



Optische Sensoren für Sauerstoffsättigung und Puls

Photoplethysmographie (PPG)

Optisches Verfahren

Verfahren zur Messung der Volumenschwankungen eines Körperteils oder Organs (griech. plethore = Fülle)

Grundidee:

Blutgefüllte Arterien sind ein optisches Medium, das unterschiedlich viel Lichtintensität absorbiert, transmittiert und reflektiert

Quelle: Teresa Puder, Vortrag Fallstudien

Optische Sensoren für Sauerstoffsättigung und Puls

a) Fingerclip



b) Fitnessuhren



Was wird gemessen?

Sauerstoffsättigung, Pulsfrequenz

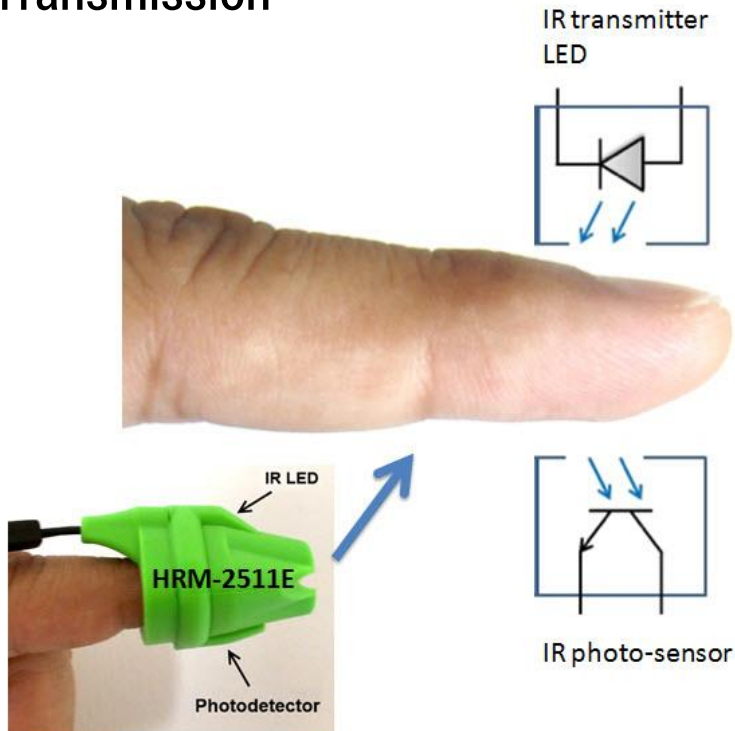
Pulsfrequenz

Bildquelle: a) https://www.envitec.com/typo3temp/pics/00000_0388_2016_03_18_013126_8a255abe26.jpg b) <http://www.joggen-online.de/images/ausruestung/pulsuhren/beurer-pm70.jpg>

Quelle: Teresa Puder, Vortrag Fallstudien

Optische Sensoren für Sauerstoffsättigung und Puls

1) Transmission



2) Reflexion

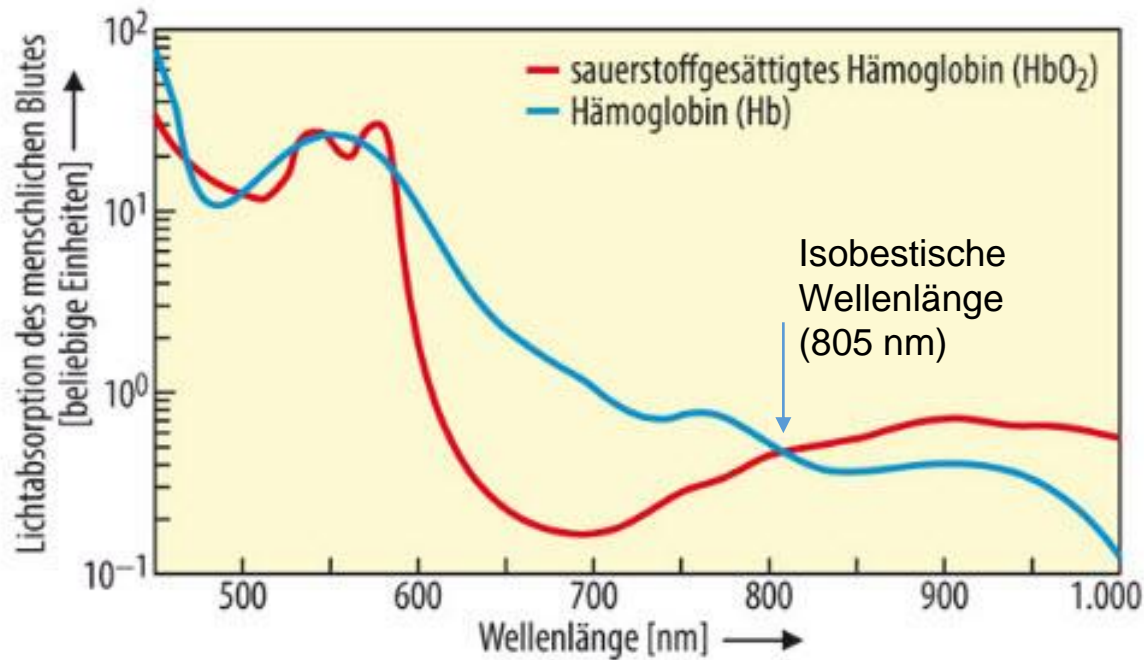


Bildquelle: 1): <http://embedded-lab.com/blog/easy-pulse-version-1-1-sensor-overview-part-1/> 2) <http://embedded-lab.com/blog/wp-content/uploads/2012/08/ReflectancePPG.jpg> 3) http://geekbox.ch/wp-content/uploads/alpha_mio_sensor.jpg

Quelle: Teresa Puder, Vortrag Fallstudien

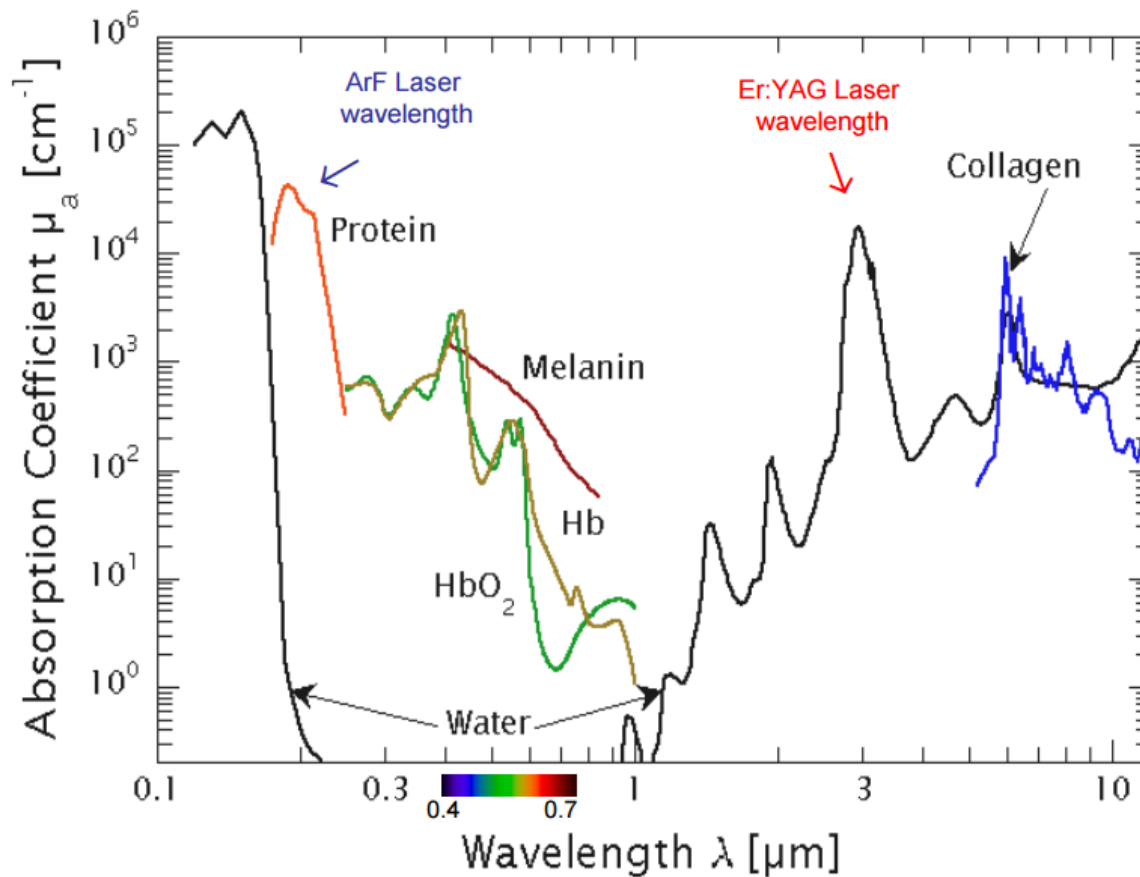
Optische Sensoren für Sauerstoffsättigung und Puls

Messprinzip basiert auf der Lichtabsorption des im Blut enthaltenen Hämoglobins



Absorption in Gewebe

Tissue absorption coefficients



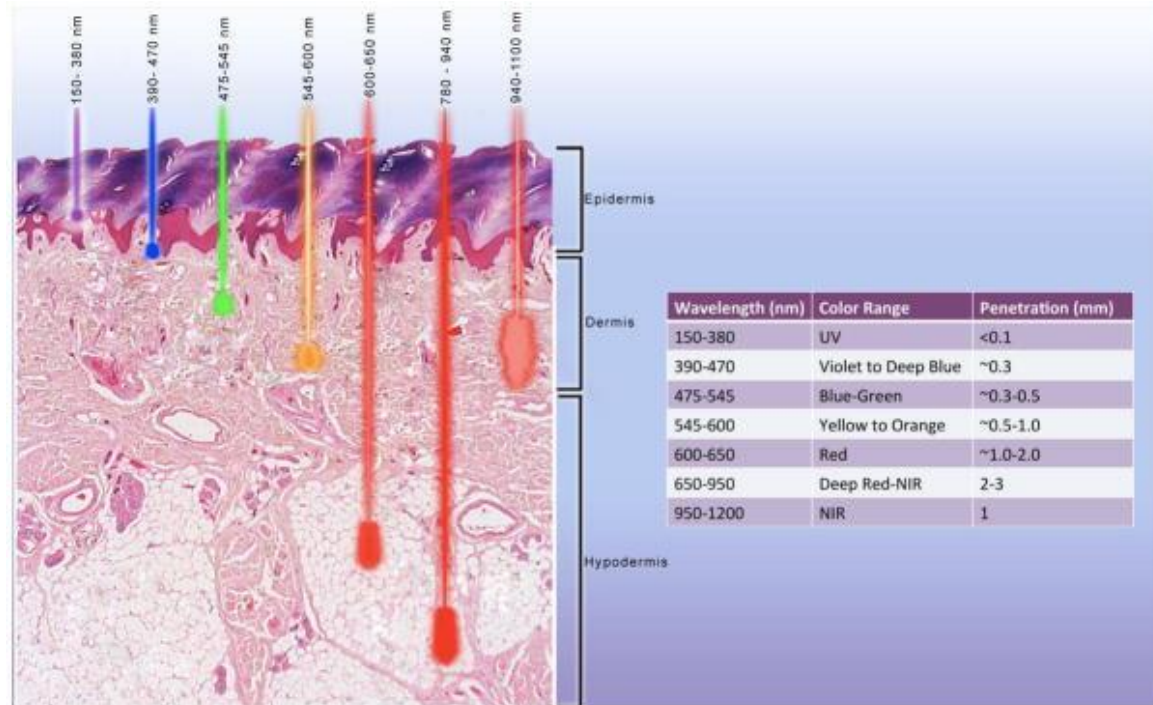
Optische Sensoren für Sauerstoffsättigung und Puls

Verwendung mehrere Wellenlängen, z.B.

| | |
|------|--------|
| Grün | 530 nm |
| Rot | 650 nm |
| IR | 735 nm |
| IR | 808 nm |
| IR | 850 nm |

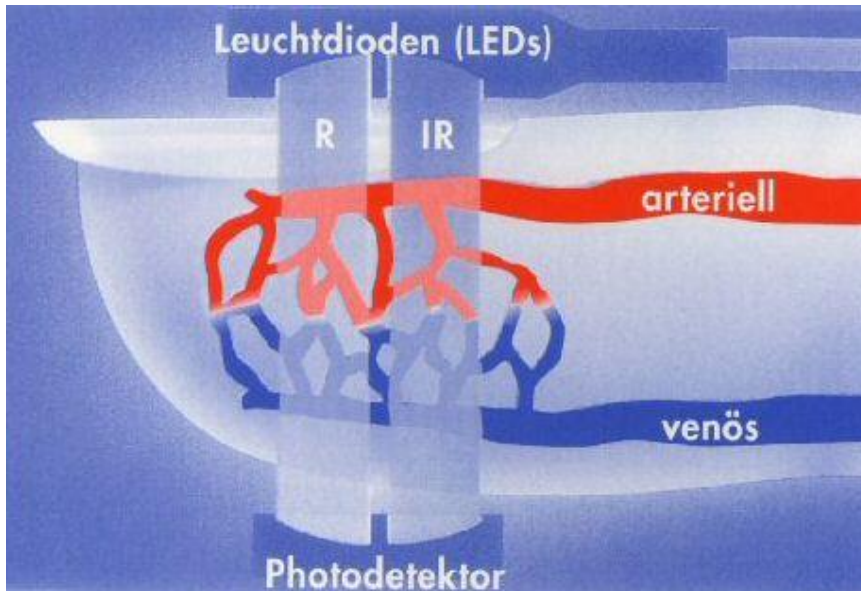
Eindringtiefe des Lichtes steigt
mit der Wellenlänge

IR Lichtquellen auf beiden Seiten
der isobestischen Wellenlänge



Bildquelle: <http://saunaspace.com/wp-content/uploads/2015/11/penetration.jpg>

Optische Sensoren für Sauerstoffsättigung und Puls



Anteil des Hämoglobins ändert sich mit jedem Pulsschlag → Veränderung der Lichtabsorption

Abwechselndes aussenden von roten und infraroten Licht

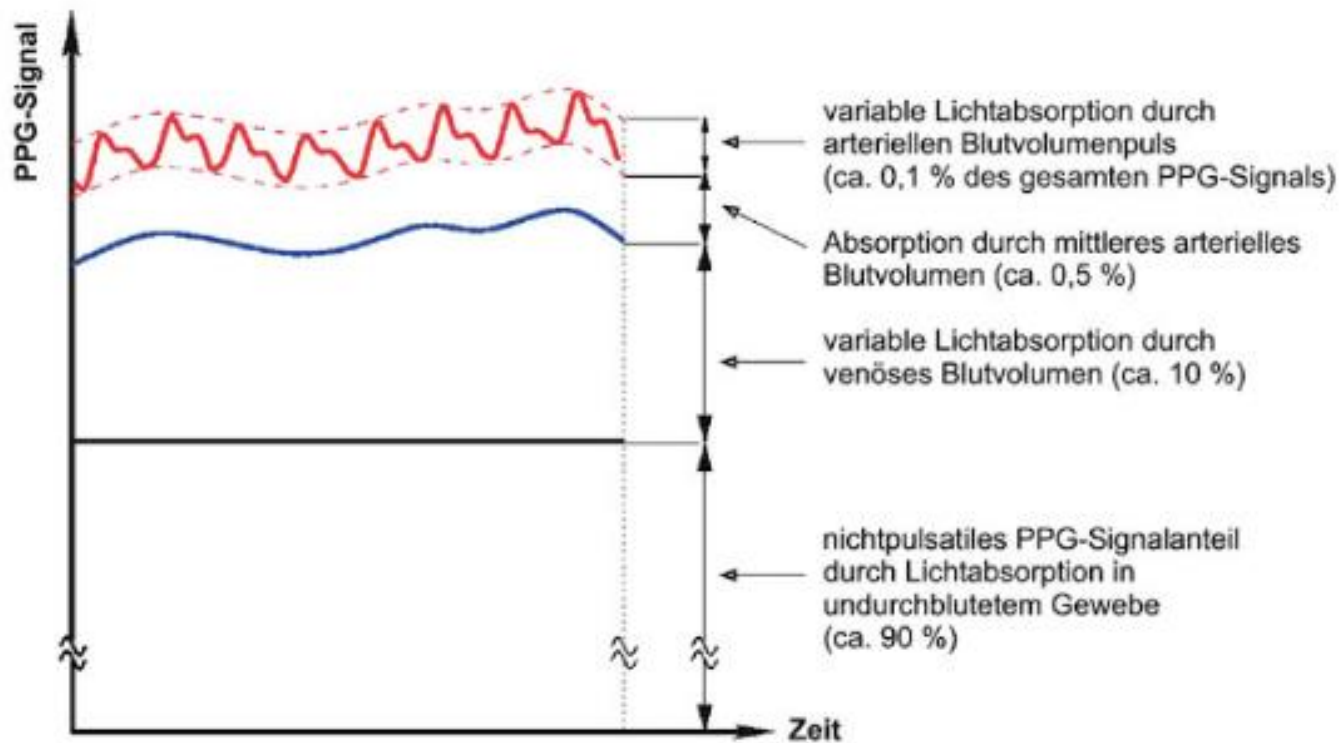
Konstante Absorption

Gewebe, Knochen, venöses Blut, Hautpigmentierungen → vom Pulsschlag unabhängig (DC-Komponente)

Pulsatile Absorption:

Änderungen Füllungszustand der Arterien mit Herzrhythmus (AC-Komponente)

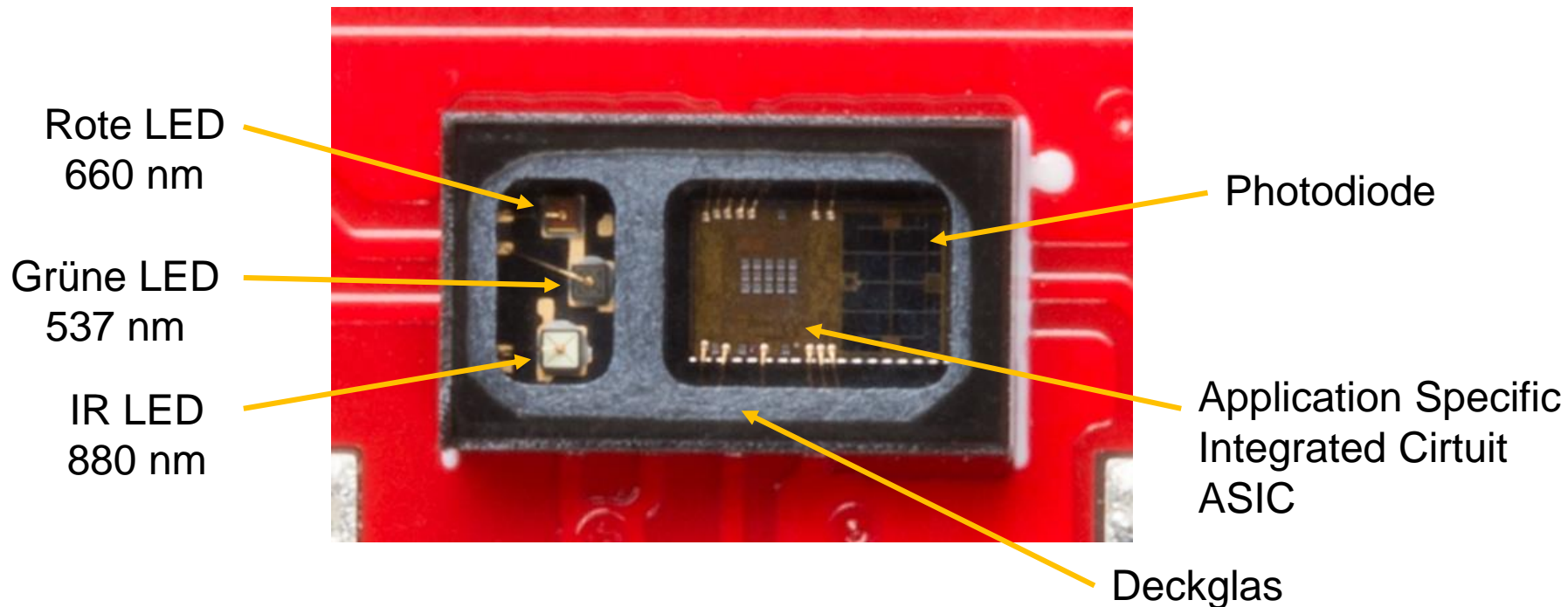
Optische Sensoren für Sauerstoffsättigung und Puls



Smart Sensor zur Puls- und Blutsauerstoffsättigungsmessung

MAX30101

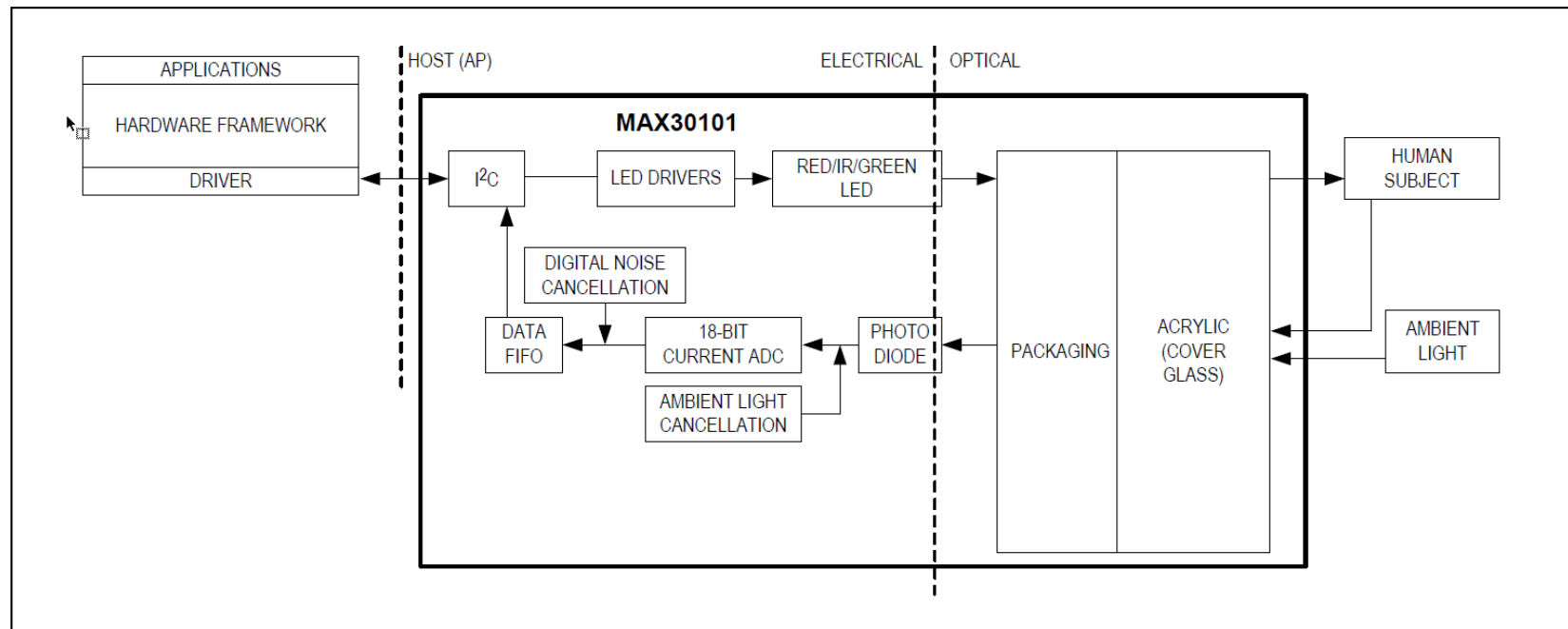
High-Sensitivity Pulse Oximeter (SpO₂) and Heart-Rate (HR) Sensor for Wearable Health



5.6mm x 3.3mm x 1.55mm 14-Pin Optical Module

High-Sensitivity Pulse Oximeter (SpO₂) and Heart-Rate (HR) Sensor for Wearable Health

System Diagram



Quelle: Maxim Integrated, Datenblatt zu MAX30101, 19-8453; Rev 0; 3/16

<https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/sensors-and-sensor-interface/MAX30101.html>

Wesentliche Eigenschaften

Gepulste, sequentielle Ansteuerung von bis zu drei LEDs

Gründe, Rote, IR-LED auf dem Chip oder extern

Unterschiedliche Kombinationen G-R-IR

Photodiode und Vorverstärker mit hohem Dynamik-Bereich

18 Bit ADC

Subtraktion des Hintergrundlichts

Mode Configuration

Settings

Sample Rate: Hz

Sample Average:

Pulse Width: μ s

ADC Full Scale Range: nA

LED Currents

| LED color | Peak | Average |
|---------------|---------------------------------------|---------|
| Red | <input type="text" value="10.15625"/> | 0.41 mA |
| IR (Infrared) | <input type="text" value="10.15625"/> | 0.41 mA |
| Green | <input type="text" value="10.15625"/> | 0.41 mA |

Proximity

PILOT_PA: 0.20 mA

PROX_INT_THRESH:

LED Mode: Timing Slots

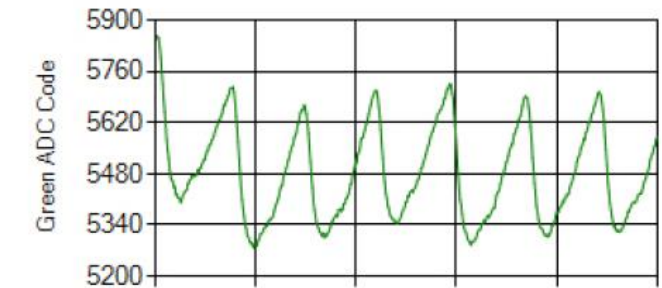
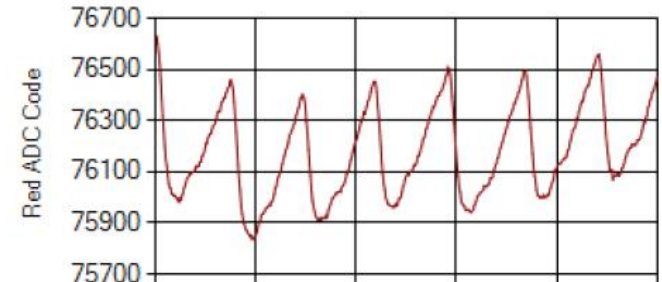
LED slot 1:

LED slot 2:

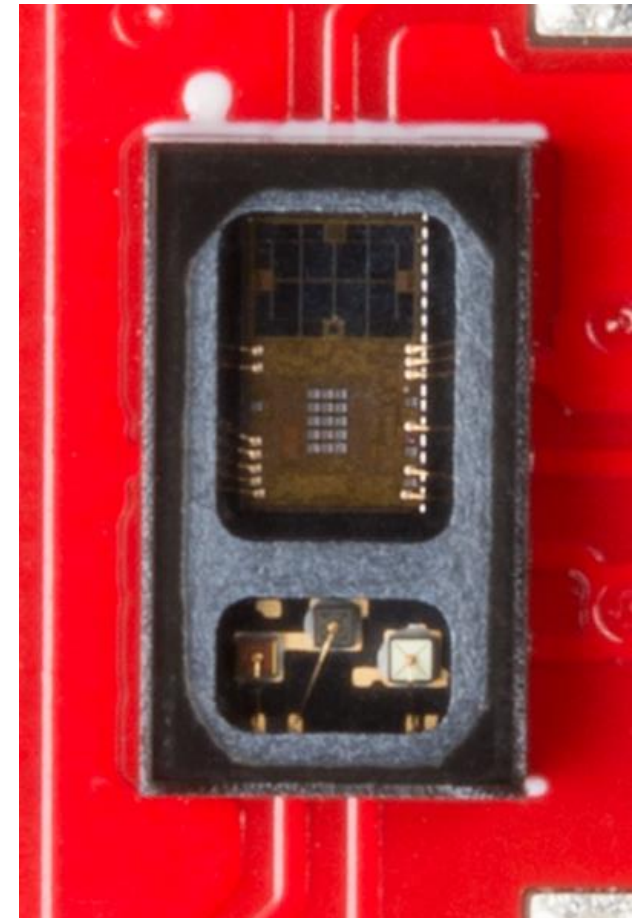
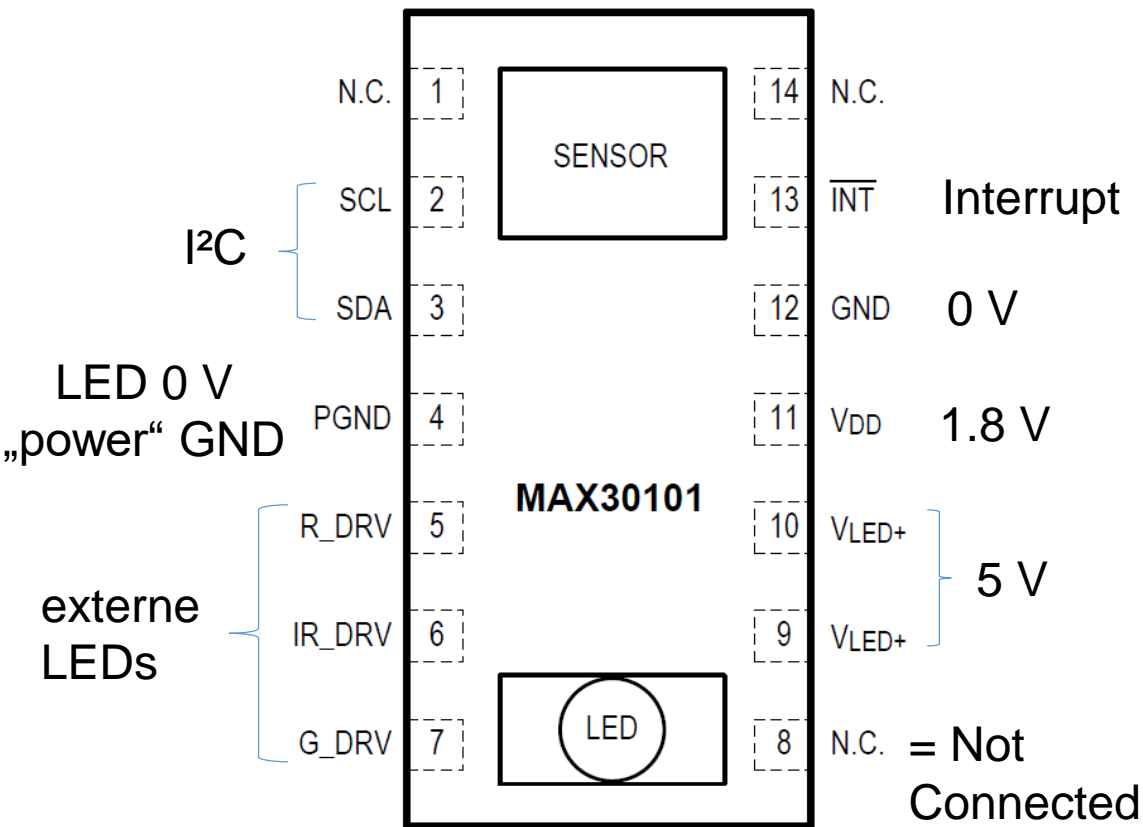
LED slot 3:

LED slot 4:

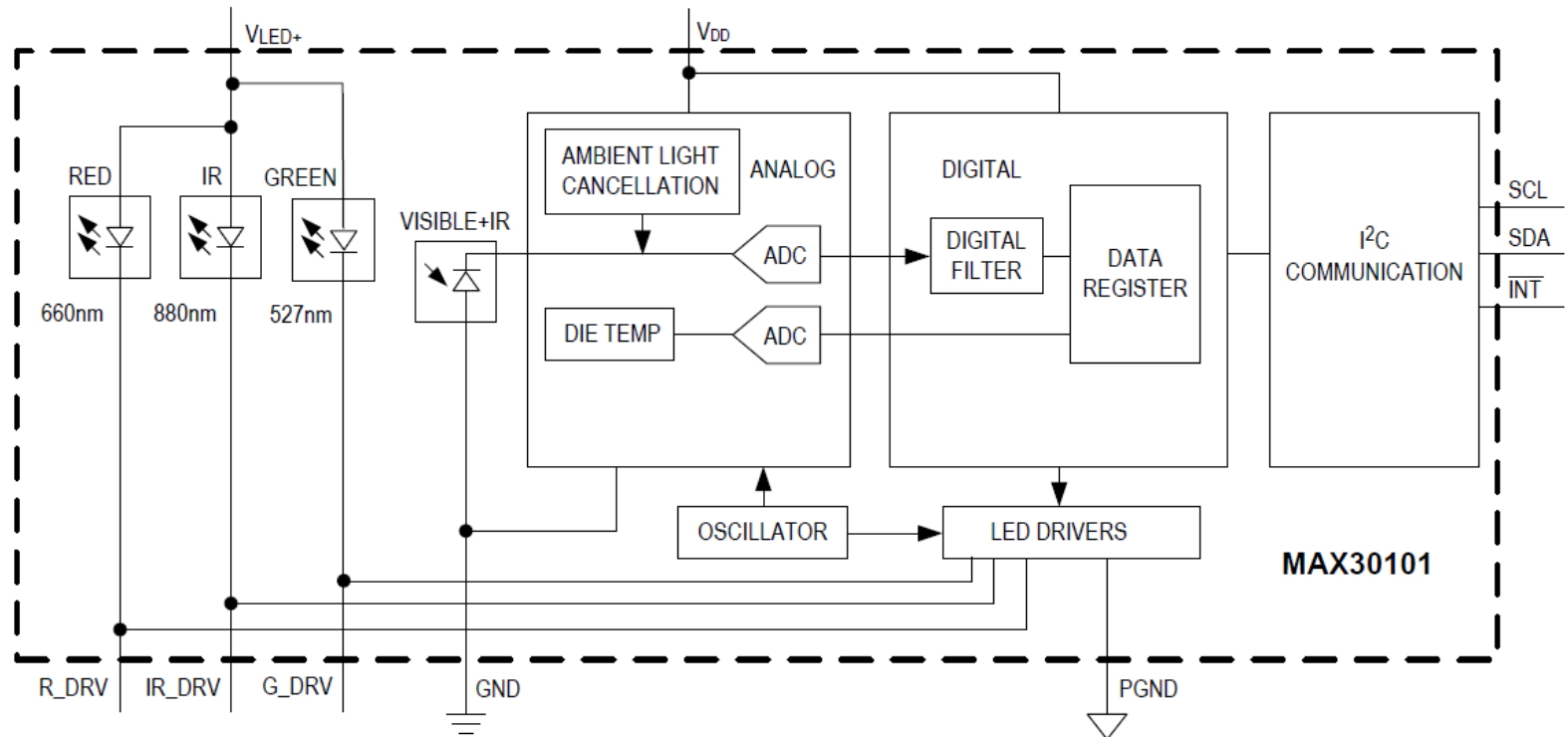
Optical Measurements



High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health



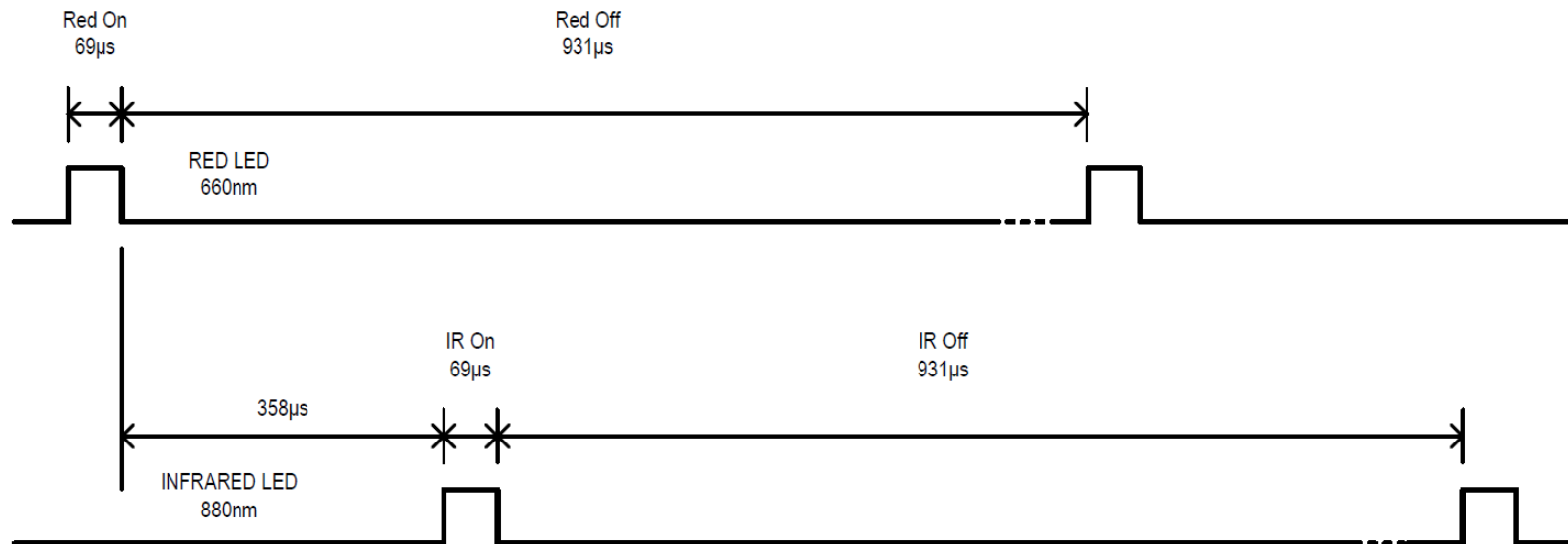
Funktionsdiagramm



LED Pulssequenzen

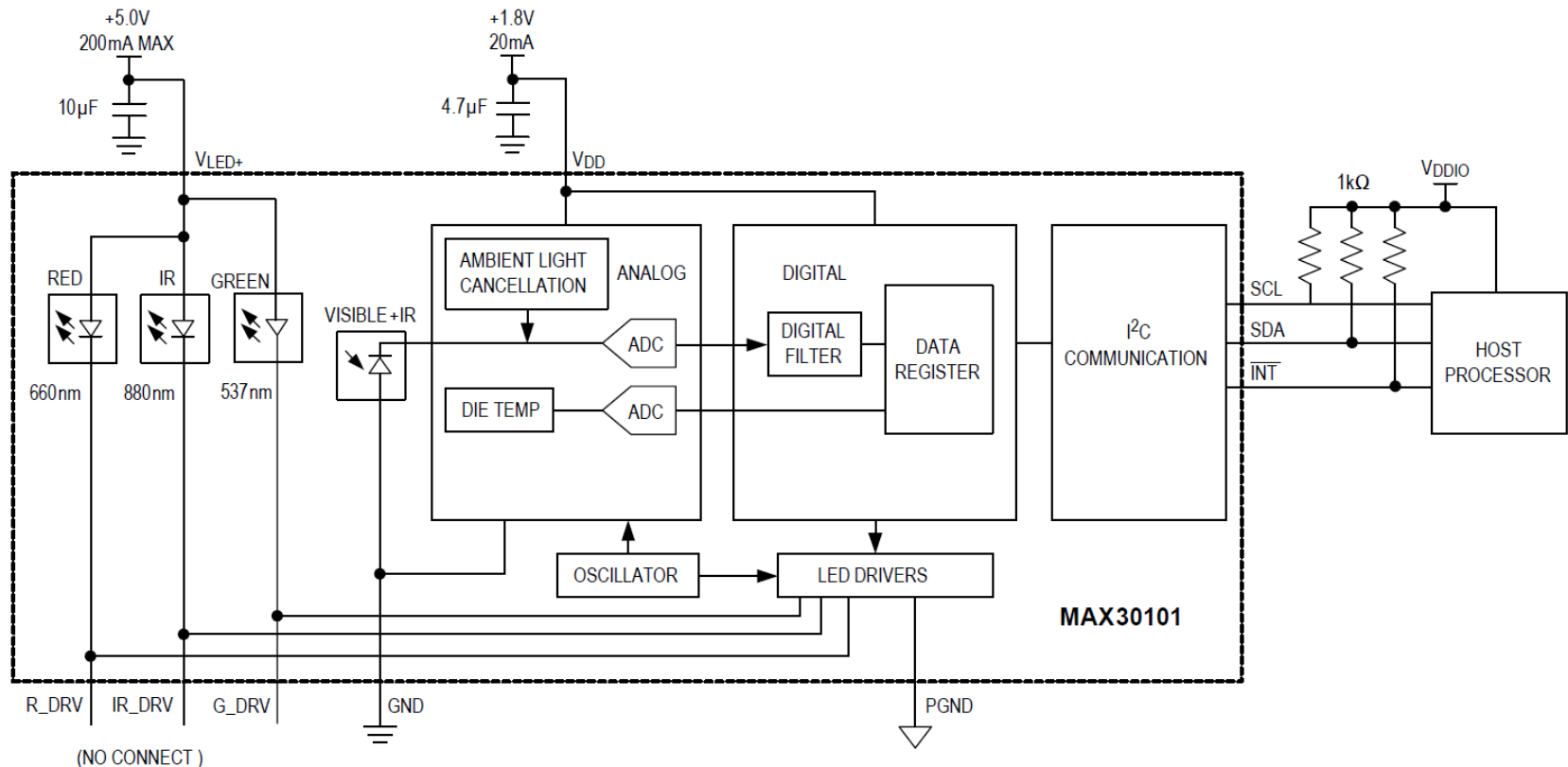
Die LEDs werden sequentiell eingeschaltet.
 ADC Integration während der Einschalt-Zeit der jeweiligen LED.
 Als Referenz zur Raumlicht-Unterdrückung wird das Signal zwischen den Pulsen verwendet.

Beispiel: SpO₂ Bestimmung mit roter und IR LED und 1 kHz Messrate



Externe Beschaltung

1.8 V, 5 V Spannungsversorgung, zwei Block-Kondensatoren zur Spannungsstabilisierung, drei Pull-Up-Widerstände.



Kommunikation über I²C und Register

| REGISTER | B7 | B6 | B5 | B4 | B3 | B2 | B1 | B0 | REG ADDR | POR STATE | R/W |
|------------------------------------|-----------------|--------------------|-------------------|------------------|-----------|-------------|-----------------|---------|----------|-----------|-----|
| STATUS | | | | | | | | | | | |
| Interrupt Status 1 | A_FULL | PPG_RDY | ALC_OVF | PROX_INT | | | | PWR_RDY | 0x00 | 0x00 | R |
| Interrupt Status 2 | | | | | | | DIE_TEMP_RDY | | 0x01 | 0x00 | R |
| Interrupt Enable 1 | A_FULL_EN | PPG_RDY_EN | ALC_OVF_EN | PROX_INT_EN | | | | | 0x02 | 0x00 | R/W |
| Interrupt Enable 2 | | | | | | | DIE_TEMP_RDY_EN | | 0x03 | 0x00 | R/W |
| FIFO | | | | | | | | | | | |
| FIFO Write Pointer | | | | FIFO_WR_PTR[4:0] | | | | | 0x04 | 0x00 | R/W |
| Overflow Counter | | | | OVF_COUNTER[4:0] | | | | | 0x05 | 0x00 | R/W |
| FIFO Read Pointer | | | | FIFO_RD_PTR[4:0] | | | | | 0x06 | 0x00 | R/W |
| FIFO Data Register | FIFO_DATA[7:0] | | | | | | | | 0x07 | 0x00 | R/W |
| CONFIGURATION | | | | | | | | | | | |
| FIFO Configuration | SMP_AVE[2:0] | | FIFO_ROLL_OVER_EN | FIFO_A_FULL[3:0] | | | | | 0x08 | 0x00 | R/W |
| Mode Configuration | SHDN | RESET | | | MODE[2:0] | | | | 0x09 | 0x00 | R/W |
| SpO ₂ Configuration | 0 (Reserved) | SPO2_ADC_RGE [1:0] | | SPO2_SR[2:0] | | LED_PW[1:0] | | | 0x0A | 0x00 | R/W |
| RESERVED | | | | | | | | | 0x0B | 0x00 | R/W |
| LED Pulse Amplitude | LED1_PA[7:0] | | | | | | | | 0x0C | 0x00 | R/W |
| | LED2_PA[7:0] | | | | | | | | 0x0D | 0x00 | R/W |
| | LED3_PA[7:0] | | | | | | | | 0x0E | 0x00 | R/W |
| RESERVED | | | | | | | | | 0x0F | 0x00 | R/W |
| Proximity Mode LED Pulse Amplitude | PILOT_PA[7:0] | | | | | | | | 0x10 | 0x00 | R/W |
| Multi-LED Mode Control Registers | SLOT2[2:0] | | | SLOT1[2:0] | | | | 0x11 | 0x00 | R/W | |
| | SLOT4[2:0] | | | SLOT3[2:0] | | | | 0x12 | 0x00 | R/W | |

| REGISTER | B7 | B6 | B5 | B4 | B3 | B2 | B1 | B0 | REG ADDR | POR STATE | R/W |
|-------------------------------|----------------------|----|----|------------|----|----|---------|----|-----------|-----------|-----|
| RESERVED | | | | | | | | | 0x13–0x17 | 0xFF | R/W |
| RESERVED | | | | | | | | | 0x18–0x1E | 0x00 | R |
| DIE TEMPERATURE | | | | | | | | | | | |
| Die Temp Integer | TINT[7:0] | | | | | | | | 0x1F | 0x00 | R |
| Die Temp Fraction | | | | TFRAC[3:0] | | | | | 0x20 | 0x00 | R |
| Die Temperature Config | | | | | | | TEMP_EN | | 0x21 | 0x00 | R |
| RESERVED | | | | | | | | | 0x22–0x2F | 0x00 | R/W |
| PROXIMITY FUNCTION | | | | | | | | | | | |
| Proximity Interrupt Threshold | PROX_INT_THRESH[7:0] | | | | | | | | 0x30 | 0x00 | R/W |
| PART ID | | | | | | | | | | | |
| Revision ID | REV_ID[7:0] | | | | | | | | 0xFE | 0xFF* | R |
| Part ID | PART_ID[7] | | | | | | | | 0xFF | 0x15 | R |

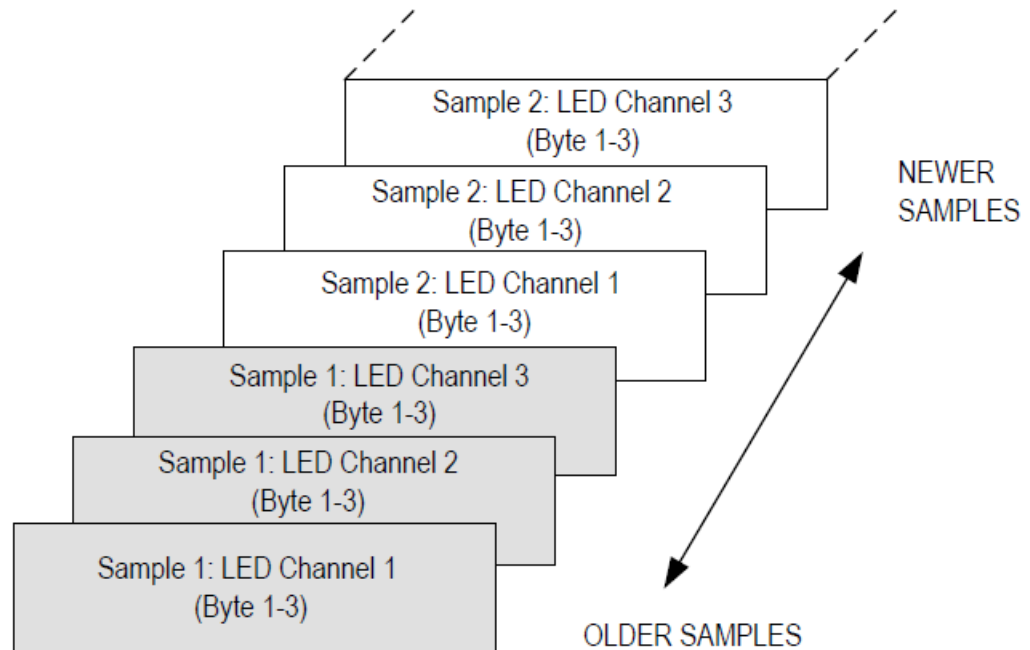
Daten in FIFO Register

FIFO: First In First Out

„Ring-Buffer“ für Daten

Ein „Sample“ für 3 LEDs besteht aus drei Kanälen mit jeweils 3 Bytes für die 18 Bit Intensität pro Kanal

Bis zu 32 Samples haben im FIFO Platz



Zeiger (pointer) auf Daten im FIFO

| REGISTER | B7 | B6 | B5 | B4 | B3 | B2 | B1 | B0 | REG ADDR | POR STATE | R/W |
|--------------------|----------------|----|----|------------------|----|----|----|----|----------|-----------|-----|
| FIFO Write Pointer | | | | FIFO_WR_PTR[4:0] | | | | | 0x04 | 0x00 | R/W |
| Over Flow Counter | | | | OVF_COUNTER[4:0] | | | | | 0x05 | 0x00 | R/W |
| FIFO Read Pointer | | | | FIFO_RD_PTR[4:0] | | | | | 0x06 | 0x00 | R/W |
| FIFO Data Register | FIFO_DATA[7:0] | | | | | | | | 0x07 | 0x00 | R/W |