

# DIY Optische ToF Distanzmessung

CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning

**Matthias Schär, Timon Burkard**  
OST – Ostschweizer Fachhochschule

26. Dezember 2024



# **CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning an der OST – Ostschweizer Fachhochschule**

<b>Titel</b>	<b>DIY Optische ToF Distanzmessung</b>
<b>Diplomandin/Diplomand</b>	<b>Matthias Schär, Timon Burkard</b>
<b>Studiengang</b>	<b>CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning</b>
<b>Semester</b>	<b>HS24</b>
<b>Dozentin/Dozent</b>	<b>Prof. Guido Keel, Michael Lehmann</b>

## **Abstract**

Die vorliegende Projektarbeit befasst sich mit der Entwicklung eines...

Ort, Datum Rapperswil, 26. Dezember 2024  
© Matthias Schär, Timon Burkard, OST – Ostschweizer Fachhochschule

---

Alle Rechte vorbehalten. Die Arbeit oder Teile davon dürfen ohne schriftliche Genehmigung der Rechteinhaber weder in irgendeiner Form reproduziert noch elektronisch gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Sofern die Arbeit auf der Website der Ostschweizer Fachhochschule online veröffentlicht wird, können abweichende Nutzungsbedingungen unter Creative-Commons-Lizenzen gelten. Massgebend ist in diesem Fall die auf der Website angezeigte Creative-Commons-Lizenz.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>10</b>
2.1	Time of Flight . . . . .	10
2.2	Photostrom . . . . .	11
2.2.1	Berechnung mit RLD94PZJ5 und BPV23NF . . . . .	11
2.2.2	Berechnung mit RLD65NZX1 and NJL6401R-3 . . . . .	12
2.3	Transimpedanzverstärker . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Umsetzung</b>	<b>14</b>
3.1	Firmware . . . . .	14
3.2	Schaltungen . . . . .	15
3.2.1	Selective Input Voltage . . . . .	15
3.2.2	Nucleo Board . . . . .	15
3.2.3	TDC Electrical Signal . . . . .	16
3.2.4	TDC Optical Signal . . . . .	16
3.2.5	Oscillator For TDCs . . . . .	17
3.2.6	Power Supply Separation . . . . .	17
3.2.7	Laser Driver . . . . .	18
3.2.8	Photo Receiver . . . . .	18
3.2.9	Decoupling Capacitors . . . . .	19
3.3	Layout . . . . .	20
3.4	3D View . . . . .	21
3.5	Komponenten . . . . .	22
<b>4</b>	<b>Simulationen</b>	<b>23</b>
4.1	Laser Treiber . . . . .	23
4.2	Transimpedanzverstärker . . . . .	23
<b>5</b>	<b>Messungen</b>	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>Fazit</b>	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>Anhang</b>	<b>26</b>

# Abkürzungsverzeichnis

**DIY** Do It Yourself. 9

**PCB** Printed Circuit Board. 20

**TDC** Time to Digital Converter. 9, 17, 18

**TIA** Trans-Impedance Amplifier. 13, 17

**ToF** Time of Flight. 9, 10

# Abbildungsverzeichnis

1	Selective Input Voltage . . . . .	15
2	Nucleo Board . . . . .	16
3	TDC Electrical Signal . . . . .	16
4	TDC Optical Signal . . . . .	17
5	Oscillator for TDCs . . . . .	17
6	Power Supply Separation . . . . .	18
7	Laser Driver . . . . .	18
8	Photo Receiver . . . . .	19
9	Decoupling Capacitors . . . . .	19
10	3D View Top . . . . .	21
11	3D View Bottom . . . . .	21

## Formelverzeichnis

1	Eintreffende Lichtleistung . . . . .	11
2	Strahlungsintensität . . . . .	11
3	Raumwinkel . . . . .	11
4	Photostrom . . . . .	11
5	Werte des RLD94PZJ5 . . . . .	11
6	Werte des BPV23NF . . . . .	11
7	Nummerische Resultate mit RLD94PZJ5 und BPV23NF . . . . .	12
8	Werte des RLD65NZX1 . . . . .	12
9	Werte des NJL6401R-3 . . . . .	12
10	Nummerische Resultate mit RLD65NZX1 and NJL6401R-3 . . . . .	12

# Tabellenverzeichnis

1	Bill of Material . . . . .	22
---	----------------------------	----

# Codeverzeichnis



# 1 Einleitung

Bei dieser Projektarbeit geht es darum ein Do It Yourself (DIY) optisches Time of Flight (ToF) Distanzmesssystem aufzubauen. Dazu soll ein Time to Digital Converter (TDC) verwendet werden.

...

## 2 Theorie

### 2.1 Time of Flight

Bei ToF handelt es sich um ...

## 2.2 Photostrom

Zur Berechnung des theoretisch zu erwartenden Photostrom wird von einer Distanz zur Wand von 10 m ausgegangen.

Der Laserstrahl gehe idealisiert mit 0° zur Wand und werde dort uniform Halbkugel-förmig gestreut. In der Realität wird sich die Streuung nicht uniform verteilen, sondern in der Mitte stärker konzentriert sein. Die folgende Berechnung zeigt also den worst case.

Die Berechnung der empfangenen Strahlungsleistung, der Strahlungsintensität, dem Raumwinkel und dem Photostrom sind in Formel 1, 2, 3 bzw. 4 gezeigt.

$$P_{in} = E_e \cdot A = \frac{I_e}{r^2} \cdot A \quad (1)$$

$$I_e = \frac{P_{out}}{\Omega} \quad (2)$$

$$\Omega = \frac{4 \cdot \pi \cdot 0.5}{d} \quad (3)$$

$$I_{ph} = S \cdot P_{in} \quad (4)$$

### 2.2.1 Berechnung mit RLD94PZJ5 und BPV23NF

Ersten Berechnungen wurden mit der Laserdiode RLD94PZJ5 (ROHM, 2020) und der Photodiode BPV23NF (Vishay Semic., 2024) durchgeführt.

Die relevanten Werte aus den Datenblättern sind in Formel 5 und 6 aufgelistet.

$$P_{out} = 285 \text{ mW} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} A &= 4.4 \text{ mm}^2 \\ S &= 0.6 \frac{\text{A}}{\text{W}} \end{aligned} \quad (6)$$

Diese Werte eingesetzt in Formel 2, 1 und 4 ergibt die Resultate in Formel 7.

$$\begin{aligned}
 I_e &= \frac{P_{out}}{\Omega} = \frac{285 \text{ mW}}{\frac{4 \cdot \pi \cdot 0.5}{d}} = \frac{285 \text{ mW}}{\frac{4 \cdot \pi \cdot 0.5}{10 \text{ m}}} = 45 \frac{\text{mW}}{\text{sr}} \\
 P_{in} &= \frac{I_e}{r^2} \cdot A = 45 \frac{\text{mW}}{\text{sr}} \cdot 4.4 \text{ mm}^2 = 2 \text{ nW} \\
 I_{ph} &= S \cdot P_{in} = 0.6 \frac{\text{A}}{\text{W}} \cdot 2 \text{ nW} = 1.2 \text{ nA}
 \end{aligned} \tag{7}$$

### 2.2.2 Berechnung mit RLD65NZX1 and NJL6401R-3

Die Laserdiode RLD94PZJ5 hat im Bezug auf diese Projektarbeit zwei Nachteile: Sehr hohe Leistung, welche für das menschliche Auge gefährlich werden kann und ein Wellenlängenbereich, der für das menschliche Auge nicht sichtbar ist.

Aus diesen Gründen wurde eine zweite Laserdiode evaluiert: RLD65NZX1 (ROHM, 2019). Ge- paart wird sie mit der Photodiode NJL6401R-3 (JRC, 2014). Die folgenden Berechnungen wur- den basierend auf diesen beiden Komponenten durchgeführt.

Die relevanten Werte aus den Datenblättern sind in Formel 8 und 9 aufgelistet.

$$P_{out} = 10 \text{ mW} \tag{8}$$

$$\begin{aligned}
 A &= 0.7 \text{ mm} \cdot 0.7 \text{ mm} = 0.49 \text{ mm}^2 \\
 S &= 0.42 \frac{\text{A}}{\text{W}}
 \end{aligned} \tag{9}$$

Diese Werte eingesetzt in Formel 2, 1 und 4 ergibt die Resultate in Formel 10.

$$\begin{aligned}
 I_e &= \frac{P_{out}}{\Omega} = \frac{10 \text{ mW}}{\frac{4 \cdot \pi \cdot 0.5}{d}} = \frac{10 \text{ mW}}{\frac{4 \cdot \pi \cdot 0.5}{10 \text{ m}}} = 1.6 \frac{\text{mW}}{\text{sr}} \\
 P_{in} &= \frac{I_e}{r^2} \cdot A = 1.6 \frac{\text{mW}}{\text{sr}} \cdot 0.49 \text{ mm}^2 = 8 \text{ pW} \\
 I_{ph} &= S \cdot P_{in} = 0.42 \frac{\text{A}}{\text{W}} \cdot 8 \text{ pW} = 3.3 \text{ pA}
 \end{aligned} \tag{10}$$

## 2.3 Transimpedanzverstärker

Bei einem Trans-Impedance Amplifier (TIA) handelt es sich um ...

## 3 Umsetzung

### 3.1 Firmware

## 3.2 Schaltungen

### 3.2.1 Selective Input Voltage

Abbildung 1 zeigt die Beschaltung zur Selektion der Speisung.

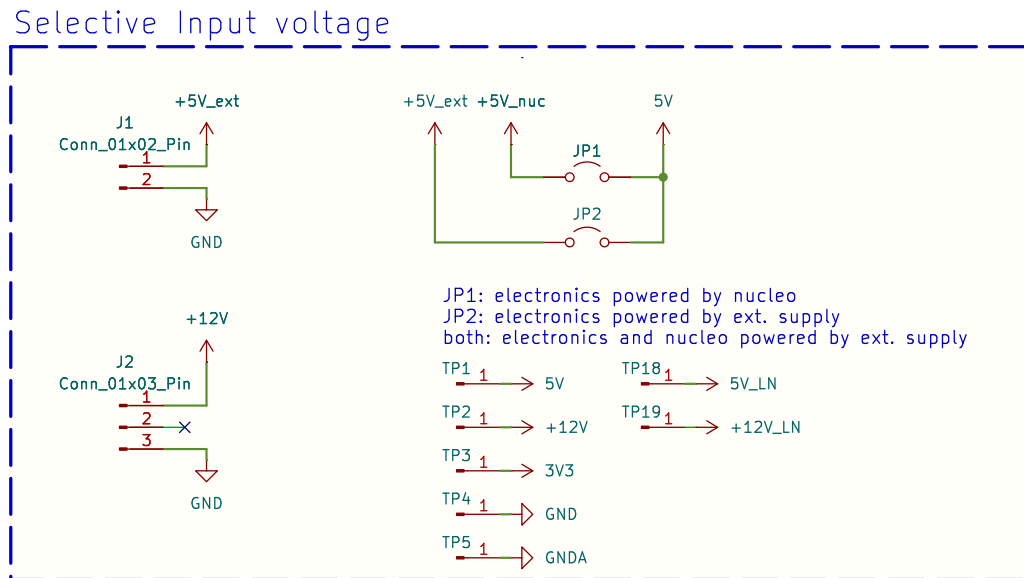


Abbildung 1: Selective Input Voltage

Für die Speisung des Nucleo-Boards bestehen die folgenden Möglichkeiten:

- 5V von USB-Buchse
- 5V von externem Power-Supply (JP1 + JP2)
- 12V von externem Power-Supply (JP3)

Siehe dazu auch Kapitel 3.2.2.

Für die Speisung der 5V-Elektronik bestehen die folgenden Möglichkeiten:

- 5V von Nucleo-Board (JP1)
- 5V von externem Power-Supply (JP2)
- 12V von externem Power-Supply via Nucleo-Board (JP1 + JP3)

Für die Speisung der Photodiode bestehen die folgenden Möglichkeiten:

- 5V von 5V-Elektronik (SW2 Position 3)
- 12V von externem Power-Supply (SW2 Position 1)

Siehe dazu auch Kapitel 3.2.8.

### 3.2.2 Nucleo Board

Die Beschaltung des NUCLEO-F042K6 Boards (ST, 2024) ist in Abbildung 2 gezeigt.

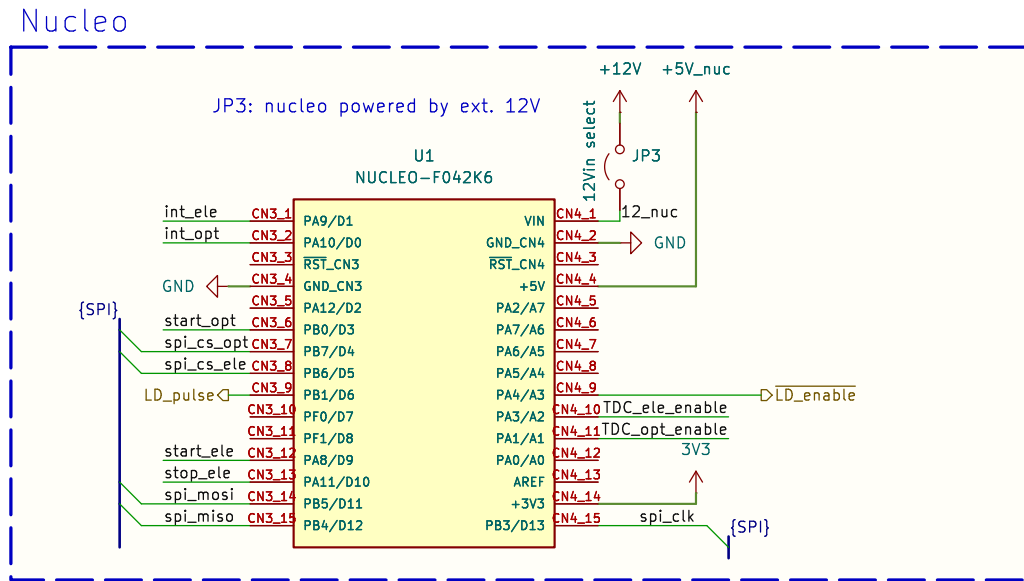


Abbildung 2: Nucleo Board

### 3.2.3 TDC Electrical Signal

Die Beschaltung des TDC7200 (TI, 2016b) für den elektrischen Teil ist in Abbildung 3 gezeigt.

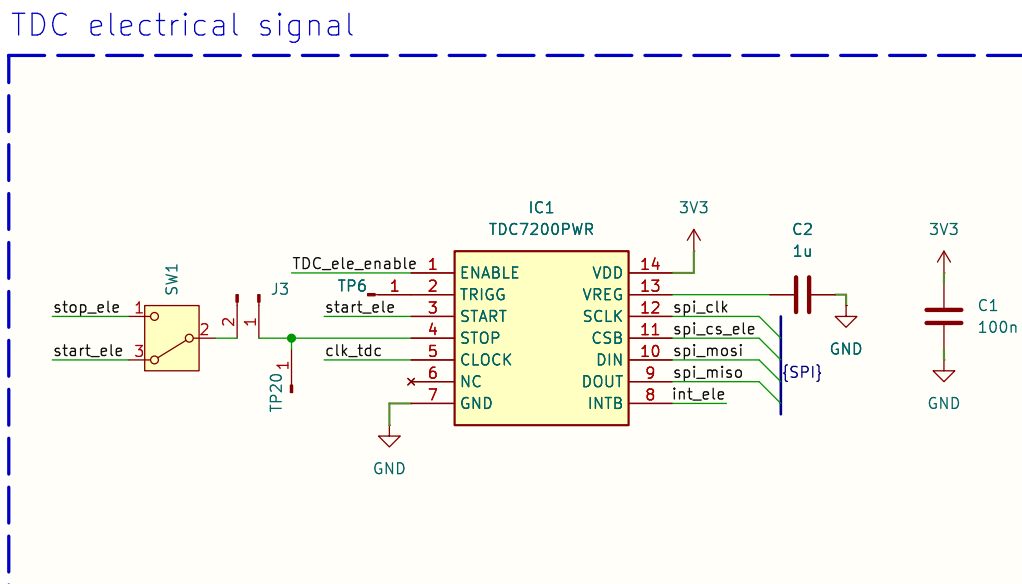


Abbildung 3: TDC Electrical Signal

### 3.2.4 TDC Optical Signal

Die Beschaltung des TDC7200 (TI, 2016b) für den optischen Teil ist in Abbildung 4 gezeigt.



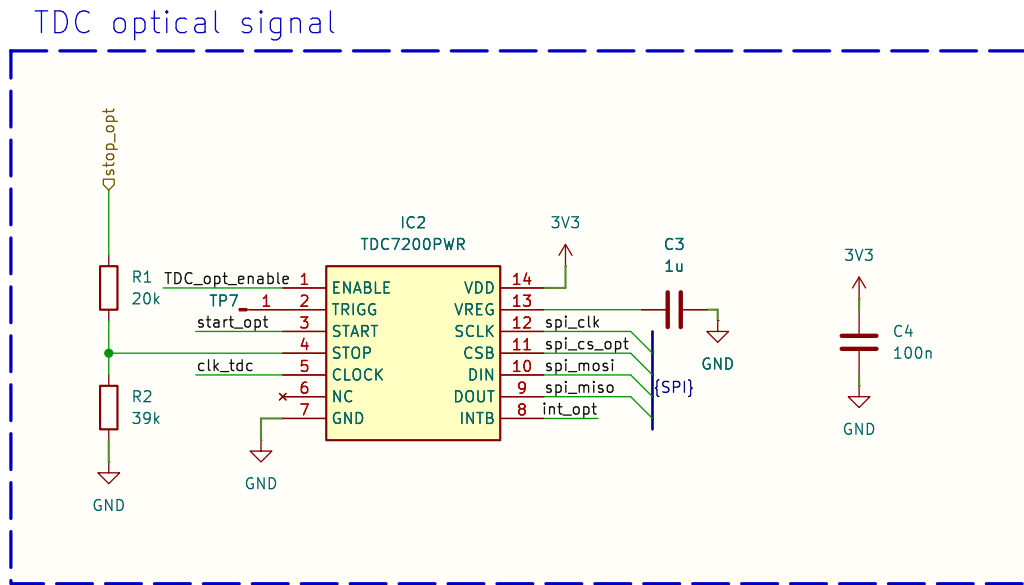


Abbildung 4: TDC Optical Signal

### 3.2.5 Oscillator For TDCs

Die Beschaltung des Oszillators für die beiden TDC ist in Abbildung 5 gezeigt.

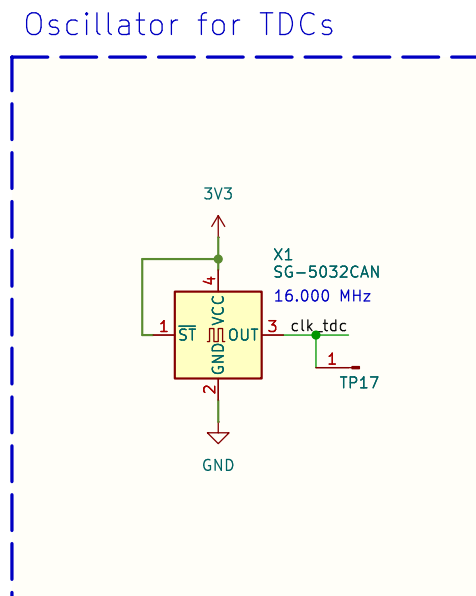


Abbildung 5: Oscillator for TDCs

### 3.2.6 Power Supply Separation

Für die Beschaltung der Photodiode, inkl. TIA und Komparator, macht es Sinn eine Spannungsversorgung mit möglichst wenig Rauschen zu haben.

Dazu wurde die Separierung vorgenommen, welche in Abbildung 6 dargestellt ist.

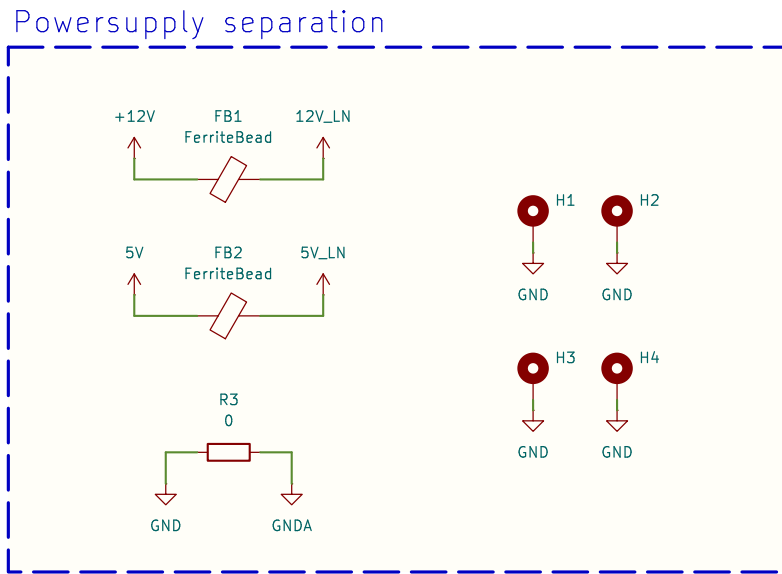


Abbildung 6: Power Supply Separation

### 3.2.7 Laser Driver

Die Laser Diode RLD65NZX1 (ROHM, 2019) wird mittels Lasertreiber LMG1025-Q1 (TI, 2024) und NexFET (TI, 2016a) angesteuert. Für die Generierung eines kurzen Pulses (0.5 ... 100 ns) wurde mittels Hochpass und AND-Gatter (Diodes Inc., 2020) implementiert. Siehe dazu Abbildung 7.

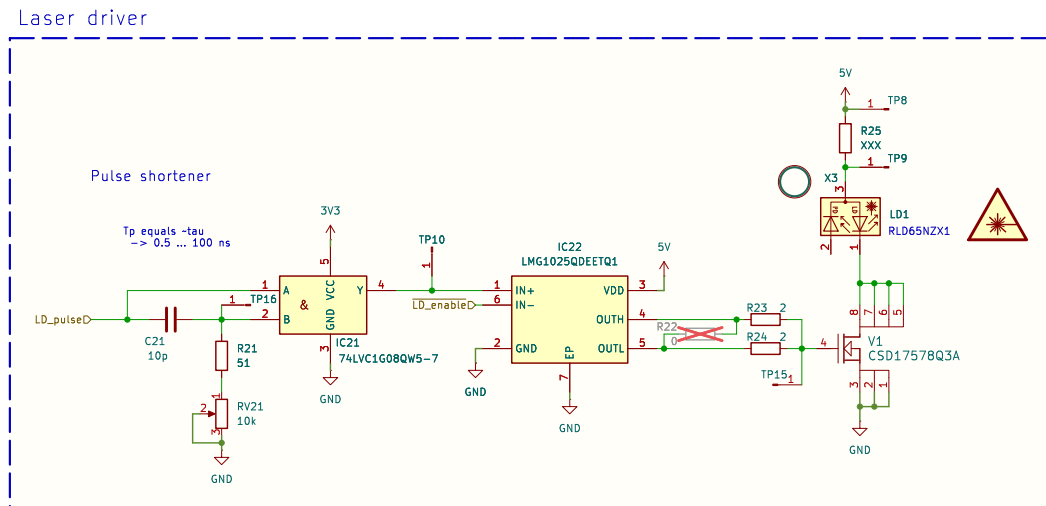


Abbildung 7: Laser Driver

### 3.2.8 Photo Receiver

Um den Photostrom der Photodiode NJL6401R (JRC, 2014) zu verstärken und in eine Spannung umzuwandeln, wurde mit dem Operationsverstärker OPA858 (TI, 2018) ein Transimpedanzverstärker aufgebaut. Der Ausgangs des Transimpedanzverstärkers geht auf den Komparator

TLV3501 (TI, 2016c), um das STOP-Signal für den TDC zu generieren. Siehe dazu Abbildung 8.

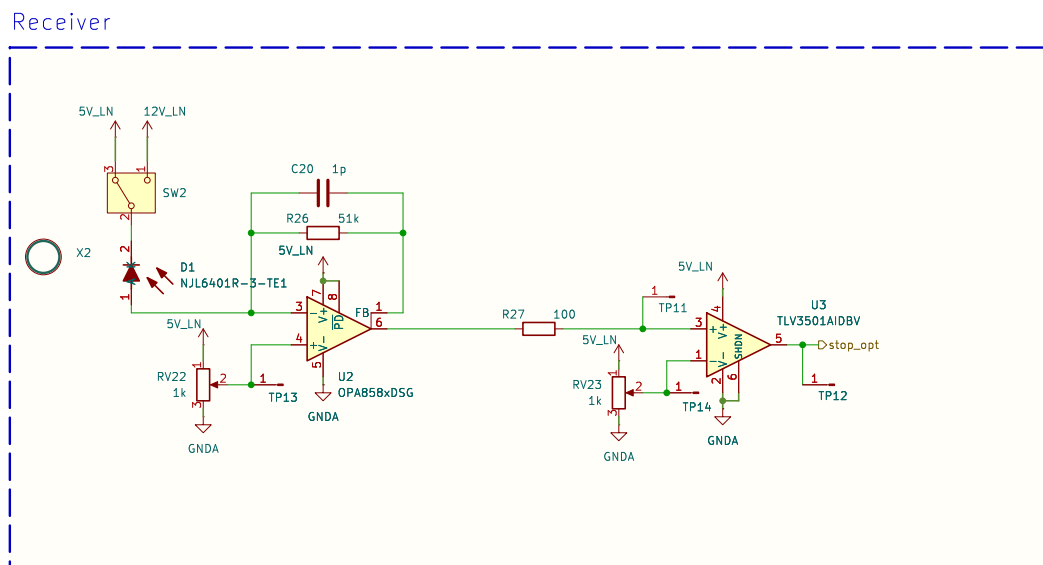


Abbildung 8: Photo Receiver

### 3.2.9 Decoupling Capacitors

Die Beschaltung der Entkopplungs-Kondensatoren ist in Abbildung 9 dargestellt.

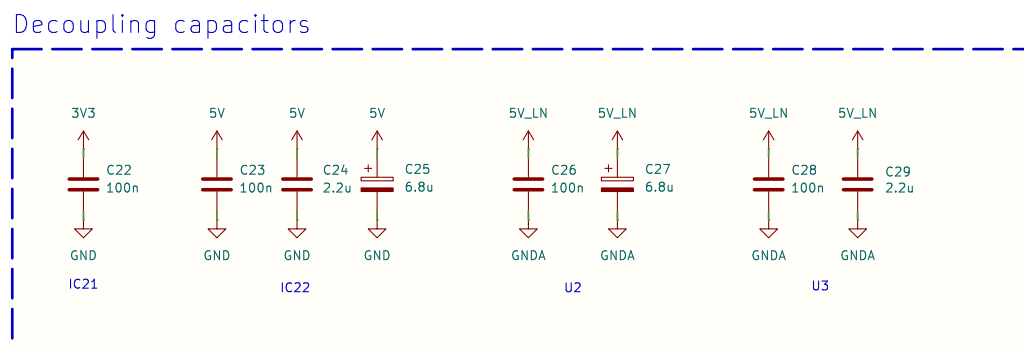


Abbildung 9: Decoupling Capacitors

## 3.3 Layout

In diesem Kapitel werden die PCB-Layouts dokumentiert.

...

## 3.4 3D View



Abbildung 10: 3D View Top

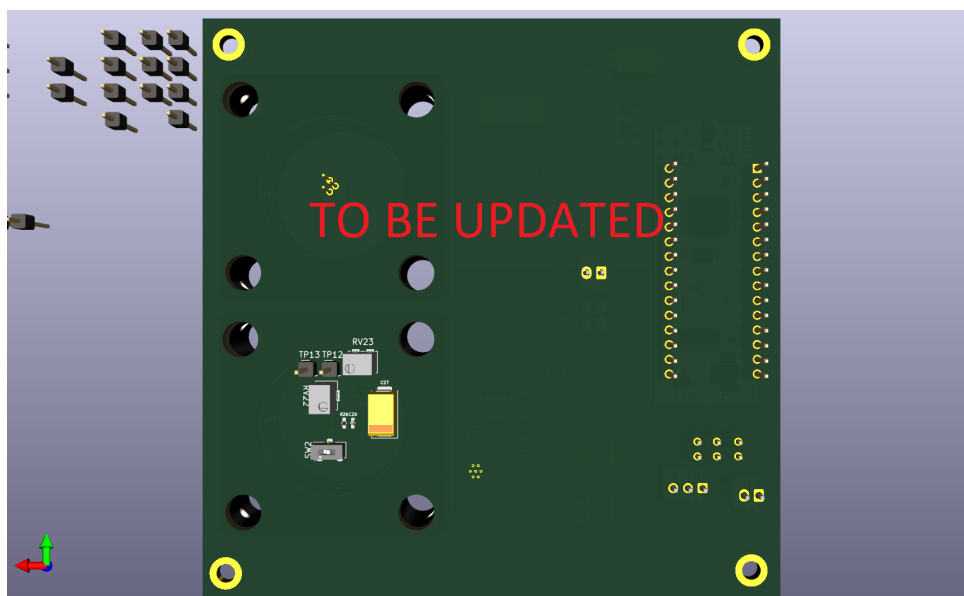


Abbildung 11: 3D View Bottom

3.5 Komponenten

Reference	Value	Datasheet	Footprint	Qty	DNP
C1,C4,C22,C23,C26,C28	100n		Capacitor_SMD:C_0402_1005Metric_Pad0.74x0.62mm	6	
C2,C3	1u		Capacitor_SMD:C_0402_1005Metric_Pad0.74x0.62mm	2	
C20	1p		Capacitor_SMD:C_0402_1005Metric_Pad0.74x0.62mm	1	
C21	10p		Capacitor_SMD:C_0402_1005Metric_Pad0.74x0.62mm	1	
C24,C29	2.2u		Capacitor_SMD:C_0603_1608Metric_Pad1.08x0.95mm	2	
C25,C27	6.8u		Capacitor_Tantal_SMD:CP_EIA-7343-43_Kemet-X_Pad2.25x2.55mm	2	
D1	NJL6401R-3-TE1	(JRC, 2014)	NJL6401R3TE1	1	
FB1,FB2	FerriteBead	(TDK, 2019)	Inductor_SMD:L_0402_1005Metric_Pad0.77x0.64mm	2	
IC1,IC2	TDC7200PWR	(TI, 2016b)	SOP65P640X120-14N	2	
IC21	74LVC1G08QW5-7	(Diodes Inc., 2020)	74LVC1G08QW57	1	
IC22	LMG1025QDEETQ1	(TI, 2024)	SON65P200X200X80-7N	1	
J1,J3	Conn_01x02_Pin		Connector:Molex_KK-254_AE-6410-02A_1x02_P2.54mm_Vertical	2	
J2	Conn_01x03_Pin		Connector:Molex_SL_171971-0003_1x03_P2.54mm_Vertical	1	
JP1,,JP2	Jumper 2_Open		TestPoint:TestPoint_2Pads_Pitch2.54mm_Drill0.8mm	2	
JP3	12VIn select		TestPoint:TestPoint_2Pads_Pitch2.54mm_Drill0.8mm	1	
LD1	RLD65NZX1-00A	(ROHM, 2019)	RLD65NZX1-00A:RLD85PZJ400A	1	
X2,X3			- mixed values -	1	
R1	20k		Resistor_SMD:R_0402_1005Metric_Pad0.72x0.64mm	3	
R2	39k		Resistor_SMD:R_0402_1005Metric_Pad0.72x0.64mm	1	
R3	0		Resistor_SMD:R_0402_1005Metric_Pad0.72x0.64mm	1	
R21	51		Resistor_SMD:R_0402_1005Metric_Pad0.72x0.64mm	1	
R22	0		Resistor_SMD:R_0402_1005Metric_Pad0.72x0.64mm	1	
R23,R24	2		Resistor_SMD:R_0402_1005Metric_Pad0.72x0.64mm	1	
R25	XXX		Resistor_SMD:R_4020_10251Metric	2	
R26	51k		Resistor_SMD:R_0402_1005Metric_Pad0.72x0.64mm	1	
R27	100		Resistor_SMD:R_0402_1005Metric_Pad0.72x0.64mm	1	
RV21	10k	(Bourns, 2024)	Potentiometer_SMD:Potentiometer_Bourns.3224W_Vertical	1	
RV22,RV23	1k	(Bourns, 2024)	Potentiometer_SMD:Potentiometer_Bourns.3224W_Vertical	2	
SW1,SW2	SW_Nidec_CAS-120A1	(Nidec Comp., 2024)	Button_Switch_SMD:Nidec_Copal_CAS-120A	2	
TP1..TP19	Conn_01x01_Pin		Connector_2.54mm:PinHeader_1x01_P2.54mm_Vertical	19	
U1	NUCLEO-F042K6	(ST, 2019)	NUCLEO_F042K6:MODULE_NUCLEO-F042K6	1	
U2	OPA858xDSG	(TI, 2018)	Package_SON:WSON-8_1EP_2x2mm_P0.5mm_EP0.9x1.6mm	1	
U3	TLV3501AIDBV	(TI, 2016c)	Package_TO_SOT_SMD:SOT-23-6	1	
V1	CSD17578Q3A	(TI, 2016a)	DNH0008A	1	
X1	SG-5032CAN	(Epson Timing, 2024)	Oscillator:SMD_SeikoEpson_SG8002LB-4Pin_5.0x3.2mm	1	

Tabelle 1: Bill of Material

## 4 Simulationen

### 4.1 Laser Treiber

### 4.2 Transimpedanzverstärker

## 5 Messungen



## 6 Fazit

## 7 Anhang

# Quellenverzeichnis

- Bourns. (2024). *3224W-2-10XE Datasheet*. Zugriff auf <https://www.mouser.ch/datasheet/2/54/3224-776900.pdf> (aufgerufen am 26.12.2024)
- Diodes Inc. (2020). *74LVC1G08Q Datasheet*. Zugriff auf [https://www.mouser.ch/datasheet/2/115/DI0D\\_S\\_A0010762531\\_1-2543394.pdf](https://www.mouser.ch/datasheet/2/115/DI0D_S_A0010762531_1-2543394.pdf) (aufgerufen am 26.12.2024)
- Epson Timing. (2024). *SG5032CAN Datasheet*. Zugriff auf [https://www.mouser.ch/datasheet/2/137/SG5032CAN\\_en-961596.pdf](https://www.mouser.ch/datasheet/2/137/SG5032CAN_en-961596.pdf) (aufgerufen am 26.12.2024)
- JRC. (2014). *NJL6401R-3 Datasheet*. Zugriff auf [https://www.mouser.ch/datasheet/2/294/NJL6401R\\_3\\_E-1019028.pdf](https://www.mouser.ch/datasheet/2/294/NJL6401R_3_E-1019028.pdf) (aufgerufen am 26.12.2024)
- Nidec Comp. (2024). *CAS-120A1 Datasheet*. Zugriff auf <https://www.mouser.ch/datasheet/2/972/cas-1628136.pdf> (aufgerufen am 26.12.2024)
- ROHM. (2019). *RLD65NZX1 Datasheet*. Zugriff auf [https://fscdn.rohm.com/en/products/databook/datasheet/opto/laser\\_diode/red/rld65nzx100a008-e.pdf](https://fscdn.rohm.com/en/products/databook/datasheet/opto/laser_diode/red/rld65nzx100a008-e.pdf) (aufgerufen am 26.12.2024)
- ROHM. (2020). *RLD94PZJ5 Datasheet*. Zugriff auf [https://fscdn.rohm.com/en/products/databook/datasheet/opto/laser\\_diode/infrared/rld94pzj5-e.pdf](https://fscdn.rohm.com/en/products/databook/datasheet/opto/laser_diode/infrared/rld94pzj5-e.pdf) (aufgerufen am 26.12.2024)
- ST. (2019). *NUCLEO-F042K6 Datasheet*. Zugriff auf <https://www.mouser.ch/datasheet/2/389/nucleo-f031k6-1484037.pdf> (aufgerufen am 26.12.2024)
- ST. (2024). *NUCLEO-F042K6 Usermanual*. Zugriff auf [https://www.st.com/resource/en/user\\_manual/um1956-stm32-nucleo32-boards-mb1180-stmicroelectronics.pdf](https://www.st.com/resource/en/user_manual/um1956-stm32-nucleo32-boards-mb1180-stmicroelectronics.pdf) (aufgerufen am 26.12.2024)
- TDK. (2019). *MPZ0402S100 Datasheet*. Zugriff auf [https://product.tdk.com/system/files/dam/doc/product/emc/emc/beads/catalog/beads\\_commercial\\_power\\_mpz0402\\_en.pdf](https://product.tdk.com/system/files/dam/doc/product/emc/emc/beads/catalog/beads_commercial_power_mpz0402_en.pdf) (aufgerufen am 26.12.2024)
- TI. (2016a). *CSD17578Q3A Datasheet*. Zugriff auf <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/csd17578q3a.pdf?ts=1735200469410> (aufgerufen am 26.12.2024)
- TI. (2016b). *TDC7200 Datasheet*. Zugriff auf <http://www.ti.com/lit/gpn/tdc7200> (aufgerufen am 25.12.2024)
- TI. (2016c). *TLV3501 Datasheet*. Zugriff auf <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlv3501.pdf?ts=1735168630258> (aufgerufen am 26.12.2024)
- TI. (2018). *OPA858 Datasheet*. Zugriff auf <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/opa858.pdf?ts=1735178891996> (aufgerufen am 26.12.2024)
- TI. (2024). *LMG1025-Q1 Datasheet*. Zugriff auf <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmg1025-q1.pdf?ts=1735200095732> (aufgerufen am 26.12.2024)
- Vishay Semic. (2024). *BPV23NF Datasheet*. Zugriff auf <https://www.vishay.com/docs/81513/bpv23nf.pdf> (aufgerufen am 26.12.2024)