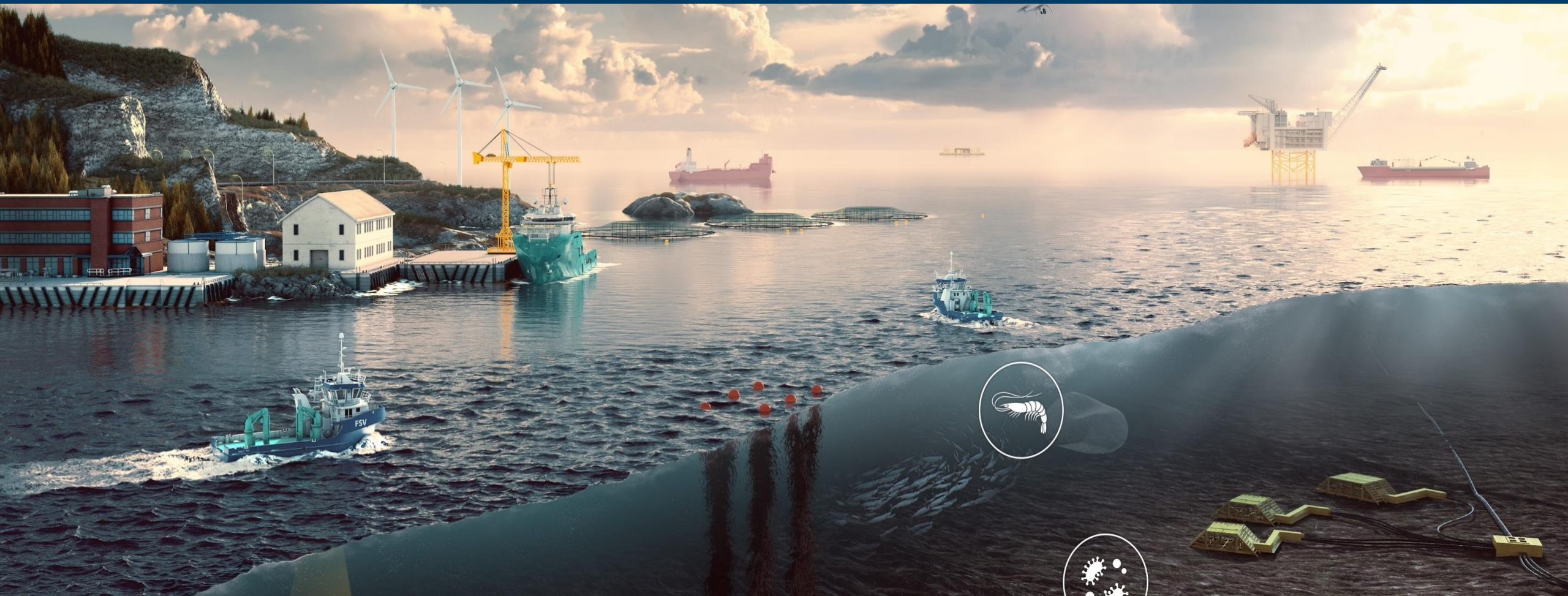
Effekt av oksygenering med nanobobler på vannkvalitet i RAS

AQUAbubble - Nanobubble technology for enabling sustainable land-based aquaculture (IPN-prosjekt, Oxy Biosolutions)

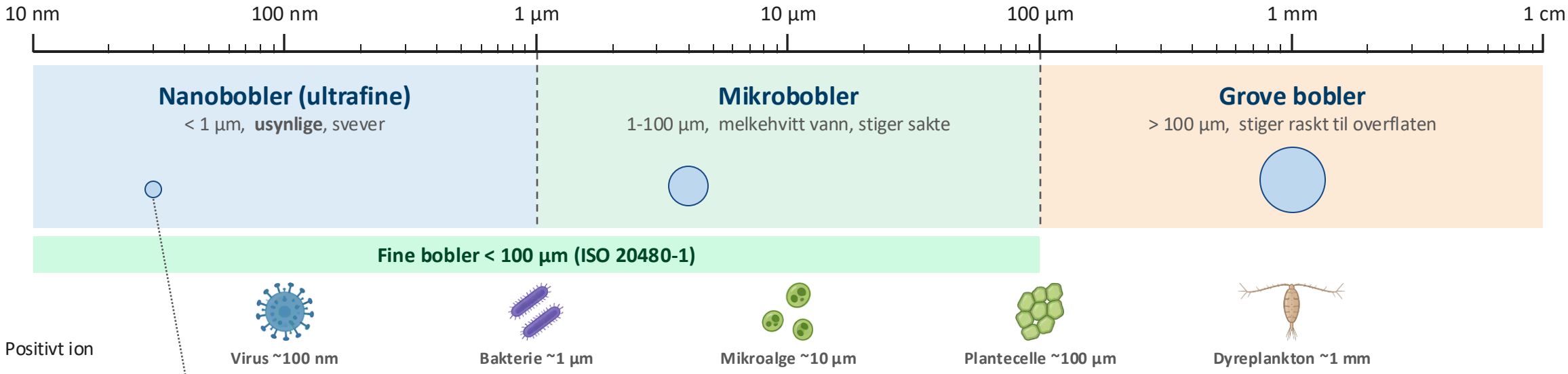
Roman Netzer[1], Pascal Klebert[1], Rigan Ghale[2]

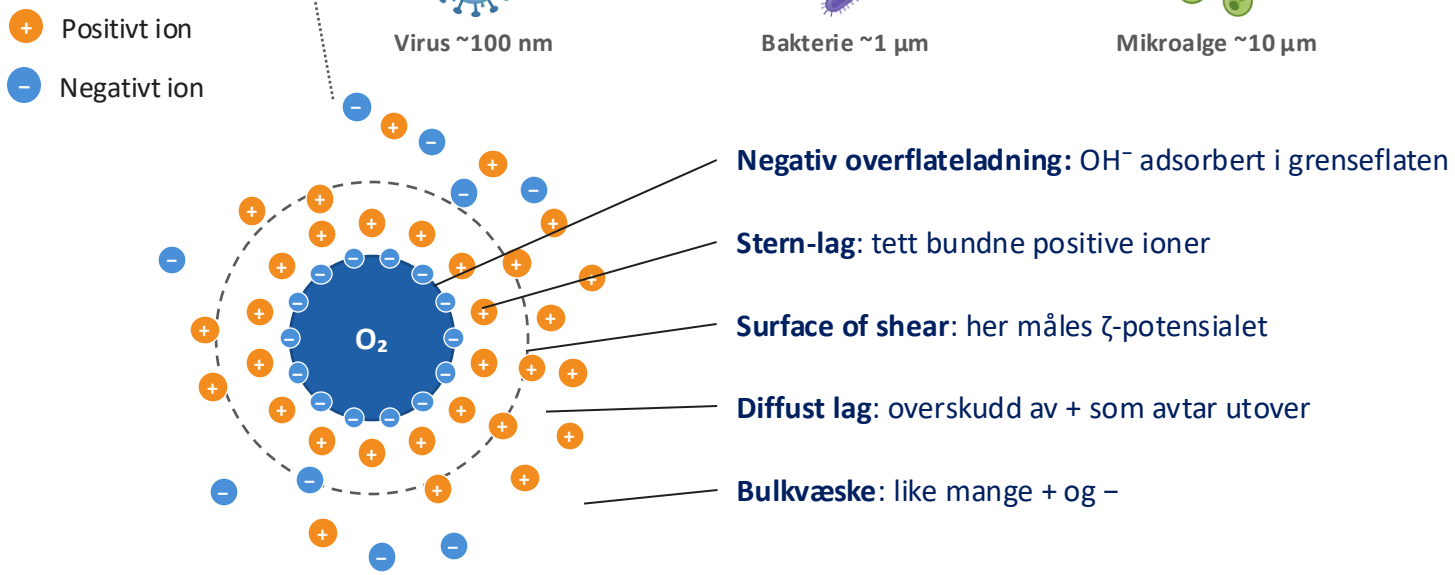
[1)]SINTEF Ocean, [2)]Norwegian University of Science and Technology (NTNU)

Fremtidens smoltproduksjon
15.10.26
Sunndalsøra



Boblestørrelser og nanoboble-struktur





Salt påvirker dobbeltlaget

- Ferskvann: Diffust lag ~10 nm
- Sjøvann: < 1 nm → svakere frastøtning samtidig hemmes koalescens → flere og mindre bobler

Karakteristika av forskjellige boblestørrelser

Parameter	Grove bobler > 100 µm (f.eks. 2 mm)	Mikrobobler 1-100 µm (f.eks. 100 µm)	Ultrafine bobler (nanoboble) < 1 µm (f.eks. 100 nm)
Stigehastighet	~0,2-0,3 m/s	~4 mm/s	~5 nm/s (nøytral oppdrift)
Grenseflate per mL gass	0,003 m^2	0,06 m^2	60 m^2
Indre overtrykk (Laplace)	0,001 bar	0,03 bar	~29 bar
Gassinnhold per boble	høyt	middels	ekstremt lavt
Levetid i vann	sekunder	Sekunder-minutter	Dager-uker
Skjebne	tap til atmosfæren	O_2-overføring, CO_2-stripping	grenseflatekjemi (ROS)

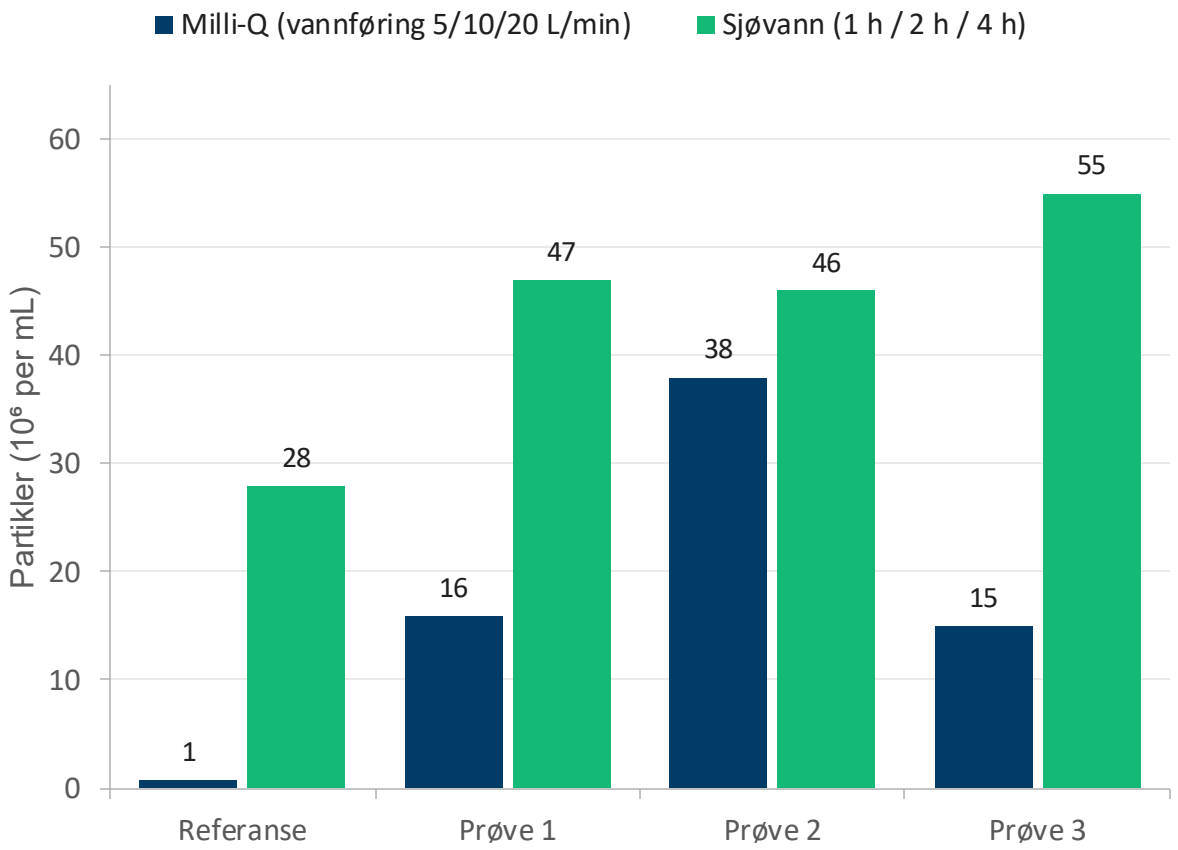
Mindre bobler →

- større grenseflate per volum gass
- saktere stigning → lengre kontakttid
- høyere drivkraft for oppløsning

Men: under ~1 µm blir gassinnholdet forsvinnende lite

NB-analyse i praksis: Nanoparticle Tracking Analysis i lab-forsøk

Oxy Solutions **OBS2 venturi**



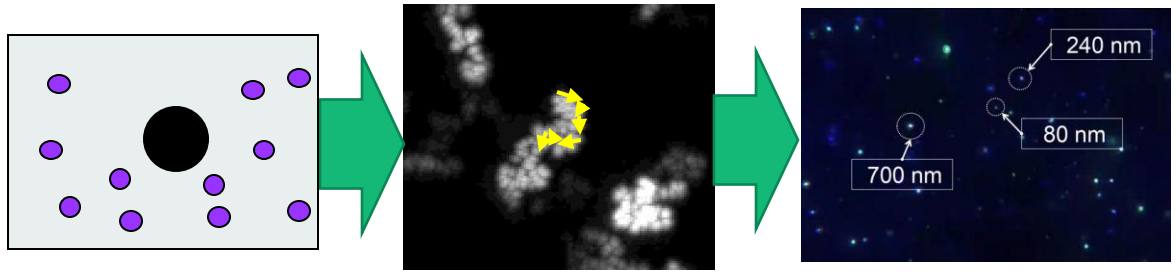
Mean størrelse 123-158 nm. Seriene: Milli-Q etter 1 h ved 5, 10 og 20 L/min, sjøvann etter 1, 2 og 4 h (10 L/min).

Hva gjør NB-analyse vanskelig?

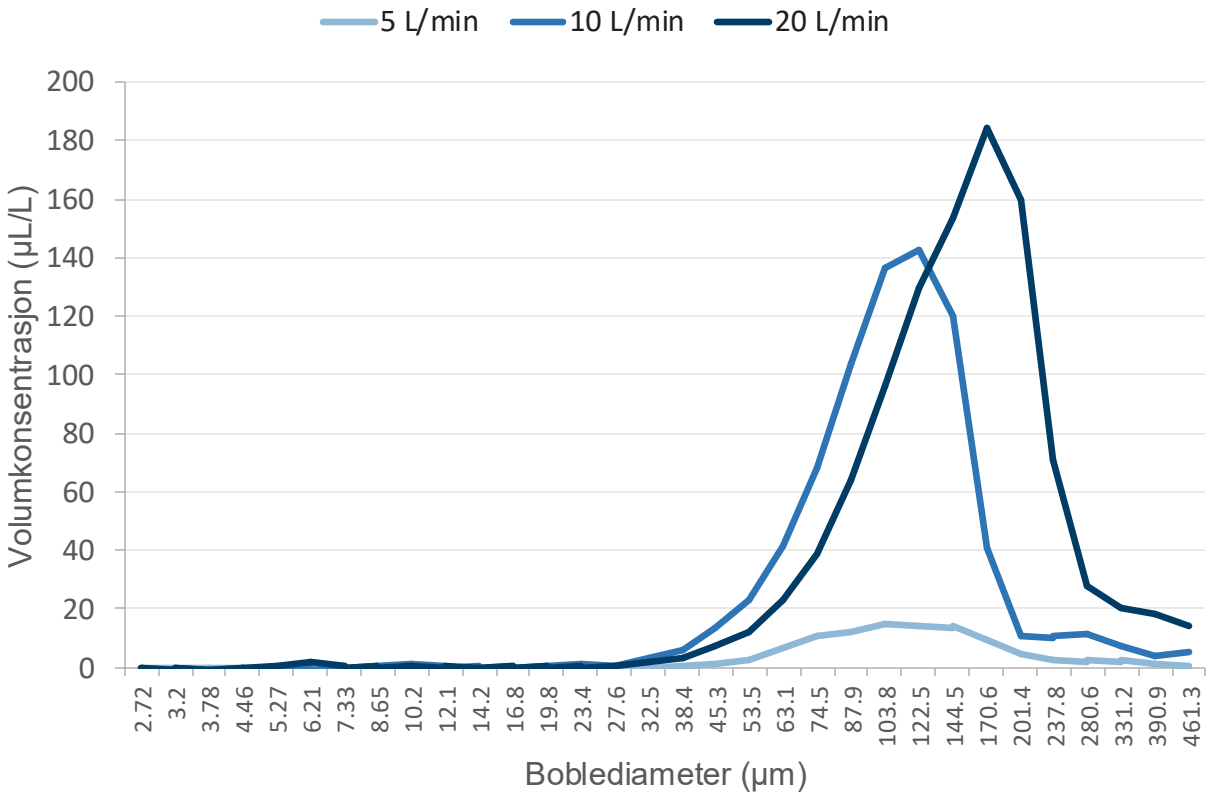
- Bobler og partikler gir samme signal
- Høy partikkelbakgrunn
- Prøvetransport til lab (flere timer, temperatur, risting) endrer boblepopulasjonen
- Dyre instrumenter → NB måles skjeldent i felt

Nanopartikkel-sporingsanalyse (NTA)

- Basert på Brownian motion (termisk bevegelse) og mikroskopi
- Gir størrelse, størrelsesfordeling og konsentrasjon ved å spore enkeltpartikler

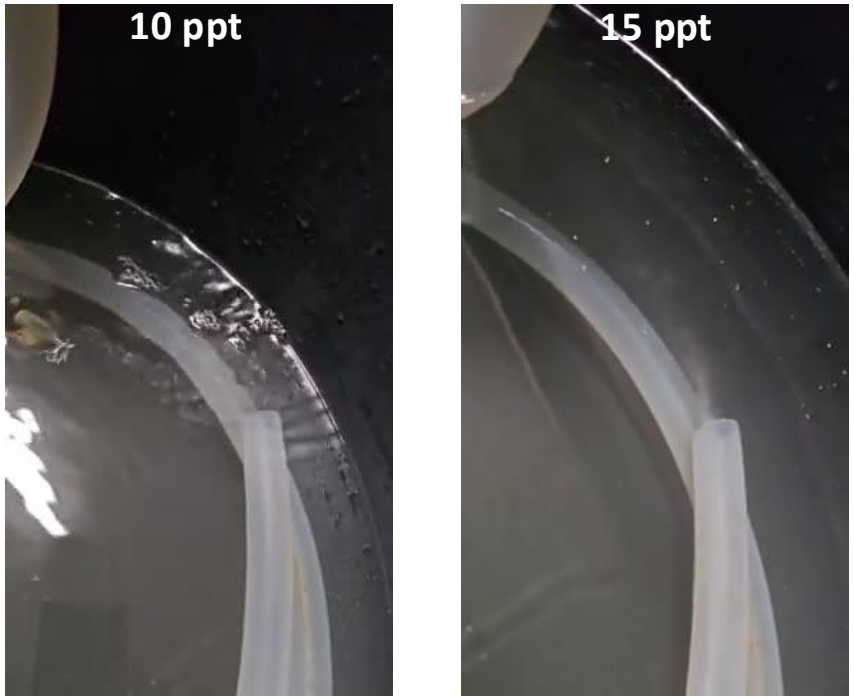


Venturi: mikrobobler dominerer
→ instillinger og miljø er avgjørende



LISST-100X, ferskvann 10-11 °C. Topp ved ~100-170 µm, økende med vann-flow.

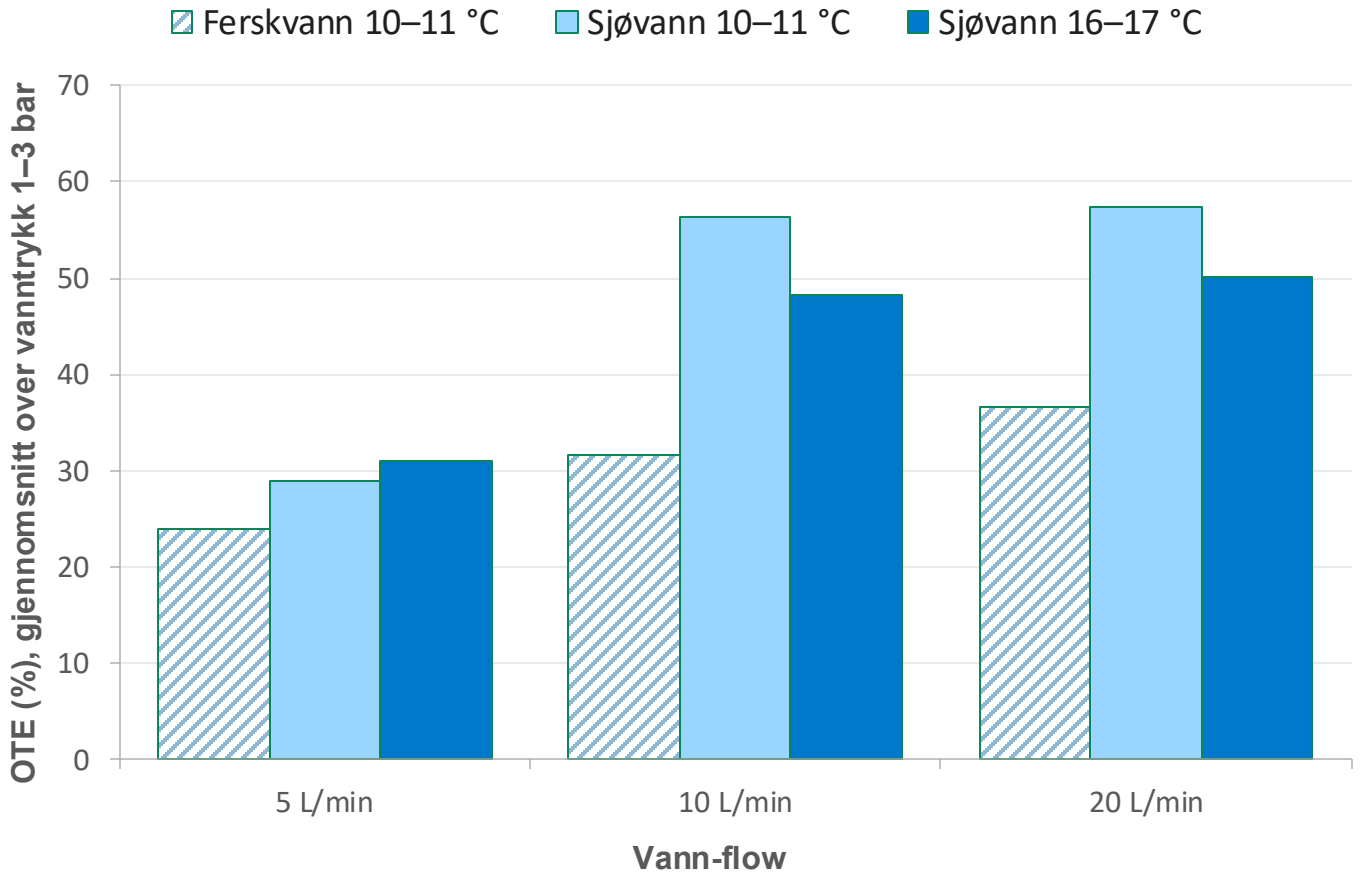
Salinitet



Venturi-utløp ved 10 ppt (a) og 15 ppt (b) salinitet.

> 11-12 ppt: grove, koaliserende bobler går brått over til en fin, melkeaktig dispersjon (ioner hemmer koalescens).

Oksygenoverføringseffektivitet (OTE) i lab-forsøk



21-42 %

ferskvann 10-11 °C
(snitt 31 %)

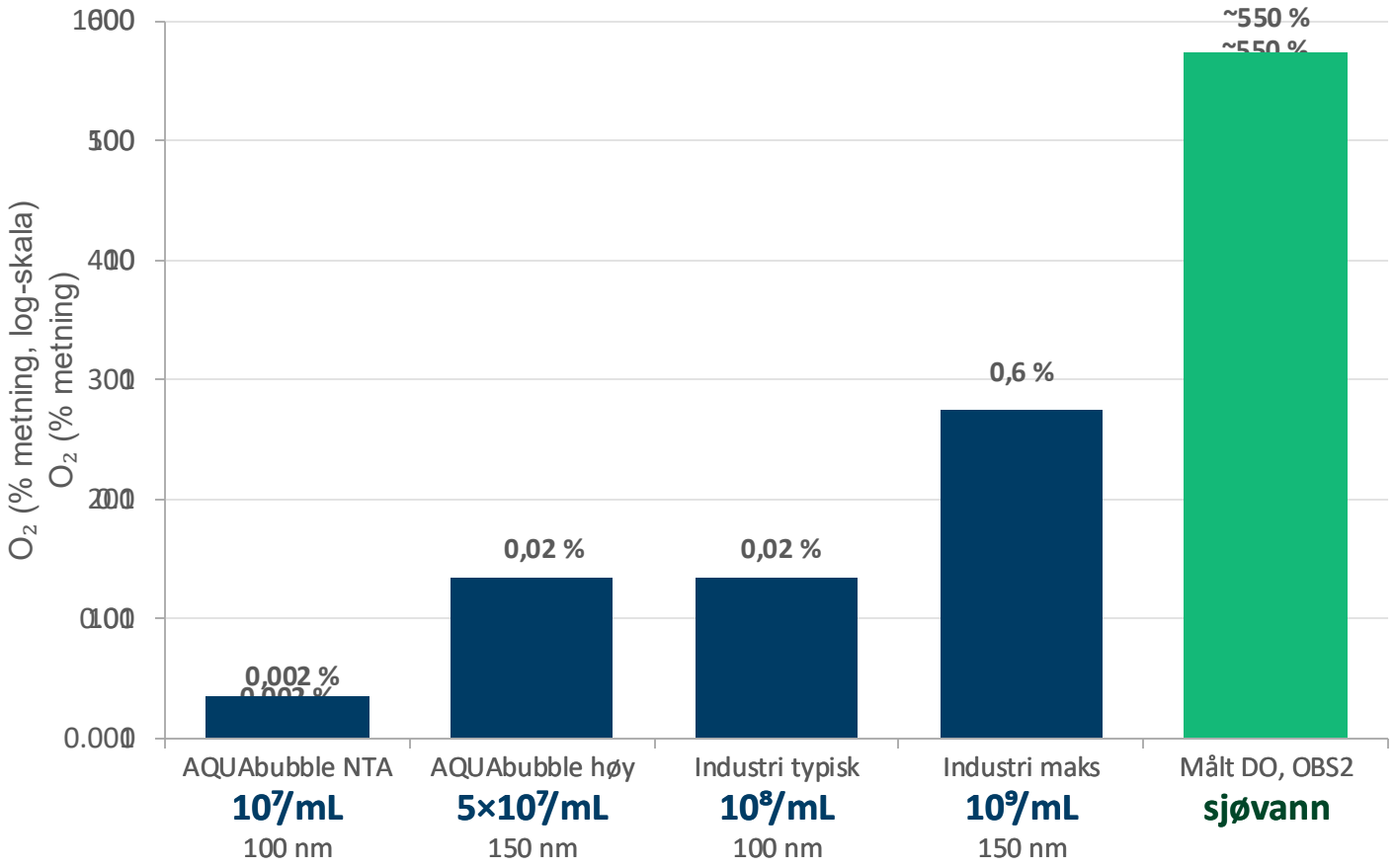
25-59 %

sjøvann 10-17 °C
(snitt 45 %)

Høyest OTE: 56-59 % i sjøvann ved 10-20 L/min og 1,5 bar

- OTE i sjøvann høyere enn i ferskvann
- OTE øker med vann-flow
- Samme størrelsesorden som uavhengige målinger: SOTE 17-54 % (Pirozzi 2024, standardbetingelser)
- Kort vannsøyle (ca. 50 cm) og ikke DO underskydd → begrenser OTE
- Leverandørtall (> 85-94 %) gjelder dype kontaktsoner og ofte stort DO-underskudd

‘Nanobobbeloksygenering’??? - Nanobobler bærer lite O_2!



1 x 50 µm ≙ 4 500 000 x 100 nm

én mikroboble på 50 µm inneholder like mye O_2 som ~4,5 millioner nanoboble på 100 nm

10^9 NB/ml ≤ 0,05 mg/L

O_2 i hele NB-populasjonen ved ≤ 10^9 NB/mL

→ OTE bæres av mikroboblene

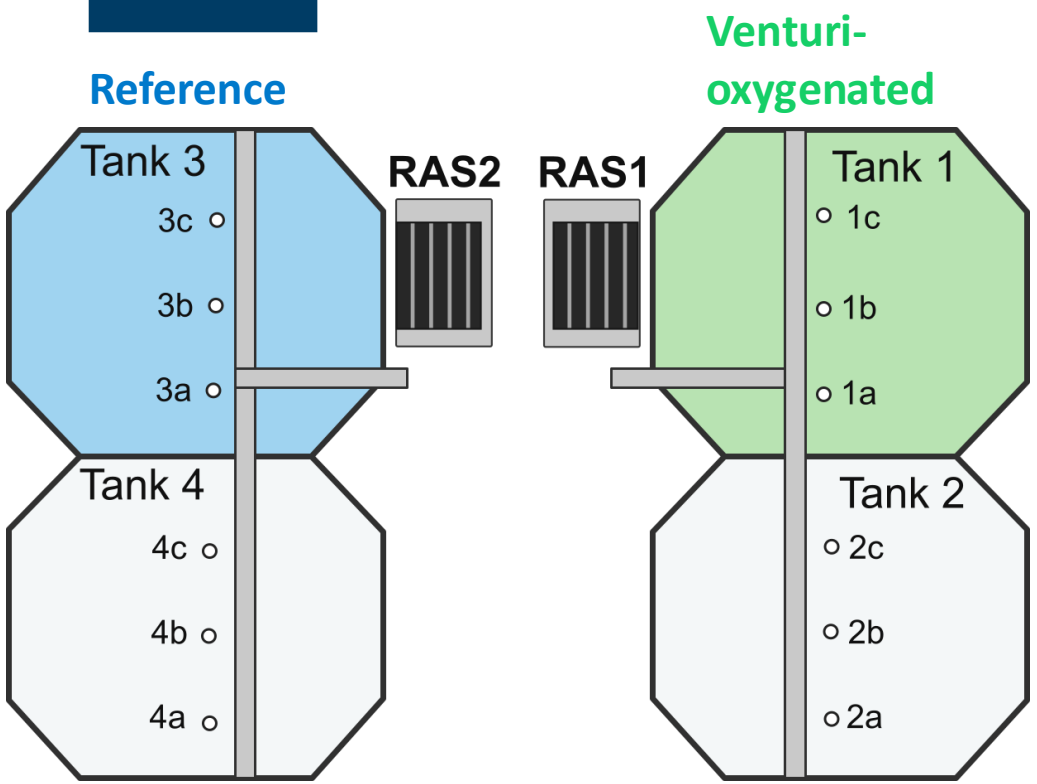
Nanobobler bidrar < 0,1 % til DO

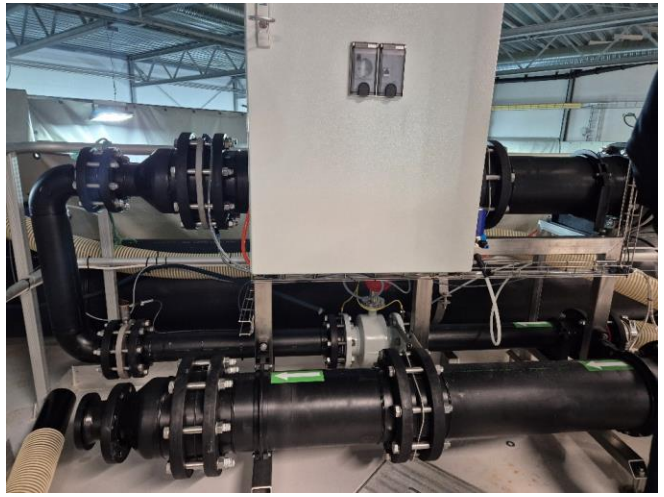
+ stabile nanobobler avgir knapt gass.

Feltforsøk ved ERKO Settefisk

Oxy Solutions

OBS3 venturi





Oxy Solutions venturi (OBS3) på kar 1

Oppsett

- 2 identiske RAS, hver med 2 kar à ~1150 m³
- ~120 000 smolt per kar
- DO-settpunkt ~90 % i begge
- 95 dager, des. 2025 - mar. 2026, salinitet 3 → 15 ppt

RAS 2 (kar 3 = referanse)

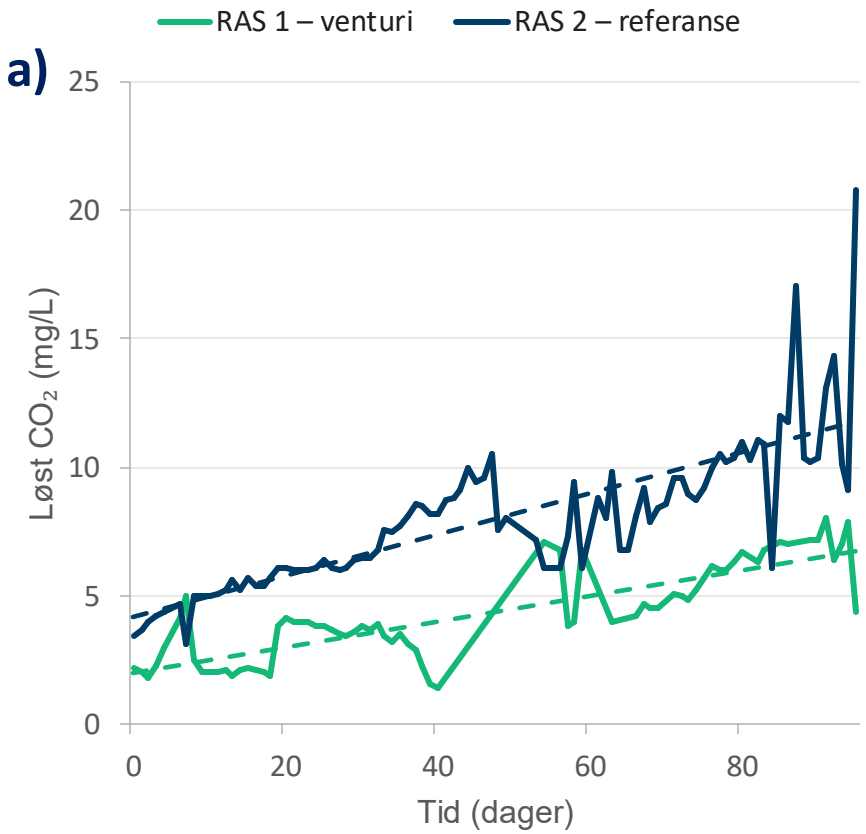
RAS 1 (kar 1 = venturi)

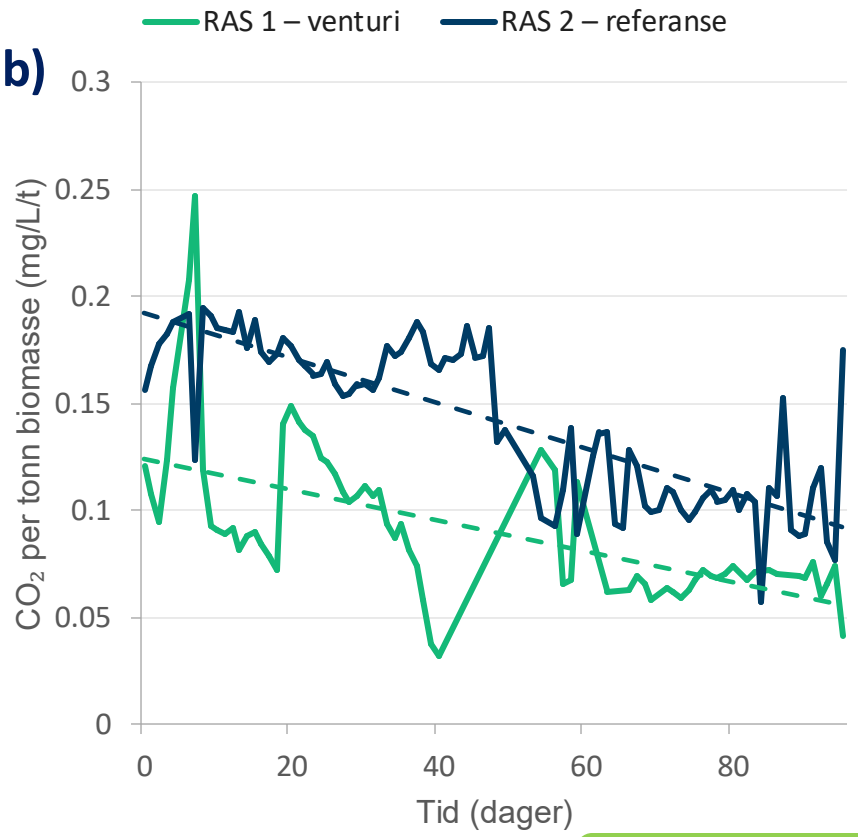
a-c: målepunkter for LISST, ekkolodd, DO.

Målinger

- Vannkvalitet: DO, CO_2, pH, redoks, alkalitet, TAN, NO_2, NO_3, turbiditet, TSS, partikler (LISST-200X)
- Mikrobiota (16S rRNA) i vann og biofilm, dyrkbare bakterier (CFU)
- Vekst og velferd, strømhastighet (ADV), ekkolodd, DO-profiler på 2 og 4 m

Lavere CO_2 nivåer med venturi-oksygenering





Rådata

- 47 %

4,2 vs 8,0 mg/L (snitt)

Normalisert til biomasse

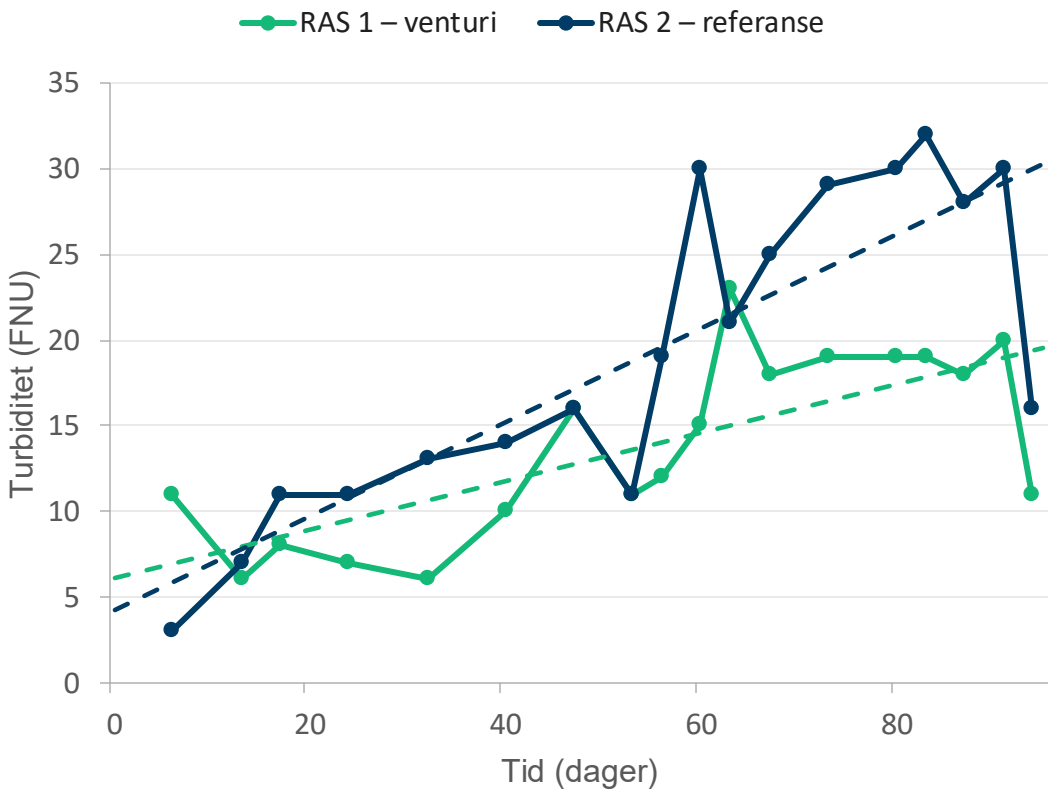
- 35 %

per tonn biomasse

CO_2 konsentrasjoner: (a) målt konsentrasjon (b) normalisert til stående biomasse (120 000 fisk per kar)

Sterkt indikasjon at venturi oksygenering fremmer lavere CO_2 nivåer.

Klarere vann med venturi-oxygenering



Turbiditet: 13,8 vs 19,2 FNU (- 28 %), saktere økning med økende biomasse.

TSS og LISST-partikkelvolum viste ingen konsekvent forskjell.

Vannparametere: samme mønster i to produksjonssykluser

Parameter (snitt)	Forsøk 1 RAS 1	Forsøk 1 RAS 2	Forsøk 2 RAS 1	Forsøk 2 RAS 2
Løst CO_2 (mg/L)	**3,7**	11,0	**4,2**	8,0
Redoks (mV)	**258**	179	**261**	229
Alkalitet (mg/L $CaCO_3$)	**95**	94	**91**	86
TAN (mg/L)	**0,8**	1,0	**0,48**	0,64
Nitritt-N (mg/L)	0,5	0,5	0,31	0,34
Nitrat-N (mg/L)	**88**	110	**97**	118
Turbiditet (FNU)	**7,2**	13,9	**13,8**	19,2
pH / temperatur (°C)	8,0 / 14,4	8,0 / 14,9	7,36 / 12,2	7,37 / 12,3
Salinitet (ppt)	9,5	9,0	12-15	12-15

Reproduserbart

- Retningen på alle forskjeller gjentok seg i begge sykluser (nitritt: ingen forskjell)
- Største forskjeller ved høyest biomasse, mot slutten av syklusene
- Begge sykluser: RAS 2 hadde 10-13 % mer biomasse

Fisk og fysiske forhold: ingen negative effekter

Venturi (RAS 1) vs. referanse (RAS 2)

Overlevelse

RAS 1: 99,87 %

RAS 2: 99,82 %

SGR

RAS 1: 1,86 %/d

RAS 2: 1,79 %/d

FCR

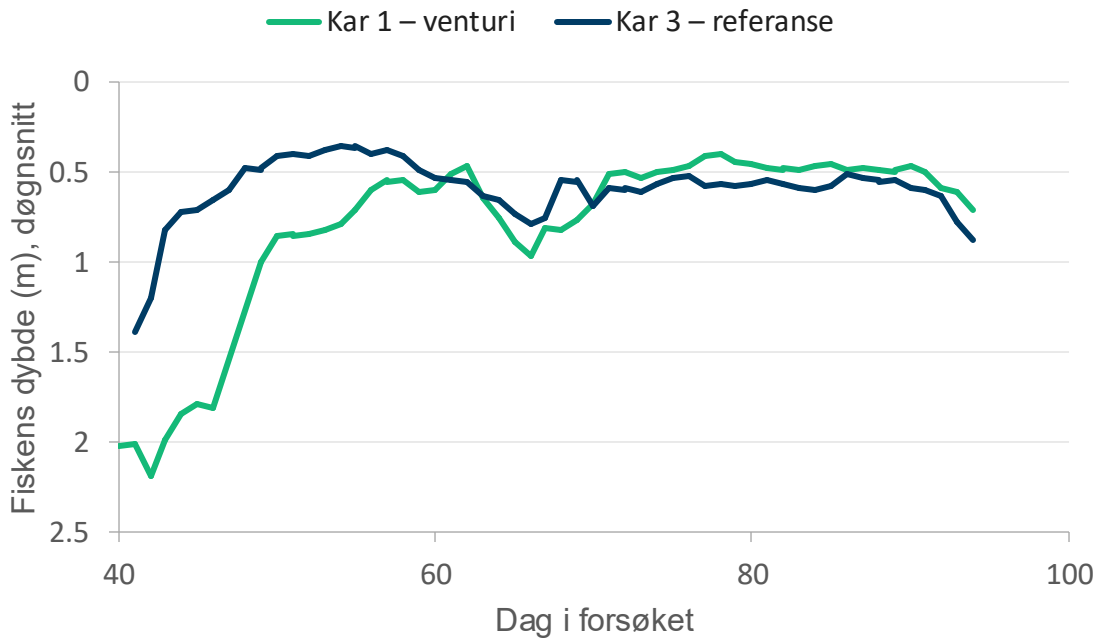
RAS 1: 0,83

RAS 2: 0,87

Vekt

RAS 1: 76 → ~440 g

RAS 2: 90 → ~495 g



Ekkolodd-analyser for å bestemme «centre of mass»

Forskjellene i vannkvalitet påvirket ikke fiskens vertikale fordeling: etter ~10 dagers akklimatisering sto fisken på samme dybde i begge kar (0,4-0,9 m). Strømhastighet og temperatur var like.

Mørke avsetninger med venturi-systemet

a) RAS 1 (venturi)
dark grey / black deposits



b) RAS 2 (reference)
brown deposits



Trommelfilter: (a) RAS 1: venturi, mørkegrå/svarte avsetninger, (b) RAS 2 – referanse, brune avsetninger

Hypotese: oksidasjon av løst Mn(II) til svart MnO_2 under mer oksidative forhold (høyere redoks). Ikke bekreftet da avsetningene er ikke analysert.

Nanobobler: påvirker vannkvalitet - ikke oksygenering

Oxy Solutions **Venturi system**

Mikrobobler Bærer gassvolumet, løses opp på sekunder-minutter	**Nanobobler** Stabile, veldig lite gassvolum - men enorm overflate
O_2-overføring (OTE)	**≈ 0 bidrag til DO**
CO_2-stripping → lavere CO_2	Grenseflatekjemi, ROS (•OH, H_2O_2)
	Partikler, biofilm, bakterier → lavere turbiditet og CFU
	Mer oksidative forhold → høyere redoks (ved lik DO)

OTE og vannkvalitet er separate mål: O_2-overføring skalerer med gassvolum (mikrobobler), grenseflateeffekter med overflate (nanobobler). **Høyt NB-tall ≠ høy oksygeneringseffektivitet.**

Konklusjoner

1. Venturi-generatoren gir et bredt boblespekter dominert av mikrobobler, med en mindre nanoboblefraksjon (123-158 nm), saliniteten > 11-12 PSU gir finere bobler

3. Venturi-oksygenert system viste lavere CO_2, stabilere redoks, lavere turbiditet, TAN og nitrat
→ reprodusert i to produksjons-sykluser (ca. 3 måneder hver)

4. Ingen negative effekter på fisk eller biofilter-mikrobiota

5. **Nanobobler bidrar til vannkvalitet via grenseflatekjemi - ikke til oksygenering.**
Vurder oksygenering og vannkvalitet som separate mål.

Thank you!

AQUAbubble

Norges forskningsråd

Oxy Solutions

Erko Settefisk

AKVA GROUP

FINNFJORD

SINTEF/NTNU team

Rigan Ghale



Pascal Klebert



Åsmund Johansen



Deni Ribičić



SINTEF

Technology for a better society