Erfaringer og læringspunkter etter fire tiår med brønnbåt – tanker om kunnskapsbruk og kunnskapsbehov

Trond W. Rosten
Mowi ASA
Global R&D and Technical

40 år med norsk brønnbåtkapasitet

Røft utviklingsbilde for fartøy som transporterer levende fisk

~6×	~18×	~100×
flere fartøy	større brønn	samlet m^3-kapasitet

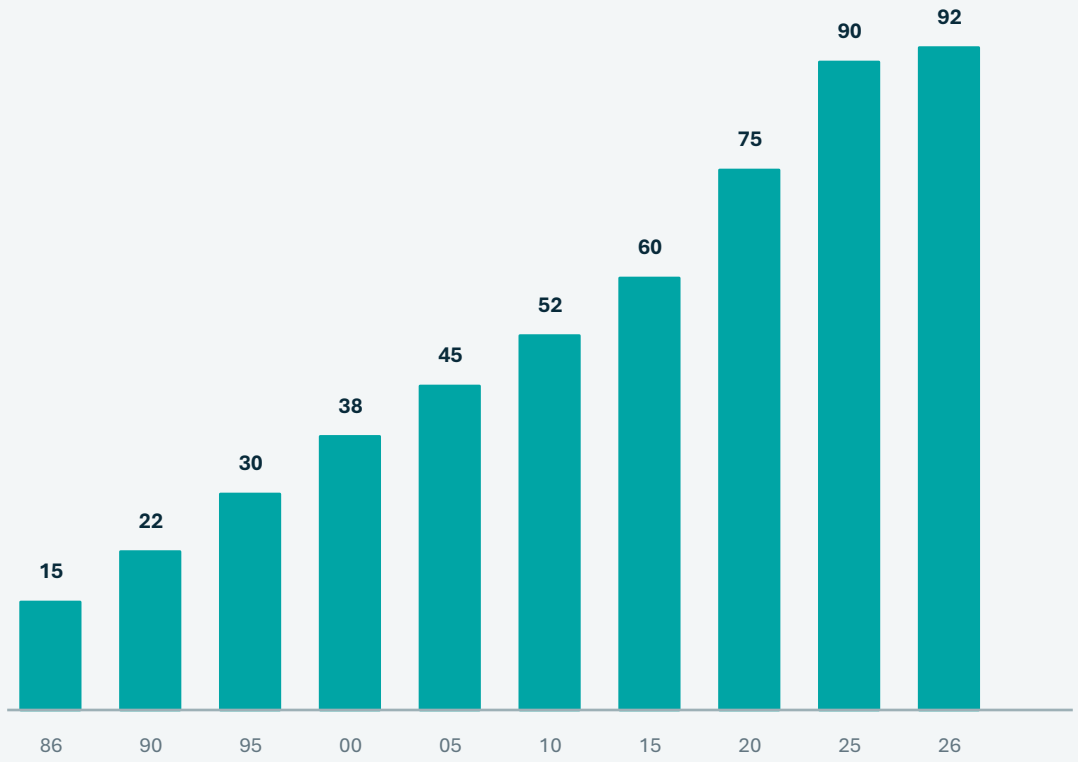


Veksten har flyttet seg fra antall båter til kapasitet, lukket transport, biosikkerhet og skånsom fiskehåndtering.

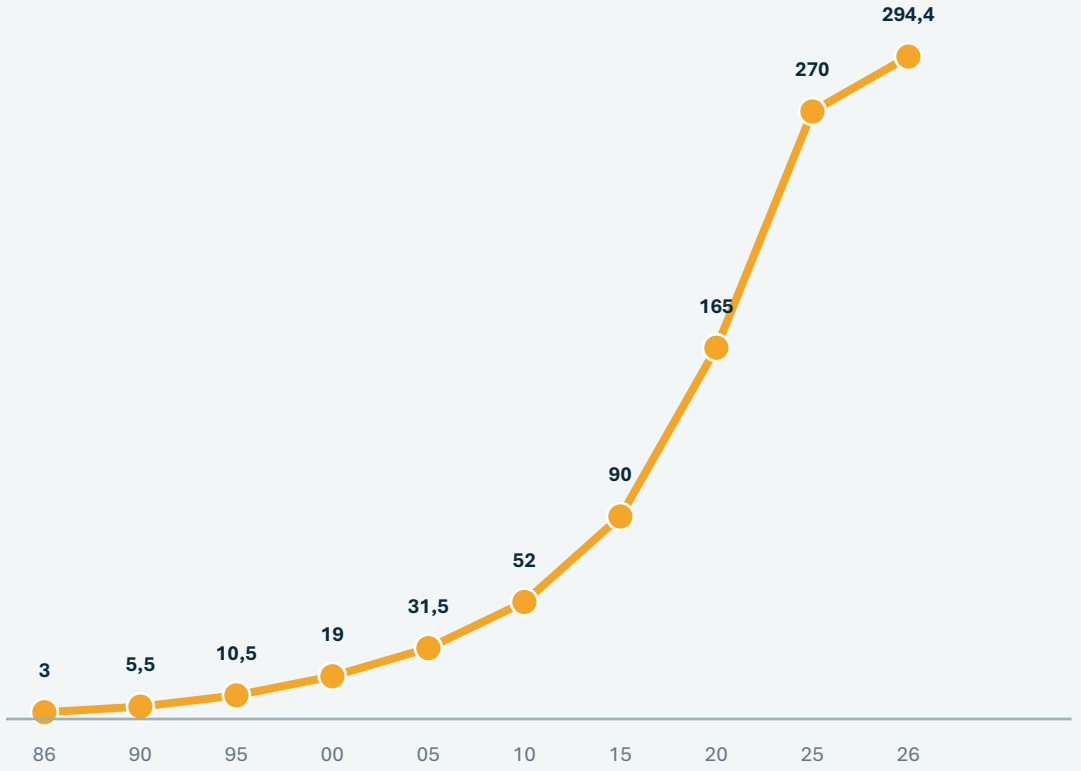
Utviklingskurve -

Scenario for norske NOR/NIS-fartøy med dokumentert funksjon for transport av levende fisk. 2026 er foreløpig.

Antall aktive fartøy



Samlet fiskebrønnkapasitet, 1 000 m^3



Tolkning: antallet øker gradvis, mens samlet transportkapasitet akselererer etter 2010 gjennom større fartøy og mer avanserte systemer.

Ti referanseår: fra små åpne brønner til store lukkede systemer

Tallene er ikke offisell statistikk men ment som som illustrasjon

År	Aktive båter	Typisk m^3/båt	Samlet 1 000 m^3	Dominerende utvikling
1986	15	200	3	Ombygde småfartøy + bruk av våthåv
1990	22	250	5,5	Tidlig spesialisering
1995	30	350	10,5	Flere formålsbygde båter
2000	38	500	19	Pumping og større brønner
2005	45	700	31,5	**Profesjonalisering**
2010	52	1 000	52	**Lukkede systemer vokser**
2015	60	1 500	90	**Behandling integreres**
2020	75	2 200	165	**Stor nybyggingsbølge**
2025	90	3 000	270	Biosikkerhet + hybrid
2026	92	3 200	294,4	Foreløpig status

1986–2026: fra rundt 3 000 → 294 000 m^3 samlet kapasitet

Usikkerhet størst før 2007: ±20–30 % på antall og ±25–40 % på m^3.

Fire generasjoner brønnbåt

Teknologisprangene har samtidig endret vannmiljø, håndtering, biosikkerhet og operasjonell risiko.



1986–1995

200–350 m³

Åpen transport • små laster



1996–2005

500–700 m³

Formålsbygging • pumping



2006–2015

1 000–1 500 m³

Lukket transport • behandling



2016–2026

2 200–7 500 m³

Biosikkerhet • sensorikk • hybrid

FHF-perspektiv: større kapasitet må vurderes sammen med tetthet, transporttid, vannkvalitet, trykk, lasting/lossing og fiskens robusthet.

Smolttransport: læringspunkter fra transportundersøkelse 1999

Dataene viser at transportlengde alene ikke avgjør belastningen. Risikoen styres av samspillet mellom CO_2-kontroll, vannskifte, salinitetsovergang og operasjonelle faser.

01

CO_2 er den tydeligste flaskehalsen

Korte transporter kunne nå ~50 mg/L, mens 18–20 timers kombitransporter hadde lav/moderat belastning når vannskifte og lufting fungerte. Lukket fase må dimensjoneres etter biomasse og faktisk avgassingskapasitet.

02

Overganger er kritiske operasjoner

Lasting, lukking, vannskifte og lossing ga raske skift i pH, O_2 og salinitet. Ferskvann som følger fisken inn kan gi uforutsigbart brakkvann og risiko for remobilisering av aluminium på gjellene. Perioder med lukket og høy TAN – åpning og pH økning = ammoniakk giftighet

03

Styr etter kombinasjoner, ikke enkeltgrenser

CO_2, ammonium/ammoniakk, O_2, pH, temperatur og salinitet virker sammen. Plasmaklorid og gjellemetaller i fokus på fysiologi.

OPERATIVT HOVEDBUDSKAP

Definer kontrollpunkter ved lasting → lukket fase → vannskifte → lossing, og bruk trend/varighet som beslutningsgrunnlag, ikke bare siste måleverdi.



Historiske data, moderne anvendelse

Behov for bade mer empiri og kontrollerte forsøk . Fokus på komplesk kjemi og fysiologi I overganger og samvirkning TAN, CO2, Oksygen og Temp.

Vannkvalitet - holdetid – transport i lukket system – verktøy

Parameter	Risk level (RL)1	Risk level (RL) 2	Risk level (RL) 3
CO_2 mg L^{-1}	20	40	60
TAN µg L^{-1}	3000	4000	5000
NH_3 µg L^{-1}	0,5	1	2

Temperature and oxygen consumption rate	25 kg/m^3 Maximum time in closed system (hours)	50 kg/m^3 Maximum time in closed system (hours)	75 kg/m^3 Maximum time in closed system (hours)
2 °C (5 mg O_2 kg^{-1} min^{-1})	RL 1. 3,7 RL 2. 8,0 RL 3. 10,0	RL 1 1,7 RL 2. 4,0 RL 3. 5,0	RL 1 1,1 RL 2. 3,0 RL 3. 3,0
10 °C (14 mg O_2 kg^{-1} min^{-1})	RL 1. 1,0 RL 2. 3,0 RL 3. 3,0	RL 1. 0,4 RL 2. 1,3 RL 3. 1,7	RL 1. 0,3 RL 2. 0,9 RL 3. 0,8
15 °C (19 mg O_2 kg^{-1} min^{-1})	RL 1. 0,4 RL 2. 1,0 RL 3. 2,0	RL 1. 0,1 RL 2. 0,7 RL 3. 1,2	RL 1. 0,1 RL 2. 0,4 RL 3. 0,6

Temperature and oxygen consumption rate	25 kg/m^3 Maximum time in closed system (hours)	50 kg/m^3 Maximum time in closed system (hours)	75 kg/m^3 Maximum time in closed system (hours)
2 °C (2 mg O_2 kg^{-1} min^{-1})	RL 1. 5,5 RL 2. 16,0 RL 3. 25,0	RL 1 2,7 RL 2. 8,0 RL 3. 12,0	RL 1 1,7 RL 2. 5,0 RL 3. 8,0
10 °C (5 mg O_2 kg^{-1} min^{-1})	RL 1. 2,6 RL 2. 7,0 RL 3. 10	RL 1. 1,2 RL 2. 3,0 RL 3. 5,0	RL 1. 0,8 RL 2. 2,1 RL 3. 3,0
15 °C (8 mg O_2 kg^{-1} min^{-1})	RL 1. 1,7 RL 2. 3,8 RL 3. 6,0	RL 1. 0,6 RL 2. 1,6 RL 3. 2,8	RL 1. 0,2 RL 2. 0,9 RL 3. 1,8

Maximum recommended transport time in closed system with freshwater (pH 6.0; alkalinity 0.04 mmol L-1) for **1-2 g salmon** fry with three different fish loads, three different risk levels (RL), three different temperatures and three different specific oxygen consumption.

Maximum recommended transport time in closed system with freshwater (pH 6, 0, Alkalinity 0,04 mmol L-1) **for 70 g salmon smolt** with three different fish loads, three different risk levels (RL), three different temperatures and three different specific oxygen consumption.

2007

Robust smolttransport starter før fisken går om bord

Kjente risikopunkter ved innlasting, transport og lossing

1 FØR LASTING → 2 INNLASTING → 3 TRANSPORT → 4 LOSSING

ANLEGG OG TRANSPORT LEDNING

Kontroller kaianlegg, tilførselsslanger, koblinger og utpumpingsledning. Operatør må følge med på riststap og rømmingsfare.

FISKENS FORUTSETNINGER

Transporter sjøvannsklar smolt. Fisk som ikke er ferdig smoltifisert kan raskt få problemer i fullstyrke sjøvann.

SKÅNSOM INNLASTING

Uttapping fra kar kan gi betydelig stress. Dimensjoner vannføring og tetthet, og ha kapasitet for ekstra oksygen I brønn ved innlastning.

START MED RENT VANN

Skill fra gammelt oppdrettsvann. Høy startverdi av CO_2 og NH_3 er særlig ugunstig når hele eller deler av transporten skal gå lukket.

OBSERVÉR FISKEN

Se etter maurtue-lignende eller uregelmessig svømming og tydelige fargeendringer. Bruk observasjon sammen med målinger og hendelseslogg.

BEREDSKAP OG SAMHANDLING

Ha prøveutstyr for vannkvalitet om bord, dokumenter avvik og kommuniser ankomsttid slik at smoltanlegget har personell klart ved mottak.

HOVEDBUDSKAP

Brønnbåttransport er en sammenhengende operasjon – teknikk, fiskestatus, vannkvalitet og samhandling må samspille.

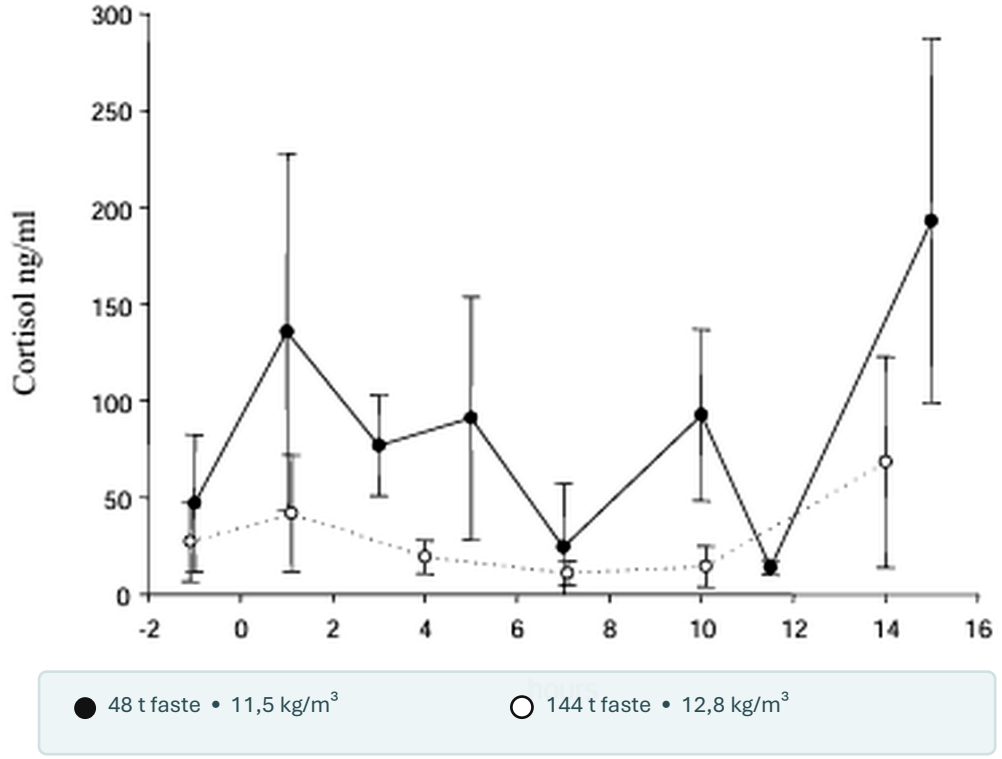
Praktisk styring: sjekkliste før lasting • trendmåling underveis • tydelige tiltakspunkter • mottaksberedskap før ankomst

Kilde: Bjerknes, V. (red.) (2007), Vannkvalitet og smoltproduksjon, Juul Forlag, s. 189. Punktene er kondensert fra den synlige siden.

Sulting og kortisolrespons under lukket smolttransport

Er sultet fisk mindre stresset – eller effect av vannkvalitet? – tenker det er tema som kan gåes mer etter

Målt kortisol (ng/ml) **(unpublished data from Rosten et al).**



≈195 ng/ml høyeste middelverdi – etter 15 timer Lukket tranmsport i gruppen med 48 timers faste I forkant

1 **Ikke en lineær tidsrespons**

Kortisol varierer kraftig gjennom transporten. En enkelt stikkprøve kan derfor under- eller overvurdere belastningen.

2 **Fastehistorikk påvirker responsen**

Gruppen fastet i 48 timer ligger gjennomgående høyere enn gruppen fastet i 144 timer, men variasjonen er stor.

3 **Sluttfasen krever særlig kontroll**

Begge grupper øker etter 14–15 timer. Planlegg prøvetaking før lossing og koble kortisol til vannkvalitet og operasjonelle hendelser.

FORSØKSBETINGELSER **Ferskvann | O_2 10–12 mg/L | 9–10 °C | CO_2 2–8 mg/L | TAN 450–750 µg/L | ledningsevne 1 200 µS/cm**

RISIKI

Table 7. Emergency situations and counteractions that should be planned for in a closed transport

Emergency situation	Probability to occur (*p*) [1(low)-6 (high)]	Damage (*d*) 1(low)-6 (high)]	Risk (*r*) *r=p*d*	Action
Failure of oxygen supply	2	6	12	Backup system
Failure of degassing of CO_2	2	6	12	Backup system
Wrong calibration of water sensors	3	5	12	Training, procedures and inter calibration
Rapid pH rise in TAN rich water	3	6	18	Avoid intake of water with higher pH after a long period of closed system or change water with a same or lower pH
Delayed and prolonged transport (truck)	3	3	9	Planning travelling route, bring enough oxygen supply
Delayed and prolonged transport (boat)	2	3	6	Planning travelling route bring enough oxygen supply
Fish starved to little prior to transport	5	4	20	Open system, change water if possible
Fish not fit for transport	3	6	18	Abort mission
Weak fish die during transport and disturbs circulation	1	5	5	Remove dead fish if possible. Use extra oxygen supply.
Failure in loading and un-loading equipment	1	6	6	Maintenance
Weather conditions	3	3	9	Planning

Source : VKM 07/806 Transportation of fish within a a closed system

LUKKET SYSTEM - endringer i vannkvalitet og fysiologi

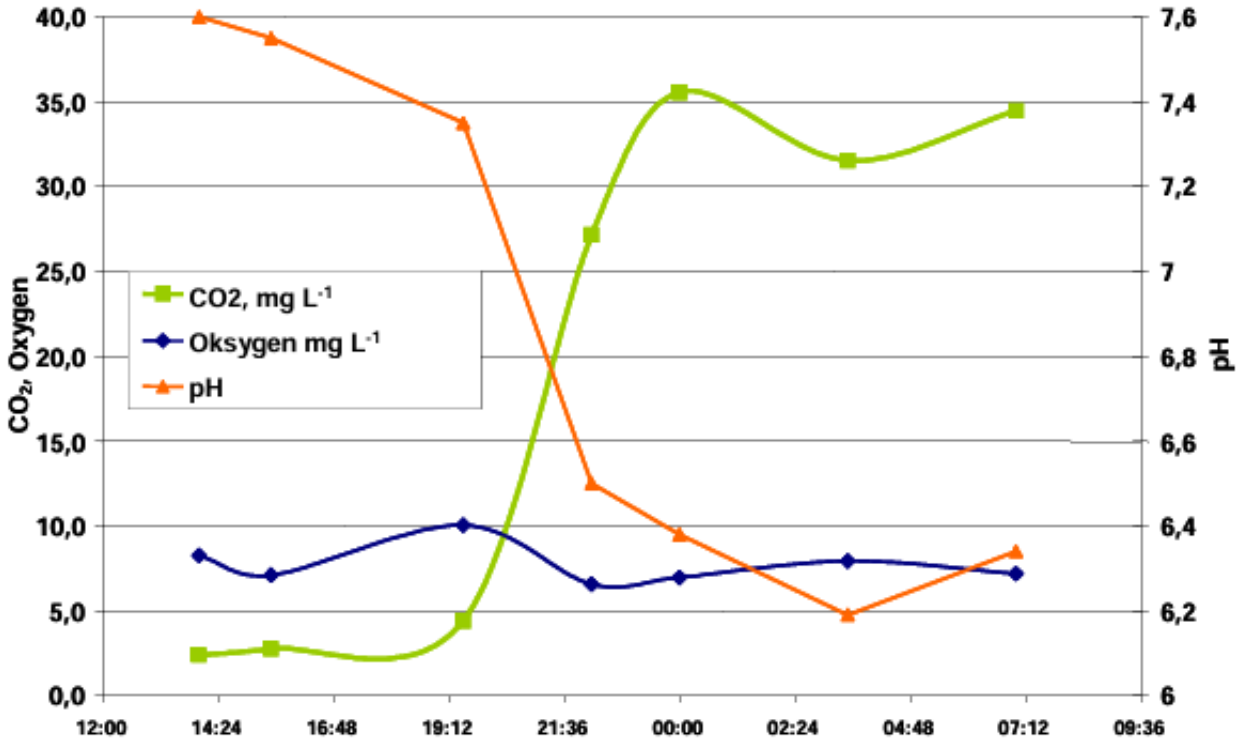


Figure shows CO_2, pH, and oxygen levels during 18 h transport of salmon (4.1 kg average weight; 118 kg/m^3). The system was open from 14:24–19:12 and closed from 19:12–07:12. CO_2 and pH stabilized after midnight due to onboard degassing, while oxygen remained stable through feedback-controlled oxygen addition.

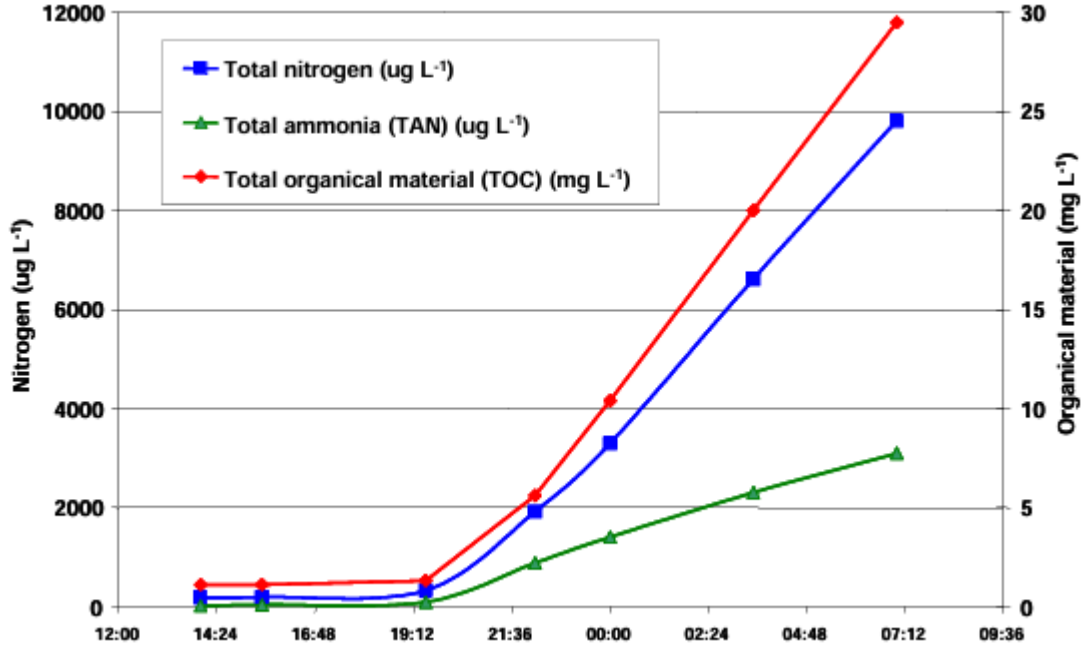
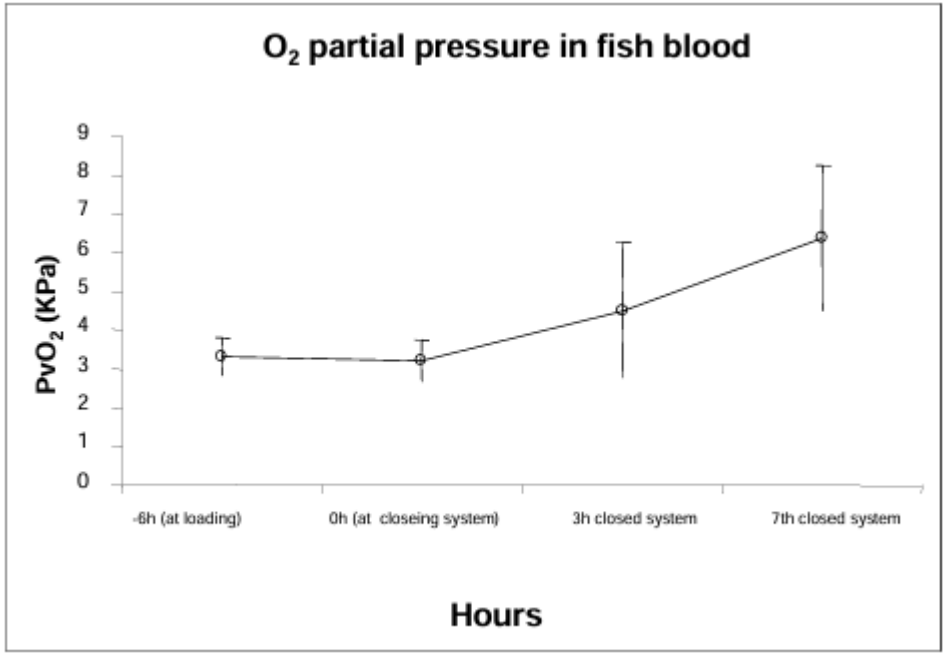
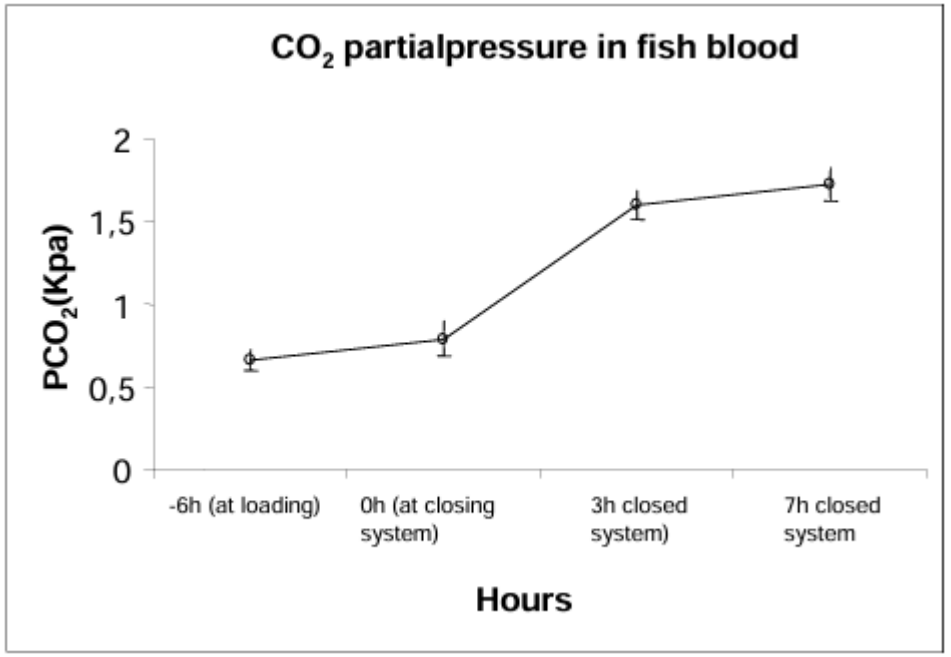


Figure shows TAN, Tot-N, and TOC during 18 h transport of Atlantic salmon (4.1 kg; 118 kg/m^3). Levels increased during the closed period (19:12–07:12) due to no water exchange. No treatment was applied to these parameters.

Forstå de fysiologiske responsene bedre - fortsatt behov

Self inductance CO_2 –sedation during closed transport – discoverd 20 years ago
not studied much further





Source : VKM 07/806 Transportation of fish within a a closed system

The figure on the left show oxygen levels in adult Atlantic salmon blood (kPa) and to the right shows CO2 levels in blood (kPa), sampled with heart puncture pre, and during a transport (7 hour) with closed system. Rosten et al. (unpublished data).

Vannbehandling – fortsatt muligheter for innovasjon og utvikling





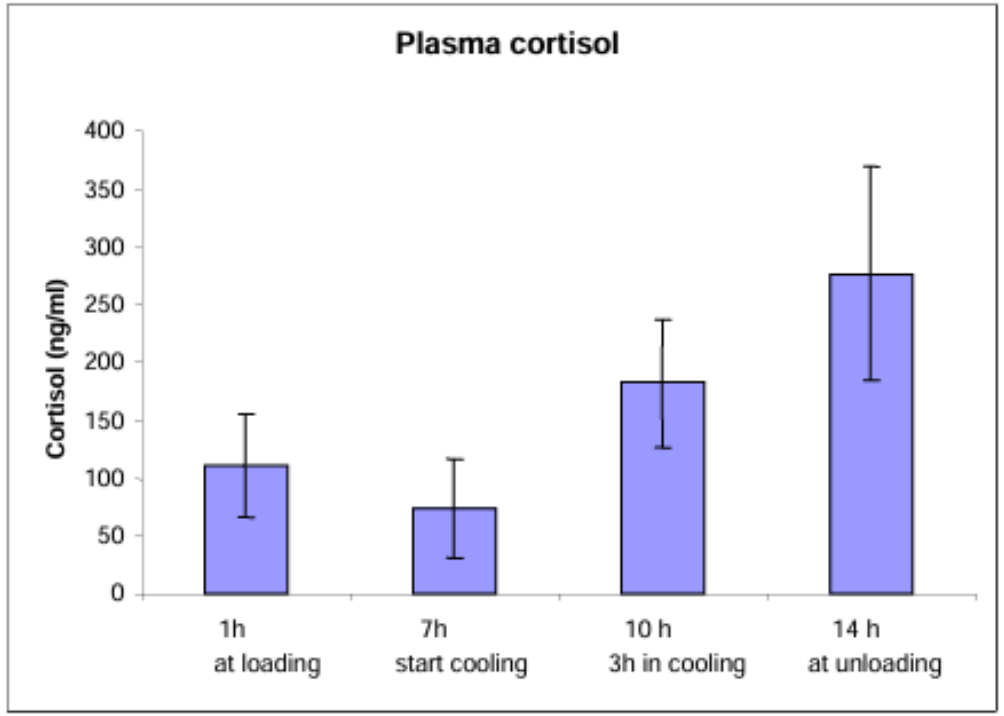
Water treatment unit skimmer (left) and CO2 – degasser on the right onboard one well boat designed for closed transport. Photo: Kai Sørensen (NIVA).

Vannkvalitet - sikre gode data – krav til felles standard?

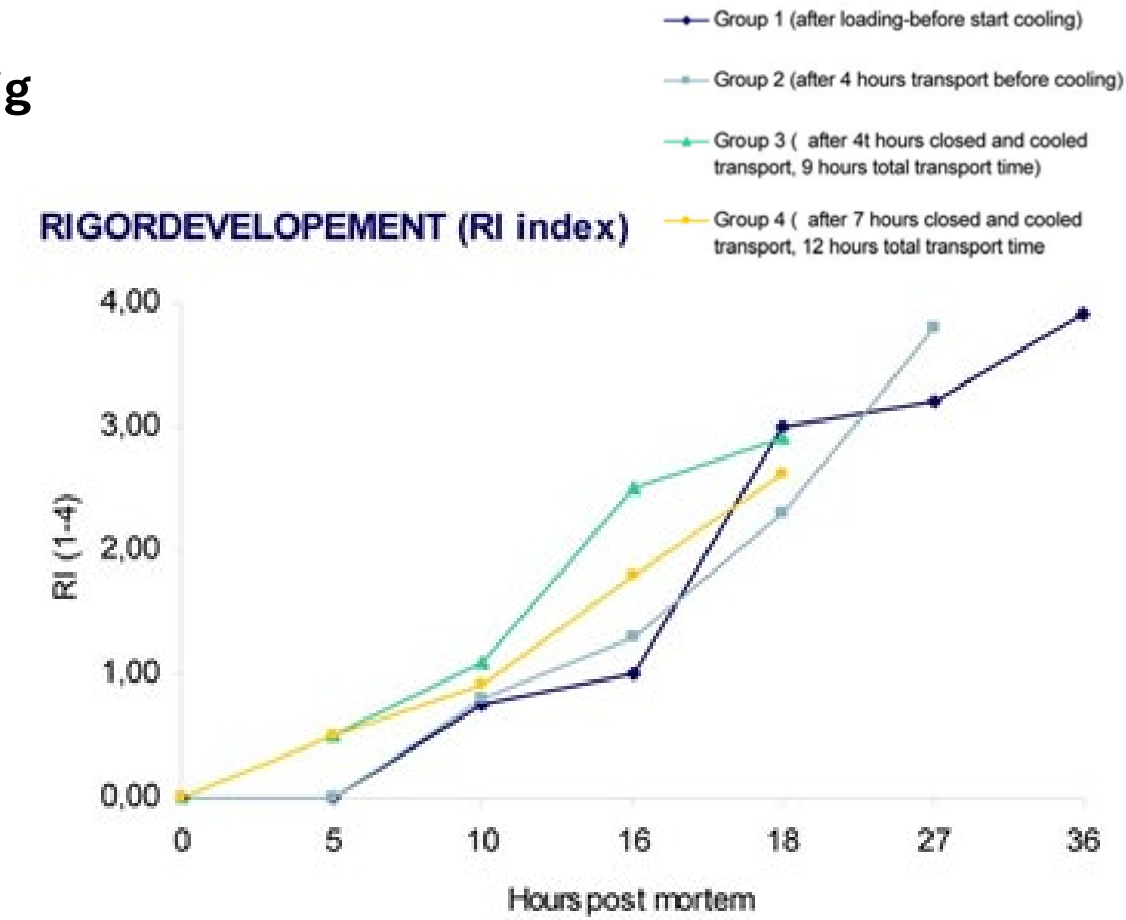


Water sampling from units leading water from two fish wells and outside water into a central monitoration and sampling unit onboard a well boat designed for closed transport.
Photo: Trond Rosten

Stress (og slaktekvalitet) – fortsatt viktig



Cortisol response during 7 h closed transport (4.1 kg; 118 kg/m^3).
Rosten et al., unpublished data; VKM 07/806.



Rigor development after 0, 4, 9 and 12 h transport, including closed and cooled transport. *Rosten et al., unpublished data; VKM 07/806.*

Fisken – den viktigste sensor



Kilde: Bjerknes, V. Vannkvalitet og Smoltproduksjon (2007),

2026 – hvor står vi, og hvor går vi videre?

Hoved budskap : Brønnbåt er kritisk infrastruktur – men kunnskapsgrunnlaget må styrkes i takt med teknologien

KONKLUSJONER

Sterkt samarbeid	Tett samspill mellom oppdrettere og brønnbåtselskaper gir høy gjennomføringsevne og felles vilje til forbedring.
Kritisk for verdikjeden	Brønnbåt er avgjørende for lusehåndtering, smoltlogistikk og slaktefisk.
Avanserte, lite studerte operasjoner	Fisken utsettes for komplekse tekniske og fysiologiske belastninger som er svakere dokumentert enn andre ledd i verdikjeden.
Kompetansen varierer	Brønnbåtnæringen har mange dyktige operatører, men erfaring og forståelse må nå ut til alle.
Fisken er beste sensor	Atferd og fysiologiske tegn må brukes sammen med instrumentdata og hendelseslogg.

KUNNSKAPSBEHOV

Lukkede systemer	Definer beste praksis for vannbehandling og samspillet mellom vannkjemi, fysiologi, biomasse og drift. Støtt utvikling av vannbehandlings systemer med tilhørende prosess styring
Trykk og undertrykk	Dokumenter biologisk effekt og bruk resultatene til å dimensjonere og tilpasse utstyr.
Zn^{2+}, Ca og lus	Avklar eksponering, beskyttende effekt av Ca for Zn og terskler for biologisk påvirkning.
Sjeldne hendelser	Standardiser datafangst. Store verdier står på spill, mens sikker årsaksfastsettelse er vanskelig.
Kompetanse og veiledning	Omsett forskning og operasjonserfaring til felles opplæring, prosedyrer og videreutvikling av Brønnbåtveilederen og utdanningsprogram

ANBEFALING TIL FHF

Prioriter økt forståelse av komplekse sammenhenger (kjemi, biologi og teknologi) , målrettede studier (gjerne eksperimentelle) og formidle standardisert kompetanse – fra erfaring til dokumentert beste praksis.