
BACHELORARBEIT

Herr
Ke Tang

**Untersuchung und Verifizierung
eines ToF-Sensors hinsichtlich
seiner technischen Spezifikation**

2021

BACHELORARBEIT

**Untersuchung und
Verifizierung eines ToF-
Sensors hinsichtlich seiner
technischen Spezifikation**

Autor:

Ke Tang

Studiengang:

Elektro-und Informationstechnik

Seminargruppe:

EI17 wA-BC

Erstprüfer:

Prof.Dr. Ing.Michael Kuhl

Zweitprüfer:

BSc. Kevin Blümel

Einreichung:

Mittweida, 31.07.2021

BACHELOR THESIS

**Investigation and verification
of a ToF sensor with regard to
its technical specification**

author:
Mr.

Ke Tang

course of studies:
Electro and information technology

seminar group:
E117 wA-BC

first examiner:
Prof.Dr. Ing.Michael Kuhl

second examiner:
BSc. Kevin Blümel

submission:
Mittweida,31.07.2021

Bibliografische Angaben

Ke Tang:

Untersuchung und Verifizierung eines ToF-Sensors hinsichtlich seiner technischen Spezifikation

77 Seiten, 37 Abbildungen, 19 Tabellen, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences, Fakultät Ingenieurwissenschaften,

Bachelorarbeit, 2021

Referat

Diese Bachelorarbeit befasst sich mit der Untersuchung und Verifizierung eines ToF-Sensors hinsichtlich seiner technischen Spezifikation. Es werden grundlegende Software- und Hardwarekomponenten des Systems vorgestellt und beschrieben.

Abstract

This bachelor thesis deals with the investigation and verification of a ToF sensor with regard to its technical specification. Basic software and hardware components of the system are presented and described.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	3
Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	6
1 Einleitung.....	8
2 Präzisierung der Aufgabenstellung.....	9
3 Einführung des TOF-Sensors.....	10
3.1 Begriff des TOF(Time of Flight).....	10
3.2 D-TOF.....	10
3.3 I-TOF.....	11
3.4 Verwendung.....	13
4 Messsystementwurf.....	14
4.1 Systemkonzept.....	14
4.2 Hardware.....	15
4.2.1 Mikrocontroller-Board.....	16
4.2.2 Das Breadboard.....	18
4.2.3 GY-53L1 Laser Distance ToF Sensor Module VL53L1X.....	19
4.3 Messgeräte.....	23
4.3.1 Maßband.....	23
4.3.2 Luxmeter.....	23
4.3.3 Thermometer.....	24
4.4 Software.....	25
4.4.1 "Arduino IDE"-Software.....	25
4.4.2 Bibliotheken zur Arduino Software.....	26
4.4.3 Grundstruktur für einen Sketch [L11].....	27
4.4.4 Serieller Monitor.....	27
4.5 Ablaufdiagramm.....	28
4.6 Schaltplan.....	29
4.6 Experimentieraufbau.....	29
5. Durchführung des Experiments und die Ergebnisse.....	30

5.1 Beschreibung des Experimentinhalts.....	30
5.2 Durchführung des Experiments.....	30
5.2.1 Farbe.....	31
5.2.2 Form.....	38
5.2.3 Material.....	42
5.2.4 Lichtstärke.....	45
5.2.5 Winkel.....	48
5.2.7 FOV(Field of View) Messung.....	54
5.2.8 Modi-Versuche.....	56
6.Vergleichen die Messergebnisse mit den vom Hersteller angegebenen Werten.....	58
6.1 Die maximalen Messabstände in verschiedenen Modi.....	58
6.2 Die maximalen Messabstände in unterschiedliche Lichtstärken.....	59
6.3 FOV(Fied of View).....	61
7.Interpretation von Versuchsergebnissen und Beschreibung von Problemen bei diesem Experiment.....	62
Zusammenfassung.....	64
Literaturverzeichnis.....	65
Anlagen.....	69
Eigenständigkeitserklärung.....	72

Abkürzungsverzeichnis

ToF	Time to Flight
I²C	Inter-Integrated Circuit
PWM	Puls Weiten Modulation
PC	Personalcomputer
USB	Universal Serial Bus
SCL	Serial Clock
SDA	Serial Date
SPAD	Simple Plastic Airplane Design
FoV	Field of View
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
AC	Alternating Current
DC	Direct Current
ICSP	In-Circuit Serial Programming

Abbildungsverzeichnis

Abbildung1	D-TOF[L1].....	10
Abbildung2	I-TOF[L2].....	11
Abbildung3	Diagramme mit simulierten TOF[L2].....	12
Abbildung4	Systemkonzept.....	14
Abbildung5	Arudino Mega 2560[L5].....	16
Abbildung6	Darstellung der Mikrocontroller-Schnittstelle.....	18
Abbildung7	Das Breadboard[L6].....	18
Abbildung 8	GY-53L1 Laser Distance ToF Sensor Module VL53L1X[L7].....	19
Abbildung9	Maßband[L8].....	23
Abbildung10	Luxmeter[L9].....	23
Abbildung11	Thermometer.....	24
Abbildung12	Beispiele für "Arduino IDE"-Software.....	26
Abbildung13	Ablaufprogramm.....	28
Abbildung14	Schaltplan.....	29
Abbildung15	Experimentieraufbau.....	29
Abbildung16	Aufbau der Messumgebung.....	31
Abbildung17	Messobjekte für Farbversuche.....	31
Abbildung18	Grafik des Experiments für Farbe.....	33
Abbildung19	Lichtspektrum[L14].....	34
Abbildung20	Reflexionsgrad[L16].....	36
Abbildung21	Messobjekte für Formversuche.....	38
Abbildung22	Grafik des Experiments für Form.....	39
Abbildung23	Das Reflexionsgesetz[L17].....	40
Abbildung24	Gesetz der Lichtreflexion für gekrümmte Oberfläche[L17].....	41
Abbildung25	Messobjekte für Materialversuche.....	42
Abbildung26	Grafik des Experiments für Materiall.....	43
Abbildung27	Reflexion einiger Metalle für verschiedene Wellenlängen	44
Abbildung28	Grafik des Experiments für Lichtstärke.....	46
Abbildung29	Beschreibung der Abweichungursachen.....	47
Abbildung30	Messmethode für Winkel-Experiment.....	48
Abbildung 31	Grafik des Experiments für Winkel.....	49
Abbildung 32	Beschreibung der Fehleranalyse.....	49

Abbildung 33	Messmethode für Temperatur-Experiment.....	51
Abbildung 34	Grafik des Experiments für Temperatur.....	52
Abbildung 35	Messmethode für FOV-Messung.....	54
Abbildung 36	Maximale und minimale Winkel des Sensors.....	55
Abbildung 37	Grafik für Modi-Versuche.....	57

Tabellenverzeichnis

Tabelle1	Liste des verwendeten Komponenten	15
Tabelle2	<i>Parameter von Mikrocontroller-Board[L5]</i>	17
Tabelle3	<i>Parameter von GY-53L1 Laser Distance ToF Sensor Module VL53L1X[L7]</i>	20
Tabelle4	<i>Erläuterung zu den Pin-Funktionen des Sensors[D1]</i>	21
Tabelle5	Arbeitsmodus des PS-Hardwareauswahlmoduls[D1].....	21
Tabelle6	Abweichung des Experiments für Farbe.....	32
Tabelle7	Reflexionsgrad[L16].....	35
Tabelle8	Abweichung des Experiments für Form.....	39
Tabelle9	Abweichung des Experiments für Material.....	43
Tabelle10	Abweichung des Experiments für Lichtstärke.....	46
Tabelle11	Abweichung des Experiments für Winkel.....	48
Tabelle12	Abweichung des Experiments für Temperatur.....	52
Tabelle13	Ergebnisse der FOV-Messung.....	55
Tabelle14	Abweichungen der beiden Modi.....	56
Tabelle15	Vom Hersteller angegebene Werte in verschiedenen Entfernungsmodi[D2].....	58
Tabelle16	Messergebnisse in verschiedenen Modi in diesem Experiment.....	59
Tabelle17	die vorgegebene Werte bei Umgebungslicht mit Long Distance Modus[D2].....	60
Tabelle18	die Messwerte bei Umgebungslicht mit Lang Distance.....	60
Tabelle19	der vorgegebene Werte von FOV[D2].....	61

1 Einleitung

Die Kameras des letzten Jahrhunderts waren im Vergleich zu den heutigen Kameras sehr groß, und es war nicht nur unbequem, ihn mit sich herumzutragen, sondern die Bilder waren auch nicht klar. Mit der Entwicklung der Technik sind die Kameras immer kleiner geworden, aber die aufgenommenen Bilder werden immer klarer. Jetzt können die Leute einfach mit ihrem Mobiltelefon Fotos machen. In einigen Kameras und Telefonkamera werden TOF-Technologie verwendet.

TOF bedeutet Time of flight. Das Prinzip der Entfernungsmessung besteht darin, kontinuierlich Lichtimpulse an das Ziel zu senden, dann den Sensor zu verwenden, um das vom Objekt zurückkommende Licht zu empfangen, und die Entfernung des Ziels durch Erfassen der Laufzeit (Round Trip) der Lichtimpulse zu ermitteln. Diese Technologie wird auch bei der Hindernisvermeidung für Kehrroboter, beim autonomen Fahren, bei der projektorgestützten Fokussierung, bei der kameragestützten Fokussierung, bei intelligenten Lampen, bei intelligenten Badezimmern wie automatischen Wasserhähnen, automatischen Seifenspendern, intelligenten Toiletten, Robotern, Drohnen und vielen anderen Bereichen eingesetzt.

Es gibt mehrere Firmen auf dem Markt, die die ToF-Methode verwenden, aber hauptsächlich die Phase-Ranging-Methode, hauptsächlich für den industriellen Einsatz und das Prinzip ist die Impulsberechnungsmethode. ST hat die FlightSense-Serie eingeführt, die drei Generationen hat, VL6180X, VL53L0X, VL53L1X.

In dieser Arbeit werden die technischen Parameter des VL53L1X-Sensors untersucht und die Auswirkungen auf seine technischen Parameter durch Variation der Einflussfaktoren gemessen und diskutiert.

2 Präzisierung der Aufgabenstellung

Ziel der Arbeit ist es, einen Time of Flight – Sensor (ToF) hinsichtlich seiner technischen Parameter zu untersuchen und die durch den Hersteller vorgegebenen Werte zu verifizieren bzw. die real erreichbaren Parameter in Versuchen darzustellen.

Dabei sollen gleichfalls möglichst alle Einflussgrößen bestimmt und diskutiert werden.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurden folgende Teilaufgaben festgelegt:

- Begriffsbestimmung und Definitionen (Glossar, Schlüsselworte)
- Einarbeitung in die Thematik ToF-Sensoren
- Erarbeitung eines System- und Messkonzeptes
- Erarbeitung eines Software-Ablaufplanes zur Ansteuerung und Auswertung der Sensoren
- Entwurf und Umsetzung der Schaltung
- Durchführung von Messreihen zur Aufnahme und der technischen Parameter des Sensors unter vergleichbaren und verschiedenen Umgebungsbedingungen

Das Hauptziel dieser Arbeit ist die Untersuchung der technischen Parameter von TOF-Sensoren, d.h. die Entfernungsmessung und die Winkelmessung. Alle Faktoren, die die Messergebnisse beeinflussen, wurden so weit wie möglich identifiziert und diskutiert. Die Arbeit erfordert auch die Entwicklung eines kompletten Messkonzeptes, bzw. eine Darstellung der Messschaltung und der Messmethode.

3 Einführung des TOF-Sensors

3.1 Begriff des TOF(Time of Flight)

Time of Flight wird als TOF bezeichnet. Der Laser sendet einen Laserpuls mit einer bestimmten Wellenlänge aus, der reflektiert wird, wenn er auf ein Objekt trifft. Der Sensor misst den Zeitunterschied oder die Phasendifferenz zwischen dem Laserpulssignal und dem zu messenden Objekt, um den räumlichen Abstand zwischen dem Sensor und dem zu messenden Objekt zu berechnen und so Tiefeninformationen zu erhalten. Die Laufzeitmessung wird in direkte (Puls-) Entfernungsmessung und indirekte (Phasen-) Entfernungsmessung unterteilt.

3.2 D-TOF

Bei der direkten (Puls-) Entfernungsmessung (D-TOF) wird die Zeitdifferenz zwischen dem vom Laser emittierten Laserpuls und dem vom Lichtpulssignal erzeugten Pulssignal gemessen, das vom lichtempfindlichen Pixel des Sensors reflektiert und empfangen wird, um die Entfernung zu messen. Die Abbildung (B1) zeigt das Prinzip.

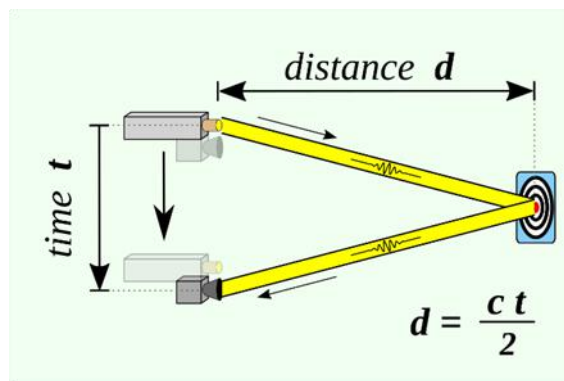


Abbildung 1 D-TOF [L1]

3.3 I-TOF

Bei der indirekten (Phasen-) Entfernungsmessung (I-TOF) wird die Umlaufzeit des optischen Signals nicht direkt gemessen, sondern indirekt durch Messung der Phasendifferenz zwischen dem ausgesendeten modulierten sinusförmigen Lichtquellsignal und dem zurückkommenden modulierten sinusförmigen Signal.

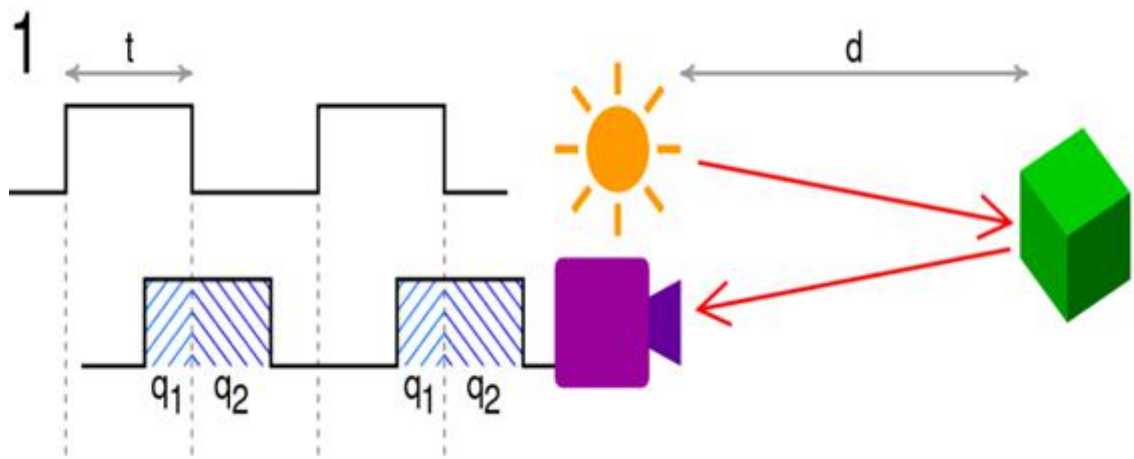


Abbildung 2 I-TOF [L1]

Wie in der Abbildung 2 gezeigt, sendet die Lichtquelle Impulse mit einer festen Frequenz aus, und der Sensor empfängt das vom Ziel reflektierte Licht. Gleichzeitig beginnt der Kontrollsensor zu belichten. Aufgrund der Übertragungsverzögerung beträgt die Menge der tatsächlich im Sensor empfangenen Photonen nur q_1 , und q_2 wird nicht empfangen, weil die Belichtung ausgeschaltet ist. Wenn die Menge der Photonen in diesem Teil von q_2 empfangen werden kann, dann kann die Zeitverzögerung des zurückgesendeten Impulses relativ zum gesendeten Impuls berechnet werden, und dann kann die Entfernung der Lichtbewegung bekannt sein.

Wenn die Impulssendezeit t bekannt ist, dann kann die Verzögerung durch Formel 3.1 erhalten werden, und der Abstand D kann berechnet werden.

$$t * \frac{q_2}{q_1 + q_2} \quad (3.1)$$

$$d = \frac{c * t * q_2}{2(q_1 + q_2)} \quad (3.2)$$

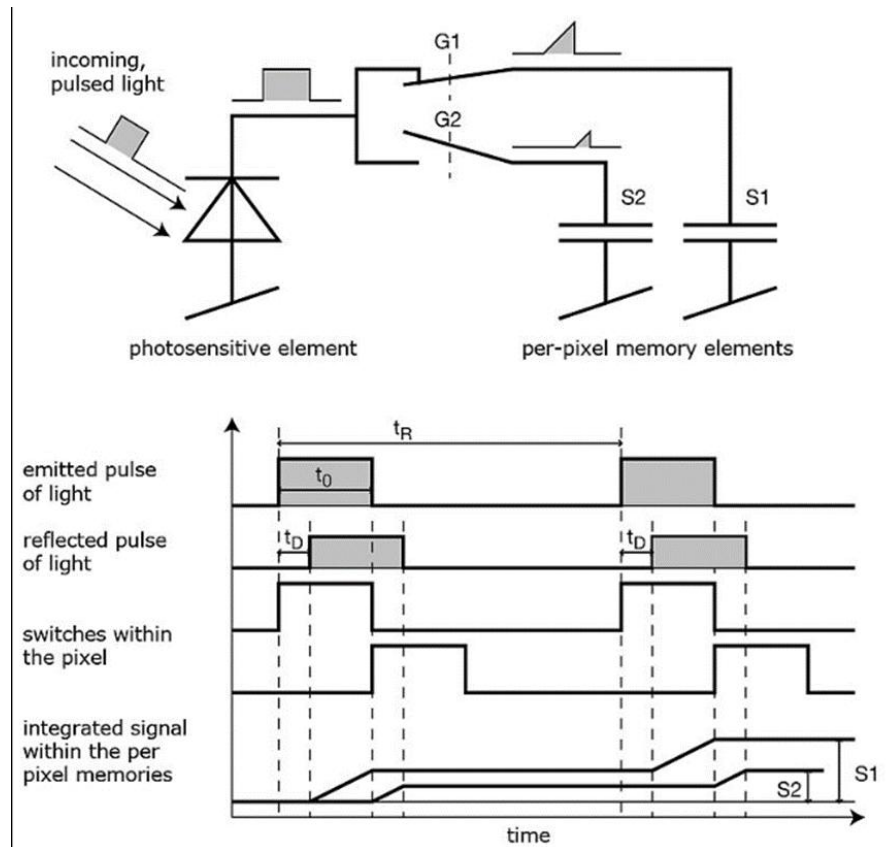


Abbildung 3 Diagramme mit simulierten TOF [L1]

Die Abbildung (B3) zeigt, wie q_1 und q_2 erhalten werden. Ein Pixel verwendet zwei Schalter (G1 und G2) und zwei Speicherelemente (S1 und S2). Der Schalter wird durch einen Impuls gesteuert, der die gleiche Dauer wie der Lichtimpuls hat, und das Steuersignal des Schalters G2 wird genau so gesteuert, dass es um nur 1 Impulsbreite verzögert wird. Auf diese Weise wird nur ein Teil des fotoelektrischen Signals von G1 in S1 abgetastet und der andere Teil wird in S2 gespeichert. Abhängig von der Entfernung ändert sich das Verhältnis zwischen S1 und S2, wie in der Abbildung dargestellt. Der Unterschied zwischen S1 und S2, der durch einen einzelnen Lichtimpuls verursacht wird, ist sehr schwach, aber wenn mehrere gesendete/empfangene Signale akkumuliert werden, können signifikante Ergebnisse erzielt werden. Dies entspricht auch q_1 und q_2 in der obigen Formel.

D-TOF und I-TOF haben ihre eigenen Vor- und Nachteile: D-TOF ist ein einperiodiges Pulssignal, so dass das optische Signal nur von der Laserleistung und der Hälfte des Pulses beeinflusst wird. Aufgrund des Einflusses von Höhe

und voller Breite gibt es im Arbeitsprinzip keine Begrenzung der Messdistanz, und es ist besser geeignet für die Messung mittlerer und großer Distanzen. I-TOF ist besser für die Messung von kurzen Entfernungen geeignet, da das vom Laser ausgesendete Lichtsignal ein sinusförmiges Modulationssignal ist und es während des Messvorgangs zu Echostörungen von mehrperiodigen Sinussignalen kommen kann, so dass I-TOF besser für kurze Entfernungen geeignet ist.

3.4 Verwendung

“Die TOF-Technologie kann in Anwendungen eingesetzt werden, die von der Industrie über die Medizin bis hin zum täglichen Leben der Menschen reichen. Automobil, Industrie, Gesundheitswesen, Spiele, Unterhaltung und Smart Werbung. Im Automobilbereich können TOF-Sensoren für das autonome Fahren und die Hinderniserkennung zur Erhöhung der Fahrsicherheit eingesetzt werden. In der Industrie können TOF-Sensoren zur Bedienung von Industrierobotern eingesetzt werden und ermöglichen es dem Menschen, diese präziser und sicherer zu bedienen. Im Bereich des Gesundheitswesens können TOF-Sensoren zur Gestenerkennung eingesetzt werden, was eine hygienischere Betriebsumgebung ohne die Notwendigkeit eines Mensch-Maschine-Kontakts ermöglicht. In der intelligenten Werbung wird TOF zur Gesten- und Menschenerkennung eingesetzt. Digital Signage kann hochgradig interaktiv werden und Medieninhalte gezielt an bestimmte Live-Publikumskreise richten. In der elektronischen Unterhaltung wird TOF häufig in AR und VR eingesetzt, um ein realistischeres Spielerlebnis zu ermöglichen.” [L1]

4 Messsystementwurf

4.1 Systemkonzept

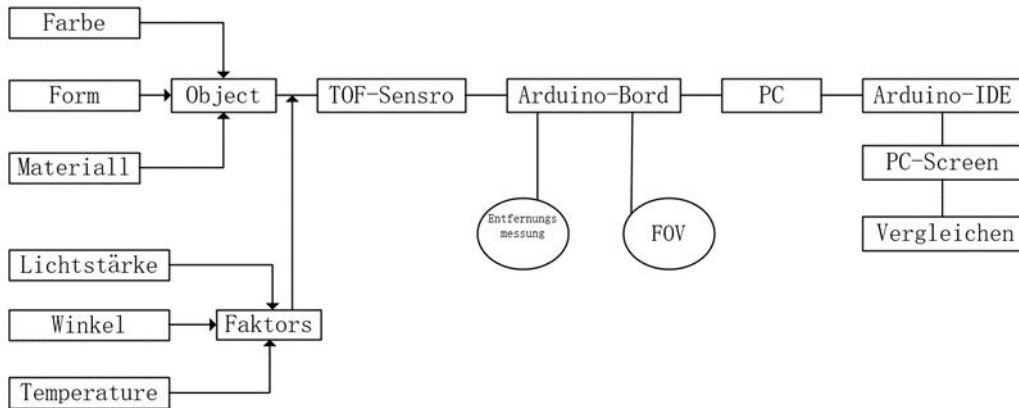


Abbildung 4 Systemkonzept

Um genaue experimentelle Messungen durchzuführen und richtige Daten zu bekommen, soll Hardware und Software zusammen arbeiten. Auf der Softwareseite wird das korrekte Messprogramm auf dem Computer geschrieben. Der Computer ist über ein USB-Kabel mit dem Arduino-Mikrocontroller verbunden, und das bereits auf dem Computer geschriebene Messprogramm wird über dieses Kabel in den Mikrocontroller importiert. Alle verwendenden Komponenten soll über das Kabel mit dem Mikrocontroller verbunden sein, dann kann das Experiment gut durchgeführt werden und die richtige Daten können gemessen werden. Das Experiment misst den längsten Messabstand des Sensors und den Messwinkel des Sensors

Die Messumgebung wird eingerichtet, indem ein 4 m langer Massstab auf eine flache Oberfläche gelegt wird, der Sensor an der 0-Skala des Massstabs gelegt wird, Objekte in verschiedenen Skalas platziert werden, beobachtete und experimentelle Daten über die Arduino Software aufgezeichnet werden. Die konkreten Versuchsabläufe werden in den folgenden Abschnitten ausführlich erläutert.

Messversuche sollten unter strikter Einhaltung der Messregeln durchgeführt werden. Alle Messversuche werden dreimal durchgeführt und die Daten werden aufgezeichnet, um Zufälle zu vermeiden.

4.2 Hardware

Beschreibung

Die Hardware sind die physikalischen und elektrischen Komponenten, das Experiment besteht aus denen Hardware. Die Hardware ist die physikalische Basis des Experiments und sollte unter geeigneten und korrekten Bedingungen arbeiten. Die Hardware im Experiment besteht im Allgemeinen aus einem zentralen Prozessor, Speicher, Eingabegeräten und Ausgabegeräten. Gute arbeitende Hardware ist die Basis für einen erfolgreichen Ablauf der Software.

Die Bauelemente in diesem Experiment kommen aus der Firma Funduino.

Die Parameter der im Experiment verwendeten Komponenten sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Name	Anzahl
Arduino MEGA 2560 Mikrocontroller-Board	1
USB-Kabel für Arduino Mikrocontrollerboard	1
großes Breadboard mit 830 Steckplätzen	1
Breadboardkabel	5

Tabelle 1 Liste des verwendeten Komponenten

Der digitale Infrarot-Abstandssensor ist nicht in dieser Tabelle dargestellt, weil es kein Produkt von der Firma Funduino ist. Aber es ist auch ein wichtig Komponente in diesem Experiment.

Der digitale Infrarot-Abstandssensor GY-53L1 ist mit einem TOF-Sensor VL53L1x ausgestattet.

4.2.1 Mikrocontroller-Board

„Als Mikrocontroller werden Halbleiterchips bezeichnet, die einen Prozessor und zugleich auch Peripheriefunktionen enthalten. In vielen Fällen befindet sich auch der Arbeits- und Programmspeicher teilweise oder komplett auf demselben Chip. Ein Mikrocontroller ist ein Ein-Chip-Computersystem. Für manche Mikrocontroller wird auch der Begriff System-on-a-Chip oder SoC verwendet.“ [L2]

Das Mikrocontroller-Board ist eine Platine mit einem Mikrocontroller. Auf der Platine gibt es vielen elektrische Komponenten und zahlreiche digitale E/A Pins, um die Schaltung gut zu funktionieren und verwenden.

In dieser Arbeit wird Arduino MEGA 2560 Mikrocontroller-Board verwendet.



Abbildung 5 Arudino Mega 2560 [L3]

“Arduino ist eine Open-Source-Elektronik-Prototyping-Plattform für flexible, einfach zu bedienende Hardware und Software im Bereich Mikrocontrolling. Es ist geeignet, um in kurzer Zeit spektakuläre Projekte zu verwirklichen.

Der Arduino Mega 2560 ist ein Mikrocontroller-Board auf Basis des ATmega2560. Es hat 54 digitale Ein-/Ausgangs-Pins (von denen 15 als PWM-Ausgänge verwendet werden können), 16 analoge Eingänge, 4 UARTs (serielle Hardware-Ports), einen 16-MHz-Quarzoszillator, einen USB-Anschluss, eine Stromversorgungsbuchse, einen ICSP-Header und einen Reset-Knopf. Es enthält alles, was zur Unterstützung des Mikrocontrollers benötigt wird; schließen Sie es einfach mit einem USB-Kabel an einen Computer an oder versorgen Sie es mit einem AC/DC-Adapter oder einer Batterie, um loszulegen. Die Mega 2560-Platine ist mit den meisten Shields kompatibel, die für den Uno und die früheren Platinen Duemilanove oder Diecimila entwickelt wurden." [L3]

Mikrocontroller	ATmega2560
Betriebsspannung(empfohlen)	5V
Eingangsspannung	7-12V
Eingangsspannung (Grenzwert)	6-20V
Digitale E/A-Pins	54 (davon 15 mit PWM-Ausgang)
Analoge Eingangs-Pins	16
Gleichstrom pro E/A-Pin	20mA
Gleichstrom für 3.3V Pin	50mA
Flasch-Speicher	256KB,davon 8 KB vom Bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Taktfrequenz	16MHz
LED_BUILTIN	13
Länge	101.52mm
Breite	53.3mm
Gewicht	37g

Tabelle 2 Parameter von Mikrocontroller-Board [L3]

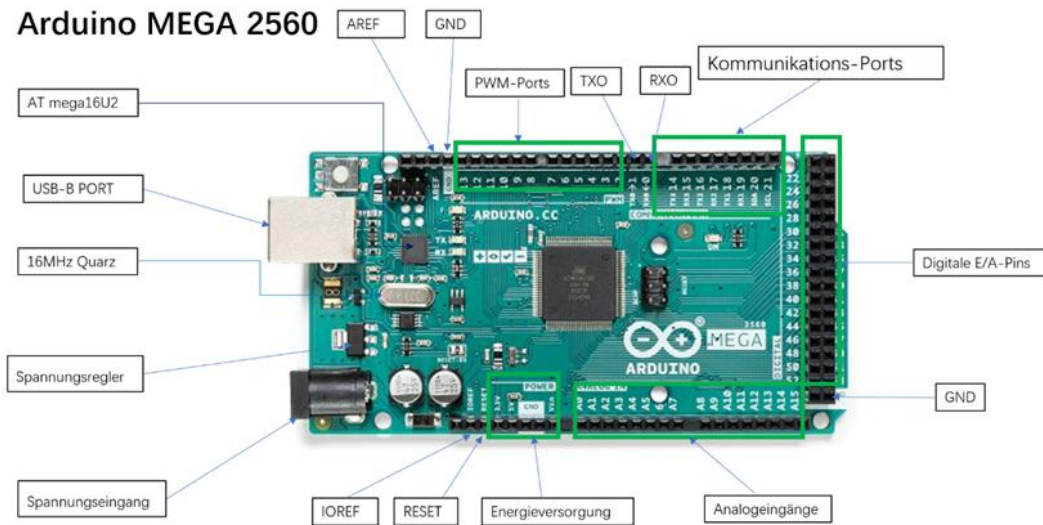


Abbildung 6 Darstellung der Mikrocontroller-Schnittstelle

4.2.2 Das Breadboard

„Ein Breadboard oder auch „Steckbrett“ ist ein gutes Hilfsmittel, um Schaltungen aufzubauen ohne zu löten. In einem Breadboard sind immer mehrere Kontakte miteinander verbunden. Daher können an diesen Stellen viele Kabel miteinander verbunden werden, ohne dass sie verlötet oder verschraubt werden müssen.“ [L4]

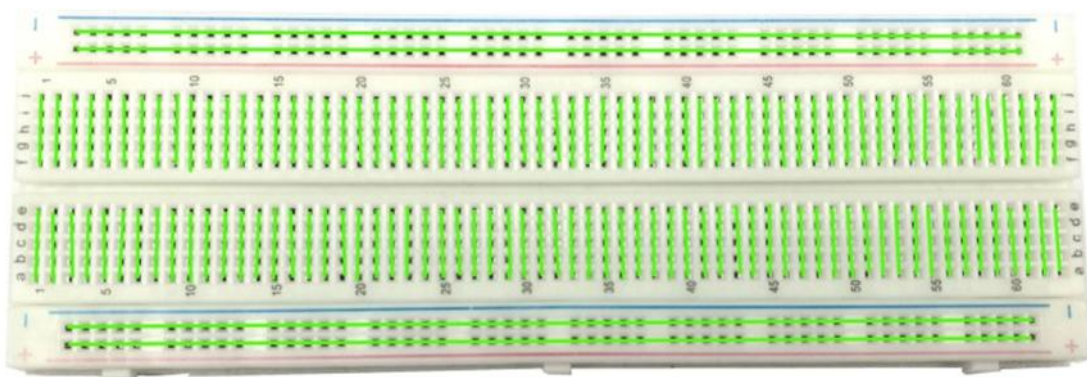


Abbildung 7 Das Breadboard [L4]

4.2.3 GY-53L1 Laser Distance ToF Sensor Module VL53L1X

4.2.3.1 Beschreibung

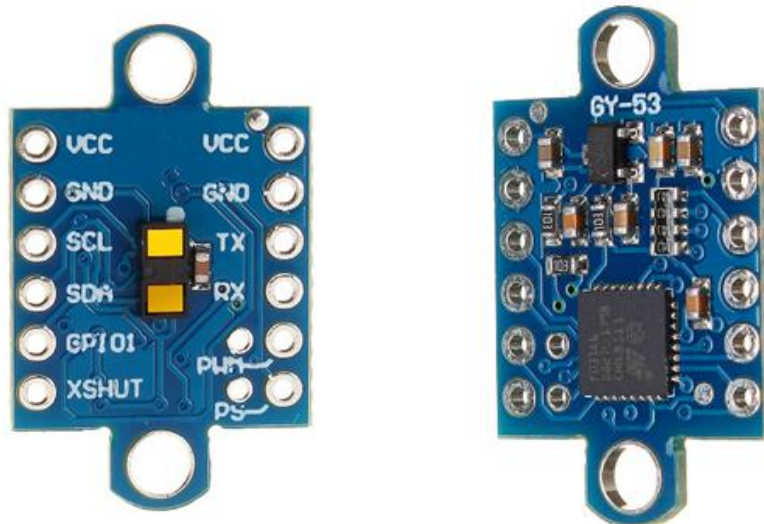


Abbildung 8 GY-53L1 Laser Distance ToF Sensor Module VL53L1X [L5]

“Das GY-53L1 ist ein günstiges digitales Infrarot-Entfernungsmessmodul. Arbeitsspannung 3-5V, geringe Leistungsaufnahme, geringe Größe, einfach zu installieren. Er ist ein hochmoderner Laser-Range-Sensor mit einer Laufzeit. Er hat eine genaue Reichweite von bis zu 4 Metern und eine schnelle Messbereichsfrequenz von bis zu 50 Hz. Er enthält ein SPAD-Empfängerarray, einen 940-nm-Laseremitter, physikalische IR-Filter und Optiken für optimale Entfernungsmessung bei unterschiedlichen Umgebungslichtbedingungen sowie eine Auswahl an Abdeckfensteroptionen.” [L6]

Modulmodell	GY-53-L1X
Mit dem Chip	VL53L1X + STM32
Stromversorgung	3-5 v (interne Regelung der niedrigen Dropout-Spannung)
Arbeitsstrom	0,2 ~ 20mA
Antwortfrequenz	22 msec (höchste)
Arbeitstemperatur	20 ° ~ 85 °
Speichertemperatur	-40 ° ~ 125 °
Palettenmessung	5 cm-4 mt (Dunkelheit, Fernmodus)
Größe	25mm * 15,6mm (inklusive Montagelöcher)
Kommunikationsmodus	seriell, PWM-Ausgang, Chip selbst IIC-Ausgang

Tabelle 3 Parameter von GY-53L1 Laser Distance ToF Sensor Module VL53L1X [L6]

4.2.3.2 Arbeitsprinzip

“Das Arbeitsprinzip besteht darin, dass die Infrarot-LED Licht aussendet und nach der Bestrahlung des Messobjekts das zurückkommende Licht von der MCU empfangen wird, die die Zeitdifferenz berechnet und die Entfernung erhält, wobei der Entfernungswert direkt ausgegeben wird.

Dieses Modul, gibt es zwei Möglichkeiten, um Daten zu lesen, nämlich serielle UART (TTL-Pegel) + PWM (Schalten) oder Chip IIC-Modus, serielle Schnittstelle Baudrate von 9600bps und 115200bps, kann konfiguriert werden, gibt es kontinuierlich, Abfrage-Ausgang zwei Möglichkeiten, kann herunterfahren, um die Einstellungen zu speichern. Das GY-53-L1X VL53L1 wird als einfaches Sensormodul verwendet, die MCU ist nicht an der

Datenverarbeitung beteiligt. Er bietet arduino, 51, stm32 Mikrocontroller Kommunikationsprogramm, aber er bietet keine Schaltpläne und internen Mikrocontroller-Quellcode." [D1]

4.2.3.3 Pin Bezeichnung

Pin1	VCC	Spannung + (3v-5v)
Pin2	GND	GND
Pin3	TX	Serieller Port USART_TX
Pin4	RX	Serieller Port USART_RX
Pin5	PWM	Abstand umgewandelt in PWM Form-Ausgang
Pin6	PS	Serieller Port /IIC-Modus Konvertierung
Pin7	XSHUT	Chip pin
Pin8	GPIO1	Chip pin
Pin9	SDA	Chip SDA
Pin10	SCL	Chip SCL
Pin11	GND	GND
Pin12	VCC	Spannung + (3v-5v)

Tabelle 4 Erläuterung zu den Pin-Funktionen des Sensors [D1]

Hinweis: Arbeitsmodus des PS-Hardwareauswahlmoduls

Ps=1 (Standard)	Serieller Port UART-Modus, Pin3 ist TX, Pin4 ist RX, TTL-Pegel, PWM-Ausgang funktioniert.
Ps=0 (wenn verbunden mit an GND)	Im IIC-Modus kann der Anwender den Chip selbst bedienen. Das Modul besitzt die MCU und bedient den Chip nicht. Der PWM-Ausgang funktioniert nicht.

Tabelle 5 Arbeitsmodus des PS-Hardwareauswahlmoduls [D1]

4.2.3.4 Protokolle von der Kommunikation[D1]

Serielles-Protokoll (Wird verwendet, wenn die Hardware des GY-53-Moduls ps=1)

1. Serielle Kommunikationsparameter (Standardwert der Baudrate 9600bps, kann per Software eingestellt werden)

Baudrate: 9600 bps Check bit:N Data bit:8 Stop bit:1

Baudrate:115200 bps Check bit:N Data bit:8 Stop bit:1

2. Modul-Ausgabeformat, jeder Frame enthält 8-13 Bytes.

PWM-Ausgang

Eine weitere Form der Ausgangsdaten des Moduls ist der PWM-Ausgang. Der PWM-Ausgang hat eine Rechteckwellenperiode von 20 Hz. Der hohe Pegel entspricht dem gemessenen Abstand.

Formel:

$$\text{Abstand(mm)} = \text{Highzeit(ms)} * 100 = \frac{\text{Highzeit(us)}}{10}$$

Wenn z. B. die gemessene High-Zeit 10000us beträgt, dann ist Distanz=10000/10=1000mm.

Dieses Experiment verwendet nicht das PWM-Kommunikationsprotokoll, sondern den IIC-Mode. Der PS-Pin ist geerdet. Da der TOF-Sensor VL53L1X über drei Abstandsmessungsmodi verfügt, muss der Abstandsmessungsmodus durch Schreiben des entsprechenden Programms auf dem PC geändert werden, so dass das PWM-Kommunikationsprotokoll nicht verwendet wird.

Wenn das PWM-Kommunikationsprotokoll verwendet wird, befindet sich das Modul standardmäßig im seriellen Modus, der PS-Pin ist high, das Modul ist eingeschaltet, Baudrate ist 9600 . Die VCC-Schnittstelle des Sensors soll mit der VCC-Schnittstelle des Mikrocontrollers verbinden, die GND-Schnittstelle soll mit der GND-Schnittstelle des Mikrocontrollers verbinden und die PWM-Schnittstelle im Sensor soll mit der Schnittstelle, die im Mikrocontrollers PWM-funktion hat, verbinden.

4.3 Messgeräte

Die Wahl der Messgeräte ist auch bei Experimenten sehr wichtig und sollte entsprechend den unterschiedlichen Messanforderungen gewählt werden. Das richtige Messwerkzeug ist eine Voraussetzung für genaue Messergebnisse. Für dieses Experiment habe ich die folgenden Messgeräte gewählt.

4.3.1 Maßband

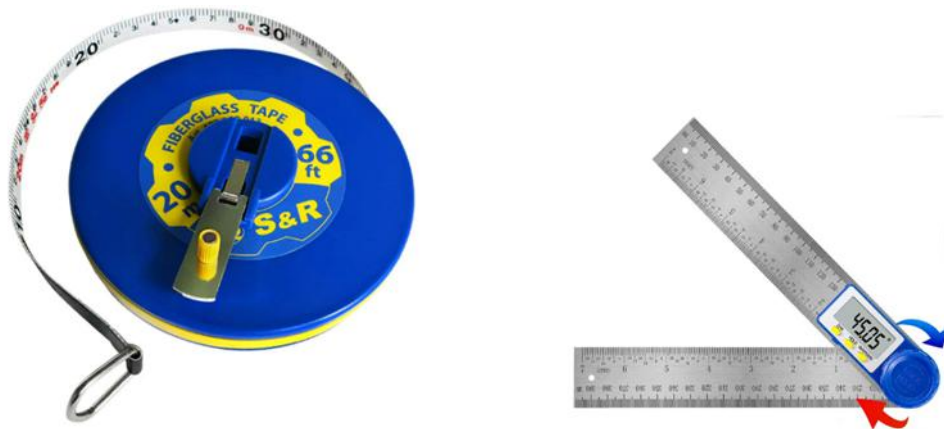


Abbildung 9 Maßband [L7]

Das Bild oben zeigt zwei Maßbänder, ein 20 m langes Maßband und elektronisches Klemmwinkellineal, mit dem Winkel gemessen werden können.

4.3.2 Luxmeter



Abbildung 10 Luxmeter [L8]

Mit diesem Gerät wird die Lichtstärke gemessen, Es gibt einen Lichtsensor am diesem Geräte und mit Hilfe dieses Lichtsensors kann die Messwert von Lichtstärke auf dem LCD-Bildschirm gezeigt werden.

4.3.3 Thermometer

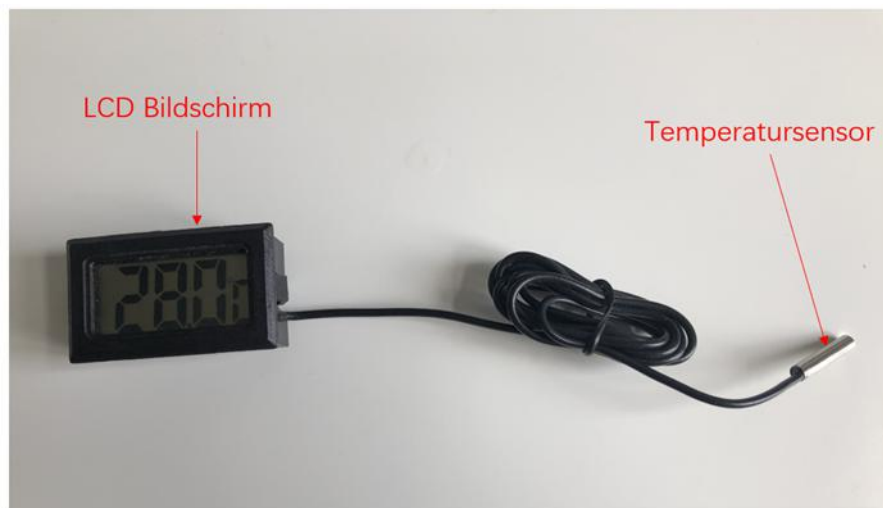


Abbildung 11 Thermometer

Elektronische Thermometer verwenden Temperatursensoren zur Ausgabe von elektrischen Signalen, geben direkt digitale Signale aus oder wandeln Stromsignale (analoge Signale) in digitale Signale um, die von einer internen integrierten Schaltung erkannt werden können, und zeigen dann die Temperatur in digitaler Form auf dem LCD-Bildschirm an, der den höchsten Wert der gemessenen Temperatur aufzeichnen und ablesen kann.

4.4 Software

Software sind sequentielle und organisierte Programme und Befehle. Software benötigt Hardware und Hardware benötigt auch Software. Nur wenn Software und Hardware zusammenarbeiten, können sie bestimmte Funktion erreichen. Das Softwareprogramm für dieses Experiment werden mit der "Arduino IDE"-Software geschrieben.

4.4.1 "Arduino IDE"-Software

“Die integrierte Entwicklungsumgebung (IDE) von Arduino ist eine plattformübergreifende Anwendung (für Windows, macOS, Linux), die in Funktionen von C und C++ geschrieben ist. Sie wird zum Schreiben und Hochladen von Programmen auf Arduino-kompatible Boards, aber auch, mit Hilfe von Drittanbieter-Cores, auf Entwicklungsboards anderer Hersteller verwendet.

Der Quellcode für die IDE ist unter der GNU General Public License, Version 2, veröffentlicht. Die Arduino IDE unterstützt die Sprachen C und C++ durch spezielle Regeln der Code-Strukturierung. Die Arduino IDE liefert eine Software-Bibliothek aus dem Wiring-Projekt, die viele gängige Ein- und AusgabeprozEDUREN bereitstellt. Vom Anwender geschriebener Code benötigt nur zwei Grundfunktionen, zum Starten des Sketches und der Hauptprogrammschleife, die mit einem Programmstub `main()` zu einem ausführbaren zyklischen Ausführungsprogramm mit der GNU Toolchain kompiliert und gelinkt werden, die ebenfalls in der IDE-Distribution enthalten ist. Die Arduino-IDE verwendet das Programm `avrdude`, um den ausführbaren Code in eine Textdatei in hexadezimaler Kodierung zu konvertieren, die von einem Ladeprogramm in der Firmware des Boards in das Arduino-Board geladen wird. Standardmäßig wird `avrdude` als Upload-Tool verwendet, um den Anwendercode auf offizielle Arduino-Boards zu flashen.” [L9]

```
sketch_jul19b $  
void setup() //Wir starten mit dem Setup  
  
{  
  
  pinMode(7, OUTPUT); // Pin 7 ist ein Ausgang.  
  pinMode(8,OUTPUT); // Pin 8 ist ein Ausgang.  
  
}  
  
void loop() // Das Hauptprogramm beginnt.  
  
{  
  
  digitalWrite(7, HIGH); // Schalte die LED an Pin7 an.  
  delay(1000); // Warte 1000 Millisekunden.  
  digitalWrite(7, LOW); // Schalte die LED an Pin7 aus.  
  digitalWrite(8, HIGH); // Schalte die LED an Pin8 ein.  
  delay(1000); // Warte 1000 Millisekunden.  
  digitalWrite(8, LOW); // Schalte die LED an Pin8 aus.  
  
}
```

Abbildung 12 Beispiele für "Arduino IDE"-Software

4.4.2 Bibliotheken zur Arduino Software

„Eine Bibliothek (auch Library genannt) ist für einige Projekte sinnvoll, da diese die Programmierung vereinfachen kann. Es kann im Code auf Funktionen aus der Bibliothek zurückgegriffen werden, sodass diese nicht komplett im Code ausgeschrieben werden müssen. Im weiteren Verlauf der Anleitungen wird auch auf solche Bibliotheken zurück gegriffen. Diese müssen erst in der Arduino Software hinzugefügt werden. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten.

Die einfachste Möglichkeit bietet sich durch die Funktion „Bibliotheken verwalten...“. Diese befindet sich in der Software unter „Sketch > Bibliothek einbinden > Bibliotheken verwalten...“ Dort kann über das Suchfeld die gewünschte Library gesucht und direkt installiert werden.

Nach der erfolgreichen installation kann die Bibliothek direkt verwendet werden. Mit der Installation von Programmbibliotheken werden häufig auch gleichzeitig Beispielsketches zur Arduinosoftware hinzugefügt. Diese Beispiele befinden sich unter „Datei > Beispiele“ und können einen guten Einblick in die einzelnen Funktionen der jeweiligen Bibliothek geben.“ [L10]

4.4.3 Grundstruktur für einen Sketch [L11]

Ein Sketch kann zunächst in drei Bereiche eingeteilt werden.

1. Variablen benennen

Im ersten Bereich werden Elemente des Programms benannt. Dieser Teil ist nicht zwingend erforderlich.

2. Setup (im Programm zwingend erforderlich)

Das Setup wird vom Board nur einmal ausgeführt. Hier teilt man dem Programm zum Beispiel mit, welcher Pin (Steckplatz für Kabel) am Mikrocontrollerboard ein Ausgang oder ein Eingang ist.

Definiert als Ausgang: Hier soll eine Spannung am Board ausgegeben werden.
Beispiel: Mit diesem Pin soll eine Leuchtdiode zum Leuchten gebracht werden.

Definiert als Eingang: Hier soll vom Board eine Spannung eingelesen werden.
Beispiel: Es wird ein Schalter gedrückt. Das Board bemerkt dies dadurch, dass er an diesem Eingangspin eine Spannung erkennt.

3. Loop (im Programm zwingend erforderlich)

Der Loop-Teil wird von Board kontinuierlich wiederholt. Es verarbeitet den Sketch einmal komplett bis zum Ende und beginnt dann erneut am Anfang des Loop-Teils.

4.4.4 Serieller Monitor

Der Serial Monitor ist ein wesentliches Werkzeug bei der Erstellung von Projekten mit Arduino. Er kann als Debugging-Tool, zum Testen von Konzepten oder zur direkten Kommunikation mit dem Arduino-Board verwendet werden. Dies zeigt die vom Arduino-Board über USB oder den seriellen Anschluss gesendeten seriellen Daten an.

4.5 Ablaufdiagramm

In diesem Abschnitt wird das Ablaufdiagramm des Messverfahrens kurz beschrieben.

Weil in der ursprünglichen Bibliotheken kein passendes Programm für dieses Experiment vorhanden ist, wird eine andere Bibliotheken (SparkFun_VL53L1X_Arduino_Library-master) hinzugefügt. Das Programm für dieses Experiment wird unter Verweis auf das darin enthaltene Beispiel "Read Distance" geschrieben.

Zuerst wird der Sensor auf das Breadboard gelegt, dann wird VCC des Sensors mit der 3,3-V-Schnittstelle des Mikrocontrollers verbunden, GND wird mit der entsprechenden Schnittstelle verbunden, SCL und SDA des Sensors werden mit den SCL-(Pin 20) bzw. SDA(Pin 21)-Schnittstellen des Mikrocontrollers verbunden, und schließlich wird PS mit GND des Mikrocontrollers verbunden (PS=0).

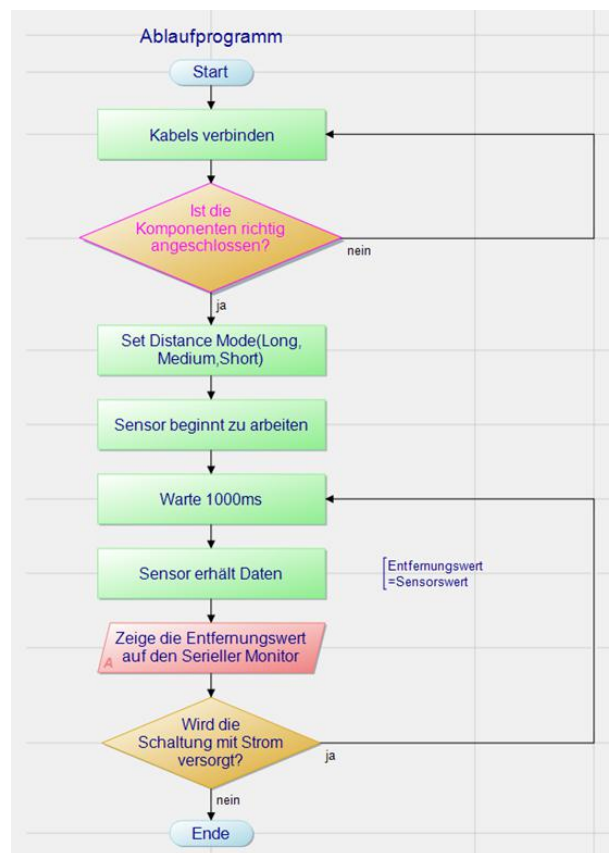


Abbildung 13 Ablaufprogramm

Dieses Programm stellt zunächst fest, ob der Schaltung korrekt angeschlossen ist. Wenn nicht, wird ein " Sensor failed to begin. Please check wiring. Freezing..." angezeigt. Wenn die Schaltung korrekt angeschlossen ist, arbeitet der Sensor laut dem importierten Programm. Der Sensor erhält einen Messwert, der gleich dem Abstand ist, und dieser wird dann im seriellen Fenster der Arduino-Software angezeigt. Das gesamte Programm arbeitet in einer Dauerschleife und endet erst, wenn das USB-Kabel des Mikrocontrollers abgezogen und die Spannungsversorgung der Schaltung unterbrochen wird.

4.6 Schaltplan

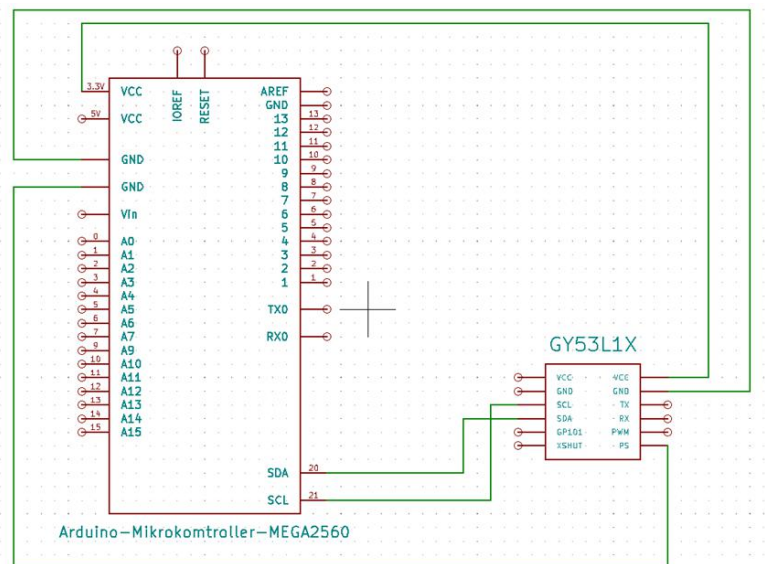


Abbildung 14 Schaltplan

4.6 Experimentieraufbau

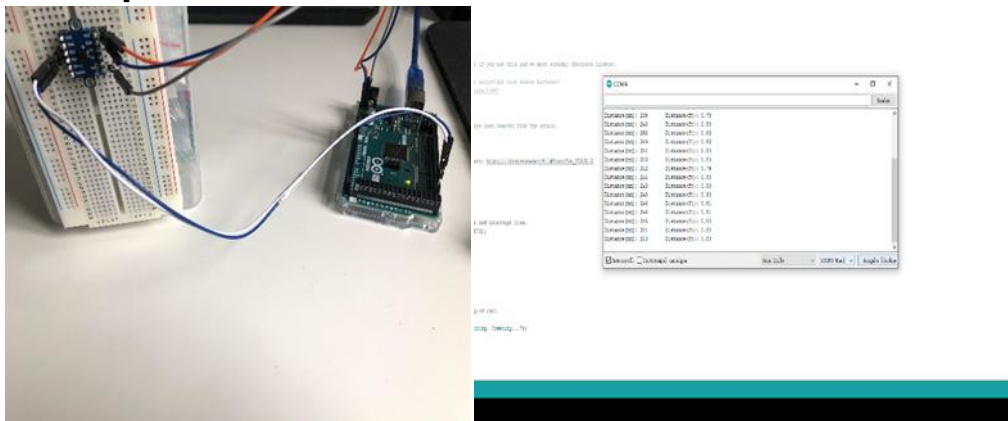


Abbildung 15 Experimentieraufbau

5. Durchführung des Experiments und die Ergebnisse

5.1 Beschreibung des Experimentinhalts

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die technischen Parameter von TOF-Sensoren zu untersuchen und die Faktoren zu identifizieren und zu diskutieren, die die technischen Parameter der Sensoren beeinflussen. Durch einen Blick in das Datenblatt des Sensors VL53L1X wird festgestellt, dass die wichtigsten technischen Parameter des Sensors die Abstandsmessfähigkeit des Sensors bzw. der maximale Messabstand des Sensors innerhalb eines bestimmten Abweichungsbereichs sind. Darüber hinaus ist auch das FOV des Sensors (Messwinkel des Sensors) ein wichtiger technischer Parameter.

Dieses Experiment berücksichtigt sowohl den Einfluss des Messobjekts selbst als auch die äußeren Umgebungsfaktoren. Es wird sechs Experimente geplant, sie sind die Farbe des Objekts, die Form der Messung, das Material des Objekts, der Winkel des Objekts, die Lichtstärke der Umgebung und die Temperatur der Umgebung. Außerdem wird im Experiment der messbare Winkel des Sensors und den maximale Messabstand des Sensors in drei Moden (Long,Medium,Short) gemessen.

5.2 Durchführung des Experiments

Aufbau der Messumgebung

Der Sensor wird zuerst auf einem Breadboard befestigt und die Kabel wird mit richtigen Schnittstelle verbunden, dann wird das Breadboard an einer rechteckigen Kunststoffbox befestigt, die senkrecht auf dem Boden stehen kann. Das Maßband wird auf eine Entfernung von 4 m eingestellt und dann auf den Boden gelegt. Danach befestigt den Sensor am Maßband bei 10 cm (Da die 0-Skala des Maßbandes vom Hersteller verdeckt ist, wird die 0-Skala auf 10 cm eingestellt, um experimentelle Messungen zu erleichtern). Dann kann das

Experiment laut dem Versuchsplan durchgeführt werden, wie im folgenden Bild dargestellt.



Abbildung 16 Aufbau der Messumgebung

5.2.1 Farbe

Im Experiment "Farbe" wird weißes, rotes, blaues, braunes und schwarzes Papier verwendet. Um die Vorschriften für die Messung einzuhalten, sind diese Papiere nur in der Farbe unterschiedlich, alle anderen Faktoren sind gleich. Die Objekte für das Experiment sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

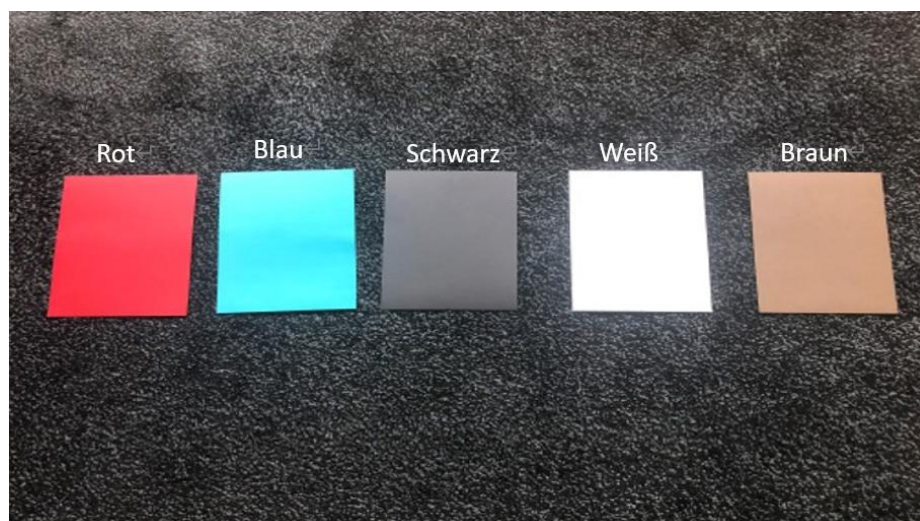


Abbildung 17 Messobjekte für Farbversuche

Messmethode

Der Abstand wird alle 10 cm für die ersten 200 cm und alle 50 cm von 200 cm bis 400 cm gemessen. Der gemessene Abstand wird mit dem tatsächlichen Abstand verglichen und die Abweichung berechnet, es wird drei Messungen für jeden Satz von Experimenten durchgeführt und dann der Durchschnitt der Abweichungen berechnet.

Berücksichtigt wird der Effekt, den die Lichtintensität auf das Experiment haben wird, Die Experimente werden in einer dunklen Umgebung durchgeführt, die Lichtstärke ist 0 Lux. Der Abstandsmessungsmodus des Sensors ist auf den Modus "Long " eingestellt

Messergebnisse

Distance (mm)	Farbe-Experiment				
	Weiß	Rot	Blau	Brau	Schwarz
	Abweichung(mm)				
100	7	7	7	12	20
200	11	18	5	16	25
300	13	3	17	29	28
400	11	11	10	26	26
500	7	5	5	24	37
600	9	7	6	13	22
700	11	12	17	10	25
800	23	14	23	26	37
900	24	8	29	31	96
1000	20	8	29	29	105
1100	11	13	34	38	
1200	13	22	49	55	
1300	21	29	57	56	
1400	19	39	64	89	
1500	21	54	62	86	
1600	20	91	78	113	
1700	21	118	85	120	
1800	32	114	98	127	
1900	25	178	124	147	
2000	27	264	199	206	
2500	30				
3000	40				
3500	72				
4000	200				

Tabelle 6 Abweichung des Experiments für Farbe

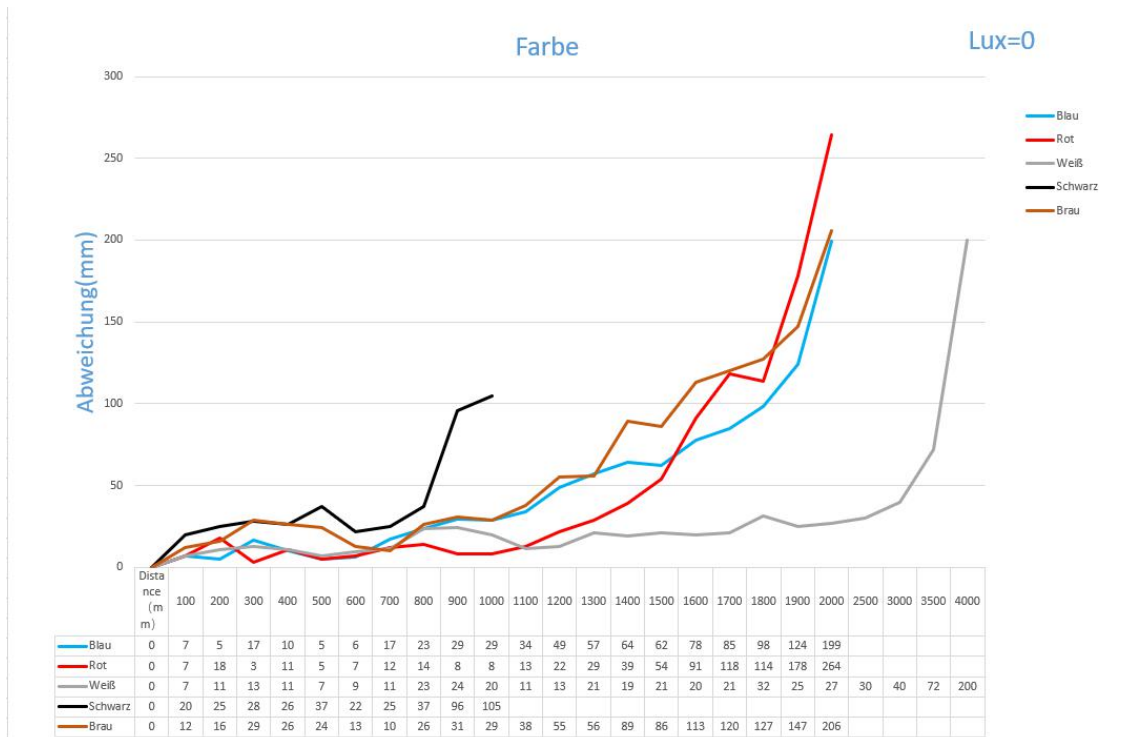


Abbildung 18 Grafik des Experiments für Farbe

Grafik Beschreibung

Mit zunehmender Entfernung nimmt die Abweichung jedes Farbobjekts zu, wobei der langsamste Anstieg bei Weiß zu verzeichnen ist, dann rot, braun und blau, und schließlich schwarz. Die Ergebnisse für Rot, Braun und Blau liegen sehr nahe beieinander.

Wenn die Farbe des Objekts weiß ist, misst der Sensor die größte Entfernung zwischen dem Sensor und dem Objekt dieser Farbe. Andererseits sind die schwarzen Objekte am nächsten. Das bedeutet, dass der Sensor weiße Objekte in der Entfernung leichter erkennen kann, als schwarze Objekte.

Abweichung Analyse

“Licht ist eine elektromagnetische Wellen, zu denen Gammastrahlen, Röntgenstrahlen, ultraviolette Strahlen, sichtbares Licht, Infrarotstrahlen und Radiowellen gehören. Sie haben unterschiedliche Wellenlängen und Frequenzen, und das sichtbare Licht ist ein sehr schmaler Teil seines Wellenlängenbandes. Das sichtbare Licht, das Menschen mit dem bloßen Auge

sehen können, sind ungefähr die elektromagnetischen Wellen im Wellenlängenbereich von 380-780nm.”[L12]

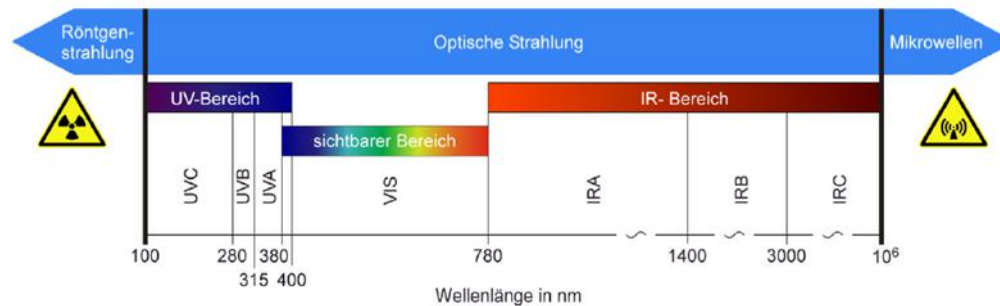


Abbildung 19 Lichtspektrum [D2]

Der Sensor für dieses Experiment, GY53L1, ist ein TOF-Sensor, der auf dem Prinzip der Infrarot-Abstandsmessung basiert, der Sensor sendet dazu infrarotes Licht aus. Infrarot ist eine elektromagnetische Welle zwischen sichtbarem Licht und Mikrowellen (760nm~1mm). Sie hat also nicht nur die Eigenschaften der Ausbreitung des sichtbaren Lichts, der Reflexion und der Brechung, sondern auch bestimmte Eigenschaften von Mikrowellen, wie z.B. ein starkes Durchdringungsvermögen und die Fähigkeit, bestimmte undurchsichtige Materialien zu durchdringen.

Die Farbe eines Objekts wird durch die Farbe des reflektierten Lichts bestimmt, dieser Satz gilt nur für den sichtbaren Lichts(400nm~700nm), infrarotes und ultraviolettes Licht folgen diesem Satz nicht genau. Jede Farbe hat einen unterschiedlichen Reflexionsgrad für verschiedene Wellenlängen des Lichts.

„Der Reflexionsgrad (auch Reflexionsvermögen, Reflektivität oder Reflektanz) ρ (auch R) ist das Verhältnis zwischen reflektierter und einfallender Intensität als Energiegröße, z.B. bei elektromagnetischen Wellen (Lichtstrom) oder bei Schallwellen (Schalldruck, Schallfeldgröße). Es handelt sich um eine gestörte Ausbreitung der Welle.“ [L13]

Der Reflexionsgrad der Farben ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tab. 7.1 Subjektiver Farbeindruck der in Abb. 7.2 und Abb. 7.3 vermessenen Aco-mix-Colorpasten. Farbezeichnungen des Herstellers sind in Klammern angegeben. Farbkoordinaten wurden gemäß Kapitel 4.1.4, UV-, VIS- und IRA- ($\bar{R}^{\Delta\lambda}$) sowie aktinischen und BLH-gewichtete Reflektivitäten (R_{eff} , R_{B}), alle in %, nach Gl. (4.25) bzw. (4.26) berechnet. Extremwerte sind hervorgehoben.

	Farbeindruck	Colorpaste	(x; y; z)	\bar{R}^{UV}	R_{eff}	\bar{R}^{VIS}	R_{B}	\bar{R}^{IRA}
(a)	Blau	wB3 (anorganisches Blau)	(0,18; 0,17; 0,65)	18,9	3,0	38,5	8,3	46,1
	Violett	wB1 (organisches Blau)	(0,31; 0,23; 0,46)	5,2	1,0	7,6	1,3	59,3
	Magenta	wV2 (Magenta)	(0,40; 0,30; 0,30)	5,1	1,1	13,3	0,9	32,2
(e)	Rotbraun	wR1 (Oxidrot)	(0,49; 0,41; 0,11)	5,6	1,3	16,8	1,1	45,7
	Rot	wR2 (organisches Rot)	(0,57; 0,35; 0,09)	4,3	1,0	37,3	0,5	90,8
	Hellrot	wR5 (organisches Rot, schwach)	(0,54; 0,34; 0,12)	7,3	1,6	40,7	1,3	84,7
	Rot 2	wR51 (Rot)	(0,55; 0,34; 0,11)	5,3	1,3	33,5	0,7	89,4
	Schwarzrot	wTR (transparentes Oxid- rot)	(0,32; 0,32; 0,36)	9,9	2,3	15,2	2,0	59,4
(Abb. 7.3)	Weiß	wW1 (Weiß)	(0,32; 0,33; 0,35)	12,2	2,6	88,1	15,0	91,5
	Dunkelgrau	wZ1 (Schwarz)	(0,30; 0,31; 0,39)	9,5	2,4	6,5	1,3	4,6
	Anthrazit	wZ5 (Schwarz)	(0,32; 0,33; 0,35)	7,7	1,8	8,5	1,3	45,6

Tabelle 7 Reflexionsgrad [D2]

Die folgende Grafik stellt auch den Reflexionsgrad dar.

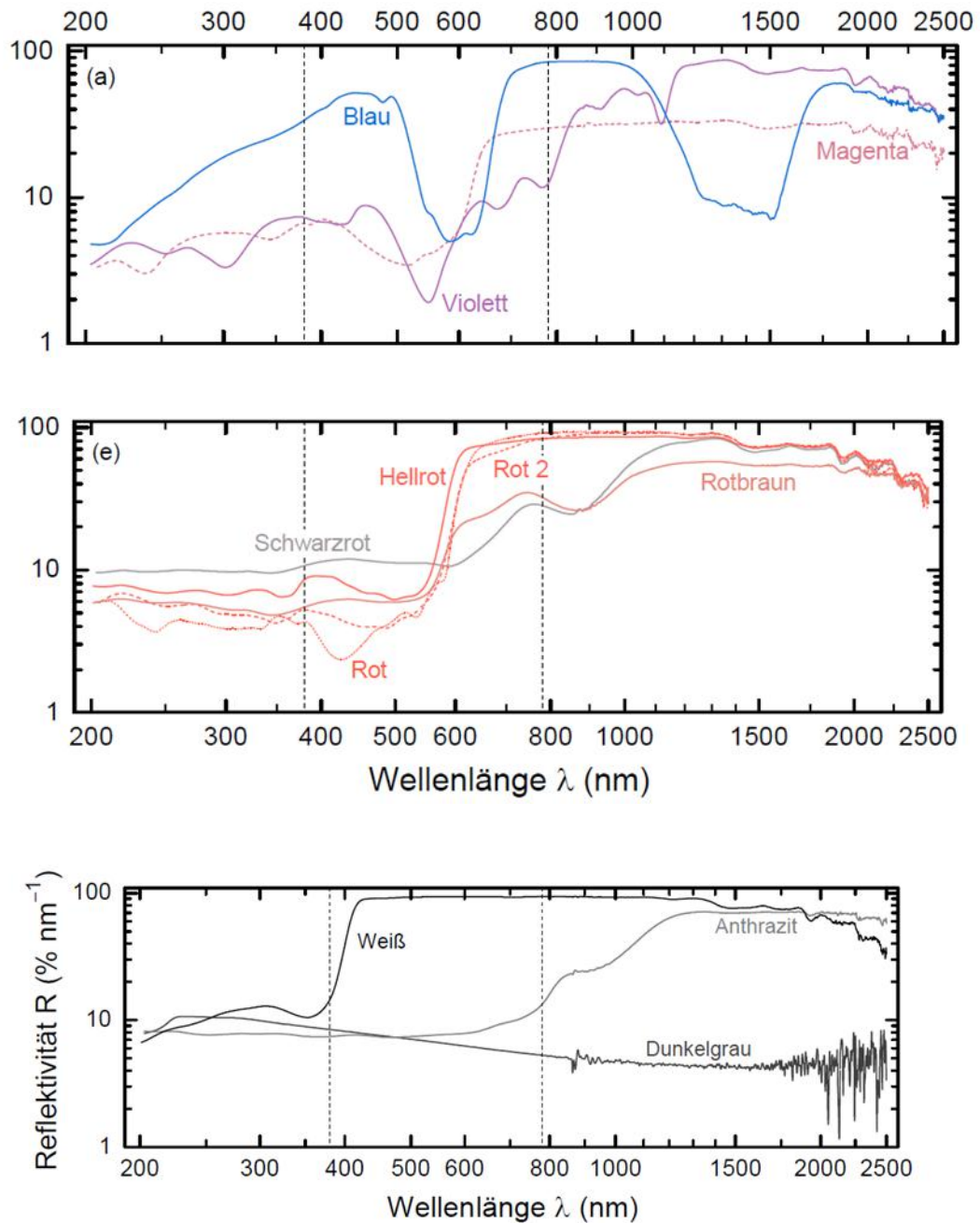


Abbildung 20 Reflexionsgrad[D2]

Aufgrund der Einschränkungen der Versuchsanlage war es nicht möglich, den Reflexionsgrad des Infrarotlichts an den Farben der Objekte in diesem Versuch

genau zu messen. Die oben dargestellten Tabellen und Grafiken zu den Prüfdaten stammen aus einer Forschung von Dr. rer. nat. Stefan Bauer und Dipl.-Ing. (FH) Günter Ott.

Wie die obige Tabelle zeigt, hat Weiß den höchsten Reflexionsgrad, Schwarz den niedrigsten, und Rot liegt sehr nahe bei Weiß. Der Reflexionsgrad von Blau und Braun liegt sehr nahe beieinander, sie sind viel niedriger als Rot.

Nach den Ergebnissen dieses Experiments hat Weiß das höchste Reflexionsvermögen für infrarotes Licht und damit die weiteste Entfernung gemessen. Schwarz hat den geringsten Reflexionsgrad, daher ist der gemessene Abstand am nächsten.

Die rote Farbe hat einen höheren Reflexionsgrad als die braune und blaue Farbe, daher ist sie die am zweitweitesten gemessene Entfernung. Die Ergebnisse für Braun und Blau liegen sehr nahe beieinander, sie sind beide niedriger als Rot und höher als Schwarz.

5.2.2 Form

In diesem Experiment wird die Form des Objekts verändert, um den Einfluss der Form des Objekts auf die Abstandsmessfähigkeit des Sensors zu untersuchen. Für das Experiment wird drei Formen von Objekten gewählt, sie sind Ebene, Zylinder und Kugeln. Alle drei Objekte sind weiß und haben im Querschnitt die gleiche Höhe. Die Objekte für das Experiment sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

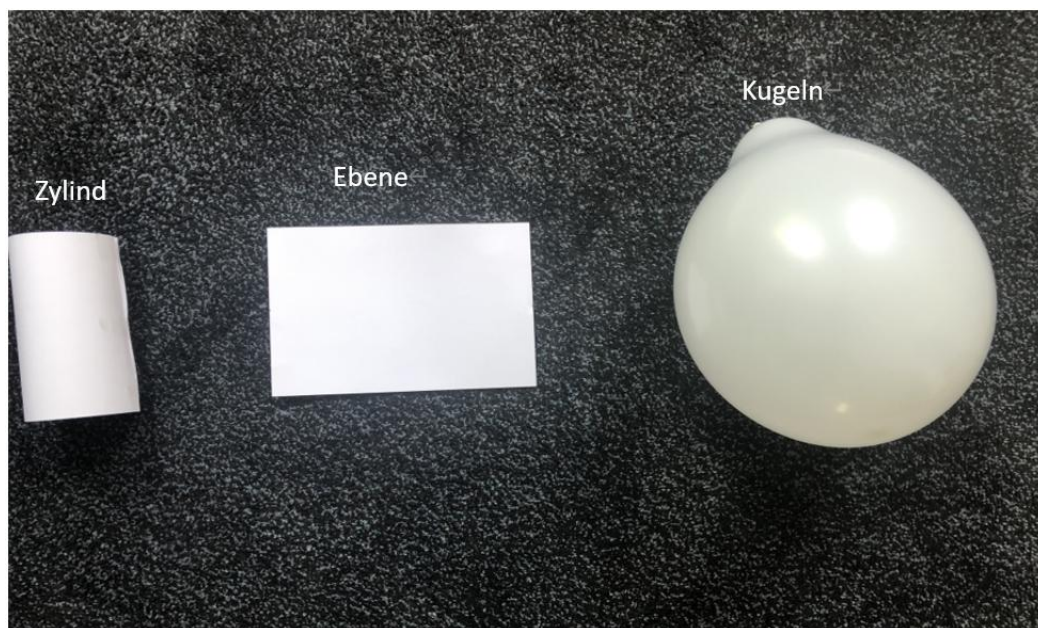


Abbildung 21 Messobjekte für Formversuche

Messmethode

Die Messungen werden auf die gleiche Weise wie beim Farbexperiment durchgeführt. Für jedes Objekt werden drei Messversuche durchgeführt und die Daten werden gemittelt. Die Umgebungslichtstärke des Experiments ist 0 und der Modus des Sensors ist lang.

Messergebnisse

Die Ergebnisse des Experiments sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

Form-Experiment			
	Ebene	Ball	Zylinder
Distance (mm)	Abweichung (mm)		
100	7	23	12
200	11	17	17
300	13	5	16
400	11	3	20
500	7	2	22
600	9	6	23
700	11	24	25
800	23	16	37
900	24	5	42
1000	20	2	67
1100	11	5	63
1200	13	42	96
1300	21	64	200
1400	19	80	
1500	21	118	
1600	20		
1700	21		
1800	32		
1900	25		
2000	27		
2500	30		
3000	40		
3500	72		
4000	200		

Tabelle 8 Abweichung des Experiments für Form

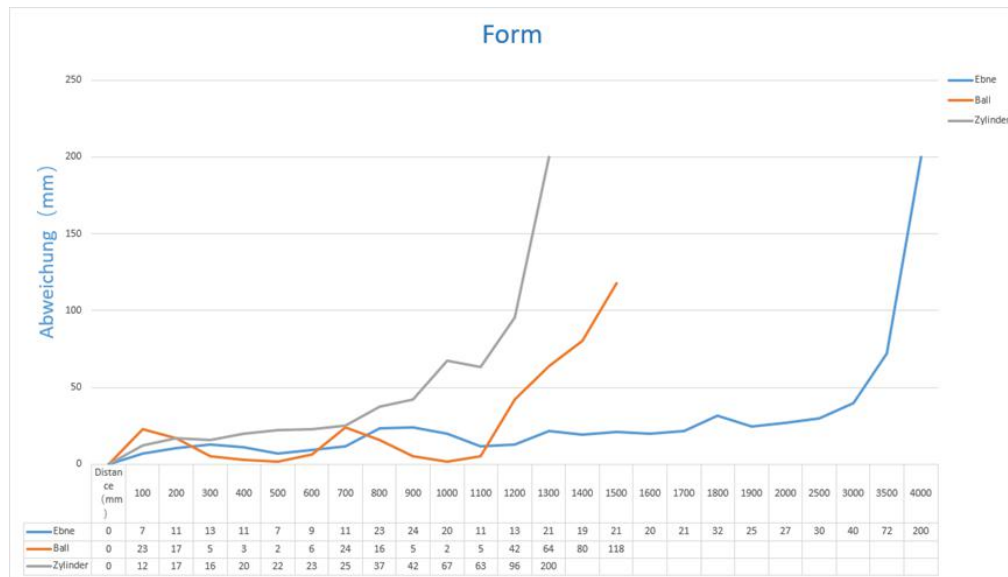


Abbildung 22 Grafik des Experiments für Form

Grafik Beschreibung

Aus dieser Grafik ist ersichtlich, dass ebene Objekte in den weitesten Entfernungen innerhalb der Toleranzen der Messabweichung gemessen

werden. Dann folgen die Kugeln und Zylinder. Aus den Versuchsergebnissen geht hervor, dass die Kugel vom Sensor weiter entfernt erkannt wird als der Zylinder. Allgemein sind die Messergebnisse der Zylinder und Kugeln sehr nahe.

Abweichung Analyse

Dieses Experiment bezieht sich auf die Reflexion von Licht in der Optik. Die Oberflächen aller Objekte können Licht reflektieren.

Wenn die Oberfläche eines Objekts flach ist, sind die Einfallswinkel und Reflexionswinkel gleich, wie im folgenden Schaubild dargestellt.

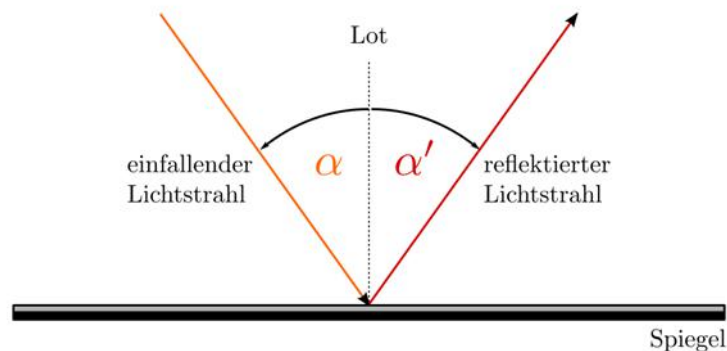


Abbildung 23 Das Reflexionsgesetz[L14]

$$\alpha = \alpha'$$

Wenn die Oberfläche eines Objekts gekrümmt ist, dann gilt das Gesetz der Lichtreflexion für jeden Punkt der Oberfläche, und der Einfallswinkel und der Reflexionswinkel des Lichts an jedem Punkt sind gleich, wie im folgenden Schaubild gezeigt wird.

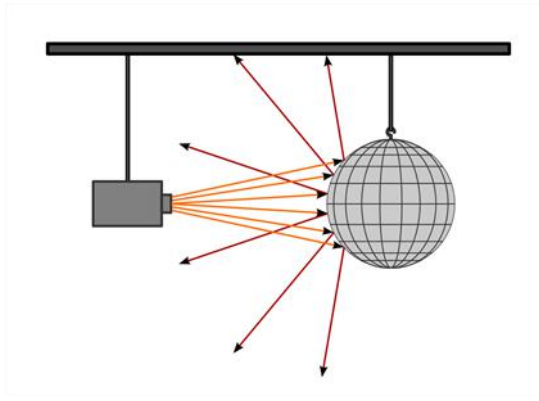


Abbildung 24 Gesetz der Lichtreflexion für gekrümmte Oberfläche[L14]

Im Experiment, wenn das Messobjekt eben ist, stehen die Infrarotstrahlen vom Sensor senkrecht zur Ebene, daher kehren die reflektierten Infrarotstrahlen auch senkrecht zur Ebene zum Sensor zurück, und dies ist der Weg mit der geringsten Abweichung. Wenn Objekte Kugeln und Zylinder sind, sind ihre Oberflächen gekrümmt. Die vom Sensor ausgesandten Infrarotstrahlen werden an der gekrümmten Oberfläche von einem gekrümmten Spiegel reflektiert, wie in der Abbildung oben dargestellt. Innerhalb von 0 bis 1000 mm, wenn das Objekt nicht sehr weit vom Sensor entfernt ist, empfängt der Sensor nur das reflektierte Licht senkrecht zur gekrümmten Oberfläche, so dass die Abweichung nicht sehr groß ist. Wenn das Objekt weiter vom Sensor entfernt ist, empfängt der Sensor Licht, das nicht senkrecht zur gekrümmten Oberfläche reflektiert wird, sondern viele Richtungen hat, so dass die Abweichung groß wird.

5.2.3 Material

Dieses Experiment untersucht den Einfluss des Materials des Objekts auf die Effektivität des Sensors bei der Abstandsmessung. Für das Experiment werden vier Objekte aus unterschiedlichen Materialien ausgewählt: Glas, Metall, Plastik und Spiegel. Die Versuchsobjekte sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

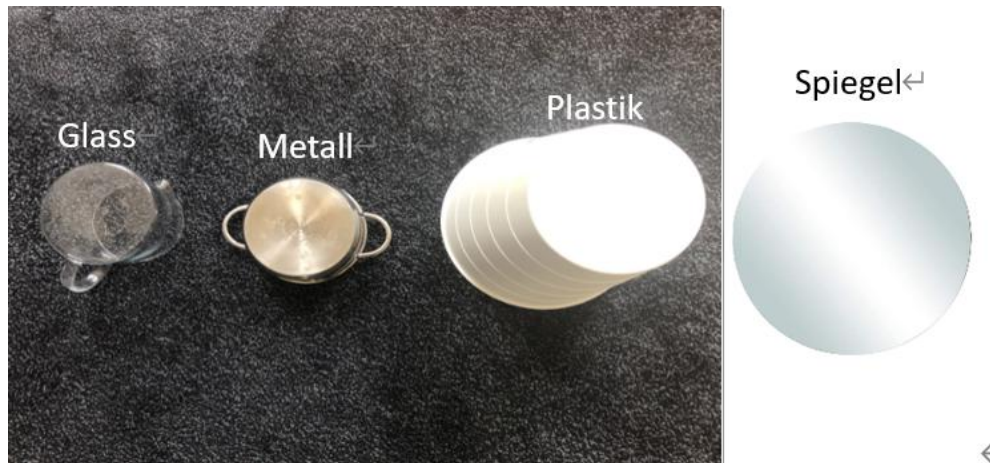


Abbildung 25 Messobjekte für Materialversuche

Die Oberfläche jedes dieser Versuchsobjekte ist ein Kreis mit einem Durchmesser von 15 cm.

Messmethode

Die Messungen werden auch auf die gleiche Methode wie beim Farbexperiment und Formexperiment durchgeführt. Für jedes Objekt werden drei Messversuche durchgeführt und die Daten werden gemittelt. Die Umgebungslichtstärke des Experiments ist 0 und der Modus des Sensors ist lang.

Messergebnisse

Die Ergebnisse des Experiments sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

Material-Experiment				
	Glass	Metall	Plastik	Spiegel
Distance (mm)	Abweichung (mm)			
100	34	30	21	35
200	23	31	21	41
300	21	37	22	30
400	18	38	20	41
500	15	36	23	42
600	16	33	15	27
700	13	28	12	28
800	25	23	10	34
900	23	21	6	24
1000	23	25	10	26
1100	42	26	18	22
1200	34	28	23	29
1300	68	33	26	20
1400	100	29	45	20
1500	200	35	39	25
1600		46	45	19
1700		51	69	19
1800		70	82	21
1900		85	104	22
2000		115	151	200
2500				
3000				
3500				
4000				

Tabelle 9 Abweichung des Experiments für Materiall

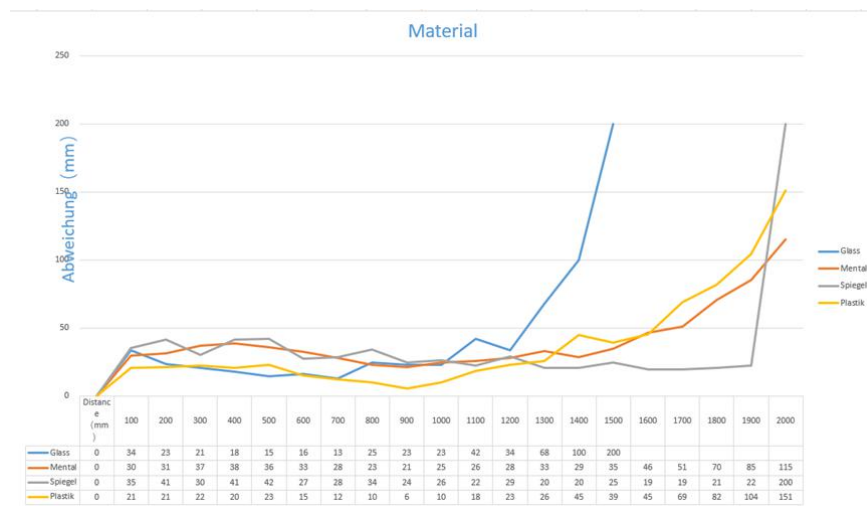


Abbildung 26 Grafik des Experiments für Materiall

Grafik Beschreibung

Die experimentellen Daten und die Tabelle zeigen, dass der Spiegel in der weitesten Entfernung gemessen werden kann. An zweiter Stelle steht Metall, danach folgt Plastik. schließlich stehet Glas an der letzten Stelle.

Abweichung Analyse

Die Reflexionsfähigkeit von Licht ist bei unterschiedlichen metallischen Werkstoffen unterschiedlich. Die Reflexionsfähigkeit eines metallischen Werkstoffs für Laserlicht ist u.a. abhängig von der Rauigkeit der Metalloberfläche. Spiegel haben den höchsten Reflexionsgrad. Die folgende Abbildung zeigt den Reflexion einiger Metalle für verschiedene Wellenlängen des Lichts.

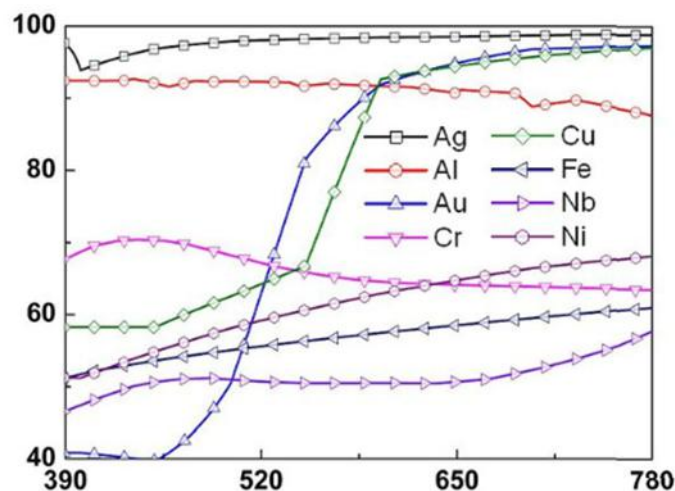


Abbildung 27 Reflexion einiger Metalle für verschiedene Wellenlängen [L15]

Die Wellenlängen des Infrarots ist zwischen 750 nm und 1 mm. Der ideale Spiegel besteht aus Silber oder Aluminium, wie aus dem obigen Diagramm ersichtlich, der Reflexionsgrad bei Infrarot-Wellenlängen (750nm~1mm) ist größer als 90%.

Der Reflexionsgrad von Metall mit einer glatten Oberfläche kommt dem eines Spiegels sehr nahe. Aber In diesem Experiment ist die Metalltopf jedoch aufgrund der Benutzung nicht glatt und hat eine diffuse Reflexion, so dass der gemessene Abstand für Metall nahe an dem von Kunststoff liegt. Da Glas als

transparentes Objekt ein sehr geringes Reflexionsvermögen hat, ist der im Experiment gemessene Abstand der nächste.

5.2.4 Lichtstärke

In diesem Experiment wird der Einfluss der Lichtstärke auf den vom Sensor gemessenen Abstand untersucht.

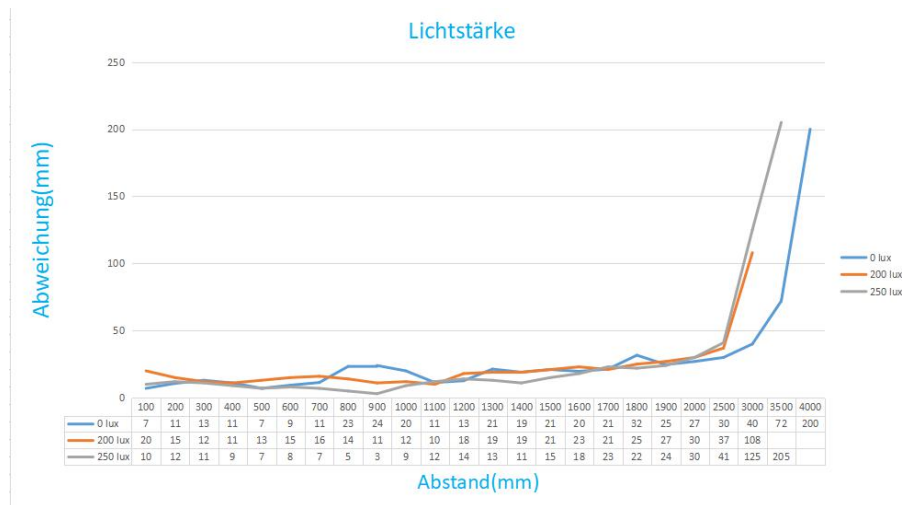
Messmethode

In diesem Experiment wird die Lichtstärke verändert und die Einheit der Lichtstärke ist Lux. Das Experiment wurde mit 3 Sets von Lichtintensitäten von 0 lux, 200 lux und 250 lux aufgebaut. Das Versuchsobjekt ist weißes Papier. Der Modus des Sensors ist lang und das Experiment wird im Dunkeln durchgeführt.

Messergebnisse

Die Ergebnisse des Experiments sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

Lichtstärke-Experiment			
	0 lux	200 lux	250 lux
Distance (mm)	Abweichung(mm)		
100	7	20	10
200	11	15	12
300	13	12	11
400	11	11	9
500	7	13	7
600	9	15	8
700	11	16	7
800	23	14	5
900	24	11	3
1000	20	12	9
1100	11	10	12
1200	13	18	14
1300	21	19	13
1400	19	19	11
1500	21	21	15
1600	20	23	18
1700	21	21	23
1800	32	25	22
1900	25	27	24
2000	27	30	30
2500	30	37	41
3000	40	108	125
3500	72		205
4000	200		

Tabelle 10 Abweichung des Experiments für Lichtstärke**Abbildung 28 Grafik des Experiments für Lichtstärke**

Grafik Beschreibung

Mit zunehmender Lichtstärke nimmt der maximale Messabstand des Sensors ab. Wie im obigen Diagramm dargestellt, wenn die Lichtstärke 0 lux ist, ist der maximale Messabstand des Sensors ca. von 3000 mm bis 3500 mm. Wenn die Lichtstärke 200 und 250 ist, ist der maximale Messabstand des Sensors ca. 2500 mm.

Abweichung Analyse

Der Fehler im obigen Experiment wird durch die Lichtintensität verursacht. Die Ursache hierfür kann vielleicht sein, dass mit zunehmender Lichtstärke eindeutige Reflexionen von umliegenden Objekten oder Oberflächen auftreten können, die wiederum die Messung beeinflussen. Wie im Abbildung unten gezeigt.

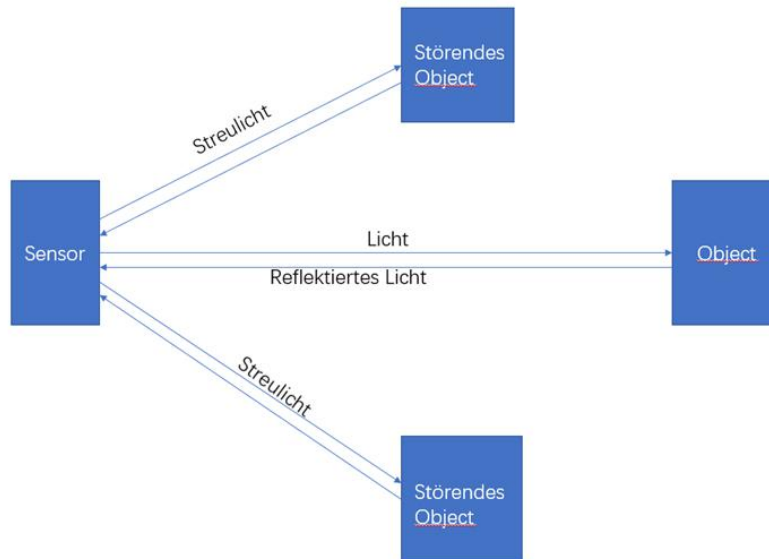


Abbildung 29 Beschreibung der Abweichungsursachen

„Werden ToF-Systeme beispielsweise im Inneren eines Gebäudes eingesetzt, sind Umwelteinflüsse nicht zu berücksichtigen. Im Außeneinsatz sind allerdings geeignete Maßnahmen in der Hard- und auch Software vorzunehmen. Starkes Sonnenlicht kann durch die integrierte „Ambient Light Suppression“ (Umgebungslichtunterdrückung) auf Chip-Ebene unterdrückt werden. Hingegen müssen die Messwerte bei Temperaturveränderungen durch geeignete Software-Routinen, je nach Genauigkeitsanforderungen, korrigiert werden. Oftmals reicht es aus, mit einer höheren Messwertintegration zu arbeiten und entsprechende Korrekturfaktoren zur Temperaturkompensation zu verwenden.“ [D3]

Wie Herr Matthais Flack "Time of Flight zur Entfernungsmessung und Objekterkennung" in diesem Artikel erklärt, können TOF-Systeme in Gebäuden ohne Berücksichtigung der Umweltbelastung eingesetzt werden. Das bedeutet, dass der Lichteinfluss auf den TOF-Sensor im Gebäude klein ist. Da dieses Experiment in Innenräumen durchgeführt wurde, geht aus diesem Versuch hervor, dass das Umgebungslicht in Innenräumen einen kleinen Einfluss auf den TOF-Sensor hat.

5.2.5 Winkel

In diesem Experiment wird der Einfluss des Messobjekts auf die Abstandsmessfähigkeit des Sensors untersucht.

Messmethode

Bei diesem Experiment wird das Versuchsobjekt 1000 mm vom Sensor entfernt platziert. Dann wird der Winkel α verändert, wobei acht Winkel α von 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 und 80 Grad eingestellt sind. Die Messungen für das Experiment sind im untenstehenden Schaubild dargestellt.

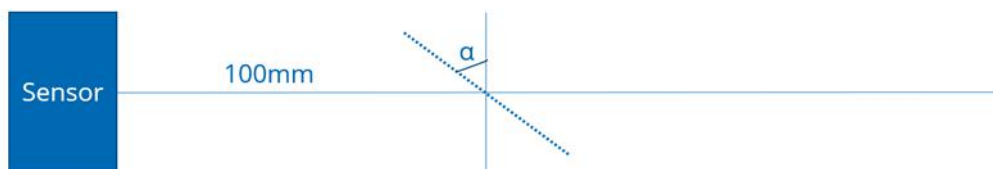


Abbildung 30 Messmethode für Winkel-Experiment

Das Versuchsobjekt ist weißes Papier. Der Sensormodus ist long und das Experiment ist im Dunkeln durchgeführt worden. Das Experiment wird für jeden Winkel dreimal durchgeführt und die Abweichungen der drei Gruppen wird dann gemittelt.

Messergebnisse

Winkel-Experiment								
Winkel(Grad)	10	20	30	40	50	60	70	80
Abweichung(mm)	6	20	62	70	90	110	180	Kein Messwert

Tabelle 11 Abweichung des Experiments für Winkel

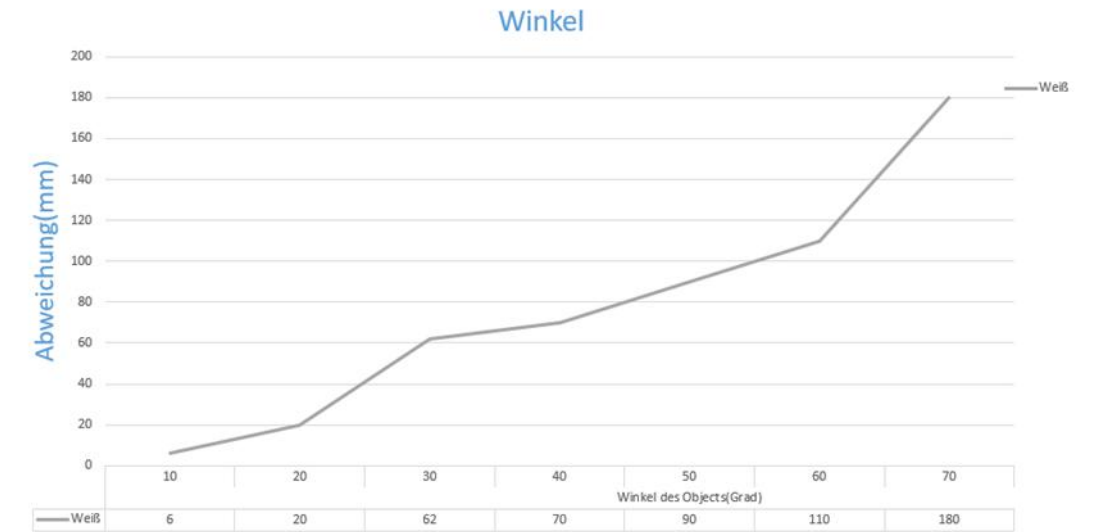


Abbildung 31 Grafik des Experiments für Winkel

Grafik Beschreibung

Wie man der obigen Tabelle entnehmen kann, ist die Messabweichung des Sensors desto größer, je größer der Auslenkwinkel des Objekts ist. Es gibt keine Messung, wenn sich das Objekt in einem Winkel von 80 Grad befindet.

Abweichung Analyse

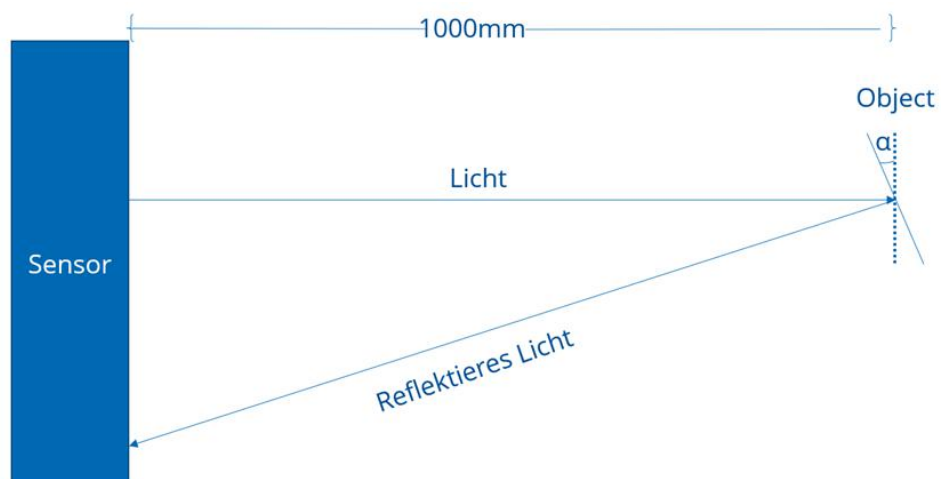


Abbildung 32 Beschreibung der Fehleranalyse

Wenn das Objekt nicht abgelenkt wird, ist das abgesendet Licht im Idealfall senkrecht zur Oberfläche des Objekts und der Reflexionswinkel und der Einfallswinkel sind gleich, beide sind Null.

Wenn ein Objekt abgelenkt wird, befindet sich das vom Sensor ausgesendete Licht nicht auf demselben Weg wie das Licht, das nach dem Auftreffen auf das Objekt zurückkehrt. Der Weg des reflektierten Lichts wird also länger, und die vom Sensor erfasste Zeit t ist dann auch länger. Aus dem in den vorherigen Kapiteln 3 beschriebenen TOF-Prinzip folgt:

$$d = \frac{ct}{2}$$

Wenn sich die Zeit t vergrößert und die Lichtgeschwindigkeit c konstant ist, dann vergrößert sich auch der resultierende Abstand d , so dass der Sensor einen Wert mit einer Abweichung ausgibt. Deshalb gilt: Je größer der Winkel des Objekts, desto größer die Abweichung der vom Sensor gemessenen Entfernung. Dies ist der Verursacher des erhöhten Fehlers.

5.2.6 Temperatur

In diesem Experiment wird der Einfluss der Temperatur auf die Fähigkeit des Sensors zur Abstandsmessung untersucht.

Messmethode

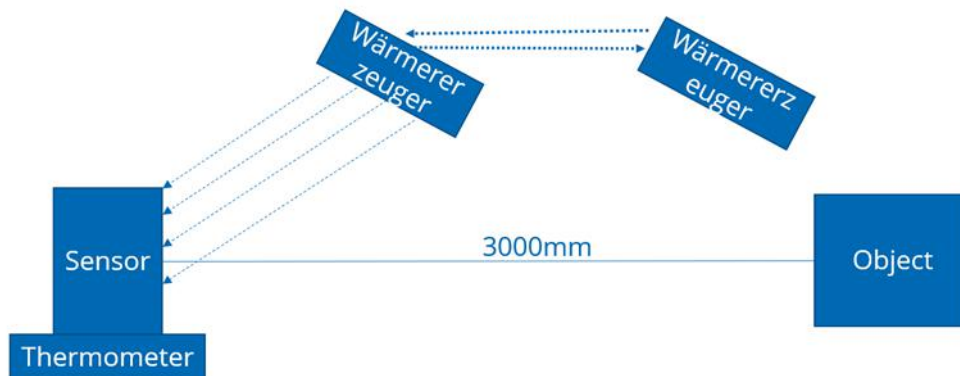


Abbildung 33 Messmethode für Temperatur-Experiment

Die Abbildung oben zeigt, wie dieses Temperaturexperiment durchgeführt wird. Das Messobjekt - ein weißes Blatt Papier - wird in einem Abstand von 3000 mm zum Sensor platziert. Dann erwärmt ein Wärmeerzeuger den Sensor und seine Umgebung. Der Wärmeerzeuger soll ständig bewegt werden, einerseits um zu verhindern, dass der Sensor durch einen zu schnellen Temperaturanstieg beschädigt wird, andererseits um die Temperatur um den Sensor ungefähr auf die gleiche Temperatur wie den Sensor zu bringen und so die reale Arbeitsumgebung des Sensors zu simulieren.

Das Messobjekt ist weißes Papier. Der Modus des Sensors ist lang und die Untersuchung wird im Dunkeln gemacht.

Messergebnisse

Temperatur-Experiment																		
Temperatur (Grad Celsius)	27	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47	49	51	53	55	57	59	60
Abweichung (mm)	17	20	18	19	21	20	25	30	30	39	45	55	62	59	60	61	66	67

Tabelle 12 Abweichung des Experiments für Temperatur

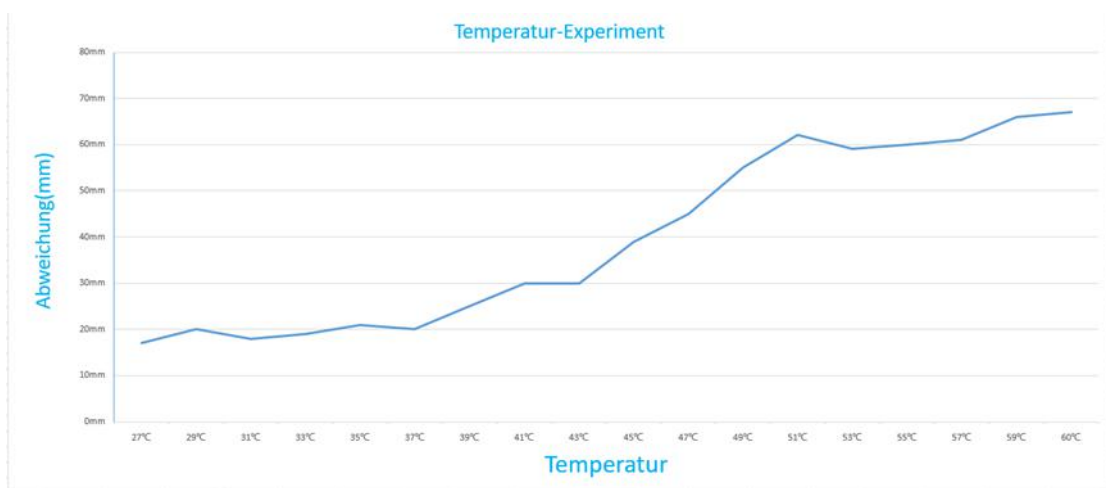


Abbildung 34 Grafik des Experiments für Temperatur

Grafik Beschreibung

Mit steigender Temperatur erhöht sich der Messfehler des Sensors. Bei einer Raumtemperatur von 27° beträgt der Messfehler des Sensors 17 mm, der bei einem allmählichen Temperaturanstieg auf 60° stetig auf 67 mm ansteigt.

Abweichung Analyse

Aus diesen Ergebnissen kann man erkennen, dass die Temperatur (der Sensor kann bei dieser Temperatur normal arbeiten) kleinen Einfluss auf den vom Sensor gemessenen Abstand hat.

„Die Berechnung der Entfernung basiert auf einem Modell des zeitlichen Verlaufs von Lichtpuls und Verschlusszeit. ffnet sich beispielsweise der elektronische Verschluss der Kamera nur 33 Pikosekunden zu spät, so sind die berechneten Entfernungen bereits um einen Zentimeter zu kurz. Selbst hochwertiger Elektronikkomponenten stoßen mit den Genauigkeitsanforderungen einer Lichtlaufzeit-messung an ihre Grenzen. Hohe Temperaturen führen zu Rauschen und Temperaturänderungen ändern das Zeitverhalten. Daher sollte die Kamera in einem thermisch stabilen Zustand zu betrieben werden. Extreme Temperaturen und Temperaturänderungen sind zu vermeiden. Die Kamera sollte möglichst gekühlt werden, beispielsweise durch einen Luftstrom oder die Montage an einen massiven Metallträger.“ [D4]

Wie Herr Martin Gramatke in diesem Artikel "Hochauflösende Lichtlaufzeit-Kamera (Time-of-Flight-Kamera)" erklärt, können hohe Temperaturen Rauschen verursachen und Temperaturänderungen können das Zeitverhalten verändern. Deswegen kann der Temperaturanstieg die Messgenauigkeit des Sensors etwas beeinflussen.

5.2.7 FOV (Field of View) Messung

Der Zweck dieses Experiments ist es, das FOV (Field of View) des Sensors zu messen, d. h. den Messwinkel des Sensors.

Messmethode

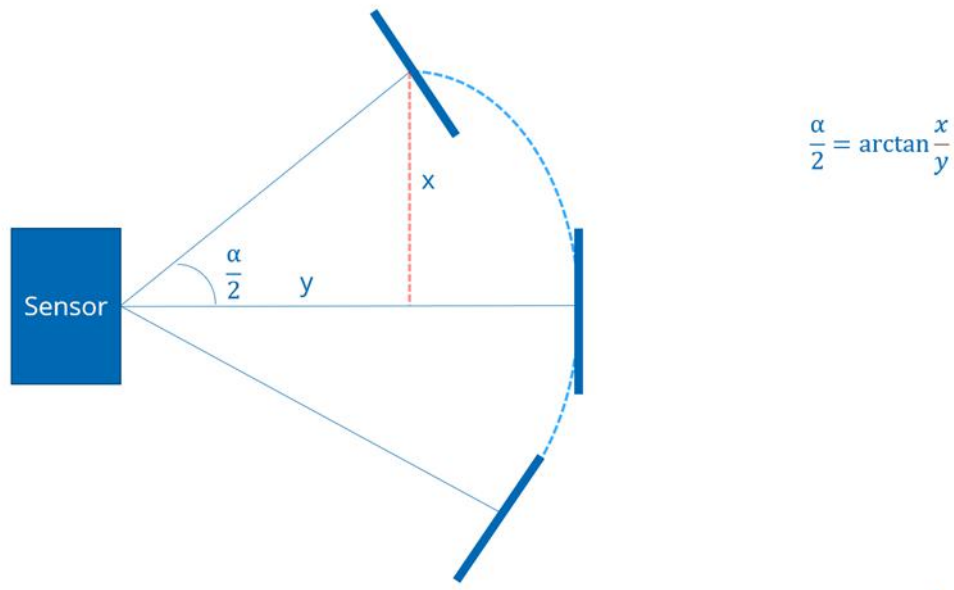


Abbildung 35 Messmethode für FOV-Messung

Das Testobjekt wird bei 500mm, 1000mm, 1500mm, 2000mm und 2500mm platziert. Das Objekt wird dann langsam auf einer Kreisbahn mit dem Sensor als Kreismittelpunkt und dem eingestellten Abstand als Radius bewegt. Das Objekt sollte während des Versuchs so senkrecht wie möglich zum Sensorlicht gehalten werden. Der Messwert des Sensors ist zu beobachten und die Position des Objekts aufzuzeichnen, wenn der Sensor das Objekt nicht mehr erkennen kann. Dann misst man den Abstand x vom Marker-Punkt zur horizontalen Linie und den Abstand y von der horizontalen Linie mit der folgenden Formel:

$$\frac{\alpha}{2} = \arctan \frac{x}{y}$$

Dann wird der Betrag $\frac{\alpha}{2}$ berechnet, dann kann man die Größe von α bestimmen.

Dieser Versuch wird bei jedem eingestellten Wert dreimal durchgeführt. Das Versuchsobjekt ist weißes Papier, der Modus des Sensors ist lang, und die Lichtintensität der Versuchsumgebung ist 0 Lux.

Messergebnisse

FOV-Messung				
	X (mm)	Y (mm)	$\alpha/2$	α
500mm	140	600	13	26
	150	690	12	24
	145	680	11.85	23.7
1000mm	215	850	14	28
	215	1001	12	24
	175	930	10	20
1500mm	255	1540	9	18
	302	1421	12	24
	254	1550	9	18
2000mm	290	1900	8.5	17
	285	2000	8	16
	301	2100	8	16
2500mm	400	2590	8.5	17
	350	2490	8	16
	480	2610	10	20

Tabelle 13 Ergebnisse der FOV-Messung

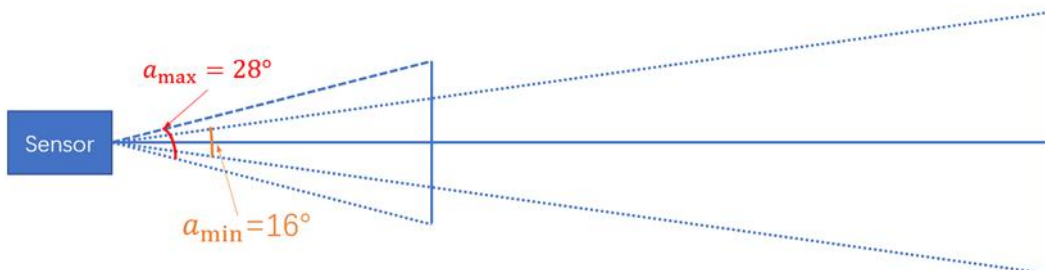


Abbildung 36 Maximale und minimale Winkel des Sensors

Aus den Daten in der obigen Tabelle und Grafik ist ersichtlich, dass dieser Sensor einen Messwinkel von 16° bis 28° hat.

5.2.8 Modi-Versuche

Der Modus des Sensors kann durch Schreiben eines Programms geändert werden. Die Experimente werden auf die gleiche Weise wie für Farbe, Form und Material gemessen. Die Messabweichungen der Sensoren wurden in beiden Modi experimentell aufgezeichnet. Das Experiment wird in dunkler Umgebung durchgeführt. Das Versuchsobjekt ist weißes Papier.

Messergebnisse

Modi-Versuche		
	Long	Short
Distance (mm)	Abweichung (mm)	
100	7	9
200	11	3
300	13	5
400	11	5
500	7	5
600	9	11
700	11	10
800	23	7
900	24	10
1000	20	8
1100	11	9
1200	13	11
1300	21	8
1400	19	11
1500	21	13
1600	20	11
1700	21	
1800	32	
1900	25	
2000	27	
2500	30	
3000	40	
3500	72	
4000	200	

Tabelle 14 Abweichungen der beiden Modi

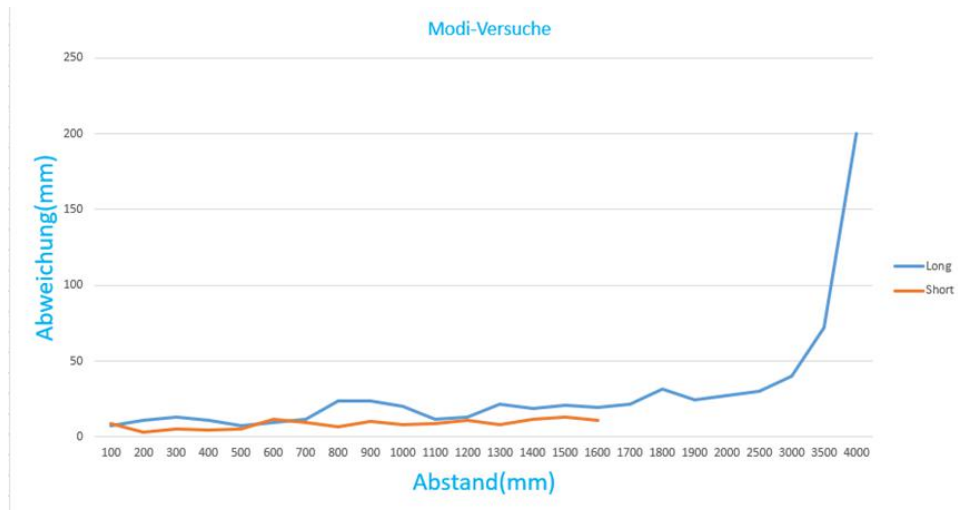


Abbildung 37 Grafik für Modi-Versuche

Grafik Beschreibung

Aus der obigen Tabelle und den Daten kann man ersehen, dass der Sensor im Lang-Modus eine Entfernung von 3500mm misst und je weiter die Entfernung, desto schlechter ist die Genauigkeit. Die effektive Entfernung, die der Sensor im SHORT-Modus misst, liegt bei 1600 mm und die Genauigkeit verschlechtert sich nicht mit zunehmender Entfernung.

Kurz gesagt, der kurze Modus eignet sich für die Messung von nahen Objekten mit hoher Genauigkeit; der lange Modus sollte für die Messung von entfernten Objekten verwendet werden.

6.Vergleichen die Messergebnisse mit den vom Hersteller angegebenen Werten.

In diesem Kapitel werden die gemessenen Werte mit den vorgegebenen Werte vom Hersteller verglichen. Hauptsächlich werden die maximalen Messabstände in verschiedenen Modi und die Ergebnisse für unterschiedliche Lichtstärken. Dieser Infrarotsensor GY53L1 ist mit dem TOF-Sensor VL53L1X ausgestattet, und diese Messdaten werden mit den vorgegebenen Werte des TOF-Sensor VL53L1X verglichen .Da die Messumgebung und die Messgeräte nicht sehr professionell sind, kann es einige Abweichungen zwischen den Ergebnisse dieses Versuchs und den vorgegebenen Werte vom Hersteller geben.

6.1 Die maximalen Messabstände in verschiedenen Modi

Im Folgenden sind die vom Hersteller vorgegebenen Sensordaten dargestellt.

Distance Mode	Max.Distance in Dunkel(cm)
Short	136
Lang	360

Tabelle 15 Vom Hersteller angegebene Werte in verschiedenen Entfernungsmodi [D5]

Testbedingungen: Zeitbudget = 100 ms, weißes Target 88 %, dunkel = keine IR-Umgebung, Umgebungslicht = 200 kcps/SPAD.

**200 kcps/SPAD = Beleuchtung an einem sonnigen Tag von hinter einem Fenster, mit direkter Beleuchtung auf den Sensor*

Die Ergebnisse dieses Experiments sind unten angegeben:

Distance Mode	Max.Distance in Dunkel(cm)
Short	160
Lang	350

Tabelle 16 Messergebnisse in verschiedenen Modi in diesem Experiment

Aus dem Vergleich in der obigen Tabelle ist ersichtlich, dass der vom Sensor im Lang-Modus gemessene maximale Abstand nahe an dem Wert, den der Entwickler in diesem Experiment angegeben hat, ist. Im Short-Distance-Modus wird in diesem Experiment ein maximaler Abstand von 160 cm gemessen, aber der vorgegebene Wert ist 136 cm.

6.2 Die maximalen Messabstände in unterschiedliche Lichtstärken

Die vom Hersteller angegebene Testumgebung [D5]:

In allen Messtabellen dieser Spezifikation wird berücksichtigt, dass:

1. der volle FoV (typischerweise 27 °) abgedeckt wird oder ein Teil-FoV abgedeckt wird, nachdem ein bestimmter ROI vom Benutzer programmiert wurde (Array-Größe von 4x4 SPADs bis 16x16 SPADs).

2. Die als Ziele verwendeten Karten sind: grau 17 % Reflexion (N4.74 Munsell), grau 54 % Reflexion (N8.25 Munsell) und weiß 88 % Reflexion (N9.5 Munsell).

3. Nennspannung (2,8 V) und Temperatur (23 °C).

4. Die Erkennungsrate wird als 100 % betrachtet.

5. Wenn nicht anders angegeben, wird das Gerät mit den folgenden Einstellungen über den Treiber eingerichtet und gesteuert:

a) Abstandsmodus ist lang

b) Zeitbudget ist 100 ms

c) Es ist kein Deckglas vorhanden

d) Das Ziel deckt das gesamte FoV ab

6. Das Umgebungslicht ist wie folgt definiert:

- a) Dunkel = kein IR-Licht im Bereich $940 \text{ nm} \pm 30 \text{ nm}$
 b) 50 kcps/SPAD = Beleuchtung an einem sonnigen Tag von hinter einem Fenster(a)
 c) 200 kcps/SPAD = Beleuchtung an einem sonnigen Tag von hinter einem Fenster,
 mit direkter
 Beleuchtungsstärke auf den Sensor
 d) Als Anhaltspunkt: Die übliche Bürobeleuchtung beträgt etwa 5 kcps/SPAD

Vom Hersteller angegebene Werte:

Parameter	Ziel-Reflexionsgrad	Dunkel	50 kcps/SPAD	200 kcps/SPAD
Max. Abstand (cm)	Weiß 88 %	360	166	73
	Grau 54 %	340	154	69
	Grey 17 %	170	114	68
Messabweichung (mm)		± 20	± 25	± 25

Tabelle 17 die vorgegebene Werte bei Umgebungslicht mit Long Distance Modus [D5]

Die Werte in diesem Experiment sind unten angegeben:

Parameter	Farbe des Object	Dunkel(0 Lux)	200 lux	250lux
Max. Abstand (cm)	Weiß	350	250	250
	Rot	150	130	130
	Blau	130	130	130
	Brau	130	130	130
	Schwarz	80	80	80
Messabweichung (mm)		± 50	± 50	± 50

Tabelle 18 Messwerte bei Umgebungslicht mit Long Distance

Es besteht ein großer Unterschied zwischen den gemessenen Daten und den angegebenen Daten. In einer dunklen Umgebung liegt der Messwert von Weiß näher an dem angegebenen Wert (ca. 360cm).

Da der Hersteller die Lichtstärke nur unter zwei Bedingungen definiert und keine genauen Lichtstärkewerte angibt, ist ein Vergleich der Situation unter verschiedenen Lichtstärken nicht möglich. Und der Hersteller kann den Reflexionsgrad der Farbe eines Objekts mit professionellen Geräten und in einer professionelleren Umgebung messen, sind die Testergebnisse genauer und haben geringere Abweichungen. Der Reflexionsgrad der Farbe des Objekts kann aufgrund der Versuchsgeräte nicht genau gemessen werden, so dass ein Vergleich mit den angegebenen Daten auch nicht möglich ist.

6.3 FOV(Field of View)

Folgende Werte werden von den Herstellern angegeben:

Feature	Detail
Package	Optical LGA12
Size	4.9 x 2.5 x 1.56 mm
Operating voltage	2.6 to 3.5 V
Operating temperature:	-20 to 85 °C
Receiver Field Of View (diagonal FOV)	Programmable from 15 to 27 degrees
Infrared emitter	940 nm
I ² C	Up to 400 kHz (Fast mode) serial bus Programmable address. Default is 0x52.

Tabelle 19 der vorgegebene Werte von FOV[D5]

Das FOV des Sensors wird vom Hersteller mit 15° bis 27° angegeben. Aus dem Abbildung (36) ist ersichtlich, dass der Wert des gemessenen FOV von 16° bis 28° ist. Die Messergebnisse sind ungefähr die gleichen wie die vom Hersteller angegebenen.

Da es gibt einige, wird es eine gewisse Differenz zwischen den gemessenen und den angegebenen Werten geben.

7. Interpretation von Versuchsergebnissen und Beschreibung von Problemen bei diesem Experiment

In der experimentellen Umgebung

In diesem Experiment wird aufgrund der Einschränkungen der Versuchsanlage nur der Betrieb des Sensors gemessen, wenn er sich in Innenräumen befindet, und der Betrieb des Sensors im Freien (Sensorbetrieb bei hellem Umgebungslicht) wird nicht gemessen. Für den Betrieb des Sensors im Freien sollten weitere Versuche durchgeführt werden.

Warum wird das Versuch vom Mittel-Modell nicht durchgeführt?

Es gibt drei Sensormodi, sie sind Lang, Kurz und Mittel. Die Informationen aus dem Internet zeigen, dass TOF-Sensoren hauptsächlich in Produkten wie z. B. Kameras verwendet werden und der Hauptmodus ist Lang. Obwohl in diesem Modus mit zunehmender Entfernung die Abweichung zunimmt, hat dies die längste Messentfernung. Der Hersteller kann die Abweichung auf verschiedene Weise reduzieren, z. B. indem er ein Programm schreibt, das die Abweichung reduziert, oder indem er zusätzliche Schaltungen anschließt, die die Abweichung korrigieren kann.

Da dieses Modell (Mittel) selten verwendet wird, wurden keine Messungen durchgeführt.

Erklärung für Versuchsfehler

Wenn die experimentelle Methode korrekt ist, gibt es immer noch Abweichungen in den Ergebnissen. Dies ist unvermeidlich. Die im Experiment vorliegenden Abweichungen sind hauptsächlich auf die experimentellen Messungen bezogen.

Auch menschliche Faktoren können die Ergebnisse von Experimenten beeinflussen, z. B. wenn Objekte nicht in der richtigen Position platziert oder

falsch aufgezeichnete Daten abgelesen werden. Diese können zu Fehlern führen.

Außerdem kann der Sensor selbst mit bestimmten Abweichungen haben, die unvermeidlich sind, da die technischen Parameter der jeweiligen Sensoren nicht immer gleich sind.

Probleme mit dem Messen von Winkeln und Lösung

Bei der ersten Messung des Winkels des Sensors wurde der Winkel des Sensors nicht genau gemessen, weil die Messmethode falsch war. Bei der ersten Durchführung des Messversuchs stand das Versuchsobjekt senkrecht zum Boden und war in Bodennähe horizontal verschoben. Das Ergebnis dieses Messversuchs war, dass der Sensor immer zwischen 8° und 15° gemessen hat, das ist natürlich falsch. Der Grund dafür ist, dass auch der Winkel des Objekts einen Einfluss auf die Messergebnisse haben kann. Die Lösung besteht darin, das Objekt so zu bewegen, dass es möglichst senkrecht zum Licht des Sensors steht, damit die Messergebnisse so genau wie möglich sein können.

Zusammenfassung

In den vergangenen Monaten wurden diese Arbeiten ebenfalls erfolgreich abgeschlossen. Wie gefordert, wurden auch die technischen Parameter des Sensors abgeleitet und die Faktoren, die seine technischen Parameter beeinflussen, soweit wie möglich berücksichtigt. Die Wirkungen der Einflussfaktoren werden anhand von experimentell gemessenen Daten identifiziert und diskutiert sowie eine theoretische Grundlage gegeben.

Anhand der Ergebnisse dieses Experiments lässt sich erkennen, dass der Sensor GY53L1X in diesem Experiment in Innenräumen gut funktionieren kann. Und es ist wenig störanfällig für Innenräume. Bei Arbeiten im Freien sollte der Sensor jedoch einige Faktoren berücksichtigen. Es sollte z. B. vermieden werden, bei hellem Licht zu arbeiten.

Insgesamt sind TOF-Sensoren im Leben weit verbreitet und mit der Weiterentwicklung der Technologie wird die TOF-Technologie immer besser und die TOF-Sensoren werden bei der Messung von Abständen immer genauer werden.

Literaturverzeichnis

Internetseiten

[L1] Wikimedia Foundation Inc.: "en.wikipedia.org"

https://en.wikipedia.org/wiki/Time-of-flight_camera

Eingesehen am 25.07.2021

[L2] Wikimedia Foundation Inc.: "en.wikipedia.org"

<https://de.wikipedia.org/wiki/Mikrocontroller>

Eingesehen am 25.07.2021

[L3] ARDUINO GmbH : " store.arduino.cc"

<https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>

Eingesehen am 25.07.2021

[L4] ARDUINO GmbH : " funduino.de"

<https://funduino.de/anleitung>

Eingesehen am 25.07.2021

[L5] Banggood GmbH: "sea.banggood.com"

https://sea.banggood.com/GY-53-L1X-Laser-Ranging-VL53L1X-TOF-Flight-Time-Ranging-Sensor-Module-p-1416433.html?akmClientCountry=DE&rmmds=category&cur_warehouse=CN

Eingesehen am 25.07.2021

[L6] Eckstein GmbH: "eckstein-shop.de"

<https://eckstein-shop.de/GY-53L1LaserDistanceToFSensorModuleVL53L1XTime-of-Flight>

Eingesehen am 25.07.2021

- [L7] Amazon.com, Inc.: "amazon.de"
https://www.amazon.de/-/en/gp/product/B071S27SCJ/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o03_s00?ie=UTF8&th=1
Eingesehen am 25.07.2021
- [L8] Amazon.com, Inc.: "amazon.de"
https://www.amazon.de/-/en/gp/product/B07S8SWF4Y/ref=ppx_yo_dt_b_asin_image_o02_s00?ie=UTF8&pvc=1
Eingesehen am 25.07.2021
- [L9] Wikimedia Foundation Inc.: "en.wikipedia.org"
https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino_IDE
Eingesehen am 25.07.2021
- [L10] ARDUINO GmbH: "funduino.de"
https://funduino.de/hardware-software#211_Beschreibung_Controller
Eingesehen am 25.07.2021
- [L11] ARDUINO GmbH: "funduino.de"
<https://funduino.de/programmieren>
Eingesehen am 25.07.2021
- [L12] WW-CGQJS: "sohu.com"
https://www.sohu.com/a/385310635_120124046
Eingesehen am 26.07.2021
- [L13] Wikimedia Foundation Inc.: "de.wikipedia.org"
<https://de.wikipedia.org/wiki/Reflexionsgrad>
Eingesehen am 26.07.2021

[L14] Grund-Wissen:"grund-wissen.de"

<https://www.grund-wissen.de/physik/optik/lichtreflexion.html>

Eingesehen am 26.07.2021

[L15] 3rxing-Webseit:"3rxing.org"

<https://www.3rxing.org/question/91b899a2cd644117448.html>

Eingesehen am 26.07.2021

[L16] ARDUINO GmbH:"arduino.cc"

<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Foundations/PWM>

Eingesehen am 26.07.2021

[L17] KKNEWS:"kknews.cc"

<https://kknews.cc/news/jlk6g96.html>

Eingesehen am 26.07.2021

Datenblätter

[D1] Banggood.com:"GY-53 Infrared ranging module manual V1.0"

S.1-4

<http://img.banggood.com/file/products/20180830020532SKU645408.pdf>

Eingesehen am 26.07.2021

[D2] Dr. rer. nat. Stefan Bauer und Dipl.-Ing. (FH) Günter Ott:"Reflexion und Transmission von künstlicher optischer Strahlung an Schweißarbeitsplätzen"

S.17,51-53

https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/F2422.pdf?_blob=publicationFile&v=4

Eingesehen am 26.07.2021

-
- [D3] Matthias Flack: "Time-of-Flight zur Entfernungsmessung und Objekterkennung"
S.2
<https://www.neumueller.com/Downloads/News/Article/PDF/Fachartikel-Time-of-Flight-2016.pdf>
Eingesehen am 26.07.2021
- [D4] Martin Gramatke: "Hochauflösende Lichtlaufzeit-Kamera (Time-of-Flight-Kamera)"
S.5
https://www.rauscher.de/fileadmin/user_upload/Basler/TOF/BAS1511_W_hite_Paper_ToF.pdf
Eingesehen am 26.07.2021
- [D5] ECKSTEIN KOMPONENTE: "VL53L1X Datasheet"
S.10,15-18
<https://ecksteinimg.de/Photo/SE01009/Datasheet.pdf>
Eingesehen am 26.07.2021

Anlagen

1. Arduino Code

```
#include <ComponentObject.h>
#include <RangeSensor.h>
#include <SparkFun_VL53L1X.h>
#include <vl53l1x_class.h>
#include <vl53l1_error_codes.h>
#include <Wire.h>
#include "SparkFun_VL53L1X.h" //Click here to get the library: http://librarymanager/All#SparkFun\_VL53L1X

//Optional interrupt and shutdown pins.
#define SHUTDOWN_PIN 2
#define INTERRUPT_PIN 3

SFEVL53L1X distanceSensor;
//Uncomment the following line to use the optional shutdown and interrupt pins.
//SFEVL53L1X distanceSensor(Wire, SHUTDOWN_PIN, INTERRUPT_PIN);

void setup(void)
{
  Wire.begin();

  Serial.begin(115200);
  Serial.println("VL53L1X Qwiic Test");

  if (distanceSensor.begin() != 0) //Begin returns 0 on a good init
  {
    Serial.println("Sensor failed to begin. Please check wiring. Freezing...");
    while (1)
      ;
  }
  Serial.println("Sensor online!");
  //distanceSensor.setDistanceModeShort();
  distanceSensor.setDistanceModeLong();
}

void loop(void)
{
  distanceSensor.startRanging(); //Write configuration bytes to initiate measurement
  while (!distanceSensor.checkForDataReady())
  {
    delay(1000);
  }
  int distance = distanceSensor.getDistance(); //Get the result of the measurement from the sensor
  distanceSensor.clearInterrupt();
  distanceSensor.stopRanging();

  Serial.print("Distance(mm): ");
  Serial.print(distance);

  float distanceInches = distance * 0.0393701;
  float distanceFeet = distanceInches / 12.0;

  Serial.print("\tDistance(ft): ");
  Serial.print(distanceFeet, 2);

  Serial.println();
}
```

2. Pulse-width modulation(PWM)[L16]

“Pulsweitenmodulation (PWM) ist eine Technik, um mit digitalen Mitteln analoge Ergebnisse zu erzielen. Die digitale Steuerung wird verwendet, um eine Rechteckwelle zu erzeugen, ein Signal, das zwischen ein und aus geschaltet wird. Dieses Ein-Aus-Muster kann Spannungen zwischen der vollen Vcc des Boards (z. B. 5 V auf dem Uno, 3,3 V auf einem MKR-Board) und Aus (0 Volt) simulieren, indem der Anteil der Zeit, die das Signal an ist, gegenüber der Zeit, die das Signal aus ist, verändert wird. Die Dauer der "Ein-Zeit" wird Pulsbreite genannt.”

3. I2C Protocol[L17]

I2C kombiniert die Vorteile von SPI und UART. Mit I2C können mehrere Slave-Geräte an ein einziges Master-Gerät angeschlossen werden und mehrere Master-Geräte können einzelne oder mehrere Slave-Geräte steuern.

SDA (Serial Data) - Die Leitung, auf der der Master und die Slaves Daten senden und empfangen.

SCL (Serial Clock) - Die Leitung, die das Taktsignal führt.

I2C ist ein serielles Kommunikationsprotokoll, d.h. die Daten werden Bit für Bit über eine einzige Leitung (die SDA-Leitung) übertragen.

Wie bei SPI ist I2C synchron, d.h. die Bitausgänge werden über ein zwischen Host und Slave geteiltes Taktsignal mit den Bitsamples synchronisiert. Das Taktsignal wird immer vom Host gesteuert.

Wie I2C funktioniert

Bei der Verwendung von I2C werden die Daten in Messages umgewandelt und die Messages in Datenframes unterteilt. Jede Nachricht besteht aus einem

Adressrahmen, der die binäre Adresse des Slaves enthält, und einem oder mehreren Datenrahmen, die die zu übertragenden Daten enthalten.

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ort, Datum

Vorname Nachname

27.07.2021

Ke Tang