

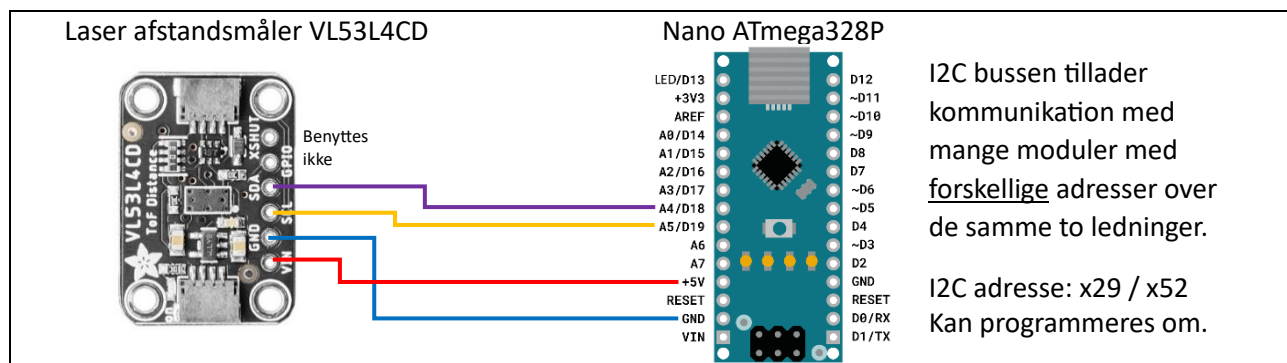
Laser afstandsmåler VL53L4CD

Jørgen Bo Madsen / Version 2 / september 2024 / DGMF@jorgen-madsen.dk / [Dansk G model forening](#)

Laser afstandsmåler VL53L4CD (tidligere VL6180X)

[VL53L4CD](#) er en nyere (2021) og forbedret udgave af den snart 10 år gamle [VL6180](#). Modulet bestemmer flyvetidspunktet, tidsforsinkelsen, hvor lang tid det tager en lysstråle at nå et objekt og tilbage igen kaldet [TOF](#) (Time-of-Flight) og metoden kaldes [LIDAR](#). Sensoren er præcis og fungerer med en laser med en bølgelængde på [940 nm](#), og er derfor usynlig og ufarlig for det menneskelige øje. Det er en avanceret sensor der har indbygget mikroprocessor med over 50 registre der kan aflæses og programmeres.

Bemærk! Der skal monteres beskyttelsesglas for at sikrer stabil funktion. (Beskyttelse af de meget små huller på omkring 0,2 – 0,4 mm i diameter til sender og modtager mod støv og smuds).



Der kan benyttes i alt 8 stk. VL53L4CD sensorer. Hvis der kun anvendes en sensor, er det den første (sensor 0) der skal konfigureres. Anvendelse af flere sensore er beskrevet senere (MUX).

```
const bool VL53L4CD_Laser_I2C_ON[8] = // Wired and connected to Nano
// sensor 0 1 2 3 4 5 6 7
{ YES, NO, NO, NO, NO, NO, NO, NO };
const word VL53L4CD_Min_Distance_MM[8] = // Min distance = 25 mm
// sensor 0 1 2 3 4 5 6 7
{ 20, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25 };
const word VL53L4CD_Max_Distance_MM[8] = // Max distance = 800 mm.
// sensor 0 1 2 3 4 5 6 7
{ 800, 800, 800, 800, 800, 800, 800, 800 };
```

Det er muligt at få udskevet uddybende information og afstandsmålinger ved at aktivere "debug mode".

```
const bool I2C_wire_Debug_Enabled      = YES; // List I2C Wire connected devices and ...
const bool VL53L4CD_Print_Object_Detect = YES; // Print distance and min-max zone, when ...
const bool VL53L4CD_Print_Range_Status = YES; // Print status information. Se M2931 manual.
const bool VL53L4CD_Debug_Enabled[8]   = // Print ranging and error messages
// sensor 0      1      2      3      4      5      6      7
{ YES,  YES,  YES,  YES,  YES,  YES,  YES,  YES };
```

Laser afstandsmåler VL53L4CD

[VL53L4CD](#) modulet bestemmer flyvetidspunktet, tidsforsinkelsen, hvor lang tid det tager en lyskilde at nå et objekt og tilbage igen kaldet [TOF](#) (Time-of-Flight) og metoden kaldes [LIDAR](#). Sensoren er præcis fungerer med en laser med en bølgelængde på 940 nm, og er derfor usynlig og ufarlig for det menneskelige øje. Det er en avanceret sensor der har indbygget mikroprocessor med over 50 registre der kan aflæses eller programmeres.

[VL53L4CD](#) laser afstandsmåleren er en ny og forbedret udgave af VL6180X, der er fire gange så hurtig. Måleafstanden er 1 – 120 cm. og målevinklen er kun 18°. Den er tolerant over for lyse omgivelser men fungerer ikke i direkte sollys. Softwaredriver biblioteket er skrevet af [STMicroelectronics](#). Det er væsentligt bedre og stabilt ved brug af multiple sensorer parallelt. Se Adafruit's beskrivelse her: [Adafruit VL53L4CD Time of Flight Distance Sensor](#)

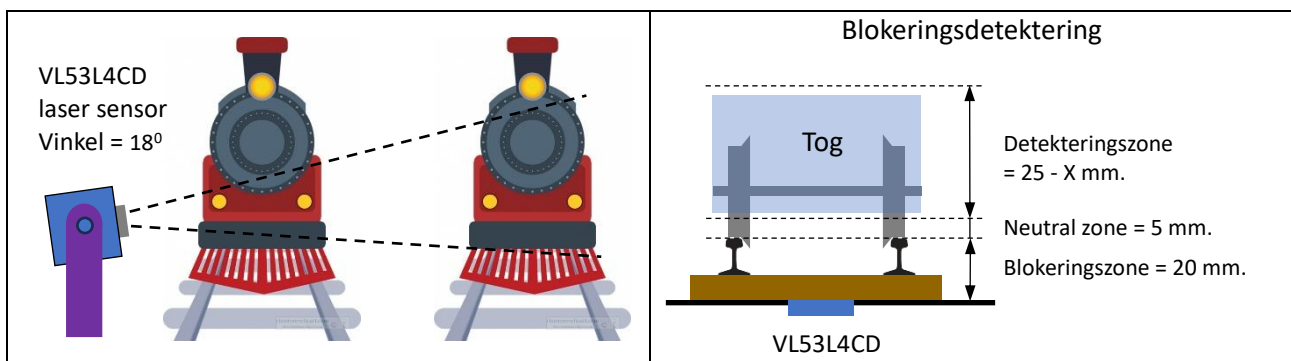
Sensor data

Når sensoren aflæses overføres der følgende beregnede måledata:

1. **Status:** Se manual eller programmet for komplet liste på 14 meddelelser.
2. **Distance:** 1 - 1.200 millimeter (teoretisk).
3. **Lys fra omgivelserne:** KCPS (Kilo Count photons Per Second).
4. **Signal styrke:** KCPS.
5. **Antal aktive SPAD:** antal. (Single Photon Avalanche Diode).
6. **Sigma:** Statistisk standard afvigelse i millimeter.
7. Lysomgivelser KCPS/SPAD og Signal KCPS/SPAD

Programmet benytter ovenstående data til afgørelse af detektering og blokering.

Anvendelsesmetoder



Detektering af sensor blokering

Det er muligt at detektere sensor blokering. Dvs. at der er noget der skygger for sensoren i en afstand på 0 – 19 millimeter. For at minimere fejllarmen, fx ved utilsigtet kortvarig blokering af sensoren, baseres målingerne på et gennemsnit på 600 målinger, svarende til omkring 10 sekunder, ved `Loop_Delay_Time` = 10 millisekunder. Ved blokering afgives der en akustisk alarm, og der udskrives en forklarende fejlbesked. Se afsnittet: **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**

```
const bool VL53L4CD_Blocking_Detect[8] =  
// sensor      0      1      2      3      4      5      6      7  
      { YES,   YES,   YES,   YES,   YES,   YES,   YES,   YES };  
// Optimized to 1,0 mm air gap and 0,35 mm 9H photo lens cover glass (1,35 mm total distance)  
const word VL53L4CD_Max_Block_Dist_MM = 19; // Starting from top of cover glass  
const word VL53L4CD_Max_Block_Count  = 600; // Number of loops to calculate average
```

Detektering af lyse omgivelser

[VL53L4CD](#) sensoren fungerer ikke korrekt i meget lyse omgivelser og i direkte sollys. Sensoren måler løbende på den omgivende lysmængde og beregner et gennemsnit. For at minimere fejllarmen, fx ved kortvarig stærkt lys, baseres målingerne på et gennemsnit på 600 målinger. Det svare til omkring 10 sekunder, ved `Loop_Delay_Time` = 10 millisekunder. Ved for lyse omgivelser afgives der en akustisk alarm, og der udskrives en forklarende fejlbesked. Se afsnittet: **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**

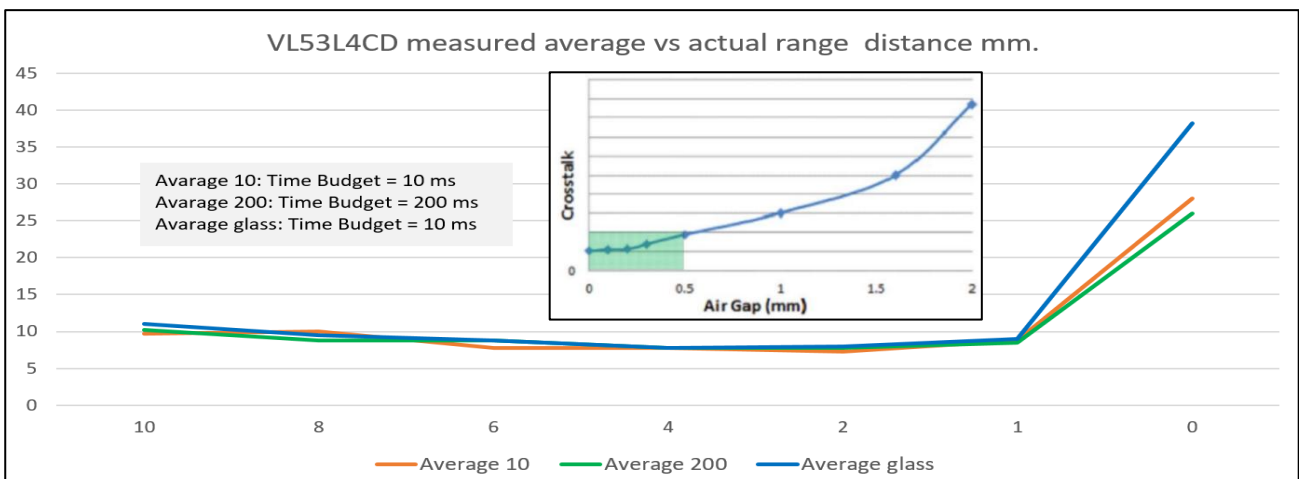
```
const word VL53L4CD_Max_Ambient_KCPS = 8000; // Maximum ambient light  
const word VL53L4CD_Max_Ambient_Count = 600; // Number of loops to calculate average
```

Målekvalitet og parameter afgrænsninger

Måleresultaterne fluktuerer meget i yderområderne, og der skal tages højde fejlmålinger, der opstår når målelængden overstiger den maksimale målelængde på 1.200 mm. Sigma er den statistisk [standard afvigelse](#) i millimeter og Signal er antal målte fotoner i KCPS. Jo stærkere det omgivende lys er, jo kortere kan sensoren måle korrekt. Der er behov for at prøve sig frem.

```
// Optimized to 1,0 mm air gap and 0,35 mm 9H photo lens cover glass (1,35 mm total distance)  
const word VL53L4CD_Max_Sigma_MM      = 6; // Default 15  
const word VL53L4CD_Min_Signal_KPCS   = 2048;
```

[VL53L4CD](#) laser afstandsmålingen er ikke lineær med afstandsmålinger på 0 - 10 mm. Ved afstandsmålinger under 1 mm er resultaterne ubrugelig og kan forveksles med brugbare målinger. For at sikre korrekte korte afstandsmålinger og korrekt blokeringdetektering, er det nødvendigt at montere beskyttelsesglas så der er 1 mm luft mellem sensor og glasset. Det gør også sensoren mere robust over for snavs og støv.



Beskyttelsesglas

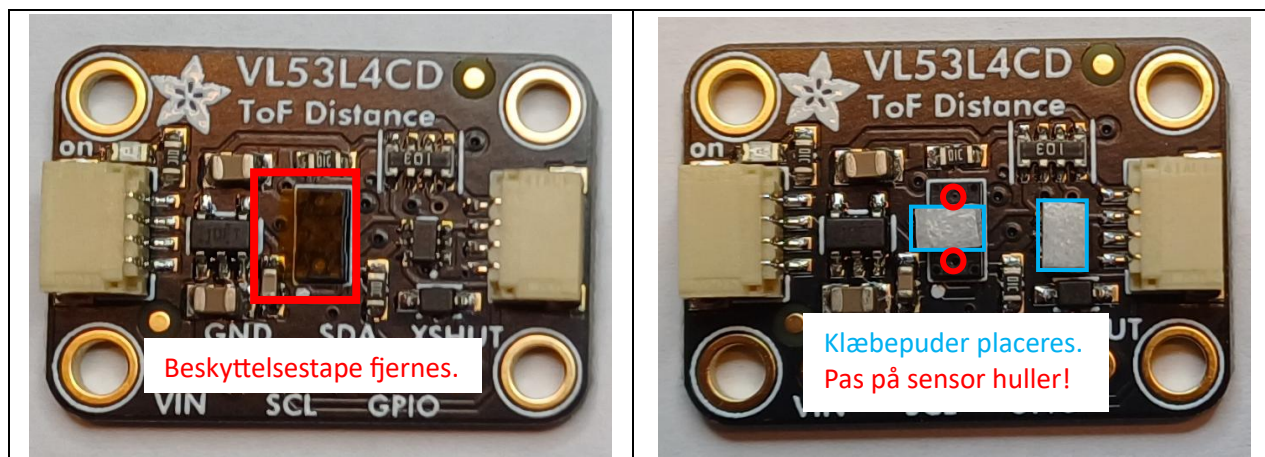
Det anbefales at indkøbe kamera beskyttelseslinser til mobiltelefoner. De er af høj kvalitet, hårde og små. Herunder beskyttelsesglas til iPhone mini: Ø10 mm og 0,35 mm tykt. Hårdhedsgrad 9H.

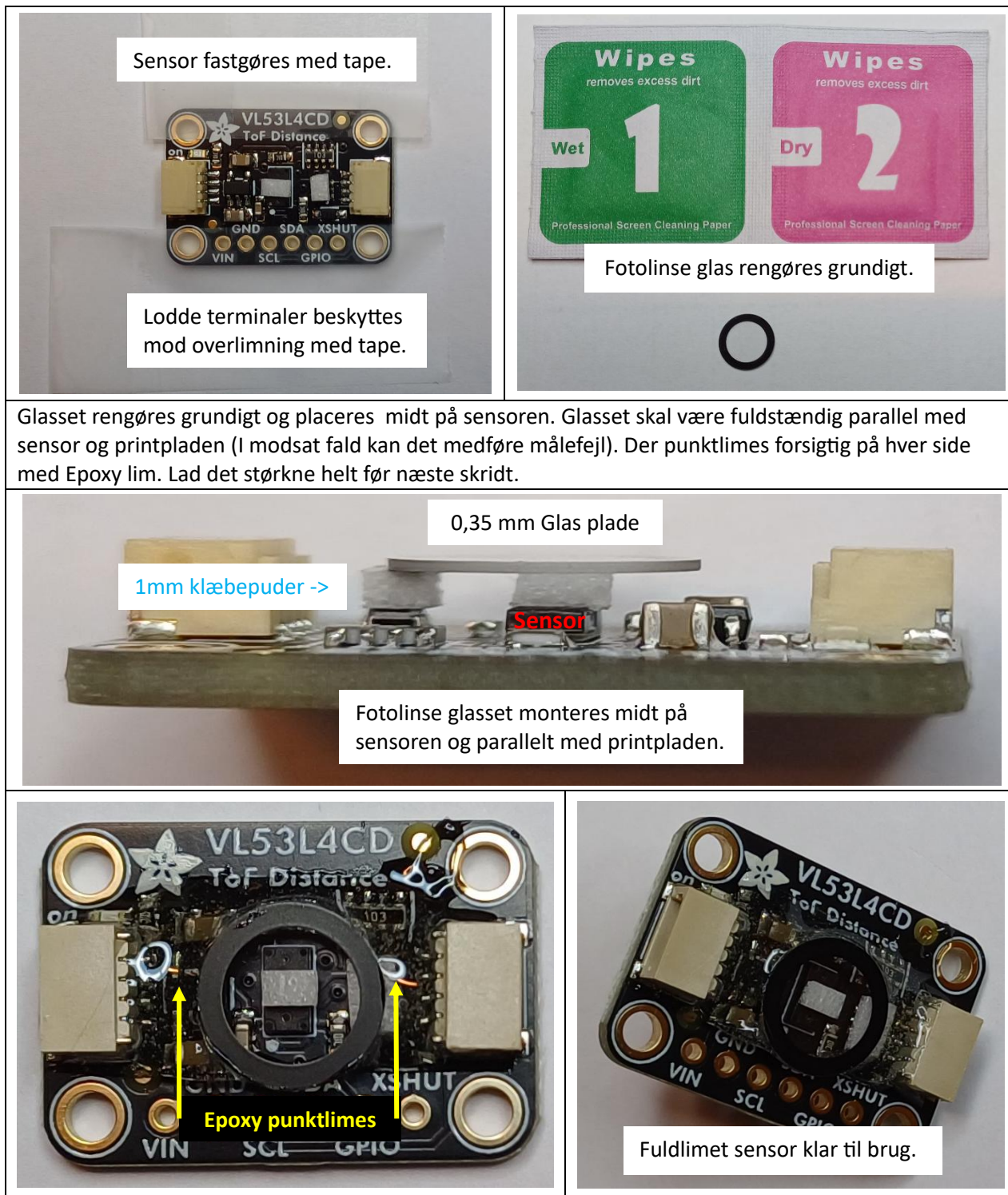


Selve glasset trykkes ud med fingrene af den lille allu ramme og klæbetapen fjernes.

Beskyttelsesglasset monteres 1,0 mm over selve sensoren. Med et beskyttelsesglas på 0,35 mm giver det samlet set 1,35 mm afstand, og eliminerer dermed de meget fejlagtige målinger i området 0 – 1 mm. Det er samtidig den maksimale luftafstand anbefalet af [STMicroelectronics](#). Se uddybende forklaring her: [AN4907 Application note](#)

Der benyttes **1 mm tyk** (dobbeltklæbende) klæbepude. Der udskæres et meget lille stykke **2 x 3 mm** klæbepude, som placeres midt på sensoren og lige mellem de to sensorhuller. Det lille stykke klæbepude minimerer samtidig krydstale mellem sender og modtager. Hvis der er komponenter på printpladen med samme højde som sensoren, kan der med fordel monteres små stykker klæbepuder til at stabilisere fastholdelsen af beskyttelsesglasset.

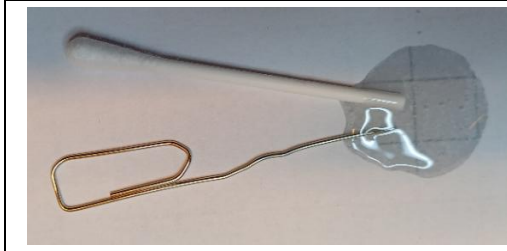




Efter størkning bør der påføres Epoxy lim forsigtigt rundt langs kanten på glasset, så det er lufttæt. Hvis lodde terminalerne skal anvendes bør de beskyttes mod overlimning med et stykke tape. **Pas på!** Epoxy limen er i starten tyndt flydende og vil "suge" sig ind under glasset og hen over sensoren og ned i sensor hullerne.

Det anbefales at lade Epoxy limen størkne lidt så den er tyktflydende. Herefter kan Epoxy limen forsigtigt smøres rundt om kanten på glasset. Der er bedst at gøre det punktvis og over flere omgange. Elektronikken bør beskyttes ved at smøre hele printpladen ind i beskyttende Epoxy lim. Alternativt kan sensoren monteres i en lille kasse. Epoxy lim, der ikke er størknet, kan fjernes med sprit på en vatpind.

Værktøj til limning



Tålmodighed og flere små trin i processen er vejen frem. Til limning anbefales det at benytte tynde rørepinde / tynd ståltråd. Fx afklippede vatpinde og papirklips. Til montering en lille skarp kniv / skalpel, pincet og en lille spidstang. Til rengøring af glasset rensbenzin og fnugfri papir / renseservietter. Til limning almindelig Epoxy tokomponent lim.

I2C kommunikation

Sensoren benytter den mere komplicerede [I2C protokol](#) til udveksling af data. I2C står for Inter-Integrated-Circuit Communications, og er beregnet til kommunikation på korte afstande mellem [ICer](#) og [MCUer](#) på en printplade. Kommunikationen er tovejs og benytter som udgangspunkt kun to ledninger: SDA (Serial Data Line) og SDC (Serial Clock Line). I2C protokollen understøtter mange enheder med forskellige adresser på samme 2 ledninger.

I2C adresse

[VL53L4CD](#) sensoren leveres med to forskellige I2C adresser.

1. [ST microelectronics](#) : 0x52
2. [Adafruit Industries](#) : 0x29
3. [SparkFun Electronics](#): 0x29

Det er muligt at definere adressen i programmet.

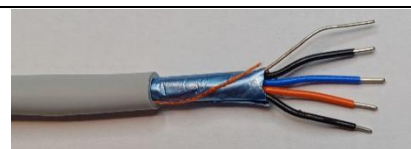
```
const byte VL53L4CD_I2C_Address = 0x29; // Adafruit 0x29 HEX / ST 0x52 HEX
```

I2C kabling

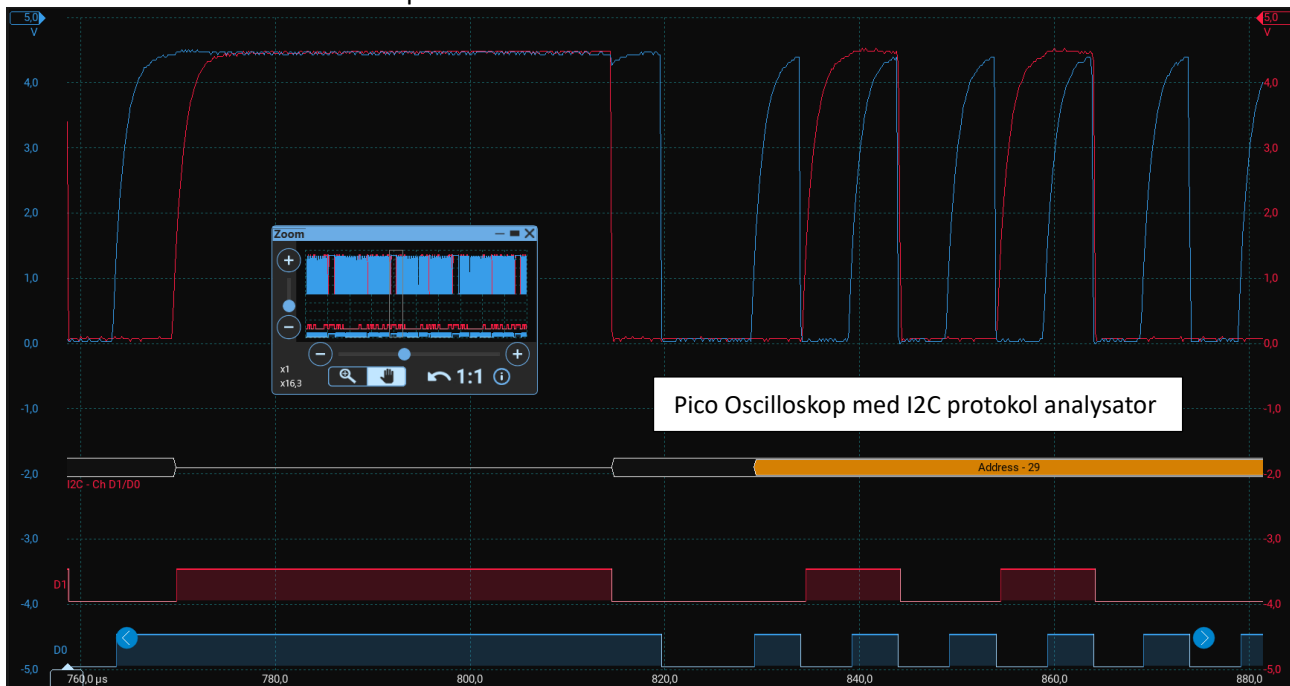
Der er tale om MF (mellemfrekvens) digital lavvoltage kommunikation, hvilket betyder at det hovedsageligt er ledningernes [kapacitans](#) der sætter begrænsningerne for længden på ledningerne. Ledningen fungerer som en mindre [kondensator](#) ([parasitisk kapacitans](#)). Samlet set må kredsløbet ikke overstige 400 Pikofarad (pF). Dvs. Arduino Nano, ledningerne og de I2C enheder der tilsluttes samme ledninger.

Kravet til korte ledningslængder er en begrænsning for brugen af I2C sensorer. Som tommelfingerregel kan der benyttes op til 100 cm. ledninger ved en bus hastighed på 100 kHz (Standard). 400 kHz (Fast Mode) og 10 kHz (Slow Speed) understøttes ikke i dette design.

Der bør benyttes skærmede kabler og skærmen skal forbindes til stel (GND). DGMF klubben har en stor rulle 4 leder allufoleie-skærmet kabel med solide allu ledere på hver 0,28 mm² – AWG 23. Det er OK til at forbinde sensoren (bør være kobber).



1 meter uskærmet kabel. Det acceptabelt.



2 meter skærmet kabel. Adskillige datafejl. Ikke brugbart.



Se uddybende forklaring her: [I2C Design Mathematics: Capacitance and Resistance - Technical Articles](#)

Pull-up modstande

Arduino Nano benytter indbygget Pull-up modstande og det samme gør leverandører af kredsløb designs (Breakout Board). Generelt benyttes der Pull-up modstande på 4.7 K Ω til 10 K Ω . Det anbefales at bevare leverandørernes modstandsværdier. Se uddybende forklaring her: [I2C Bus Pull-Up Resistor Calculation](#)

Kalibrering af afstand

[VL53L4CD](#) er en meget præcis afstandsmåler, men målestartpunktet skal justeres. Sensoren bør kalibreres første gang den tages i brug. Først skal den korrigerende afstand måles (offset):

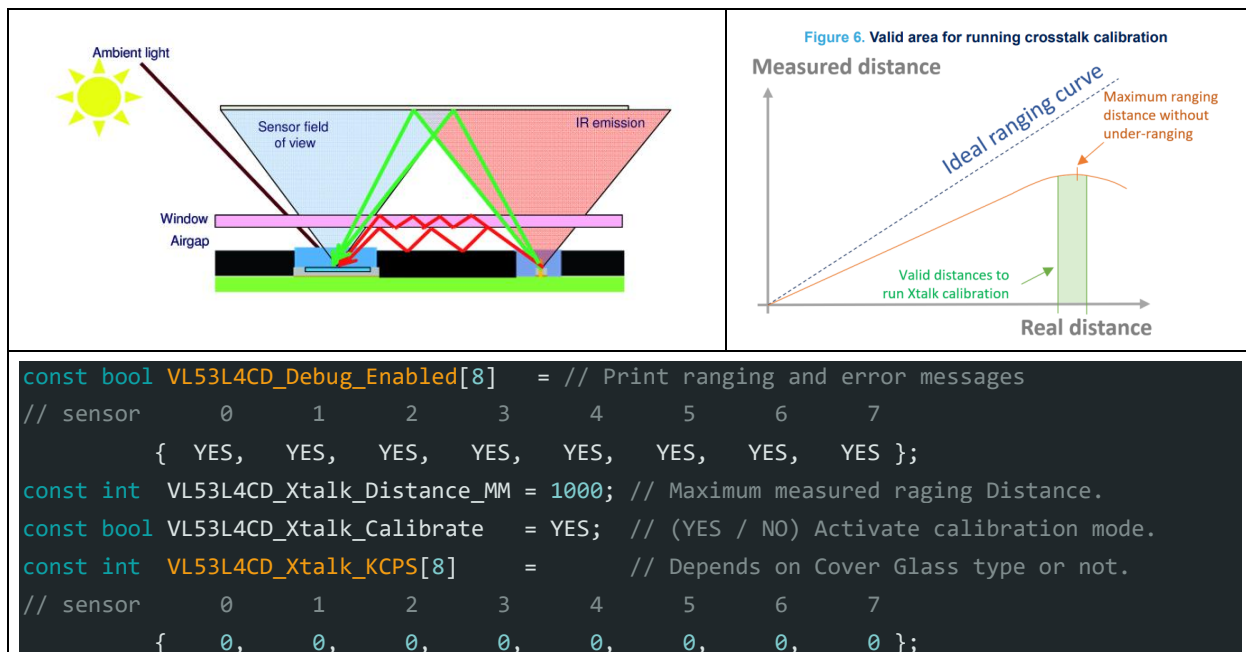
```
const bool VL53L4CD_Offset_Calibrate = YES; // (YES / NO) Activate calibration mode.
const int VL53L4CD_Offset_Dist_MM[8] = // Subtract from / add to range result.
// sensor 0 1 2 3 4 5 6 7
{ -8, -8, -8, -8, -8, -8, -8, -8 };
```

1. Placer sensor og et gråt papir/pap med 100 mm afstand vinkelret imellem dem begge.
2. Aktiver kalibrering i programmet og upload ny version af programmet til Arduino Nano.
3. Aflæs den korrigerende afstand udskrevet på Serial Monitor i Arduino IDE (compileren).
4. Indtast den korrigerende afstand og deaktivér kalibrering i programmet.
5. Upload ny version af programmet til Arduino Nano.

Fortsæt denne procedure – en af gangen - med alle VL53L4CD sensorerne.

Kalibrering af krydstale

Hvis der benyttes beskyttelsesglas bør der korrigeres for krydstale (Xtalk). beskyttelsesglas (Cover Glass) er nødvendigt hvis sikkerhed og stabil drift er vigtigt. Kalibreringsafstanden afhænger af kvaliteten af beskyttelsesglasset. Hvis der er tale om klart og tyndt glas i høj kvalitet direkte på sensoren, er der næppe behov for at kompensere for krydstale på korte afstande (op til 50 cm).



1. Placer sensor og et gråt papir/pap med 1.000 mm afstand vinkelret imellem dem begge.
2. Aktiver debug: `VL53L4CD_Debug_Enabled[8]` i programmet og upload. Viser aktuelle målinger.
3. Flyt det grå papir/pap frem og tilbage for at finde det punkt hvor målingerne, begynder at afvige væsentligt fra det forventede. Se tegning herover til højre.
4. Noter og indtast den fundne afstand: `VL53L4CD_Xtalk_Distance_MM = XXXX` i programmet.
5. Aktiver kalibrering `VL53L4CD_Xtalk_Calibrate = YES` i programmet og upload.
6. Aflæs KCPS (antal målte fotoner) på Serial Monitor i Arduino IDE (compileren).
7. Indtast KCPS `VL53L4CD_Xtalk_KCPS[8]` og deaktivér kalibrering i programmet.
8. Upload ny version af programmet til Arduino Nano.

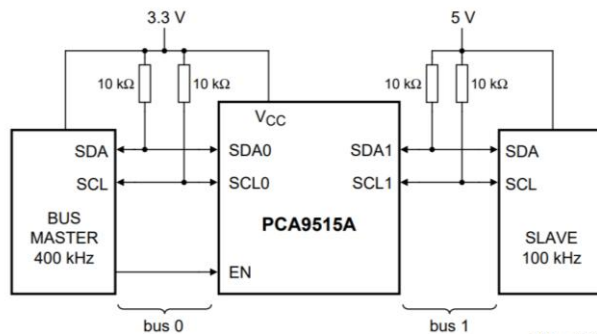
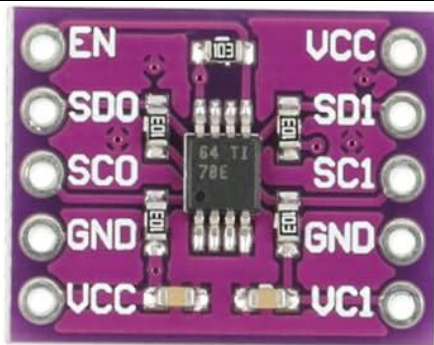
Fortsæt denne procedure – en af gangen - med alle VL53L4CD sensorerne.

Se detaljeret forklaring her (ST UM2931): [kalibrering](#)

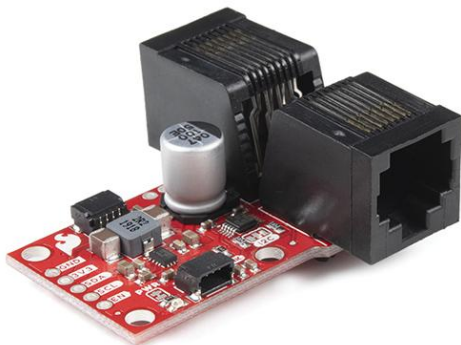
Kabel forlænger

Der findes en del forskellige løsninger til forlængelse af I2C bussen. Et udvalg er beskrevet herunder

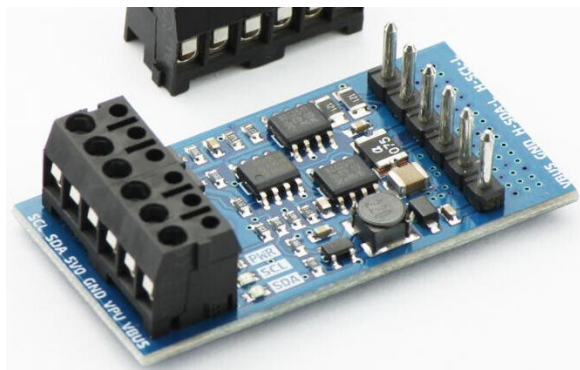
CJMCU [PCA9515A](#) Dual Bidirectional I2C Bus Repeater er en billig og simpel løsning til at forlænger ledningerne til I2C protokollen med 100 cm. til i alt 200 cm. VCC og GND er gennemgående hvilket gør ledningsmonteringen lettere. Desværre er det **ikke** muligt at seriekoble Repeaterne.



LMR33630 - [PCA9615](#) I2C Cable Extender and RJ45 adapter. Op til 30 meter.
Parsnoet skærmet netværkskabel er velegnet.



[PCA9600](#) Differential I2C Long Cable Extender with Boost Converter. Op til 300 meter.
Parsnoet skærmet netværkskabel er velegnet.



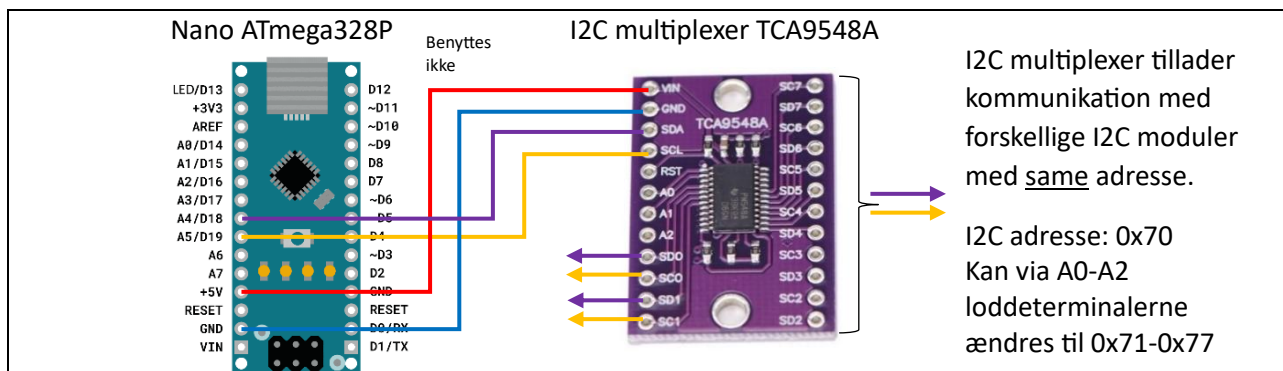
NXP Semiconductors har skrevet en god artikel om *I2C bus over CAT X netværkskabler*.
[AN11075 Driving I2C-bus signals over twisted pair cables with PCA9605 \(nxp.com\)](#)

TCA9548A 8 kanal I2C MUX

Det er muligt at ændre I2C adressen x29 på [VL53L4CD](#), men ændringen går tabt når enheden genstarter / tændes. Derfor er det en bedre løsning at benytte en [multiplexer](#), der er mere drift stabil og muliggør 100 cm længere kabler. [TCA9548A](#) 8 kanal I2C MUX er en god og forholdsvis billig løsning. [TCA9546A](#) er identisk men har kun 4 kanaler. Begge findes også med betegnelserne [PCA9548A](#) og [PCA9546A \(NXP\)](#). CJMCU [PCA9515A](#) Repeateren kan kun benyttes efter MUX'en.

Se mere her [Working with Multiple Same Address I2C Devices](#)





Den benyttede MUX skal vælges og MUX'en skal aktiveres.

```
// MUX configuration
// TCA9548A 8-Channel I2C Multiplexer / PCA9548A - sensor channel 0 - 7 [8]
// TCA9546A 4-Channel I2C Multiplexer / PCA9546A - sensor channel 0 - 3 [4]
const bool TCA_PCA_9548A = true, TCA_PCA_9546A = false;
const bool TCA_PCA_I2C_Model = TCA_PCA_9548A;
// YES: I2C MUX connecte to Nano. NO: first VL53L4CD directly connected to Nano.
const bool TCA_PCA_I2C_MUX_ON = YES; // If MUX is off, Only sensor 0 is active
```

Round-Robin sensor aflæsning

Der benyttes en optimeret [Round-Robin](#) algoritme til aflæsning af op til 8 sensorer. Hver aflæsning tager ca. 1- 7 millisekunder, hvilket ligger inden for programmets standard gennemløbskadence på 10 millisekunder. Hver sensor aflæses cyklisk en-efter-en og på skift efter hvert kald til funktionen:


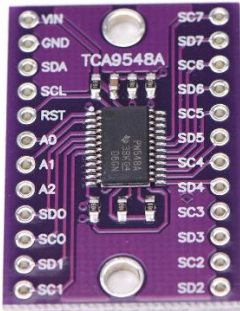




VL53L4CD_Read_Sensors_Sequentially(). Optimeringen består i at sensorer, der ikke aktive, eller er registreret med fejl, springes over for at sikre den kortest muligt ventetid mellem hver sensor aflæsning. For hvert gennemløb går der 10 millisekunder eller mere som defineret i **Loop_Delay_Time**. Det betyder med andre ord, at aflæsning af en sensor tager 10 ms og aflæsning af 8 sensorer tager 80 ms.

Sensor	0	1	2	3	4	5	6	7	Variabel liste
Aktiveret	NO	YES	NO	YES	YES	NO	YES	NO	VL53L4CD_Laser_I2C_ON[8]
Fejl / OK	-	OK	-	Fejl	OK	-	OK	-	VL53L4CD_Error_Status[8]

Aflæsning	1	6	7
-----------	---	---	---

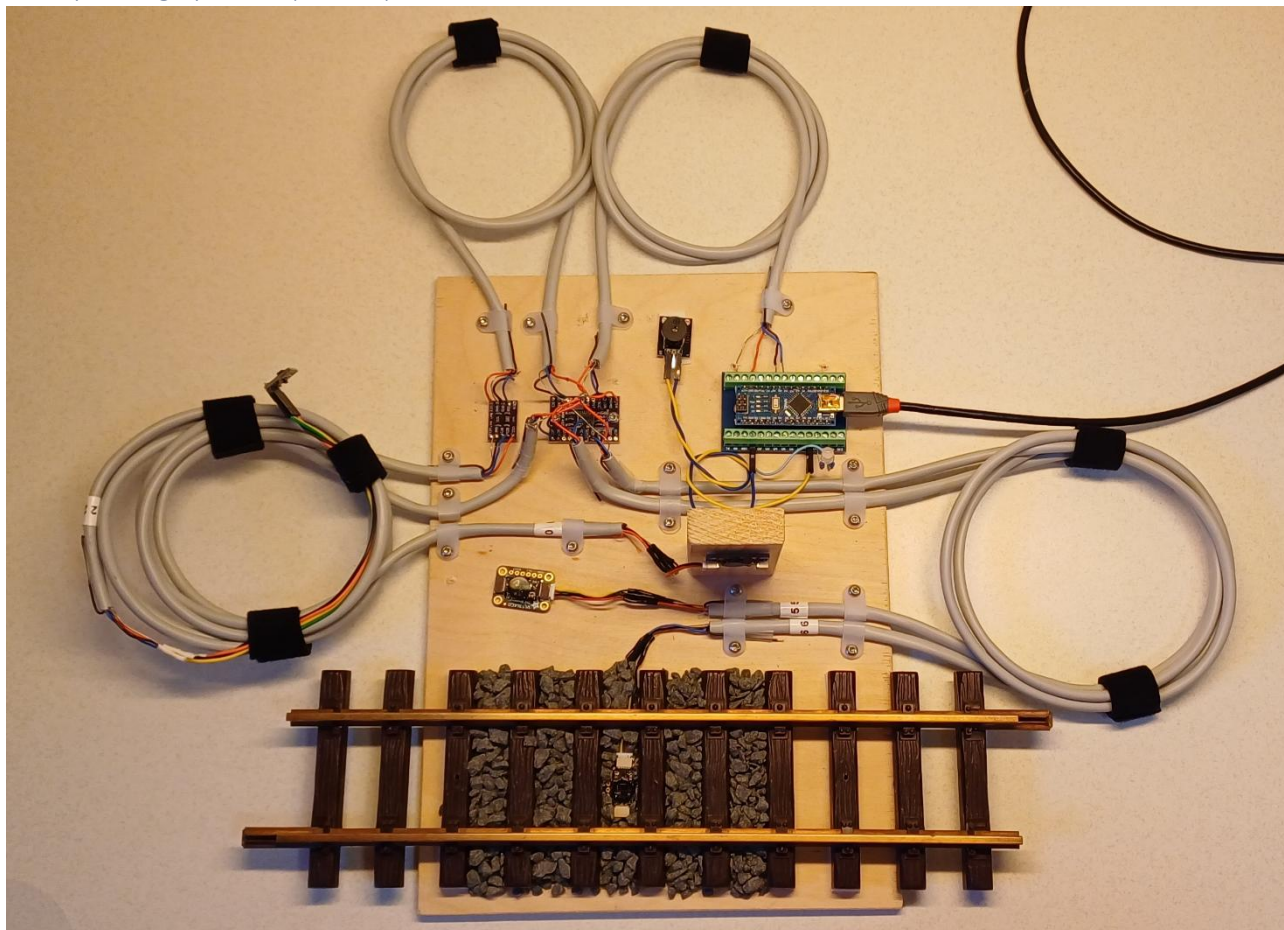
Round-Robin: 1-6-7-1-6-7-1-6-7 osv.

I2C skematisk testopstilling

Arduino Nano		TCA9548A	PCA9515A	VL53L4CD
	100 cm skærmet kabel		100 cm skærmet kabel	
			100 cm skærmet kabel	
			100 cm	 

BEMÆRK Der kan ikke kan benyttes [PCA9515A](#) Repeater mellem Arduino Nano og [TCA9548A](#)

Testopstilling i praksis (billede)



Se korte YouTube demo film her:

1. [Train detection with VL53L4CD laser sensor](#)
2. [How to mount cover glass on VL53L4CD laser](#)
3. [How to mount cover glass on VL53L4CD laser with adapter](#)