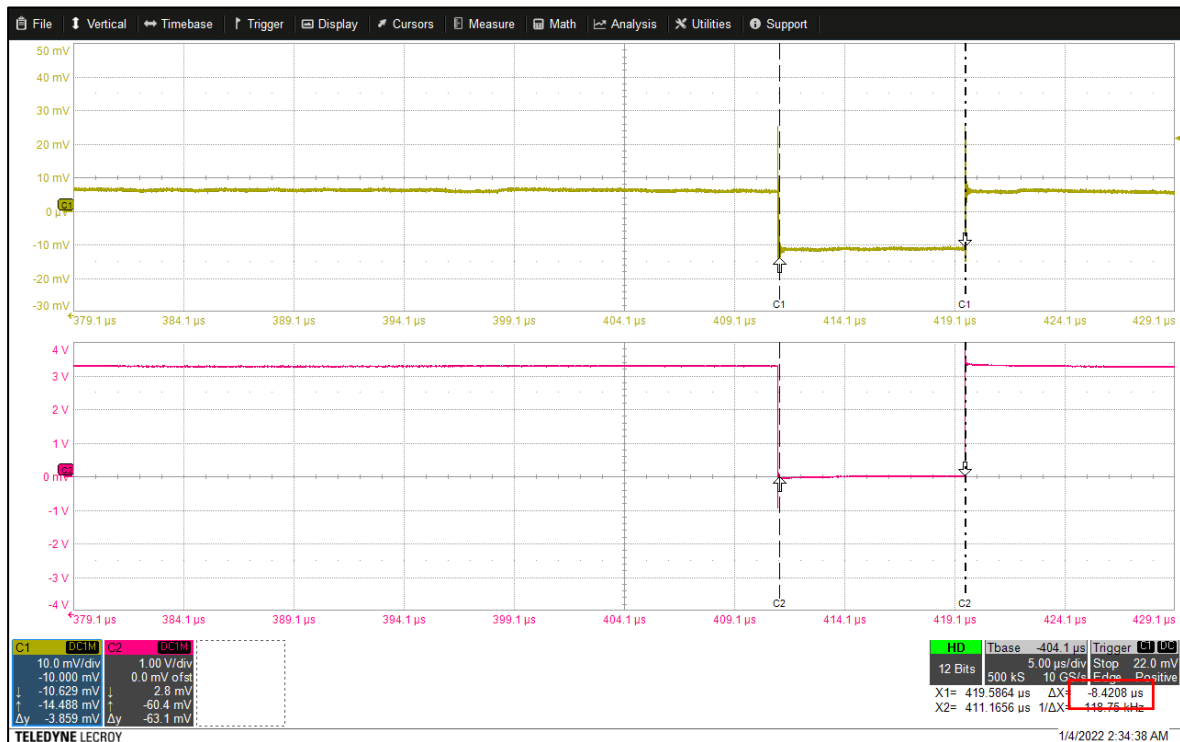


Abbildung 37: UART Ermittlung der Bitrate

Mit dem Cursor können die Dauer eines Bits und die Bitrate erkannt werden:

$$\frac{1 \text{ Bit}}{8,4203 \mu\text{s}} = 0,11875 \frac{\text{Bit}}{\mu\text{s}} = 118,75 \frac{\text{kBit}}{\text{s}}$$

# Messprojekt 1

Diese ins Setup eingegeben ergibt folgende Dekodierung:



Abbildung 38: UART-Messung am Oszilloskop

Wieder erscheint die Nachricht „Hello FHV #46“.

## 4.4. Digitalteil – Zusammenfassung

Für die Ermittlung der Art der Protokolle und der Belegung der einzelnen Pins reichte meistens ein Blick ins Datenblatt der MCU. Bei Header 3 hingegen war es von Nützen, alle Pins gleichzeitig an das Oszilloskop zu hängen und anhand des visuellen Messergebnisses Schlüsse zu ziehen. Die drei Protokolle I<sup>2</sup>C, SPI und UART senden schlussendlich alle die gleiche Nachricht aus: „Hello FHV #46“.

# Messprojekt 1

## 5. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Pinbelegung Blackbox .....	3
Abbildung 2: Hoch- und Tiefpass-Schaltbilder .....	4
Abbildung 3: Schwingkreis-Schaltbilder .....	5
Abbildung 4: Kontinuität.....	6
Abbildung 5: Messaufbau RCL-Messungen.....	6
Abbildung 6: Schaltbild erste Hypothese .....	8
Abbildung 7: Erste Hypothese Schaltbild 1 .....	8
Abbildung 8: Erste Hypothese Schaltbild 2 .....	8
Abbildung 9: Erste Hypothese Simulation 1 .....	8
Abbildung 10: Erste Hypothese Simulation 2 .....	8
Abbildung 11: Messaufbau frequenzabhängige Messungen.....	9
Abbildung 12: Frequenzabhängige Messung mit 200Hz-Sinus-Signal.....	10
Abbildung 13: Frequenzabhängige Messung mit 20kHz-Sinus-Signal .....	11
Abbildung 14: Frequenzabhängige Messung mit 200kHz-Sinus-Signal .....	12
Abbildung 15: Gain/Phase Bodediagramm der passiven Blackbox.....	13
Abbildung 16: Zweite Hypothese Schaltbild.....	14
Abbildung 17: Nachstellung der zweiten Hypothese .....	14
Abbildung 18: Gain/Phase Bodediagramm der Nachstellung der Blackbox .....	15
Abbildung 19: Schaltbild des Ergebnisses .....	15
Abbildung 20: Aufbau der digitalen Blackbox.....	16
Abbildung 21: Tabelle aus dem Datenblatt der MCU .....	17
Abbildung 22: Pinbelegung aus der Angabe.....	18
Abbildung 23: Pinbelegung aus dem Datenblatt der MCU .....	18
Abbildung 24: Tabelle der Pinfunktionen aus dem Datenblatt.....	19
Abbildung 25: Messaufbau Stromversorgungsmessung .....	20
Abbildung 26: Pinbelegung Pin Header 1 .....	21
Abbildung 27: Messaufbau I <sup>2</sup> C .....	21
Abbildung 28: I <sup>2</sup> C-Einstellungen am Oszilloskop .....	22
Abbildung 29: I <sup>2</sup> C-Messung am Oszilloskop .....	22
Abbildung 30: USB-Messung am Oszilloskop.....	23
Abbildung 31: Pinbelegung Pin Header 2 .....	23
Abbildung 32: SPI-Einstellungen am Oszilloskop .....	24
Abbildung 33: SPI-Messung am Oszilloskop .....	24
Abbildung 34: Pinbelegung Pin Header 3 .....	25
Abbildung 35: UART: Pin Header 3: Messung der einzelnen Pins .....	26
Abbildung 36: UART-Einstellungen .....	26
Abbildung 37: UART Ermittlung der Bitrate.....	27
Abbildung 38: UART-Messung am Oszilloskop .....	28