

BERGEN - 28.3.2012

Ref.nr.: CMR-12-F10738-RA-1

Rev.: 00



RAPPORT

# Instrumentering for trenging i not

## Forstudie

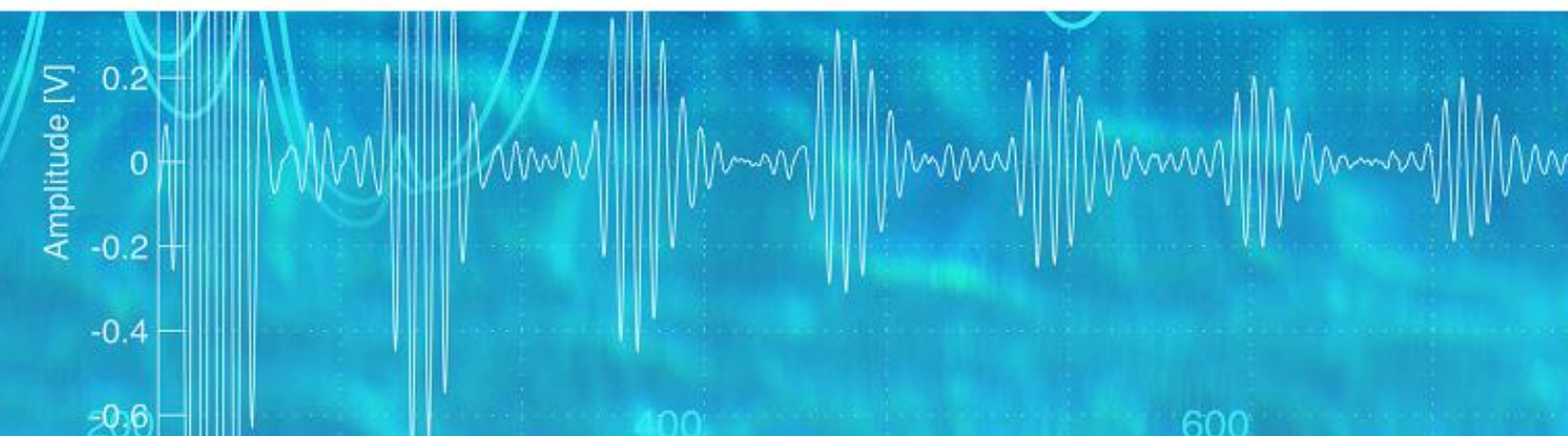


Kunde

Havforskningsinstituttet

Forfatter(e)

Benny Svardal, Geir Pedersen, Peter J. Thomas, Audun O. Pedersen, Bjørn Totland, Jan Tore Øvredal, Maria Tenningen, Aud Vold, Bjørnar Isaksen





**Dokumentinfo**

Forfatter(e)

Benny Svardal, Geir Pedersen, Peter J. Thomas,  
Audun O. Pedersen, Bjørn Totland, Jan Tore  
Øvredal, Maria Tenningen, Aud Vold, Bjørnar  
Isaksen

Klassifisering

Fortrolig

Tittel

**Instrumentering for trenging i not**  
Forstudie

Sammendrag

Mulige prinsipper for måling av fisketetthet i not blir gjennomgått, og det vurderes hvordan disse vil kunne egne seg i et kommersielt måleinstrument for fiskeflåten. Forstudien utføres av Christian Michelsen Research AS (CMR Instrumentation) som spesialist på måleteknologi og Havforskningsinstituttet (HI) som spesialist på fiskeri, fiskeatferd og trenging av fisk i not.

**Prosjektinfo**

Kunde

Havforskningsinstituttet,  
Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF)

Kundens ref.

CMR prosjektnr

10738

CMR prosjektnavn

Fisketetthet i not

**Revisjon**

Rev.	Dato	Forfatter	Kontrollert	Avdelingsleder	Årsak til revisjon
00	28.3.2012	Benny Svardal	Geir Pedersen	Audun O. Pedersen	Første versjon opprettet
01	11.06.2012	Benny Svardal	Geir Pedersen	Audun O. Pedersen	Gjennomgang med HI

# Innhold

<b>Ansvarsavgrensning .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Innledning .....</b>	<b>6</b>
<b>2 Problembeskrivelse .....</b>	<b>7</b>
<b>3 Identifiserte måleparametere og sammendrag av mulige løsninger .....</b>	<b>8</b>
<b>4 Fangstmetodikk, biologi og stimatferd .....</b>	<b>9</b>
4.1 Fangstmetodikk .....	9
4.2 Sild ( <i>Clupea harengus</i> ).....	10
4.3 Makrell ( <i>Scomber scombrus</i> ) .....	11
<b>5 Teknologievaluering .....</b>	<b>12</b>
5.1 Måleparameter 1: Fisketetthet.....	12
5.1.1 Fiberoptisk "loddstreng" .....	12
5.1.2 Optisk avbildning – under vann .....	12
5.1.3 Optisk avbildning – fra skipsbro.....	19
5.1.4 Konvensjonelle og bredbånds ekkolodd .....	20
5.1.5 Avbildende sonar .....	20
5.2 Måleparameter 2: Stimatferd og fiskefordeling i not.....	22
5.2.1 Fiskerisonar .....	22
5.2.2 Optiske kamera distribuert i not .....	22
5.3 Måleparameter 3: Fiskens aktivitetsnivå .....	23
5.3.1 Passiv akustikk .....	23
5.3.2 Aktiv akustikk .....	23
5.4 Måleparameter 4: Kollisjon/interaksjon med not .....	23
5.4.1 Akustiske sensorer.....	23
5.4.2 Elektromagnetiske biomasse-sensorer.....	24
5.4.3 Fiberoptiske sensorer .....	24
5.5 Måleparameter 5: Metabolisme.....	25
5.5.1 Oksygenkonsentrasjon .....	26
5.5.2 CO <sub>2</sub> -konsentrasjon.....	26
5.5.3 Ammoniakk-konsentrasjon.....	27
5.5.4 Temperatur .....	27
<b>6 Diskusjon og anbefalinger .....</b>	<b>28</b>
<b>7 Referanser .....</b>	<b>30</b>

## Ansvarsavgrensning

CMR er ikke i noen henseende ansvarlig for den aktuelle bruk av dokumenter, programvare eller andre verktøy eller prosjekterresultater og påtar seg derved intet ansvar eller garanti for den helhetlige funksjonalitet ved bruk av informasjonen om dette ikke er spesifikt angitt i tilbudsokumentet og den etterfølgende kontrakt.

# 1 Innledning

Denne rapporten er utarbeidet som del av Havforskningsinstituttets prosjekt 12584 "Utvikling av ressurs- og miljøvennlig notteknologi", og er en evaluering av teknologi og metoder som kan ha potensial for å kunne måle trengingsgrad av fisk i not. Målet med dette hovedprosjektet er å "utvikle skånsomme fangstmetoder for redusert dødelighet fra trenging og slipping fra not, som samtidig gir effektivt, rasjonelt og økonomisk forsvarlig notfiske".

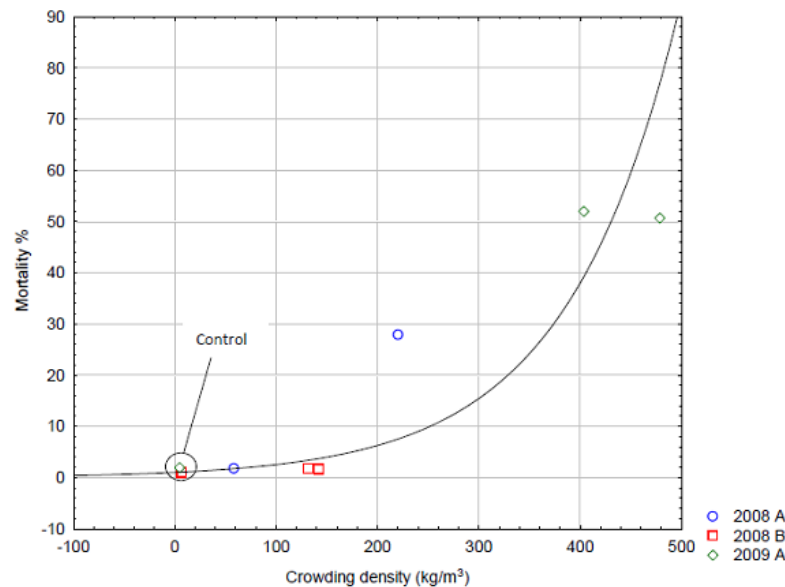
Forstudien er utført i samarbeid mellom CMR Instrumentation og Havforskningsinstituttet. CMR har deltatt med fysiske og teknologimessige vurderinger, mens Havforskningsinstituttet har stått for beskrivelse av problemstillingen og bidratt med kunnskap om måleproblemet (fiskens atferd, fiskeprosessen, fiskeutstyret, studier av trenging osv.) Arbeidet ble innledet med idémøter mellom Havforskningsinstituttet og CMR, der man søkte å finne frem til en størst mulig bredde av mulige løsninger. Forskere innen akustikk, optikk, elektromagnetisme, elektronikk og instrumentering ble involvert, sammen med spesialister på fiskeri, fiskeatferd og trenging fra Havforskningsinstituttets faggruppe for fangst. Videre har det vært holdt to faglige samarbeidsmøter underveis i forprosjektet, der HI har bidratt med erfaring og testresultater knyttet til fangst og trenging i not, og CMR har lagt frem sine foreløpige resultater.

Vi vil her gå gjennom prinsippene som ble vurdert for måling av fisketetthet, og drøfte hvordan disse ville kunne egne seg til utvikling av et kommersielt måleinstrument for fiskeflåten. Anbefalinger vil bli gitt med hensyn til hvilke teknologier som kan ha størst potensial.

## 2 Problembeskrivelse

Et av nøkkelproblemene innen dagens notfiske er å kunne måle trengingsgraden av fisk under tørking av nota. For å redusere faren for skjult dødelighet i pelagisk fiskeri, synes det å være et tydelig behov for forskning og utvikling på trenging av fisk i not.

Forsøk har vist at hard trenging og slipping medfører høy dødelighet av makrell, og trolig også for sild. På den annen side er det også vist at slipping på et tidlig tidspunkt kan aksepteres med lav dødelighet. Forsøksresultatene viser at dødeligheten blant fisk etter slipping avhenger av både hvor hardt og hvor lenge den trenges i nota.



**Fig. 1:** Studier gjort av Havforskningsinstituttet viser en tydelig sammenheng mellom fisketetthet og dødelighet (Vold et al., 2009).

Man mangler imidlertid objektive mål for tettheten av fisk i nota slik at man kan fastsette når tålegrensen er nådd. Derfor risikerer man et totalforbud mot slipping i notfiske, med de store økonomiske og praktiske problemer dette vil medføre for flåten. Måling av tetthet i not vil være viktig i forskningssammenheng for å kunne finne reelle trengingsgrader i kommersielt notfiske, for deretter å kunne gjenskape realistiske forhold under forsøk og dermed kunne bestemme hva som er akseptabel trenging før slipping. Utvikling av hensiktsmessig instrumentering for måling av trengingstetthet i not vil således være til stor hjelp både for fiskere, forskere og fiskeriforvaltning. Slik teknologi vil også kunne ha stor nytteverdi innen akvakultur.

### 3 Identifiserte måleparametere og sammendrag av mulige løsninger

Ulike måleprinsipp som potensielt kan gi en indikasjon på trengingsgrad evalueres her med hensyn til mulige slippkriterier, praktisk egnethet og tilgjengelighet på teknologi. For å kunne vurdere målemetoder er det nødvendig å samtidig identifisere målbare parametere som kan indikere trenging. Mulige slike parametere er listet nedenfor, sammen med angivelser av mulige løsninger basert på vurderingene i avsnitt 5.

#### Måleparameter 1: Fisketetthet

- Måle fysisk avstand mellom individuelle fisk i stimen eller gjennomsnittlig bulk tetthet i stim
- Fordeler: Direkte måling av trengingsgrad, konkrete slippkriterier kan etableres.
- Ulemper/begrensninger: Kun ytre, lokal sampling av stim eller gjennomsnittlig tetthet

Mulige løsninger:

- Optisk avbildning og bildebehandling for direkte måling av tetthet i utkant av stimen
- Sonar, evt. bredbåndet ekkolodd for bulk tetthet

#### Måleparameter 2: Stimatferd og fiskefordeling i not

- Observasjon av stimens bevegelsesmønster og fordeling i not
- Fordeler: Kan samtidig gi estimat på fangststørrelse
- Ulemper/begrensninger: Ukjent korrelasjon mot trenging og dødelighet

Mulige løsninger:

- Akustiske tranceivere fordelt i not i kombinasjon med sonar på båt

#### Måleparameter 3: Fiskens aktivitetsnivå

- Aktivitetsnivå, slik som f.eks. haleslagsfrekvens, kan være en mulig indikator for stress som følge av trenging. Det er imidlertid lite kunnskap rundt slike sammenhenger.
- Ulemper/begrensninger: Ved passiv måling og ellers når enkeltfisk ikke kan skilles fra hverandre, kan endringer i fisketetthet påvirke målinger av haleslagsfrekvens. Dette vil avhenge av valgt teknologi.

Mulige løsninger:

- Sonar/ekkolodd fra siden, evt. passiv akustikk dersom støybildet tillater det.

#### Måleparameter 4: Kollisjon/interaksjon med not

- Detektere kontakt mellom fisk og notvegg, måle trykkendringer
- Ulemper/begrensninger: For sen varsling mht å kunne brukes som direkte slippkriterier?

Mulig løsning:

- Distribuerte fiberoptiske sensorer integrert i noten

#### Måleparameter 5: Metabolisme

- Økt trenging gir trolig økt stress og forhøyet metabolisme i fisken, noe som kan måles indirekte gjennom metabolske parametere som temperatur og gassutveksling (produsert CO<sub>2</sub>, forbrukt O<sub>2</sub> m.m.).
- Ulemper/begrensninger: Kryss-avhengighet mellom fiskemengde, tetthet, aktivitetsnivå og miljøparametere. Utfordringer mht. hvor gassmetninger blir målt. Ukjent om korrelasjon/terskelnivå mht dødelighet kan etableres.

Mulig løsning:

- O<sub>2</sub>-sensorer for å måle oksygenmetning i vannet



## 4 Fangstmetodikk, biologi og stimatferd

Pelagisk notfiske blir i Norge i hovedsak benyttet til fangst av sild, makrell, lodde, sei og brisling. I dette studiet begrenser vi oss til å evaluere fangst av makrell, norsk vårgytende sild og nordsjøsil. Vi vil her gi en kort beskrivelse av fangstmetoden, samt en oppsummering av noen fysiologiske og (stim)atferdsmessige faktorer som kan ha mulig betydning for valg av metode for måling av fisketetthet og etablering av slippkriterier.

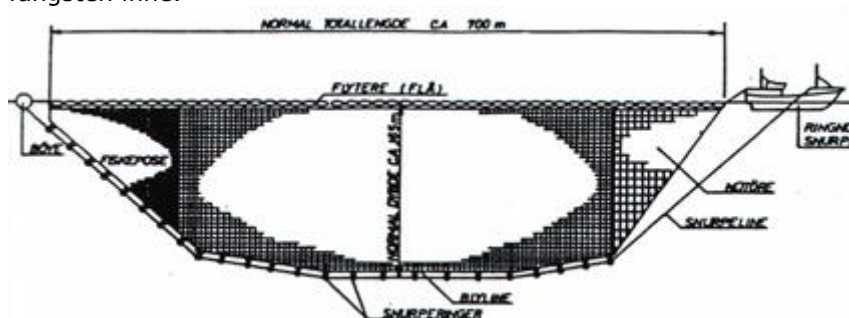
### 4.1 Fangstmetodikk

Man deler notflåten inn i to hovedgrupper, ringnotflåten og kystflåten. Tidligere fantes også et landnotfiske, men dette er nå nærmest forsvunnet. Kystflåten har tradisjonelt vært mindre fartøyer som har drevet et kystnært fiske, men den senere tids utvikling gått i retning av at kystnotfartøyerne er blitt større og bedre utstyrt, og nå beveger seg lengre til havs slik at skillet mellom de to gruppene delvis er visket ut. Et ringnotfartøy er som oftest fra 50 til 80 m, og dagens kystnotfartøyer er gjerne fra 30 til 50m. Det er imidlertid små forskjeller på notredskapene som de to fartøygruppene bruker. Nota til de største ringnotbåtene er gjerne på 200 x 800 m (110 x 450 favner) og kystnot 160 x 700 m (90 x 380 favner). Det er heller ikke vesentlige forskjeller på hvordan fiskeriet utøves eller fiskeredskapen håndteres. Den største forskjellen ligger i lastekapasiteten. En kystnotbåt har en lovbestemt lastekapasitet på maksimum 500 m<sup>3</sup> og ringnot på 2000 m<sup>3</sup>. Siden nøtene, og dermed fangstevne, er relativt like for ringnot og kystnot, blir slippebehovet til kystflåten betydelig større enn for ringnot.

Notfiske kan inndeles i 5 hovedfaser:

1. Letefasen
2. Kasting
3. Snurping (nota lukkes)
4. Innhaling av not
5. Ombordpumping av fangst

Under letefasen søkes stimer opp ved hjelp av fartøyets akustiske instrumenter (avanserte sonarer og ekkolodd). I utgangspunktet er snurpenota en stor "nettplate". Hvis en ser nærmere på figur 2, ser en snurpelina. Denne er det som gjør at nota snurper seg sammen ved innhiving og sperrer fangsten inne.



**Fig. 2:** Illustrasjon av en snurpenot

Ved setting av nota, slippes et drivanker og nota går ut, og samtidig må en slakke på snurpelinen. En går ut nota i en ring mot styrbord, tilbake til den notenden en satte ut først. En snurper så sammen bunnen av nota inntil snurpelina med snurperinger henger på skutesiden og fangsten er sperret inne i en notpose. En "tørker" så nota gjennom en triplex og nota føres videre med leggerull/notlegger til notbinge på den aktre del av fartøyet. Til slutt er fangsten presset sammen slik at ombordpumping kan starte.

## 4.2 Sild (*Clupea harengus*)

### Biologi og bestand

I våre havområder finnes flere bestander av sild, men norsk vårgytende sild er definitivt den største. I tillegg er det andre sildebestander, blant annet ved Island, i Nordsjøen og i Skagerrak. Norsk vårgytende sild har sitt overvintringsområde i Vestfjorden. I februar/mars starter vandringen mot feltene utenfor Nord-Vestlandet der størsteparten av gytingen foregår. Silda går videre på næringsvandring vestover før den trekker nordover og til sist østover utpå høsten. Larvene følger kyststrømmen nordover og oppvekstområdet for ungsilda ligger i Barentshavet. Det var den norske vårgytende silda som la grunnlaget for det norske vintersildfisket, feitsildfisket og småsildfisket. Det norske fisket foregår hovedsakelig i perioden oktober-mars når silda har god kvalitet og er lett tilgjengelig.

Nordsjøsilda tilbringer hele sitt liv i Nordsjøen, Skagerak og Kattegat. Den gyter i motsetning til NVG-silda om høsten, og de viktigste gyteområdene ligger i det nordvestlige Nordsjøen (fra Shetland og langs østkysten av Skottland). Om høsten trekker den mot Norskerenna der den overvintrer. Sildefisket i Nordsjøen og Skagerrak foregår hovedsakelig sommer og høst.

### Syn og lyspåvirkning

Sild har et velutviklet syn, og er avhengig av lys bl.a. for å finne mat og unngå hindringer, som en not eksempelvis kan utgjøre, og sildas foringsmønster synes sterkt knyttet til lysnivået. Fiskearten har maksimal skotopisk sensitivitet for lys rundt 510-520 nm. Det ser ut til å kreves et minimum lysnivå på mellom 0,004 til 0,0003 lux for at sild skal kunne nyttiggjøre seg synet. Til sammenligning er terskelnivået for mørkeadaptert menneskelig syn rundt  $3,6 \times 10^{-7}$  lux, med maksimal sensitivitet rundt 500nm. (Blaxter, 1968).

### Akustikk

Sild er en fiskeart med åpen svømmeblære, som tømmes og fylles med gass for å tilpasse flyteevnen for vertikal migrasjon. Sild er en såkalt hørsels-generalist, og kan bli påvirket av svingninger i trykk og akselerasjon.

Svømmeblæren gjør silden meget godt synlig på sonar og ekkolodd. I tette stimer / ved trenging er utsløkking og multipl spredning problemstillinger som kan begrense muligheter for nøyaktig mengdemåling og avbildning.

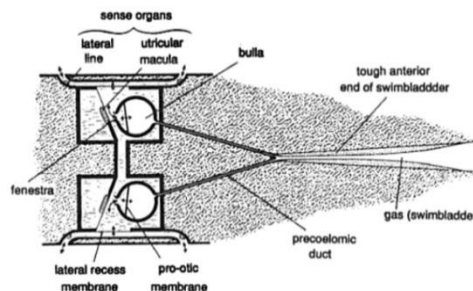


Fig.3: Svømmeblære, akustiske sanseorgan

### Notfiske etter sild:

Vintersild: Fangstsesong januar-mars  
Fjordsild: Fangstsesong august-april  
Nordsjøisild: Fangstsesong mai – juni og oktober-november

### Fiske etter NVG-sild:

**Hvor:** På kysten av Nordland til Møre og Vestlandet. Starter i nord og flytter seg sørover.  
**Når:** Om vinteren i januar til april, og på høsten i november og desember.  
**Tid på døgnet:** Fisket starter som nattkasting på vinterstid og går over på dag utpå våren. Om høsten og vinteren er det motsatt.

**Flåtesegment:** Ringnot- og kystflåten

### Registreringene det kastes på:

Ved nattkasting fiskes det på store tette "flak" eller "slør"-registreringer. Dagkasting starter i mars og april på Møre. Da kastes det på definerte stimregistreringer.

### Karakteristisk atferd i nota:

Ved nattkasting, når silda går i slør, er den lett i nota (dvs. den trekker ikke ned i nota). Ved dagkasting på Møre går silda i tette stimer så det ofte blir store kast og med sprenging av nøtene.

**Fiske etter Nordsjøsil:****Hvor:** I Nordsjøen, fra Stad i nord og sørover til Lindesnes.**Når:** Mai-juni og oktober-november.**Tid på døgnet:** Dagkasting.**Flåtesegment:** Ringnot og kystnot.**Registreringene det kastes på:** Enkeltstimer**Karakteristisk atferd i nota:** Dagkasting, silda svømmer i hele nota.**Spesielle problemer:** En spesiell størrelse og kvalitet (Matjeskvalitet) gir spesielt god pris. Dette gir insentiv til slipping dersom kvaliteten ikke er som ønsket.

### 4.3 Makrell (*Scomber scombrus*)

Makrellen kan fanges på ulike måter, men de største kvanta tas med snurpenot.

**Biologi og bestand**

Makrell finner vi Øst-Atlanteren fra Kanariøyene og nordover til Kolakysten og Island. Vi finner den ved Østersjøen, Middelhavet og Svartehavet, og langs hele norskekysten. Makrellen er en utpreget stimfisk, som er i konstant bevegelse i de frie vannmasser. Vanligvis opptrer den i de øverste vannlag, men om vinteren finnes den av og til ned på 200 - 250 m. Om sommeren kommer makrellen inn til kysten for å beite. Den er relativt varmekjær, og tar i liten grad til seg mat gjennom den kaldeste perioden av året. Makrell som fanges tidlig på våren er derfor mager. Forplantningen skjer i mai - juli, både til havs og ved kysten, ved en vanntemperatur på 12 - 13 °C. En hunnfisk gyter porsjonsvis og nær overflaten om natten. Gytingen foregår vanligvis i det åpne hav, men av og til skjer gytingen nær land, eller inne i fjorder.

**Akustikk**

I motsetning til andre pelagiske fiskearter som sild og lodde, har ikke makrell svømmeblære. Dette betyr at fisken må være konstant i bevegelse for ikke å synke. Makrell er en kraftig svømmer, og kan komme opp i stor hastighet.

Fraværet av svømmeblære gjør makrell mindre synlig enn sild for akustiske observasjonsmetoder. Det brukes ofte høyere akustiske frekvenser enn for fisk med svømmeblære, og signalenes rekkevidde minker med frekvens. Ved korte avstander slik som like før og under notfiske, er akustiske metoder like egnet for makrell som for sild, dersom man tar høyde for å kunne måle på fisk med ulik fysiologi.

**Fiske etter makrell:****Hvor:** Utenfor vestlandskysten og vestover til Shetland**Når:** August – November**Tid på døgnet:** Starter med dagkasting.

I slutten av sesongen (oktober) går mye av fisket over på natt.

**Flåtesegment:** Ringnot- og kystflåte.**Registreringene det kastes på:** Makrell gir dårlig akustiske registreringer fordi den mangler svømmeblære, noe som kan gjøre det vanskelig å beregne kvantum i en makrellstim instrumentelt. Særlig i mørke når fisken står i slør, er det vanskelig å begrense fangstmengde.**Karakteristisk atferd i nota:** På dagtid får makrellen karakteristisk panikkatferd med "koking" i overflaten ved en viss tetthet. Om natta går fisken mer ned i nota slik at den blir tung.**Spesielle problemer:** I slutten av sesongen ved nattkasting er det en del sprenging av nøter.

## 5 Teknologievaluering

Mulige teknologikandidater er her vurdert spesifikt for hver av måleparameterne beskrevet i avsnitt 3.

### 5.1 Måleparameter 1: Fisketetthet

#### 5.1.1 Fiberoptisk "loddstreng"

I tidligere tider ble stimers tetthet, i tillegg til dybde, retning og størrelse, målt med håndlodd fra basbåt. Vibrasjoner i loddstrengen, generert av fisk som traff strengen, ble registrert av basen og ga ham informasjon til å anslå blant annet tetthet med angivelig god nøyaktighet.

Moderne teknologi kan muliggjøre en automatisert versjon av det overnevnte måleprinsippet, hvor vibrasjonene detekteres ved hjelp av distribuert fiberoptisk sensorteknologi (se 5.2.2). Fisketetthet kan anslås ved hjelp av frekvensanalyse på signalet som blir generert. Det vil imidlertid være utfordringer knyttet til praktisk bruk, robusthet og utplassering av sensor i riktig posisjon i forhold til stim og not. Med mindre det er aktuelt å gjeninnføre en slags basbåt (enten autonom eller manuelt operert), vil dette derfor ikke være en anbefalt løsning.

#### 5.1.2 Optisk avbildning – under vann

Optisk avbildning og bildebehandling/videoanalyse kan gi direkte mål på tetthet mellom individuell fisk i stimen gjennom relativt enkel prosessering. Innen optisk avbildningsteknologi har det vært en stor utvikling de siste årene. Moderne sensorer og avbildningsteknikker muliggjør en lyssensitivitet, oppløsning og rekkevidde som var utenkelig for få år siden. Dette gir optisk avbildning stadig større anvendelsesområder også under vann og i turbide medier. Et godt designet optisk kamerasystem kan gi en rekkevidde under vann på over hundre meter i noenlunde klart sjøvann.

Det er sannsynlig at man ved hjelp av et kamera montert på skroget under vannlinjen utviklet spesielt for formålet kan ha en rekkevidde som kan dekke hele noteområdet fra svært tidlig i fangstprosessen med zooming og panorering, og kanskje vil kunne muliggjøre identifikasjon av art, størrelse og kvalitet på fisken i stimen før noten i det hele tatt settes. Båtmonteerte optiske kameraer vil imidlertid begrense tetthetsmålinger til å gjelde utkanten av stimen i utvalgte kameravinkler. Distribuerte kameraer i noten kan tenkes å være en løsning for å kunne observere stimen fra andre vinkler, men vil være utfordrende å implementere i praktisk fiskeri.

### Applikasjons-tilpasning

For innkapsling og tilpasning av kameraer for undervanns bruk finnes det noen viktige hensyn å ta. For eksempel varierer brytningsindeks ulikt med bølgelengde (dispersjon), og introduksjon av et eksternt glassvindu mellom kamera og avbildningsobjekt kan introdusere geometriske distorsjoner og fargefeil (kromatisk aberrasjon) som reduserer avbildningskvaliteten dersom kameraoptikken i utgangspunktet er designet for bruk i luft. Fokallengde, fokus kvalitet og kontrastsensitivitet er andre ytelsesparametere som kan påvirkes dersom kameraoptikken ikke er designet for formålet.

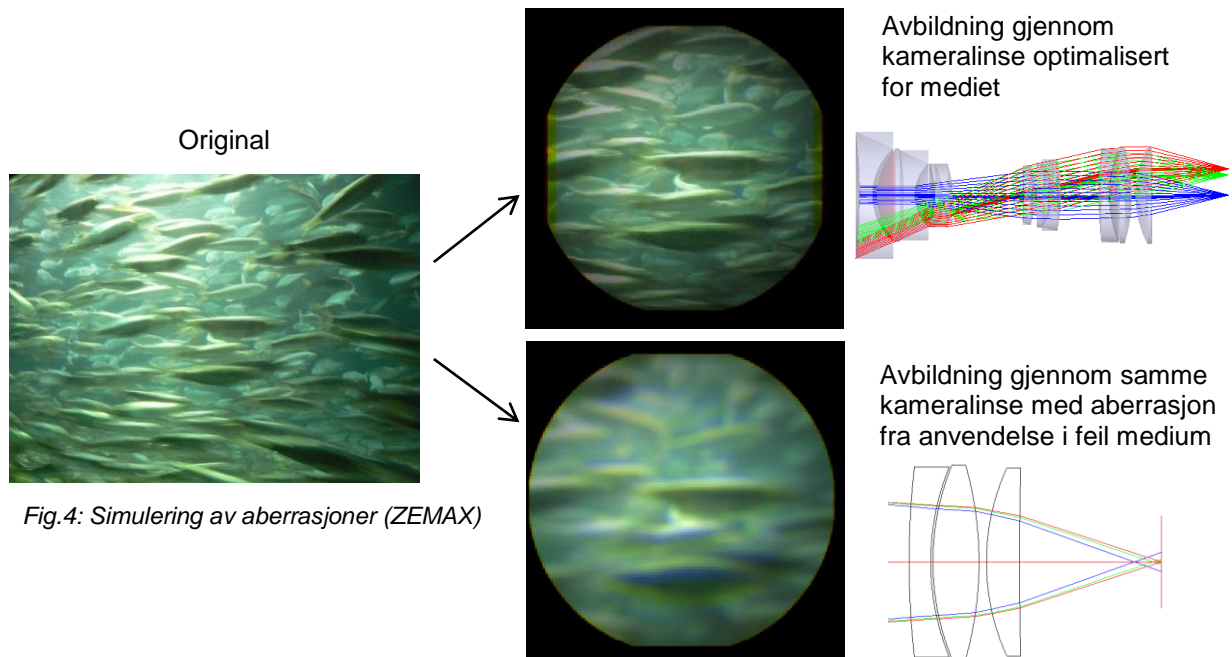


Fig.4: Simulering av aberrasjoner (ZEMAX)



Det finnes etter hvert også en god del standard kameraløsninger tilpasset undervanns bruk tilgjengelig på markedet, men for å oppnå optimal avbildningskvalitet og rekkevidde under vann er det mange faktorer å ta hensyn til og ytelsesparametere som må balanseres mot hverandre. For å måle fisketetthet i notfiske er det sannsynligvis nødvendig med en spesialtilpasset løsning for å oppnå tilstrekkelig rekkevidde, detaljbilde og nøyaktige dimensjonsmål. Robusthet og vedlikeholdsvennlighet er også viktig å ta hensyn til for praktisk applikasjon i fiskeri, da et slikt kamera vil ha en utsatt plassering blant annet med hensyn til mekanisk belastning, vibrasjoner, temperaturendringer og begroing/tilsmussing.

CMR har i samarbeid med UiB, Polytec og partnere innen olje- og gassindustrien nylig fått tildelt innovasjonsmidler fra NFR's Petromaks program til et prosjekt (ClearView) hvor det skal utvikles robust, selvrensende vindusteknologi for undervannskamera og optiske sensorer basert bl.a. på nanostrukturerte overflater. Kunnskap og teknologiske løsninger fra dette prosjektet vil kunne være direkte overførbare til applikasjoner i marin sektor som omhandles her.



## Rekkevidde, kontrast og oppløsning

Å få optimal ytelse fra et undervannskamera dreier seg både om valg av sensortype, signalprosessering, bølgelengdeområder, polarisasjonsfiltrering, belysningsteknikker, linse/coating-kvalitet og optisk design.

Valg av **spektralt sensitivetsområde** for kamerasensoren er svært viktig med hensyn til et kameras rekkevidde. Minst absorpsjon og maksimal rekkevidde vil man i rent vann finne rundt 420nm, kortere bølgelengder absorberes mer, rødere lys absorberes i stadig sterkere grad, og infrarødt lys har svært kort penetrasjonslengde i vann.

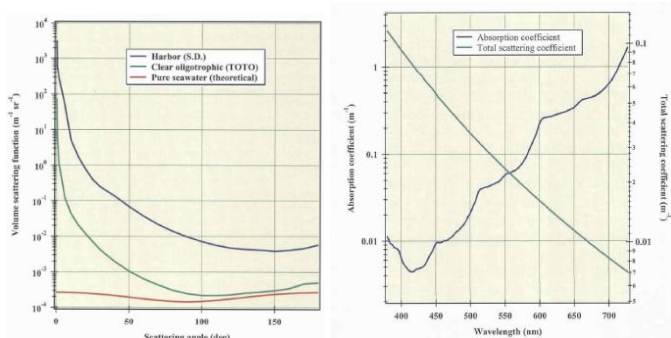


Fig.5: Volume scattering function (Petzold, 1972)

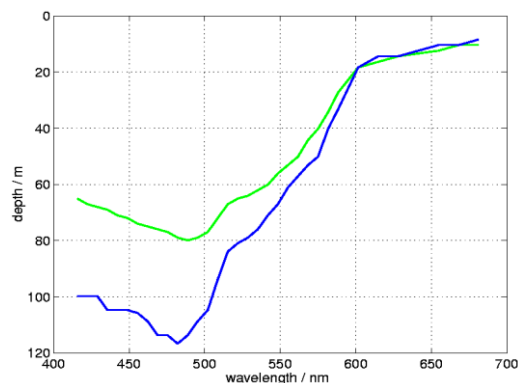


Fig. 6: Laser penetrasjon i åpent Atlantisk farvann [blå], og i kystnært farvann utenfor Vest-Afrika [grønn]. Kilde: Laser Optronix AB

For å finne optimal bølgelengde må man også ta hensyn til vannets turbiditet og spredningsegenskaper for å redusere uønsket strølys og øke kontrasten i avbildningen. I uklart vann med mye oppløst material vil lys med kort bølgelengde spres mer enn lys med lengre bølgelengder. Tar man hensyn til både absorpsjon og spredning, finner man typisk et optimalt område mellom 450 og 550 nm i sjøvann. Dette kan imidlertid variere fra en lokalitet til en annen, da det i stor grad er avhengig av hvor mye organiske og uorganiske partikler som finnes oppløst i vannet og blandingsforholdet mellom disse, samt algeforekomster. Hvordan fisken eventuelt reagerer ved bruk av aktiv belysning, samt kost/nytte vurderinger for tilgjengelige LED/laser lyskilder bør også tas i betraktning.

## Sensortype

Ønskes lang rekkevidde på avbildning under vann er valg av bildesensor av kritisk betydning. Faktorer som pikseloppløsning, spektralrespons, sensitivitet og signal/støy-forhold kan variere mye mellom ulike sensortyper.

I et kamera basert på **CMOS** (complementary metal-oxide-semiconductor) kan selve sensoren integreres med drivere, signalbehandling og bildeprosessering direkte i et single-chip system gjennom en masseproduserbar prosess som gir høy oppløsning til lav pris. CMOS teknologi har bl.a. muliggjort den digitale kamera-revolusjonen i konsumentmarkedet. For applikasjoner med tilstrekkelig belysningsnivå er CMOS gjerne et førstevalg og gir ofte den beste balansen mellom kost og ytelse.

CMOS har en god spektralrespons i forhold til undervannsavbildning, men har imidlertid en lavere total sensitivitet og noe høyere bildestøy enn hva man kan oppnå med andre teknologier.

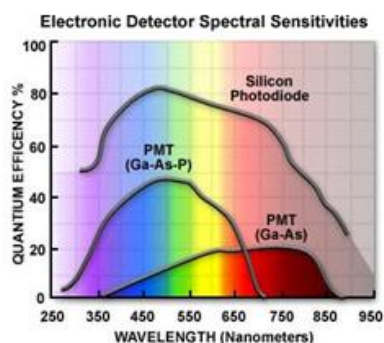


Fig. 7: Spektralsensitivitet

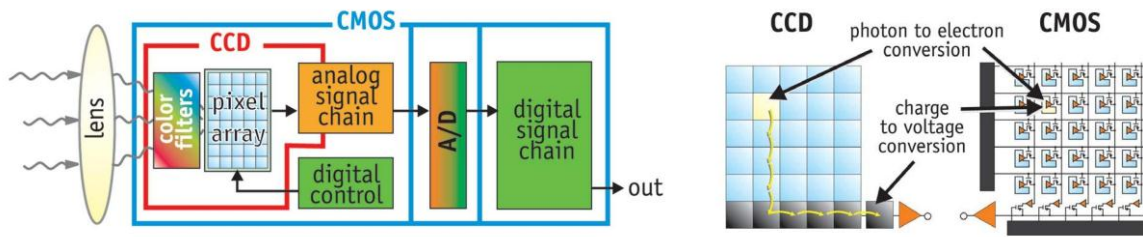


Fig. 8: CMOS vs CCD

En **CCD** (charge-coupled device) sensor har pga. material, oppbyggingsstruktur og fyllfaktor et bedre utgangspunkt for høy sensitivitet og signal/støyforhold enn CMOS. For å oppnå lang rekkevidde under vann kan dette ha avgjørende betydning. Støyforholdet kan også forbedres kraftig ved å benytte **nedkjølt CCD**, hvor sensorbrikken typisk er koblet til et Peltier-element for stabilisering av temperatur, og bakgrunnsstøy/sortnivå kan halveres for hver 7-8 °C nedkjøling.

Ved bruk av **bak-belyst CCD** blottlegger man det fotosensitive området mer direkte for innkommende lys, og unngår bl.a. lysabsorpsjon i sensorbrikkens oksid- og elektrode-lag. Dette er spesielt interessant for undervannsavbildning, da det øker sensitiviteten signifikant i bølgelengdeområder hvor vann er mest transparent.

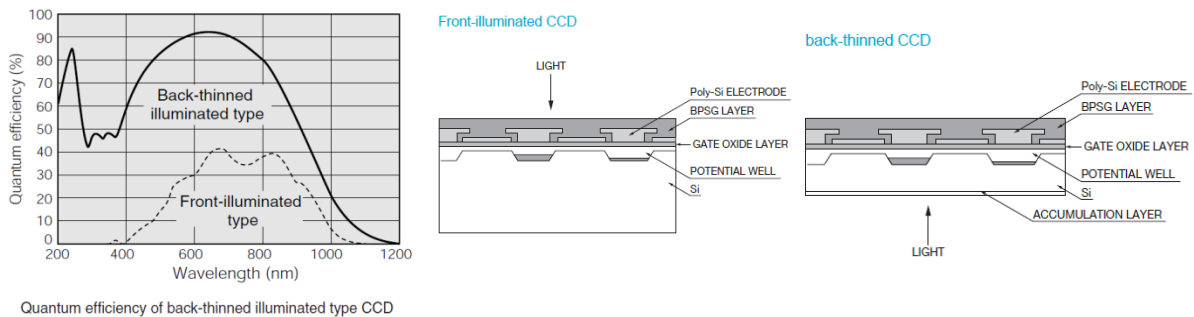


Fig. 9: Back-thinned CCD (Hamamatsu Photonics K.K.)

Dersom applikasjonen stiller svært høye krav, kan sensitiviteten til en CCD økes ytterligere ved å forsterke det innkommende lyssignalet gjennom ulike elektroniske multiplikator-teknikker:

**ICCD (Image Intensified CCD):**

En teknologi hvor lys blir fokusert på en fotokatode av kameralinsen, frigjorte elektron blir multiplisert gjennom en "Micro Channel Plate" som gjengir pikselinformasjonen forsterket på en fluorescerende skjerm, som i sin tur blir avbildet på en CCD sensor av optiske relay-linser eller fiberoptikk.

Gir en gain typisk rundt 1000x, men også en del "gain fluctuation" som kan gi granulært støy i bildet.

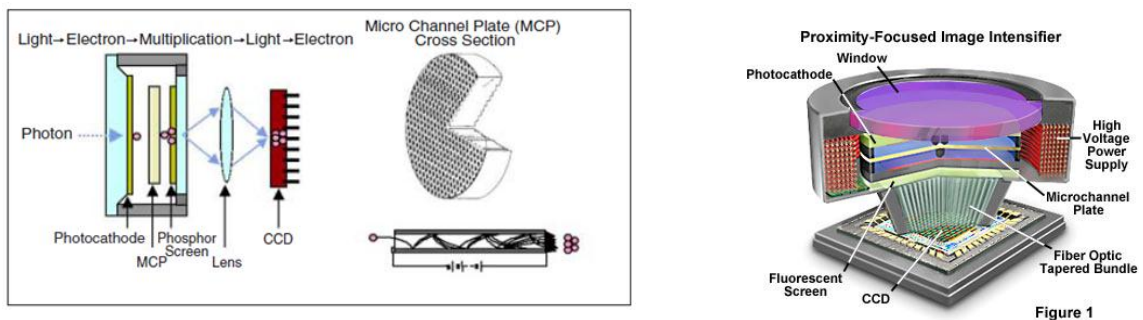


Fig. 10: ICCD prinsippsskisse (Hamamatsu)

**EB-CCD (Electron-Bombarded CCD):**

En enklere konstruksjon uten MCP som i ICCD, hvor elektron frigjort på fotokatoden blir direkte akselerert mot en bak-belyst CCD av høy spenning (flere kV), hvorpå kollisjonen frigjør flere elektron som forsterker bildet. Kan gi ~1200x gain, mindre bildestøy og bedre linearitet enn ICCD.

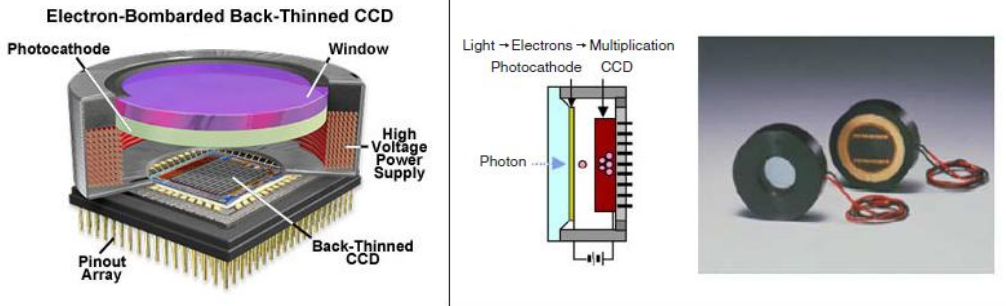


Fig. 11: EB-CCD prinsippskisse (Hamamatsu)

**EM-CCD (Electron Multiplier CCD):**

En bakbelyst CCD med "frame transfer", hvor bildeinformasjon fra hvert sensor-piksel "speiles" midlertidig i et mellomlagrings-array med elektroniske multiplikatorer på overføringsleddet. Gir en fleksibel gain opptil 2000x, men er avhengig av nedkjøling.

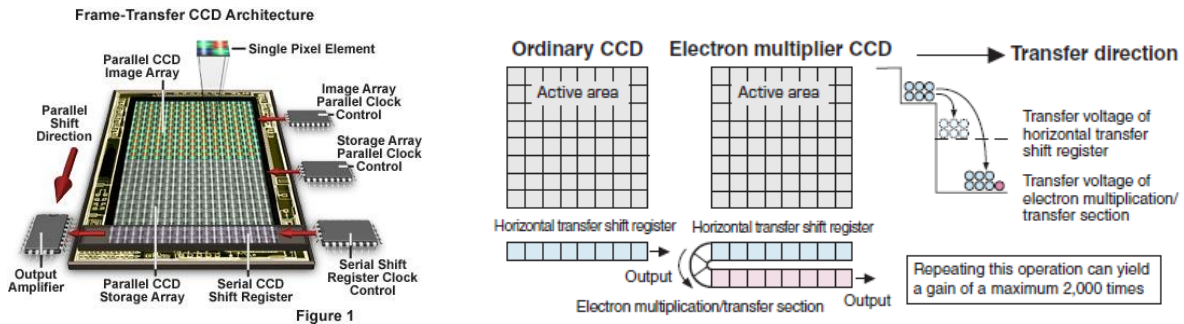
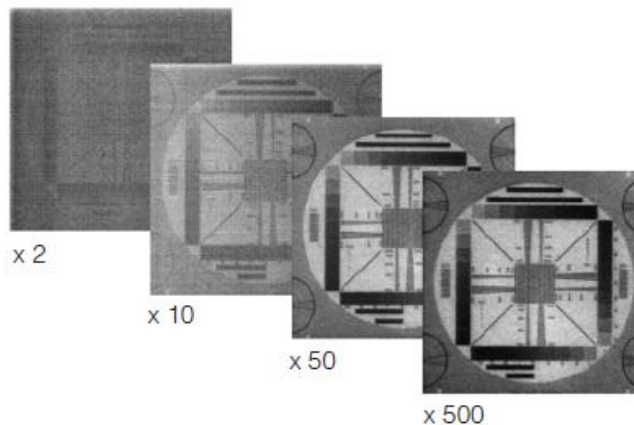


Fig. 12: EM-CCD prinsippskisse (Hamamatsu)



Output images obtained when gain was varied with light level kept constant  
 (Hamamatsu Photonics K.K.)



### Belysningsmetoder

Valg av metode for aktiv belysning kan ha stor påvirkning på et kamerasystems ytelse. Spesielt ved avbildning under vann og i situasjoner med dårlig sikt og mye lysspredning, vil sub-optimale løsninger kunne ha store konsekvenser for både avbildningskvalitet, kontrast og rekkevidde.

Separasjonsavstanden mellom kameraoptikk og belysningen er en viktig faktor for å hindre uønsket tilbakespredning med redusert kontrast og rekkevidde som konsekvens. Samtidig er det viktig at belysningen har godt overlapp med kameraets synsfelt, og leveres på en effektiv måte for å øke systemets sensitivitet og dermed rekkevidde. En distribuert belysning i noten vil for dette formålet kunne være nyttig, da man kommer nær avbildningsobjekt og oppnår en direkte belysning som i liten grad vil gi uønsket strølys på kamerasensoren. Nye, effektive LED lyskilder kan gjøre det aktuelt med batteridrevne notsonder. Belysning kan også tenkes levert via fiberoptiske kabler integrert i not, eller fra søkelys montert på skipsbroen.

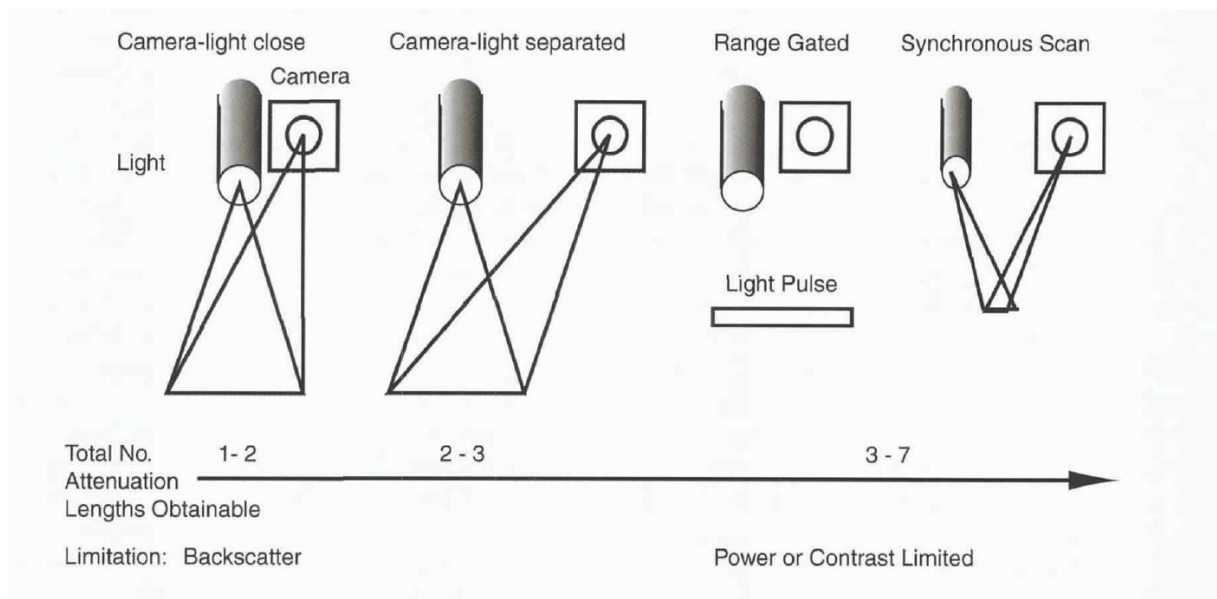


Fig. 13: Trade-offs mellom belysningsmetoder og rekkevidde (Jaffe et.al., 2001)

Dersom det ikke er mulig/ønskelig verken å integrere lyskilder i not eller montere belysning separat på båtskrog, kan man eventuelt bygge belysningen inn i eller rundt selve kameraet. Det finnes ulike teknikker man kan benytte for å optimalisere belysningsforholdene i situasjoner hvor man har begrensninger i posisjonering av lyskilden i forhold til kamera:

Man kan eksempelvis benytte **range-gating** teknikker, hvor belysningen pulser og kameraet er sensitivt kun for den tidsperioden som korresponderer til når lyset har nådd tilbake til kameraet fra det aktuelle avbildningsområde.



Laser basert range-gated kamera,  
rekkevidde opptil 100 meter  
(Aqua Lynx, Laser Optronix AB / TURN LLC)

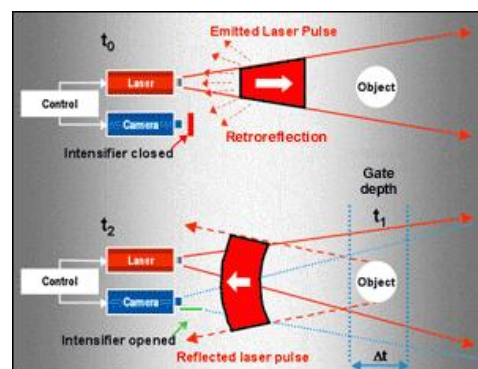


Fig. 14: Range-gating prinsippskisse

**Strukturert belysning** hvor man for eksempel anvender skannende belysningsmønstre og rekonstruksjon av objekt-scenen er andre teknikk som kan øke kontrastforholdene ved turbide forhold. Se eksempel nedenunder hvor man benytter linjeskanning i uklart vann for å øke avbildningskvaliteten.

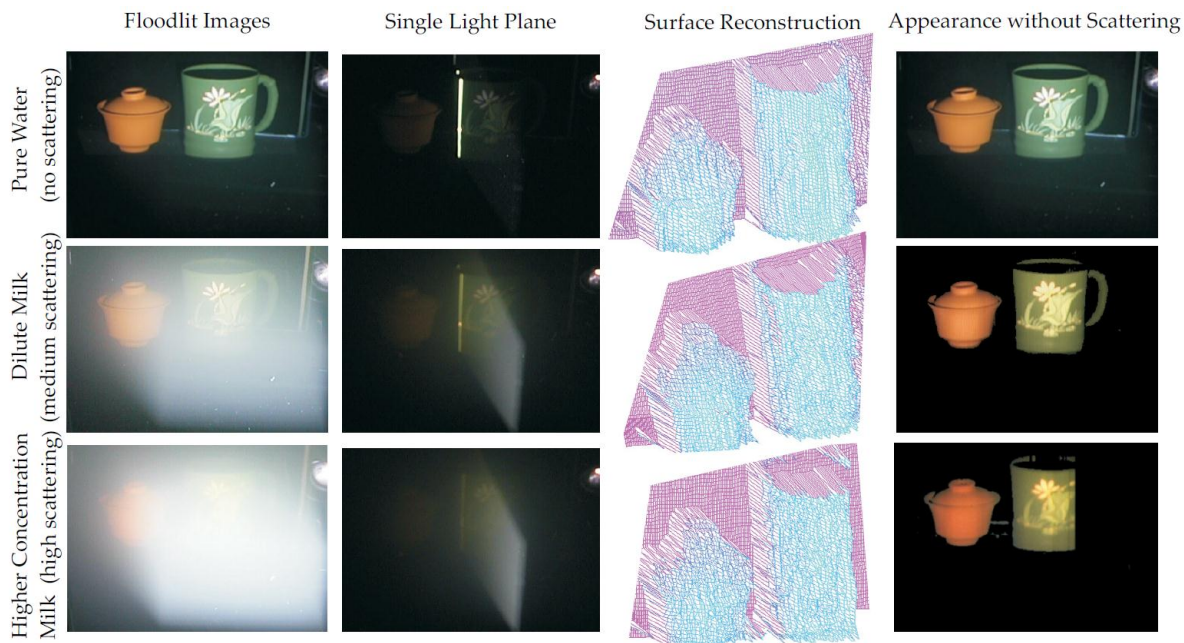


Fig. 15: Laser Line Scanner (Narasimhan, 2005)

Dette er imidlertid fordyrende metoder som gir større kompleksitet og mindre robuste løsninger, og selv om rekkevidden ut fra kontrasthensyn kan økes, vil det kunne redusere rekkevidden ut fra effektivitets-/ sensitivitetshensyn. I tillegg vil avbildningskvaliteten kunne påvirkes av båtens bevegelser og vibrasjoner dersom man benytter skannende system eller bildesensorer med utilstrekkelig framerate. Optisk og/eller elektronisk stabilisering er mulig også her, men et slikt system vil ha noen klare begrensninger, bl.a. i forhold til oppdateringshastighet.

**Polarisasjonsfiltrering**

Ved enkelte belysningsforhold og under turbide forhold kan det være viktig å ta hensyn til belysningens polarisasjon også under vann for å redusere strølys og dermed øke kontrast og rekkevidde. Enkle, lineære polarisjonsfiltre på kamera kan gi en god effekt i seg selv, og man kan ytterligere forbedre avbildningen ved postprosessering av bilder fra kameraer med ulike polarisasjonsfiltrering.

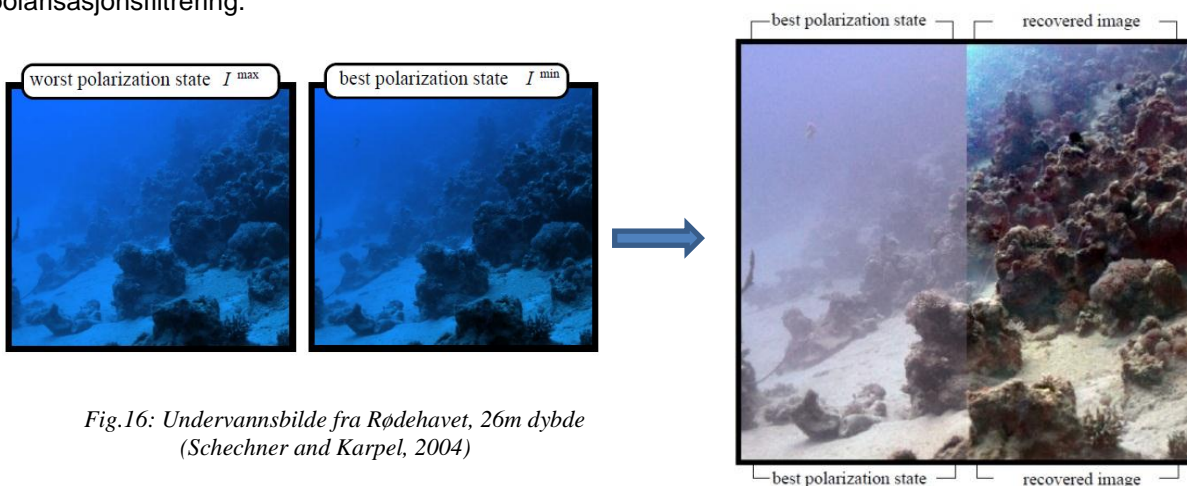


Fig.16: Undervannsbilde fra Rødehavet, 26m dybde (Schechner and Karpel, 2004)

### 5.1.3 Optisk avbildning – fra skipsbro

Ved hjelp av optimale belysningsmetoder samt spektral- og polarisasjonsfiltrering, og eventuelt i kombinasjon med range-gating teknikker, vil man kunne se dypt under havoverflaten med et kamera montert på skipsbroen.

Selv om det vil kunne være utfordrende å få gode og tidlige målinger av direkte fisketetthet i stim på lang avstand med et overflate-montert kamera, vil et slikt kamera kunne være til stor praktisk nytte for mannskapet under selve fangsten ved å gi et bedre overblikksbilde mht. stimens størrelse og bevegelser, samt kunne gi mer detaljert informasjon om art og kvalitet på et tidligere stadium enn man ville vært i stand til med det nakne øye, spesielt ved nattfiske.



### 5.1.4 Konvensjonelle og bredbånds ekkolodd

Ekkolodd orientert enten vertikalt eller horisontalt åpner for flere muligheter for tetthetsmåling i not som kan gi kontinuerlig mål på trengingsgrad eller tetthet.

- Tradisjonell mengdemålingsmetodikk med integrering av den akustiske energien som mottas etter tilbakespredning fra fisken vil kunne brukes for å angi tetthet. Dette gir kun et relativt mål hvis man ikke kjenner stimens sammensetning. I tillegg vil høye fisketettheter kunne føre til at det såkalte linearitetsprinsippet mellom fiskemengde og tilbakespredt akustisk energi mister sin gyldighet.
- I situasjoner hvor man kan eller er nær ved å kunne skille enkeltfisk fra hverandre (standard kriterier for enkeltmåldeteksjon trenger ikke nødvendigvis å være oppfylt) kan man måle avstanden mellom enkeltfisk direkte. En slik fremgangsmåte betinger en tilstrekkelig smal akustisk stråle og tilstrekkelig akustisk dybdeopløsning i forhold til området av fisketettheter man ønsker å kunne måle. Neste generasjons ekkolodd (eksempelvis BBT/Simrad EK80) vil kunne tilby økt dybdeopløsning og potensielt skille fra hverandre enkeltfisk inne i tette stimer.

En praktisk utfordring vil være å rette en smal akustisk stråle dit tetthetsmålingen ønskes utført. Ekkoloddet kan for eksempel monteres i en "searchlight sonar"-konfigurasjon hvor svingerens stråle kan rettes inn manuelt eller automatisk. Bevegelse, støy og interferens er blant potensielle utfordringer for et system av dette slaget. En løsning basert på (bredbånds)ekkolodd vil være relativt kostbar og ligge noe fram i tid.

### 5.1.5 Avbildende sonar



Fig. 17: Sonarbasert kamera – eksempel med akustiske linser

Sonarer benytter ultralyd til å produsere to- og tredimensjonale bilder av fiskestimen. Slike systemer er i utstrakt bruk til fiskeleting og under setting av not. Mer avanserte billeddannende sonarer brukes blant annet til adferds-studier og kan gi indikasjon på art, størrelse og avstand mellom individene. Frekvens og rekkevidde må balanseres mot krav til lateral og radiell oppløsning (Fig.18). En av fordelene med sonar er, i liket med annet akustisk utstyr, evnen til å måle uavhengig av lys- og turbiditetsforhold.

Dette er imidlertid relativt dyr og avansert instrumentering med begrenset rekkevidde og gjennomtrengingsevne i stimen. Den relativt korte rekkevidden gjør blant annet plassering til en utfordring for å belyse stimen i en tidlig snurpefase.



Avbildende sonar kan benytte akustiske linser typisk laget av ulike typer polymer og væsker, som styrer lydbølger etter samme prinsipp som optiske linser, eventuelt kan den bestå av elektronisk fasestyrte transducer-matriser. Fordeler med å benytte akustiske linser er blant annet lavere kostnad og mindre krav til front end elektronikk og prosessering. Fordeler med phased-array løsninger er bl.a. mer kompakte system, samt en raskere fokusering og strålestyring.



Figur 18. ABIS sonar med akustiske linser for ROV inspeksjon; 6 Hz, 1 cm oppløsning på 3 m avstand.

Den mest benyttede billedannende sonaren innenfor marin og fiskeriforskning (se for eksempel Moursund et al., 2003; Handegard og Williams, 2008; Boswell et al., 2011) er SoundMetrics DIDSON (Dual-Frequency Identification Sonar). Sonaren genererer "bilder" ved bruk av line-focused-beams (LFB). En av motivasjonene for dette instrumentet var å gi god nok oppløsning slik at det kunne være et alternativ til optiske metoder i turbide omgivelser. DIDSON opererer på to frekvenser og former 96 stråler separert med 0.3° eller 48 stråler separert med 0.6°. Rekkevidden er omlag 12 meter ved 1.8 MHz eller 40 m ved 1.0 MHz. Sende- og mottakerstrålen formes av akustiske linser med rektangulær apperature konstruert av plast (polymethylpentene) og væske for bruk i elektronikk (FC-70). DIDSON kan fokusere på objekt fra 1 m fra instrumentet og ut til sonarens maksimale rekkevidde.

Eksempler med bruk av Didson for observasjon av stimer er vist i Fig. . Andre eksempler på billedannende sonarer er SoundMetrics Aris 1200 (0.7 / 1.2MHz 25 / 80 m), 1800 (1.1 / 1.8 MHz 15 / 35 m), 3000 (1.8 / 3 MHz 5 / 15 m), CodaOctopus Echoscope (3D) og BlueView. CodaOctopus Echoscope har blant annet blitt testet for å detektere fisk som går inn i bunntål (Fangst, Havforskningsinstituttet).

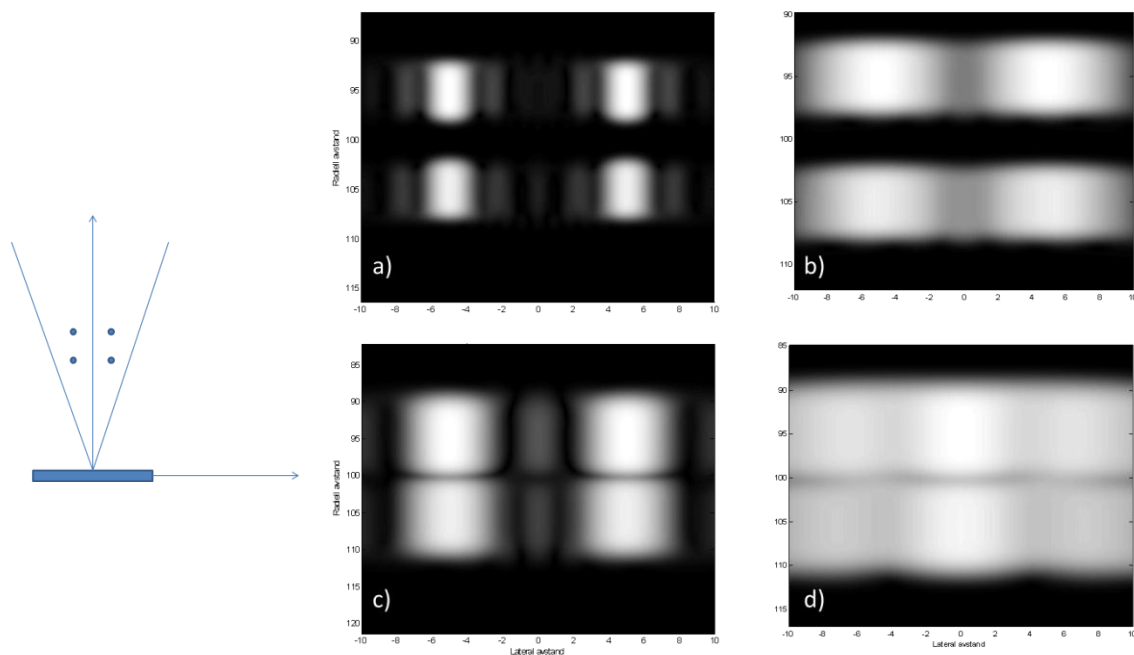


Fig.18: Figuren viser resultat av simulering som illustrerer radiell/lateral oppløsning for et fokusert akustisk linjearray. Fire små objekt posisjonert langs og på tvers av arrayets akustiske akse avbildes med å variere arrayparametere, i dette tilfellet frekvens og fysisk størrelse. a) Høy frekvens/stort array, b) Høy frekvens/lite array,c) Lav frekvens/stort array,d) Lav Frekvens/lite array.

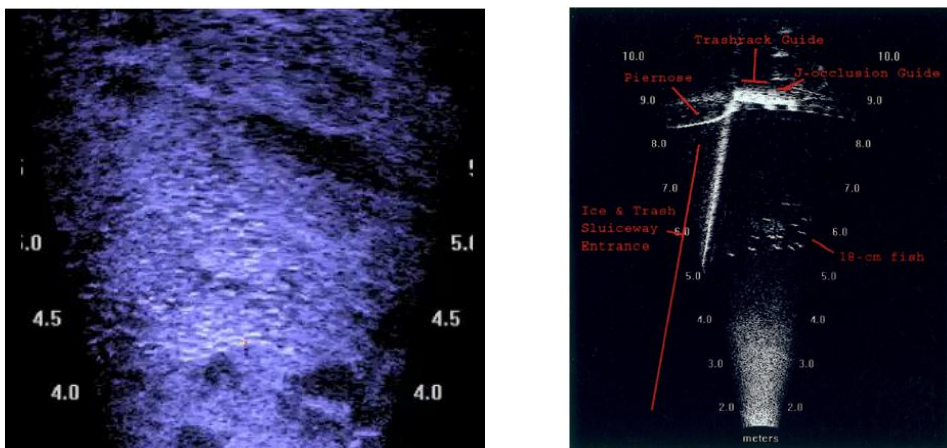


Fig. 19: Anchovy stim ved ca. fem meter med SoundMetrics Didson (Kevin Boswell) og stim med 18 cm fisk (Moursund et. al 2003).

## 5.2 Måleparameter 2: Stimatferd og fiskefordeling i not

### 5.2.1 Fiskerisonar

En rekke båter bruker fiskerisonar aktivt i snurpefasen, selv om det ser ut til også å finnes båter og situasjoner der man drar sonarinstrumentet inn i skroget for å unngå konflikt med not/tau. Eksisterende sonarer for fiskeleting kan gi et bilde av stimdynamikken i nota. Man kan forvente at tilpasninger i programvare og/eller maskinvare vil kunne gi forbedret funksjonalitet i snurpefasen og angivelser av både fisketetthet, stimens form og nærhet til noten. De samme begrensningene som angitt ellers for akustikk i tette stimer, knyttet til bl.a. ekstinksjon og multippel spredning, vil kunne gi begrensninger også her. Bruk av sonar anses likevel for å være en sterk kandidat for å avhjelpe trengingsproblematikken.

Videre kan notsonder (akustiske transpondere) kunne brukes til å angi notens posisjon i sonarens brukergrensesnitt og eventuelt understøtte helt eller delvis automatiske vurderinger av trengingsgrad. Eksisterende notsondeløsninger vil kunne brukes, evt. med tilpasninger til anvendelsen.

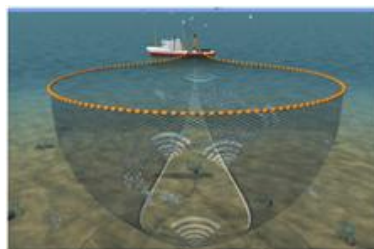


Fig. 20: Seinemaster fra Notus

### 5.2.2 Optiske kamera distribuert i not

Enkle, små kameraer, med eller uten belysning, kan integreres i nota eller i eksisterende not-instrumentering og detektere fisk nær notveggen. Slik teknologi kan i tillegg tenkes å foreta direkte tetthetsmålinger i utkanten av en stim. En utfordring i forhold til en slik løsning er at noten er i stadig bevegelse, og man må finne løsninger både for posisjonering av kameravinkel og optisk stabilisering mht. å oppnå akseptabel avbildningskvalitet. Det er også en utfordring å kunne lage et slikt system robust og enkelt nok, både i forhold til renhold og skader på optisk vindu, samt mht. effektforbruk og kommunikasjon/prosessering av store datamengder.

Vi anser dette som en interessant løsning for forskningsøyemål, men til å ha begrenset potensial for suksess mht. praktisk anvendbarhet i fiskeri.

## 5.3 Måleparameter 3: Fiskens aktivitetsnivå

### 5.3.1 Passiv akustikk

Passive akustiske metoder er i utstrakt bruk for deteksjon og adferdsstudier av marine organismer som produserer lyd enten direkte eller indirekte (fisk, hval, krepsdyr). Hydrofoner kan operere alene eller i arraykonfigurasjoner for posisjonsbestemmelse av lydkilder. Passiv akustiske metoder brukes mest i marin forskning, men også i kommersielle systemer som for eksempel førsystem, hvor førmengde og varighet av føringen reguleres basert på lydene som produseres av oppdrettsfisk.

Hydrofoner kan benyttes til å vurdere aktivitetsnivå, for eksempel via haleslagsfrekvens, interaksjon med notvegg eller annen lyd generert ved svømmeaktivitet. Flere eldre studier har vist målinger av lyd fra svømmende fisk og stimer som blant annet Shiskova (1958, hestemakrell) og Moulton (1960, tropisk fisk). Studier i senere tid fokuserer gjerne på den hydrodynamisk genererte lyden fra fisk med tanke på stimadferd og kommunikasjon mellom fisk. Gray og Denton (1991) viser for eksempel at når sild, brisling og hvitting gjør hurtige svømmebevegelser genereres trykkpulser som forplanter seg i vannet rundt fisken.

Støy fra fartøy, instrumentering og fiskeoperasjonen vil imidlertid gjøre denne typen målinger vanskelig i en fiskerisammenheng.

### 5.3.2 Aktiv akustikk

Aktive akustiske målinger er også blitt brukt til måling av haleslagsfrekvens, blant annet av Handegard *et al.* (2009), som brukte horisontalt orienterte ekkolodd og målte fluktuasjoner i tilbakespredt energi fra enkeltfisk identifisert i stimer.

Der enkeltfisk ikke kan skilles fra hverandre, kan man også tenke seg måling av aktivitetsnivå ved hjelp av akustiske Doppler-teknikker. Høy aktivitet (store hastigheter i fiskens bevegelser) vil her kunne forårsake stor spredning i frekvensinnholdet i tilbakespredt akustisk energi fra fiskestimen.

## 5.4 Måleparameter 4: Kollisjon/interaksjon med not

En mulig tilnærming til trengingsproblematikken kan være å detektere fiskens nærhet/kontakt med notveggene. Flere teknologier kan anvendes for dette formålet, men bruk av fiberoptisk distribuert sensortechnologi integrert i noten synes best egnet. Et sentralt spørsmål er imidlertid om slike målinger kan fange opp uakseptabel trengingsgrad på et tidlig nok stadium til at det er mulig å benytte metoden for å etablere slipp-kriterier.

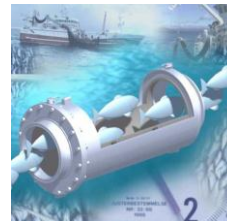
### 5.4.1 Akustiske sensorer

Vurderingene rundt passiv akustikk ovenfor gjelder også under dette punktet. Enkle, små ekkolodd kan integreres i nota i form av notsonder, evt. som erstatning eller supplement til transpondere. Slike enheter kan indikere om det er store fisketettheter i umiddelbar nærhet av notveggen. Santids kommunikasjon kan representere et praktisk problem.

## 5.4.2 Elektromagnetiske biomasse-sensorer

Ved hjelp av konduktivitetmålinger, kan man i prinsippet detektere tilstedeværelse av fisk nær notveggen. Som et eksempel har CMR utviklet slik teknologi for biomassemåling i fiskeri (Fish Flow Meter).

Elektromagnetiske nærhetssensorer vil muligens kunne ha liknende egenskaper til akustiske notsonder, og den samme utfordringen knyttet til sanntids kommunikasjon. Usikkerhetsfaktorene knyttet til følsomhet og måleusikkerhet må anses som store.



## 5.4.3 Fiberoptiske sensorer

Egenskapene til lys som passerer gjennom optiske fibre kan bli påvirket av endringer i fibrenes omgivelsesmiljø. Optiske fibre kan brukes som sensor for både trykk, lyd, strekkbelastninger og temperatur. Det finnes ulike typer fiberoptiske sensorer, som eksempelvis kan klassifiseres ved egenskapene til lyset som moduleres (f.eks tilbakespredning, fase), arkitekturen til selve sensoren (for eksempel fiberspoler, gitter m.m.), og metodene som brukes til avlesning (for eksempel interferometri, bølglengde).

Fiberoptiske systemer kan dekke store avstander/områder og samtidig kvantifisere og posisjonsbestemme lokale strekkbelastninger, trykk- og temperaturfelt med stor nøyaktighet og høy oppløsning.

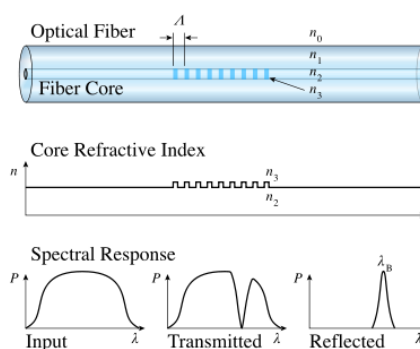


Fig. 21: Fiber Bragg Grating

### Fiber Bragg Gratings

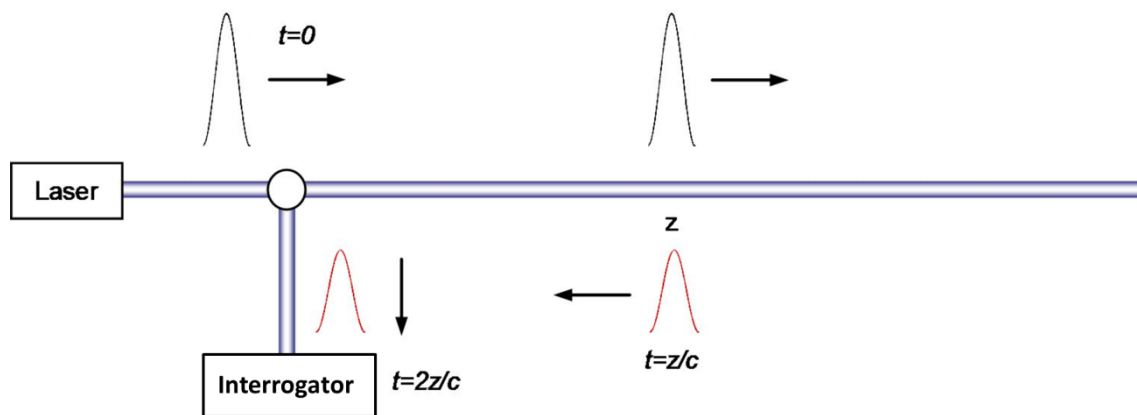
Direkte kollisjon med nettet kan detekteres ved hjelp av optiske strekksensorer, Slike sensorer kan være separate komponenter som kobles på fiberen i et antall målepunkt, eller eksempelvis Fiber Bragg Gratings (FBG) direkte integrert i fiberen ved å introdusere lokal variasjon i optisk brytningsindeks med en UV laser. Flere målepunkt kan lages på en enkelt fiber, og avleses individuelt ved hjelp av spektral eller temporal separasjon.

### Distribuert fiberoptisk teknologi

Det vil i tillegg trolig være en sammenheng mellom lokale trykkfelt tett ved notvegg og innstramming av nettet. Endringer i lokale trykkfelt ved et gitt punkt ettersom nettet strammes inn vil kunne forventes av to hovedgrunner: i) en økning i fisketetthet nær notvegg og ii) en trykkeffekt relatert til endring i fiskens aktivitetsnivå.

Lokale trykkfeltendringer vil kunne måles med et DAS-system (Distributed Acoustic Sensor). DAS-basert teknologi kan måle lokale trykkendringer som variasjoner i såkalt Rayleigh Backscatter fra lys som passerer gjennom en optisk fiber. Rayleigh Backscatter oppstår på grunn av naturlige ujevnheter i refraksjonsindeksen langs fiberen. Hvert punkt langs den enkelte fiber kan behandles som en separat sensor gjennom målinger av reisetid i fiberen. DAS-system har høy sensitivitet, og kan respondere på høyfrekvente vibrasjoner (khz). Silixa ([www.silixa.com](http://www.silixa.com)) and OptaSense ([www.optasense.com](http://www.optasense.com)) er kommersielle leverandører av DAS-systemer. Disse systemene er oftest brukt for overvåking av lange rørledninger, for å opprettholde sikkerhet og detektere lekkasjer.





Figur 22: Oppsett for DAS-system. En akustisk signatur, eller et trykkpunkt, i et punkt  $z$  langs fiberen kan detekteres gjennom analyse av det tilbakereflekterte lyset fra Rayleigh backscattering, detektert ved tiden  $t$  etter at en laserpuls er sendt inn i fiberen.

Når man skal evaluere hvilken fiberoptisk målemetode som er ønskelig å anvende, må man ta hensyn til ytelsesparametere som sensitivitet, hastighet og romlig oppløsning, faktorer som ofte blir veid opp mot andre krav som enkelhet og robusthet. Et målesystem for anvendelse i notfiske må bl.a. ha relativ rask responstid, være robust, overkommelig priset, og ha minimale krav til vedlikehold.

Distribuert fiberoptisk teknologi er spesielt robust ettersom sensorelementet er en enkel lengde optisk fiber uten krav til noen spesiell bearbeidelse, og vil kunne være det beste valget for den foreslåtte applikasjonen. De optiske fibrene kan potensielt veves inn i nettet innkapslet i en solid beskyttelsesstrømpe for økt robusthet. Fibersensoren er imidlertid også en rimelig, passiv komponent som enkelt kan byttes ut (det dreier seg om en standard telekommunikasjonsfiber), noe som kan redusere behovet for robusthet betraktelig.



## 5.5 Måleparameter 5: Metabolisme

Det er sannsynlig at det finnes en sammenheng mellom trengingsgrad og fiskens energiforbruk, hvor stress og aktivitetsnivå påvirker fiskens metabolisme. Det er forventet at fisken opplever forhøyet stressnivå ettersom nota trekkes sammen, og man vil i tillegg få en økt fisketetthet. Gjennom indirekte måling av korrelerende parametere er hypotesen at man kan identifisere grenser for når fisken har blitt utsatt for et stressnivå fra trenging som er for høyt til at fisken kan slippes med en akseptabel dødelighetsrate. CMR har god erfaring med løsninger for indirekte kalorimetrimålinger, både i klinisk sammenheng i samarbeid med Haukeland Universitetssykehus, og gjennom studier av overvåkning av oksygenmetning i brønnbåter og smoltanlegg hvor det er påvist at stressnivået kan måles ved hjelp av slike parametere. Av de aktuelle metodene som er vurdert for å overvåke fiskens metabolisme, er måling av oksygenkonsentrasjon i vann den metoden som synes best egnet, i tillegg til at dette er den mest modne, tilgjengelige og robuste teknologien.

Studier gjort i forbindelse med trenging av brisling (Isaksen, 2011) gir imidlertid indikasjoner på at dødeligheten kan være uakseptabelt høy selv med målt oksygenmetning opptil 97 %, og tyder på at det kan finnes utfordringer knyttet til lokalisering av målingspunkt i forhold til lokale trengingsgrader.

## 5.5.1 Oksygenkonsentrasjon

Fisk påvirker flere vannkvalitets-parametere rundt deres bomiljø. For eksempel vil fisk forbruke vannets oksygen gjennom respirasjon: Den målte oksygen konsentrasjonen på et gitt punkt vil være avhengig av metabolsk rate (dvs. stress / aktivitetsnivå) og fisketettheten i området. Målinger av oppløst oksygen konsentrasjon eller oksygenforbruksrate på ulike punkter i nota vil derfor kunne brukes som del av et tidlig varslingsystem for uakseptable netto trengingsvilkår.

Fluorescens levetid (FL)-basert teknologi for måling av oppløst oksygen i vann er robust og godt etablert, og gir mulighet for rask responstid (~ 1 sek). AADI er leverandører av FL-sensorer for oppløst oksygen i vann som er velegnet for bruk i fiskeri-applikasjoner ([www.AADI.no](http://www.AADI.no)).

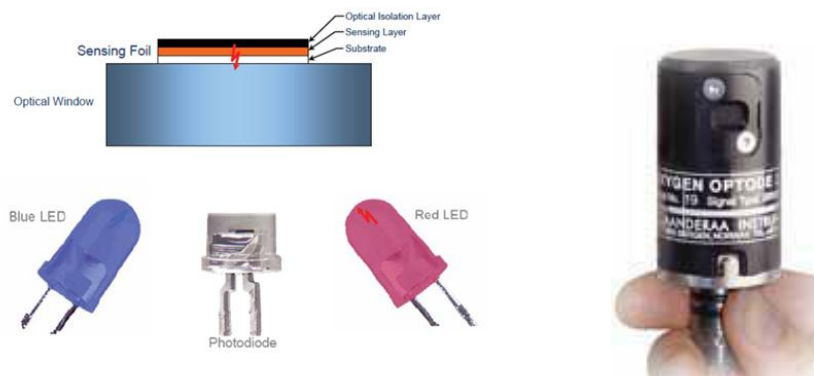


Fig. 23: O<sub>2</sub>-optode (AADI)

## 5.5.2 CO<sub>2</sub>-konsentrasjon

CO<sub>2</sub> er et biprodukt fra fisk åndedrett, og derfor kan målinger oppløst CO<sub>2</sub> konsentrasjon i vann brukes på en tilsvarende måte som måling av oppløst oksygen som en indikator på trengingsvilkår.

Oppløst CO<sub>2</sub> konsentrasjonen målinger basert på FL er mulig, men denne teknologien er mindre velutviklet enn FL oksygen måleteknologi. Det er et pågående samarbeid mellom CMR, UiB og AADI i regi av Michelsen-senteret (MIMT), som fokuserer på utvikling av CO<sub>2</sub> FL teknologi egnet for bruk i fiskeri-innstillinger.

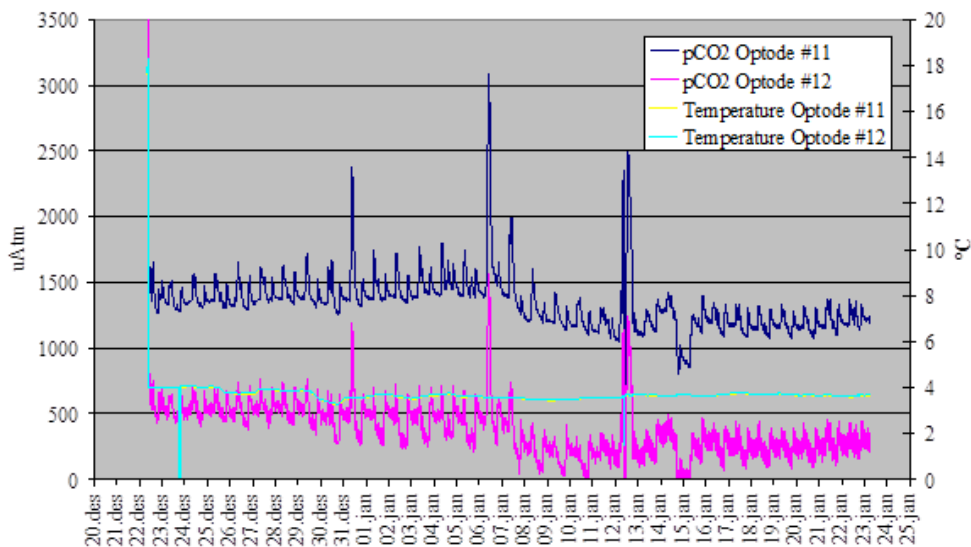


Fig. 24: Data fra tester av CO<sub>2</sub> FL "optode" teknologi under utvikling ved CMR og AADI. Dataene tilsvarer oppløst CO<sub>2</sub> målinger i en lukket fisketank som inneholder rundt 20.000 fisk. De små svingninger tilsvarer den daglige variasjonen i fisks aktivitet, de større CO<sub>2</sub> - toppene til hendelser som tank rengjøring og fiskevaksinering som fører til forhøyet stressnivå.

### 5.5.3 Ammoniakk-konsentrasjon

En annen aktivitets-avhengig vannparameter er ammoniakk, som er et metabolsk biprodukt som skilles ut av fisk. CMR er involvert i et prosjekt for å utvikle ammoniakk i vann måleteknologi, men dette vil trolig være mindre egnet enn målinger av oppløst  $O_2$  og  $CO_2$  som indikator på trengingsgrad, blant annet fordi ammoniakkoppløsning sannsynligvis har en tregere respons mht. sporing av raske aktivitets- og tetthetsendringer enn  $CO_2/O_2$ , og dels fordi oppløst ammoniakk måleteknologi er relativt mindre godt utviklet.

### 5.5.4 Temperatur

Et foreslått konsept er å benytte kroppstemperatur som indirekte mål på fiskens metabolisme. DTS (Distributed Temperature Sensor) fungerer på en lignende måte som DAS ved å analysere Raman/Brillouin backscattering, og vil være en egnet teknologi å vurdere for temperaturmåling.

For bruksområdet som diskuteres her vil imidlertid en tilnærming med temperaturmålinger neppe være nyttig, ettersom det er lite sannsynlig at det vil være noen sterk korrelasjon mellom temperaturen i og rundt nettet og innstrømming av nettet. Fiskens kroppstemperatur er nær vanntemperaturen, og vannets varmeledningsevne kombinert med strømming gjennom noten transporterer effektivt bort termisk energi. Det er vanskelig å se for seg praktiske metoder som kan gi nødvendig målenøyaktighet i åpen sjø. Vi anser derfor ikke temperatur som en egnet parameter i forbindelse med å etablere slippkriterier.

## 6 Diskusjon og anbefalinger

Oppsummert finnes det flere aktuelle metoder som direkte eller indirekte kan gi mål på trengingsgrad og fisketetthet i forbindelse med notfiske. Bruk av sonar i kombinasjon med akustiske transpondere fordelt i noten synes godt egnet, ikke minst for å gi mer kunnskap om stimens oppførsel og reaksjonsmønster under notfisket. Studier basert på sonar kan være nyttig for å finne underliggende kausalitet og korrelasjonsfaktorer med dødelighet etter trenging. Moderne optisk avbildningsteknologi kan gi stor rekkevidde og høy oppløsning også under vann, noe som muliggjør detaljert overvåking av tetthet og deteksjon av art, størrelse og kvalitet i utkant av stimen i svært tidlig fase av fisket.

Det synes imidlertid som om man i dag mangler tilstrekkelig detaljkunnskap om korrelasjon mellom global trenging av not, lokal fisketetthet og mekanismene bak dødelighet ved slipping, til direkte å kunne etablere konkrete slippkriterier ved hjelp av en spesifikk utvalgt målemetode. Det anbefales derfor i første omgang å gjennomføre videre forskningsstudier hvor man benytter flere måleteknologier samtidig for observasjon av stimatferd og måling av fisketetthet under mest mulig kontrollerte og dokumenterte fangstforhold. Dette vil være nyttig for å kunne etablere årsakssammenhenger og korrelasjonsfaktorer som er nødvendige for utvikling av instrumentering som er praktisk og økonomisk forsvarlig å implementere for kommersielt notfiske. En kombinasjon av sonar, ekkolodd og optisk kamera vil kunne utfylle hverandres styrker og svakheter og være nyttig i en slik forskningssammenheng.

Ved studier hvor det er tilgjengelig instrumentering for detaljert overvåking av global og lokal trenging, samt fiskestimens bevegelsesmønster i forhold til båt og notvegger, kunne det også være interessant å undersøke om lyssetting eller akustiske stimuli i noten aktivt kan påvirke stimens bevegelser i noten. Om dette lar seg gjøre kan det muligens redusere dødelighet forårsaket av nærkontakt med not, eller redusere behovet for fysisk trenging i deler av fiskeprosessen.

Med tanke på tids- og ressursbruk synes arts-, størrelses- og mengdebestemmelse av fisk før fangsten starter å være optimalt for å redusere problemer relatert til trenging og slipping. Her vil nye fiskerisonarer, bredbåndsekkolodd og potensielt også optiske metoder kunne være viktige nøkler. Det gjenstår imidlertid en god del utvikling og forskning for å bestemme individstørrelse i stimer. "Fjernmåling" av fiskekvalitet kan også være en fremtidig mulighet, men utgjør er en enda større utfordring enn arts-, størrelses- og mengdeestimering.

Studier som beskrevet her vil trolig måtte ha formen av forskerprosjekt, kompetansebyggende prosjekt eller tilsvarende, da modenhetsgraden for anvendelsen av de aktuelle teknologiene er forholdsvis lav. Et sannsynlig unntak er bruk av fiskerisonar (potensielt med tilpasninger) både før og under notfisket.

Blant leveransene fra denne forstudien var det spesifisert formulering av et hovedprosjekt for å utvikle et måleinstrument for fisketettheter i not beregnet på bruk i notflåten. Det var tenkt å rette en prosjektsøknad til ett av Forskningsrådets programmer, fortrinnsvis "Havet og kysten" (HAVKYST) eller "Maritim virksomhet og offshore operasjoner" (MAROFF). Første utlysinger fra disse programmene har søknadsfrist september 2012, imidlertid treffer ingen av disse utlysingene godt med hensyn til mulig hovedprosjekt fokusert på tetthetsmåler for not. I løpet av forprosjektperioden har Havforskningsinstituttet også blitt tildelt et nytt senter for forskningsdrevet innovasjon (SFI), med tittel CRISP (Centre for Research-based Innovation in Sustainable Fish Capture and Processing Technology). Under dette senterets Arbeidspakke 3 er det igangsatt arbeid som langt på vei overlapper temaet for denne forstudien, med akustisk identifisering og mengdeestimering av fisk både før og under notfangst. Dette gjør at behovet for utviklingen av en egen "tetthetsmåler" for trenging i not er mindre aktuell i dag.

I lys av denne situasjonen vurderes det som lite hensiktsmessig å videreføre søknadsarbeid mot NFR for et hovedprosjekt på instrumentering med snevert fokus på tetthetsmåling for trenging i not. Eventuelt videre arbeid på dette feltet bør også synkroniseres mot aktiviteter som pågår i CRISP.

I dag ser vi heller for oss at det er et behov for (og også et kommersielt marked for) et integrert not-instrument basert på en kombinasjon av ulike teknikker. Dette instrumentet skal, til enhver tid under et

kast, kunne gi skipperen et 3D bilde av hvordan nota står i sjøen, hvordan fiskestimen står i forhold til nota, samt kunne fortelle hva denne stimen inneholder i kvantum, art og størrelse. Spesielt optiske avbildningsteknologier og konseptløsninger identifisert gjennom dette forprosjektet synes å ha stort potensiale for et slikt integrert not-instrument.

## 7 Referanser

1. Vold et. al. Dødelighet av sild etter trenging i not, Havforskningsnytt, Nr. 1 - 2009, 2pp.
2. Haugholt KH, Kavli T, Knappskog V, Løvhaugen O, Pedersen G og Pedersen A. Technology Survey for Biomass Measurement in Fish Cages. Technical report from the EXACTUS competence project RA1, T1.1. 2010.
3. Isaksen B., et al. Utvikling av ny trengingsmerd fase II – åtefri brisling. Sluttrapport til FHF prosjektnr. 900013, Jan. 2011
4. ZEMAX Optical Design Program, Focus Software, Incorporated, P.O. Box 18228, Tucson, Arizona 85731.
5. Kocak et. al. A Focus on Recent Developments and Trends in Underwater Imaging, Marine Technology Society Journal, 2008, vol. 42, number 1, pp 52-67
6. Beamforming and imaging with acoustic lenses in small, high-frequency sonars
7. Nero, R. W., Thompson, C. H., and Jech, J. M. 2004. In situ acoustic estimates of the swimbladder volume of Atlantic herring (*Clupea harengus*). e ICES Journal of Marine Science, 61: 323e337.
8. J. H. S. Blaxter and R. S. Batty, Herring Behaviour in the Dark: Responses to Stationary and Continuously Vibrating Obstacles. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 1985, pp 1031-1049
9. Light and life in the sea, a volume arising from the Symposium on Light and Life in the Sea, organised by the Marine Biological Association of the United Kingdom and held at the Polytechnic South West, Plymouth, on 10-11 April 1989; edited by Peter J. Herring et al.
10. Jaffe et. al., Underwater Optical Imaging: Status and Prospects, Oceanography, Vol.14, no.3/2001
11. Yoav Y. Schechner and Nir Karpel, Recovering Scenes by Polarization Analysis, Proc. MTS/IEEE Oceans'04, Vol.3, pp.1255-1261
12. Raimondo Schettini and Silvia Corchs, Underwater Image Processing: State of the Art of Restoration and Image Enhancement Methods, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Volume 2010, Article ID 746052
13. SG Narasimhan and S.K. Nayar, Structured light methods for underwater imaging: light stripe scanning and photometric stereo, Proceedings of 2005 MTS/IEEE OCEANS, pp 2610 - 2617
14. Moursund RA, Carlson TJ, Peters RD. A fisheries application of a dual-frequency identification sonar acoustic camera. ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil. 2003;60(3):678–83.
15. Boswell KM, Wilson MP, Cowan JH. A Semiautomated Approach to Estimating Fish Size, Abundance, and Behavior from Dual-Frequency Identification Sonar (DIDSON) Data. North American Journal of Fisheries Management. 2008;28(3):799–807.
16. Handegard NO, Williams K. Automated tracking of fish in trawls using the DIDSON (Dual frequency IDentification SONar). ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil. 2008;65(4):636–44.
17. Handegard NO, Pedersen G, Brix O., 2009, Estimating tail-beat frequency using split-beam echosounders. ICES J. Mar. Sci.
18. Nero, R W,., Thompson C H, Jech, JM. In situ acoustic estimates of the swimbladder volume of Atlantic herring (*Clupea harengus*). ICES Journal of Marine Science. 2004;61: 323e337.
19. Shiskova, EV. Recording and analysis of noise made by fish. Trudy VINRO. 1958;36: 280-294.
20. Moulton, JM. Swimming sounds and the schooling of fishes. Biological Bulletin. 1960;Vol. 119, No. 2 (Oct., 1960), pp. 210-223
21. Gray JAB, Denton EJ. Fast pressure pulses and communication between fish. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. 1991;71(01):83–106.