

# DIY Optische ToF Distanzmessung

OST – Ostschweizer Fachhochschule

CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning

Matthias Schär, Timon Burkard

24.01.2025

# Inhaltsverzeichnis

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning

① Ziele (2 min)

② Umsetzung (7 min)

- Schaltungen
- Firmware

③ Resultate (8 min)

- Elektrische Resultate
- Optische Resultate

④ Fazit (3 min)

⑤ Demonstration (5 min)

# Ziele

# Zielsetzung

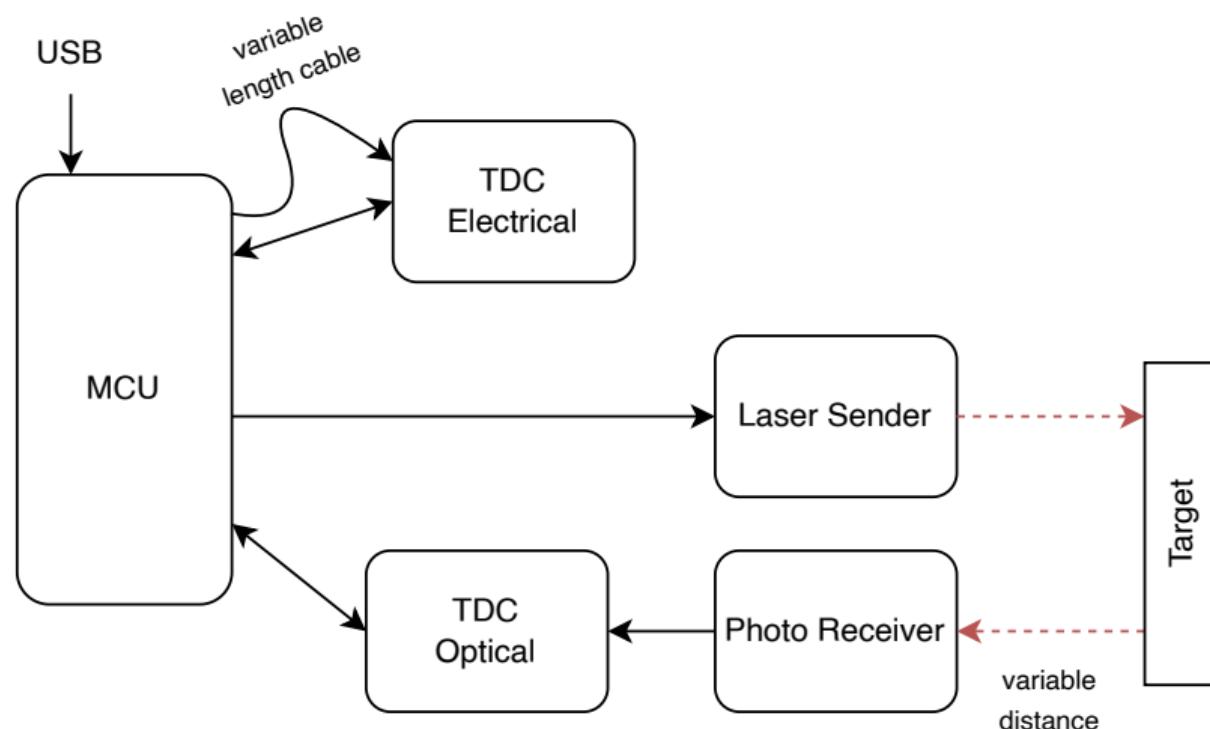
OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning

- ToF-Demonstrator entwickeln
  - Eigenes PCB mit 2x TDC7200
- Erster Schritt: Kabellängen vermessen
- Zweiter Schritt: Optische Messung
  - Distanz: 10 m
  - Auflösung: 30 cm

# Umsetzung

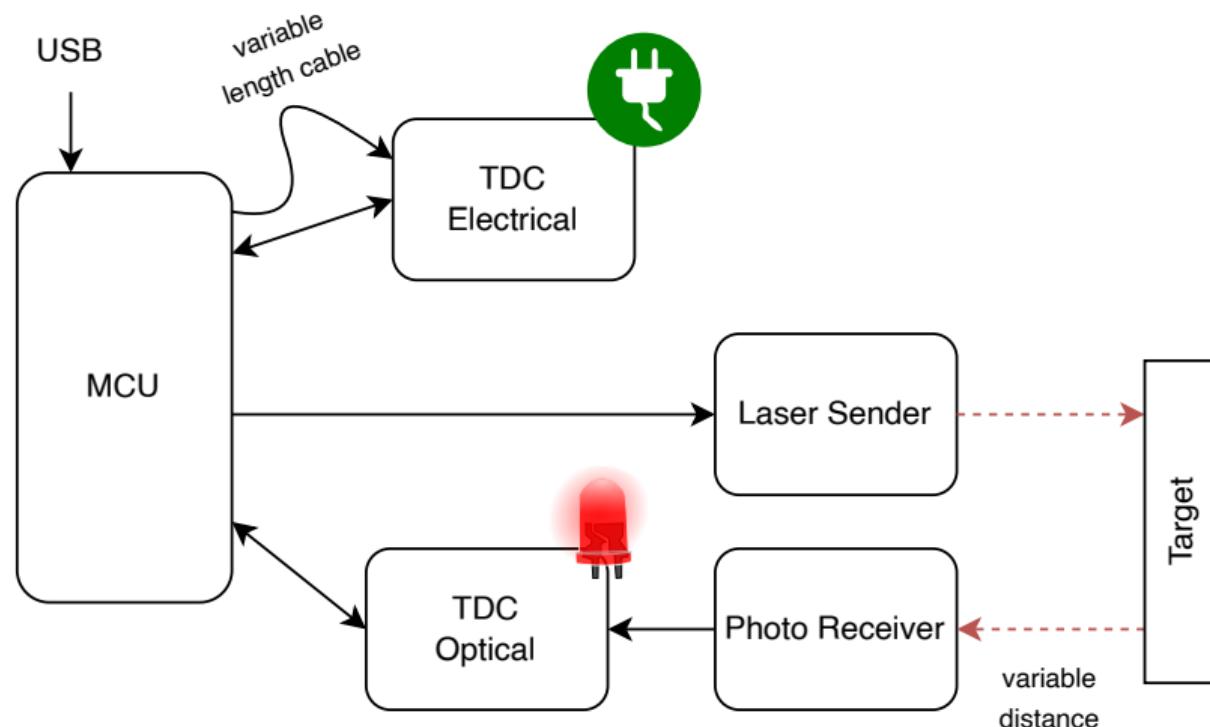
# Blockdiagramm

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning



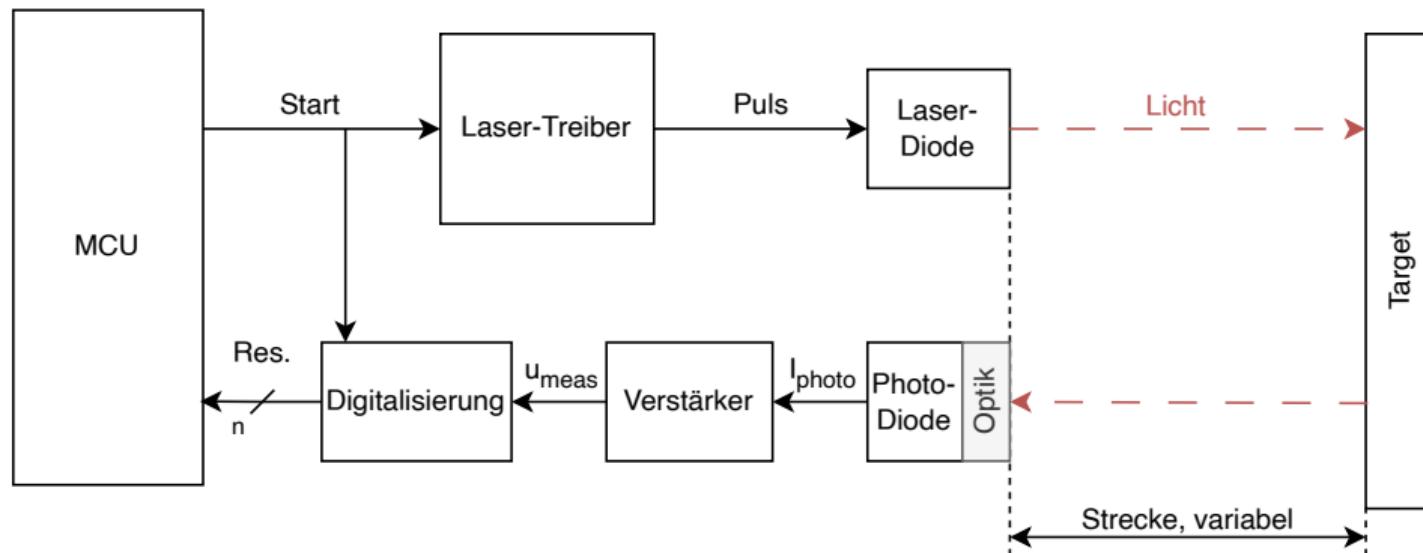
# Blockdiagramm

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning



# Konzept: Optischer Teil

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning



## Umsetzung

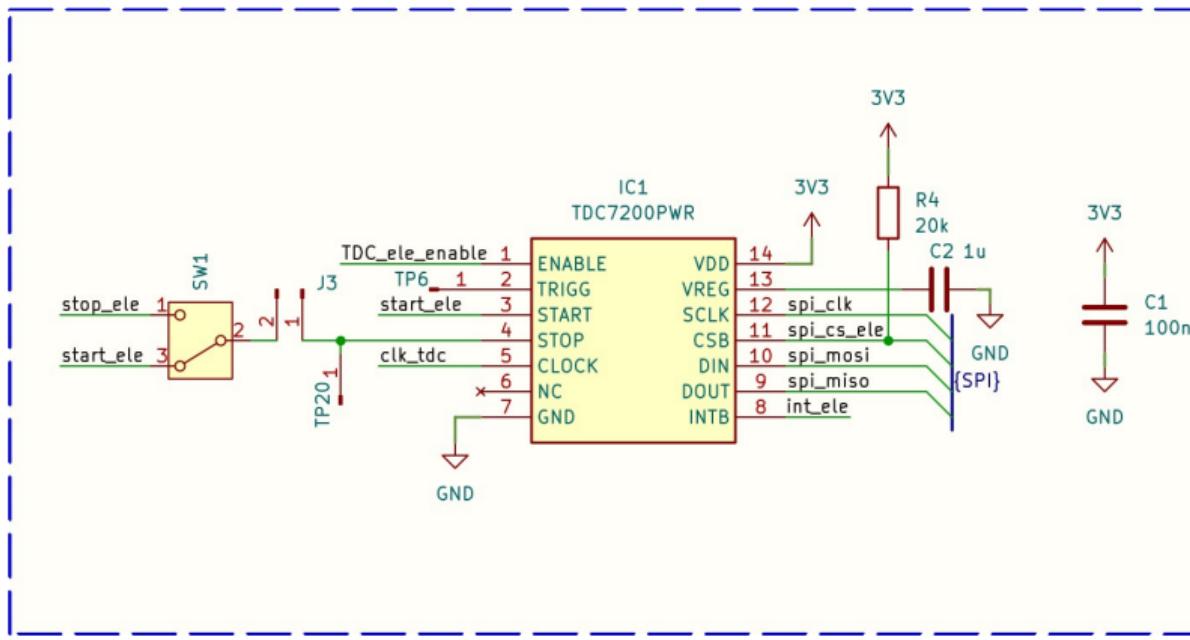
## Schaltungen

# TDC Elektrisch

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning

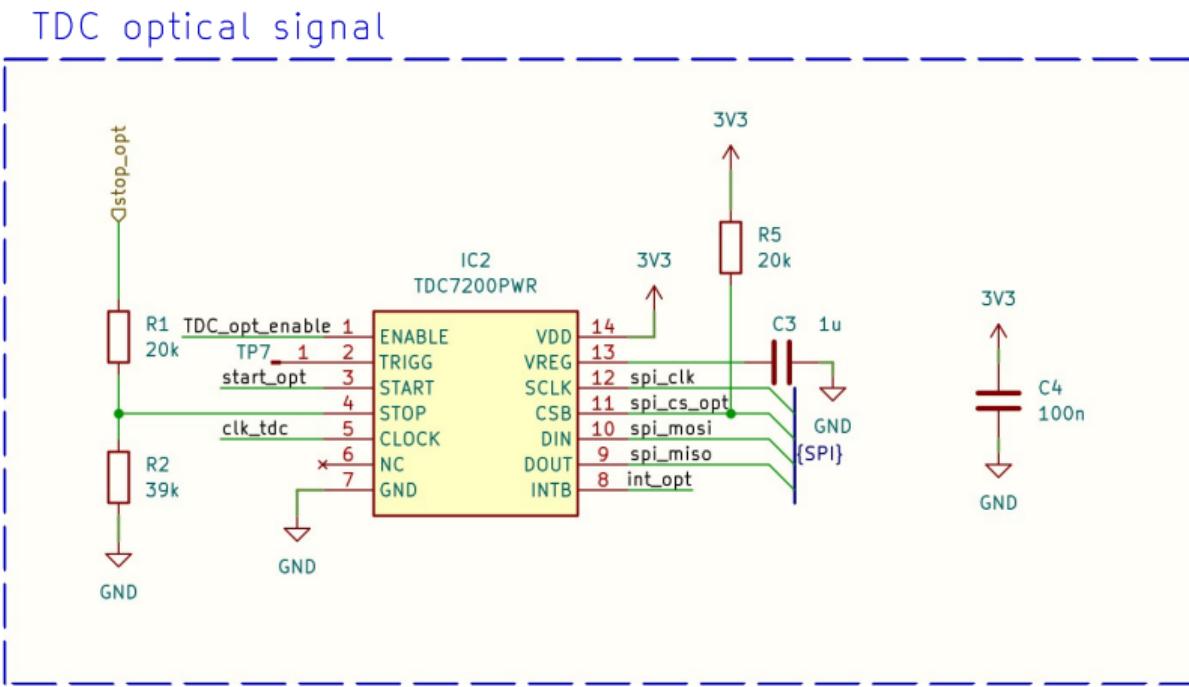


TDC electrical signal



# TDC Optisch

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning



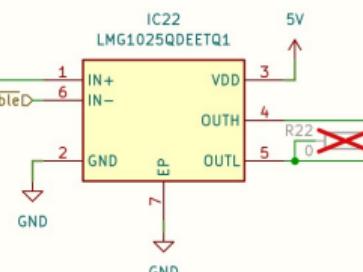
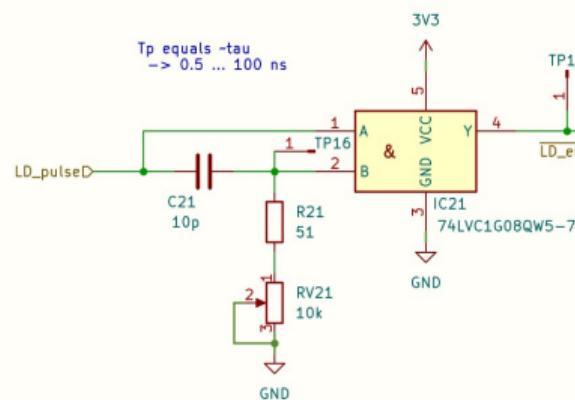
# Laser Treiber

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning



Laser driver

Pulse shortener



$$R = 3V / I_{ld}$$

$$I_{ld} = 40 \dots 100 \text{ mA}$$

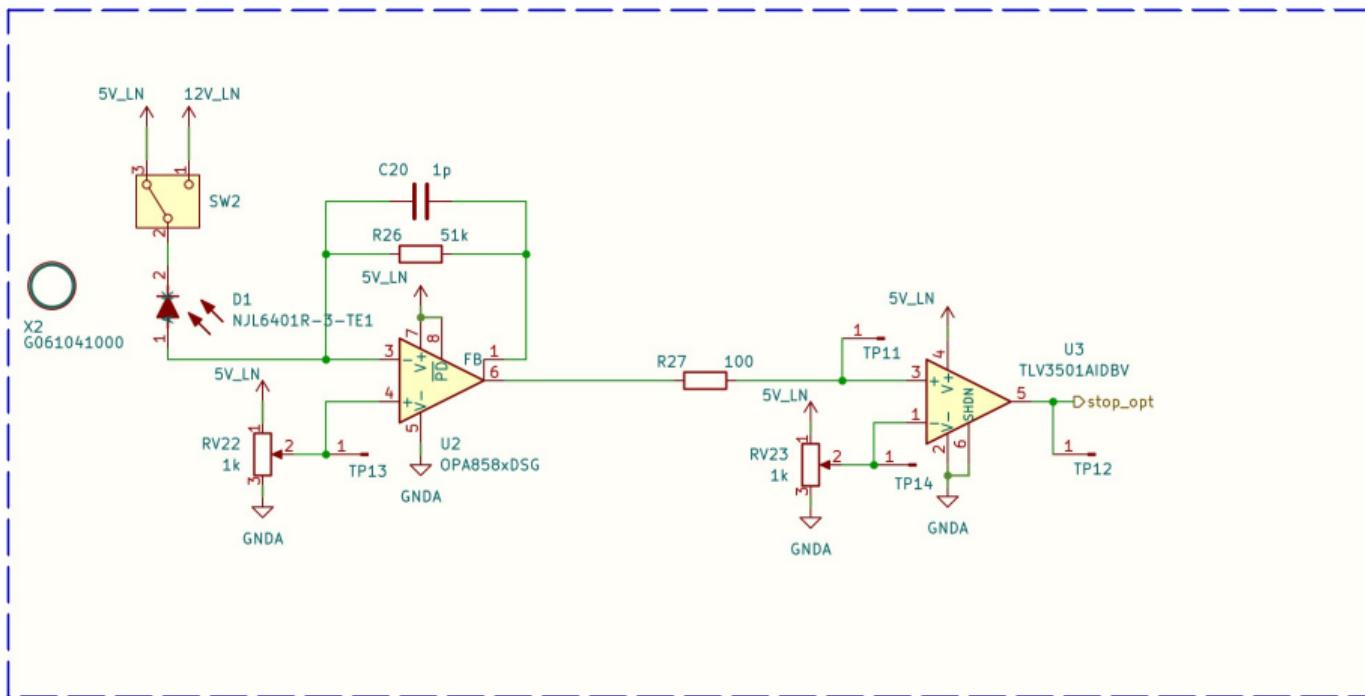


# Photo Receiver

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning

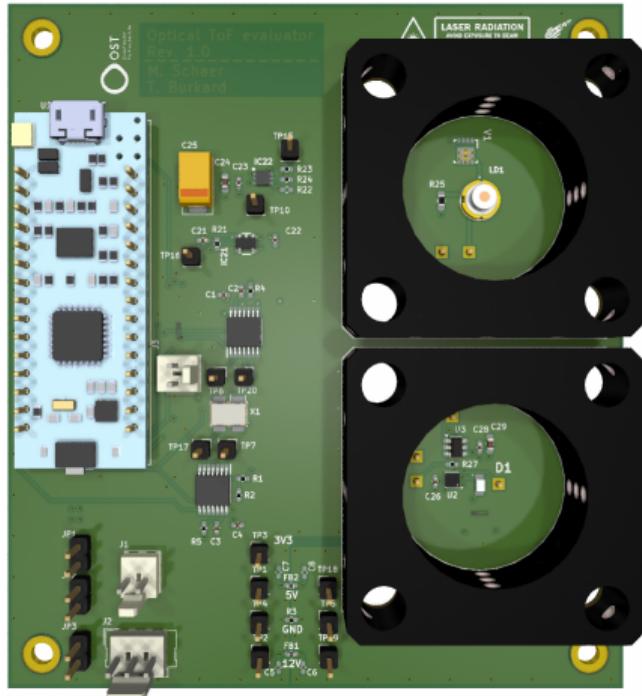


Receiver



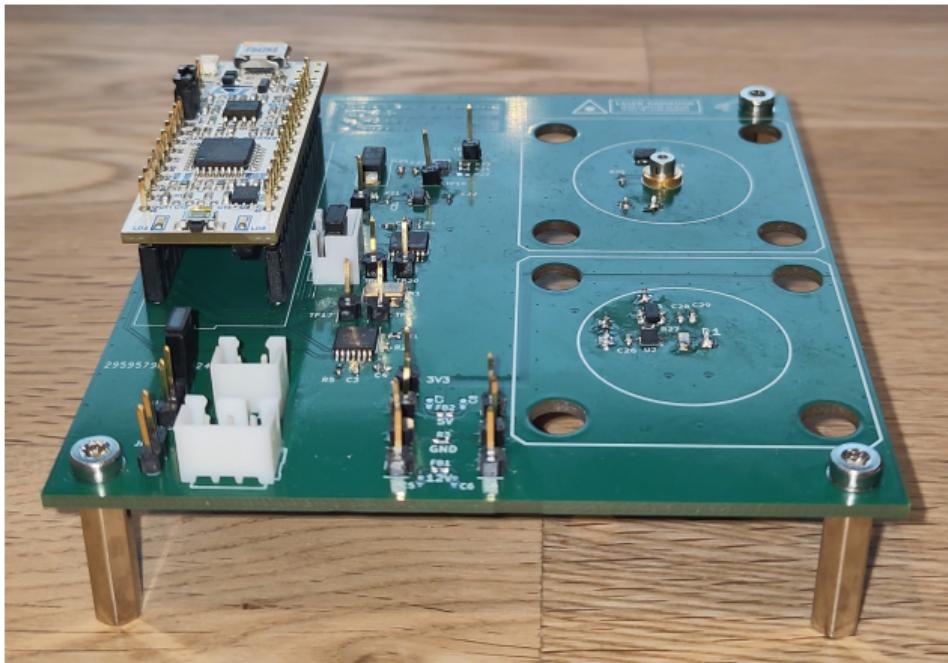
## 3D View

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning



# Demonstrator

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning

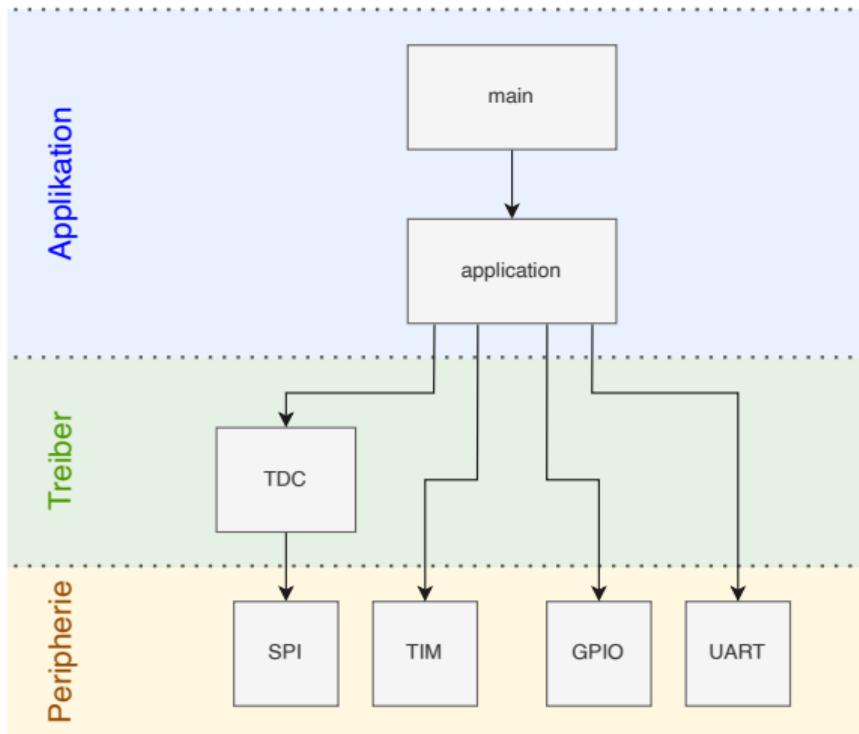


# Umsetzung

## Firmware

# Firmware Blockdiagramm

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning



# Firmware Beispiel: Konfiguration

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning

```
1 // Configuration
2
3 TDC_init(&tdc_ele, &hspi1, SPI_CS_ELE_GPIO, TDC_ELE_ENABLE_GPIO);
4
5 TDC_enable(&tdc_ele);
6
7 // SPI Communication
8
9 TDC_read(&tdc_ele, TDC_ADR_CONFIG1, data);
10
11 data[0] |= TDC_CONFIG1_MEAS_MODE_1;
12
13 TDC_write(&tdc_ele, TDC_ADR_CONFIG1, data);
```

# Firmware Beispiel: Konfiguration

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning

```
1 // Configuration
2
3 TDC_init(&tdc_ele, &hspi1, SPI_CS_ELE_GPIO, TDC_ELE_ENABLE_GPIO);
4
5 TDC_enable(&tdc_ele);
6
7 // SPI Communication
8
9 TDC_read(&tdc_ele, TDC_ADR_CONFIG1, data);
10
11 data[0] |= TDC_CONFIG1_MEAS_MODE_1;
12
13 TDC_write(&tdc_ele, TDC_ADR_CONFIG1, data);
```

# Firmware Beispiel: Konfiguration

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning

```
1 // Configuration
2
3 TDC_init(&tdc_ele, &hspi1, SPI_CS_ELE_GPIO, TDC_ELE_ENABLE_GPIO);
4
5 TDC_enable(&tdc_ele);
6
7 // SPI Communication
8
9 TDC_read(&tdc_ele, TDC_ADR_CONFIG1, data);
10
11 data[0] |= TDC_CONFIG1_MEAS_MODE_1;
12
13 TDC_write(&tdc_ele, TDC_ADR_CONFIG1, data);
```

# Firmware Beispiel: Messung

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning

```
1 uint64_t tof_fs = 0;
2
3 while (1) {
4     TDC_start(&tdc_ele);
5
6     // Set Pins to High with direct register access
7     *((volatile uint32_t*)(GPIOA_BASE + 0x14)) |= (1 << 8); // START_ELE
8     *((volatile uint32_t*)(GPIOA_BASE + 0x14)) |= (1 << 11); // STOP_ELE
9
10    TDC_read_result(&tdc_ele, &tof_fs);
11
12    // ToF result in [fs] is ready
13 }
```

# Firmware Beispiel: Messung

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning

```
1 uint64_t tof_fs = 0;
2
3 while (1) {
4     TDC_start(&tdc_ele);
5
6     // Set Pins to High with direct register access
7     *((volatile uint32_t*)(GPIOA_BASE + 0x14)) |= (1 << 8); // START_ELE
8     *((volatile uint32_t*)(GPIOA_BASE + 0x14)) |= (1 << 11); // STOP_ELE
9
10    TDC_read_result(&tdc_ele, &tof_fs);
11
12    // ToF result in [fs] is ready
13 }
```

# Firmware Beispiel: Messung

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning

```
1 uint64_t tof_fs = 0;
2
3 while (1) {
4     TDC_start(&tdc_ele);
5
6     // Set Pins to High with direct register access
7     *((volatile uint32_t*)(GPIOA_BASE + 0x14)) |= (1 << 8); // START_ELE
8     *((volatile uint32_t*)(GPIOA_BASE + 0x14)) |= (1 << 11); // STOP_ELE
9
10    TDC_read_result(&tdc_ele, &tof_fs);
11
12    // ToF result in [fs] is ready
13 }
```

# Firmware Beispiel: Messung

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning

```
1 uint64_t tof_fs = 0;
2
3 while (1) {
4     TDC_start(&tdc_ele);
5
6     // Set Pins to High with direct register access
7     *((volatile uint32_t*)(GPIOA_BASE + 0x14)) |= (1 << 8); // START_ELE
8     *((volatile uint32_t*)(GPIOA_BASE + 0x14)) |= (1 << 11); // STOP_ELE
9
10    TDC_read_result(&tdc_ele, &tof_fs);
11
12    // ToF result in [fs] is ready
13 }
```

# Firmware Beispiel: Messung

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning

```
1 uint64_t tof_fs = 0;
2
3 while (1) {
4     TDC_start(&tdc_ele);
5
6     // Set Pins to High with direct register access
7     *((volatile uint32_t*)(GPIOA_BASE + 0x14)) |= (1 << 8); // START_ELE
8     *((volatile uint32_t*)(GPIOA_BASE + 0x14)) |= (1 << 11); // STOP_ELE
9
10    TDC_read_result(&tdc_ele, &tof_fs);
11
12    // ToF result in [fs] is ready
13 }
```

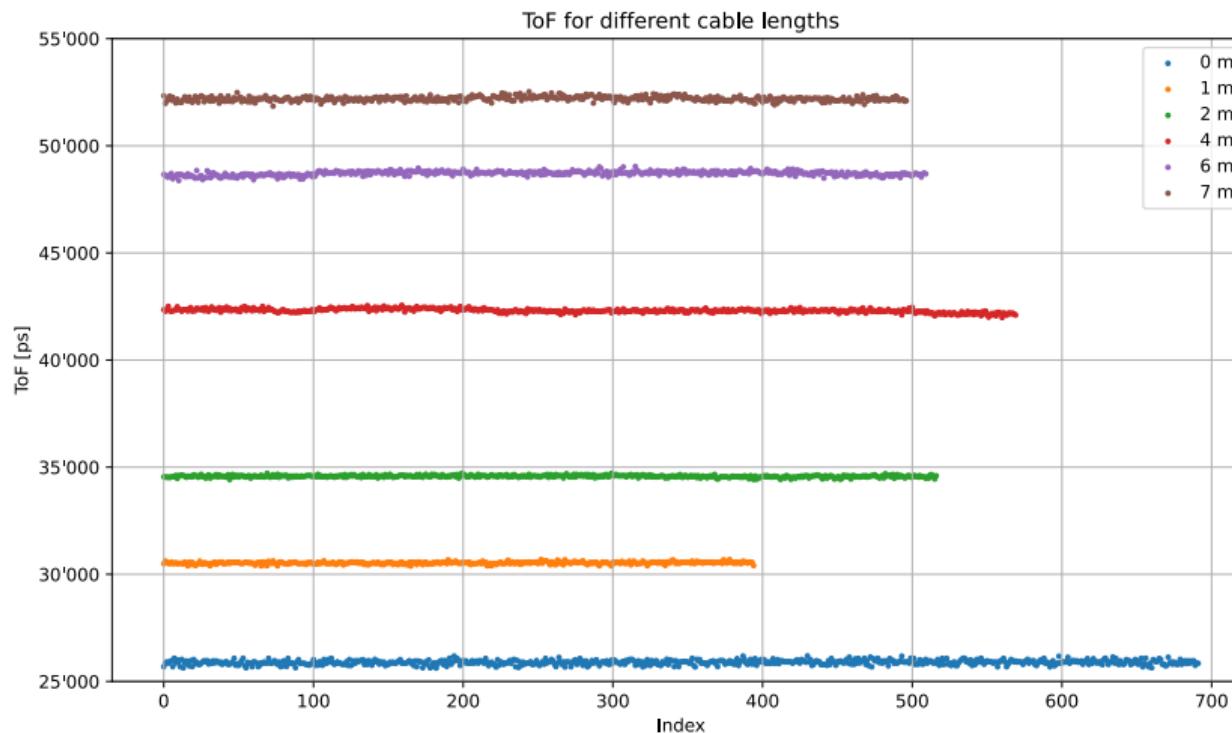
# Resultate

## Resultate

### Elektrische Resultate

# Unterschiedliche Kabellängen

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning



# Unterschiedliche Kabellängen: Resultate

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning



Länge	Mittelwert	Standardabweichung	$\Delta$ zu 0 m
0 m	25'890 ps	104 ps	0 ns
1 m	30'531 ps	53 ps	4.6 ns
2 m	34'575 ps	50 ps	8.7 ns
4 m	42'308 ps	88 ps	16.4 ns
6 m	48'710 ps	98 ps	22.8 ns
7 m	52'194 ps	104 ps	26.3 ns

# Unterschiedliche Kabellängen: Zurückgerechnet

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning



Länge	TDC zurückgerechnet mit 0.9 c
0 m	0.0 m
1 m	1.2 m
2 m	2.3 m
4 m	4.4 m
6 m	6.2 m
7 m	7.1 m

## Resultate

### Optische Resultate

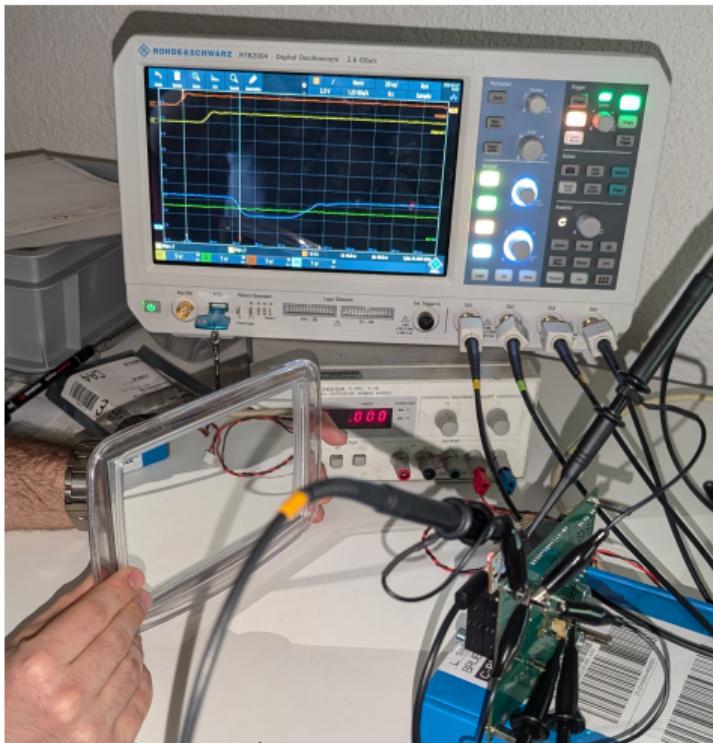
# Signalpfad Sender

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning



# ToF-Messungen via Spiegel

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning



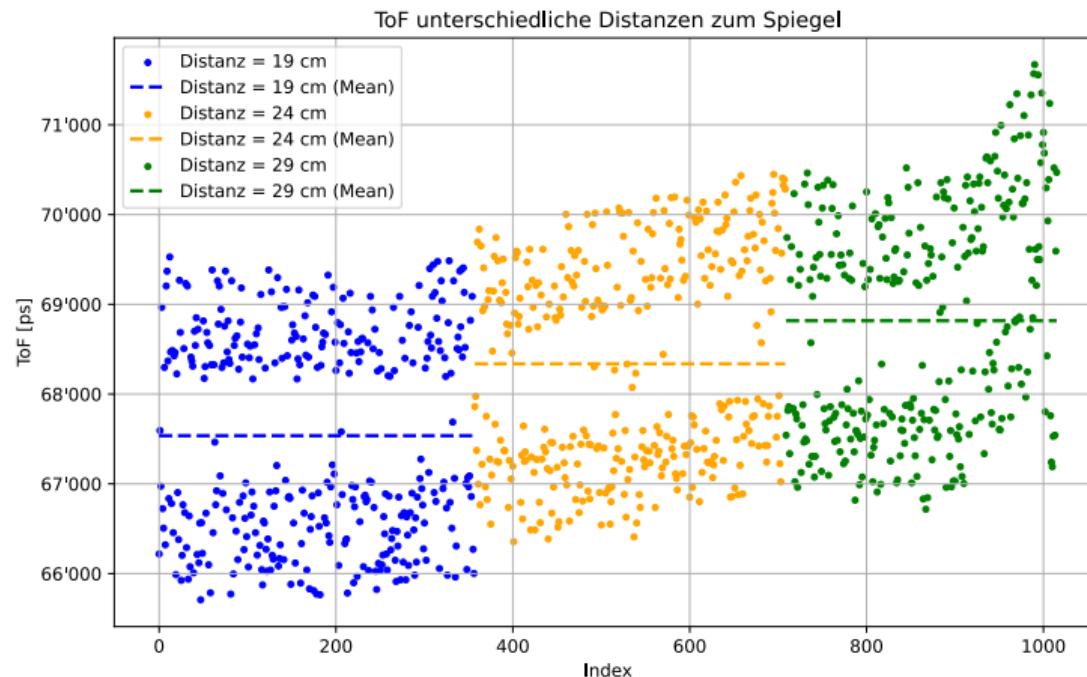
# ToF-Messungen via Spiegel: DSO

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning



# ToF-Messungen via Spiegel: Resultate

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning



# ToF-Messungen via Spiegel: Auswertung

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning



Distanz zum Spiegel	Mittelwert	Standardabweichung
19 cm	67'536 ps	1'172 ps
24 cm	68'338 ps	1'191 ps
29 cm	68'817 ps	1'273 ps

# ToF-Messungen via Spiegel: Auswertung

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning



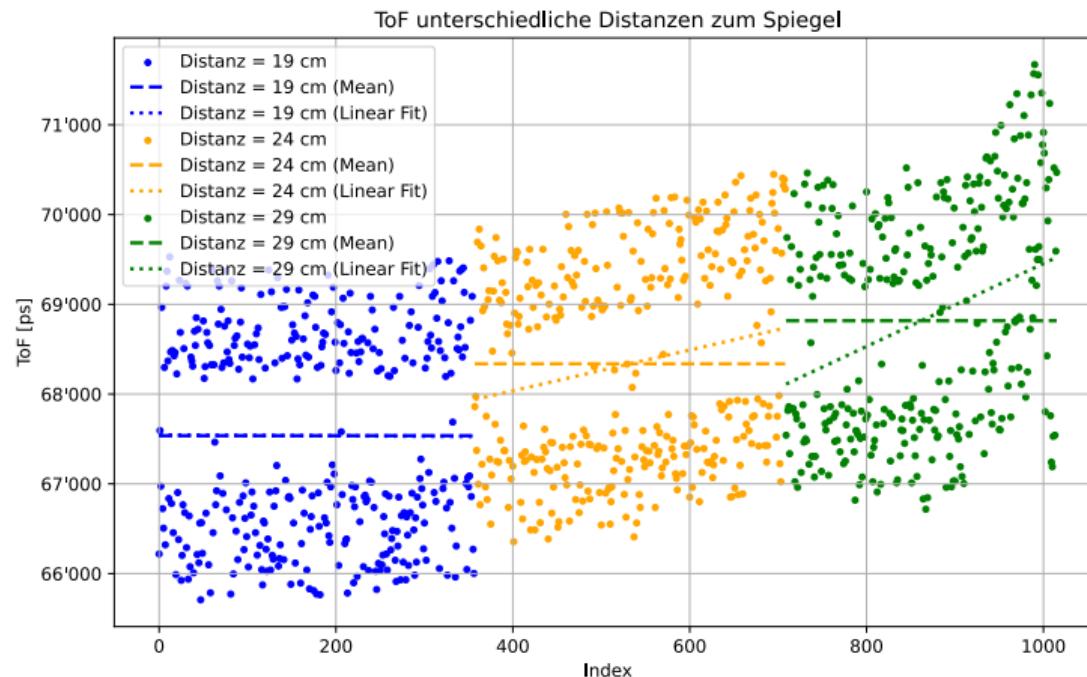
Distanz zum Spiegel	Mittelwert	Standardabweichung
19 cm	67'536 ps	1'172 ps
24 cm	68'338 ps	1'191 ps
29 cm	68'817 ps	1'273 ps

$$\Delta ToF_{meas} \approx 0.6 \text{ ns}$$

$$\Delta ToF_{calc} = \frac{\Delta L}{c} = \frac{10 \text{ cm}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 0.33 \text{ ns}$$

# ToF-Messungen via Spiegel: Drift

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning



# ToF-Messungen via Spiegel: >30 cm

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning



# ToF-Messungen via Wand

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning



- Leider Optik noch nicht dafür ausgelegt

# Fazit

# Ausblick

- Optik besser aufeinander abstimmen, andere Brennweiten ausprobieren
- Jitter minimieren (höherer Clock oder externen Clock)
- GPIOs schneller schalten
- Optischer Empfangspfad
  - Unterschiedliche Verstärkungen TIA
  - Unterschiedliche Schaltschwellen Komparator
- Optischer Sendepfad: Höhere Sendeleistung ausprobieren
- Analyse optischer Resultate: Wieso zwei Cluster?
- Mechanischen Versuchsaufbau für Spiegel

# Lessons Learned

OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning

- Insgesamt sehr zufrieden
  - Viel Neues gelernt
  - Leider etwas wenig Zeit
  - Zeitliche Auflösung weniger ein Problem als empfangene Lichtmenge
- ⇒ Mehr Zeit in Optik und Optoelektronik investieren

## Demonstration

# Fragen?



OST – Ostschweizer Fachhochschule  
CAS Sensorik und Sensor Signal Conditioning