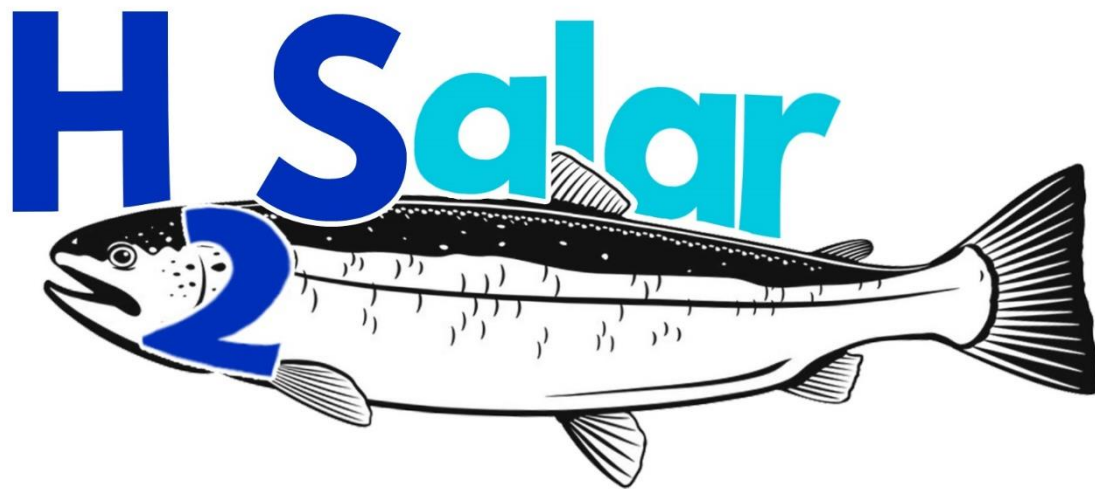


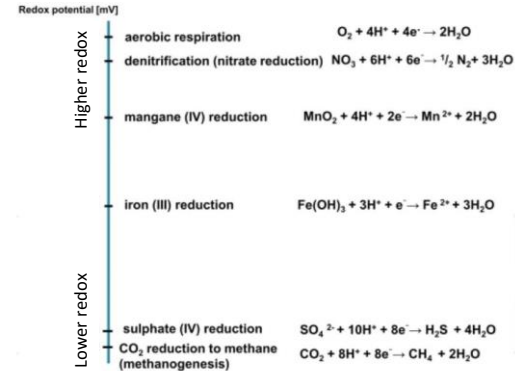


Online overvåking av hydrogensulfid i norske RAS-anlegg

Fernandes, P.M. (paulo.fernandes@niva.no), Steigum, E., Furseth, K., Rojas-Tirado, P., Åtland, Å.
Norsk Institutt for Vannforskning
Thormøhlensgate 53D
5006 Bergen

Hvorfor H₂S?

- Binder seg med jern i mitrokondrielle cytokrom-enzym, hindrer cellulær respirasjon. Kan føre til nekrose, ødem, degenerasjon av ganglier og død
- LC₅₀: 20-50 µg/L
- < 2 µg/L kronisk grense?
- Akutt dødelighet i RAS med 35 µg/L
- **Kronisk påvirkning fra H₂Salar (0, 1, 5 µg/L)** - Lazado *et al.* <https://nofima.no/resultater/folsom-nese-for-giftig-gass/>
- Biofiltrene er potensiell hotspot (Rojas-Tirado *et al.*, 2021)
- Mer NO₃ i vann = mindre H₂S (Schwermer *et al.*, 2010)
 - Nitrat er foretrukket elektronakseptor overfor sulfat
 - Trenger at auto- eller heterotrofe denitrifiserende bakterier er tilstede
 - Nitrat har ingen direkte påvirkning på H₂S (Bergstedt *et al.* 2022)
- Mer SO₄ i vann = mer H₂S (Letelier- Gordo *et al.*, 2020)



Sikora *et al.*, 2017



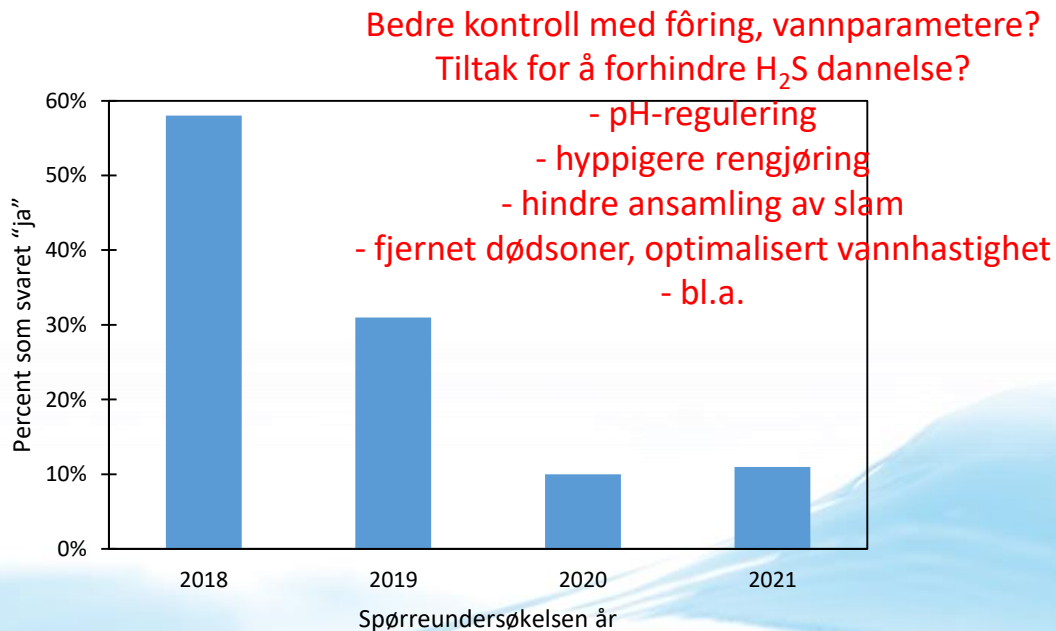
**Svertet slam
Lukter som råtne egg**

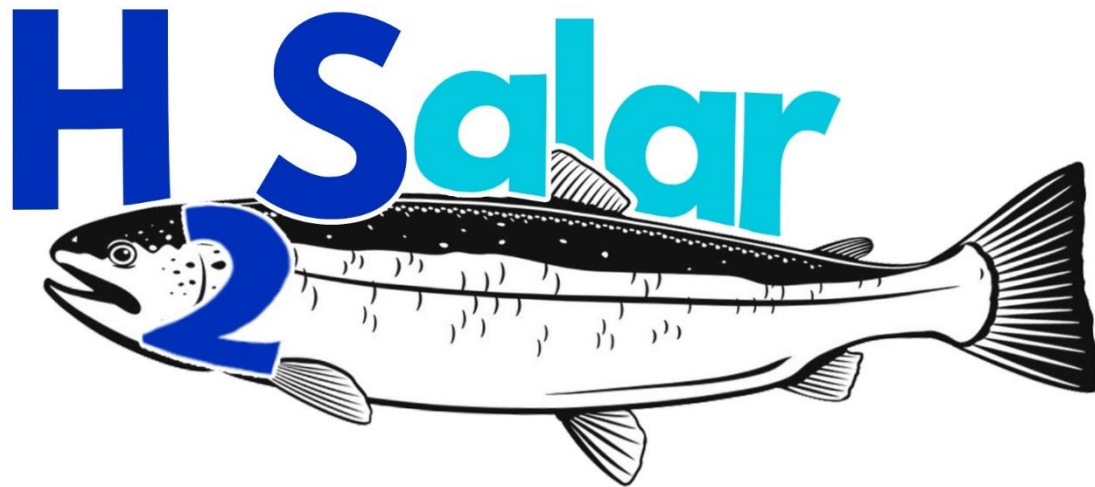
Trender «Fiskehelse rapporten 2021»

Furseth et al. (2022) - <https://www.vetinst.no/rapporter-og-publikasjoner/rapporter/2022/fish-health-report-2021>

Har dere erfaring med H₂S problemer som påvirket velferden negativt?

- 2018: 57% (12/21)
- 2019: 31% (8/26)
- 2020: 10% (3/30)
- 2021: 11% (4/38)





WP1. Survey of H₂S levels and fish welfare in operative RAS farms (Leader: NIVA, Åse Åtland)

Task 1.1 Survey of H₂S in different production sites (Participants: NIVA, DTU, NOFIMA)

Online overvåking av H₂S

- Tre RAS-anlegg, gjennom en produksjonssyklus, eks.: pre-smolt til smolt
 - SYS 1 Q1 2021
 - SYS 2 Q2-Q3 2021
 - SYS 3 Q2 2022
- Online overvåking av H₂S, CO₂, O₂, korrigert for pH, salinitet og temperatur med Aquasense fra SeaRAS (Lien et al., 2022)
 - 4 prøvepunkter per anlegg: etter fiskekar, etter biofilter, etter degasser, inn i degasser
 - Container degassing gasses until equilibrium between gas and liquid phase within the container (gas-phase sensors)
 - Autokalibrering en gang per døgn
- Ekstra vannprøver fra samme prøvepunkter som Aquasense analysert for:
 - pH, ORP, alkalinitet, turbiditet, salinitet
 - KOF, TAN, NO₂⁻, NO₃⁻, TN, PO₄³⁻, TP, SO₄²⁻, H₂S



Fisk/ resultater

SYS 1

Biofilter = FBB
Fiskekar vannstrøm = 1.65 x/t

Parameter	Dag 14	Dag 52	Dag 72
Biomasse (t)	116	200	271 99.9% survival
Fôring (t/d)	1.34	2.90	2.57
Salinitet (ppt)	2.4	2.5	2.4
O ₂ – SeaRAS (mg/L)	11.10	9.79	10.57
CO ₂ – SeaRAS (mg/L)	4.70	12.43	7.26
H ₂ S – SeaRAS (µg/L)	0.273	0.274	0.158
H ₂ S – sulfulla (µg/L)	<8	<8	<8
NO ₃ -N (mg N/L)	15.7	31.2	46.6

SYS 2

Biofilter = MBB
Fiskekar vannstrøm = 0.86 x/t

Parameter	Dag 6	Dag 25	Dag 65
Biomasse (t)	89	150	270 99.6% survival
Fôring (t/d)	0.99	2.29	1.69
Salinitet (ppt)	2.1	2.2	2.7
O ₂ – SeaRAS (mg/L)	11.47	11.33	10.63
CO ₂ – SeaRAS (mg/L)	4.86	6.90	10.46
H ₂ S – SeaRAS (µg/L)	0.143	0.154	0.258
H ₂ S – sulfulla (µg/L)	<8	<8	<8
NO ₃ -N (mg N/L)	6.4	4.6	4.5

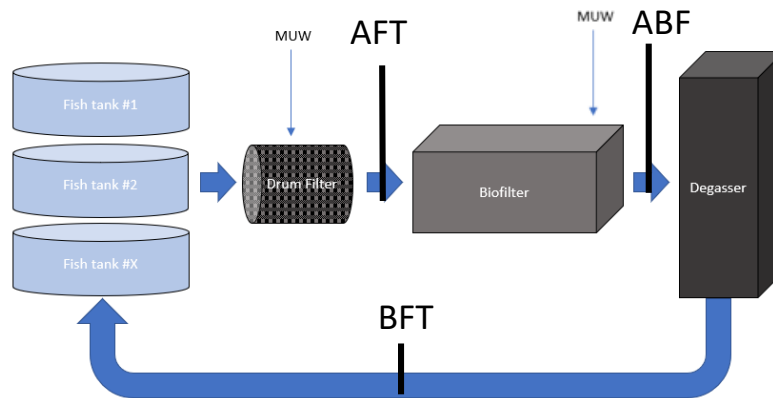
Selv om det er relativt høyt nitrat, var det fortsatt målt hydrogensulfid i lav konsentrasjonen
Nitrat har ingen direkte påvirkning på H₂S (Bergstedt et al. 2022)

Massebalanse

$$M = \Delta([IN] - [OUT]) * Q$$

Positivt: Fjerning/reduksjon

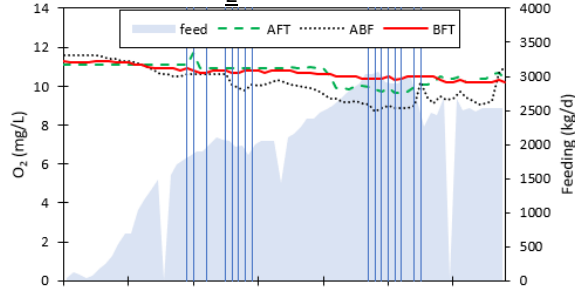
Negativt: Produksjon/økning



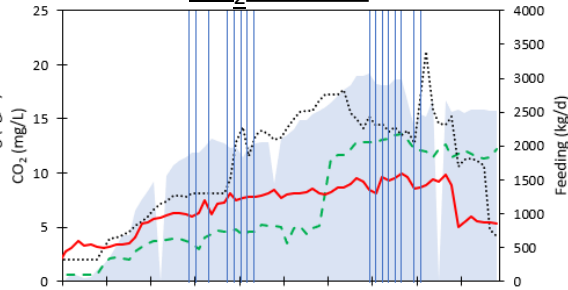
Lokasjon	Acr	Site 1	Site 2
Fiskekar	FT	$= ([BFT] - [AFT]) * Q_s - MUW$	$= ([BFT] - [AFT]) * Q_s$
Biofilter	BF	$= ([AFT] - [ABF]) * Q_s$	$= ([AFT] - [ABF]) * Q_s - MUW$
Degasser	DG	$= ([ABF] - [BFT]) * Q_s$	$= ([ABF] - [BFT]) * Q_s$
Spedevann	MUW	$= ([BFT] - [AFT]) * Q_m$	$= ([AFT] - [ABF]) * Q_m$

SYS 1

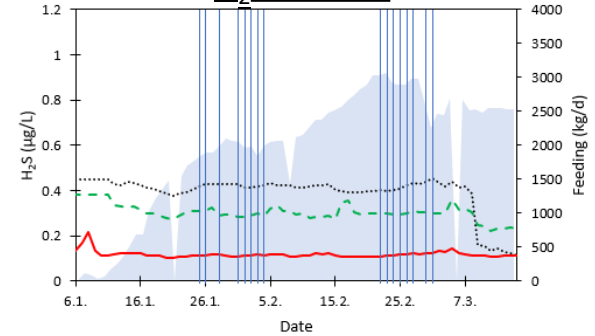
O₂ trender



CO₂ trender



H₂S trender



Dato	20/1	20/2	15/3
Biomass (t)	116	200	271

- O₂ omvendt fra fôring, biomasse
- CO₂ trender fulgte fôring og biomasse økning

- Fiskekar forbrukt O₂, produsert H₂S

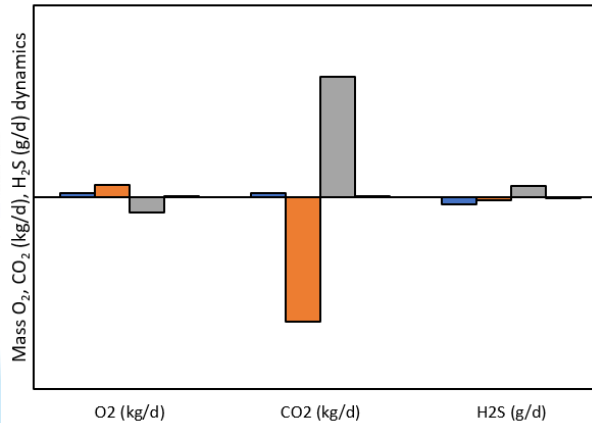
- Lufting i fiskekar balansert O₂

- FBB produsert CO₂, H₂S, forbrukt O₂

- Tydelig økning i CO₂ kort etter FBB spyling

- Degasser fjernet CO₂, H₂S, økte O₂

- Spedevann med liten påvirkning på CO₂, O₂, H₂S



■ FT Positivt: Fjerning/reduksjon

■ BF

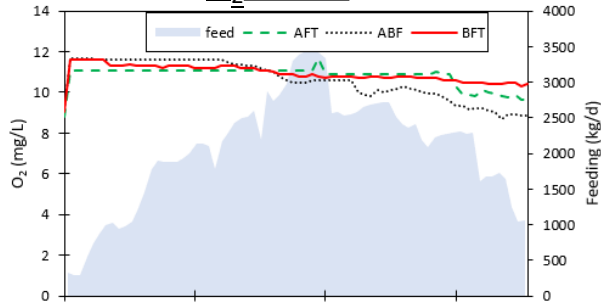
■ DG

■ MUW

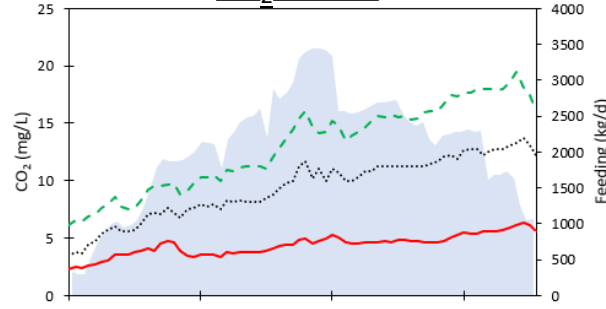
Negativt: Produksjon/økning

SYS2

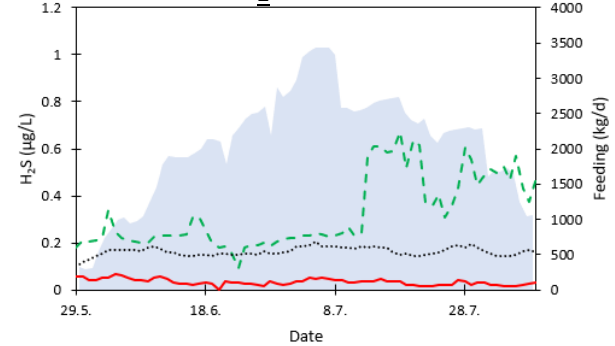
O₂ trends



CO₂ trends

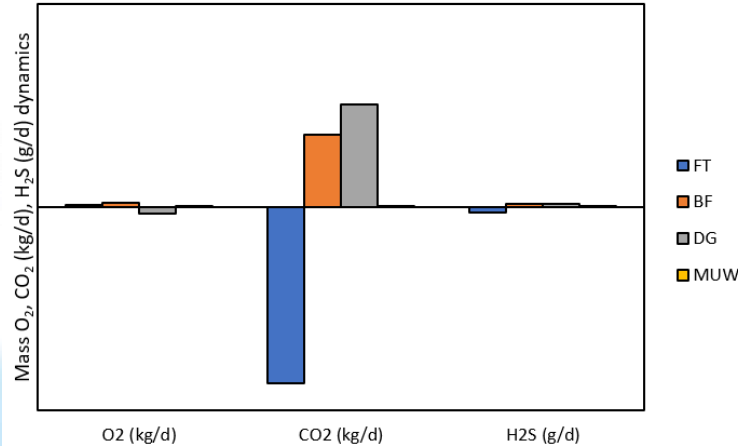


H₂S trends



Dato	4/6	23/6	2/8
Biomass (t)	89	150	270

- O₂ omvendt korrelert med biomasse
- CO₂ fulgte biomasse økning
- Fiskekar økt H₂S, CO₂, lav påvirkning på O₂
- MBB redusert H₂S, O₂, CO₂
 - Utluftning av gasser og nitrifikasjonseffekt
- Degasser fjernet CO₂, H₂S, økt O₂
- Spedevann med lav påvirkning på CO₂, O₂, H₂S
 - Økt CO₂ fjerning pga. lokasjonen (inn MBB) – ikke målt SPV/MUW



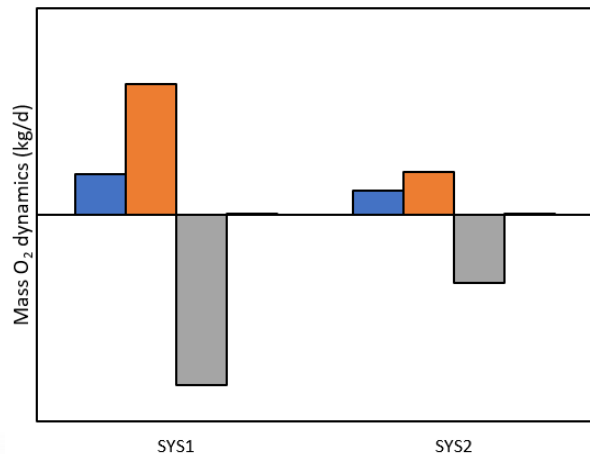
Positivt: Fjerning/reduksjon

Negativt: Produksjon/økning

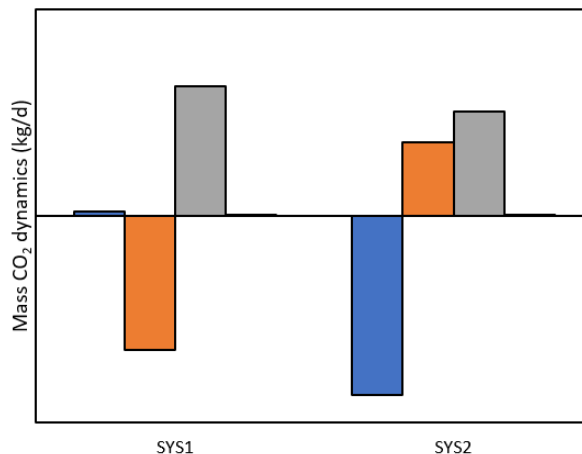
Massebalanse

Positivt: Fjerning/reduksjon
Negativt: Produksjon/økning

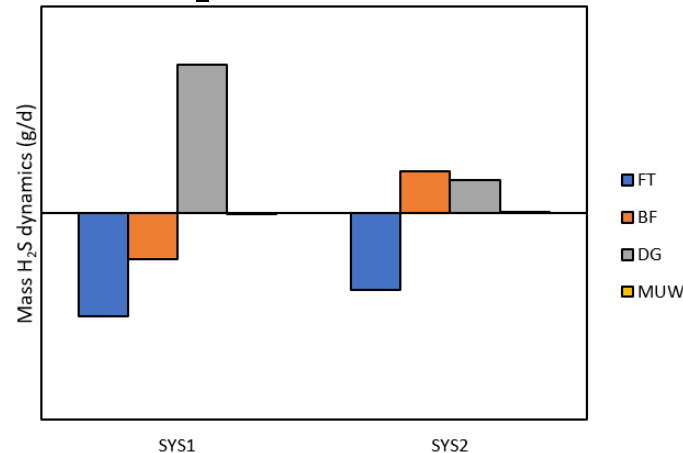
O₂ dynamikk



CO₂ dynamikk



H₂S dynamikk



- NO₃-N hindrer ikke H₂S produksjon i RAS-anlegget
- Vanlig gassfjerning utstyr klarer ikke å ta ut lave nivåer av H₂S
- Tydelig økning i CO₂ produksjon samt O₂ forbruk fra FBB kort etter spyling
- FBB produserer mer CO₂ og H₂S; MBB fjerner mer CO₂ og H₂S
- Lufting, vannhastighet og vannstrøm, hydrodynamikker påvirker gass balansene
 - Lengre oppholdstid i fiskekar (37 min i SYS1 vs. 70 min i SYS2 oppholdstid) øker CO₂ konsentrasjonen

Neste skritt for oss

- Analyserer data fra 3. anlegg (høyere salinitet)
- Inkludere i massebalanse:
 - Korreksjon av gass med avgassing målingspunkter
 - Gassdynamikk/kg fôr
 - Gassdynamikk/kg fisk
 - Gassdynamikk/biofilter A_{media}

Prøver fra andre norske anlegg

- Kommersiell implementasjon av «Sulfulla»- metoden som er beskrevet i Letelier-Gordo et al. (2020)
- 339 prøver analysert mellom 2021-2022
 - Blanding mellom mistenkt H_2S -relatert dødelighet og årlig overvåkningsprogrammer

147 positive for S^{2-}	
68	Slam-relatert
48	Høyt partikkelinnhold
8	Vanninntak problemer
23	Ikke oppgitt opprinnelse

LC_{50} : 20-50 $\mu g/L$
< 2 $\mu g/L$ kronisk grense?
Akutt dødelighet i RAS med 35 $\mu g/L$

114 korrigert for pH, temp, sal	
0-2 $\mu g H_2S/L$	15
2-5 $\mu g H_2S/L$	30
5-20 $\mu g H_2S/L$	58
20-35 $\mu g H_2S/L$	8
35-50 $\mu g H_2S/L$	3
> 50 $\mu g H_2S/L$	0

- Partikkelakkumulering som vanligste årsak til H_2S
- Fører til H_2S -nivåer under LC_{50} terskel

Takk for oppmerksomheten



H2Salar

Prevalence and consequences of hydrogen sulphide in land-based Atlantic salmon production (NFR prosjektnr. 300285)

<https://h2salar.no/>



DTU Aqua
National Institute of Aquatic Resources



AquaSulfat

Sulphate removal by membrane filtration technology to reduce the risk of fish death due to H₂S formation in recirculating aquaculture systems (RAS) (NFR prosjektnr. 296545)



UNIVERSITY of
STIRLING



DTU Aqua
National Institute of Aquatic Resources

Vi takker også for innsats og godt samarbeid med Eldar Lien, Morten Aga, Geir Valsvik, Jan Vidar Nordstrand, Vincent Martinez (SeaRAS)

Litteratur

Bergstedt, J.H., Skov, P.V., Letelier-Gordo, C.O. 2022. Efficacy of H₂O₂ on the removal kinetics of H₂S in saltwater aquaculture systems and the role of O₂ and NO₃. *Water Res.* 222: 118892.

Furseth, K., Steigum, E., Åtland, Å. 2022. Chapter 8.5 Water Quality, pp 154-157. *In* Sommerset, I., Walde, C.S., Jensen, B.B., Wiik-Nielsen, J., Bornø. G., Oliveira, V.H.S., Haukaas, A., Brun, E. (eds.), 2022, Fiskehelserapporten 2021. Veterinærinstituttets rapportserie nr. 2a/2022, 208 pp.

Letelier-Gordo, C.O., Aalto, S.L., Suurnäkki, S., Pedersen, P.B. 2020. Increased sulfate availability in saline waters promotes hydrogen sulfide production in fish organic waste. *Aquacultural Engineering* 89: 102602

Lien, E., Valsvik, G., Nordstrand, J.V., Martinez, V., Rogne, V., Hafsås, O., Queral, S., Fathi, B.S., Aga, M., 2022. The SeaRAS AquaSense™ System: Real-Time Monitoring of H₂S at Sub µg/L Levels in Recirculating Aquaculture Systems (RAS). *Front. Mar. Sci.* 9, 1–8.

Rojas-Tirado, P.A., Aalto, S.L., Åtland, Å., Letelier-Gordo, C.O. 2021. Biofilters are potential hotspots for H₂S production in brackish and marine water RAS. *Aquaculture* 536: 736940

Schwermer, C.U., Ferdelman, T.G., Stief, P., Gieseke, A., Rezakhani, N., van Rijn, J., de Beer, D., Schramm, A. 2010. Effect of nitrate on sulfur transformations in sulfidogenic sludge of a marine aquaculture biofilter. *FEMS Microbiology Ecology* 72: 476-484.

Sikora, A., Detman, A., Chojnacka, A., Blaszczyk, M.K. 2017. Chapter 14: Anaerobic Digestion: I. A common process ensuring energy flow and the circulation of matter in ecosystems, pp 271-301. *In* Jozala, A.F. (eds.), *Fermentation Processes*.