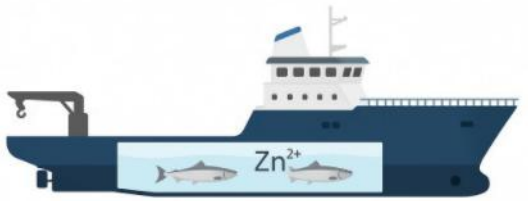
Sink i brønnbåtoperasjoner: Ny kunnskap om vannkvalitet, risiko og tiltak

FHF prosjektene: NYBRØK og NYBRØKII

Sara Calabrese & Rolf D. Vogt

Dialogmøte: Brønnbåtoperasjoner
Bergen, 17. nov 2026

NYBRØK: Er sink giftig i konsentrasjoner som har blitt målt i brønnbåt under transport og behandling?



- Ved flere tilfeller av fiskedødelighet i brønnbåtsoperasjoner er det målt hø totalkonsentrasjoner av sink (og sink i transport- og behandlingsvannet.
- Sinken akkumulerer underveis, spesielt ved lange lukkede transporter og under ferskvannsbehandlinger hvor vannet brukes flere ganger.
- Hovedkilden til sink antas å være overflatebehandling av stålkomponenter, spesielt galvanisering av rør på innsiden.



- Målet i NYBRØK: Undersøkte effekten av målte verdier av sink fra kommersielle brønnbåtoperasjoner, i kontrollert forsøk.

Og....kan silikat binde opp og avgifte Zn^{2+}, slik som for Aluminium?

Dette fant vi ut i NYBRØK

Transport

- Høye konsentrasjoner av totalt sink (800 µg/l) under simulert sjøvannstransport har effekter på ioneregulering, men en robust postsmolt vil sannsynligvis tåle en slik belastning.

Ferskvannsbehandling

- Høye konsentrasjoner av sink (800 µg/l) under simulert ferskvannsbehandling (bløtt ferskvann) førte til stressresponser, svekket evne til å osmoregulere, tydelige skader på gjellevev og høy dødelighet.
- I behandlet vann (renset for partikler og tilsatt silikat)→ ga en moderat sinkdose (400 µg/l) også negative effekter og høy dødelighet.
- Den mest sannsynlige forklaringen på at effekter av sink var mer negative i behandlet vann, er at det ubehandlede vannet inneholdt mer humus som binder Zn^{2+} og gjør det mindre giftig.
- Vannkvaliteten har stor betydning for hvor giftig en gitt total sinkkonsentrasjon er!
- Forsøket viser tydelig at silikatlut ikke har en avgiftende effekt på Zn^{2+}



Sink
Vitenskapet

Laks påvirkes negativt av sink

I kontrollerte forsøk, hvor ferskvannsbehandling av laks i brønnbåt ble simulert, ble det vist at laks påvirkes negativt av forhøyede konsentrasjoner av sink. Fisken klarte seg noe bedre i ubehandlet ferskvann (råvann) sammenlignet med behandlet ferskvann (fjernet partikler) som var tilsatt silikatlut.

Tekst: Rolf David Vogt[1], Sara Calabrese[1], Endre Steigum[1], Frida Sol Svendsen[1], Kristian Ulven[2], Alf Dalum[3,4], Linda Andersen[2], Floriana Lai[5], Markus Valle Sjøstrand[5], Louise Wedaa[6], Oscar Hanson[6] og Ole-Kristian Hess-Erga[1]. Se faktaboks om NYBRØK for nummerforklaring.

Sara.Calabrese@niva.no

Tidligere undersøkelser av ferskvannsbehandlinger og lukket transport av laks i brønnbåt har vist at sink (Zn) i vannet akkumuleres og at konsentrasjonen kan bli høy. I det FHF-finansierte prosjektet NYBRØK ble det derfor nylig gjennomført kontrollerte forsøk der fisk ble eksponert for konsentrasjoner av sink som tilsvarer målte verdier fra kommersielle brønnbåtoperasjoner.

Funnene viser at laksen blir negativt påvirket av forhøyede sinkkonsentrasjoner, spesielt i ferskvann med lite humus, hvor sink stort sett forekommer i den giftige frie Zn^{2+} formen. Silikatlut, også kalt vannglass, viser seg å ikke ha en avgiftende effekt når pH i ferskvannet er lavere enn 7. Ved høyere pH i ferskvannet vil hydrolysere sink og blir dermed mindre giftig for fisken. Også ved høye konsentrasjoner av ioner som kalsium (Ca^{2+}) og magnesium (Mg^{2+}) i vannet er giftigheten til sink lavere.

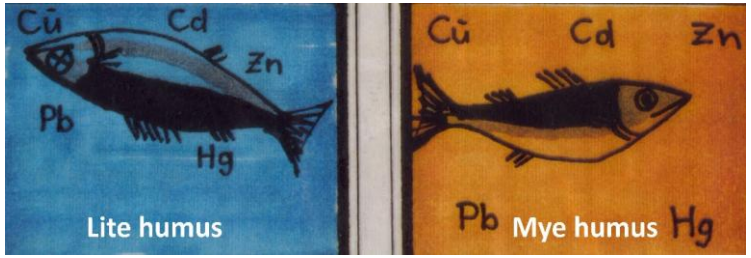
Transport og behandling i brønnbåt

Transport av laks i brønnbåter til og fra åpne merder er en helt nødvendig aktivitet for havbruksnæringen. Ferskvannsbehandling av laks ombord i brønnbåtene, for å bekjempe lakselus og amøbegjellesykdom (AGD), er også vanlig praksis i næringen. Selv om de fleste transportene og behandlingene går fint, rapporteres det av og til om utfordringer knyttet til fiskevelferd og dødelighet.

Det er flere mulige årsaker til slike hendelser. Ofte henger de sammen med at fisken hadde en redusert allmenntilstand før transport eller behandling. Dette fører til at de i mindre grad tåler håndteringen, stresset og de miljøendringene som oppstår under transport eller behandling. Høy biomasse og fisketetthet i brønnbåten er andre faktorer som kan svekke fiskens evne til å tåle belastningene. Dårlig kvali-

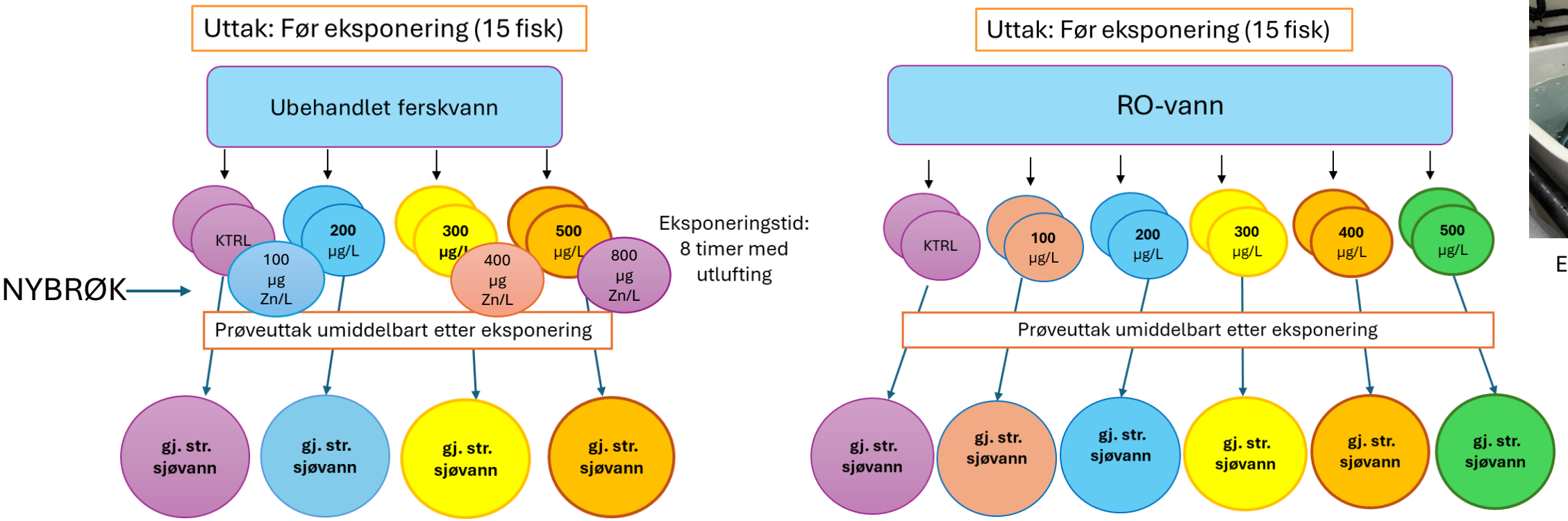
Forskningsteamet som var ansvarlig for fisken og sinkeksponeringen på ILAB. Fra venstre: Endre Steigum (NIVA), Markus Valle Sjøstrand (ILAB), Kristian Ulven (ILAB) og Rolf David Vogt (NIVA). Foto: Ole-Kristian Hess-Erga/NIVA.

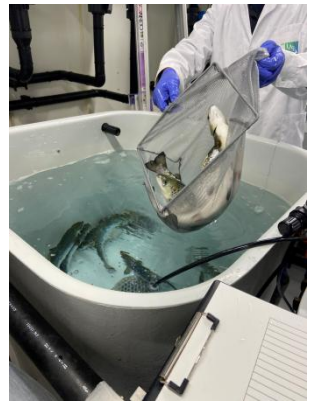
84 Norsk Fiskeoppdrett - Nr 4-2024



Kilde: E. Gjessing (pers. kom.)

NYBRØK II - Veiledende grenseverdier for sink i relevante vannkvaliteter inkl. RO-vann





Eksponeringskar





Flere uttak etter tilbakeføring til sjøvann



Sjøvannskar 2500L

Forsøksbetingelser

- ILAB: 500 l (8 kar)
- Postsmolt ~600 g fra sjøvann (10°C)
- Konstant dose 8 timer
- Atferd ble systematisk registrert under forsøket, GoPro etter overføring sjøvann
- Analyser: Vannkjemiske parameterer, blodparametere, fysiologiske stressresponser, effekter på ioneregulering og histologi

Naturlig råvann



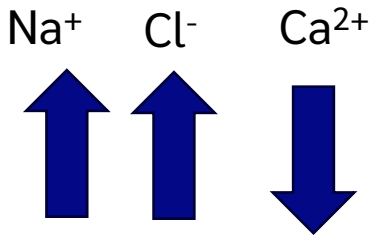
Atferd og dødelighet

- Ingen tegn til atferdsendringer under 8 t eksponering.
- Totalt døde 3 individer i 300 µg/l og 5 individer i 500 µg/l, etter tilbakeføring til sjøvann.

Fysiologiske responser

- Eksponering for 300 og 500 µg Zn/l påvirket fiskens ioneregulering etter tilbakeføring til sjøvann.

Plasmaioner:



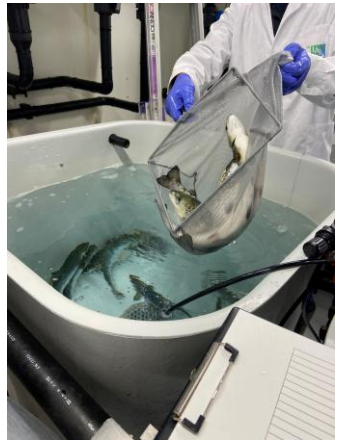
Effekter på gjellene (histologi)

- Skadene var lik de som ble observert NYBRØK, hypertrofi av respiratoriske epitelceller og degenerasjon og avstøting av kloridceller

- Kun 500 µg Zn/l → sign. økt gjellescore og moderate vevsforandringer observert dagen og uken etter behandling.

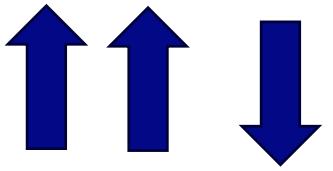
NIVA

RO-vann



Plasmaioner:

Na^+ Cl^- Ca^{2+}



Fysiologiske responser

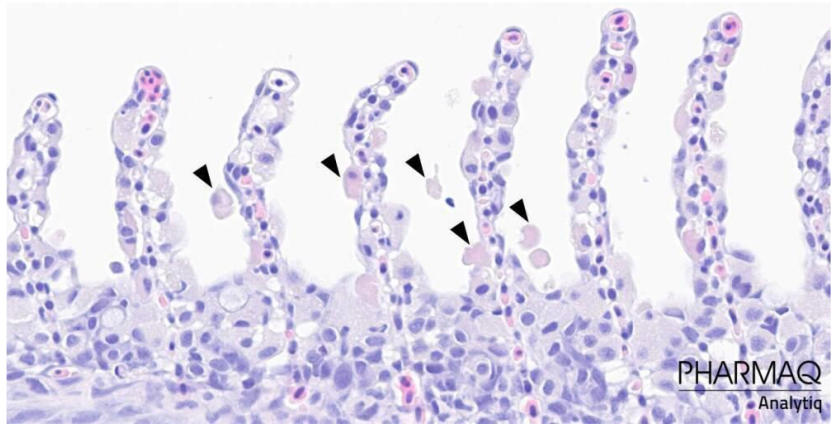
- Sammenlignet med naturlig råvann
  → sterkere fysiologiske og stressrelaterte responser ved tilsvarende sinkkonsentrasjoner.

- Sink påvirket også i større grad fiskens evne til å opprettholde normal ionebalanse, både under ferskvannsbehandlingen og etter tilbakeføring til sjøvann.

Atferd og Dødelighet

- Svimere og døende fisk i 200 µg/l, 300 µg/l og 400 µg/l mot slutten av eksponeringstiden.
- Totalt sett høyest dødelighet i 400 µg/l (18 individer)
- Synbar økt slimproduksjon
  → i kar med høyest dødelighet
- I høyeste dose 500 µg/l døde kun 5 individer.





Effekter på gjellene (histologi)

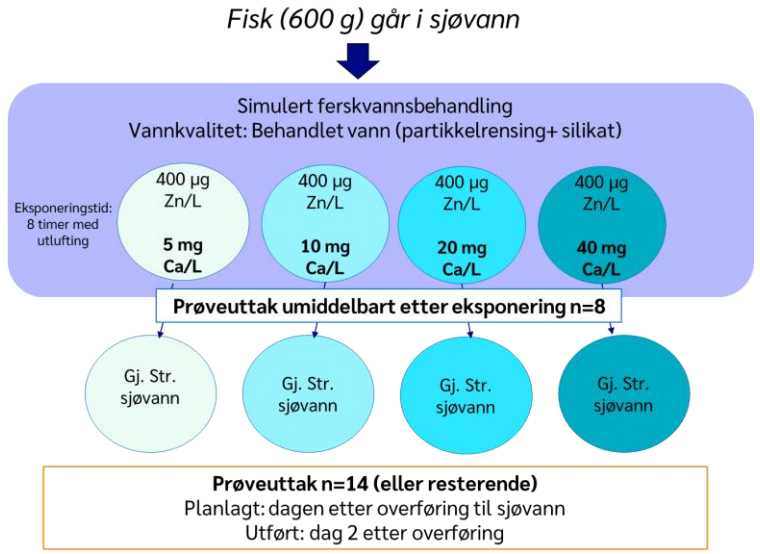
- Fisk eksponert for 300 og 400 µg Zn/l → moderat til uttalte skader og sign. høyere gjellescore (200 µg Zn/l; dag1).
- 500 µg/l hadde uventet lav gjellescore.

NIVA

Kan kalsium tilsettes behandlingsvannet som tiltak?

Næringsfinansiert prosjekt: Alsaker Fjordbruk, Frøy AS, Lerøy Seafood Group ASA, MOWI ASA og Sølvtrans Rederi III AS

- Kan den tilfeldige økt kalsium konsentrasjon i karene med 500 µg/l hatt betydelse for giftigheten?
- Det er kjent at økt en kalsiumkonsentrasjon kan redusere giftigheten til sink og andre tungmetaller hos flere fiskearter. De fleste av disse studiene er imidlertid basert på langtidseksponeringer.
- Sink tas opp fra vannet via gjellene, og konkurrerer med kalsium om de samme kanalene og dermed kan høye konsentrasjoner hemme det opptaket av kalsium



- Begrenset pilotforsøk som er designet etter kar/fisk og hall kapasitet som var tilgjengelig.
- Behandlet vann ble brukt:
  → Unngår forkludrende effekter av humusforbindelser (ubehandlet vann) og høyt innhold av Na^+ og Cl^- (RO-vann)
  → Nær 100 % av totalsink foreligger som fritt Zn^{2+}
  → Dokumentasjon på toksisitet fra NYBRØK (400 µg/l: 77 % dødelighet)

Kalsium har potensial som tiltak mot sink giftighet

Lavest, 5 mg Ca/l

- Var slappe ved overføring til sjøvann etter endt eksponering.
  -5 og 10 mg Ca/l → rolig ved bunn mot innløpsrør etter overføring sjøvann
- 5 mg/l: 2 (av 14) fisk døde noen timer etter overføring. For øvrig ingen dødelighet.
- Tydligst respons→ økt stress, forstyrret ionregulering og høyere histologisk gjellescore

Pilotforsøket gir en tydelig indikasjon på at økt konsentrasjon av kalsium i vannet er beskyttende mot sinktoksisitet under betingelser relevante for ferskvannsbehandling, men her trengs mer kunnskap!

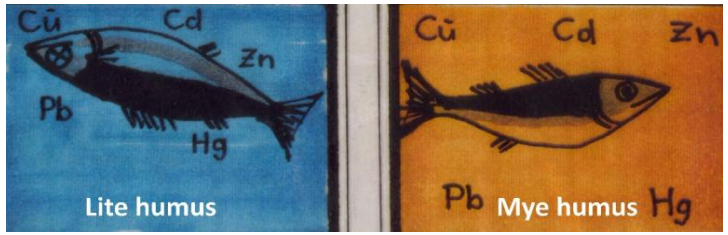
Ved tilsetning av 20 og 40 mg/l kalsium

- Normal aktiv atferd etter avsluttet behandling og tilbakeføring til sjøvann
- Fisken viste gjennomgående få fysiologiske tegn på påvirkning av sink, og det ble ikke observert signifikante forskjeller i de målte parameterne sammenlignet med nivåene før behandling.

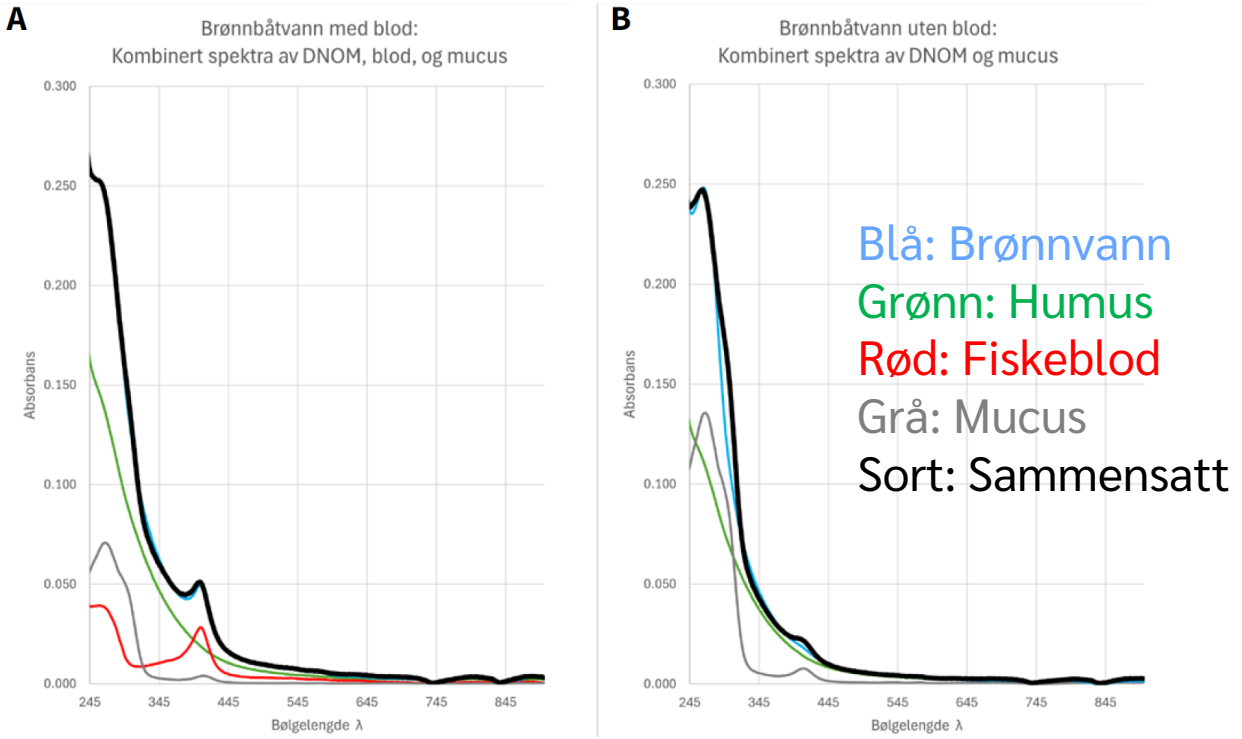
NIVA

Fargen på råvannet har effekt på sink giftighet

- Gulbrun farge på ferskvann skyldes humus som virker avgiftende på sink
  - Høy farge på råvannet er derfor bra mot sink giftighet
- Imidlertid skyldes økning i vannfargen under behandling blod fra fisken



Kilde: E. Gjessing (pers. kom.)







Nybrøk II

Vitenskapet

Fargen på ferskvannet under behandling mot lakselus i brønnbåter kan fortelle mye om fiskevelferden

Fargen på brønnbåtvannet kan fortelle oss mye om hvordan fisken har det. Farge på råvannet fra ferskvannskilden skyldes oftest løst naturlig organisk materiale (DNOM), også kalt humusstoffer. Dette kan beskytte fisken mot giftige nivåer av sink. Blir vannet mer farget under behandling er det imidlertid sannsynligvis blod fra skadet fisk som farger vannet.

Rolf D. Vogt, Endre Steigum, Silje K. Bekkeli, Janaki Rajakumar, Sara Calabrese, og Ole-Kristian Hess-Erga, alle ved Norsk institutt for vannforskning.

Rolf.David.Vogt@NIVA.no

Hva er det i vannet?

Hvis det benyttes naturlig ferskvann under behandling mot lakselus i brønnbåter, inneholder dette vannet løst naturlig organisk materiale (DNOM), også kalt humusstoffer, fra råvannskilden. I tillegg inneholder vannet fiskeslim (mucus) og avføring (feces) som fisken skiller ut, og eventuelt blod fra skadet fisk. Under behandling i brønnbåter utsettes fisken for ulike typer påkjenninger, som kan føre til at den slipper ut mer av disse stoffene. Noen ganger er det observert at fargen på brønnbåtvann øker underveis i behandlingen, og dette kan settes i sammenheng med redusert fiskevelferd. Som en del av NYBRØK – II prosjektet ønsker vi å finne ut hva det er som gir denne fargeøkningen.

Fargen på vannet er en tydelig signatur

DNOM/humusstoffer gir ferskvannet en gulbrun farge, mens blod gir vannet en litt mer rødbrun farge, med en klar absorpsjonstopp av lys med bølgelengde 410 nm (som gir en synlig rød komplementærfarge) Se også faktaboks. Feces absorberer lys i hele det synlige spekteret og gir det vi oppfatter som en brun farge på vannet. Mucus i vann er på den annen side fargeløs, men absorberer UV stråler. Det kan derfor være vanskelig å se med det blotte øye hva en økning i farge skyldes. Ved å bruke UV-Vis-spektroskopi kan vi måle hvilke deler av lysspekteret som absorberes av de organiske stoffene i vannet, og derved finne ut hva slags stoffer som finnes der.

For å teste dette, ble vannprøver samlet fra brønnbåter under ferskvannsbehandling, og sammenliknet med vannprøver fra råvannskilden og laboratorielagede ferskvannsløsninger av blod, mucus og feces fra laks. Analysene inkluderte blant annet UV-Vis-spektroskopi. Se også faktaboks.

Resultatene: Lysspekteret forteller historien

Ved hjelp av lysmålinger på filtrerte prøver kunne vi avdekke hva som faktisk var til stede i vannet. De viktigste funnene var:

- Brønnbåtvann med økt farge hadde tydelig absorpsjon av lys med bølgelengde 410 nm, helt i tråd med hemoglobin fra blod – et slags kjemisk fingeravtrykk.
- Løst mucus ga en absorpsjonstopp av UV lys ved 270 nm.
- Feces i vann absorberte lys også i den oransje delen av lysspekteret (600 nm), noe vi ser lite av i lysspektrene av brønnbåtvann.
- Lysspektrene fra brønnbåtvannet kunne

UV-Vis-spektroskopi er en metode som måler hvor mye lys et stoff absorberer ved ulike bølgelengder. Ved å analysere slike lysspektrum kan man finne ut hvilke stoffer som finnes i vannet, basert på deres unike «lysavtrykk».

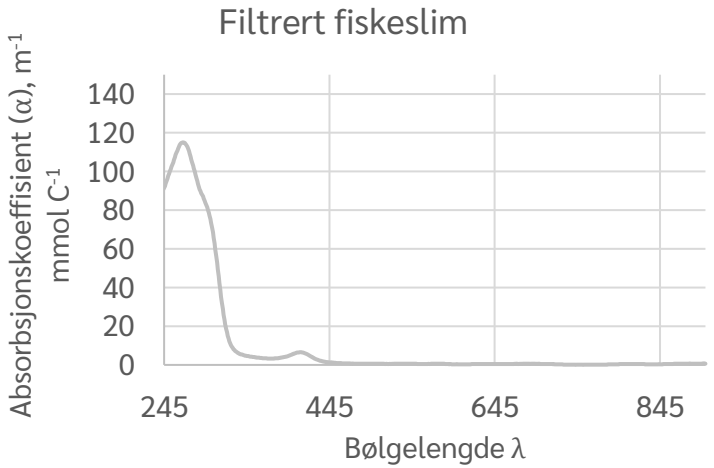
I denne studien brukes metoden til å identifisere blod og fiskeslim (mucus) i vann, samt å skille disse stoffene fra DNOM.

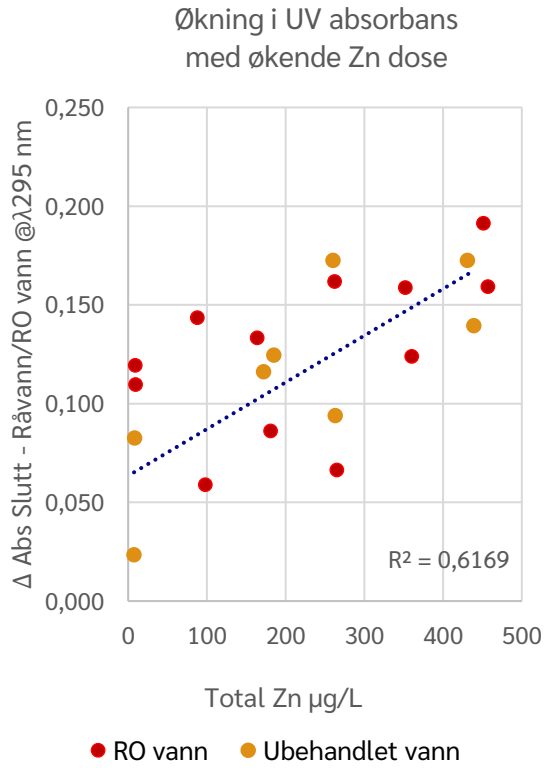
Blod inneholder hemoglobin, et molekyl med en sterk rødfarge og tydelig lysabsorpsjon rundt 410 nm i lysspekteret. Mucus består av glykoproteiner, mens avføring (feces) inneholder proteiner, fett og karbohydrater.

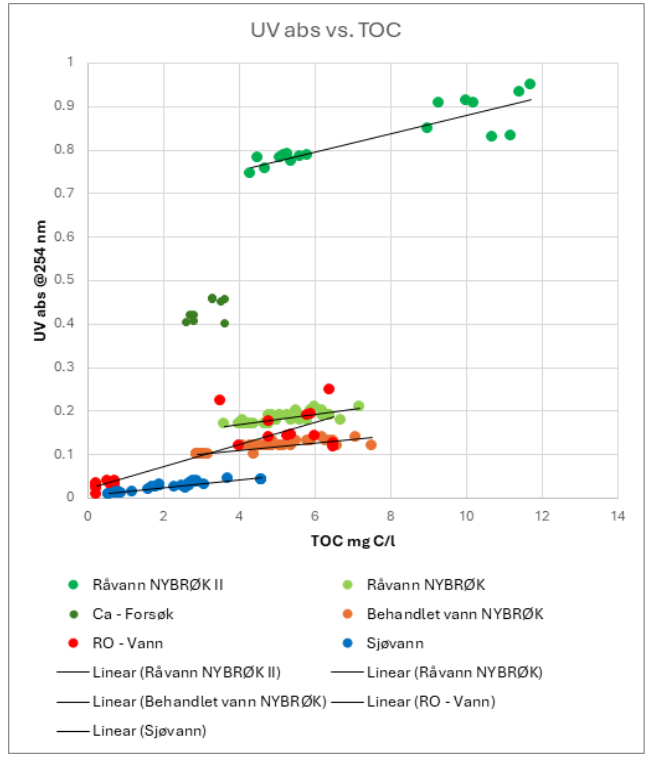
Økt mucus indikerer stresset fisk

- Økende UV absorbans med økene Zn dose
- TOC og UV absorbans øker under eksponering
- Ingen økning i absorbans i den synlige delen av spekteret
- Mucus absorberer kun i UV området
  → Økning i TOC skyldes økt mengde mucus i vannet



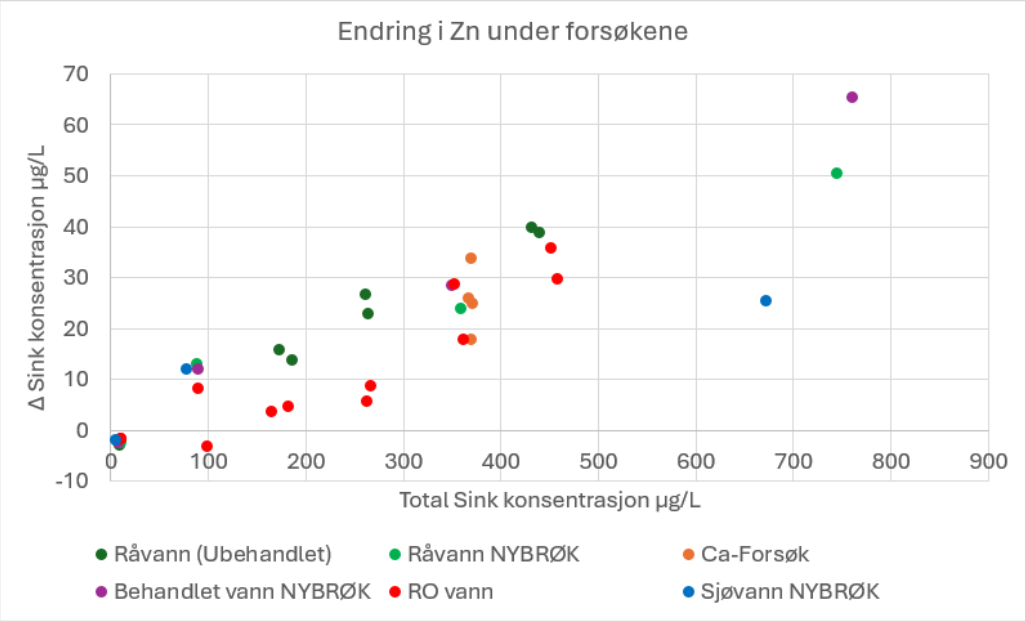






Fisken tar opp sink, men den giftige effekten skyldes akutt, ikke kronisk, sinkeksponering

- Konsentrasjon av sink i vannet avtar under eksponering → tas opp i fisken!
- Mindre tas opp i sjøvann ved samme dose
- Finner ikke sinken på gjellene (som for aluminium)
- Jobber på en metode for måling av sink i plasma og etablering av normalverdier



Er vi nærmere veiledende grenseverdier for sink under ferskvannsbehandling av laks?

- JA! Men dette er komplekst og avhengig av vannkvalitet, derfor er det viktig at dette er en del av vurdering.

- I **ubehandlet vann (med humus)** og **Ca < 2 mg/l** kan dødelighet og gjelleskader oppstå ved **total sinkkonsentrasjoner på ≥300 µg Zn/l.**

- I **rent RO-vann** observeres:
  - **Betydelig dødelighet og gjelleskader ved total sinkkonsentrasjoner ≥ 200 µg Zn/l**
- Så lave Ca-konsentrasjoner som i forsøket er uvanlige i praksis→ kommer in med sjøvann og øker ved gjentatte behandlinger

- Tilsetning av **kalsium** til behandlingsvannet kan være et relativt enkelt tiltak
  - Pilotforsøket viste at små økninger i Ca kan **redusere Zn-toksisitet**
  - Samtidig må dette bekreftes i fullskala forsøk for å avklare, dose-respons forholdet Ca vs. Zn, hvilket kalsiumprodukt som skal brukes og om dette potensielt kan påvirke avlusningseffektivitet.

Senest nr av NFO


NYBRØK II
Vitenskapet

Hva betyr ferskvannskvaliteten for sinkgiftigheten hos laks?

Hvor giftig sink er for laks, avhenger ikke bare av hvor mye sink som finnes i vannet, men også av vannkvaliteten. FHF-prosjektet NYBRØK viste at høye sinkkonsentrasjoner kan føre til alvorlige effekter på fisken, men forsøkene ga ikke grunnlag til å fastsette sikre veiledende grenseverdier. I NYBRØK II har vi derfor testet flere sinknivåer i ulike typer ferskvann. Vi har også undersøkt om tilsetting av kalsium kan redusere giftigheten av sink – et tiltak som kan være aktuelt ved ferskvannsbehandling i brønnbåt.

NYBRØK II

Giftighet av sink – et metall som blir farlig under ugunstige forhold

Nye forsøk med naturlig råvann og RO-vann



[Brønnbåtveilederen]

NIVA

Tusen takk!

Frida Sol Svendsen (NIVA),Kamilla Furseth, Endre Steigum (NIVA), Susanne Eide (ILAB), Alf Dalum (Pharmaq), Markus Valle Sjøstrand (ILAB), Linda Andersen (ILAB), Henriette Glosvik (ILAB), Pablo Balseiro (UiB), Cindy Pedrosa (UiB) og Ole-Kristian Hess-Erga (NIVA)

901966 – Ny brønnbåtkunnskap II – biologiske risikofaktorer ved bruk av brønnbåt til transport og behandling av laks (NYBRØK 2) – FHF

Næringspartnere:
Sølvtrans, Frøy, Rostein, Mowi, Lerøy Seafood Group, Grieg Seafood, SalMar, Salmon Evolution

Finansiert av: