

*Nils Kr. Rossing*

# MauSea – trykk- og temperaturmåling under vann



NTNU



Trondheim

Intitutt for  
fysikk

Skolelaboratoriet  
for matematikk, naturfag  
og teknologi

September 2018

Denne siden er blank

MauSea  
trykk- og temperaturmåling  
under vann

Nils Kr. Rossing

**MauSea** 

## **MauSea – trykk- og temperaturmåling under vann**

Trondheim 2018

Layout og redigering: Nils Kr. Rossing, Skolelaboratoriet ved NTNU

Tekst og bilder: Nils Kr. Rossing, Skolelaboratoriet ved NTNU

Faglige spørsmål rettes til:

**Skolelaboratoriet for matematikk, naturfag og teknologi**

**Institutt for fysikk, NTNU**

v/Nils Kr. Rossing, 73 55 11 91

[nils.rossing@ntnu.no](mailto:nils.rossing@ntnu.no)

Skolelaboratoriet ved NTNU

Realfagbygget,

Høgskoleringen 5,

7491 Trondheim

Telefon: 73 55 11 43

<http://www.ntnu.no/skolelab>

Rev 4.6 – 19.11.18

# **MauSea**



## Forord

Det undervisningsopplegget som er beskrevet i dette heftet er blitt til i et samarbeid mellom ToF koordinator Hilde Ervik (Skolelaboratoriet) og Håvard Holm ved MARINTEK i forbindelse med utviklingen av en målesonde, og en enkel undervannsfarkost for bruk i undervisningen av faget Teknologi og Forskningslære (ToF) i videregående skole. De to enhetene utvikles og testes separat, men kan om mulig integreres med hverandre. Våren 2018 foreslo Odd Arne Arnesen ved Mausundvær feltstasjon å kalle prosjektet MauSea ROV.

Temaet “enkel ROV” ble først introdusert høsten 2015 i en av modulene til serien av ToF videreutdanningskurs ved NTNU. Høsten 2016 ble kurset holdt for andre gang og inkluderte en målesonde for måling av trykk og temperatur. Høsten 2017 ble det så utviklet en prototyp av en komplett ROV med motorer og styring via kabel som inkluderte måling av trykk og temperatur. I tillegg ble det bygget en enklere ROV. Erfaringene fra dette kurset viste at lodding og oppbygging av en komplett ROV med måleutstyr og fjernstyrte motorer ble svært omfattende slik det den gang ble lagt opp. Vi har derfor våren 2018 gått tilbake til en svært enkel modell for uttesting av målesonden, samtidig som vi har valgt å videreføre den enkle styrbare ROV'en utviklet høsten 2017.

Fortsatt bærer undervisningsopplegget preg av å være i en utprøvningsfase. For et fag som ToF trenger ikke et slikt utgangspunkt være så dumt, siden også faget i seg selv skal ha et preg av utforskning. Vi ønsker derfor å inkludere deltagerne i prosessen fram mot et ferdig produkt.

En varm takk til **Carina E. Tidei** ved Heimdal videregående skole som var sporty nok til å ta på seg å holde kurset den 10. sept. 2018 da undertegnede fikk en kollisjon med en tur til USA den samme uka. Hun tok arbeidet med å prøve ut og sette seg inn teorien bak for å kunne veilede studentene på selve kursdagen den 10. sept. 2018.

Skolelaboratoriet ved NTNU  
September 2018

Nils Kr. Rossing





## Innhold

<b>1 Innledning .....</b>	<b>11</b>
1.1 Gangen i konstruksjonsprosessen .....	11
1.2 Dokumentasjon for vurdering av lærerкурset .....	12
1.2.1 Rapport fra arbeidet (5 – 8 sider, 15%) .....	12
1.2.2 Didaktisk refleksjonsdokument (2 – 3 sider, 15%) .....	12
1.3 Bakgrunn .....	13
1.4 Måling av trykk .....	15
1.5 Systemoversikt måleenhet .....	17
<b>2 Bygging av MauSea – målesonde med sensorer .....</b>	<b>19</b>
2.1 Montering av kabler og sensorer .....	19
2.1.1 Montasje av USB-kabel .....	19
2.1.2 Montering av temperatursensor (NTC motstand ) .....	22
2.1.3 Montering av trykksensor med slange .....	23
2.1.4 Klargjøring av batteriklemma for bruk sammen med koblingsbrettet .....	24
2.2 Oppbygging av den vanntette beholder .....	24
2.2.1 Valg av syltetøyglass .....	25
2.2.2 Framstilling av hull i lokket og montering av kabelgjennomføringer .....	25
2.2.3 Montering av gjennomføringer med ledning og slange for trykkmåling .....	26
2.2.4 Montering av trykksensoren med slange .....	27
2.2.5 Montering av festkroker for line og ballast .....	27
2.3 Lekkasetesting .....	28
2.3.1 Testing av tilkobling mellom slange og trykksensor .....	28
2.3.2 Testing av lekkasje i kammeret .....	29
2.4 Oppkobling av elektronikken for måling av trykk og temperatur .....	30
2.4.1 Blokkdiagram av krets for måling av trykk og temperatur .....	31
2.4.2 Koblingsskjema for måling av trykk og temperatur .....	31
2.4.3 Oppkobling på koblingsbrettet for måling av trykk og temperatur .....	32
2.4.4 Måleprogrammet for måling av trykk og temperatur .....	33
2.5 Oppkobling av kretsen for måling av trykk, temperatur og salinitet .....	36
2.5.1 Komponentliste: .....	36



---

2.5.2	Blokkdiagram for måling av trykk og temperatur .....	37
2.5.3	Koblingsskjema for måling av trykk, temperatur og salinitet .....	38
2.5.4	Oppkobling på koblingsbrettet for måling av trykk, temperatur og salinitet .....	38
2.5.5	Måleprogram for måling av trykk, temperatur og salinitet .....	39
<b>3</b>	<b>Kort om måleoppdrag og behandling av måldata .....</b>	<b>43</b>
3.1	Målinger gjort i laboratoriet .....	43
3.2	Målinger gjort i sjøen fra båt eller kai .....	43
3.3	Demontering .....	44
3.4	Kort om behandling av data .....	44
3.4.1	Skriving av data til fil .....	45
3.4.2	Redigering og lagring av datafil .....	45
3.4.3	Importer data til Excel .....	46
3.4.4	Plotting av data .....	48
<b>4</b>	<b>Sensorteori .....</b>	<b>51</b>
4.1	Temperatursensoren (NTC og PTC-motstander) og måling av temperatur .....	51
4.1.1	Prosedyre for kalibrering av temperatursensoren .....	55
4.2	Trykksensoren og måling av trykk .....	58
4.2.1	Måling av lufttrykk ved endring i resistans (piezo-resistivitet) ...	58
4.2.2	Trykkmåler ABPMANN004BGAA5 (Honeywell) .....	58
4.2.3	Måleusikkerhet for trykksensoren .....	61
4.2.4	Prosedyre for kalibrering av trykksensoren .....	62
4.3	Salinitetssensoren og måling av saltinnhold i havvann .....	64
4.3.1	Innhold av salter og mineraler i havvann .....	65
4.3.2	Saltvanns tetthet (TSD graf – Temperature - Salinity - Density graph) .....	67
4.3.3	Historisk om måling av salinitet .....	67
4.3.4	Måling av ledningsevne .....	69
4.3.5	Praktiske utfordringer ved måling .....	74
4.3.6	Framstilling av sensoren (elektrodene) .....	75
4.3.7	Innledende målinger med ulike målemetoder .....	76
4.3.8	Kalibrering av salinitetssensoren .....	81
4.4	Lyssensoren og måling av lysintensitet .....	85
4.4.1	Fotomotstand (LDR - Light Dependent Resistor) .....	85
4.4.2	Fototransistorer .....	87





---

4.4.3	Fototransistorene SFH300 og SFH 203 .....	89
<b>5</b>	<b>Alternative løsninger av kammeret .....</b>	<b>92</b>
5.1	3D-printet kammer med innebygget ballongløsning .....	92
5.2	3D-printet kammer med innebygget sprøyte .....	93
5.3	Elektronikken .....	94
<b>6</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>97</b>
<b>Vedlegg A</b>	<b>Programvare .....</b>	<b>98</b>
A.1	Test- og kalibreringsprogram for trykk og temperatur .....	98
A.2	Test- og kalibreringsprogram for trykk, temperatur og salinitet .....	100
<b>Vedlegg B</b>	<b>Oversikt over utstyr .....</b>	<b>104</b>





# 1 Innledning

## 1.1 Gangen i konstruksjonsprosessen

Forslag til rekkefølge i framstillingen og kalibrering av måleutrustning:

### Dag 1, Realfagbygget, Skolelaboratoriet

1. *Systemoversikt – presentasjon*
2. Montering av vanntett beholder med lodd, men uten elektronikk – verksted (side 24)
3. Testing for lekkasje uten elektronikk (side 28)
4. Oppkobling av koblingbrett – verksted (side 30)
5. Opplasting av testprogram – verksted (side 33)
6. Testing av trykk- og temperatursensor i luft – verksted
7. Testing av skriving til SD-kort – verksted ()
8. *Kort innføring i sensorteori med kalibrering – presentasjon (side 51 – 52)*
9. Innlasting av måle- og kalibreringsprogram – verksted (side 33)
10. Kalibrering av temperatursensor – verksted (side 55)
11. Lekkasetest med kabel og elektronikk – verksted
12. Kalibrering av dybdemåler – verksted (side 62)

De som trenger større utfordringer kan begynne å se på måling av salinitet<sup>1</sup>

### Dag 2 – 4, Testing av MauSea, Feltstasjonen, Mausundvær (side 43 - 44)

Disse testene gjennomføres fra kai eller båt ved feltstasjonen på Mausundvær

13. Testing av trykk, dybde og temperatur til større dyp (10 – 20 m) – verksted
14. Testing av trykk, dybde og temperatur MauSea montert på profesjonell ROV – verksted

### Dag 5, Bygging av ROV, MARINTEK

15. Bygging av ROV (Marintek)
16. Ev. kan målesonden overføres til ROV'en for videre testing

Primært utføres testene for trykk, dybde og temperatur. Alternativt kan det utføres tester med måling av lys og saltinnhold dersom deltagerne får tid til å montere og kalibrere slike sensorer.

---

1. Det er ikke meningen å inkludere denne målingen i kurset, men kan være noe lærerne kan jobbe videre med i ToF-faget sammen med elevene.



## 1.2 Dokumentasjon for vurdering av lærerkurset

### 1.2.1 Rapport fra arbeidet (5 – 8 sider, 15%)

#### Bygging av undervannslogger (MauSea ROV) for måling av trykk og temperatur

Rapportering fra arbeidet på laboratoriet bør ha fokus på følgende:

1. Meget kort beskrivelse av kretsens oppbygning og virkemåte, gjerne med bilder
2. Utfordringer ved bygging av kretsen med vurdering av byggeveiledningens egnethet
3. Gjennomføre en måleserie på laboratoriet med varierende temperatur og trykk og dokumentere og tolkedataene (temperatur og trykkendringer kan frambringes kunstig)
4. Erfaringer gjort under kalibrering og måling av trykk og temperatur.
5. Refleksjon over andre relevante målinger (sensorer)
6. En kortfattet konklusjon

#### Uttesting av undervannsloggeren i sjøen

*Måling ombord på Gunnerus eller i Mausund*

1. Gjøre målinger i sjøen
2. Ev. sammenligne med målinger gjort samtidig med ROV SeaView

**Beskriv hvilke utfordringer uttestingen av undervannsloggeren bød på:**

1. Evne til å holde vannet ute (lekkasje)
2. Trykkmålingenes linearitet og deres evne til å bestemme dybden
3. Temperatur som funksjon av dybden

### 1.2.2 Didaktisk refleksjonsdokument (2 – 3 sider, 15%)

Refleksjonsdokumentet skal vurdere de didaktiske sidene ved å bruke en undervannsloggeren i ToF-faget.

#### Måling av trykk og temperatur

1. Gi en vurdering av hvor godt oppdraget passer til læreplanen i ToF-faget
2. Reflektere over hvordan oppgaven kan gjøres passe åpen for elevene
3. En kortfattet vurdering av hvilke deler av virkemåten som passer å ta med i undervisningen
4. Tanker om hvordan denne delen av prosjektet bør tilrettelegges for elevene.  
Hva bør være klart på forhånd, hvilke utfordringer bør elevene selv løse og hvordan bør prosjektet veiledes?

Vurdere hvilke andre målinger som er relevante å inkludere i undervannsloggeren



### 1.3 Bakgrunn

Det er tidligere utviklet ulike varianter av utstyr (målesonde) for innhenting av målinger under vann [1]. Felles for disse er at de har vært relativt omfattende og har krevd anskaffelse og oppkobling med lodding av spesialkort for datainnsamlingen. Denne gangen vil vi se hvor enkelt og fleksibelt vi kan lage et utstyr som kan fungere under vann, gjerne ned til ca. 20 meters dyp.

Målesonden er ment å være et halvåpent undervisningsopplegg for bruk i faget Teknologi og forskningslære i videregående skole og kan tenkes å bygges ut etter ønsker og interesser fra elevene. Deler av undervisningsopplegget vil også kunne passe for valgfag i ungdomsskolen som Teknologi i praksis, Forskning i praksis eller Programmering. Det er også rike muligheter å kombinere dette prosjektet med tema innen marinbiologi og kjemi.

Ved bruk av koblingsbrett øker vi fleksibiliteten og gjør det lettere å eksperimentere med egne design, dessuten er det prismessig gunstig og man slipper lodding og kan bruke komponentene på nytt. En opplagt utfordring er å lage noe med billig utstyr som er tilstrekkelig vanntett. Dette mener vi at vi har oppnådd ved bruk av standard syltetøyglass med lokk og ekstra gummipakning innsmurt med fett. For å gjennomføre målinger under vann utenfor glasset må vi føre kabler gjennom lokket. Her har vi valgt å bruke standard kabelgjennomføringer med pakninger og fett. Dette er opplagt et kritisk punkt som må vies en del oppmerksomhet.

Måling av vanntrykk er viktig for å kunne bestemme dybden. Dette er en ganske sikker måte å bestemme dybden på såfremt man er i stand til å finne gode og billige måter å måle trykk under vann. Alle trykkmålere vi har funnet som har en akseptabel lav pris og en tilstrekkelig nøyaktighet, måler trykk i luft. De fleste er beregnet for trykk rundt en atmosfære med tanke på barometriske målinger. Disse kan fås både for absolutte og for relative trykkmålinger. Det har imidlertid vært vanskelig å finne sensorer som måler trykk opp til 4 – 5 bar, som tilsvarer en dybde på 30 – 40 meter til en akseptabel pris og med tilstrekkelig nøyaktighet. Vi har imidlertid funnet ABPMANN004BGAA5 som leves av firmaet Honeywell og kan kjøpes hos ELFA Distrelec til en stykkpris på kr. 89.90 (10 stk). Denne måler lufttrykk mellom 0 – 4 bar.

En større utfordring er å lage en lineær overgang fra vanntrykk til lufttrykk. Her er flere ulike metoder utprøvd. I denne sammenheng har vi imidlertid endt opp med den enkleste, dvs. en åpen slange som stikker vertikalt ned i vannet. Vanntrykket i enden av slangen vil dermed skape et tilsvarende trykk i luftøylen inne i slangen. Så lenge vi har kontroll på orienteringen av målesonden, så vil dette gå bra. Siden vi har valgt å koble slangen direkte til sensoren, er i vi avhengig av at koblingen er tett. Dersom vi får en lekkasje inn i glasset vil vi det framkalle et avvik i målingen.

Slangen føres gjennom lokket ved hjelp av en vanntett kabelgjennomføring som er gjort tettere med litt fett.

Måling av vanntemperaturen gjøres ved en liten NTC motstand som smyges ut sammen med slangen. Siden ledningene er svært tynne synes tester å vise at denne gjennomføringen ikke vil medføre noen lekkasje av betydning.



Vi har videre valgt å føre en USB-kabel gjennom lokket. Dette gjør utprøvingen lettere siden vi kan lese av data på monitoren på PC'en mens vi senker målesonden ned i en stor målesylinder fylt med vann. Dette begrenser imidlertid måledybden til en meter. Inntil videre har vi brukt en målekabel på 1 m.

For å kunne måle på større dyp har vi derfor valgt å inkludere datalogging på SD-kort. Vi får dermed ikke real time data, men dataene kan analyseres etter at dykket er foretatt. Vi har valgt SD-kortenheten OpenLog som gjør det mulig å skrive på fil med standard printkommandoer (Serial.print).

For å redusere omfanget av elektronikken har vi valgt å bruke en Arduino Nano og et koblingsbrett av halv størrelse. Dette er stort nok til å kunne inkludere Arduinoen, SD-kortholderen og noen sensorer.

Følgende målinger er aktuelle:

- Trykk → dybde
- Temperatur
- Saltholdighet (salinitet)
- Lysstyrke

De to første bør være obligatoriske, de to siste kan være for videre utforskning i klasserommet i etterkant av kurset. En kan også tenke seg andre målinger som f.eks. oksygen- og CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i vannet, ev. måling av pH. Eventuelt kan man måle absorpsjonen i vannet som sier noe om partikkeltettheten. I dag er registrering av konsentrasjonen av mikroplastpartikler interessant. Sistnevnte må sannsynligvis gjøres ved hjelp av prøvetaking på et definert dyp med påfølgende analyse når prøven kommer til overflaten.

Målesonden kan ev. inkluderes i en fjernstyrt ROV, men innledningsvis velger vi å holde de to prosjektene adskilt.

Målesonden har fått navnet MauSea foreslått av Odd Arne Arnesen ved Mausundvær feltstasjon.



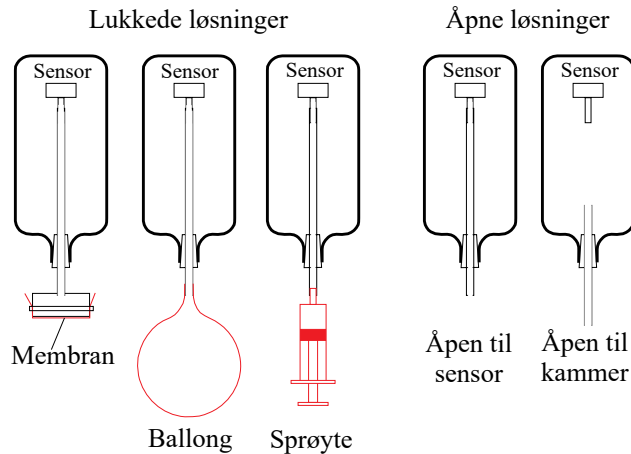
## 1.4 Måling av trykk

Som nevnt er tilgangen på sensorer for måling av væsketrykk vanskelig tilgjengelige eller relativt kostbare. Vi har derfor valgt å bruke en sensor for måling av luft- eller gasstrykk. Slike trykkmålere skal ikke komme i kontakt med vann. Vi må derfor konvertere vanntrykk til lufttrykk.

Dette kan gjøres på flere måter. La oss se på noen alternativer.

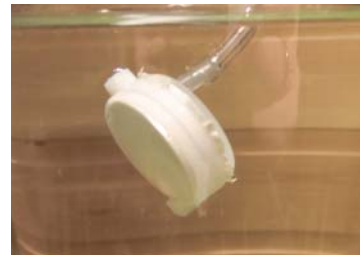
Vi kan skille mellom lukkede og åpne løsninger. I en *Lukket løsning* er luftrommet over

trykksensoren lukket, og i prinsippet er det ingen mulighet for at det slipper vann fram til sensoren. I en *Åpen løsning* er luftrommet over trykksensoren i direkte kontakt med vannet og vann kan i prinsippet lekke inn til selve sensoren.



### Lukket løsning med membran

En sprøyte er skåret over og en ballongmembran er spent over åpningen og festet med to strips så den blir tett. Fordelen med denne er at den er enkel å lage, men vil sannsynligvis gi en svært ulineær sammenheng mellom vanntrykk og lufttrykket inne i luftrommet over sensoren. En må derfor ta mange kalibrerte målinger for å kunne bestemme sammenhengen mellom lufttrykk og dybde. Ulineariteten kan sannsynligvis reduseres ved å gjøre ballonggummien slakk som i det neste alternativet.



### Lukket løsning med ballong

En ballong eller en ballongsprøyte for øreskylling vil sannsynligvis kunne fungere godt. En vanlig ballong vil måtte blåses litt opp slik at den er utspent når apparaturen senkes ned i vann. Dette trenger ikke være så helt enkelt å få til. En ballongsprøyte vil i sin naturlige form være utspent slik at den er lett å bruke. Ballongsprøyter er imidlertid temmelig store og ganske kostbare.





## Lukket løsning med sprøyte

En vanlig sprøyte festes til slangen inn til trykksensoren. Stempellet sette i kontakt med vannet. Her kan man benytte ulike størrelser. Det er rimelig å anta at vanntrykket vil presse stempelet inn i sprøytekammeret og presse sammen lufta over selve sensoren. På denne måten vil man få en overføring fra vanntrykk til lufttrykk. Dette er en billig og relativt enkel løsning. Imidlertid krever den relativt mye plass og vil sannsynligvis innføre en forsinkelse i responsen siden stempelet har en treghet. Det er også rimelig å anta at stempelet har en betydelig friksjon slik at det ikke reagerer før trykket har overvunnet hvilefriksjonen til stempelet.



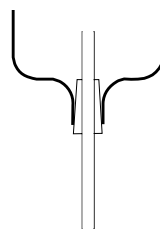
## Åpen løsning med slange helt inn til sensor

Dette er en særdeles enkel løsning hvor slangen kobles rett på sensoren og føres ut gjennom en kabelgjennomføring i lokket eller veggen til trykkammeret. Løsningen er billig, men har et par ulemper. For det første kreves det at koblingen mellom slangen og sensoren er tett. Tester har vist at dette lar seg gjøre ved hjelp av varianter av "slangeklemmer" laget av tynn ledning som stripses rundt slangen. Dessuten må en sørge for at slangen holdes vertikalt nedover slik at en unngår innstrømming av vann som kan ødelegge sensoren. Med en tredobling av trykket fra 1 til 3 bar vil luftsøylen i slangen reduseres til en tredje del dersom man antar at luftkompresjonen er lineær.



## Åpen løsning med slange inn til kammer

For denne løsningen føres slangen gjennom en kabelgjennomføring eller lignende inn i selve kammeret, mens trykksensoren måler lufttrykket inne i kammeret. Fordelen med denne løsningen er at den er særdeles enkel og at trykket på utsiden av kammeret er lik trykket på innsiden. Dermed er det lite sannsynlig at det oppstår vannlekkasje. Imidlertid blir luftrommet som komprimeres vesentlig større enn om man benytter en slange rett inn til sensoren. For å unngå at det kommer vann inn i kammeret må derfor luftvolumet i "tilførselsslangen" være stort nok slik at vannet, med økende trykk, ikke kommer inn i selve kammeret og ødelegger elektronikken. Med en tredobling av trykket vil luftvolumet reduseres til en tredjedel.

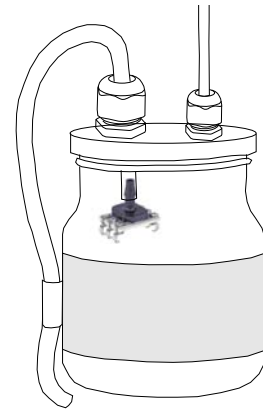






## Valg av løsning – Åpen slange inn til sensor

På bakgrunn av den foregående diskusjonen velger vi en *åpen løsning* med slange helt inn til sensoren. Vi sørger for at slangen går i bøy fra gjennomføring i lokket på kammeret (“syltetøyglasset”). Dette gir en enkel og billig løsning, men krever altså at slangekoblingen til sensoren er tett. Likeså at selve kammeret (syltetøyglasset) med kabelgjennomføringer er tilstrekkelig tett. Figuren til høyre viser en skisse av hvordan vi ser for oss løsningen.

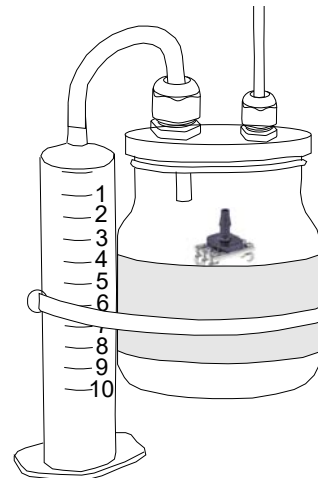


## Alternativ løsning

En alternativ løsning som er interessant er å benytte et lite kammer (“Syltetøyglass”) slik at det innvendige hulrommet blir så lite som mulig. Derneft monteres en stor sprøyte uten stempel på utsiden med åpningen ned. Slangen som ender åpent inne i kammeret festes til spissen på sprøyta som vist på figuren til høyre.

Det er særdeles viktig at denne varianten ikke tillates å bikke over på siden slik at sprøyta fylles med vann. Kammeret må derfor vektas ned med lodd slik at det beholder den vertikale posisjonen i vannet. Dessuten må en sørge for å ikke senke målesonden så dypt at vann slipper inn i kammeret.

For andre løsninger med 3D-printet hus se kapittel 5, side 92.

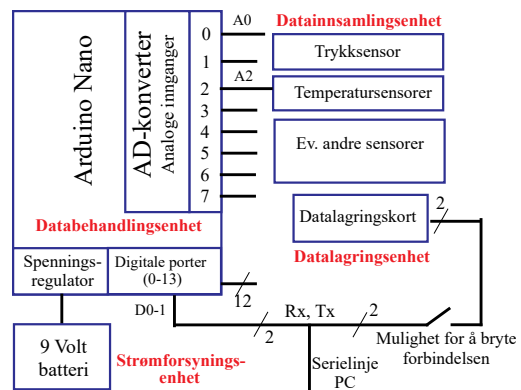


## 1.5 Systemoversikt måleenhet

Måleenheten består hovedsakelig av fire deler:

1. Databehandlingsenhet  
(plattform - Arduino Nano)
2. Datainnamlingsenhet  
(dvs. sensorer for innhenting av data)
3. Datalagringenhet  
(datalagger for lagring av data)
4. Strømforsyningsenhet  
(9 V batteri med spenningsregulator)

Blokkdiagrammet til høyre viser hvordan de ulike enhetene er forbundet med hverandre.





*Databehandlingsenheten* består av en tradisjonell Arduino Nano, som er ett av de mest populære i mikrokontrollerkortene i Arduino-familien, og dermed leveres til en overkommelig pris (www.kultogbillig.no pris kr. 76,- inkl. MVA + frakt, hos AliExpress kan man få dem for under kr. 20,-).

Kortet er bygget opp omkring Atmel prosessoren ATmega328P med en klokkefrekvens på 16 MHz og et flash lager på 32 kbyte, SRAM 2 kbyte og EEPROM 1 kbyte. Kortet har dessuten:

- **Digitale I/O-porter**

Kortet har 14 digitale inn/utporter (I/O-porter, D0 - D13) som alle kan programmeres til enten å være inn- eller utganger. Seks av disse (3, 5, 6, 9, 10 og 11) kan *pulsbreddemoduleres* (pwm), disse er merket med ~ på kortet. Maksimal strøm for hver av I/O portene er 40 mA.

- **Analoge innganger**

Kortet har 8 analoge innganger (A0 – A7) som kan registrere analoge spenninger fra 0 – 5 V, med en nøyaktighet (oppløsning) på ca. 5 mV (10 bit).

- **USB-kontakt** for direkte tilkobling av PC og programmering av kortet. Når USB-kabelen er tilkoblet tilføres kortet spenning slik at det er unødvendig med batteri. Dersom USB porten på PC'en belastes med mer enn 500 mA, vil strømforsyningen brytes inntil strømtrekket reduseres under denne grensen.

- **Strømtilførsel**

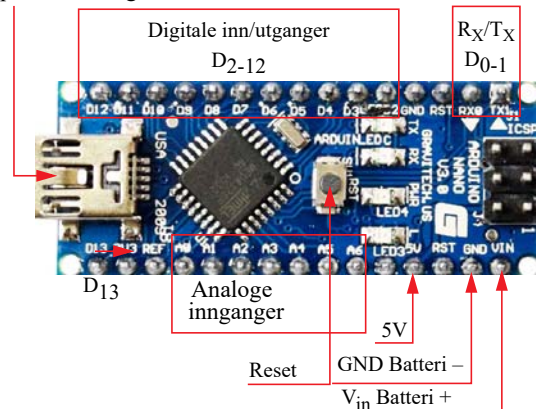
Tilkoblingspunkter for eksternt batteri ( $V_{in}$  (+) og GND (-)), anbefalt spenning 7 – 12 V (grenseverdier 6 – 20 V). 5V utgangen leverer spenning til f.eks. sensorer. Nano'en kan ikke levere 3,3 V spenning som noen sensorer trenger. Vi forsyner kortet med 9V som kobles til  $V_{in}$ .

- **Reset**

Kortet inneholder en RESET-knapp som starter programmet på nytt.

Arduino Nano er ikke forberedt for montasje av shield-kort slik f.eks. Arduino UNO er.

USB-kontakt for programmering





## 2 Bygging av MauSea – målesonde med sensorer

I dette avsnittet skal vi beskrive hvordan vi kan bygge opp selve målesonden (den vanntette beholderen) med temperatur- og trykksensorer.

### 2.1 Montering av kabler og sensorer

#### Utstørliste:

- Trykksensor ABPMANN004BGGAA5, 0 – 4 bar (ELFA 300-21-439)
- Plastslange 5 x 300 mm (indre diameter 3 mm) (Clas Ohlson)
- 8 cm uisolert ledning, 0,6 mm
- NTC-termistor RH16 - 50 kOhm eller lignende f.eks. B57550G1103F005 - 10 kOhm (ELFA 160-29-067)
- To ledning a 50 mm, tvunnet
- Batteriholder for 9 V
- 1 m (helst 1,8 m) USB-kabel påmontert gjennomføring
- Div jumpere med en terminal for lodding en for koblingsbrett
- Div krympestrømper 1,6 mm, 3,2 mm og 6 mm

I byggesettet er både trykk- og temperatursensor montert med jumpere. Slangen må monteres på trykksensoren. Kabelgjennomføringen er montert på USB-kabelen.

#### 2.1.1 Montasje av USB-kabel

Kabelen vi bruker er en kabel med plugg fra USB A til USB mini.



USB A

USB Mini

Normalt vil vi ha problemer med å føre USB-kontakten gjennom kabelgjennomføringen selv om det er en USB-mini kontakt. Vi må derfor kappe kabelen, for så å føre den gjennom gjennomføringen og så koble den sammen igjen. Det er viktig at vi kutter kabelen så nær den tørre enden som mulig (nær USB A). Slik unngår vi at skjøten dypes i vann dersom vi ikke klarer å gjøre



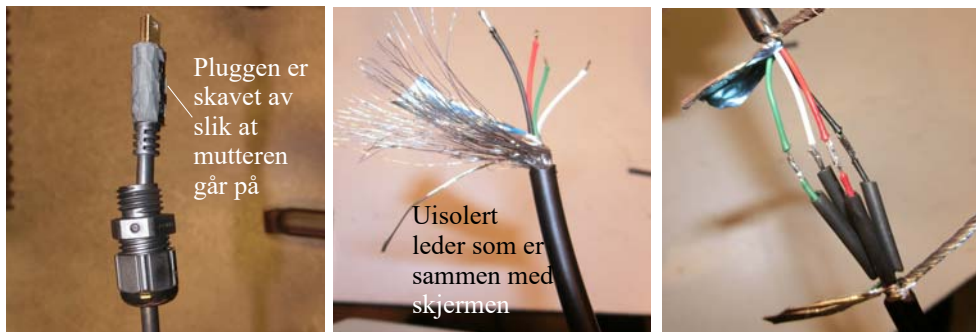
skjøten helt tett. Figuren under viser hvordan en USB 2.0 kabel ser ut inni.



### Detaljert beskrivelse av klargjøring av USB-kabelen (leveres ferdig montert i byggesettet)

Under uttesting og kalibrering i den store målesylindren (1 m), så kan man bruke en USB-kabel (A → mini) for å forbinde PC'en med Arduino Nano'en inne i målesonden. For å unngå lekkasje må kabelen føres gjennom lokket ved hjelp av en kabelgjennomføring. For å få kabelen gjennom kabelgjennomføringen har vi valgt å kutte kabelen for så å montere den sammen i gjen. Alternativt kan man bruke kabelgjennomføringer som kan åpnes i siden.

Bildeserien under viser oppsplitting og sammenkobling av USB-kabelen. Under er det gitt noen tips for å lette arbeidet.



- USB-kabelen kuttet ca. 10 cm fra USB-A pluggen, som skal tilkobles PC'en og alltid vil være tørr.
- Skav av plast på USB mini kontakten slik at låsemutteren for kabelgjennomføringen kan smyges over den.
- Tre kabelgjennomføring inn på den lange kabeldelen som vist til venstre på figuren over, dvs. gjengene inn mot pluggen.
- Tre en 10 – 15 cm lang krympestrømpe inn på den lange enden av kabelen. Den bør ha en diameter på ca. 8 mm før krymping.
- Bruk en spiss og skarp sideavbiter til å snitte opp den ytterste kappen av USB-kabelen (ca. 4 cm), prøv å unngå å skade skjermen (de mange tynne kordelene) som ligger rett under den ytre kappen. Flis opp og brett til side skjermen. Brett også til side den tynne plastfolien som er mellom skjermen og de fire indre lederne.
- Forsøk å skill ut en uisolert leder som ligger sammen med skjermen. Skjermen er av stål og er vanskelig å lodde, men denne ekstra lederen kan loddes.



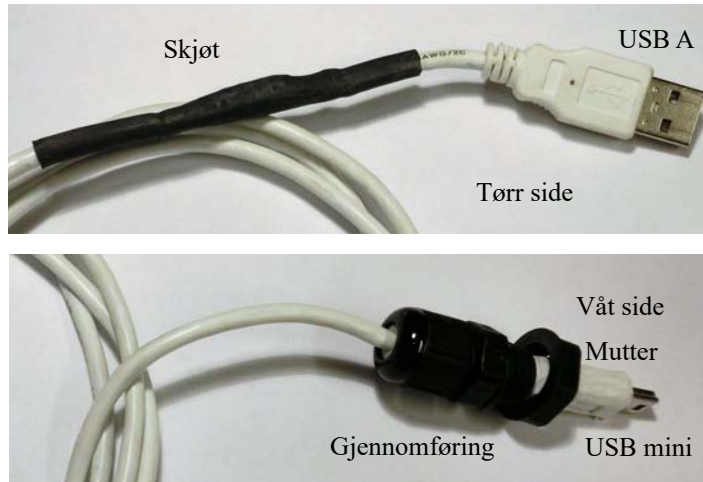
- Skill de fire indre lederne (rød, sort, hvit og grønn - dette kan variere fra kabel til kabel) fra hverandre og avisoler ca. 3 mm på tuppen av hver leder. Tvinn kordelene sammen og legg på litt loddetinn. Gjør det samme med den korte enden av USB-kabelen.
- Klipp opp krympestrømpe 1,5 x 12 mm og tre disse inn på de indre lederne. Pass på at strømpa er minst 5 mm unna den avisolerte enden som skal loddes til tilsvarende ende på den korte USB-kabelen (med USB-A plugg).



- Lodd sammen hver av de fire lederne og skyv strømpene over koblingspunktet slik at loddingen skjules helt. Bruk en varmepistol til å krympe strømpene.
- Bre den metalliserte plastfolien rundt de fire ledningene så godt det lar seg gjøre. Bruk en omdreining med elektriker tape for å holde bunten sammen.
- Lodd sammen den enslige ledningen som ligger sammen med skjermen. Legg den tett inntil tapen etter loddingen og bre kordelene fra skjermen rundt etter beste evne.
- Skyv den ytterste krympestrømpe over sammenføyningspunktet.
- Sjekk at kabelen fungerer ved å programmere en Arduino. Klarer du det uten problemer er kabelen i orden.
- Bruk varmepistolen på den ytre krympestrømpe slik at den blir stabil.

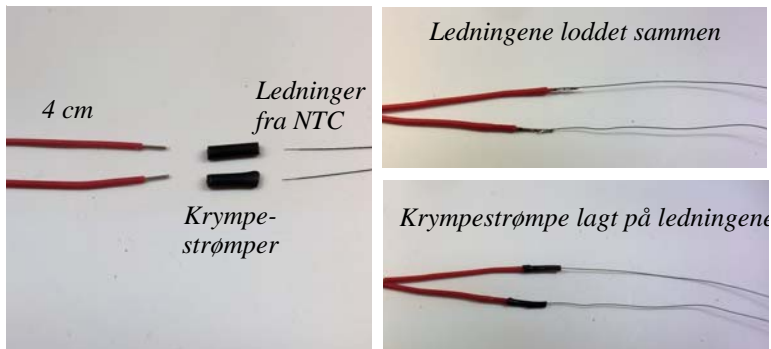


Bildet under viser den ferdig monterte kabelen med kabelgjennomføring. Mutteren kan tres over USB mini-kontakten.



### 2.1.2 Montering av temperatursensor (NTC motstand )

Avisoler endene til to 4 cm lange ledninger som vist til venstre på figuren under. Lag to krympestrømper med lengde ca. 10 mm og diameter 1,5 mm. Lodd ledningene til endene til NTC-motstanden. Tre krympestrømpene på ledningen og plasser den over skjøten og varm opp.



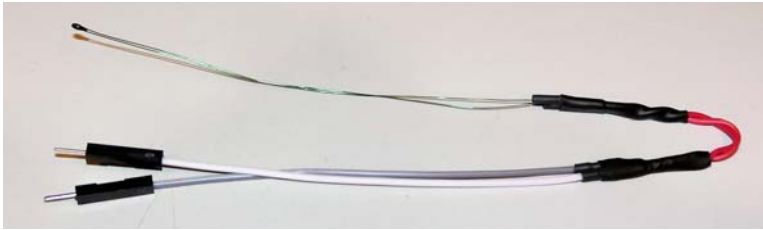
Det kan være tilstrekkelig å varme opp med loddekolben.

Tvinn sammen ledningene og avisoler endene. De avisolerte ledningene egner seg godt til å stikke ned i hullene på koblingsbrettet.



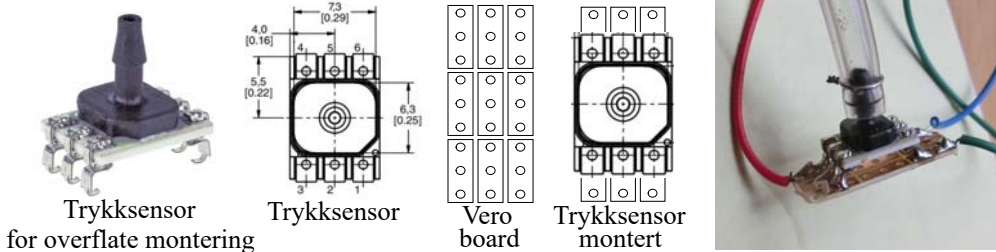


I vårt byggesett har vi koblet jumpere til endene slik at det skal være lettere og koble sensoren til koblingsbrettet.



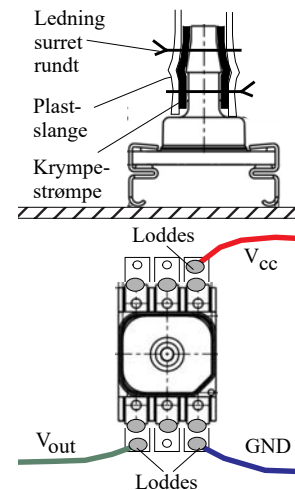
### 2.1.3 Montering av trykksensor med slange

Den valgte trykksensoren leveres for overflatemontasje. Den har dessuten et lite rør for tilkobling av en slange. Vi har valgt å montere sensoren på en liten bit Vero board med påmonterte jumpere slik at den lett kan forbindes til koblingsbrettet som vist til høyre på figuren under.



Bildet til høyre viser hvordan slangetilkoblingen på sensoren først er påtredd en krympestrømpe, for å tilpasses den indre diameteren (3 mm) til plastslangen. For å hindre lekkasje er slangen strammet inn til røret med en eller to tvinnete ledningstumper som vist. Det kan også smøres litt fett mellom slangen og krympestrømpe før den settes på. Dette vil forhåpentlig vis gjøre koblingen enda tettere.

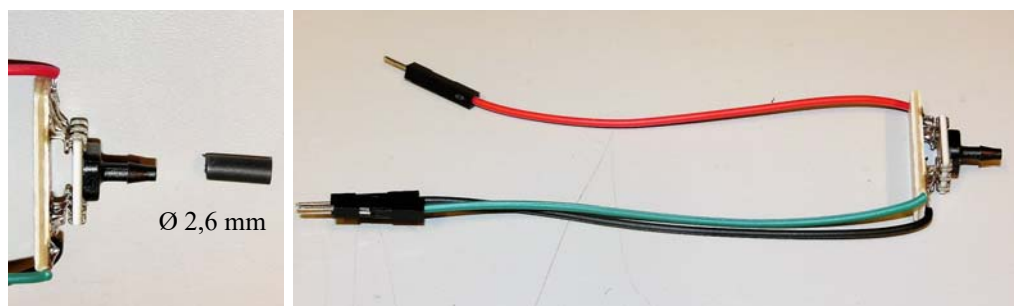
Den ene enden av tre jumpere klippes av, en rød (+5V), en blå/sort (GND) og en grønn til signalet ( $V_{out}$ ). Ledningene avisoleres og loddes til de tre terminalene på trykksensoren. Dermed blir trykksensoren svært fleksibel og lett å koble til koblingsbrettet. Vær oppmerksom på at loddingene kan være litt skjøre.





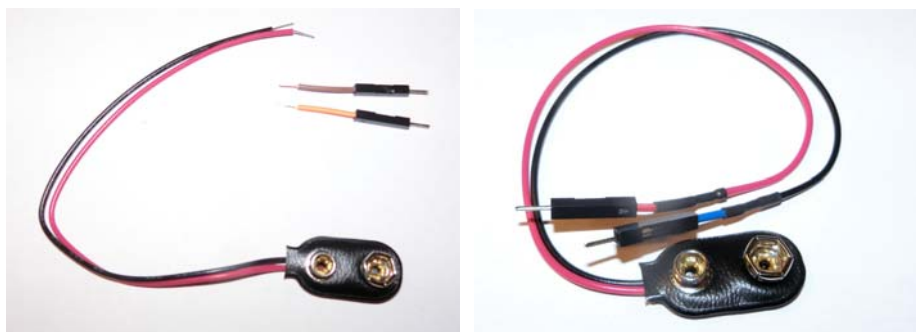


I vårt byggesett har vi altså koblet jumpere til endene slik at det skal være lettere og koble sensoren til koblingsbrettet. På bildet under til høyre ser vi krympestrømpen (Ø 2,6 mm før krymping) før den er tredd på rørstumpen som stikker ut av sensoren. Det er bare slangen må monteres på rørstumpen.



#### 2.1.4 Klargjøring av batteriklemma for bruk sammen med koblingsbrettet

Vanlige batteriklemmer for 9V batterier kommer normalt ikke med jumper-tilkoblinger i enden selv om slike finnes. Det er derfor praktisk å sette på to slike i enden av batterikontakten som vist på figuren under. Lodd dem til enden av batterikabelen og dekk dem til med krympestrømper.



Byggesettet vårt har batteriholdere med påmonterte jumpere.

## 2.2 Oppbygging av den vanntette beholder

### Utstysrliste:

- Hermetiseringsglass med lokk (H 110 x B 92 mm – Indre diameter åpning 72 mm)
- Ekstra pakning for bruk under lokket (laserskåret slange gummi)
- Kabelgjennomføring M12 (12 mm) (ELFA 155-19-375)
- O-ringer M12 (ELFA 155-12-389) eller laserskåret pakning
- Låsemutter M12 x 1,5 (ELFA 155-19-734)





- Blindpropp M12 x 1,5 (ELFA 155-19-064)
- Kabelgjennomføring PG9 (M16) , 3,5 – 8 mm, opp til 5 bar (ELFA 155-19-258)
- O-ring M16 (ELFA 110-76-454) eller laserskåret pakning
- Låsemutter PG9 (M16) (ELFA 155-18-746)
- Varmeforsinket ståltråd 1 mm (Clas Ohlson 30-5027)
- Plastslange innvendig Ø 3 mm, 35 cm (Clas Ohlson)
- Elektrikerrør for føring av slange Ø 16 mm (Clas Ohlson 32-5562) (ev. plastslange)
- Buntebånd 363 mm (Clas Ohlson 22-3355)
- Jernstein (lodd) 750 gram (Skips- og fiskeriutstyr)
- Karabinkrok 5 cm (Skips- og fiskeriutstyr)

### 2.2.1 Valg av syltetøyglass

Vi har valgt å bruke et glass for hermetiske agurker eller rødbeter, men også andre vil kunne brukes. Den kritiske parameteren er diameteren på lokket og dybden i glasset. Minimum innvendig dybde ca. 10 cm for å få plass til koblingsbrettet.



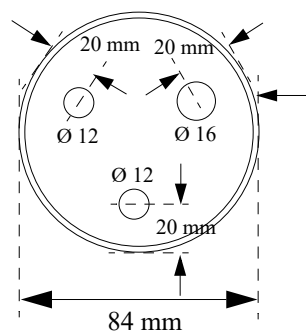
Videre bør ikke ytre diameter være større enn 130 mm inkl. montering av slange for at glasset skal kunne senkes ned i de sylindrene med vann vi disponerer (indre Ø 140 mm) ved Skolelaboratoriet. Har man tilgang til andre kar for kalibrering eller utfører kalibreringen i sjøen står man selvfølgelig friere.

### 2.2.2 Framstilling av hull i lokket og montering av kabelgjennomføringer

I utgangspunktet bores tre hull i lokket for de tre kabelgjennomføringene for trykk og temperatur (Ø 16 mm), for USB-kabelen (Ø 12 mm) og ev. for måling av salinitet. Denne vil i utgangspunktet ikke monteres. På figuren til høyre er vist ca. plassering av de tre hullene.

Hullene bores og ev. files opp til rett størrelse. Hullene bør være slik at de passer akkurat til hullstørrelsen. Alle grader langs kanten fjernes, da det er viktig for at overgangen mellom gjennomføringen og lokket blir vanntett.

Når en av gjennomføringene ikke brukes, monteres i stedet en blindplugg. Samme O-ring og mutter som for gjennomføringen brukes.





### 2.2.3 Montering av gjennomføringer med ledning og slange for trykkmåling

De tre kabelgjennomføringene monteres i lokket som vist på figuren under. Vi har valgt å montere USB-kontakten slik at koblingsbrettets

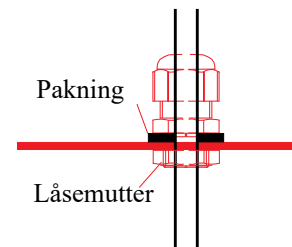


overside vender ut mot glasset. Årsaken til dette er et at det skal bli bedre plass til de to andre kabelgjennomføringene på andre siden av lokket.

Kabelgjennomføringene monteres med en o-ring på utsiden. Ta litt fett på o-ringene før den tres inn over gjengene til den slutter tett inntil flensen innerst ved gjengene. Tre kabelgjennomføringene gjennom hullet i lokket og skru på låsemutteren som vist på figuren til høyre.

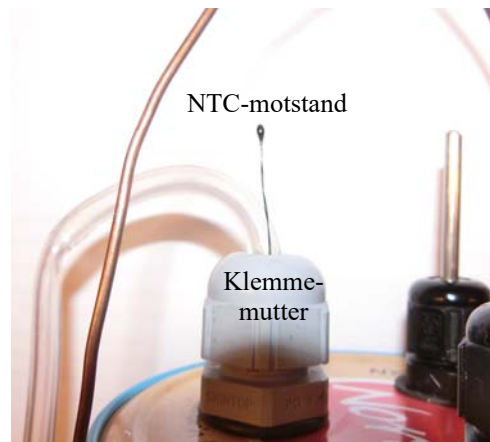
Låsemutteren som skal holde kabelgjennomføring for USB-kabelen må skrus over USB mini-pluggen.

Alternativt til de to kabelgjennomføringene M12 kan man sette inn en blindplugg. Også denne monteres med o-ringspakning.



Det er laget en pakning for å legge på innsiden av lokket. Denne er laget av slangegummi (gammel sykkelslange) og bør smøres inn med fett før den legges inn langs kanten av lokket som vist på bildet over. Fettet vil holde den på plass samtidig som den hindrer lekkasje.

Slagen og NTC-motstanden føres gjennom den største kabelgjennomføring for man skrur til klemmemutteren slik at gummimuffen slutter tett om slangen. Det kan være lurt å påføre slangen litt fett før den føres gjennom gjennomføringen, dermed skulle en redusere sjansen for lekkasje.

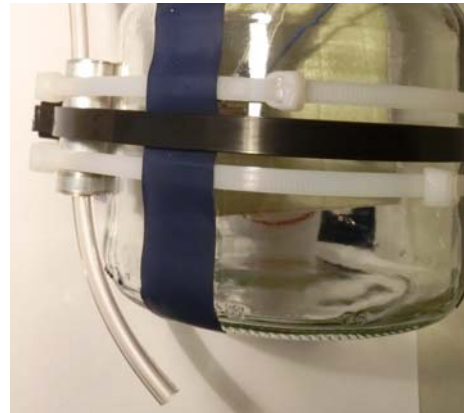




## 2.2.4 Montering av trykksensoren med slange

I vårt byggesett har vi valgt å bruke en åpen slange for å konvertere vanntrykk til lufttrykk. For at trykksensoren skal fungere tilfredsstillende og ikke ødelegges må vi sørge for at det ikke kommer vann inn til selve sensoren.

Slangen kan festes inntil glasset med strips. Vi har imidlertid valgt å feste et aluminiumsrør eller plast-rør til glasset som vi fører slangen gjennom. Dette gjør det lettere å løsne slangen for å åpne og lukke glasset for montering av elektronikken. Slik slangen er montert vil den måle vanntrykket på undersiden av selve glasset, i dybden der åpningen av slanget er.



## 2.2.5 Montering av festkroker for line og ballast

Etter å prøvd å montere en øyeskrue i et hull i lokket med mutter og o-ring med vekslede hell, kom vi fram til en bedre løsning ved hjelp av en ståltråd montert til halsen av glasset med en strips.

Vi bøyde til en 1,6 mm ståltråd som vist på bildet under. En line festes i øyet for nedsenkning



## Ballast

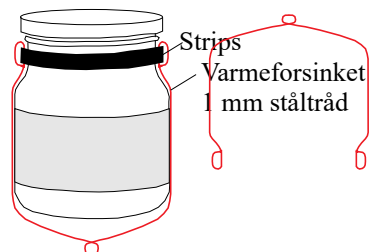
Det valgte syltetøyglasset fortrenger ca. 750 ml alene når det senkes i vann i tillegg kommer den fortrengningen som



750 gram



50 mm





skyldes kabelgjennomføringer og annet. Vi antar derfor at den totale oppdriften tilsvarer en vekt på ca. 800 gram. Selve glasset med kretskort veier ca. 400 gram. Dvs. at vi i tillegg må legge i ballast slik at den får en totalvekt på ca. 1 kg, dvs. vi må legge til minst 600 gram.

Vi valgte å lage en bøyle som festes på samme måte og samme sted som festeanordningen til lina. ***Det kan være lurt å legge en tape rundt glasset slik at festekroken til loddet slik at glasset ikke tipper rundt.*** Som lodd benyttes en 750 gram jernstein<sup>2</sup> som festes til bøylene med en karabinkrok eller lignende. Karabinkroken kan være av de minste<sup>3</sup>.

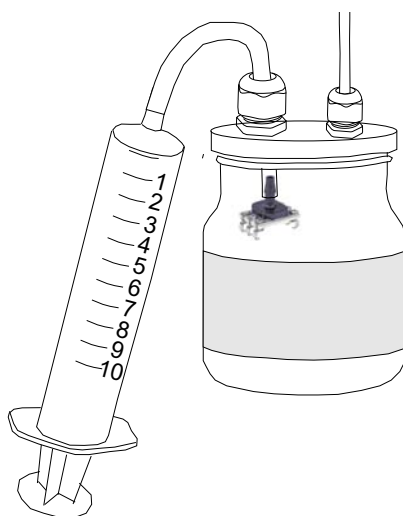
Jernstein benyttes som søkke for å strekke garnene ut mot bunnen. Alternativt kan man rett og slett legge en tung stein i en plastpose som forsegles med en strips som så festes til karabinkroken under glasset.

## 2.3 Lekkasjetesting

### 2.3.1 Testing av tilkobling mellom slange og trykksensor

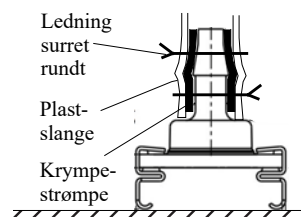
Siden vi har valgt en åpen løsning med tilkobling av slangen direkte til trykksensoren så er det viktig at det ikke lekker luft ut ved sensoren. Vi kan kontrollere hvilket trykk denne koblingen tåler ved å gå fram på følgende måte:

1. Vi kalibrerer trykksensoren på vanlig måte ved å ta en måling ved overflata, kalibrere utstyret og så ta en kontrollmåling så dypt vi kommer i sylindren (se avsnitt 5 på side 92). Dybden leser vi av i monitoren på Arduino IDE'en.
2. Koble en sprøyte til slangen og øk trykket langsomt. Stopp og hold trykket ved ulike "dybder"<sup>4</sup>. Dersom det er en lekkasje, vil "dybden" reduseres langsomt etter som lufta siger ut av slangen. Dersom det er tett vil dybden holde seg konstant over tid.



To bar skal gi en dybde på 10 meter, mens tre og fire bar tilsvarer dybder på henholdsvis 20 og 30 meter.

For å hindre lekkasje kan man bruke litt fett og to ledninger som vist på figuren til høyre, en på hver side av fortykningen av røret på sensoren. Det er lagt en krympestrømpe rundt røret på sensoren slik at den skal passe bedre til plastslangen. En 10 ml pumpe skal kunne gi et trykk tilsvarende et dyp på ca. 20 meter.



2. <https://www.gambua.no/products/blylodd-1-kg2>

3. <https://www.biltema.no/bat/dekkutstyr/karabinkroker/karabinkrok-2000037559>

4. Dette vil da være fiktive dybder siden vi øker trykket kunstig med en sprøyte eller pumpe



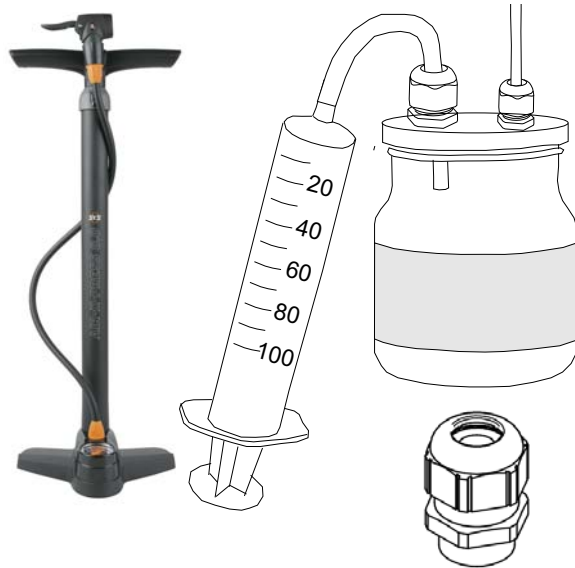
Dersom sprøyta blir for svak til å få tilstrekkelig trykk, så kan man benytte en sykkelpumpe og en ventil koblet til slangen. En må være klar over at plastslanger av denne typen kan ha problemer med å tåle trykkforskjeller på 3 bar (4 bar inne i slangen og 1 bar utenfor).

### 2.3.2 Testing av lekkasje i kammeret

En enkel og effektiv måte å teste lekkasje i glasset på er å øke trykket inne i glasset med en større sprøyte (50 ml) eller en sykkelpumpe. Siden glasset er større vil det kreve mer luftvolum for å øke trykket.

Undersøkelser viser at det kan være ganske krevende å få glasset og gjennomføringene tette. Her er noen forslag til hensyn man bør ta for at det skal bli tett:

1. Har man problemer med lekkasje kan man monter kabelgjennomføringene med *to* o-ringer, en på utsiden og en på innsiden. Disse bør helst være flate og litt trange. De vedlagte er skåret på laserkutter til dette formålet.
2. Smør o-ringene inn med fett. Ha gjerne litt fett langs kanten av hullet.
3. Monter kabelgjennomføringene ved å skru til mutteren godt, **men ikke slik at o-ringene tyter ut.**
4. Ha litt fett langs kanten av glasset der det møter pakningen på innsiden av lokket. Skru lokket godt på.



Det er rimelig å anta at luft kommer litt lettere inn enn vann, men det er ikke så stor forskjell. Ett annet viktig poeng er at glasset med pakninger har større motstandsdyktighet for lekkasje fra utsiden og inn enn omvendt pga. konstruksjonen.

Vår erfaring er at 12 mm innkjøpte o-ringer til M12 gjenger blir for romme. O-ringene har derfor en tendens til å tyte ut langs kanten hvilket gjør gjennomføringen utett. 10 mm o-ringer til M12 synes å passe bedre. Det viste seg at det billigste stedet for å få tak i o-ringer var på Biltema som selger poser med 5 for ca. kr. 12,00. Ev. kan man kjøpe et o-ringssett hos Jula eller Biltema.



Flate pakninger skreddersydd for vårt formål viste seg vanskeligere å skaffe. Imidlertid viste det seg at gamle sykkelslanger egnet seg godt. Disse ble klippet opp og stiftet opp på en MDF-plate å skåret med laserkutteren (F 100 %, S 50 %, P 100%). Innsmurt med fett gir disse god tetting.



Del av utbrettet sykkelslange



Bit sykkelslange stiftet opp på MDF



Pakninger skåret i slangegummi

Vi endte imidlertid opp med å skjære ut egne o-ringer i plater av silikongummi.

En annen og større utfordring er å få lokket tett. Lokket leverer med en innebygget gummiforing. Når vi blåser luft inn i glasset kommer det luft ut gjennom kanten av lokket ved ca. 1 – 2 bar uten pakning. Dette er muligens ikke noen god måte å teste hvor tett glasset er siden et innvendig trykk vil presse lokket “åpent”, mens et ytre trykk vil presse lokket “tett”.

Løsningen viste seg å være å skjære ut en o-ring med en ytre diameter på 83 mm som ble lagt langs kanten på innsiden. Se bildet til høyre.



## 2.4 Oppkobling av elektronikken for måling av trykk og temperatur

### Utstyrliste:

Følgende komponenter trengs for å bygge opp kretsen:

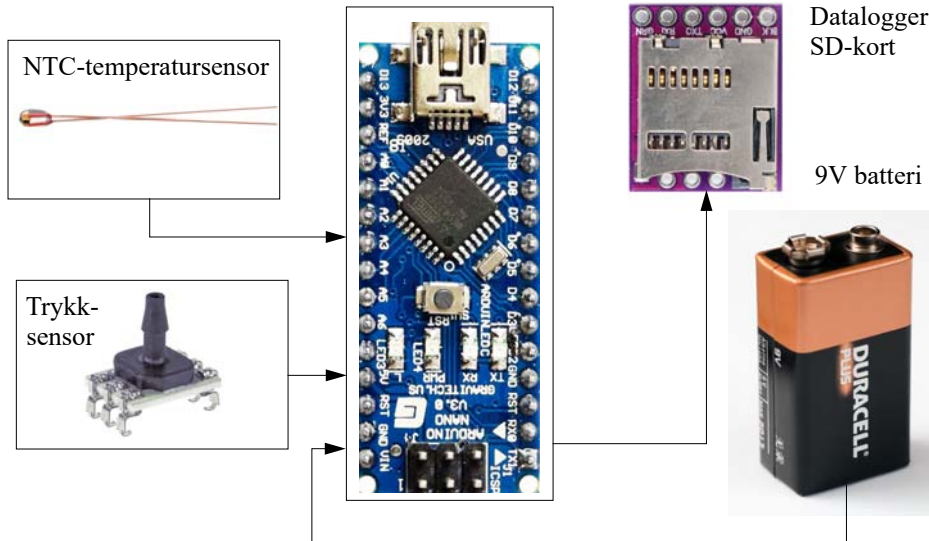
- Arduino Nano med stiftlister (ELFA 110-96-733)
- OpenLog (AliExpress – flere leverandører)
- Koblingsbrett (81x60x10 mm) (ELFA 148-33-283)
- 51k $\Omega$  (til RH16) – seriemotstand til NTC-termistoren
- Div. jumpere for å koble opp på koblingsbrett
- 9V batteri





## 2.4.1 Blokkdiagram av krets for måling av trykk og temperatur

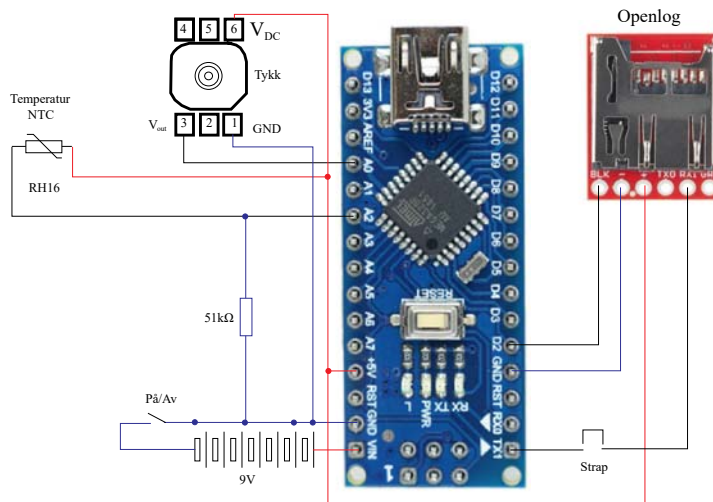
Figuren under viser blokkdiagram for kretsen som samler inn data om trykk og temperatur. Vi ser at foreløpig så har vi montert to sensorer, en trykk- og en temperatursensor. I tillegg til lagringsenhet for data på mini SD-kort.



**MERK!** Batteriet tilkobles når sonden brukes uten USB-kabel.

## 2.4.2 Koblingsskjema for måling av trykk og temperatur

Figuren under viser koblingsskjemaet over kretsen for måling av trykk og temperatur.

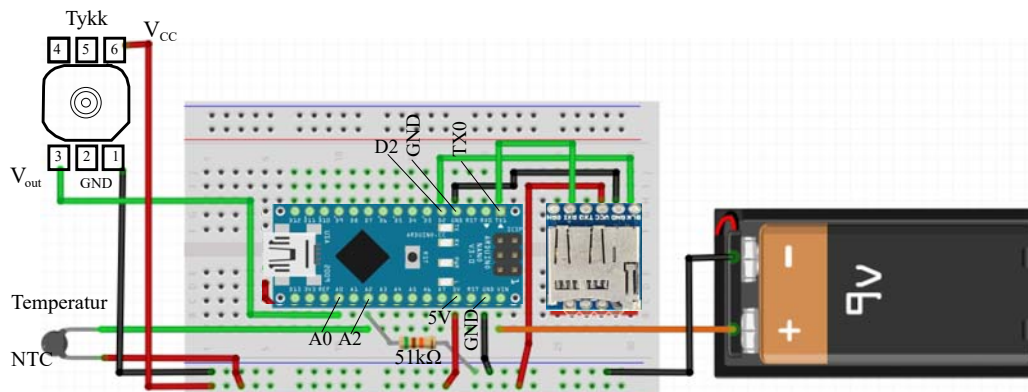




Arduino Nano	Vi har valgt å bruke Arduino Nano da denne er liten og kan nøye seg med et koblingsbrett i halv størrelse.
Batteri	Vi har valgt et standard 9V batteri da dette er lite og har tilstrekkelig levetid for vårt formål.
OpenLog <sup>5</sup>	OpenLog er en SD-kort lese/skriveenhet som er særdeles lett å bruke da man normalt benytter de samme kommandoene og syntaksen som når man skriver til monitoren. Man benytter også de samme terminalene Rx (D0) og Tx (D1), <b>men må sørge for å koble fra log'eren når Nano'en skal programmeres</b> <sup>6</sup> . OpenLog → Arduino Nano BLK → GND GND → GND, jord VCC → 5V, supplyspenning TX0 → RX0, Leser data fra OpenLog til Arduino, Nano (kan sløyfes) RX1 → TX0, Skriver data til OpenLog fra Arduino
Trykksensor	Her har vi valgt å bruke en piezo-resistiv sensor levert av ELFA, se avsnitt 4.2.2 på side 58: ABPMANN004BGAA5 fra Honeywell <sup>7</sup> . Denne har et måleområde på 0 – 4 bar (0 – 30 meter).

### 2.4.3 Oppkobling på koblingsbrettet for måling av trykk og temperatur

Figuren under viser oppkoblingen på koblingsbrettet.



5. [https://learn.sparkfun.com/tutorials/openlog-hookup-guide?\\_ga=2.246893126.390277576.1534695935-856163918.1476131557](https://learn.sparkfun.com/tutorials/openlog-hookup-guide?_ga=2.246893126.390277576.1534695935-856163918.1476131557)

6. Normalt er det SparkFun som selger OpenLog – Pris: \$ 14,95 ex. frakt  
<https://www.sparkfun.com/products/13712>

Men man kan få den billigere hos [www.BangGood.com](http://www.BangGood.com) – Pris: 67.61 NOK inkl. frakt  
<https://www.banggood.com/search/openlog.html> og enda billigere hos AliExpress ca. kr. 35,00

7. ABPMANN004BGAA5 selges av ELFA – Pris: 88,80 NOK ex. MVA.  
<https://www.elfadistelec.no/no/trykksensor-honeywell-abpmann004bgaa5/p/30021439?queryFromSuggest=true>





Fargene på jumperne er ikke viktig for at kretsen skal virke, men det kan være greit å følge et system slik at det blir lettere å få oversikt. I figuren over har vi benyttet sort til jord (GND) og rød til pluss 5V. Videre har vi benyttet oransje til 9 V. Alle forbindelser som bærer signal har vi valgt å la være grønne for enkelhets skyld. Vi får da et behov for 2 jumpere til signal og 3 jumpere til supplyspenning og jord.

Sannsynligvis vil ikke det samme utvalget av jumpere være tilgjengelig under kurset.

Trykksensoren er koblet opp på et lite kretskort tilkoblet jumpere slik at også denne skal være lett å koble til koblingsbrettet. Temperatursensoren og batteriet er også forsynt med jumpere.

## 2.4.4 Måleprogrammet for måling av trykk og temperatur

### Flytdiagram for måleprogrammet

Vi har forsøkt å gjøre programmet så enkelt og selvforklarende som mulig. Figuren til høyre viser et blokkdiagram over programmet.

Etter at programmet starter, deklarerer alle variable. Her setter man også inn kalibreringsverdiene. Dette gjøres en gang hver gang programmet starter opp.

Dernest leser man av tiden som er gått siden programmet startet ( $tid = \text{millis}()$ ;) slik at målepunktene kan tidsfestes relativt til oppstart. Det lages også en tellevariabel ( $i$ ) om man ønsker å angi nummeret til måleverdien.

Så leser man av trykket som er en digital spenningsverdi ( $U_{outD}$ , 0 – 1023). Dybden beregnes på bakgrunn av formlene oppgitt i databladet for trykksensoren korrigert for trykket ved overflata (se avsnitt 5, side 92).

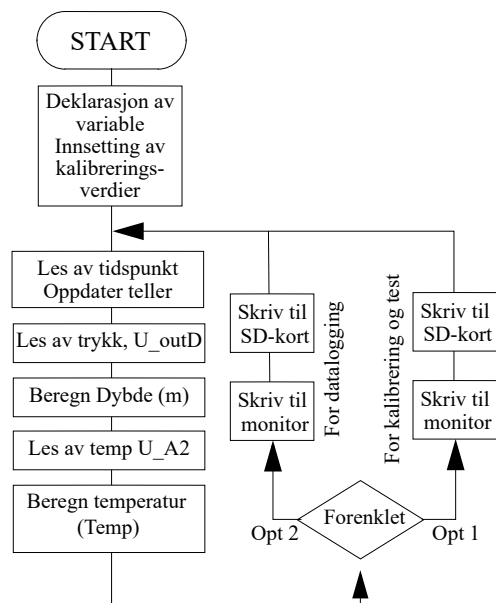
Så leser man av temperaturen som også er en digital verdi ( $U_{A2}$ , 0 – 1023). Siden vi kalibrerer trenger vi ikke regne om denne verdien til hverken spenning eller temperatur. Temperaturen beregnes på bakgrunn av kalibreringsverdiene. Vi antar at denne sammenhengen er tilstrekkelig lineær til at vi kan bruke en topunktsligning (se avsnitt 5, side 92).

### Programlisting

Under er vist programlistingen. Vi regner med at programmet er så og si selvforklarende med kommentarene og blokkdiagrammet foran.

```
#include <stdio.h> // Inkludering av standard biblioteket til Arduino

// -----Legg inn verdier for kalibrering av dybde -----//
```





```
float D0 = -0.21;           // Avlest dybde ved overflata for kalibrering

int U_outD;                // Avlest digitalverdi for spenning
float Trykk = 0;           // Målt trykk
float Dybde = 0;           // Beregnet av dybde
float DPprm = 0.1005;      // Trykkendring pr. meter i saltvann

// ----- Legg inn verdier for kalibrering av temperatur -----//
int U_Lav_A2 = 442;        // (UL) Digital verdi for spenningen på A2, registert lav
temperatur
int U_Hoy_A2 = 808;        // (UH) Digital verdi for spenningen på A2, registert ved høy
temperatur
float t_Lav = 19;          // (tL) Lav kalibreringstemperatur i grader C
float t_Hoy = 56;          // (tH) Høy kalibreringstemperatur i grader C

float Temp;                // Beregnet temperatur ved aktuell posisjon
int U_A2 = 0;              // Avlest digitalverdi for spenning på A2 ved aktuell posisjon

int i = 0;

int opt = 2;                // opt 1 - for test og kalibrering
                           // opt 2 - for logging

float tid;                  // Tid fra oppstart i sekunder

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  // Tellevariabel
  i = ++i;

  // Tidssignal
  tid = millis()/1000.0;

  //---- Leser inn spenningen for trykk og beregner kalibrert dybde -----//
```



```
U_outD = analogRead(A0); // Les av digitalt trykk
Trykk = 5.0*(U_outD/1023.0 - 0.1); // Målte trykk i bar
Dybde = -Trykk/DPprm - D0; // Beregnet og kalibrert dybde i (-)meter

//- Leser inn spenningen for temperaturen og beregner kalibrert temperatur -//

U_A2 = analogRead(A2);
// Beregner temperaturen på bakgrunn av kalibreringsdata.
Temp = ((t_Hoy - t_Lav)/(U_Hoy_A2 - U_Lav_A2))*(U_A2 - U_Lav_A2) + t_Lav;

//-----Skriv ut for test og kalibrering -----//

if (opt == 1)
{
  Serial.print("Tid ");
  Serial.print(tid,1);
  Serial.print(";");
  Serial.print(", Trykk: ");
  Serial.print(Trykk,2);
  Serial.println(" bar");
  Serial.print("Beregnet dybde: ");
  Serial.print(Dybde,2);
  Serial.println(" m");
  Serial.print("Digital temp.: ");
  Serial.print(U_A2);
  Serial.print(", Beregnet temp.: ");
  Serial.print(Temp,1);
  Serial.println(" C");
}

//-----Skriv data til SD-kort -----//
if (opt == 2)
{
  Serial.print(tid,1);
  Serial.print(";");
  Serial.print(Dybde,2);
  Serial.print(";");
  Serial.println(Temp,1);
}
```



```
}  
  
    delay(1500);  
}
```

### Noen generelle kommentarer:

***NB! for å kunne programmere Arduino så må ledningen mellom TX1 på Arduino-kortet og RX1 på OpenLog brytes. Denne må så kobles inn igjen ved lagring av data på SD-kortet.***

Programmet består av to funksjoner som avgrenses med krøllparenteser {}. Alt innen for disse er *kroppen* til funksjonen.

De to funksjonene er:

```
    setup()  
    {  
    }
```

Som er en funksjon som bare kjører en gang hver gang programmet starter opp. Her ligger kommandoen `Serial.begin(9600);` som setter opp kommunikasjonshastigheten mellom mikrokontrolleren og monitoren og SD-kortet. Den settes til 9600 bit pr. sek.

Denne andre funksjonen er:

```
    loop()  
    {  
    }
```

Som inneholder alle kommandoene som skal gjentas gang på gang til programmet stopper, dvs. når vi slår av strømmen, eller trykker reset-knappen på kortet. Programmet starter også på nytt når vi åpner monitoren.

Ellers er programmet forklart i listingen over.

## 2.5 Oppkobling av kretsen for måling av trykk, temperatur og salinitet

I dette delkapittelet beskriver vi hvordan vi kan utvide kretsen med måling av salinitet. Vi gjentar ikke all teksten men tar kun med det viktigste.

### 2.5.1 Komponentliste:

Følgende komponenter trengs i tillegg for å kunne bygge opp sensoren for måling av salinitet:

- 7 cm x Ø 3,2 mm sveisetråd
- 5 cm x Ø 3,2 mm krympestrømpe (sort)
- 6 cm x Ø 6,0 mm krympestrømpe (rød)
- 8 cm tynn kordel fra ledning
- Tynn strømpe av rød ledning for å beskytte kordel

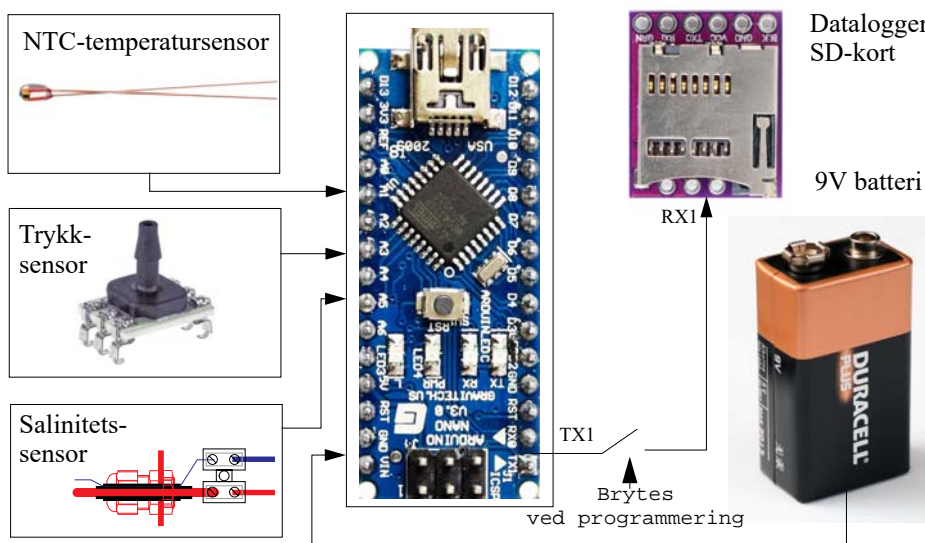


- 6 mm<sup>2</sup> sukkerbit (koblingsplint)
- 2 jumpere
- To motstander på 3,3 kOhm
- Kabelgjennomføring M12 m/låsemutter
- O-ringspakning M11

For nærmere beskrivelse av oppbygging av sensor for måling av salinitet se avsnitt 4.3.6, side 75. Byggesettet inneholder komponenter for bygging av usymmetrisk sensor.

## 2.5.2 Blokkdiagram for måling av trykk og temperatur

Figuren under viser blokkdiagram for kretsen som samler inn data inkludert trykk, temperatur og salinitet. I tillegg til lagringsenhet for data på mini SD-kort.

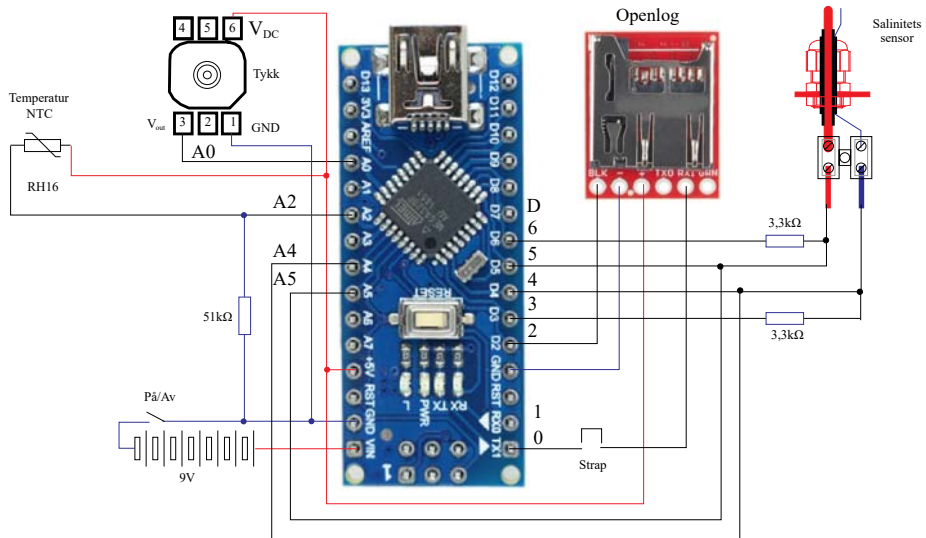


Batteriet kobles inn når sonden brukes uten USB-kabel.



## 2.5.3 Koblingskjema for måling av trykk, temperatur og salinitet

Figuren under viser koblingskjema over sensor og datainnsamlingsenheten.

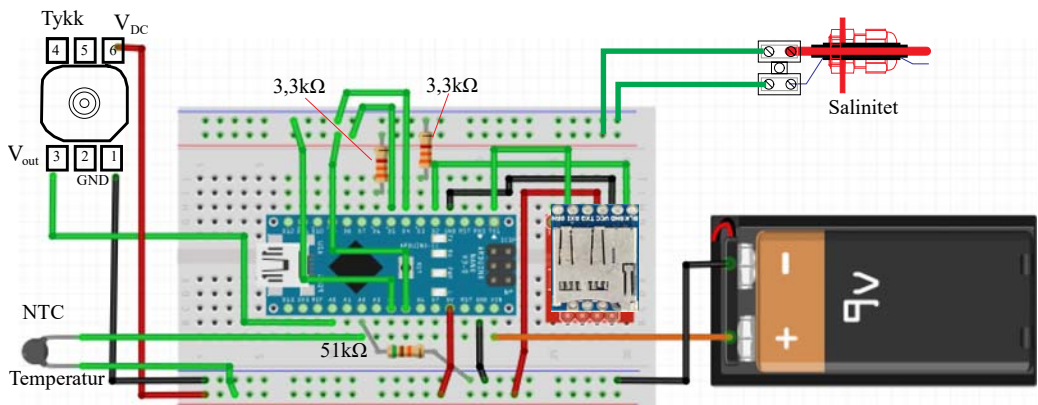


Salinitet

Her velger vi en litt spesiell løsning som er beskrevet i detalj i avsnitt 4.3.6 på side 75.

## 2.5.4 Oppkobling på koblingsbrettet for måling av trykk, temperatur og salinitet

Figuren under viser oppkoblingen på koblingsbrettet.



Fargene på jumperne er ikke viktig for å få kretsen til å virke, men det kan være greit å følge et system slik at det blir lettere å få oversikt. Imidlertid vil sannsynligvis tilgangen på jumbere være begrenset. I figuren over har vi benyttet sort til jord (GND) og rød til pluss 5V. Videre har vi benyttet oransje til 9 V. Alle forbindelser som bærer signal har vi grønne for enkelhets skyld. Vi får da et behov for 7 jumbere til signal og 4 jumbere til splysspenning og jord.



## 2.5.5 Måleprogram for måling av trykk, temperatur og salinitet

### Flyttdiagram for måleprogrammet

Som vi ser så flyttdiagrammet for dette programmet omtrent uforandret i forhold til det som ble presentert foran under avsnitt 2.5.2 på side 37. Den eneste forskjellen er at vi har føyet til måling av salinitet nederst. Sensoren styres med D3 – D6, mens avlesningene gjøres vekselvis på det analoge portene A4 og A5. I tillegg til trykk og temperatur logges også salinitet på SD-kortet.

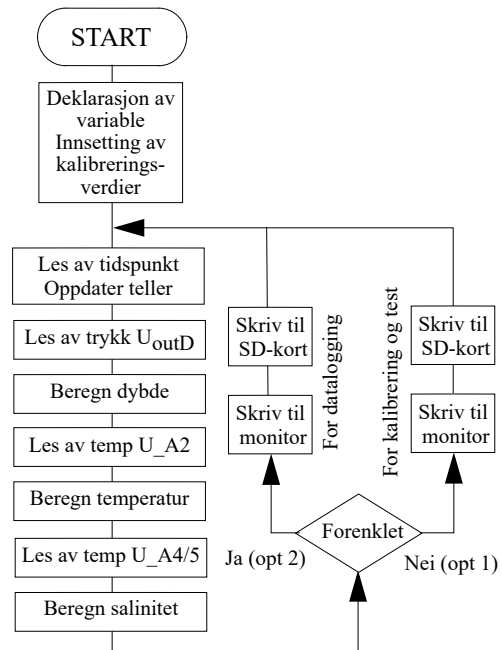
### Programlisting

Under er vist programlistingen. Vi regner med at programmet er så og si selvforklarende med kommentarene og blokkdiagrammet foran.

Det en spesielt bør merke seg er hvordan programmet veksler mellom å lese av A4 og A5, samtidig som D3 – D6 veksler på å gi elektrodene ulike polaritet for å unngå polarisering av elektrodene. For nærmere forklaring se avsnitt 4.3.7 på side 76.

```
#include <stdio.h> // Inkludering av standard biblioteket til Arduino
```

```
// -----Legg inn verdier for kalibrering av dybde -----//  
float D0 = -0.21; // Avlest dybde ved overflata for kalibrering  
  
int U_outD; // Avlest digitalverdi for spenning  
float Trykk = 0; // Målt trykk  
float Dybde = 0; // Beregnet av dybde  
float DPprm = 0.1005; // Trykkendring pr. meter i saltvann  
  
// ----- Legg inn verdier for kalibrering av temperatur -----//  
int U_Lav_A2 = 442; // (UL) Digital verdi for spenningen på A2, registert lav temperatur  
int U_Hoy_A2 = 808; // (UH) Digital verdi for spenningen på A2, registert ved høy temperatur  
float t_Lav = 19; // (tL) Lav kalibreringstemperatur i grader C  
float t_Hoy = 56; // (tH) Høy kalibreringstemperatur i grader C
```





```
float Temp;           // Beregnet temperatur ved aktuell posisjon
int U_A2 = 0;         // Avlest digitalverdi for spenning på A2 ved aktuell posisjon

// ----- Måling av salinitet -----

int D3 = 3;           // Port for styring av salinitetsmåling
int D4 = 4;           // Port for styring av salinitetsmåling
int D5 = 5;           // Port for styring av salinitetsmåling
int D6 = 6;           // Port for styring av salinitetsmåling

int U_A4, U_A5;       // Port for avlesning av salinitetssensor
float SalD;           // Beregnet midlere digital salinitetsmåling

int i = 0;
int j = 0;
int ant = 1;         // Gjennomsnitt av "ant" salinitetsmålinger

int opt = 1;         // opt 1 - for test og kalibrering
                    // opt 2 - for logging

float tid;           // Tid fra oppstart i sekunder

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  // Tellevariabel
  i = ++i;

  // Tidssignal
  tid = millis()/1000.0;

  //---- Leser inn spenningen for trykk og beregner kalibrert dybde -----//
  U_outD = analogRead(A0);
```





```
Trykk = 5.0*(U_outD/1023.0 - 0.1);           // Målte trykk i bar
Dybde = -Trykk/DPprm - D0;                 // Beregnet og kalibrert
dybde i (-)meter

//-- Leser inn spenningen for temperaturen og beregner kalibrert temperatur --//

U_A2 = analogRead(A2);
Temp = ((t_Hoy - t_Lav)/(U_Hoy_A2 - U_Lav_A2))*(U_A2 - U_Lav_A2) + t_Lav;

//-- Leser inn spenningen for salinitet og beregner kalibrert salinitet --//
U_A4 = U_A5 = 0;
for (j=0; j<ant; j++)
{
  pinMode(D3,INPUT);
  pinMode(D4,OUTPUT);
  pinMode(D5,INPUT);
  pinMode(D6,OUTPUT);
  digitalWrite(D4,HIGH);
  digitalWrite(D6,LOW);
  delay(10);
  U_A5 = U_A5 + analogRead(A5);
  delay(10);
  pinMode(D3,OUTPUT);
  pinMode(D4,INPUT);
  pinMode(D5,OUTPUT);
  pinMode(D6,INPUT);
  digitalWrite(D3,LOW);
  digitalWrite(D5,HIGH);
  delay(10);
  U_A4 = U_A4 + analogRead(A4);
  delay(10);
}
SalD = (U_A4+U_A5)/(2.0*ant);

// ----- Kaliberingsrutiner for salinitet -----//

// ----- Ikke implementert ----- //

//-----Skriv ut for test og kalibrering -----//
```



```
if (opt == 1)
{
  Serial.print("Tid ");
  Serial.print(tid,1);
  Serial.println(";");
  Serial.print(", Trykk: ");
  Serial.print(Trykk,2);
  Serial.print(" bar");
  Serial.print("Beregnet dybde: ");
  Serial.print(Dybde,2);
  Serial.println(" m");
  Serial.print("Digital temp.: ");
  Serial.print(U_A2);
  Serial.print(", Beregnet temp.: ");
  Serial.print(Temp,1);
  Serial.println(" C");
  Serial.print ("Malt salinitet dig: ");
  Serial.println(SalD,1);
}

//-----Skriv data til SD-kort -----//
if (opt == 2)
{
  Serial.print(tid,1);
  Serial.print(";");
  Serial.print(Dybde,2);
  Serial.print(";");
  Serial.println(Temp,1);
}

delay(1500);
}
```



## 3 Kort om måleoppdrag og behandling av måledata

### 3.1 Målinger gjort i laboratoriet

Siden vi ikke har tilgang til en dyp vanntank i laboratoriet vårt på Skolelaboratoriet så foreslår vi at det gjøres målinger av “kunstige” miljøforandringer mht til tykk og temperatur.

Når kalibrering er utført og data synes å logges korrekt på SD-kort eller i monitor, foreslås at det gjennomføres en komplett måleserie etter følgende mal:

1. Det foretas målinger av temperatur og lufttrykk over en tidsperiode av noen minutter. Dataene samples minimum en gang annenhvert sekund og lagres på SD-kort.
2. Det foretas sekvensielle endringer av temperatur og trykk slik at en får sett at loggeren fungerer som tiltenkt. Disse målingene kan gjøres tørt, men utstyret skal være montert som om det skal måles i sjøen på inntil 20 meters dyp.
3. Dataene skal tas ut og det skal lages grafer som viser endringene i trykk og temperatur.
4. Endringer skal forklares i en kortfattet tekst.
5. Dernest skal det samme gjentas, denne gangen skal loggeren senkes ned i en av sylindrene med så høy vannstand som mulig.
6. Dernest skal dataene presenteres og beskrives som omtalt i punktene over.
7. Sjekk gjerne at utstyret også er vanntett med avblending av hull til USB-kabel da denne blir uaktuell ved måling på større dyp.

### Måling av salinitet

Dersom noen mot formodning skulle komme så langt at de kan måle salinitet så oppfordres til følgende etter at salinitetssensoren er bygget og testet. Det forlanges ikke at den skal kalibreres mht. temperatur da det kan være et relativt omfattende arbeid:

8. Utfør logging som beskrevet foran for ulike grader av salinitet, f.eks. 0 ppt, 17,5 ppt og 35 ppt. Endringene i salinitet kan godt gjøres mens dataene logges.
9. Dataene skal tas ut og det skal lages grafer som viser endringene i salinitet (ev. bare endringer i måleverdier, digitale verdier eller målt spenning).
10. Endringer skal forklares i en kortfattet tekst.

### 3.2 Målinger gjort i sjøen fra båt eller kai

Etter anvisning fra kursledelsen, ansvarlig på båt eller på feltstasjon så vil det bli gitt mulighet til å logge data på større dyp. Under disse målingene er det særdeles viktig at loggeren er forsvarlig festet til lina slik at den ikke løsner og mistes i dypet. Stripsen rundt nakken på syltetøyglasset er kanskje et kritisk punkt som bør sjekkes.



Følgende foreslås:

1. Fjern tilkoblingen for USB-kabel og sett inn en blindplugg med pakning med fett forsikre deg om at den er vanntett
2. Prøv gjerne et prøvedykk uten elektronikk for å sjekke at glasset er tilstrekkelig vanntett.
3. Koble til batteri med batteriholder og jumpere, pass på at jumperne er satt på rett plass slik at kretsen fungerer som den skal.
4. Sjekk at mutterne på kabelgjennomføringene og blindpluggene er godt skrudd til slik at de er tette. Skru på plass lokket etter å ha sjekket at pakningen er belagt med fett og ligger riktig under lokket.
5. Sjekk at bøylen som holde ballasten er festet langs sidene av glasset slik at det ikke flyter opp og blir liggende på siden.
6. Fest lina godt til festebøylen. Lag knuter for hver meter langs lina slik at det er mulig å få en objektiv måling av dybden. Den første knuten skal være en meter over inntaket til slangen til trykksensoren.
7. Senk måleloggeren sakte ned i havet og stopp noen sekunder ved hver knute, slik at det blir mulig å sammenligne den barometriske dybden, med dybden målt langs lina.
8. Om mulig gå ned til 20 meter, men 10 meter vil være tilfredsstillende.
9. Om ønskelig kan en også stoppe ved hver knute på oppturen.
10. Etter at loggeren er hentet opp plottes og tolkes dataene og forløpet beskrives.
11. Gjør gjerne en sammenligning mellom barometrisk dybde og målt dybde langs lina. Studer og forsøk å forklar ev. avvik fra det forventede resultatet.

### **3.3 Demontering**

Etter avsluttet kurs pakkes utstyret ned i boksen mest mulig slik det var ved kursets start.

- Demonter kretsene og legg dem tilbake i plastposene.
- Demonter kabelgjennomføringene og legg dem i egen pose
- Klipp strips, men la metallbøylene være som de er
- Tørk vekk overflødig fett
- Legg salinitetssensoren i egen pose, gjerne monterert
- SD-kortet settes i adapteren

Heftet beholdes selvfølgelig.

### **3.4 Kort om behandling av data**

I dette avsnittet skal vi ganske kort vise hvordan man kan plotta data fra en data-loggefil.



### 3.4.1 Skrivning av data til fil

Normalt vil det være lurt å skrive minst mulig tekst inn i fila. Dette forenkler innlasting av dataene til Excel. Programlistingen under viser hvordan de enkelte tallverdiene skrives inn med ; (semikolon) mellom hvert tall og linjeskift mellom hver ny avlesning.

```
Serial.print(tid,1);  
Serial.print(";");  
Serial.print(Dybde,2);  
Serial.print(";");  
Serial.println(Temp,1);
```

Her vil tiden (`tid`) skrives i sekunder med ett siffer (`tid,1`). Dernext følger en semikolon før så dybden skrives i meter med to desimaler (`Dybde,2`). Et nytt semikolon skiller temperaturen som skrives med ett siffer (`Temp,1`). Deretter følger et linjeskift (`Serial.println`) før det samme gjentas i neste linje.

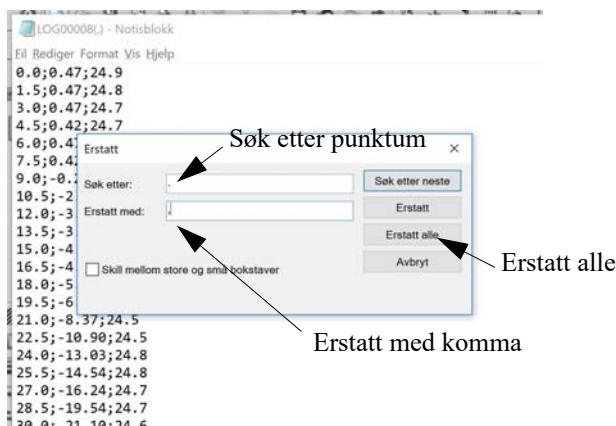
Arduino skrive alle desimaltall med punktum som desimaltegn.

### 3.4.2 Redigering og lagring av datafil

Dersom man har en norsk utgave av Excel vil programmet foretrekke komma som desimaltegn for å tolke dataene som et desimaltall. Det er flere måter å løse dette på:

- Man kan endre tolkningen av desimaltall i Excel. Måten dette gjøres på er noe forskjellig fra de ulike versjonene av Excel.
- Man kan åpne filen i en teksteditor som f.eks. *NotePad++* eller *Notisblokk*. Hvor man kan bruke søk og endre funksjonen og slik endre alle . (punktum) til , (komma), for så å lagre filen på nytt.

Dette er vist i figuren under.



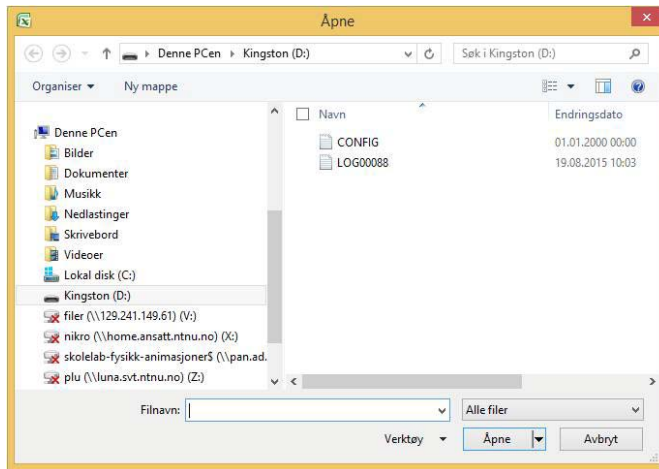
Deretter lagrer man filen under et annet navn



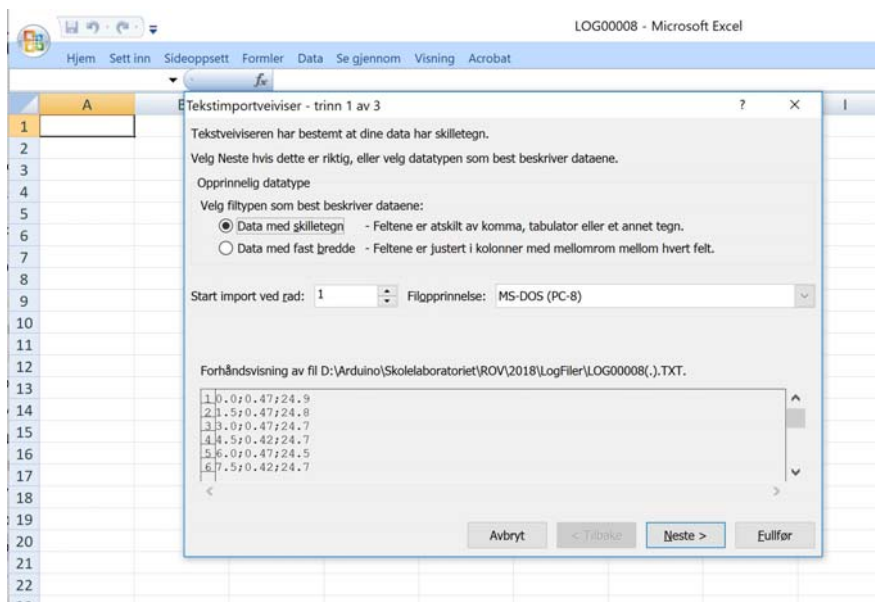
### 3.4.3 Importer data til Excel

Importer av data i Excel kan gjøres på ulike måter. En måte som fungerer er å hente inn filen med “Open”. Da vil man ledes gjennom følgende vinduer for at dataene skal bli formatert på ønsket måte (eksempelet er hentet fra Excel 2007, slik det være noe annerledes i nyere utgaver).

Velg ønsket fil:

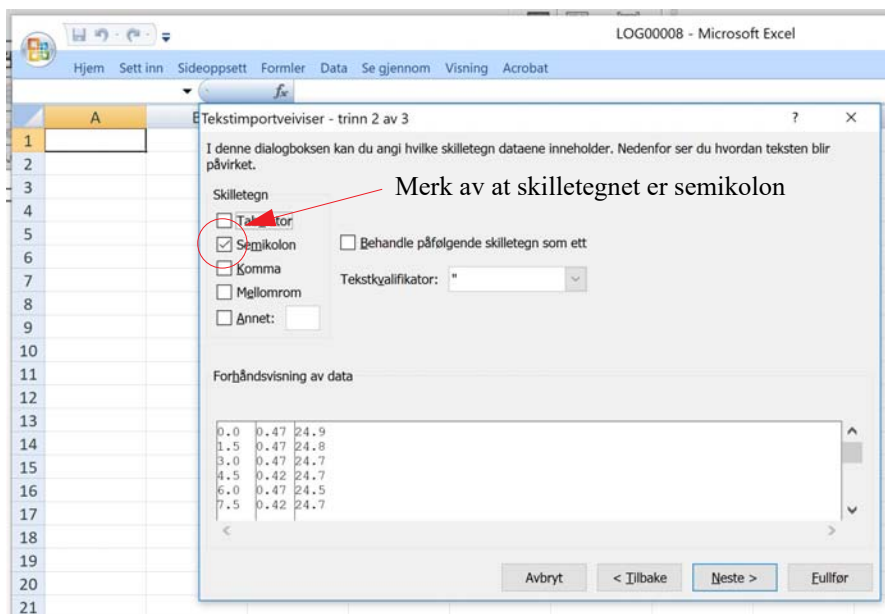


Velg “Data med skilletegn” og bestem fra hvilken rad du ønsker å starte å importere data fra. Trykk så “Neste”:

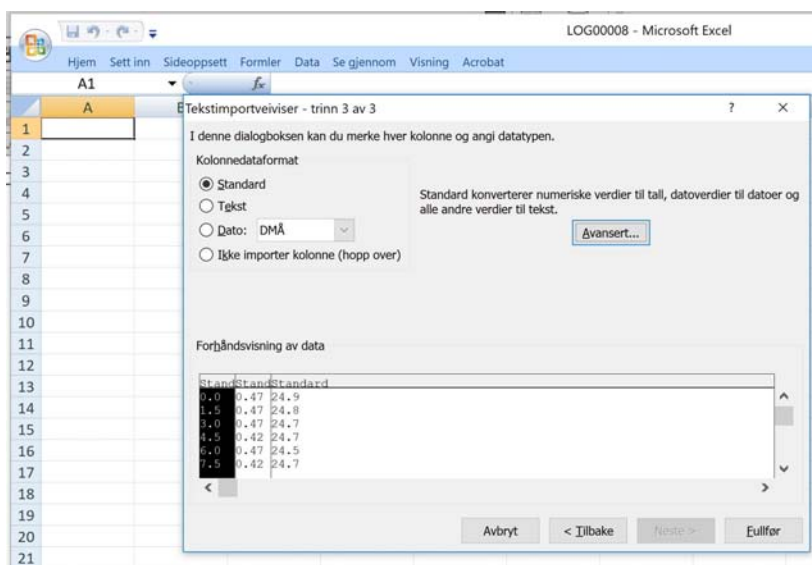




Velg hvilken type skilletegn som er benyttet. I vårt tilfelle har vi benyttet “semikolon”.



Tilslutt velges hvilken type data det gjelder, i vårt tilfelle er det Standard tallformat.





Dermed skal dataene bli importert i regnearket og plasser i tre kolonner.

	A	B	C	D	E	F
1	0	0,47	24,9			
2	1,5	0,47	24,8			
3	3	0,47	24,7			
4	4,5	0,42	24,7			
5	6	0,47	24,5			
6	7,5	0,42	24,7			
7	9	-0,26	24,9			
8	10,5	-2,01	25,1			
9	12	-3,07	25,1			
10	13,5	-3,66	24,9			
11	15	-4,05	24,5			
12	16,5	-4,58	24,6			
13	18	-5,46	24,5			
14	19,5	-6,14	24,4			
15	21	-8,37	24,5			
16	22,5	-10,9	24,5			
17	24	-13,03	24,8			
18	25,5	-14,54	24,8			
19	27	-16,24	24,7			
20	28,5	-19,54	24,7			

### 3.4.4 Plotting av data

Slik kan man lage grafer:

1. Merk de kolonnene som skal representeres av en graf.

Det kan være lurt å lage en overskrift på kolonnene. Overskriften vil automatisk tilordnes seriene i diagrammet. Her har vi lagt til en rad over rad 1 og skrevet inn “Tid”, “Dybde” og Temp.”.

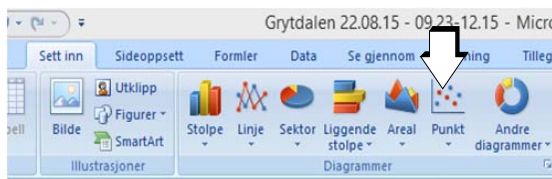
	A	B	C	D	E
1	Tid	Dybde	Temp.		
2	0	0,47	24,9		
3	1,5	0,47	24,8		
4	3	0,47	24,7		
5	4,5	0,42	24,7		
6	6	0,47	24,5		
7	7,5	0,42	24,7		
8	9	-0,26	24,9		
9	10,5	-2,01	25,1		
10	12	-3,07	25,1		
11	13,5	-3,66	24,9		
12	15	-4,05	24,5		
13	16,5	-4,58	24,6		
14	18	-5,46	24,5		
15	19,5	-6,14	24,4		



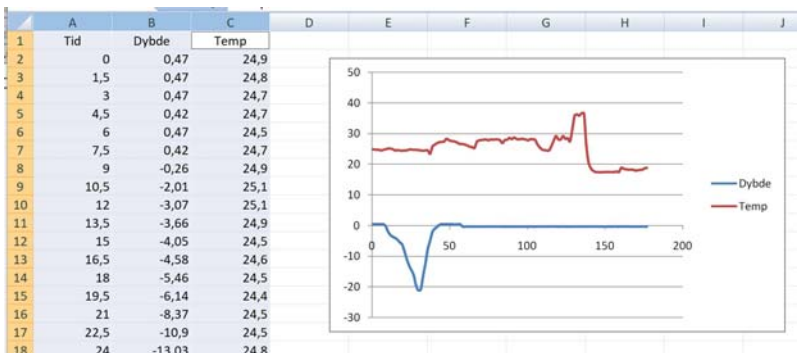


Dersom man ønsker å plote dybde og temperatur som funksjon av tiden i hvert sitt diagram, merker man bare de to kolonnene man ønsker å plote. Gjentar man dette to ganger for ulike parametere vil man få to separate diagrammer.

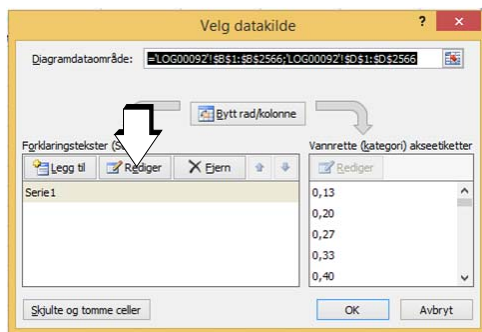
2. Velg type representasjon fra menyen “Sett inn” og velg f.eks. punktdiagram med linjer mellom de ulike punktene i diagrammet:



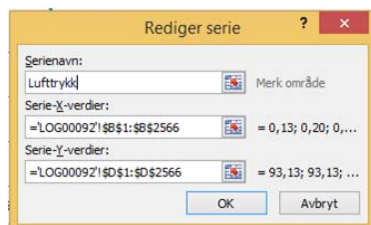
3. Når dette er gjort vil diagrammet tegnes ut som vist på figuren til høyre.



4. Dersom en ikke har satt navn på toppen av kolonnene, kan man legge inn navn på grafene i etterkant. Dette gjøres ved å høyreklikke på rammen av figuren og velge “Merk data” i menyen som framkommer.

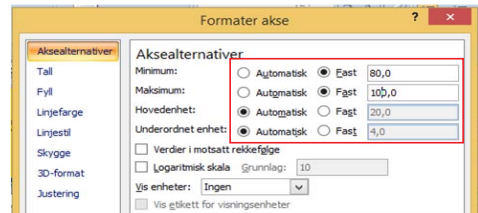


5. Merk “Serie 1” og trykk rediger. Skriv inn nytt “Serienavn”.





6. Dersom man ønsker å endre på akseverdiene, høyre-klikker man på aksene og får opp boksen vist til høyre. F.eks. kan det være ønskelig å sette faste min. og maks. verdier på den vertikale aksene som vist på figuren.



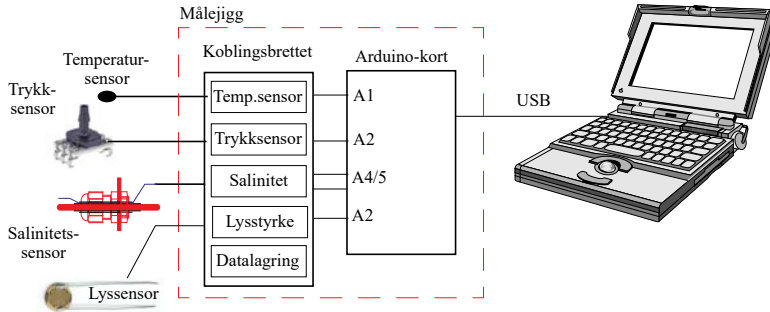
Slik kan man gjøre for alle sammenhenger man ønsker å lage grafer av.



## 4 Sensorteori

I dette kapittelet vil vi først og fremst omtale temperatur- og trykksensoren.

Figuren under viser et blokkdiagram over datainnsamlingsenheten koblet til Arduino-kortet og en bærbar laptop.



La oss først se litt nærmere på de to sensorene, temperatur og trykk. Deretter skal vi se nærmere på måling av lysstyrke og saltholdighet (salinitet)

### 4.1 Temperatursensoren (NTC og PTC-motstander) og måling av temperatur

Metaller vil normalt ha økende resistans med økende temperatur. I et halvledermateriale vil flere ladningsbærere løftes opp i ledningsbåndet slik at ledningsevnen går opp, dvs. at resistansen blir mindre.

De fleste motstandsmaterialer endrer resistans som funksjon av temperaturen. Som regel er dette uønsket, men i noen spesielle tilfeller ønsker man nettopp en slik variasjon og utformer komponenten og materialet deretter. Slike motstander brukes også i forbindelse med måling eller deteksjon av temperaturendringer, eller til å motvirke uønsket temperaturdrift i elektronisk utstyr.

- NTC - *Negative Temperatur Coefficient*, dvs. at resistansen avtar med økende temperatur.
- PTC - *Positive Temperatur Coefficient*, dvs. at resistansen øker med økende temperatur.

#### NTC-motstanden

NTC-motstander er laget av et materiale hvis resistivitet varierer sterkt med temperaturen. Som navnet sier (*Negative Temperature Coefficient* - NTC) så avtar resistansen med økende temperatur.

NTC-motstander er derfor vanligvis bygget opp som en polykrytalinsk halvleder som kan bestå av en blanding av krom, mangan, jern, kobolt og nikkel, som sintres<sup>8</sup> sammen med et plastisk bindemiddel.

En forenklet sammenheng mellom resistansen ( $R$ ) og temperaturen ( $T$ ) kan uttrykkes som:

---

8. Sintring betyr at metallpulver knyttes sammen ved hjelp av oppvarming, men uten å smelte.



$$R = Ae^{B/T} \quad (4.1)$$

hvor  $A$  og  $B$  er “konstanter” bestemt av materialet og temperaturen. Konstantene kan betraktes som *tilnærmet konstante* innen begrensede temperaturområder.

I datablader for NTC-motstander oppgis gjerne resistansen ( $R_r$ ) for en referansetemperatur ( $T_r$ ). I et temperaturområde rundt denne referansetemperaturen antas  $B$ -verdien å være tilnærmet konstant ( $B_{0/100}$  –  $B$ -verdien er tilnærmet konstant innen området  $0^\circ\text{C}$  til  $100^\circ\text{C}$ ).

Vi kan da sette opp følgende:

$$R = Ae^{\frac{B_{0/100}}{T}} \quad (4.2)$$

$$R_r = Ae^{\frac{B_{0/100}}{T_r}} \quad (4.3)$$

Ved å eliminere  $A$  fra disse uttrykkene, kommer vi fram til følgende sammenheng, løst med hensyn til resistansen  $R$ :

$$R = R_r \cdot e^{\left(\frac{B_{0/100}}{T} - \frac{B_{0/100}}{T_r}\right)} \quad (4.4)$$

Dette uttrykket går under betegnelsen *Beta-formelen*.

Når vi skal beregne verdien for en NTC-motstand ved en gitt temperatur, slår vi opp  $B$ -verdien,  $R_r$  og  $T_r$  i databladet, sørger for at de aktuelle temperaturene ligger innenfor området til  $B$ -verdien, og beregner  $R$  ved å sette inn ønsket temperatur  $T$ . Temperaturen angis i grader Kelvin.

### NTC-motstanden “B57550G1103F005” (B57550G)<sup>9</sup>

Fra databladet<sup>10</sup> for B57550G finner vi følgende:  $R_{25}$  er referansemotstand ( $R_r$ ) ved  $25^\circ\text{C}$  ( $T_r = 298\text{ K}$ ):

$R_{25}$ $\Omega$	No. of R/T characteristic	$B_{25/85}$ K	$B_{0/100}$ K	$B_{25/100}$ K	Ordering code
2 k	8401	3420	3390 $\pm 1\%$	3436	B57550G0202+000
2 k	8401	3420	3390 $\pm 1\%$	3436	B57550G0202+002
5 k	8402	3480	3450 $\pm 1\%$	3497	B57550G0502+000
5 k	8402	3480	3450 $\pm 1\%$	3497	B57550G0502+002
10 k	7003	3612	3586	3625 $\pm 1\%$	B57550G1103+005
10 k	7003	3612	3586	3625 $\pm 1\%$	B57550G1103+007
10 k	8307	3478	3450	3492 $\pm 1\%$	B57550G1103+000
10 k	8307	3478	3450	3492 $\pm 1\%$	B57550G1103+002
20 k	8415	3992	3970 $\pm 1\%$	4006	B57550G0203+000

9. Vi har tidligere benyttet RH16 50kOhm. Vi har imidlertid at denne er gått ut av sortementet til ELFA. Vi har derfor valgt alternativet B57550G1103F005 – 10 kOhm som alternativ

10. Databladet er hentet fra: [https://www.elfa.se/Web/Downloads/\\_t/ds/B57550G-B57550G1\\_eng\\_tds.pdf?mime=application%2Fpdf](https://www.elfa.se/Web/Downloads/_t/ds/B57550G-B57550G1_eng_tds.pdf?mime=application%2Fpdf)



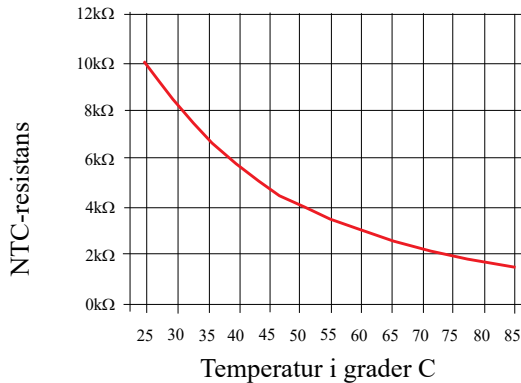
### Datablad for NTC-motstand B57550G, 2–30 kΩ

Med disse dataene kan vi skrive:

$$R = 10\text{k} \cdot e^{\left(\frac{3586}{T} - \frac{3586}{298}\right)} \quad (4.5)$$

hvor  $B_{0/100} = 3586$  (B57550G1103F005 – 10 kΩ) og referansetemperaturen  $T_r = 298$  K.

Dersom vi beregner verdier for R i temperaturområdet 25°–85°C, får vi følgende graf:



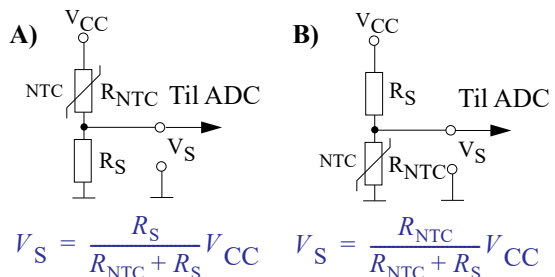
NTC resistans som funksjon av temperaturen B57550G1103F005 10 kΩ

En annen viktig parameter for NTC-motstander, er hvor raskt resistansen endrer seg med temperaturen. Denne parameteren betegnes *NTC-motstandens tidskonstant* ( $\tau$ ), og angir den tiden det tar for resistansen og endre seg til 63,2% av den nye resistansen etter at temperaturen har endret seg 1 K (Kelvin) over omgivelsestemperaturen. En antar at temperaturendringen ikke er forårsaket av indre oppvarming på grunn av elektrisk strøm som flyter gjennom motstanden.

I vårt eksempel er  $\tau = 7$  sek i luft. (se datablad). Legg merke til at tidskonstanten er angitt for kontakt med luft. Ved kontakt med vann, vil denne reduseres betydelig, så den burde derfor ikke skape problemer.

### Oppkobling mot ADC

Siden grensnittet til kontrolleren krever en spenning, kobles NTC-motstanden i serie med en motstand som vist i figuren under. Velg verdien på seriemotstanden lik den nominelle verdien på NTC-motstanden ( $R_{25}$ ). Spenningsnivået  $V_S$  beregnes fra formlene som antydte på figuren under. Legg merke til at oppkoblingen på tegning A gir økende spenning  $V_S$  med økende temperatur, mens oppkoblingen i tegning B gir fallende spenning med økende temperatur.





På bakgrunn av ligningene foran kan en utvikle et uttrykk for temperaturen som funksjon av spenningen som kan legges inn i prosessoren.

### En alternativ NTC-motstand, RH16<sup>11</sup>

Det finnes et stort utvalg NTC-motstander. RH16 er et alternativ som fungerer på samme måte som B57550G. Den varianten vi omtaler her har en referanse resistans ved 25 C på 50 kΩ. som vi ser av kurven så er sammenhengen mellom temperatur og motstandsverdi sterkt ulineær. La oss se hva som skjer med spenningen når NTC-motstanden settes inn i en spenningsdeler.

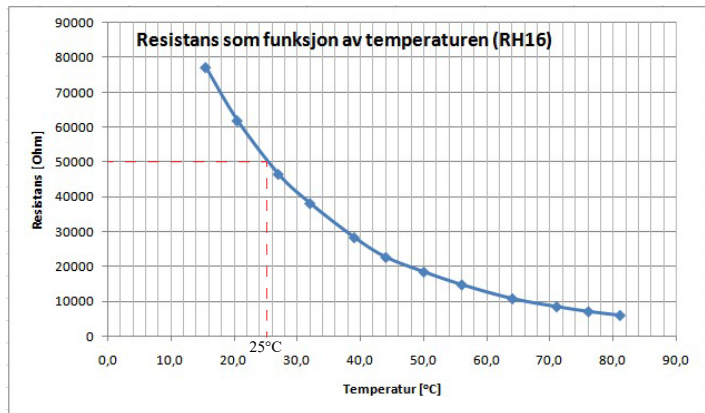
Vi har gjort målinger på RH16 og fått følgende kurve.

Målingen ble gjort med et Ohm-meter. NTC-motstanden ble senket ned i et glass med ca. 2 dl springvann oppvarmet med en vannkoker før det fikk lov til å kjøle seg i romtemperatur. Vi ser at ved 25°C er verdien omtrent 50 kΩ som spesifisert i databladet.

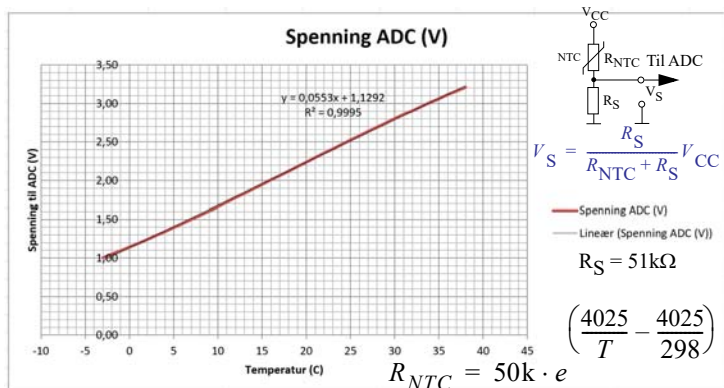
En datalogger vil også kunne benyttes.

Kurven til høyre viser simulert spenning ut av spenningsdeleren med en serie motstand på 51kΩ. Som vi ser så er den ganske lineær i området mellom 0 til 35°C. Vi ser imidlertid antydning til at den begynne å bøye av i endene.

Spenningsdeleren er simulert i Excel og viser at med en seire motstand ( $R_S$ ) med en verdi lik referansmotstanden, så vil den bli ganske lineær omkring referansetemperaturen. Vi kan gjøre andre områder lineære ved å endre på verdien til seriemotstanden.



Resistans som funksjon av temperatur for RH16 – 50 kΩ

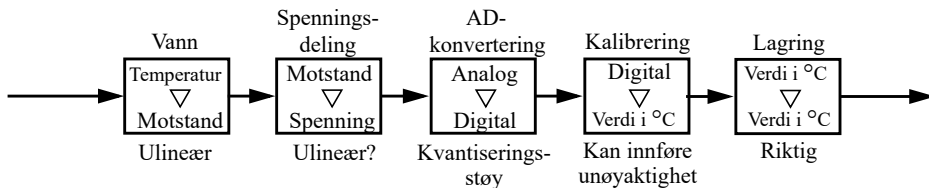


11. Det er foreløpig ikke foretatt målinger av B57550G1103F005, da vi ennå ikke har fått bestilt den.



## Måleusikkerhet for temperatursensoren

NTC-motstanden er en relativt kjapp sensor hovedsakelig pga av sine små dimensjoner. Det skal lite energiflyt til for å varme opp eller avkjøle materialet. Siden NTC-motstandens i seg selv er sterkt ulineær så vil en linearisering uansett være en tilpasning som kun gjelder for en relativt snevert temperaturområde. Figuren under har vi satt opp en kjede som beskriver de ulike overgangene fra temperaturen i vannet til lagret verdi på SD-kort ev. overføring av verdien på kablen.



Uten at vi har gjennomført nøyaktige undersøkelser så er det rimelig å anta at de største feilene innføres ved å anta at overgangen fra motstand til spenning i spenningsdeleren er lineær. Feil vil også kunne innføres under kalibreringen, hvor vi er avhengig av presisjonen til det kalibrerte termometeret og hvor nøyaktig vi klarer å lese av verdien til NTC-motstanden. Dessuten vil AD-konverteren innføre kvantiseringsstøy siden den analoge spenningen fra spenningsdeleren må tilordnes diskrete verdier.

### 4.1.1 Prosedyre for kalibrering av temperatursensoren

Som det tydelig framgår av avsnittet foran så er det kilder til feil i målekjeden. Når det gjelder tilfeldige feil (støy) så er det ikke så mye vi kan gjøre enn ev. å midle over flere målinger og skjerme elektronikken for innslag støy som kan være krevende nok dersom vi kommer ut for slike problemer.

Siden målingene som oftest er relative så må vi foreta kalibreringer hvor vi knytter spenningsverdier til henholdsvis temperatur og trykk. Vi foretar ikke en kalibrering for hvert trinn, men tar hele kjeden under ett. Kalibreringen vil også fjerne systematiske feil i kjeden så fremt disse er relativt stabile over tid. Varierer de over tid må kalibreringen foretas oftere.



Til kalibrering av temperaturmålingen trenger vi følgende:

- Et kalibrert termometer, et glasstermometer er tilstrekkelig i denne omgangen.
- Vann med forskjellige temperaturer
- Ett begerglass til å ha vannet i
- NTC-sensoren med tilhørende elektronikk

Slik går vi fram ved kalibreringen:

1. Fyll begerglasset med vann med en temperatur på rundt 10 °C (springvann)
2. Installer måleprogrammet i Arduino-kortet slik at programmet starter
3. Åpne monitorvinduet og finn spenningsverdiene fra NTC-motstanden: “Digital temp.”
4. Dypp NTC-motstanden i vannet med *lav* temperatur ( $t_L$ ) og noter en tilnærmet middelvei for den digitale spenningsverdien for temperaturen: “Digital temp.” ( $U_L$ )
5. Les av termometeret som viser temperaturen på vannet, og noter verdien ( $t_L$ )
6. Fyll begerglasset med lunkent vann f.eks. 30 °C
7. Åpne monitorvinduet og studer spenningsverdiene fra NTC-motstanden: “Digital temp.”
8. Dypp NTC-motstanden i vannet med *høy* temperatur ( $t_H$ ) og noter en tilnærmet middelvei for den digitale spenningsverdien for temperaturen: “Digital temp.” ( $U_H$ )
9. Les av temperaturen på vannet og noter verdien ( $t_L$ )

Vi har nå fire verdier, to temperaturer ( $t_L$  og  $t_H$ ) og to spenninger ( $U_L$  og  $U_H$ ), vi har dermed to punkter på en linje som beskriver sammenhengen mellom temperatur og spenning under forutsetning av at den er ganske lineær.



Digital spenningsverdi for temp. fra NTC	
Nr.: 1, Analogt trykk: 2.83, Beregnet dybde: -0.10 m	Digital temp.: 470, Beregnet temp.: 20.39 C
Nr.: 2, Analogt trykk: 3.13, Beregnet dybde: -0.08 m	Digital temp.: 471, Beregnet temp.: 20.49 C
Nr.: 3, Analogt trykk: 3.70, Beregnet dybde: -0.03 m	Digital temp.: 471, Beregnet temp.: 20.49 C
Nr.: 4, Analogt trykk: 2.97, Beregnet dybde: -0.09 m	Digital temp.: 471, Beregnet temp.: 20.49 C
Nr.: 5, Analogt trykk: 2.38, Beregnet dybde: -0.14 m	



Måling	Avlest “Digital temp.”	Avlest temp. termometer
Ved lav temperatur	$U_L =$	$t_L =$

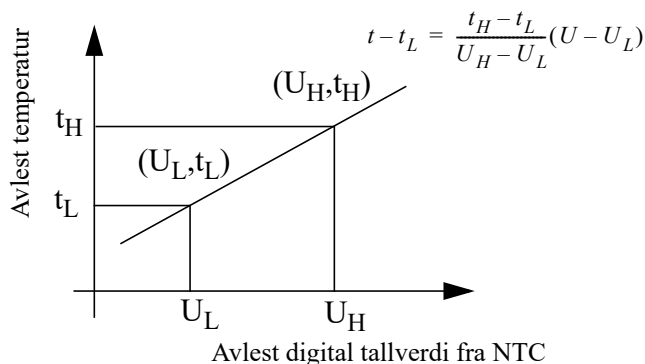




Måling	Avlest "Digital temp."	Avlest temp. termometer
Ved høy temperatur	$U_H =$	$t_H =$

### Omregning fra digital spenning til temperatur (RH16)

Figuren under illustrerer hvordan vi bruker topunktsformelen i denne sammenheng.



På dette grunnlaget kan vi sette opp følgende formel:

$$t - t_L = \frac{t_H - t_L}{U_H - U_L} (U - U_L) \quad (4.6)$$

Topunktsformelen for lineære ligninger kan også skrives slik:

$$t = ((t_h - t_L) / (U_H - U_L)) * (U - U_L) + t_L \quad (4.7)$$

Hvis  $k = (t_h - t_L) / (U_H - U_L)$  (stigningskoeffisienten), kan vi skrive ligningen slik:

$$t = k (U - U_L) + t_L \quad (4.8)$$

**Denne formelen er realisert i Arduino-programmet.** For oss er det derfor bare å sette inn de målte verdiene for den digitale verdien for spenningen ved lav og høy temperatur og temperaturene i grader C som vist under.

I programmet har vi valgt følgende uttrykk for de fire verdiene (de verdiene som står er eksempler):

// Skriv inn de avleste og målte verdiene for spenning og temperatur her

```
int U_Lav_A2 = 382;      // U_L (digital verdi for spenningen på A0, registrert lav temperatur)
int U_Hoy_A2 = 686;    // U_H (digital verdi for spenningen på A0, registrert ved høy temperatur)
float t_Lav = 12;      // t_L (lav kalibreringstemperatur i grader C)
float t_Hoy = 41;     // t_H (høy kalibreringstemperatur i grader C)
```

// På bakgrunn av disse verdiene leser programmet av og beregner følgende verdier:



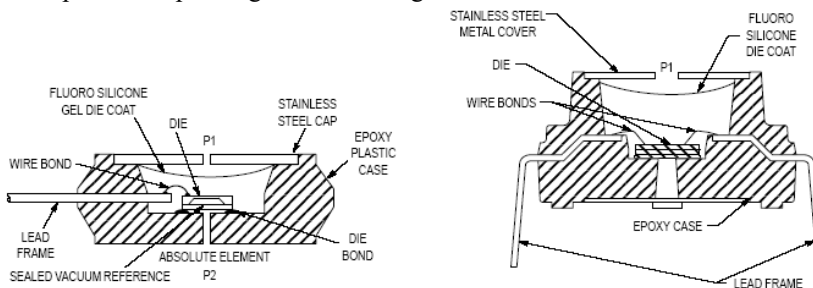
```
int U_A2 = 0;           // U (avlest digitalverdi for spenning på A0 ved aktuell posisjon)
float t_Beregn = 0;    // t (beregnet temperatur ved aktuell posisjon)
```

## 4.2 Trykksensoren og måling av trykk

### 4.2.1 Måling av lufttrykk ved endring i resistans (piezo-resistivitet)

Den piezo-resistive effekten er forskjellig fra den piezo-elektriske effekten. Den piezo-resistive effekten ble oppdaget av **Lord Kelvin** i 1856. Først i 1954 oppdaget C.G. Smith at germanium- og silisiumkrystaller hadde spesielt store variasjoner i ledningsevnen når de ble utsatt for mekanisk stress. Ledningsevnen til materialer er avhengig av mengden ladningsbærere i ledningsbåndet og hvor lett elektroner kan frigjøres fra valensbåndet. Dette er igjen avhengig av størrelsen på *båndgapet* mellom lednings- og valensbåndet i materialet. Når de nevnte materialene utsettes for stress, vil båndgapet endre seg og dermed også ledningsevnen.

De fleste trykksensorer som brukes til å måle moderate lufttrykk bruker piezo-resistive elementer som trykkløpere. Dvs. at lufttrykket presser på framsiden av en piezo-resistiv skive. Baksiden av skiven har et veldefinert trykk (f.eks. vakuum). Skiva er utformet slik at de resistive elementene i skiva kan inngå i en målebro slik at endring i resistivitet kan omgjøres til en spenning. Denne forsterkes til ønsket nivå. De nevnte sensorene er utstyrt med en integrert forsterker slik at sensorene leverer en passende spenning som er rimelig lineær over det aktuelle måleområdet.



Figur 4.1 Utforming av trykksensor med piezo-elektriske elementer.

### 4.2.2 Trykkmåler ABPMANN004BGAA5 (Honeywell)

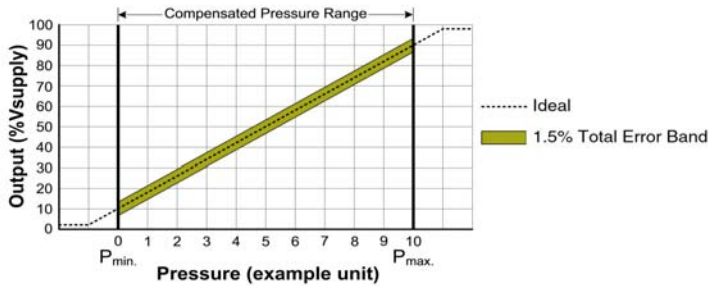
ABP-serien er en piezo-resistiv silikontrykksensor som tilbyr en analog eller digital utgang for avlesning av trykk over det angitte trykkområdet og temperaturområdet i full skala.

- Måleområde: 0 – 4 bar, typisk 0 – 30 meter
- Oppløsning, trykk:  $\pm 0,25\%$  av full skala
- Utgang: Analog spenning 0,5 – 4,5 V
- Spenningsforsyning ( $V_{CC}$ ): 4,75 – 5,25 V
- Strømforsyning: 2,7 mA





Spenningen på utgangen av den analoge versjonen av sensoren er vist i figuren under.



$$\text{Output (V)} = \frac{0.8 \times V_{\text{supply}}}{P_{\text{max}} - P_{\text{min}}} \times (\text{Pressure}_{\text{applied}} - P_{\text{min}}) + 0.10 \times V_{\text{supply}}$$

Dersom vi snur om på formelen og setter  $P_{\text{Min}} = 0$  og  $\text{Pressure}_{\text{applied}} = P$ , kan vi skrive trykket som funksjon av spenningen og får:

$$P = \frac{P_{\text{Max}}}{0,8 \cdot U_{\text{supply}}} (U_{\text{out}} - 0,1 \cdot U_{\text{supply}}) \quad (4.9)$$

Hvor

- $P$  Målt trykk
- $U_{\text{supply}}$  Forsyningsspenningen, f.eks. 5,0 V
- $U_{\text{out}}$  Spenning på utgangen
- $P_{\text{max}}$  Trykkets maksimalverdi, 4 bar

Vi kan skrive formelen som en forenklet utgave:

$$P = U_{\text{out}} - 0,5 \quad (4.10)$$

Imidlertid er det ikke sikkert at  $U_{\text{supply}}$  er eksakt 5,0 V selv om det sitter en regulator på kortet. Spesielt dersom Arduino-kortet får strøm fra USB-kabelen. Så denne spenningen må vi måle.

Innledende målinger antyder følgende:

- $U_{\text{supplyUSB}}$  ca. 4,72 V
- $U_{\text{supply9V}}$  ca. 5,09 V

Vi ser dermed at den interne regulatoren på Arduino-kortet gir noe høyere spenning enn spenningen fra USB-porten på PC'en. Dette bør en være klar over dersom man ønsker å få mest mulig nøyaktige målinger. Pass på at riktig spenningskilde brukes ved kalibrering og under selve måleserien.

Videre må vi regne om den digitale verdien av  $U_{\text{out}}$   $U_{\text{outD}}$ , til spenning med omregningsformelen:

$$U_{\text{out}} = (U_{\text{supply}}/1023) * U_{\text{outD}} \quad (4.11)$$



Denne setter vi så inn i ligning (4.9) og får:

$$P = \frac{P_{Max}}{0,8 \cdot U_{supply}} \left( \frac{U_{supply} \cdot U_{outD}}{1023} - 0,1 \cdot U_{supply} \right) \quad (4.12)$$

Dette kan forenkles til:

$$P = \frac{P_{Max}}{0,8} \left( \frac{U_{outD}}{1023} - 0,1 \right) \quad (4.13)$$

Med andre ord vi ser at trykket blir uavhengig av supplyspenning  $U_{supply}$  hvilket forenkler målingene og kalibreringen en god del.

Siden  $P_{Max}$  for denne sensoren er 4 bar kan vi også forenkles dette uttrykket:

$$P = 5 \left( \frac{U_{outD}}{1023} - 0,1 \right) \quad (4.14)$$

Uttrykket er nå klart for å legge inn kalibreringsverdien for det aktuelle lufttrykket og omregning til m.u.h.

### Kalibrering

Siden vi er mest interessert i dybden i meter under overflate må vi regne om fra trykk til meter under overflata og kalibrere trykksensoren slik at den viser 0.0 meter i overflatestilling. Figuren under viser trykk i bar som funksjon av dybden i meter<sup>12</sup>. Som vi ser så er sammenhengen svært lineær. Ser vi nærmere på tallene ligger de nær 0,1005 bar/meter fra 0 – 30 under overflate.



12. Kurven er beregnet ut fra en kalkulator funnet på nettet: [http://www.calctool.org/CALC/other/games/depth\\_press](http://www.calctool.org/CALC/other/games/depth_press)



For å regne om fra trykk til m.u.h.<sup>13</sup> antar da at trykket øker med 0,1005 bar/meter. Dessuten vet vi at trykket ved havoverflata er ca. 1 bar, men vil variere noe med lufttrykket. Vi kan da sette opp følgende:

$$Dybde = 5 \left( \frac{U_{out} D}{1023} - 0,1 \right) / \Delta p_{prm} - D_0 \quad (4.15)$$

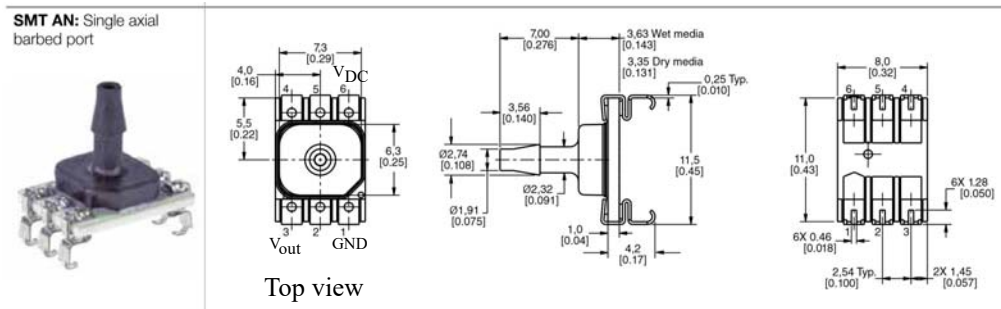
Hvor:

- Dybde*      Beregnet dybde under overflata i meter  
*V<sub>out</sub>D*      Målt digital verdi for trykket  
*D<sub>0</sub>*          Målt avvik i dybde ved overflata  
*Δp<sub>prm</sub>*      Endring i vanntrykk i bar/meter lik 0,1005 bar/meter

Denne realiseres i programmet.

### Utforming av sensoren og pinning

Under er vist kretsens layout.



Figuren under viser pinningen til kretsen.

Output Type	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5	Pin 6
Digital (I <sup>2</sup> C, SPI)	GND	V <sub>DD</sub>	SS/INT	NC	SDA	SCL
Analog	GND	NC	V <sub>out</sub>	NC	NC	V <sub>DD</sub>

I vårt tilfelle er vi mest interessert i pinningen for den analoge varianten av kretsen.

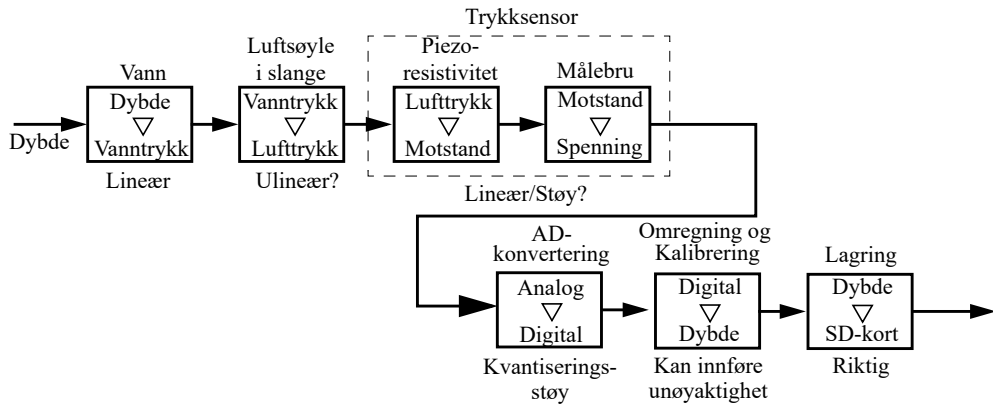
### 4.2.3 Måleusikkerhet for trykksensoren

Etter at Arduino-kortet har hentet inn data fra sensorene og funnet  $U_{out}$ , så regnes spenningen om til dybde. Vi kan anta, men det er slett ikke sikkert, er at det innenfor det måleområdet vi skal bruke denne sensoren (0–30 meter), så er det en rimelig lineær sammenheng mellom spenningen

<sup>13</sup>13.meter under havet



ut av sensoren og lufttrykket i slangen. Dessuten antar vi en lineær sammenheng mellom trykk og dybde. Figuren under gir en oversikt over målekjeden for trykk til beregnet dybde og mulige feilkilder og ulineariteter:



På figuren har vi forsøkt å antyde hvor vi må være oppmerksomme på mulige feilkilder.

#### 4.2.4 Prosedyre for kalibrering av trykksensoren

Som det tydelig framgår av avsnittet foran så er det kilder til feil i målekjeden. Når det gjelder tilfeldige feil (støy) så er det ikke så mye vi kan gjøre annet enn ev. å midle over flere målinger og skjerme elektronikken for innslag fra støy som kan være krevende nok dersom vi kommer ut for slike problemer.

Siden målingene som oftest er relative så må vi foreta kalibreringer hvor vi knytter spenningsverdier til henholdsvis temperatur og trykk. Vi foretar ikke en kalibrering for hvert trinn, men tar hele kjeden under ett. Kalibreringen vil også fjerne systematiske feil i kjeden så fremt disse er relativt stabile over tid. Varierer de over tid må kalibreringen foretas oftere.

Her skal vi vise hvordan vi gjør en enkel kalibrering samt hvordan vi ev. kan kontrollere at dette gir fornuftige verdier for måling av dybden.

Vi tar da utgangspunkt i ligning (4.16) som er (4.15) innsatt for  $\Delta p_{prm} = 0,1005$  bar/meter:

$$Dybde = 49,75 \left( \frac{U_{outD}}{1023} - 0,1 \right) - D_0 \quad (4.16)$$

1. Monter opp målesonden slik den skal være med tilkobling til PC via USB-kabelen.
2. Last opp testprogrammet og velg opt = 1 slik at det er mulig å lese av dybden i meter
3. Åpne monitorprogrammet og les av dybden som nå egentlig skal være 0,0 meter
4. Skriv den avleste verdien inn i programmet for parameteren D0:

```
// -----Legg inn verdier for kalibrering av dybde -----//  
float D0 = 0.38; // Avlest dybde ved overflata for kalibrering
```



```
int U_outD;          // Avlest digitalverdi for spenning
float Trykk = 0;     // Målt trykk
float Dybde = 0;     // Beregnet av dybde
float DPprm = 0.1005; // Trykkendring pr. meter i saltvann
```

5. Last opp programmet og kontrollert at dybden nå er lik 0,0 m. Det kan godt være at den vil variere med  $\pm$  noen cm.

Dersom du har tilgang til vann med en viss dybde kan du foreta en kontrollmåling av dybden. Dersom kontrolldybden er mindre enn en meter, kan du la USB-kabelen være tilkoblet mens du senker målesonden ned i vannet. Ellers må du logge data på SD-kortet:

6. Knytt en snor til sonden
7. Lag en knute på snora 1 meter over inngangen til trykksensoren (enden av slangen)
8. Koble til batteri, lokk målesonden og senk den ned i vann. Hold den rolig i noen sekunder for hver dybde slik at du blir istand til å skjønne at du har nådd en bestemt dybde i meter.
9. Heis opp etter endt måling og last inn filen og kontroller at dybdene hvor du har holdt målesonden i ro stemmer med hvordan du senket sonden ned i vannet.
10. Dersom du ser at det er en stadig økende feil, så kan du beregne et avvik som du kan korrigere for ved å multiplisere beregningsalgoritmen med en passende konstant som kompenserer for avviket.
11. Dersom du har en stor målesylinder som vi har så kan du gjøre det samme ned til ca. 1 meters dybde som vist på bildet til høyre.

```
COM8
Tid 0.0;, Trykk: -0.02 bar
Beregnet dybde: 0.38 m
Digital temp.: 505, Beregnet temp.: 25.4 C
Tid 1.5;, Trykk: -0.02 bar
Beregnet dybde: 0.38 m
Digital temp.: 504, Beregnet temp.: 25.3 C
Tid 3.1;, Trykk: -0.02 bar
Beregnet dybde: 0.38 m
Digital temp.: 505, Beregnet temp.: 25.4 C
Tid 4.6;, Trykk: -0.01 bar
Beregnet dybde: 0.28 m
Digital temp.: 505, Beregnet temp.: 25.4 C
Tid 6.1;, Trykk: -0.02 bar
Beregnet dybde: 0.42 m
Digital temp.: 505, Beregnet temp.: 25.4 C
Tid 7.7;, Trykk: -0.02 bar
```

Bla automatisk



For å kontrollmåle dydberegningene når den senkes ned i en stor plastsylinder, trenger man følgende:

- En stor plastsylinder på over en meter og en diameter som gjør det mulig å senke målekammeret under vann
  - Vann for å fylle plastsylinderen
  - En stang eller et plastrør som kan brukes til å holde plastsylinderen under vann (ev. lodd)
  - En tommestokk eller metermål
  - Trykk-sensoren med tilhørende elektronikk i målesonden
1. Senk målesonden ned i målesylinderen. Bruk gjerne en stang for å presse den ned istedet for loddet. Dermed vil du kunne komme dypere ned i sylinderen
  2. Mål dybden fra overflata og ned til innløpet av plastslangen
  3. Undersøk om denne stemmer med den beregnete verdien som kan leses av i Arduino monitoren



### 4.3 Salinitetssensoren og måling av saltinnhold i havvann

*I dette avsnittet som kan virke omfattende, vil vi se nærmere på hvordan man måler og angir saltholdighet i sjøvann. Vi vil se litt på hva sjøvann inneholder av salter og mineraler og litt om historien bak måling av saltinnhold eller salinitet. Vi vil nevne hvilke måter man bruker for å måle saltinnholdet, og hvilken matematisk sammenheng som er gjeldene mellom elektrisk ledningsevne, saltholdighet, temperatur og trykk. Dernest vil studere hvilke utfordringer man møter ved måling av ledningsevne og hvordan ulempene kan reduseres. Vi beskriver hvordan man kan lage sensorer og viser testresultater for to ulike sensorløsninger. Avsnittet beskriver også hvordan man lager kalibrerte løsninger og gir forslag til hvordan man kan utføre kalibrering av sensoren.*

*Avsnittet gir underlag for videre arbeid med å lage en sensor for saltholdighet, men arbeidet er ikke ført helt i mål. Vi oppfordrer derfor til å arbeide videre i klasserommet med å utforske disse måleteknikkene.*

*Det har hele tiden vært vårt ønske å lage noe som er så billig og enkelt som mulig slik at det lar seg realisere i skolen. Om dette er mulig står fortsatt igjen å se. De som ikke ønsker å fordype seg i bakgrunnen for måling av saltholdighet, kan gå direkte til avsnitt 4.3.6 på side 75.*





Saltinnholdet i vann angis gjerne i promille eller ppt (parts pr. thousand)

Saltinnholdet i vann kan måles på flere måter:

- Ved å måle opp en liter saltvann og la det tørke inn for så å måle hvor mye utfelt salt som ligger igjen i beholderen. Dette er en temmelig langsom og omstendelig prosess.
- Ved å måle ledningsevnen til vannet. Ledningsevnen er det inverse av den elektriske motstandsverdien (resistansen) i vannet. Denne metoden er rask, men ikke så nøyaktig som den første. Ledningsevnen er blant annet også sterkt avhengig av vanntemperaturen.
- Ved å måle tettheten til saltvannet. Metoden er billig og enkel, men ikke så nøyaktig med mindre man tar hensyn til temperaturen.

Vann med forskjellig saltinnhold har fått navn etter mengden salt.

Ferskvann	<0,5 ppt
Brakkvann	0,5 – 30 ppt
Saltvann	30 – 50 ppt
Sjøvann	ca. 35 ppt (middelverdi)
Brine	> 50 ppt

Adriaterhavet er det havområdet i det verdensomspennende havet med høyest saltinnhold, med sine drøyt 38 ppt. Mens Dødehavet, som er et isolert havområde, har et saltinnhold på ca. 300 ppt.

#### 4.3.1 Innhold av salter og mineraler i havvann<sup>14</sup>

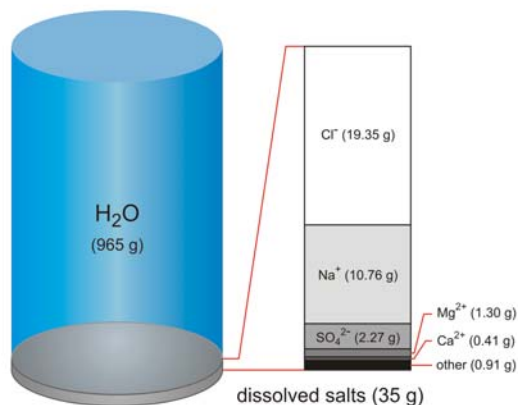
Sjøvann er ganske sammensatt selv om natriumklorid (NaCl) er sterkt dominerende.

Natriumkloridet er oppløst og spaltet i ioner ( $\text{Cl}^-$  og  $\text{Na}^+$ ). Figuren til høyre gir en grov oversikt over hovedbestanddelene i havvann.

Hver liter sjøvann inneholder ca. 34 g oppløste salter som ved 10°C gir en saltholdighet på 35 ppt og en tetthet på 1,0270 kg/liter.

Pr. dags dato er mer enn 90 ulike kjemiske elementer funnet i sjøvann. Disse kan klassifiseres i to hovedgrupper: Hovedelementer eller *makrokomponenter* og sporelementer *mikrokomponenter*. De oppløste hovedelementene utgjør ca. 99,95%, hvorav natrium og klor utgjør ca 85% av disse.

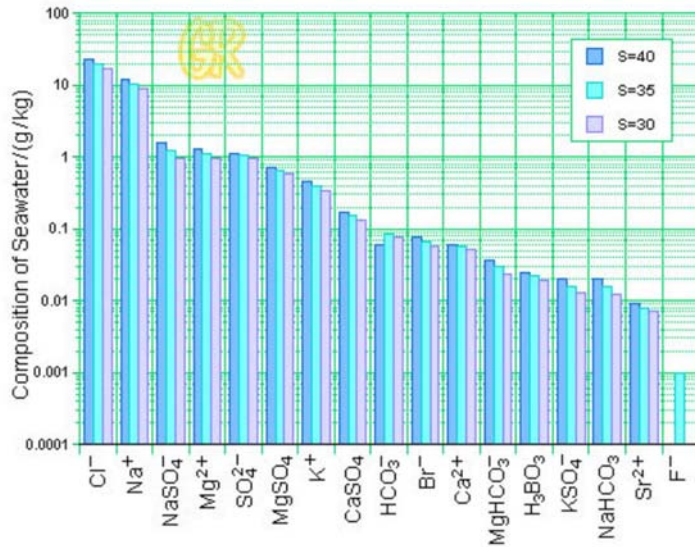
Chemical composition of 1 kg seawater with a salinity of 35'



14. [https://www.periodni.com/chlorinity\\_and\\_salinity\\_of\\_seawater.html](https://www.periodni.com/chlorinity_and_salinity_of_seawater.html)



Søylediagrammet under viser innholdet av makro og mikrokomponenter. Legg merke til at den vertikale skalaen er logaritmisk.

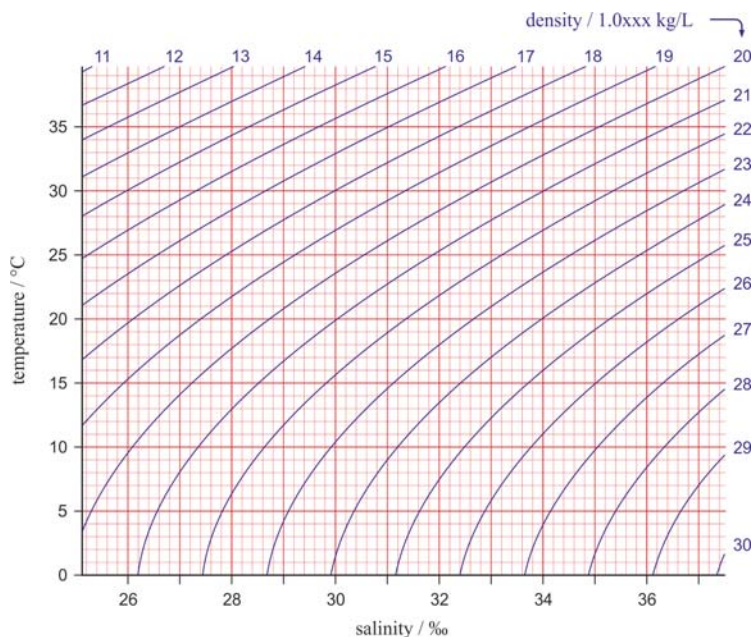


Saltinnholdet i havet er oppstått gjennom et langvarig samvirke mellom atmosfæren, biosfæren (alt biologisk liv), geosfæren (mineraler og bergarter) og hydrosfæren (alt salt- og ferskvann), og påvirker de fleste prosesser og alt liv i havet.



### 4.3.2 Saltvanns tetthet (TSD graf – Temperature - Salinity - Density graph<sup>15</sup>)

Destillert vann vil ha en tetthet på 1 kg/liter eller 1000 g/liter ved 4°C. Etter som saltinnholdet øker, vil vannets tetthet øke. Tettheten er dessuten avhengig av temperaturen som vist i figuren under.



Figuren viser tetthet som funksjon av saltholdighet (25 – 37 ppt) og temperatur (0 – 40°C).

### 4.3.3 Historisk om måling av salinitet

Måling av saltinnhold i vann kan spores helt tilbake til antikken, men det var først på midten av 1800-tallet at det ble foretatt systematiske undersøkelser av saltinnhold i sjøvann. I 1865 konstaterte den danske kjemiker og mineralog **Johan Georg Forchhammer** (1794 – 1865) at sammensetningen av salter i vannet var relativt konstant uavhengig av hvor vannprøvene ble hentet, men at konsentrasjonen av salter i havet kunne variere noe. Dette konstante forholdet er senere kalt Forchhammers prinsipp eller “Principle of Constant Proportions”. Det var også han som først brukte begrepet “salinitet” konsentrasjonen av salter i havvann. Han forsto også at konsentrasjonen av saltinnhold varierte fra sted til sted som en konsekvens av tilførselen av ferskvann og ikke som et resultat av sammensetningen av salter.



15. [https://www.periodni.com/chlorinity\\_and\\_salinity\\_of\\_seawater.html](https://www.periodni.com/chlorinity_and_salinity_of_seawater.html)



Forchhammers arbeid ble fulgt opp av den tyske kjemikeren **William Dittmar** (1833 – 1892) som gjennom sine kjemiske analyser av sjøvann bekreftet Forchhammers prinsipp.

I 1889 ble det nedsatt en komite ledet av den danske fysikeren **Martin Knudsen** (1871 – 1949) som skulle lage en konsis definisjon av salinitet. I 1902 ble følgende definisjon vedtatt:

*“Salinity is the total amount of solid materials, in grams, dissolved in one kilogram of sea water when all the carbonate has been converted to oxide, the bromine and iodine replaced by chlorine and all organic matter completely oxidized” Definition of Salinity, ICES, 1902*

Også vår egen **Fridtjof Nansen** (1861 – 1930) var involvert i dette arbeidet.

Siden sammensetningen av sjøvann er relativt konstant så ble det foreslått å måle “clorinity” dvs. mengden av *klorider, bromider og jodider* (dvs. *halider*), og så empirisk (erfaringsmessig) bestemme en sammenheng mellom “clorinity” (Cl) og salinitet (S). “Clorinity” bestemmes ved å titrere med sølvnitrat og så veie hvor mye sølv, i gram, som skilles ut i en vis mengde sjøvann. Den utskilte mengden, Cl (g), kan så brukes til å bestemme saliniteten.

I 1889 hadde Martin Knudsen utviklet en empirisk sammenheng mellom “clorinity” (Cl) i gram og salinitet (S) i ‰ (ppt):

$$S (\text{‰}) = 0,030 + 1,805 \cdot \text{Cl} (\text{g}) \quad (4.17)$$

Denne metoden (og formelen) ble benyttet helt fram til begynnelsen av 1960-tallet da man fant at den hadde en for stor usikkerhet (0,04 ‰). På denne tiden begynte man å måle “clorinity” ved hjelp av ledningsevne og bruk av følsomme målebruer (“Weatstones bridge”). I 1966 ble derfor den empiriske formelen tilpasset den nye målemetoden slik at sammenhengen mellom saliniteten (S) og “clorinity” (Cl) kunne uttrykkes som:

$$S (\text{‰}) = 1,80655 \cdot \text{Cl} (\text{‰}) \quad (4.18)$$

I 1978 ble denne sammenhengen videre utviklet til en mer nøyaktig sammenhengen hvor ledningsevnen inngikk på en mer direkte måte<sup>16</sup>. Denne sammenhengen er relativt kompleks og det kreves datahjelpemidler for effektivt å kunne bestemme saliniteten.

$$S = 0.0080 - 0.1692R_T^{\frac{1}{2}} + 25.3853R_T + 14.0941R_T^{\frac{3}{2}} - 7.0261R_T^2 + 2.7081R_T^{\frac{5}{2}} + \Delta S$$

$$R_T = \frac{C(S,T,0)}{C(KCl,T,0)}$$

$$\Delta S = \frac{(T-15)}{(1+0.0162(T-15))} + 0.005 - 0.0056R_T^{\frac{1}{2}} - 0.0066R_T - 0.0375R_T^{\frac{3}{2}} + 0.636R_T^2 - 0.0144R_T^{\frac{5}{2}}$$

---

16. [http://www.marbef.org/wiki/Salinity\\_sensors](http://www.marbef.org/wiki/Salinity_sensors)



La oss se hva dette betyr:

- S er salinitet i ‰ (ppt)  
 $R_T$  er et forholdstall mellom  $C(S, T, 0)/C(KCl, T, 0)$  hvor  
 $C(S, T, 0)$  er ledningsevne målt i vannprøven ved temperaturen T og 1 atm trykk (0)  
 $C(KCl, T, 0)$  er ledningsevnen målt i en standard vannprøve med salinitet 35‰<sup>17</sup>  
 $\Delta S$  Er en korrigering som bl.a. tar hensyn til variasjoner mht. temperatur

Den nyeste standarden for måling av salinitet kom i 2009 og tar også hensyn til mindre endringer i sjøvannets sammensetning ved større havdyp på bakgrunn av termodynamiske effekter.

#### 4.3.4 Måling av ledningsevne

Ledningsevnen sier noe om hvor godt et stoff, eller i dette tilfellet, vann leder elektrisk strøm og måles i 1/Ohm eller mho. 1/Ohm = 1 Siemens (S). Siden ledningsevnen for vann kan være svært liten vil vi oppleve benevnninger som mmho (millimho – 1/1000) eller  $\mu$ mho (micromho – 1/1 000 000 mho). 1 millimho = 1 mmho = 1 mS.

I tabellen under er det oppgitt noen typiske verdier for ledningsevnen for ulike typer vann:

Destillert vann	0,5 – 3,0 $\mu$ mho/cm
Smeltevann fra snø	2 – 42 $\mu$ mho/cm
Flaskevann (USA)	30 – 3000 $\mu$ mho/cm
Bekkevann	100 – 2000 $\mu$ mho/cm
Sjøvann	40 – 44 mmho/cm

Vi legger merke til at ledningsevnen oppgis som  $\mu$ mho/cm eller mmho/cm (dvs. ledningsevne pr. cm). Vi kommer tilbake til hva dette betyr.

Vi kan tenke oss at vi stikker to elektroder ned i en prøve av det vannet vi ønsker å måle saltinnholdet til. Vi måler så motstandsverdien i vannet mellom elektrodene. Imidlertid er det ikke så enkelt da målingen bl.a. vil være avhengig av størrelsen på, og avstanden mellom elektrodene. Jo større elektroder jo bedre ledningsevne vil vi måle og hvor tettere elektrodene står jo bedre ledningsevne. Dersom man skal måle absolutte verdier for saltinnhold må man derfor bruke elektroder med en bestemt utforming.

I vårt tilfelle kan vi omgå disse problemene ved å kalibrere de elektrodene vi benytter. Dersom vi holder avstand og utforming av elektrodene uforandret under måleserien så kan vi tenke oss at kalibreringen er gyldig<sup>18</sup>.

#### Måleelektroder

Så hvordan ser en praktisk sensor for måling av salinitet ut?

---

17. Standard vannprøven er laget ved å å blande ut 32,4356 gram KCl i 1 liter destillert vann som gir akkurat 35‰ ved 15°C og 1 atm.

18. Her kan vi bli lurt av endringer i ukjente parametere og ikke minst temperaturen i vannet.



Siden salinitet er et forholdstall (angitt i ‰ eller ppt) og ikke en fysisk parameter som kan måles direkte, så eksisterer ikke “salinitets sensorer”. Det det vanligvis handler om er sensorer som måler ledningsevne (1/Ohm) eller det vi kaller *konduktivitet* (1/Ohm = 1 mho = 1 S(iemens)). Konduktiviteten er definert som det inverse av motstandsverdien. Når konduktiviteten øker vil motstandsverdien avta.

En konduktivitetssensor måler en væskes (oppløsning) evne til å lede elektrisk strøm (ledningsevne) mellom to elektroder som stikkes ned i væsken. En elektrisk strøm forutsetter transport av ladning, som i dette tilfelle skjer ved *ioner* (f.eks. Na<sup>+</sup>- og Cl<sup>-</sup>-ioner). Når konsentrasjonen av ioner øker vil ledningsevnen (og konduktiviteten) øke.

Som nevnt avhenger den målte ledningsevnen til væsken ikke bare av ionekonsentrasjonen, men også utformingen av elektrodene og hvor langt de er plassert fra hverandre. Dette er vist på figuren til høyre<sup>19</sup>. For å normalisere ulike elektroder (måleceller) defineres en karakteristisk konstant, *K*, for målecellen:

$$K = d/S \text{ [cm/cm}^2\text{]} \quad (4.19)$$

Hvor *d* er avstanden mellom elektrodene og *S* er arealet av hver av elektrodene målt i cm<sup>2</sup>.

Det forutsettes at elektrodene er utformet likt. Vi ser at *K* får benevnningen 1/cm (cm<sup>-1</sup>).

Vi kan uttrykke den målte eller standardiserte konduktiviteten, *κ*, som er uavhengig av målecellens utforming, med følgende uttrykk:

$$\kappa = G \cdot K \text{ [S/cm]} = G \cdot d/S \text{ [S/cm]} \quad (4.20)$$

hvor *G* er væskens konduktivitet og *K* er *målecellekonstanten*. Den målte konduktiviteten får da benevnningen Siemens pr. cm (S/cm).

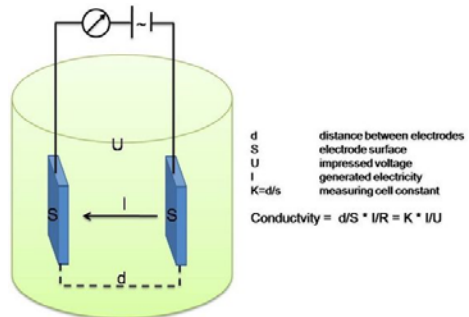
Vi ser at ledningsevnen (konduktiviteten) til væska er avhengig av hvordan elektrodene er utformet. Jo større avstanden er jo lavere ledningsevne, og jo større areal på elektrodene jo større ledningsevne. Siden vi ønsker å operere med temmelig ustandardiserte måleceller vil forsøke å unngå dette problemet med å kalibrere målecella.

*Konsekvensen av dette er at vi må sørge for at elektrodene er likt utformet og plassert likt i forhold til hverandre under både kalibreringen og selve målingen.*

Siden vi i andre sammenhenger bruker resistans så kan vi også skrive:

$$R_{Sal} = 1/\kappa \quad (4.21)$$

hvor *R<sub>Sal</sub>* er den målte motstandsverdien (resistivitet) i vannprøven.



19. [http://www.marbef.org/wiki/Salinity\\_sensors](http://www.marbef.org/wiki/Salinity_sensors)





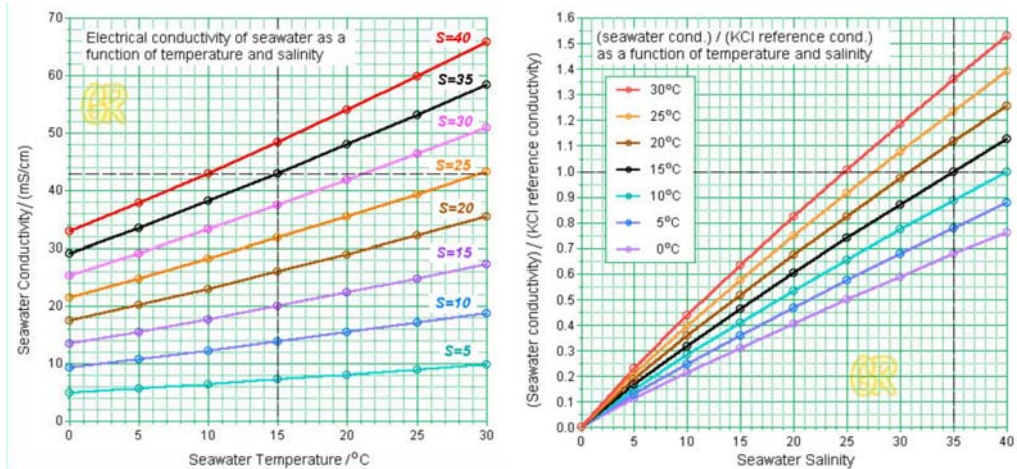
## Ledningsevne som funksjon av salinitet, temperatur og trykk

For ev.- å lette utregningen av salinitet på bakgrunn av ledningsevnen er det utviklet flere kalkulatorer på bakgrunn av nevnte formler.

Conductivity: <input type="text"/> (uS/cm)	Conductivity (mS/cm) = <input type="text" value="0"/>
Water temperature: <input type="text"/> (C)	Temperature (ITS-90) = <input type="text" value="0"/>
<input type="button" value="Calculate"/>	Sea Pressure (dbar) = <input type="text" value="0"/>
Salinity: <input type="text"/> (ppt)	Practical Salinity (PSS-78) = <input type="text"/>
	<input type="button" value="Calculate"/>

Figuren over viser to eksempler på slike kalkulatorer. Mens den til venstre har ledningsevne og temperatur som parametre<sup>20</sup>, så har den til høyre også med trykk (dBar)<sup>21</sup>.

Ved bruk av kalkulatorer som disse kan man lage kurveskarer som viser sammenhengen mellom de ulike parametrene som vist på figuren under<sup>22</sup>:



Grafene til venstre viser ledningsevne som funksjon av temperaturen i °C for ulike verdier av salinitet. Grafene til høyre viser relativ ledningsevne som funksjon av salinitet for ulike temperaturer. Referanseløsningen er laget av KCl og har en salinitet på 35 ppt ved 15°C<sup>23</sup>.

20. <http://salinometry.com/ctd-salinity-calculator/>

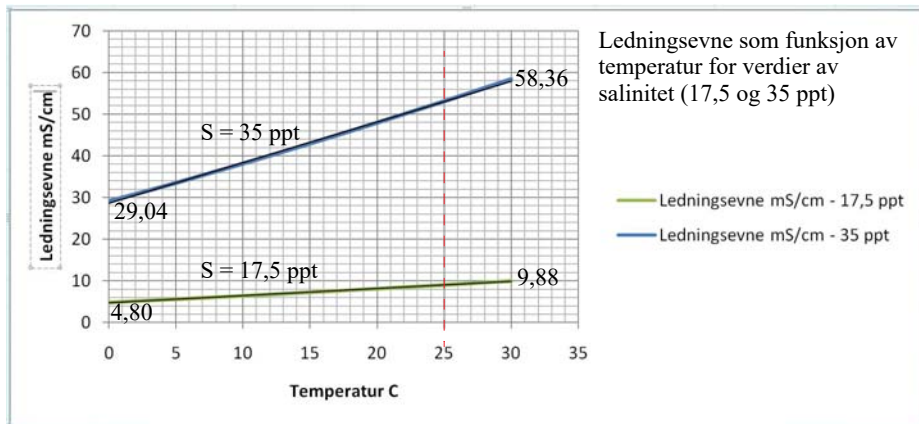
21. <http://www.fivecreeks.org/monitor/sal.shtml>

22. <http://www.grabovrat.com/handbook/handbookH08g1.html>

23. Standard vannprøven er laget ved å blande ut 32.4356 gram KCl i 1 liter destillert vann som gir akkurat 35‰ ved 15°C og 1 atm.

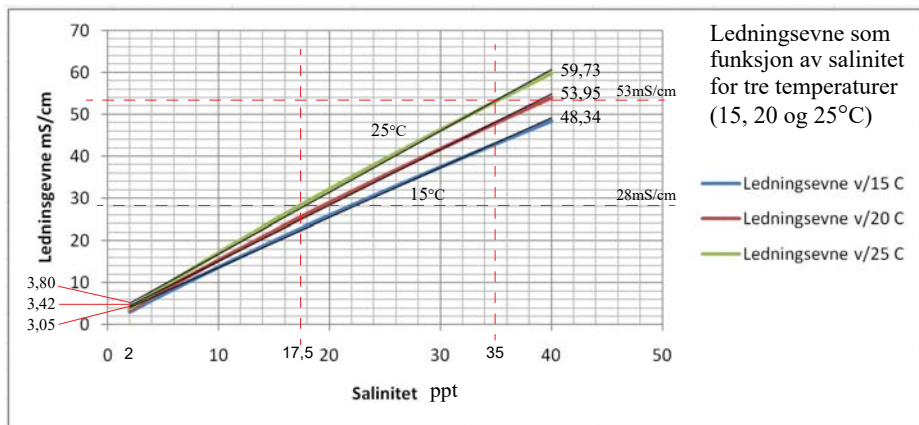


I vårt tilfelle, hvor vi ønsker å måle saliniteten i sjøvann nær verdien 35 ppt, så kan det være interessant å se hvordan ledningsevnen endrer seg med temperaturen under forutsetning av en nær konstant salinitet.



Grovt sett ser vi at ledningsevnen pr. cm doubles over en temperaturøkning fra 0°C – 30°C og at økningen er omtrent lineær over temperaturområdet.

Figuren under viser ledningsevnen i mS/cm som funksjon av salinitet ved tre temperaturer (15°, 20° og 25°C). Vi legger merke til at også denne sammenhengen er ganske lineær.



La oss si at vi gjør en kalibrering ved to verdier av salinitet (f.eks. 17,5 ppt og 35 ppt) ved en temperatur (f.eks. 25°C). Er det da mulig å finne en forenklet formel for salinitet som funksjon av en digital måleverdi innen et begrenset temperatur og salinitets-område. Klarer vi å finne en slik sammenheng hvor vi kan sette inn våre kalibrerte verdier for så å interpolere/ekstrapolere verdier innen et begrenset temperatur og salinitets-område, kan vi ha en nyttig modell for vårt formål.





## Eksplisitt uttrykk for ledningsevne som funksjon av temperaturvariasjon

Som vi har sett så er ledningsevnen til vann sterkt avhengig av temperaturen. Dette skyldes at med økende temperatur så endres saltvannets viskositet noe som påvirker ionenes mobilitet. Til tross for konstant salinitet vil ledningsevnen endres. *Økende temperatur vil medføre økt ledningsevne.* I tillegg kommer at med økende temperatur så vil det frigjøres flere ioner som også påvirker ledningsevnen.

Det er derfor viktig at alle målinger angis med temperatur ev. normaliseres til en standard temperatur, f.eks. 25°C.

*Mettler Toledo Conductivity guide* [7] (side 23) angir følgende lineære sammenheng mellom ledningsevnen og temperaturen når ledningsevnen er kjent ved en referanse temperatur ( gjerne 25°C):

$$\kappa_T = \kappa_{ref} \left( 1 + \frac{\alpha}{100\%} (T - T_{ref}) \right) \quad (4.22)$$

hvor:

- $\kappa_T$  Ledningsevnen ved temperaturen  $T$  i °C
- $\kappa_{ref}$  Ledningsevnen ved referansetemperaturen  $T_{ref}$  i °C
- $T$  Temperaturen da målingen ble gjort i °C
- $T_{ref}$  Referansetemperatur i °C
- $\alpha$  Angir variasjon i ledningsevne i prosent som funksjon av temperaturen %/°C  
( $\alpha$  er fra 2 – 3)

Tabellen under angir noen typiske verdier for ulike væsker<sup>24</sup>

Sample	Temperature Coefficient $\alpha$ (%/°C)
Acids	1.0 - 1.6
Bases	1.8 - 2.2
Salts	2.0 - 3.0
Drinking water	2.0

Table 4: Typical temperature coefficients of various electrolyte types

---

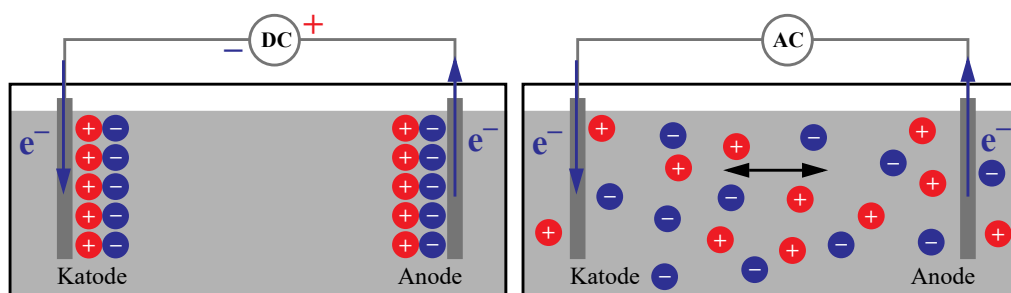
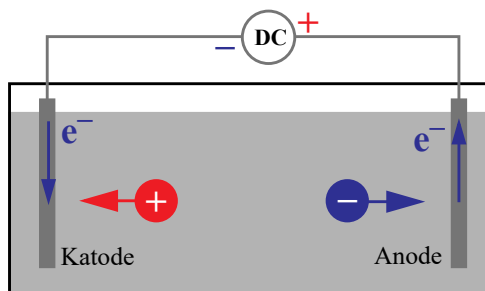
24.Ref. [7] side 23



### 4.3.5 Praktiske utfordringer ved måling

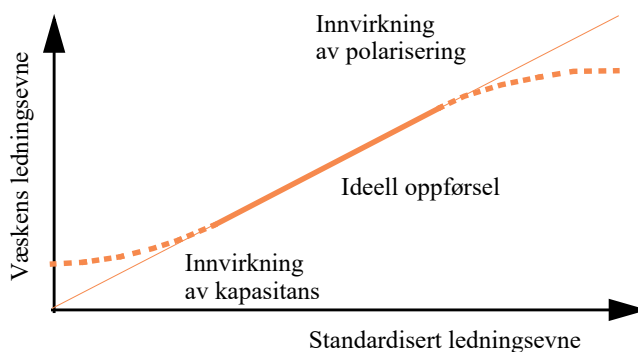
#### Polarisering[7]

Siden ladningstransporten skjer ved hjelp av ioner vil det kunne skje en opphopning av ladning ved de ulike elektrodene hvilket vil kunne forstyrre målingene. Figuren til høyre viser transporten av ionene. De positive kationene (f.eks.  $\text{Na}^+$ ) vil bevege seg mot *katoden*, som er elektroden med mest negativt potensial, mens de negative anionene (f.eks.  $\text{Cl}^-$ ) vil bevege seg mot den positive *anoden*.



I praksis vil man i løpet av målingen foreta en elektrolyse av vann slik at det dannes gasser ved elektrodene ( $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$  og  $\text{Cl}$ ). En måte å unngå en slik ensidig opphoping på er hele tiden å skifte polaritet på elektrodene, dvs. at målingen foretas med elektroder påtrykket en vekselspanning. Dermed vil man redusere en ensidig opphopingen av ioner og målingene vil ble mer stabile.

Figuren til høyre viser hvordan uheldige effekter under målingen vil kunne påvirke måleresultatene. Vi ønsker i utgangspunktet at sammenhengen mellom væskens ledningsevne og den ledningsevnen vi måler skal være proporsjonal. Av figuren ser vi et avvik når konsentrasjonen av oppløst stoff øker. Dette avviket skyldes polarisering av elektrodene. For å redusere polariseringseffekten kan vi øke målefrekvensen eller også øke arealet av elektrodene.





Imidlertid vil en høyere målefrekvens kunne gi problemer ved relativt små konsentrasjoner. Dette skyldes kapasitive effekter mellom måleelektrodene, en effekt som øker med økende areal av elektrodene.

Som vi skjønner så må det inngås et passende kompromiss eller endre målefrekvensen avhengig av konsentrasjonen, noe som gjøres ved avanserte måleinstrumenter. Det finnes også andre målemetoder som unngår problematikken med polarisering helt. Dette kan studeres i [7].

Siden vi ikke har spesielt strenge krav til målenøyaktighet så velger vi en middels kompleks løsning.

En annen utfordring som kan påvirke målingene er dannelsen av *gassbobler på elektrodene*. Dette er observert under målingene til tross for at det er gjort tiltak for å unngå det. Slike bobler vil redusere ledningsevnen da den hindrer kontakt mellom elektroden og væsken. Dette kan ofte være årsaken til ustabile målinger. Dette vil sannsynligvis ikke være noe problem ved måling i sjøvann siden vannet vi være i konstant bevegelse slik at boblene løsner og stiger til overflaten. Men kan være et problem under kalibreringen.

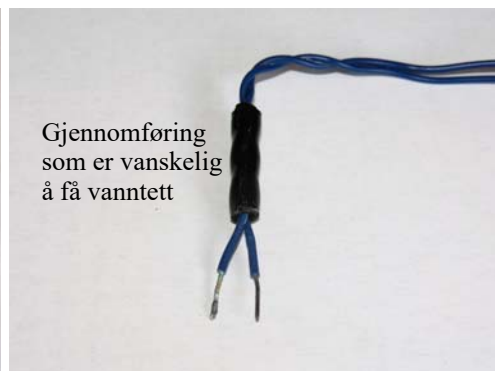
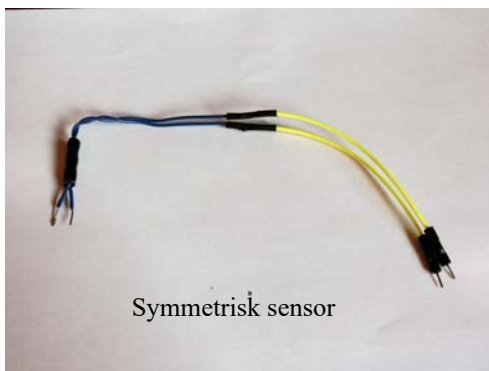
Oppløst gass i væsken kan være et problem, spesielt i forbindelse med kalibreringen da væskemengden som brukes er begrenset. I ref. [7] side 23 nevnes spesielt CO<sub>2</sub>, i vår sammenheng er det mer sannsynlig at det dannes gass i forbindelse med selve elektrolyseprosessen som løser seg opp i væsken. Vi har observert at væsken blir blakket etter som tiden går.

Den målte ledningsevnen kan også endre seg dersom elektrodene *dekkes av et belegg*, f.eks. olje eller biologisk materiale. Det antas at dette ikke vil være noe alvorlig problem siden våre målinger vil være kortvarige og bare indikative.

#### 4.3.6 Framstilling av sensoren (elektrodene)

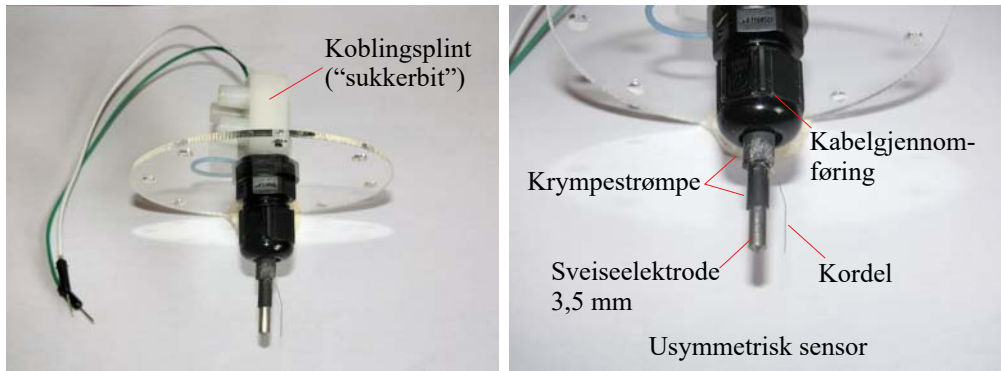
Som vi har sett er det flere hensyn å ta når man skal lage sensoren. Etter litt eksperimentering så viser det seg at den største utfordringen var å finne en løsning som er vanntett.

Den enkle løsningen vist til på bildene under, viste seg vanskelig å få vanntett når man fører de to ledningene gjennom kabelgjennomføringen, til tross for at det ble benyttet krympestrømpe og flere lag med tape og fett. Denne løsningen valgte vi å kalle *symmetrisk sensor*.



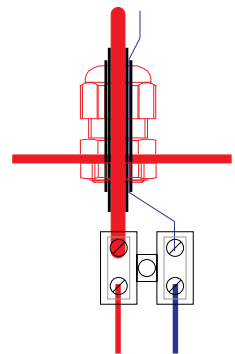


I en annen løsning brukte vi en 70 x Ø 3,5 mm sveistråd som den ene elektroden og en kordel fra en flerleder som den andre. Dette gir en svært usymmetrisk sensor hvor overflaten til den ene elektroden er vesentlig større enn den andre. Vi kalte derfor denne for *usymmetrisk sensor*.



Vi brukte en kabelgjennomføring med klemvidde 1 – 5 mm, hvilket ble litt trangt, men også svært tett (ELFA nr. 155-19-375). Krympestrømpen innerst er av typen Ø 3,2 mm, krymping 2:1 (Biltema) og ytterst Ø 6 mm, krymping 3:1 (Clas Ohlson). Det er ikke lett å lodde en ledning til en sveiseelektrode, derfor brukte vi en koblingsplint (“sukkerbit”) med åpning 6 mm<sup>2</sup>. Ved bruk av to koblingsplinter og fikk også kordelen sin koblingsplint som vist på tegningen til høyre.

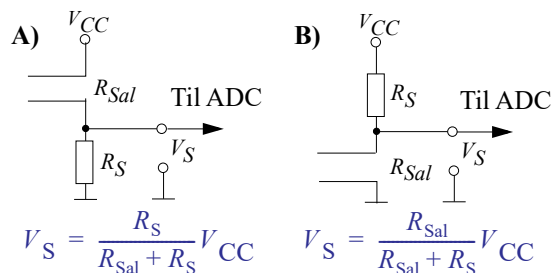
Målinger syntes å vise at det ikke var så stor elektrisk forskjell mellom disse. Tegningen til høyre viser et tverrsnitt av gjennomføringen med to lag med krympestrømpe.



### Konvertering av konduktivitet til spenning

Siden vårt måleutstyr (Arduino Nano) kun kan måle spenning, så må vi omdanne ledningsevne (konduktivitet) til en elektrisk spenning. Det kan vi gjøre ved hjelp av en enkel spenningsdeler.

Figuren til høyre viser to måter å koble opp sensoren på: A) vil gi økende spenning når ledningsevnen øker ( $R_{Sal}$  reduseres), mens B) vil gi avtagende spenning når ledningsevnen øker ( $R_{Sal}$  reduseres). I utgangspunktet velger vi å bruke oppkoblingen i A).

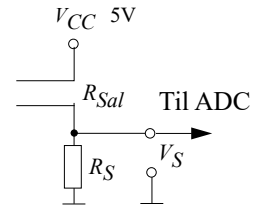


### 4.3.7 Innledende målinger med ulike målemetoder

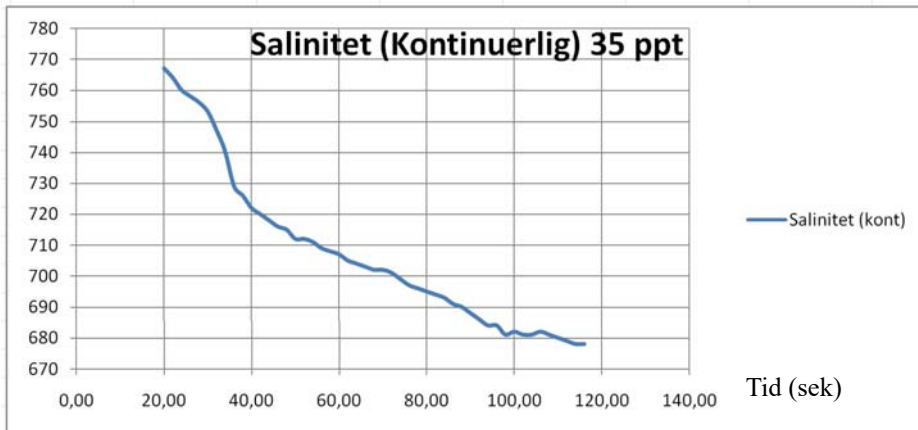
Vi har gjort følgende tre innledende målinger for å undersøke hvilke målemetoder som vil fungere best:



1. **Måling av ledningsevne med kontinuerlig spenning på elektrodene.** I dette tilfellet koblet vi elektrodene i serie med en fast motstand ( $R_S$ ) som vist på figuren til høyre. Dermed fikk vi en spenningsdeler med en varierende spenning ( $V_S$ ) til AD-konverteren i Arduino Nanoen. En spenning som varierer i takt med den målte ledningsevnen.



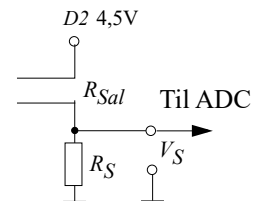
Grafen på figuren under viser hvordan målingen av spenningen endrer seg over tid.



Som vi ser så driver verdien betydelig i løpet av måletiden på ca. 1,5 minutt. Den vertikale aksene er avlest spenning  $V_S$  (digital verdi). Målingen er gjort med en salinitet på 35 ppt. Driften utgjør i størrelsesorden ca. 90 digitale trinn i løpet av måleperioden og er uholdbart.

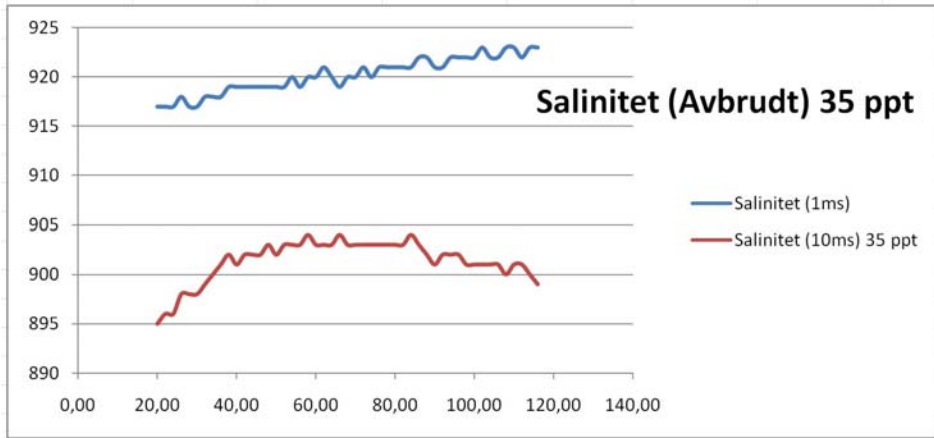
2. **Måling av ledningsevne med avbrutt spenning på elektrodene.**

I dette tilfellet var oppkoblingen den samme, men istedet for å forsyne spenningsdeleren med en konstant  $V_{CC}$ , valgte vi å tilføre spenningen fra en av de digitale utgangene til Arduino Nano ( $D2$ , på-spenning ca. 4,5 V). Dermed ble det mulig å slå på spenningen rett før målingen (10 msek.) skulle gjennomføres, for så å slå av spenningen rett etter (10 msek.) at målingen var avsluttet. Med en på-tid på f.eks. 20 msek og måleintervaller på ca. 2 sek. var spenningen på elektrodene avslått i 99% av tiden, hvilket skulle redusere polariseringseffekten kraftig.



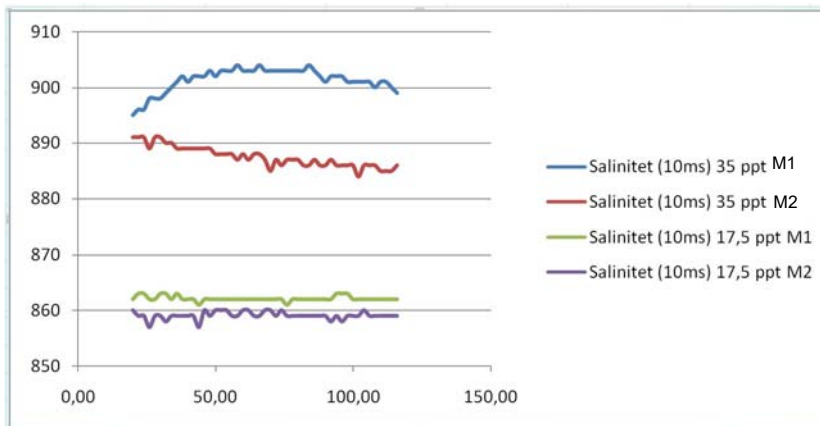


Grafen på figuren under viser hvordan måleverdiene varierer ved avbrutt måling. Måleperioden er på ca. 2 sekunder, mens på-tiden er henholdsvis  $2 \times 10$  msek og  $2 \times 1$  msek.



Begge målingene er gjort ved en salinitet på 35 ppt. Vi ser at driften over en måleperiode på 1,5 minutt er på i størrelsesorden 6 – 8 digitale trinn som begynner å bli akseptabelt.

Figuren under viser fire målinger, to med salinitet 35 ppt og to med salinitet 17,5 ppt. I prinsippet skal måling M1 og M2 være helt like. Likevel ser vi at de avviker en del, spesielt for 35 ppt.



Alle målingene er gjort med en på-tid på  $2 \times 10$  msek og en måleperiode på 2 sek.

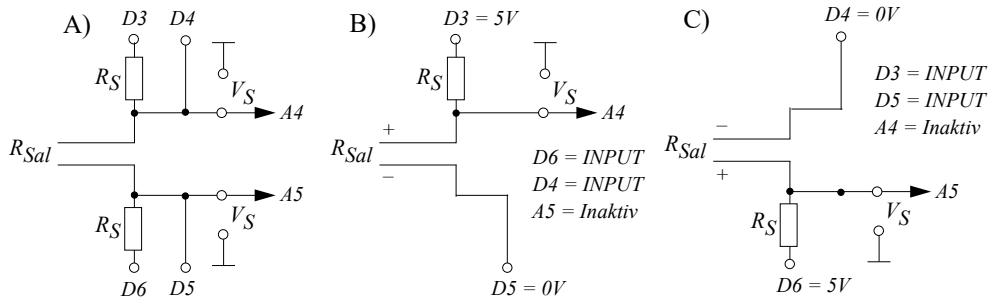
Det er lett å la seg lure her. Det kan også være at målestabiliteten øker etter som væsken har vært i bruk.

### 3. *Måling av ledningsevne med vekslende polaritet på elektrodene.*

I denne varianten ønsker vi å endre polariteten på elektrodene mellom hver måling samtidig som vi ønsker å måle i så korte perioder som mulig. Prinsippet er enkelt, spørsmålet er om dette lar seg realisere med en Arduino Nano på en enkel måte. Figur A under viser hvordan

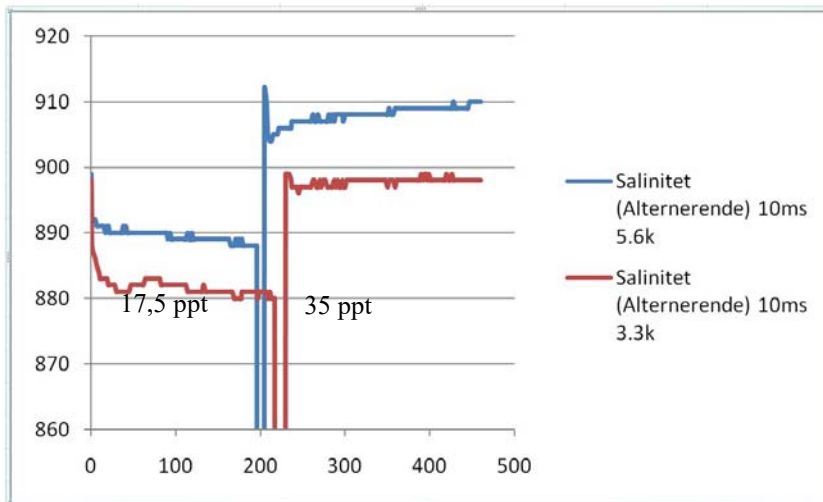


vi har løst dette ved å ta i bruk fire digitale porter (D3 – D6) og to analoge innganger (A4 og A5). Siden vi har flere ledige porter så er ikke den omfattende bruken av porter noe problem. En digital port kan enten settes til OUTPUT 1 (HIGH, 5V), OUTPUT 0 (LOW, 0V) eller INPUT. Når den settes som INPUT vil den ikke belaste kretsen. For at vi skal lese av samme polaritet på den analoge inngang veksler vi med å lese verdien på A4 og A5. Siden vi ikke kan garantere at de to seriemotstandene  $R_S$  er helt like, så midler vi avlesningen av de to.



Figur B og C viser de to tilstandene hvor vi veksler polariteten på probene. De digitale inngangene som er satt som INPUT er fjernet fra diagrammene, likeså den analoge inngangen som ikke brukes, slik at det skal komme tydeligere fram hvordan oppkoblingen virker. Usymmetri i  $R_S$  og spenningene (5V og 0V) burde forsvinne i en midling over to eller flere like antall målinger.

Figuren under viser to måleserier gjort med alternerende målinger. Under målingen ble sen-

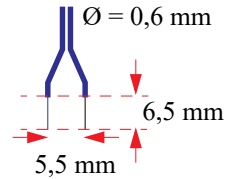


soren flyttet fra en 17,5 ppt til en 35 ppt oppløsning. Den ene kurven er målt med en (to) serieresistans på 5,6 kOhm, den andre med 3,3 kOhm. Det er vanskelig å vurdere kvaliteten på målingene opp mot den avbrutte målingen, men det kan se ut som om målingene stabiliseres etter hvert. Forskjellen i digitalverdi mellom 17,5 og 35 ppt er relativt liten og ca. 20 digitale verdier. Alle målingene er gjort ved ca. 25°C.



Under disse innledende målingene ble den symmetriske elektroden benyttet og stukket midt ned i oppløsningen. Ledningene er avisolert i en lengde på 6,5 mm og er plassert 5,5 mm fra hverandre. Diameteren til den avisolerte ledningen er  $\varnothing 0,6$  mm.

Ulempen med denne typen elektroder er at det er vanskelig å oppnå en vanntett kabelgjennomføring.

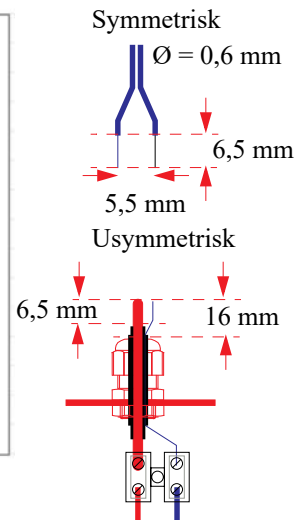
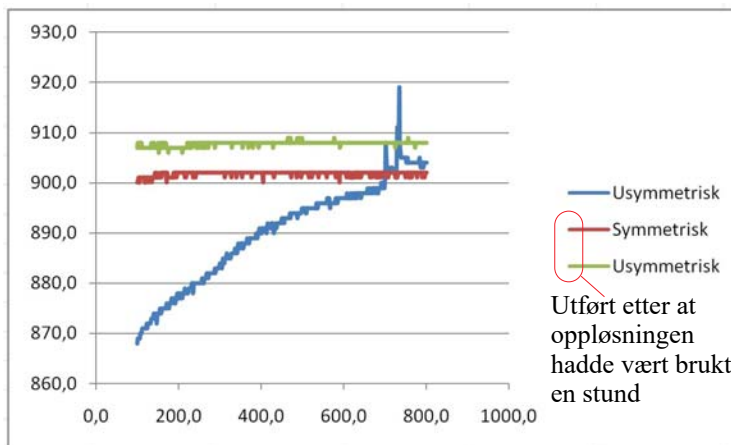


### Langtidsmåling med symmetrisk og usymmetrisk sensorelektroder

Vi hadde litt ulike erfaringer med måling over lang tid. Vi brukte begge typer elektroder, både symmetriske og usymmetriske og målte over ca. 700 sekunder. Målingene er utført med salinitet på 35 ppt. Den første målingen med usymmetrisk elektrode viste at den drev mye. Senere målinger viset ikke en slik tendens. Det kan være mange årsaker til dette:

- Første måling ble gjort i en ny oppløsning og rett etter at elektroden var dyppet i oppløsningen
- De to andre målingene ble gjort etter at oppløsningen var godt brukt og etter at målingen hadde stått å gått en stund.
- Det ble i starten observert at det dannet seg gassbobler på den store elektroden (sveisetråden) som vil påvirke ledningsevnen.
- Etter hvert ble det også observert at vannet ble grått, sannsynligvis fordi det dannet seg gass i oppløsningen.

Alle målingene er gjort med alternerende spenning med en seriemotstand på 3,3 kOhm og med midling over to påfølgende målinger.







### 4.3.8 Kalibrering av salinitetssensoren

Siden vi bruker ustandardiserte måleelektroder så må disse kalibreres. Etter kalibreringen så må formen eller avstanden mellom måleelektrodene ikke endres. Dersom det skjer, så må kalibreringen gjøres på nytt.

#### Framstilling av standard blandinger

Man trenger:

- Natriumklorid/salt, (NaCl)
- Destillert vann eller milliporevann
- Magnetrører
- Målesylinder
- Erlendmeyerkolbe (1000 ml)

Fyll kolben med 500 ml destillert vann. Tilsett 33,03 g natriumklorid (NaCl) og bland til saltet er oppløst. Tilsett destillert- / milliporevann til 1000 ml. Denne løsningen har salinitet på 35 ppt ved 25 °C.

Ved 3 punkt kalibrering kan man ta:

1. Destillert vann - < 0.5 ppt – tilsvarer ferskvann
2. Løsning laget ved 33,03 g NaCl til 1000 ml → 35 ppt – tilsvarer sjøvann
3. Løsning laget ved 250 ml 35 ppt løsning (fra pkt 2) + 250 destillert vann → 17,5 ppt – tilsvarer brakkvann

#### Prosedyre for kalibrering av salinitetssensor

Vi har tidligere sett følgende:

- At ledningsevnen endrer seg relativt lineært i forhold til salinitet i området fra 2 – 40 ppt når temperaturen er uforandret
- At ledningsevnen endrer seg relativt lineært i forhold til temperaturen i området 0 – 30°C når saliniteten holdes konstant.

Vi ønsker å kunne måle salinitet ved to ulike konsentrasjoner, f.eks. 17,5 og 35 ppt og ved en temperatur.



## Omregning fra digital måleverdi til konduktivitet

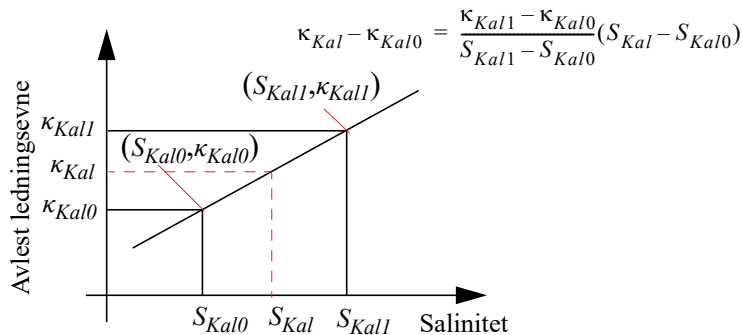
Vi bruker løsning A) og finner et uttrykk for den målte konduktiviteten,  $\kappa_{Sal}$  i vannet på bakgrunn av den digitale spenningsverdien ( $U_{SD}$ ) registrert ut av AD-konverteren:

$$\kappa_{Sal} = \frac{U_{SD}}{(1024 - U_{SD})} R_S \quad (4.23)$$

I våre målinger har vi brukt en  $R_S = 5,6 \text{ k}\Omega$  og  $3,3 \text{ k}\Omega$ .

### Linearisering

Dersom vi i første omgang holder oss til en temperatur, den temperaturen vi kalibrerte proben for,  $T_{ref}$ , og antar at sammenhengen mellom ledningsevne og salinitet er relativt lineær innen det aktuelle måleområdet, så kan vi med utgangspunkt i to kalibreringsmålinger ( $\kappa_{Kal0}$  og  $\kappa_{Kal1}$ ) sette følgende ligning..



På dette grunnlaget kan vi sette opp følgende formel:

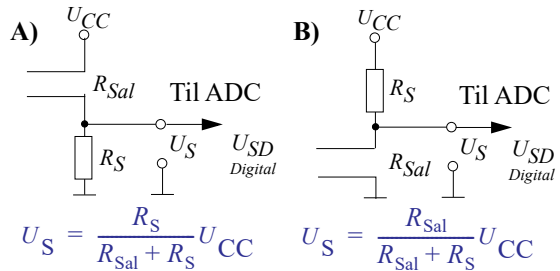
$$\kappa_{Kal} - \kappa_{Kal0} = \frac{\kappa_{Kal1} - \kappa_{Kal0}}{S_{Kal1} - S_{Kal0}} (S_{Kal} - S_{Kal0}) \quad (4.24)$$

Topunktsformelen for lineære ligninger kan også skrives slik:

$$\kappa_{Kal} = ((\kappa_{Kal1} - \kappa_{Kal0}) / (S_{Kal1} - S_{Kal0})) * (S_{Kal} - S_{Kal0}) + \kappa_{Kal0} \quad (4.25)$$

Hvis  $k = (\kappa_{Kal1} - \kappa_{Kal0}) / (S_{Kal1} - S_{Kal0})$  (stigningskoeffisienten), kan vi skrive ligningen slik:

$$\kappa_{Kal} = k (S_{Kal} - S_{Kal0}) + \kappa_{Kal0} \quad (4.26)$$





Nå er det egentlig  $S_{Kal}$  vi er interessert i så vi snur om på uttrykket og får:

$$S_{Kal} = (\kappa_{Kal} - \kappa_{Kal0})/k + S_{Kal0} \quad (4.27)$$

Hvor

$$\kappa_{Kal0} = U_{KalD0} * R_S / (1023 - U_{KalD0}) \quad (4.28)$$

$$\kappa_{Kal1} = U_{KalD1} * R_S / (1023 - U_{KalD1}) \quad (4.29)$$

$$\kappa_{Kal} = U_{KalD} * R_S / (1023 - U_{KalD}) \quad (4.30)$$

Hvor:

$S_{Kal}$	Målt salinitet ved kalibreringstemperaturen i ppt
$S_{Kal0}$	Kalibreringsoppløsning 0, f.eks. 17,5 ppt
$S_{Kal1}$	Kalibreringsoppløsning 1, f.eks. 35 ppt
$\kappa_{Kal}$	Målt konduktivitet ved ukjent saltvannsprøve, egentlig måles: $U_{KalD}$ Digital verdi av den målte spenningen ved ukjent saltvannsprøve
$\kappa_{Kal0}$	Målt konduktivitet ved kalibreringsoppløsning 0, egentlig måles: $U_{KalD0}$ Digital verdi av den målte spenningen ved kalibreringsoppløsning 0
$\kappa_{Kal1}$	Målt konduktivitet ved kalibreringsoppløsning 1, egentlig måles: $U_{KalD1}$ Digital verdi av den målte spenningen ved kalibreringsoppløsning 1
$R_S$	Den benyttede seriemotstanden i Ohm

### Temperaturkompensering

$\kappa_{Kal}$  er den målte konduktiviteten dersom vannet hadde samme temperatur,  $T_{Kal}$ , som ved kalibrering. Dersom temperaturen ved den aktuelle målingen er en annen en kalibreringstemperaturen, f.eks.  $T$ , vil konduktiviteten ved denne temperaturen,  $\kappa_T$ , kunne skrives:

$$\kappa_T = \kappa_{Kal} \left( 1 + \frac{\alpha}{100\%} (T - T_{Kal}) \right) \quad (4.31)$$

For å kunne kompensere for endring i salinitet pga. endret temperatur, så regner vi den målte saliniteten tilbake til referansetemperaturen  $T_{Kal}$ . Ved snu om på ligning (4.31) får vi:

$$\kappa_{Kal} = \frac{\kappa_T}{\left( 1 + \frac{\alpha}{100\%} (T - T_{Kal}) \right)} \quad (4.32)$$

Hvor:

$\kappa_{Kal}$	Målt konduktivitet ved ukjent saltvannsprøve, egentlig måles: $U_{SalD}$ Digital verdi av den målte spenningen ved ukjent saltvannsprøve
$\kappa_T$	Målt konduktivitet ved ukjent saltvannsprøve, egentlig måles: $U_{SalD}$ Digital verdi av den målte spenningen ved ukjent saltvannsprøve



$T$	Temperaturen i vannet ved den aktuelle målingen
$T_{Kal}$	Temperaturen i vannprøvene under kalibreringen
$\alpha$	Temperaturkoeffisienten (2 – 3), hvor ferskvann har verdien 2

Hvor:

$$\kappa_T = U_{TD} * R_S / (1023 - U_{TD}) \quad (4.33)$$

Hvor :

$U_{TD}$	Avlest digital spenningsverdi ved den aktuelle temperaturen, $T$ .
$R_S$	Den benyttede seriemotstanden i Ohm

### Formel for beregning av salinitet

I følge ligning (4.27) kan vi uttrykke saliniteten  $S_{Kal}$  som er den ekvivalente saliniteten ved kalibreringstemperaturen:

$$S_{Kal} = (\kappa_{Kal} - \kappa_{Kal0}) / k + S_{Kal0} \quad (4.34)$$

Derneft kan vi sette inn for  $k$  og få:

$$S_T = ((\kappa_{Kal} - \kappa_{Kal0}) \cdot (S_{Kal1} - S_{Kal0})) / (\kappa_{Kal1} - \kappa_{Kal0}) + S_{Kal0} \quad (4.35)$$

Hvor:

$$\kappa_{Kal} = \frac{\kappa_T}{\left(1 + \frac{\alpha}{100\%}(T - T_{Kal})\right)} \quad (4.36)$$

$$\kappa_{Kal0} = U_{KalD0} * R_S / (1023 - U_{KalD0}) \quad (4.37)$$

$$\kappa_{Kal1} = U_{KalD1} * R_S / (1023 - U_{KalD1}) \quad (4.38)$$

$$\kappa_T = U_{TD} * R_S / (1023 - U_{TD}) \quad (4.39)$$

Hvor:

$S_T$	Målt salinitet ved temperaturen $T$
$U_{TD}$	Avlest digital spenningsverdi ved den aktuelle temperaturen, $T$ .
$R_S$	Den benyttede seriemotstanden i Ohm
$T$	Temperaturen i vannet ved den aktuelle målingen
$T_{Kal}$	Temperaturen i vannprøvene under kalibreringen
$\alpha$	Temperaturkoeffisienten (2 – 3), hvor ferskvann har verdien 2, saltvann nærmere 3
$S_{Kal0}$	Kalibreringsoppløsning 0, f.eks. 17,5 ppt
$S_{Kal1}$	Kalibreringsoppløsning 1, f.eks. 35 ppt
$\kappa_{Kal}$	Målt konduktivitet ved ukjent saltvannsprøve, egentlig måles:



$U_{SalD}$  Digital verdi av den målte spenningen ved ukjent saltvannsprøve  
 $\kappa_T$  Målt konduktivitet ved ukjent saltvannsprøve, egentlig måles:  
 $U_{SalD}$  Digital verdi av den målte spenningen ved ukjent saltvannsprøve

Vi har nå det nødvendige verktøyet for å måle salinitet i sjøvann,  $S_T$ , med temperaturen  $T$ , dersom vi har kalibrert sensoren med to kjente salinitetsverdier,  $S_{Kal0}$  og  $S_{Kal1}$  (f.eks.  $S_{Kal0} = 17,5$  ppt og  $S_{Kal1} = 35$  ppt), med en kjent kalibreringstemperatur,  $T_{Kal}$ . Ved kalibreringen noteres de avleste digitale spenningsverdiene  $U_{KalD0}$  og  $U_{KalD1}$ .

#### 4.4 Lyssensoren og måling av lysintensitet<sup>25</sup>

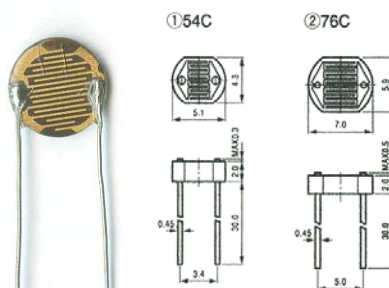
Deteksjon av lys kan gjøres på mange ulike måter. I dette avsnittet skal vi se hvordan vi kan bruke *LDR* (Light Dependent Resistor) og fototransistorer som lysfølsomme komponenter.

##### 4.4.1 Fotomotstand (LDR - Light Dependent Resistor)

Grunnen til at vi velger å omtale en fotomotstand er at den gjennom tidene har vært en gjenganger i mange elektronikkprosjekter.

Fotomotstander har tradisjonelt vært laget av Cadmium-Sulfid (CdS) belagt med fingerelektroder som vist på figuren til høyre. I mørket vil stoffet CdS være omtrent isolerende og kan gi en motstand på over 1 M $\Omega$ . Belyser vi derimot stoffet, kan resistansen falle til under 1 k $\Omega$ .

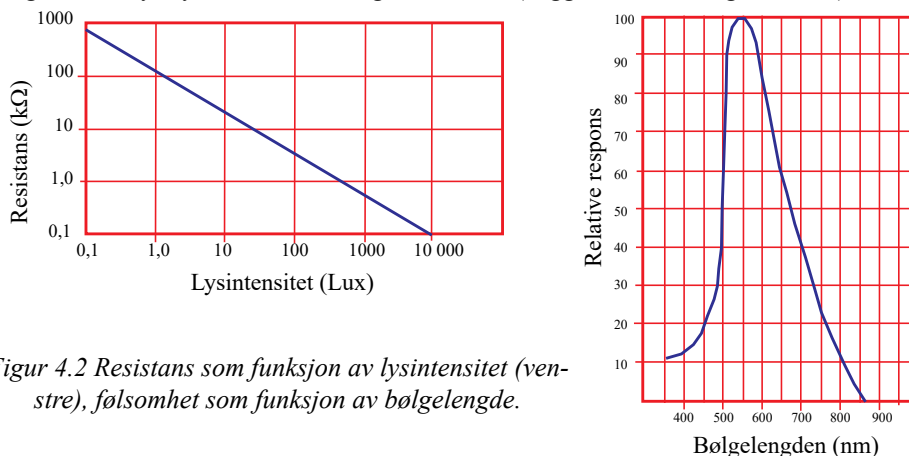
Årsaken er at fotoner (lys) med tilstrekkelig energi, eksiterer elektroner fra valensbåndet til ledningsbåndet, hvor de kan bevege seg fritt og bidra til ladningstransporten. Effekten er imidlertid ikke like framtrede for alle frekvenser. Til høyre på



25. Denne er foreløpig ikke implementert, men kan være en beskrivelse for arbeid i klasserommet.



figur 4.2 ser vi at materialet er spesielt følsomt for lys i det synlige området av spekteret nær 540 nm (nanometer,  $10^{-9}$  m). Vi ser også (til venstre på figuren) at det er en omtrent lineær sammenheng mellom lysstyrken målt i lux og resistansen (begge skalaer er logaritmiske).



Figur 4.2 Resistans som funksjon av lysintensitet (venstre), følsomhet som funksjon av bølgelengde.

Ut fra følsomhetskurven til høyre på figur 4.2, ser vi at fotomotstanden er spesielt effektiv i ett område nær 450 nm (grønn-blå).

Lysfølsomme motstander er imidlertid relativt langsomme. En endring i lysstyrken på noen  $\mu$ sek, kan gi en responstid på opp til 100 msek. hos fotomotstanden. Men i mange tilfeller er dette mer enn godt nok.

For å konvertere endring i resistans til spenning, kan vi bruke en enkel spenningsdeler (se figuren under). Her trengs normalt ingen målebro eller forsterker for å registrere endring i resistans siden endringen er så stor.

Lysintensitet måles i lux. 1 lux er 1 lumen pr.  $m^2$ .

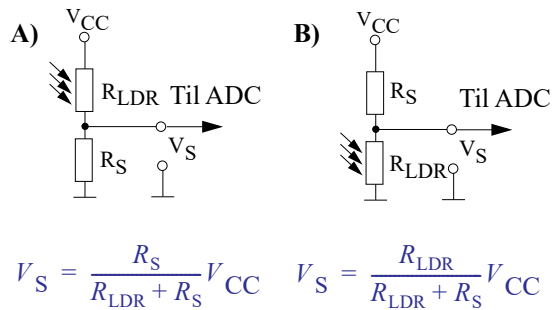
Dette tilsvarer:

- Fullt sollys 11 000 lux (eller ca.  $1000 \text{ W/m}^2$ )
- Sollyset en tidlig morgen 6 000 lux
- Belysningen i et TV-studio 1 000 lux
- Et godt opplyst kontor 400 lux
- Lyset fra en fullmåne 1 lux



## Oppkobling mot ADC

Siden grensnittet til kontrolleren krever en spenning, kobles LDR-motstanden i serie med en motstand som vist i figuren til høyre. Velg verdien på seriemotstanden lik den nominelle verdien på LDR-motstanden. Spenningsnivået  $V_S$  beregnes fra formlene som antydnet på figuren. Legg merke til at oppkoblingen på tegning A gir økende spenning  $V_S$  med økende lysstyrke, mens oppkoblingen i tegning B gir fallende spenning med økende lysstyrke.



### Kalibrering:

Utfordringen blir å finne en omregningsformel fra lysstyrke til spenning:

1. Mål spenning som funksjon av lysstyrke (krever lysmåler)
2. Bruk regresjon for å finne et best tilpasset funksjonsuttrykk
3. Lagg omregningsformelen inn i prosessoren

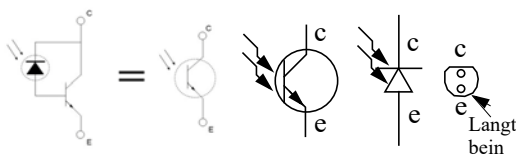
### 4.4.2 Fototransistorer


Denne type lysfølsomme halvlederkomponenter kan operere i to ulike måter (modus):

- Fotoledende modus, forspent i sperreretning
- Fotovoltaisk modus, forspent i lederetning (som hos solceller)

#### Fototransistor koblet i fotoledende modus m/ekstra transistor (PT204-6C)

En diode (PN-overgang) vil normalt lede strøm når den forspennes i lederetning og sperre når den forspennes i sperreretning. Likevel vil det alltid flyte en liten lekkasje- eller *reversstrøm* når den er forspent i sperreretningen. Dersom PN-overgangen eksponeres for lys, vil reversstrømmen øke med økende lysstyrke ved at energien i lyset øker antallet ladningsbærere. PN-overgangen er vanligvis følsom både for synlig og infrarød stråling.

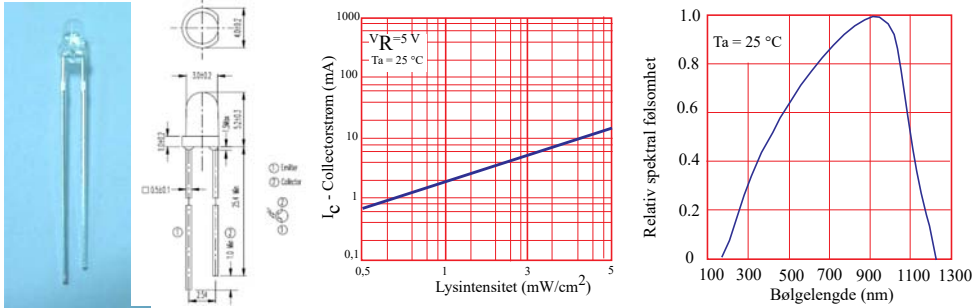


En fototransistor av denne typen bygges ofte opp av en PN-overgang (fotodiode) koblet i serie med basen på en transistor som vist i figuren lengst til venstre. Vi legger merke til at PN-overgangen (  ) er forspent i sperreretning.

Det er reversstrømmen til PN-overgangen som ledes inn på basen til transistoren og som forsterkes opp. På denne måten styres basestrømmen i transistoren av styrken til det innfallende lyset. Med andre ord vi bytter ut en strømførende baseledning med en varierende lysstyrke.



Som et eksempel har vi valgt å se på fototransistoren **PT204-6C** som leveres fra *Everlight* og forhandles bl.a. av ELFA til en pris på 3 – 4 kroner<sup>26</sup>. Et bilde av PT204-6C er vist til venstre på figuren under.



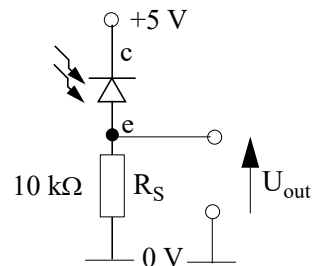
Reversstrømmen kan være meget lav. Transistoren forsterker reversstrømmen slik at strømmen gjennom transistoren blir betydelig større. Av diagrammet til venstre på figuren over, ser vi at strømmen i fototransistoren er ca. 0,7 mA ved en lysstyrke på ca.  $0,5 \text{ mW}/\text{cm}^2$  ( $5 \text{ W}/\text{m}^2$ ) og 16 mA ved  $5 \text{ mW}/\text{cm}^2$  ( $50 \text{ W}/\text{m}^2$ )<sup>27</sup>.

Fototransistorens følsomhet er også avhengig av bølgelengden til lyset. Av figuren over til høyre ser vi at PT204-6C er spesielt følsom for bølgelengder på grensen av synlig og infrarødt lys. Synlig lys går fra ca. 400–700 nm. Toppen for PT204-6C ligger på ca. 900 nm. Vi ser imidlertid at den fungerer godt også i store deler av den synlige delen av spekteret.

Fototransistorer kan lages av ulike materialer og vil dermed bli følsomme for ulike bølgelengder. Tabellen under viser hvordan ulike materialer gir fototransistorer med ulike følsomhetsområder<sup>28</sup>:

Silisium:	190–1100 nm
Germanium:	400–1 700 nm
Indium Gallium Arsenid:	800–2 600 nm
Blysvulfid	<1000–3600 nm

Dersom vi ønsker å bruke fototransistoren som lysmåler eller lys-detektor, kobler vi den opp som en spenningsdeler som vist på figuren til høyre. Vi har sett at jo mer lys fototransistoren utsettes for, jo større reversstrøm går det i dioden og gjennom seriemotstanden  $R_S$ , og jo høyere blir spenning  $U_{\text{out}}$ . Skal den brukes som lysmåler kan  $U_{\text{out}}$  kobles til en AD-konverter eller en forsterker om nødvendig. Brukt som lysdetektor kan den kobles til en komparator eller basen på en transistor.



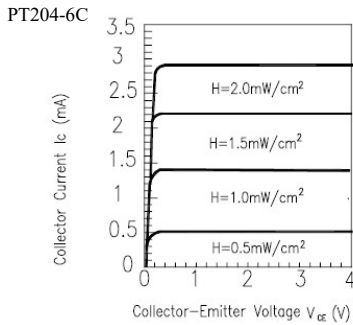
For å karakterisere en fototransistor, kan vi koble en variabel collector-emitterspenning over transistoren samtidig som vi måler collector strømmen ( $I_C$ ) for ulike nivåer av innfallende lysmengde.

26. <https://www.elfadistelec.no/no/ir-fototransistor-mm-t1-everlight-electronics-pt204-6c/p/17520323>

27. Til sammenligning kan nevnes at typisk lysstyrke i et rom kan være  $2 - 10 \text{ W}/\text{m}^2$ , mens lysstyrken utendørs en strålende sommerdag kan være typisk  $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ .

28. Se <http://en.wikipedia.org/wiki/Photodiode>





Med en gitt mengde lys, vil strømmen i transistoren øke opp til et visst nivå hvor strømstyrken er uforandret selv om collector-emitter-spenningen økes. Vi har nådd fototransistorens metningsstrøm ved denne lysstyrken. Økes lysstyrken, vil vi få fram en lignende kurve, men med større metningsstrøm. Sammenhengen mellom metningsstrøm, lysstyrke og collector-emitterspenning for PT204-6C er vist på figuren til venstre.

**Det er viktig å merke seg at en fototransistor av typen PT204-6C ikke vil levere noen spenning eller strøm med mindre den forspennes. Den er derfor en komponent med**

**en ledningsevne som endres med lysstyrken og vil ikke fungere i fotovoltaisk modus.**

#### 4.4.3 Fototransistorene SFH300 og SFH 203

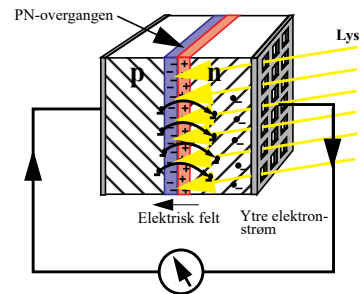
Disse komponentene består av en ren PN-overgang (uten en ekstra transistor) og vil derfor kunne fungere både i fotovoltaisk og i fotoledende modus.

Brukt i fotovoltaisk modus vil disse komponentene **være små solceller og fungere som en strøm eller spenningskilde.**

I fotovoltaisk modus vil disse fungere på følgende måte:

Fototransistorer (og solceller) er som oftest laget av grunnstoffet *silisium*. Vi tenker oss at vi lager to tynne skiver av silisium. Den ene skiven forurenses vi med *fosfor* som gjør at denne skiven *gjærne avgir elektroner*, vi sier at skiven er *n-dopet*. Den andre skiven forurenses vi med *bor* som medfører at denne skiven *lett tar til seg elektroner*, vi sier at skiven er *p-dopet*.

Når vi legger en n-dopet og en p-dopet skive inntil hverandre, får vi en *pn-overgang* (en *diode*). Når de to skivene berører hverandre vil det flyte en strøm av elektroner fra den n-dopede skiven over til den "elektronhungrige" p-dopede skiven. På grunn av ladningstransporten, vil det bygge seg opp en spenning over pn-overgangen. Etter hvert som spenningen øker, vil strømmen ladninger gå stadig tregere. Til slutt vil den stoppe helt opp. Foreløpig har vi ikke koblet til noen ytre krets.



I et smalt område nær pn-overgangen vil det nå være svært få frie ladningsbærere (elektroner). Området vil derfor virke som en sperre for strømmen gjennom overgangen. Dersom vi imidlertid belyser pn-overgangen, vil energien i lyset frigjøre nye elektroner i overgangsområdet. Disse vil strømme over til n-området som blir negativt ladet samtidig som p-området blir positivt ladet.

Om vi nå kobler en ledning mellom n-området og p-området, vil det gå en elektrisk strøm i ledningen som vist på figuren over. Denne *ytre* strømmen kan så benyttes til å drive en motor eller få en lyspære til å lyse. Vi har fått en solcelle.



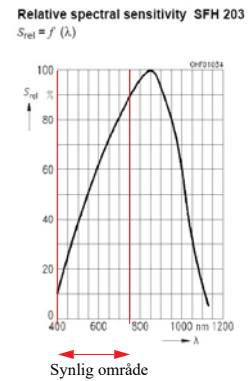
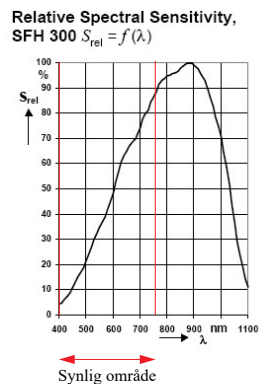
Forenklet kan vi si at pn-overgangen representerer et hinder for elektronene. Lys vil imidlertid tilføre elektronene energi slik at de kan passere over hinderet. Når de først er kommet over, klarer de ikke å komme tilbake, men må gå utenom gjennom den ytre ledningen hvor de gjør et arbeid på veien.

En fototransistor i fotovoltaisk modus vil fungere som en liten solcelle, og vil, når den belyses, levere en spenning<sup>29</sup> på ca. 0,54 V. Kobler vi den inn i en ytre krets, vil den også gi en liten strøm.



Bildet til høyre viser en typisk fototransistor av denne typen, f.eks. SFH300 eller SFH203. Som vi ser så ligner den på en lysdiode.

Figurene til venstre viser følsomhetsdiagrammet som funksjon av frekvensen, for henholdsvis SFH300 (venstre) og SFH203 (høyre). Vi ser at de to er ganske like mht til båndbredde. Begge har de sitt mest følsomme område inne i den infrarøde delen av spekteret.

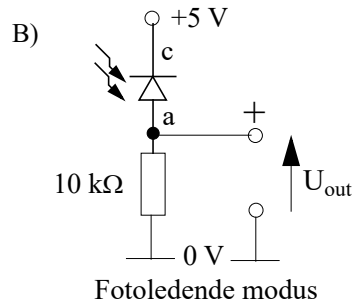
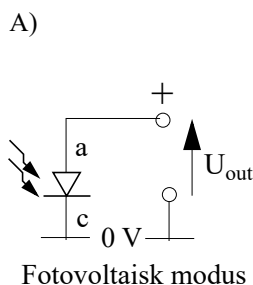


Oppkobling for karakterisering:

Denne typen fototransistor kan i prinsippet brukes på begge måtene:

- I *fotovoltaisk modus* koblet som en selvstendig strøm- eller spenningskilde.
- I *fotoledende modus* koblet som en lysstyrt transistor (fototransistor) koblet i sperreretning.

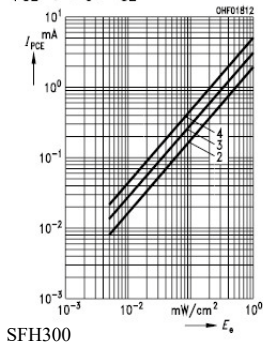
Figurene under viser de to alternativene:



<sup>29</sup> Tomgangsspenning er den spenning en måler over fotodioden når den ikke belastes

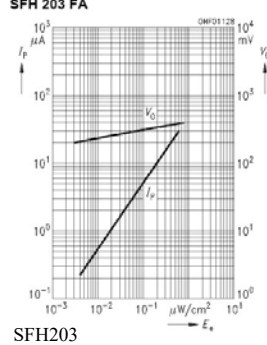


**Photocurrent**  
 $I_{PCE} = f(E_e), V_{CE} = 5\text{ V}$



SFH300

**Photocurrent**  $I_P = f(E_e), V_R = 5\text{ V}$   
**Open-circuit-voltage**  $V_L = f(E_e)$   
**SFH 203 FA**



SFH203

Begge koblingene kan brukes som kilde til en AD-konverter eller forsterker.

Likevel anbefales alternativ B da denne gir større spenningssving, samtidig som den ikke går i metning ved kraftig belysning slik alternativ A gjør (den fotovoltaiske spenningen vil flate ut ved ca. 0,54 V. Strømmen vil derimot øke lineært med lysstyrken over et større område). Til vårt formål kan fototransistoren karakteriseres ved at vi måler  $U_{out}$  som funksjon av lysstyrken

Diagrammene på figuren til venstre viser reversstrømmen i fotoledende modus som funksjon av lyseffekten i  $\text{mW}/\text{cm}^2$  for fototransistorene SFH300<sup>30</sup> og SFH203.

30.De ulike kurvene (2–4) angir ulike varianter av fototransistoren SFH300.



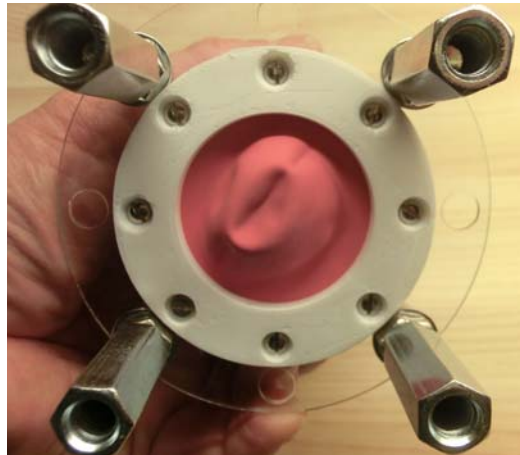
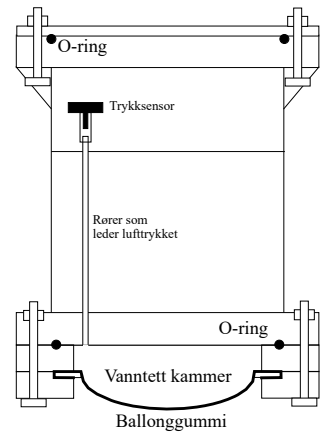
## 5 Alternative løsninger av kammeret

I dette avsnittet skal vi på noen alternative eksperimentelle kammer.

### 5.1 3D-printet kammer med innebygget ballongløsning

Den varianten består av et 3D-printet trykkammer hvor en ballonggummi er spent meget slakt over en åpning i bunnen av kammeret hvorpå et tynt rør i selve godset på kammeret fører lufttrykket opp til trykksensoren. En kort stump med plastrør forbinder røret med selve sensoren. O-ringer og fett er benyttet for å gjøre sammenkoblingene vanntette. Dette har imidlertid vist seg å være utfordrende. Kammeret er forsøkt skissert på figuren til høyre.

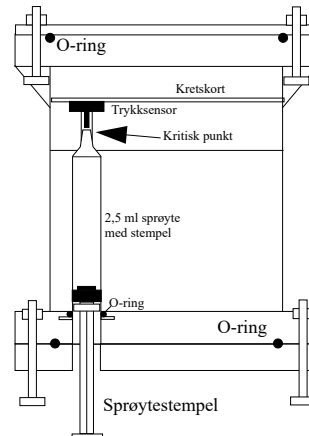
Figuren under viser bilder av trykk-kammerets topp-plata som er skåret i 2 mm akryl og har en vanntett kabelgjennomføring for en USB-kabel og en øyeskrue festet i sentrum av topp-plata med to muttere (M5) og en stoppskive. Det er lagt en o-ring mellom skiva og akryl-plata for å gjøre gjennomføringen tett. En o-ring tetter mellom akryl-plata og selve huset. O-ringen er nedfelt i topp-flensen til trykkammeret.



På bildet over til høyre ser man undersiden av ballongmembranen som er knyttet til trykksensoren via et tynt rør. En plast ring festet mellom to 3D-printede plater fungerer som holder for fire vekter som består av tre skruer (M8) med stoppskive og mutter. Under mutrene er festet fire skjøtemuffer, det hele for å gi kammeret tilstrekkelig tyngde til å synke ned gjennom vannet som vist på bildet til venstre.



På bildet under ser vi den slake ballonggummien som er spent over luftkammeret på undersiden av beholderen. I og med at den er slak vil den sannsynligvis bli ganske lineær så lenge luftrommet er presset helt sammen.



## 5.2 3D-printet kammer med innebygget sprøyte

Den løsningen benytter en sprøyte med stempel<sup>31</sup>. En 2,5 ml sprøyte monteres inne i et rør inne i trykkammeret. Stempelet med håndtaket møter vannet på utsiden og presser stempelet innover i sprøytekammeret slik at lufttrykket øker i takt med vanntrykket. En o-ring rundt sprøytekammeret nederst der det går inn i trykkammeret skal hindre at vann trenger inn i kammeret. Det kritiske punktet er tettingen rundt selve sensoren, som lett kan lekket luft, hvilket vil gi avvikende målinger over tid.

31. Etter en ide av Per-Odd Eggen, Skolelaboratoriet ved NTNU



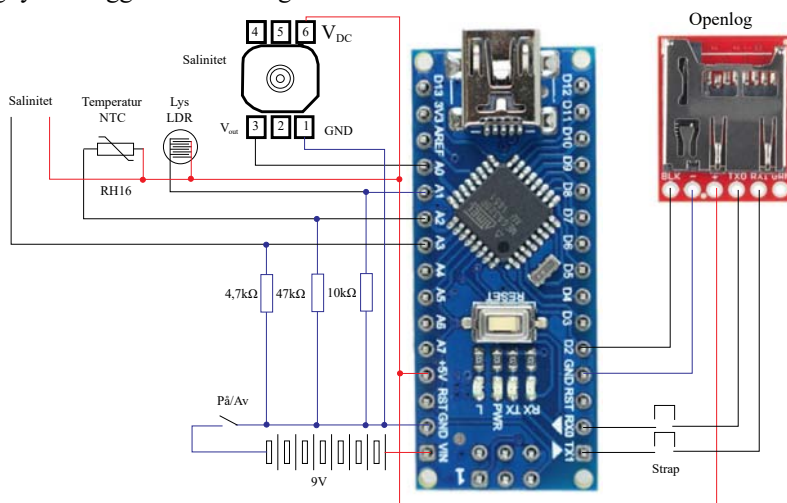
Bildet under viser hvordan dette alternativet tar seg ut. Dette kammeret er drøyt 10 mm høyere enn kammeret i alternativet foran for å få plass til sprøyta som er på 2,5 ml. På bildet under til høyre ser vi at håndtaket til stempelet til sprøyta stikker ut. En akryl-plate fungerer som feste for fire vekter.



En bedre løsning vil sannsynligvis være å fjerne stempelet og la sprøyta være åpen mot vannet. Dermed unngår en stempelets hvile friksjon og en får en raskere og mer nøyaktig trykkmåling.

### 5.3 Elektronikken

Figuren under viser koblingsskjema over sensor og datainnsamlingsdelen som er benyttet i alternativene beskrevet over. Vi legger merke til at vi i denne løsningen har inkludert måling av salinitet og lys i tillegg til det vi tidligere har beskrevet..



Arduino Nano

Vi har også her valgt å bruke Arduino Nano da denne er liten og lett lar seg plassere innen i trykkammeret



---

Batteri	Vi har valgt et 9V batteri av standard type-
OpenLog	Er en SD-kort lese/skrive enhet som er særdeles lett å bruke da man normalt benyttet de samme kommandoene og syntaksen som når man skriver til monitoren. Man benytter da de samme terminalene Rx (D0) og Tx (D1), men må da sørge for å koble fra log'eren når Nano'en skal programmeres <sup>32</sup> .
Trykksensor	Her har vi valgt å bruke en piezo-resistiv sensor levert av ELFA, se avsnitt 4.2.2 på side 58: ABPMANN004BGAA5 fra Honeywell <sup>33</sup> . Denne har et måleområde på 0 - 4 bar.
Lyssensor	Denne er en vanlig LDR (lysfølsom resistor) som er koblet opp i en spenningsdeler med en seriemotstand på 10kΩ. LDR'en kan kjøpes fra flere leverandører og er rimelig. Vi har benyttet GL5528 som har en resistans på 10 - 20 kΩ ved 10 lux og ca. 1 MΩ i mørke <sup>34</sup> .
Temperatursensor	Vi bruker en NTC-motstand RH16 med en resistans på 50kΩ ved 25°C. Resistans som funksjon av temperaturen er fallende med økende temperatur (Negativ Temperatur Koeffisient). Sammenhengen er ganske ulineær. Når NTC-motstanden kobles i en spenningsdeler med en seriemotstand med resistans omtrent lik resistansen ved 25°C vil gi en tilnærmet lineær sammenheng mellom temperatur og spenning omkring 25°C <sup>35</sup> .
Salinitet	Det er en nær lineær sammenheng mellom ledningsevnen til saltvann og saltinnholdet. Denne kan oppgis i % og er økende med økende saltinnhold. Saltinnholdet omtales som <i>salinitet</i> . Sensoren består av to avisolerte ledningsstubber som stikker ut på siden av trykkammeret.

---

32. Normalt er det SparkFun som selger OpenLog – Pris: \$ 14,95 ex. frakt

<https://www.sparkfun.com/products/13712>

Men man kan få den billigere hos [www.BangGood.com](http://www.BangGood.com) – Pris: 67.61 NOK inkl. frakt

<https://www.banggood.com/search/openlog.html>

33. ABPMANN004BGAA5 selges av ELFA – Pris: 88,80 NOK ex. MVA.

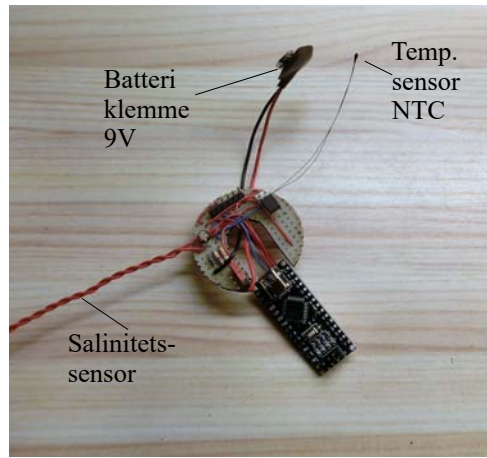
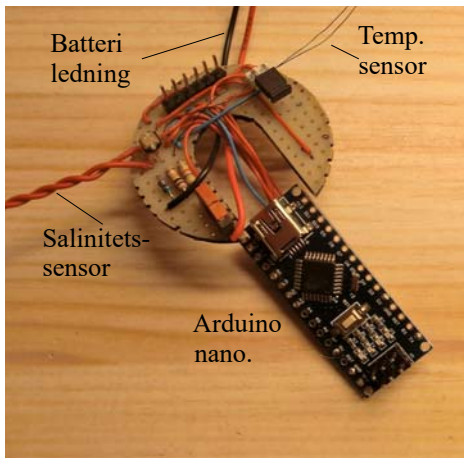
<https://www.elfadistelec.no/no/trykksensor-honeywell-abpmann004bgaa5/p/30021439?queryFromSuggest=true>

34. LDR – GL5528 selges av [www.kultogbillig.no](http://www.kultogbillig.no) – Pris: 1,90 NOK inkl. MVA ved kjøp av 10 pk.

35. NTC-motstander av typen RH16 Mitsubishi, denne er imidlertid gått ut av salg fra ELFA.



Bildet under viser en foreløpig utgave av elektronikken før den er montert i trykkammeret.







## 6 Referanser

- [1] Rossing N.K., “ROV - Trykk og temperaturmåling”, 3.1, Rev. 20.11.17
- [2] Datablad NTC-motstand 10kOhm (B57550G1103F005, EPCOS)  
[https://www.elfa.se/Web/Downloads/\\_t/ds/B57550G-B57550G1\\_eng\\_tds.pdf?mime=application%2Fpdf](https://www.elfa.se/Web/Downloads/_t/ds/B57550G-B57550G1_eng_tds.pdf?mime=application%2Fpdf)
- [3] Datablad for trykksensoren (ABPMANN004BGGAA5) 0 – 4 bar  
<https://no.mouser.com/datasheet/2/187/honeywell-sensing-basic-board-mount-pressure-abp-s-916690.pdf>
- [4] Chlorinity and salinity of seawater  
[https://www.periodni.com/chlorinity\\_and\\_salinity\\_of\\_seawater.html](https://www.periodni.com/chlorinity_and_salinity_of_seawater.html)
- [5] Historie og måling av salinitet og mye mer:  
<http://salinometry.com/>
- [6] Sensorer for måling av salinitet  
[http://www.marbef.org/wiki/Salinity\\_sensors](http://www.marbef.org/wiki/Salinity_sensors)
- [7] Conductivity guide – A guide to measuring conductivity  
Theory and Practice of Conductivity Application  
Mettler Toledo  
<https://www.mt.com/au/en/home/library/guides/process-analytics/conductivity-theory-guide.html>



# Vedlegg A Programvare

## A.1 Test- og kalibreringsprogram for trykk og temperatur

```
#include <stdio.h> // Inkludering av standard biblioteket til Arduino

// -----Legg inn verdier for kalibrering av dybde -----//
float D0 = -0.21; // Avlest dybde ved overflata for kalibrering

int U_outD; // Avlest digitalverdi for spenning
float Trykk = 0; // Målt trykk
float Dybde = 0; // Beregnet av dybde
float DPprm = 0.1005; // Trykkendring pr. meter i saltvann

// ----- Legg inn verdier for kalibrering av temperatur -----//
int U_Lav_A2 = 442; // (UL) Digital verdi for spenningen på A2, registert lav
temperatur
int U_Hoy_A2 = 808; // (UH) Digital verdi for spenningen på A2, registert ved høy
temperatur
float t_Lav = 19; // (tL) Lav kalibreringstemperatur i grader C
float t_Hoy = 56; // (tH) Høy kalibreringstemperatur i grader C

float Temp; // Beregnet temperatur ved aktuell posisjon
int U_A2 = 0; // Avlest digitalverdi for spenning på A2 ved aktuell posisjon

int i = 0;

int opt = 2; // opt 1 - for test og kalibrering
// opt 2 - for logging

float tid; // Tid fra oppstart i sekunder

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
}

void loop()
```



```
{
  // Tellevariabel
  i = ++i;

  // Tidssignal
  tid = millis()/1000.0;

  //---- Leser inn spenningen for trykk og beregner kalibrert dybde -----//
  U_outD = analogRead(A0); // Les av digitalt trykk
  Trykk = 5.0*(U_outD/1024.0 - 0.1); // Målte trykk i bar
  Dybde = -Trykk/DPprm - D0; // Beregnet og kalibrert dybde i (-)meter

  //- Leser inn spenningen for temperaturen og beregner kalibrert temperatur -//

  U_A2 = analogRead(A2);
  // Beregner temperaturen på bakgrunn av kalibreringsdata.
  Temp = ((t_Hoy - t_Lav)/(U_Hoy_A2 - U_Lav_A2))*(U_A2 - U_Lav_A2) + t_Lav;

  //-----Skriv ut for test og kalibrering -----//

  if (opt == 1)
  {
    Serial.print("Tid ");
    Serial.print(tid,1);
    Serial.print(";");
    Serial.print(", Trykk: ");
    Serial.print(Trykk,2);
    Serial.println(" bar");
    Serial.print("Beregnet dybde: ");
    Serial.print(Dybde,2);
    Serial.println(" m");
    Serial.print("Digital temp.: ");
    Serial.print(U_A2);
    Serial.print(", Beregnet temp.: ");
    Serial.print(Temp,1);
    Serial.println(" C");
  }
}
```



```
//-----Skriv data til SD-kort -----//
if (opt == 2)
{
  Serial.print(tid,1);
  Serial.print(";");
  Serial.print(Dybde,2);
  Serial.print(";");
  Serial.println(Temp,1);
}

delay(1500);
}
```

## A.2 Test- og kalibreringsprogram for trykk, temperatur og salinitet

Det er foreløpig ikke lagt inn kalibreringsrutiner for salinitet.

```
// -----Legg inn verdier for kalibrering av dybde -----//
float D0 = -0.21;          // Avlest dybde ved overflata for kalibrering

int U_outD;               // Avlest digitalverdi for spenning
float Trykk = 0;          // Målt trykk
float Dybde = 0;          // Beregnet av dybde
float DPprm = 0.1005;     // Trykkendring pr. meter i saltvann

// ----- Legg inn verdier for kalibrering av temperatur -----//
int U_Lav_A2 = 442;       // (UL) Digital verdi for spenningen på A2, registert lav
                          // temperatur
int U_Hoy_A2 = 808;       // (UH) Digital verdi for spenningen på A2, registert ved høy
                          // temperatur
float t_Lav = 19;         // (tL) Lav kalibreringstemperatur i grader C
float t_Hoy = 56;         // (tH) Høy kalibreringstemperatur i grader C

float Temp;              // Beregnet temperatur ved aktuell posisjon
int U_A2 = 0;            // Avlest digitalverdi for spenning på A2 ved aktuell posisjon

// ----- Måling av salinitet -----
```



```
int D3 = 3;           // Port for styring av salinitetsmåling
int D4 = 4;           // Port for styring av salinitetsmåling
int D5 = 5;           // Port for styring av salinitetsmåling
int D6 = 6;           // Port for styring av salinitetsmåling

int U_A4, U_A5;       // Port for avlesning av salinitetssensor
float SalD;           // Beregnet midlere digital salinitetsmåling

int i = 0;
int j = 0;
int ant = 1;          // Gjennomsnitt av "ant" salinitetsmålinger

int opt = 1;          // opt 1 - for test og kalibrering
                        // opt 2 - for logging

float tid;            // Tid fra oppstart i sekunder

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  // Tellevariabel
  i = ++i;

  // Tidssignal
  tid = millis()/1000.0;

  //---- Leser inn spenningen for trykk og beregner kalibrert dybde -----//
  U_outD = analogRead(A0);
  Trykk = 5.0*(U_outD/1024.0 - 0.1);           // Målte trykk i bar
  Dybde = -Trykk/DPprm - D0;                  // Beregnet og kalibrert
  dybde i (-)meter

  //-- Leser inn spenningen for temperaturen og beregner kalibrert temperatur --//

  U_A2 = analogRead(A2);
```



---

```
Temp = ((t_Hoy - t_Lav)/(U_Hoy_A2 - U_Lav_A2))*(U_A2 - U_Lav_A2) + t_Lav;

/-- Leser inn spenningen for salinitet og beregner kalibrert salinitet -//
U_A4 = U_A5 = 0;
for (j=0; j<ant; j++)
{
pinMode(D3,INPUT);
pinMode(D4,OUTPUT);
pinMode(D5,INPUT);
pinMode(D6,OUTPUT);
digitalWrite(D4,HIGH);
digitalWrite(D6,LOW);
delay(10);
U_A5 = U_A5 + analogRead(A5);
delay(10);
pinMode(D3,OUTPUT);
pinMode(D4,INPUT);
pinMode(D5,OUTPUT);
pinMode(D6,INPUT);
digitalWrite(D3,LOW);
digitalWrite(D5,HIGH);
delay(10);
U_A4 = U_A4 + analogRead(A4);
  delay(10);
}
SalD = (U_A4+U_A5)/(2.0*ant);

// ----- Kaliberingsrutiner for salinitet -----//

        // ----- Ikke implementert ----- //

//-----Skriv ut for test og kalibrering -----//

if (opt == 1)
{
  Serial.print("Tid ");
  Serial.print(tid,1);
  Serial.println(";");
}
```



```
Serial.print(", Trykk: ");
Serial.print(Trykk,2);
Serial.print(" bar");
Serial.print("Beregnet dybde: ");
Serial.print(Dybde,2);
Serial.println(" m");
Serial.print("Digital temp.: ");
Serial.print(U_A2);
Serial.print(", Beregnet temp.: ");
Serial.print(Temp,1);
Serial.println(" C");
Serial.print ("Malt salinitet dig: ");
Serial.println(SalD,1);
}

//-----Skriv data til SD-kort -----//
if (opt == 2)
{
  Serial.print(tid,1);
  Serial.print(";");
  Serial.print(Dybde,2);
  Serial.print(";");
  Serial.println(Temp,1);
}

delay(1500);
}
```



## Vedlegg B Oversikt over utstyr

Vedlegget gir en status på utstyr for kurs med 8 deltagere hvor deltagerne jobbe to og to sammen. De får ikke med seg utstyret. Det lages et ekstra sett i reserve. Tall i parentes antyder hva som trengs om de arbeider hver for seg.

Komponent type	# Trenger	# Mangler	# Bestilles	# Lages	Kommentar
Elektronikk					
Arduino Nano	1		Bestilles		AliExpress, China (2,65 \$ - 21,20 Kr.)
OpenLog	1		Bestilles		AliExpress, China (3,30 \$ - 26,40 Kr)
Trykksensor med jumpere (ABPMANN004BGAA5)	1		Bestilles	Lages	ELFA 300-21-439 ( 88,50 (10)) Kobles opp på vero board med jumpere
Temperatursensor RH16	1		Bestilles	Lages	ELFA, Er ikke i salg lengre Alternativ: ELFA 160-30-423 (16,20 kr) Må testes og Kobles opp (10 stk)
Koblingsbrett	1		Bestilles		ELFA: 148-33-283 (82,40 kr (10))
Batteriholder med jumper	1		Bestilles	Lages	ELFA:169-14-329 Kobles opp (kr. 5,28)
Jumpere	10		Bestilles		www.KultogBillig.no (10 stk 8,0 kr) Må legges opp
Resistans 51/10 kOhm	1		Bestilles		ELFA 10 k - 160-55-253 (0,50 kr.) 51 k - 160-59-431
Resitans 3,3 kOhm	2		Bestilles		ELFA 3,3 KOHM 160-55-241 (1,00 kr)
Prototypkort	3 x 1 cm		Bestilles	Lages	ELFA 148-32-976 (2,00 kr.)
Mekanisk					
Syltetøyglass	1		Skaffes		Privat
Lokk med hull	1			Lages	Bores hull
Kabelgjennomføring M16	1		Bestilles		ELFA - 155-19-258 (7,43 kr.)
Mutter M16	1		Bestilles		ELFA - 155-19-734 (1,86 kr.)
O-ring M16 (15 mm)	1			Lages	Lages Vitensenteret
Kabelgjennomføring M12	2		Bestilles		ELFA - 155-19-375 (kr. 8,41)
Mutter M12	2		Bestilles		ELFA - 155-19-734 (kr. 1,86)
O-ring M12 (11 mm)	2			Lages	Lages Vitensenteret
Blindplugg	2		Bestilles		ELFA - 155-19-064 (0,70 kr.)
PVC Slange 3 mm	50 cm		Bestilles		Clas Ohlson 49-406-10 (2,0 kr)
USB-kabel micro 1,5 m	1		Bestilles	Lages	ELFA 300-91-487 (32,30 kr) Deles opp og kobles sammen
SD-kort m/adapter 8 Gbyte	1		Bestilles		Komplett data 362738 (kr. 55,00)
Krympestrømpe 3,2 mm	10 cm		Bestilles		ELFA - 155-07-753 (kr. 3,00)
Krympestrømpe 1,5 mm	10 cm		Bestilles		ELFA - 155-07-762 (kr. 2,0)
Krympestrømpe 8,9 x 3 mm	20 cm		Bestilles		ELFA - 300-48-554 (kr. 10,00)
K-rør (elektrikerrør 16 mm)	50 mm		Bestilles		Biltema - 44-061 (kr. 0,50)
Buntebånd store 7,6 x 380 mm	2		Bestilles		Biltema - 61-644 (kr. 1,50)
Ståltråd for feste av tau	35 cm		Bestilles		Biltema - 14-2013 (kr. 0,60) Bøyes til og festes med strips





Komponent type	# Trenger	# Mangler	# Bestilles	# Lages	Kommentar
Ståltråd for feste av lodd	1	0	Bestilles		Biltema - 14-2013 (kr. 0,70) Bøyes til og festes med strips
Jernstein 750 g	1	0	Bestilles		Skips og fiskeritstyr (kr. 70,00)
Karabinkrok	1	0	Bestilles		Skips og fiskeritstyr (kr. 08,00)
Verktøy og fellesutstyr					
Pleksiglass-sylindere	3	0	OK		Skolelab
Sprøyter 50 ml	5	0	OK		Skolelab
Sprøyter 20 ml	5	0	OK		Skolelab
Elektrikerrør	3	0	OK		Skolelab
Skiftnøkler	4	2	OK		Skolelab
Glasstermometer	5	0	OK		Skolelab
Begerglass	5	0	OK		Skolelab
Loddebolter m/avtrekk	4	0	OK		Skolelab
Avbitere	4	0	OK		Skolelab
Flattang	4	0	OK		Skolelab
Multimetre	4	0	OK		Skolelab







Det undervisningsopplegget som er beskrevet i dette heftet er blitt til i et samarbeid mellom ToF koordinator Hilde Ervik (Skolelaboratoriet) og Håvard Holm ved Marintek i forbindelse med utviklingen av en enkel ROV for bruk i undervisningen av faget Teknologi og Forskningslære (ToF) i videregående skole.

Temaet “enkel ROV” ble først introdusert høsten 2015 som en del av en av modulene i serien av ToF- videreutdanningskurs ved NTNU. Høsten 2016 holdes kurset for andre gang og inkluderer en målestasjon for måling av trykk og temperatur. Høsten 2017 ble det også bygget et skrog for uttesting. Foreløpig preges dette undervisningsopplegget av at prototypingen ennå ikke er avsluttet, kurset blir derfor en del av utviklingen av en ferdig ROV og sensormodul. For et fag som ToF trenger ikke et slikt utgangspunkt være så dumt, siden også faget i seg selv skal ha et preg av utforskning. Vi ønsker derfor å inkludere lærerne i prosessen fram mot et ferdig produkt.

### ***Nils Kr. Rossing***

Dosent ved Skolelaboratoriet

E-post: [nils.rossing@ntnu.no](mailto:nils.rossing@ntnu.no)

NTNU



Trondheim

Institutt for  
fysikk

Skolelaboriet  
for matematikk, naturfag  
og teknologi

Tlf. 73 55 11 43

<http://www.ntnu.no/Skolelab>