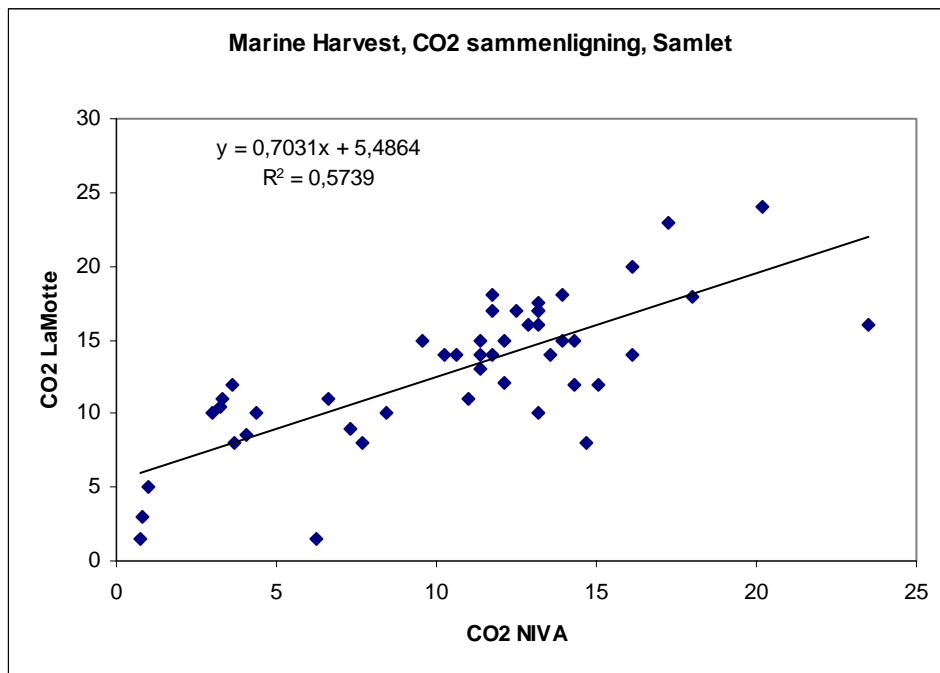


## Sammenligning av to analysemetoder for CO<sub>2</sub> i intensiv smoltproduksjon



**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internet: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 37 29 50 55  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Nordnesboder 5  
5005 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Midt-Norge**

Postboks 1266  
7462 Trondheim  
Telefon (47) 73 54 63 85 / 86  
Telefax (47) 54 63 87

Tittel Sammenligning av to analysemetoder for CO <sub>2</sub> i intensiv smoltproduksjon	Løpenr. (for bestilling) 5045-2005	Dato 21.07.05
	Prosjektnr. Undernr. O-24015 03	Sider Pris
Forfatter(e) Torstein Kristensen Bjørn Olav Rosseland	Fagområde Akvakultur	Distribusjon Fri
	Geografisk område Norge	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Marine Harvest	Oppdragsreferanse Tore Evjen
------------------------------------	---------------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>NIVA har på oppdrag fra Marine Harvest sammenlignet en kit-basert målemetode for CO<sub>2</sub> (La Motte) med NIVAs lab-metode i ferskvann, brakkvann og sjøvann i to smoltanlegg. Bakgrunnen for undersøkelsen var en fremdeles pågående diskusjon om målemetodikk og grenseverdier for negative effekter av CO<sub>2</sub> i intensiv smoltproduksjon. Ut i fra de sammenhenger som er framkommet i det analyserte materialet konkluderer vi med at La Motte kit målinger av CO<sub>2</sub> kan egne seg som operasjonelt verktøy for sammenligning av verdier innen en og samme vannkvalitet uten CO<sub>2</sub>-lufting. Vi kan vanskelig se at sammenligning mellom målinger i vann med ulik salinitet eller med CO<sub>2</sub>-lufting vil være hensiktsmessig, gitt de relativt store avvik og usikkerheter som er knyttet til dette.</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Karbondioksid</li> <li>Akvakultur</li> <li>Smoltproduksjon</li> <li>Metodesammenligning</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Carbon dioxide</li> <li>Aquaculture</li> <li>Smoltproduction</li> <li>Methodological comparison</li> </ol>
--	--

  
Torstein Kristensen  
Prosjektleder

  
Trond Rosten  
Forskningsleder

## **Sammenligning av to analysemetoder for CO<sub>2</sub> i intensiv smoltproduksjon**

## Forord

Oppdraget fra Marine Harvest med å undersøke ulike CO<sub>2</sub> målemetodikk ble gitt på bakgrunn av en interessant pågående diskusjon omkring målemetodikk og effekter av CO<sub>2</sub> i smoltproduksjon. Mye data blir generert på feltet, men det er knyttet en god del usikkerheter til sammenlignbarhet, og dermed grenseverdier for effekter, på grunn av varierende målemetodikk. Marine Harvest har vist en gledelig vilje til å ta utfordringene knyttet til CO<sub>2</sub> i oppdrett på alvor, og jeg håper på en fortsatt god og åpen dialog på området. Vi takker for oppdraget, og håper tallmaterialet og vurderingene i rapporten kommer til nytte.

Oslo, 29.05. 2005

Torstein Kristensen

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>7</b>
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Glomfjord	7
1.3 Slørdal	7
<b>2. Målemetodikk og analysemetoder</b>	<b>7</b>
2.1 CO <sub>2</sub> målinger	7
2.1.1 La Motte kit CO <sub>2</sub>	7
2.1.2 NIVA CO <sub>2</sub>	7
2.2 Andre målinger	8
<b>3. Resultater</b>	<b>8</b>
3.1 Sammenligning av La Motte og NIVA målt CO <sub>2</sub>	8
3.1.1 Reproduserbarhet	8
3.1.2 Samlet resultat	8
3.1.3 Sammenligning, Glomfjord	9
3.1.4 Effekt av salinitet, Glomfjord	10
3.1.5 Sammenligning, Slørdal	10
3.1.6 Effekt av lufter, Slørdal	11
3.1.7 Effektivitet av luftere, Slørdal	12
3.2 Andre vannkjemiske parametre	13
<b>4. Diskusjon</b>	<b>15</b>
4.1 Vurdering av sammenhenger i materialet	15
4.1.1 Sammenhenger i det totale materialet	15
4.1.2 Effekt av salinitet	15
4.1.3 Effekt av CO <sub>2</sub> lufting	15
4.2 La Motte kit som operasjonelt verktøy	15
4.3 Måling av CO <sub>2</sub> . Usikkerheter og forbedringspotensiale	15
<b>5. Konklusjon</b>	<b>17</b>
<b>Vedlegg A. Måleparametre, felt</b>	<b>18</b>
<b>Vedlegg B. Måleparametre, lab</b>	<b>19</b>

---

## **Sammendrag**

NIVA har på oppdrag fra Marine Harvest sammenlignet en kit-basert målemetode for CO<sub>2</sub> (La Motte) med NIVAs lab-metode i ferskvann, brakkvann og sjøvann i to smoltanlegg. Bakgrunnen for undersøkelsen var en fremdeles pågående diskusjon om målemetodikk og grenseverdier for negative effekter av CO<sub>2</sub> i intensiv smoltproduksjon. Ut i fra de sammenhenger som er framkommet i det analyserte materialet konkluderer vi med at La Motte kit målinger av CO<sub>2</sub> kan egne seg som operasjonelt verktøy for sammenligning av verdier innen en og samme vannkvalitet uten CO<sub>2</sub>-lufting. Vi kan vanskelig se at sammenligning mellom målinger i vann med ulik salinitet eller med CO<sub>2</sub>-lufting vil være hensiktsmessig, gitt de relativt store avvik og usikkerheter som er knyttet til dette.

## Summary

Title: Comparison of two analytical methods for CO<sub>2</sub> determination in intensive smolt production

Year: 2005

Author: Kristensen, T. and Rosseland, B.O.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4747-5

On assignment from Marine Harvest, NIVA conducted a comparative study of a “kit-based” CO<sub>2</sub> measurement method (La Motte) and the lab-method developed and used by NIVA, in fresh, brackish and seawater in two smoltproduction facilities. The background for the assignment was an ongoing discussion about measurement techniques and limits for negative effects of CO<sub>2</sub> in smolt-production. Based on correlations in the investigated material, we conclude that La Motte-kit CO<sub>2</sub> measurements is suitable as an operational tool for comparison of values within a specific water quality without CO<sub>2</sub> removal. We do not find the method suitable for comparing waters of different salinity, or with active CO<sub>2</sub> removal feasible, given the relatively large deviations in the investigated data.

# 1. Innledning

## 1.1 Bakgrunn

NIVA ble i 2004 forespurt av Marine Harvest (MH) v/Tore Evjen om hvorvidt kit-baserte CO<sub>2</sub> målemetoder ga korrekte og tilstrekkelig nøyaktige verdier. Bakgrunnen for forespørselen var en fremdeles pågående diskusjon om målemetodikk og grenseverdier for negative effekter av CO<sub>2</sub> i intensiv smoltproduksjon. NIVA har siden 2000 benyttet seg av en målemetode som måler den frie andelen CO<sub>2</sub> i vannet direkte på konserverte prøver. Denne metodikken benyttes av oppdrettsnæringen i bl.a. VK-programmene, og i forskningsprosjekter rettet mot oppdrettsnæringen der NIVA deltar. På denne bakgrunn ble det igangsatt et prosjekt for å se på sammenhenger mellom kit-baserte målinger (La Motte) som benyttes av MH og NIVAs analysemetode. I denne rapporten oppsummeres resultater fra målinger utført med begge metoder på ulike vannkvaliteter i to MH anlegg. I tillegg ble en del andre vannkjemiske parametre analysert for å se på disse innvirkning på CO<sub>2</sub> målingene.

Tileggsdokumentasjon/utprøving av andre måleinstrumenter ble kjørt parallellt med dette prosjektet av hhv. Oxyguard/Sterner i Glomfjord og SINTEF (Mettler Toledo) i Slørdal. Resultatene fra Glomfjord er rapportert MH tidligere. Resultater fra målingene på Slørdal (SINTEF) er ikke tilgjengeliggjort undertegnede.

## 1.2 Glomfjord

Prøvetaking og målinger ble foretatt 21/4 2004 på anleggene Haugvik (H), Glomfjord (G) og Glomfjord smolt (GS).

## 1.3 Slørdal

Prøvetaking og målinger på Marine Harvest Slørdal (S) ble foretatt 2/9 2004.

# 2. Målemetodikk og analysemetoder

## 2.1 CO<sub>2</sub>-målinger

### 2.1.1 La Motte kit CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> ble målt på stedet med La Motte Carbon Dioxide Modell PCO-DR kit. Prinsippet bak målemetoden er en titrering av vannet med natriumhydroksid (NaOH) opp til pH 8.2, da fargeindikatoren fenolphthalein gir rosa farge. En titrering opp til pH>8 vil forskyve all CO<sub>2</sub> over til bikarbonat. Volumet forbrukt NaOH for å oppnå pH 8.2 er dermed antatt å være proporsjonalt med menden fritt CO<sub>2</sub> i vannet.

### 2.1.2 NIVA CO<sub>2</sub>

Prøven tas i gasstette oksygenflasker med glasslip, og konserveres med HgCl<sub>2</sub>. Metoden som benyttes er en modifisert UOC (IC) metode. Prøven gjennomføres med nitrogen uten tilsetning av syre slik at fritt CO<sub>2</sub> drives av og detekteres, dermed vil karbonater og bikarbonater ikke spaltes til CO<sub>2</sub>. Forsøk har vist at i prøver med sjøvannsblanding ble



karbonatene spaltet selv om pH var høy. For å redusere denne feilen, blir en ekstra delprøve analysert etter at den er luftet ved gjennombobling med nitrogen. Differansen mellom de to analysene gir oss en verdi for fritt CO<sub>2</sub>.

## 2.2 Andre målinger

### Andre feltmålinger

Feltemålinger av temperatur, oksygen, pH og ledningsevne ble gjort med anleggenes eget måleutstyr.

### NIVA analyser

Laboratorieanalyser av andre parametre (pH, alkalitet, total ammonium nitrogen (TAN), total organisk karbon (TOC) og salinitet) ble utført etter akkrediterte metoder.

# 3. Resultater

## 3.1 Sammenligning av La Motte og NIVA målt CO<sub>2</sub>

### 3.1.1 Reproduserbarhet

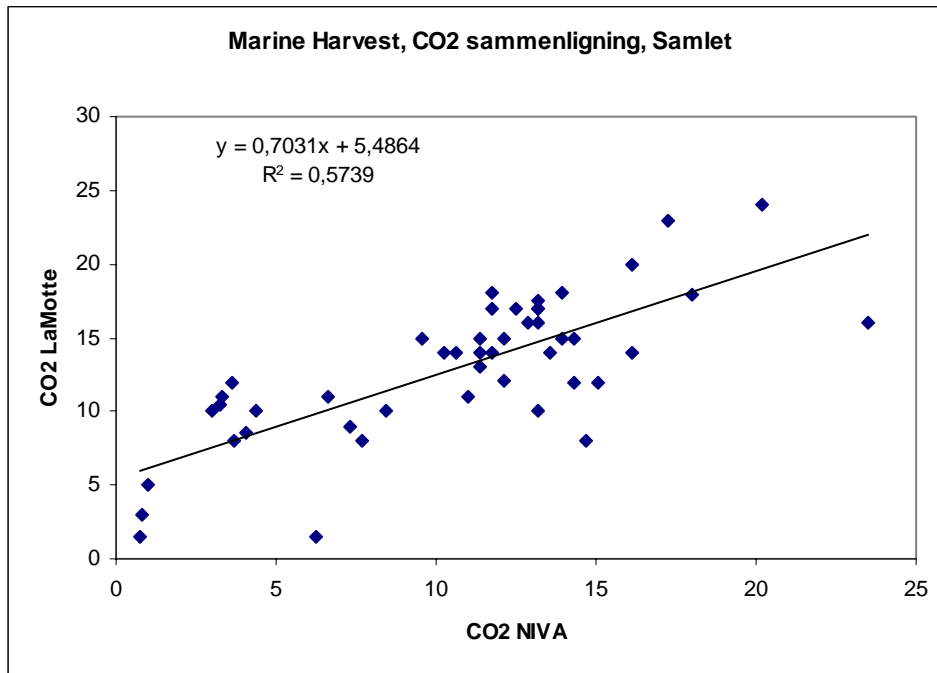
For begge metodene ble reproduserbarhet testet ved å analysere 5 parallelle prøver fra samme kar (GS, kar 1). Reproduserbarheten var akseptabel for begge metoder.

Tabell 1: Gjennomsnitt og standard avvik for 5 parallelle prøver

	La Motte	NIVA CO <sub>2</sub>
Gjennomsnitt	10,7	3,51586
SD	0,83666	0,550133

### 3.1.2 Samlet resultat

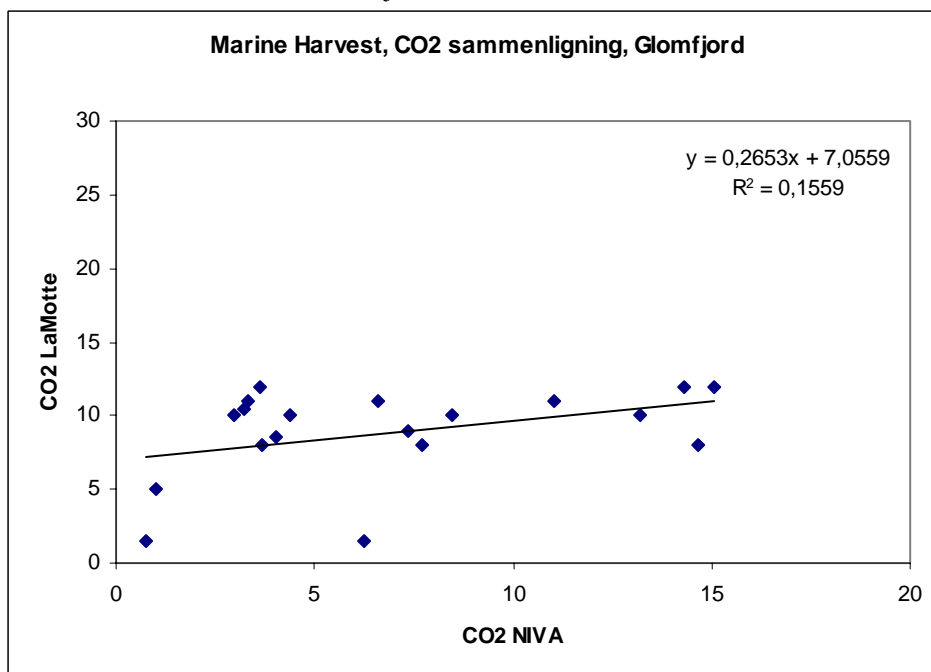
Korrelasjonen mellom metodene for det samlede materialet var moderat ( $r^2=0,57$ ). Det er stor spredning i materialet, og stigningstallet viser ikke et 1:1 forhold mellom metodene



Figur 1: Sammenligning av parallelle målinger av CO<sub>2</sub> med La Motte-kit og NIVA analyser ved to MH anlegg (4 lokaliteter, H, G, GS, S).

### 3.1.3 Sammenligning, Glomfjord

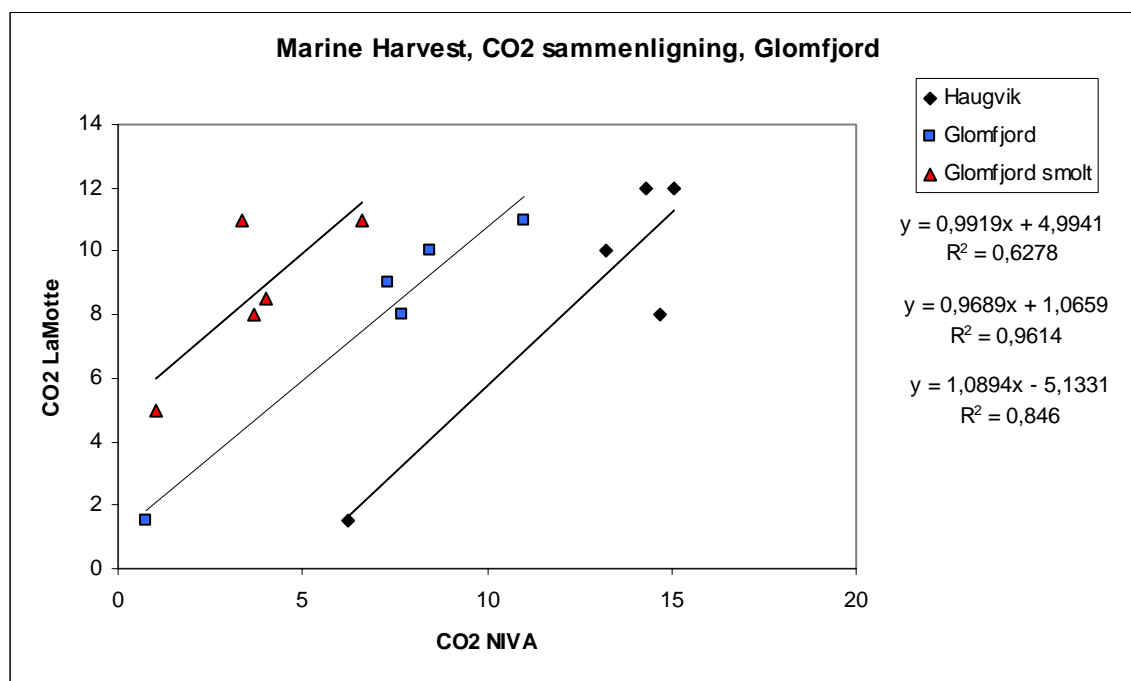
Som det fremgår av fig. 1 er sammenhengen mellom La Motte kit-verdier og NIVA verdier svak for det samlede materialet fra Glomfjord.



Figur 2. Sammenligning av parallelle målinger av CO<sub>2</sub> med La Motte kit og NIVA analyser ved Glomfjord-anleggene (H, G, GS).

### 3.1.4 Effekt av salinitet, Glomfjord

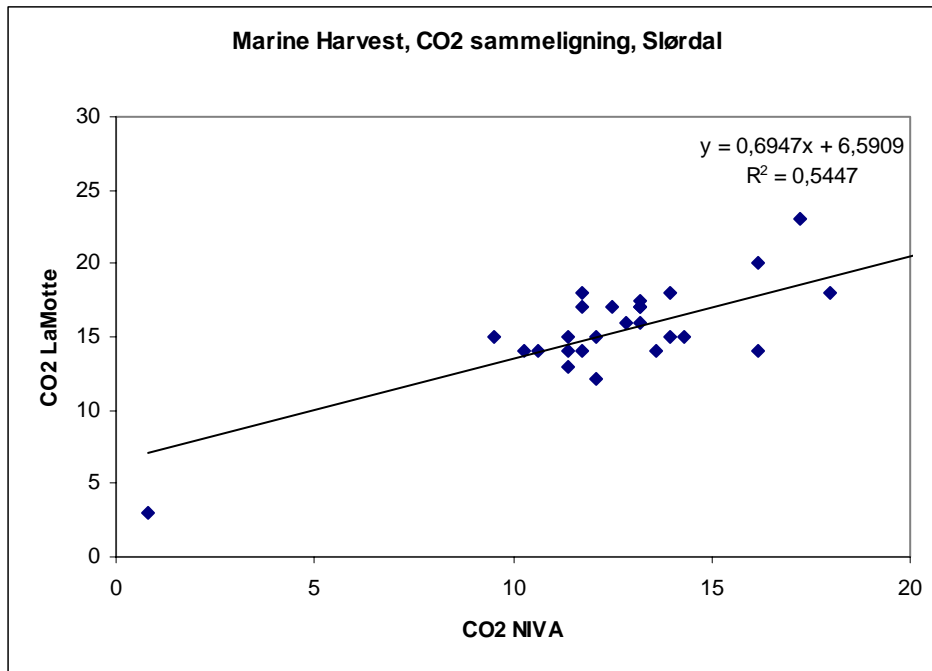
For prøver tatt ved ulik salinitet (H: ferskvann, G: 18 ‰, GS: 34 ‰) uten CO<sub>2</sub> lufting i Glomfjord viser analysene en god sammenheng mellom analysemetodene innen samme vannkvalitet, med korrelasjonskoeffisienter fra 0,6 til 0,9 og stigningstall på ca. 1 (fig. 3). Det er en klar parallellforskyving i verdiene mellom de ulike salinitetene, også i råvannsprøvene. Denne forskjellen i forholdet mellom analysemetodene i ulike saliniteter gjør den samlede korrelasjonen relativt svak (fig 2). La Motte metoden viser en overmetning på råvannet fra sjøvanninntaket (5 mg/l), mens NIVA-metoden viser en overmetning på råvannet fra ferskvann (6,2 mg/l).



Figur 3. Sammenligning av La Motte og NIVA analysert CO<sub>2</sub> i tre ulike saliniteter.

### 3.1.5 Sammenligning, Slørdal

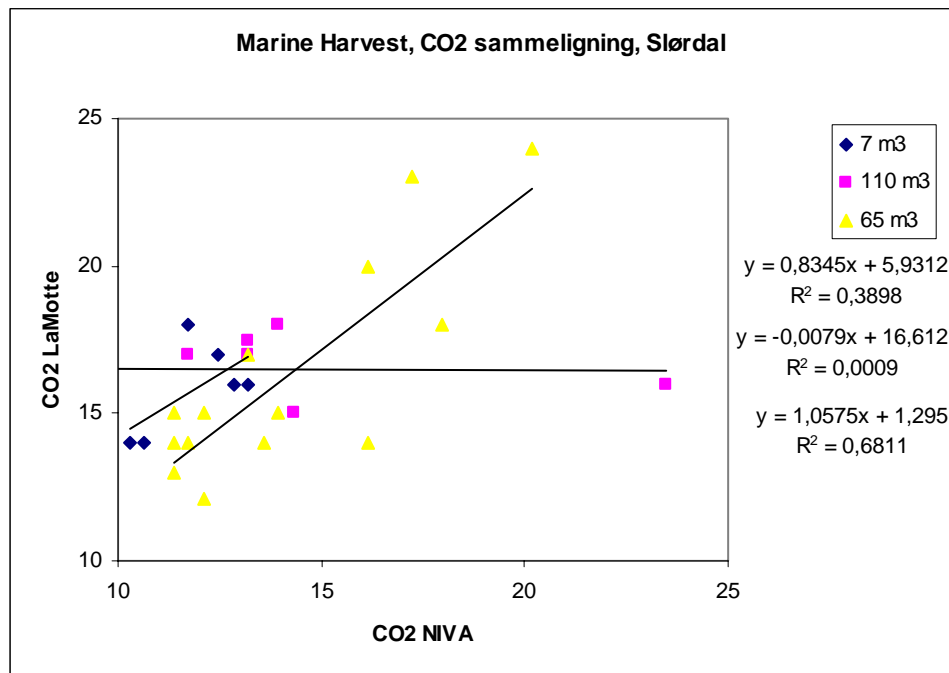
Som det fremgår av fig. 4 er sammenhengen mellom La Motte kit-verider og NIVA verdier moderat for det samlede materialet fra Slørdal. Det er likevel ikke noe 1:1 forhold mellom analysene, og variasjonen er fortsatt relativt stor i det aktuelle måleområdet (10-20 mg/l)



Figur 4. Sammenligning av parallelle målinger av CO<sub>2</sub> med La Motte kit og NIVA analyser ved MH Slørdal (S).

### 3.1.6 Effekt av lufter, Slørdal

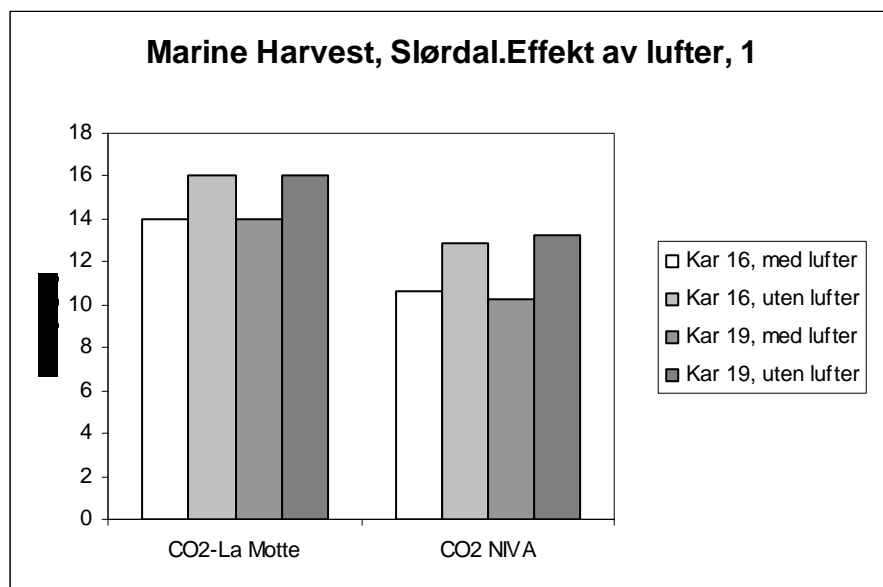
Ved MH slørdal er prøver tatt fra kar med ulik dimensjon (vedlegg A) og med ulik CO<sub>2</sub> luftestrategi. På 7 m<sup>3</sup> og 110 m<sup>3</sup> kar var luftere helt eller delvis i bruk, mens 65 m<sup>3</sup> kar var uten luftere. Som det fremgår av fig. 4 er korrelasjonen mellom måle metodene svak på kar der lufter benyttes (7m<sup>3</sup> og 110 m<sup>3</sup>), mens korrelasjonen er relativt god på 65 m<sup>3</sup> kar uten CO<sub>2</sub>-lufting. På disse karene er forholdet mellom metodene omtrent 1:1, og korrelasjonskoeffisienten 0,68. Det meste av sammenhengen i fig 4. skapes derfor av målingene på 65 m<sup>3</sup> kar.



Figur 5. Sammenligning av parallelle målinger av CO<sub>2</sub> med La Motte kit og NIVA analyser ved MH Slørdal (S) fordelt på ulike kartyper med og uten CO<sub>2</sub> lufting.

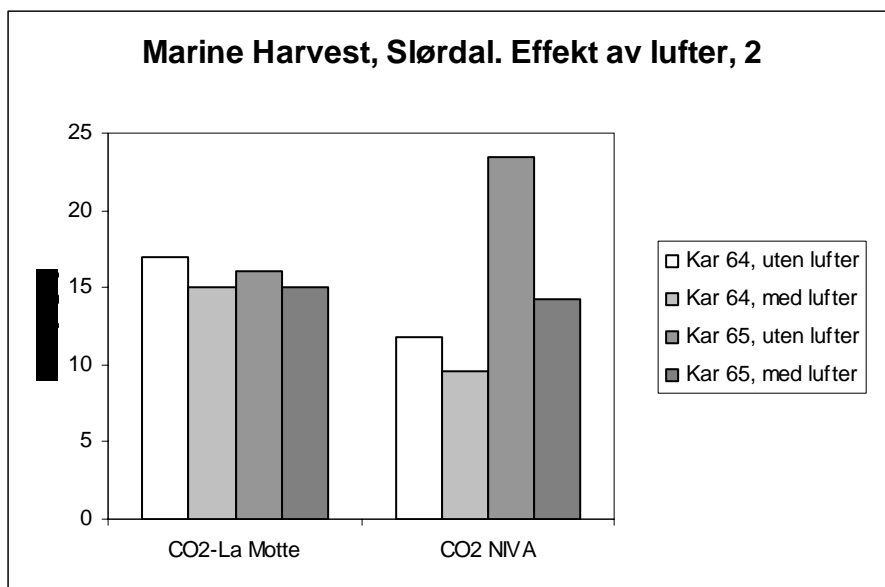
### 3.1.7 Effektivitet av luftere, Slørdal

Et lite utvalg prøver ble tatt for å se på om CO<sub>2</sub>-metodene dokumenterte effekten av CO<sub>2</sub>-lufting likt. Kar 16 og 19 (7 m<sup>3</sup>, fig. 6.) ble prøvetatt under vanlig drift med mammut lufter på, og 1-2 timer etter at lufter ble slått av. Begge metodene viser en økning i CO<sub>2</sub> når luftesystemer er avslått. La Motte målinger viser en lavere CO<sub>2</sub>-økning (14 % på begge kar) i forhold til NIVA-metoden (20 og 28 % på hhv. Kar 16 og 19).



Figur 6. Dokumentasjon av luftereffekt med ulik CO<sub>2</sub> målemetodikk, Mammut lufter avslått i 1-2 timer.

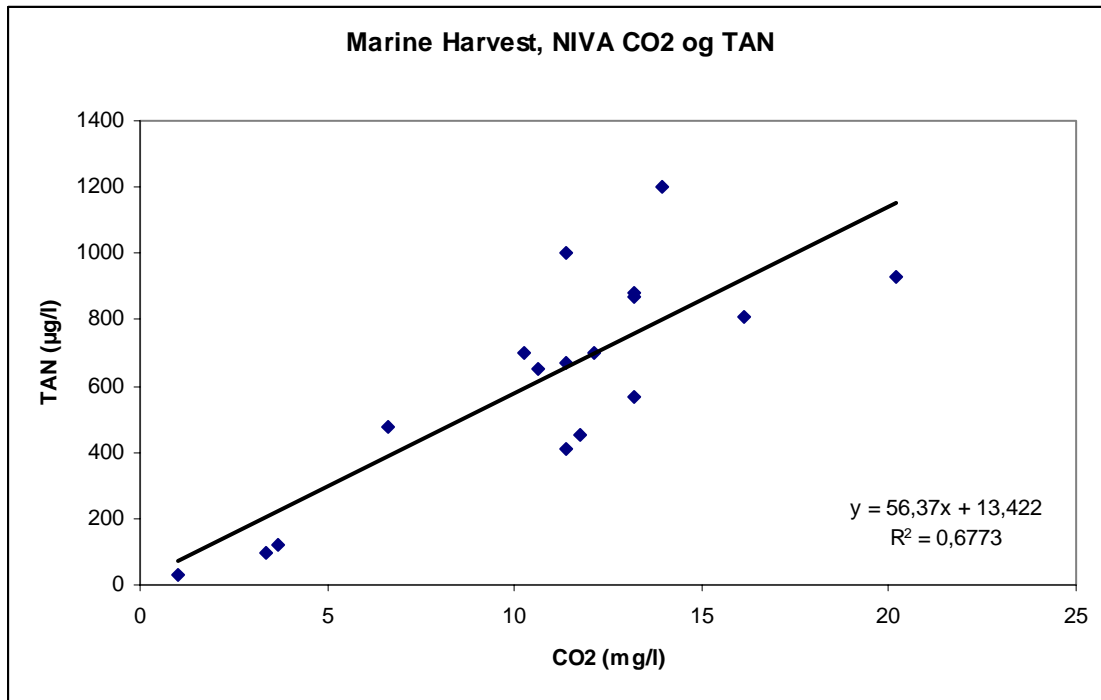
CO<sub>2</sub>-nivå i Kar 64 og 65 (110 m<sup>3</sup>, fig. 7) ble målt under vanlig drift uten lufting, og 1-2 timer etter at lufting ble satt på (FLS ejektorlufter). Nedgangen i CO<sub>2</sub> etter lufting ble dokumentert av begge metoder. Også her viste La Motte metoden mindre endringer (12 og 6 % reduksjon) enn NIVA-metoden (18 og 39 % reduksjon).



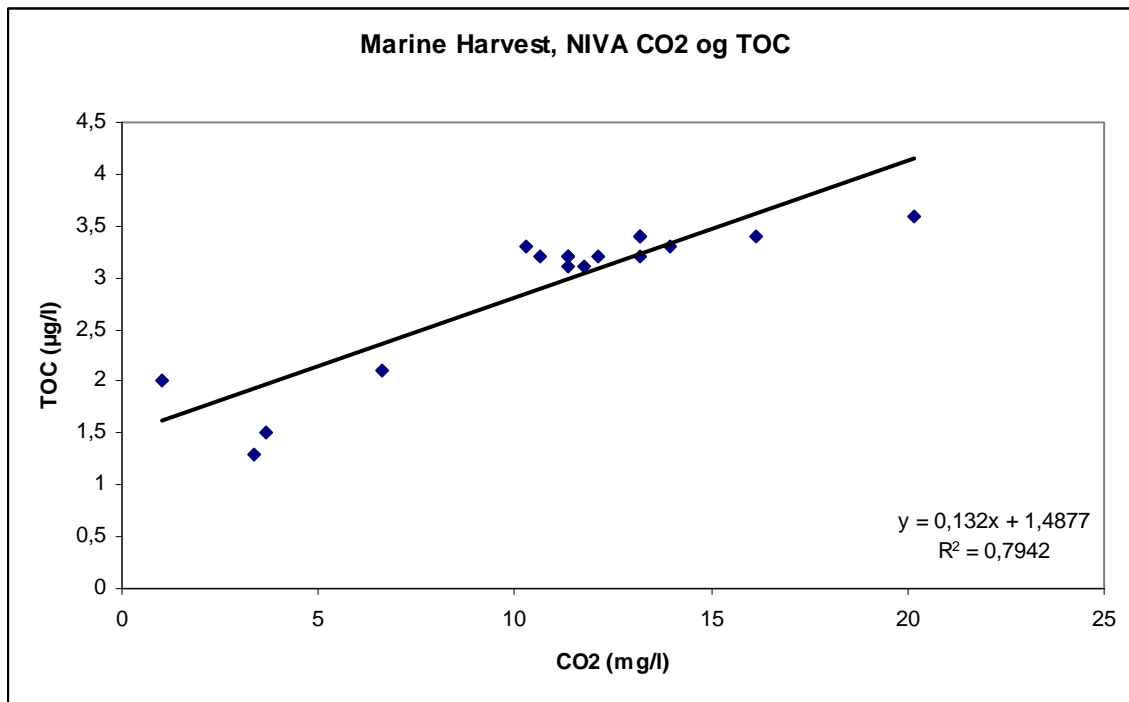
Figur 7. Dokumentasjon av luftereffekt med ulike CO<sub>2</sub> målemetoder, FLS ejektorlufter påslått 1-2 timer.

### 3.2 Andre vannkjemiske parametre

For et utvalg av kar ble andre vannkjemiske parametre analysert (vedlegg B). Figurene under viser korrelasjoner mellom NIVA analysert CO<sub>2</sub> og total ammonium nitrogen (TAN), og total organisk karbon (TOC). TAN, og delvis TOC, er metabolitter som forventes å bli skilt ut i et proporsjonalt forhold til CO<sub>2</sub> produksjonen. Data fra Slørdal (ferskvann) og Glomfjord smolt (sjøvann) er analysert.



Figur 8. Sammenheng mellom CO<sub>2</sub> (NIVA) og TAN.



Figur 9. Sammenheng mellom CO<sub>2</sub> (NIVA) og TOC. Økning i TOC med økende CO<sub>2</sub> antas å være knyttet til forrester, feces og avskilt slim fra fisken som øker i konsentrasjon med minkende relativt vannforbruk.

## 4. Diskusjon

### 4.1 Vurdering av sammenhenger i materialet

#### 4.1.1 Sammenhenger i det totale materialet

Korrelasjonen mellom måle metodene i det samlede materialet (fig. 1) er etter vår mening ikke tilstrekkelig sterk til å kunne gjøre gode sammenligninger av tall fra anlegg med ulik grad av sjøvannstilsetning og CO<sub>2</sub>-lufting ved bruk av La Motte kit. Materialet fra Slørdal (fig. 4) ga bedre sammenhenger enn materialet fra Glomfjord (fig. 2). Det er først når data fra samme vannkvalitet (salinitet/pH) (fig. 3) og data uten CO<sub>2</sub>-lufting (fig. 5) analyseres separat at korrelasjonene i materialet gir et godt (1:1) samsvar mellom NIVA CO<sub>2</sub> og La Motte CO<sub>2</sub>.

#### 4.1.2 Effekt av salinitet

I data fra Glomfjord (H, G og GS) kan en se en tydelig effekt av sjøvannstilsetning på La Motte CO<sub>2</sub>-verdiene. Metoden ser ut til å overestimere konsentrasjoner i rent sjøvann med ca. 5 mg/l, og underestimere rene ferskvannverdier med ca. 5 mg/l. Dette utgjør en stor feilkilde ved sammenligning av driftsintensitet og beregninger knyttet til maksimal utnyttelse av vannkilders potensiale. Den målte CO<sub>2</sub> overmetningen i råvannet fra Haugvik (NIVA CO<sub>2</sub>) bør tas med i tetthetsbetraktninger på denne lokaliteten. CO<sub>2</sub>-overmetning i denne størrelsen (6 mg/l) er ofte observert i anlegg, spesielt i perioder med stort innslag av grunnvann og lave temperaturer. Forhøyede målinger av CO<sub>2</sub> med La Motte kit i sjøvann beror sannsynligvis på at andre buffersystemer bidrar mye til bufferkapasiteten. Den forhøyede verdien på råvann (5 mg/l) kan tyde på at komponenter i råvannet bidrar relativt mye mer enn fiskens metabolitter og feces til de forhøyede verdiene.

#### 4.1.3 Effekt av CO<sub>2</sub> lufting

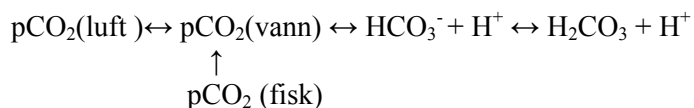
Lufting av CO<sub>2</sub> ser ut til å gi dårlige korrelasjoner mellom måle metodene (fig. 5), mens korrelasjonen for kar uten lufting var relativt god. Lufting av CO<sub>2</sub> innebærer at andre buffersystemer vil få relativt større betydning for titrerte verdier (La Motte kit), og dermed gi større grad av feilmålinger. Målinger gjort før og etter at luftere ble skrudd av (fig. 6) eller på (fig. 7) viser at måle metodene responderer med ulik grad av økning/senking av CO<sub>2</sub> verdiene (NIVA-metoden viser større forskjeller). Selv om antall datapunkter er få, kan dette være en indikasjon på at luftere virker noe bedre enn La Motte bestemt CO<sub>2</sub> indikerer.

### 4.2 La Motte kit som operasjonelt verktøy

Det analyserte datamaterialet viser gode sammenhenger mellom måle metodene i samme vannkvalitet uten CO<sub>2</sub>-lufting, og La Motte-bestemt CO<sub>2</sub> kan derfor være et nyttig verktøy i den daglige driften av enkeltanlegg. Relative forskjeller mellom kar vil bli dokumentert ved bruk av måle metoden. Det er imidlertid usikkerheter knyttet bruk av absoluttverdier for La Motte målt CO<sub>2</sub> for sammenligning mellom vannkvaliteter med ulik pH og/eller salinitet, samt for kar der CO<sub>2</sub>-fjerning benyttes.

### 4.3 Måling av CO<sub>2</sub>. Usikkerheter og forbedringspotensiale

Måle metoder for CO<sub>2</sub> i intensiv oppdrett er et mye diskutert tema som etter vår mening krever en diskusjon omkring premisser og antakelser som er inkorporert i alle "indirekte" måle metoder. Forenklet skisse av CO<sub>2</sub>-bikarbonatsystemet:





Det er viktig å merke seg at **både likevektskonstanter og reaksjonshastigheter** vil variere med miljøforhold som pH, ionestyrke, temperatur og andre vannkjemiske parametre. Det er i hovedsak  $p\text{CO}_2$  som er fysiologisk viktig for fisken, da fisken hovedsakelig skiller ut  $\text{CO}_2$  som  $p\text{CO}_2$  og er avhengig av å generere en positiv konsentrasjonsgradient fra blod til vann.

De fleste metoder for å måle  $\text{CO}_2$  baserer seg på en indirekte beregning av fritt  $\text{CO}_2$  (uttrykt i mg/l eller som partialtrykk,  $p\text{CO}_2$ , mmHg). Ved å gjøre tre antakelser beregnes fritt  $\text{CO}_2$  ved å måle pH og alkalitet (bufferkapasitet), eller eventuelt kun bufferkapasitet (evne til å motstå pH-ændring ved tilsetning av syre eller base) ved titrering.

Sentrale antakelser:

1. Bikarbonatsystemet er det helt dominerende buffersystem i vannet
2.  $p\text{CO}_2$  utskilt fra fisken er i likevekt med bikarbonatsystemet i vannet
3. Bikarbonatsystemet i vann er i likevekt med luft med normalt  $\text{CO}_2$ -nivå

Forutsetning 1 er ofte ikke korrekt for norsk ferskvann, som ofte er ekstremt ionefattig. Andre buffersystemer som humussyrer (målt som DOC eller TOC) og metaller (Fe og Al) kan utgjøre en stor del av bufferkapasiteten, og derfor utgjøre en stor feilkilde i  $\text{CO}_2$ -beregningen. I et intensivt oppdrettssystem kommer i tillegg organisk materiale fra fôr og feces, samt utskilt ammonium/ammoniakk inn som viktige feilkilder som kan bidra mye til bufferkapasiteten.

I tillegg vil det være vanskelig å få sammenlignbare tall med titreringsmetoder når en måler i vann med svært ulike egenskaper, for eksempel ferskvann, sjøvann og brakkvann.

Forutsetning 2 er etter vårt syn ikke gyldig i intensiv oppdrett. Det skjer en kontinuerlig utskillelse av  $\text{CO}_2$  som  $p\text{CO}_2$  fra fisken. Reaksjonshastigheten på overgangen fra  $\text{CO}_2$  til  $\text{HCO}_3^-$  er sannsynligvis ikke hurtig nok til å bringe systemet i likevekt (med gjeldende spesifikke vannforbruk).

Reaksjonshastigheten er sannsynligvis veldig avhengig av andre faktorer som pH, temperatur med mer, og dermed ikke en faktor som enkelt kan korrigeres. Et intensivt oppdrettssystem er derfor ikke i likevekt, men i en mer eller mindre "steady state" der  $p\text{CO}_2$  er høyere enn beregnet verdi viser.

Forutsetning 3 er i mange tilfeller ikke oppfylt, da det med lav utskiftning av luftlaget over kar (spesielt innendørs) vil kunne skje en oppkonsentrering av  $\text{CO}_2$ .

De ovenfornevnte måleusikkerheter kan være en forklaring på delvis sprikende forskningsresultater på effekter av forhøyet  $\text{CO}_2$ , og er med på å vanskeliggjøre arbeid med å sette grenseverdier for negative effekter i oppdrett.

Det er derfor ønskelig at metoder som måler  $p\text{CO}_2$  direkte, og dermed unngår usikkerhetene rundt beregnede verdier, tas i bruk av både oppdrettere, forskning og forvaltning. Laboratoriebaserte målemetoder finnes (NIVA), og teknologi for utvikling målesonder for bruk i daglig drift er under utvikling.

## **5. Konklusjon**

Ut i fra de sammenhenger som er framkommet i det analyserte materialet konkluderer vi med at La Motte kit målinger av CO<sub>2</sub> kan egne seg som operasjonelt verktøy for sammenligning av verdier innen en og samme vannkvalitet uten CO<sub>2</sub>-lufting. Vi kan vanskelig se at sammenligning mellom målinger i vann med ulik salinitet eller med CO<sub>2</sub>-lufting vil være hensiktsmessig, gitt de relativt store avvik og usikkerheter som er knyttet til dette.

## Vedlegg A. Måleparametre, felt

Anlegg	Dato	Kar nr	Karvolum m <sup>3</sup>	Snittvekt kg	Antall	Biomasse kg	Tetthet kg/m <sup>3</sup>	Temp °C	pH	O <sub>2</sub> inn mg/l	O <sub>2</sub> ut mg/l	O <sub>2</sub> dropp mg/l	vannmengde l/min	CO <sub>2</sub> beregnet mg/l	CO <sub>2</sub> lamotte mg/l	
Sierdal (S)	02.09.2004	2	7	0,005	67000	335	48	13,8		21,6	8,7	12,9		14,2	18	
		19	7	0,005	75000	375	54	13,8		21,1	10,2	10,9		12,0	14	
		0	7	0,005	75000	375	54	13,8		21,6	8,1	13,5		14,9	17	
		29	7	0,005	75000	375	54	13,8		26	12,8	13,2		14,5	17	
		28	7	0,005	75000	375	54	13,8		26	12	14		15,4	17,5	
		16	7	0,005	75000	375	54	13,8		21,1	10,5	10,6		11,7	14	
		23	7	0,005	75000	375	54	13,8		26	11,9	14,1		15,5	18	
		16	7	0,005	75000	375	54	13,8		21,1	10,5	10,6		11,7	16	
		19	7	0,005	75000	375	54	13,8		21,1	11,9	9,2		10,1	16	
		71	110	0,05	54000	2700	25	13,8		14,8	8,5	6,3		6,9	17	
		73	110	0,045	54300	2444	22	13,8		14,8	8,7	6,1		6,7	24	
		72	110	0,044	54700	2407	22	13,8		14,8	7,9	6,9		7,6	20	
		70	110	0,043	54000	2322	21	13,8		14,8	7,9	6,9		7,6	23	
		74	110	0,035	56400	1974	18	13,8		14,8	8,7	6,1		6,7	13	
		64	110	0,035	60000	2100	19	13,8		14,8	8,3	6,5		7,2	17	
	65	110	0,039	55700	2172	20	13,8		14,8	8,3	6,5		7,2	16		
	64	110	0,035	60000	2100	19	13,8		14,8	8,3	6,5		7,2	15		
	65	110	0,039	55700	2172	20	13,8		14,8	8,3	6,5		7,2	15		
	80	65	0,046	51000	2346	36	13,8				89 %			14		
	83	65	0,038	46200	1756	27	13,8				88 %			15		
	90	65	0,024	46500	1116	17	13,8				104 %			15		
	91	65	0,027	50000	1350	21	13,8				92 %			14		
	81	65	0,022	69000	1518	23	13,8				93 %			14		
	82	65	0,022	69000	1518	23	13,8				95 %			14		
	94	65	0,022	69000	1518	23	13,8				99 %			15		
	Haugvik (H)	21.04.2004	Råvann						13	6,83						1,5
			2		0,035	285000	997	33	13	6,09		86 %		500?		12
			5		0,035	226000	791	26	13	6,07		96 %		500?		10
			12		0,013	358000	500	17	13	6,09		98 %		350?		12
			16		0,013	409000	531	18	13	6,02		95 %		350?		8
	Glomfjord (G)	21.04.2004	Råvann						10,9	7,93						1,5
			1		0,097	37872	3681	57	10,9	6,78				850...900		11
			2		0,135	22348	3013	46	10,9	6,89				850...900		8
19				0,101	38217	3851	59	10,9	7,02				850...900		9	
20				0,105	38578	4052	62	10,9	6,83				850...900		10	
Glomfjord smolt (GS)	21.04.2004	Råvann						5,4	7,64						5	
		1		0,276	202147	50000	40	5,4	7,63						11	
		2		0,257	291603	75000	60	5,4	7,38						11	
		3		0,266	276895	74000	58	5,4	7,5						8	
		5						5,4	7,53						8,5	

## Vedlegg B. Måleparemetre, lab

Anlegg	Dato	Kar nr	Kommentarer	pH	ALK mmol/l	NH4-N µg/l N	NH3 µg/L	TOC mg/l C	CO2 mg/l	Salinitet g/l	
Slørdal (S)	02.09.04	Råvann							0,8		
		0							12,5		
		2								11,7	
		16			6,45	0,117	650	0,2	3,2	10,6	
		16		Etter stengt lufter						12,8	
		19			6,44	0,116	700	0,6	3,3	10,3	
		19		Etter stengt lufter						13,2	
		23								13,9	
		28			6,35	0,13	870	0,6	3,4	13,2	
		29			6,39	0,132	880	0,7	3,4	13,2	
		64			6,29	0,1	455	0,3	3,1	11,7	
		64		Lufter på						9,5	
		65								23,5	
		65		Lufter på						14,3	
		70								17,2	
		71			6,39	0,132	570	0,4	3,2	13,2	
		72		SINTEF CO2						18,0	
		72			6,41	0,157	810	0,6	3,4	16,1	
		73			6,37	0,173	930	0,7	3,6	20,2	
		74			6,38	0,107	410	0,3	3,1	11,4	
		74		SINTEF CO2						12,1	
		80			6,6	0,153	1000	1,2	3,2	11,4	
		81								13,6	
		82								11,7	
83			6,56	0,157	1200	1,3	3,3	13,9			
90			6,47	0,121	670	0,6	3,2	11,4			
91								16,1			
94			6,46	0,122	700	0,6	3,2	12,1			
Haugvik (H)	21.04.04	Råvann			0,097				6,2		
		2						15,0			
		5						13,2			
		12						14,3			
		16						14,7			
Glomfjord (G)	21.04.04	Råvann			1,21				0,8		
		1						11,0			
		2		Oxyguard CO2					7,7		
		19						7,3			
		20		Oxyguard CO2				8,4			
Glomfjord smolt (GS)	21.04.04	Råvann	Oxyguard CO2	7,92	2,23	29	0,7	2	1,0	33,7	
		1	Oxyguard CO2	7,83	2,26	97	1,1	1,3	3,3	33,7	
		1							3,6		
		1							3,2		
		1							4,4		
		1							3,0		
		2	Oxyguard CO2	7,71	2,27	477	4,0	2,1	6,6	33,7	
3	Oxyguard CO2	7,79	2,27	122	1,2	1,5	3,7	33,7			
		5	Oxyguard CO2					4,0			