Nofima
Norwegian Institute of Food, Fisheries and Aquaculture Research

Evaluering av ikke-biologiske teknologier for ammoniakkfjerning i RAS-anlegg



René Alvestad
Forsker – Produksjonsbiologi

NonBio

Hvorfor må ammoniakk kontrolleres?

Fôr



Total ammoniakk-nitrogen (TAN)



$$NH_4^+ \rightleftharpoons NH_3 + H^+$$

Dagens løsning: Biologisk nitrifikasjon

Biofiltre for TAN-kontroll

- Nitrifiserende mikroorganismer
- Lav teknisk kompleksitet og lave kostnader
- Forbruker oksygen, alkalitet
- Tidkrevende modnings- og oppstartsperiode
- Sårbare under:
  - Oppstart
  - Sjokkbelastning
  - Varierende vannkvalitet og temperaturer

Kan ikke-biologiske teknologier erstatte eller støtte biofiltrene?



Ikke-biologisk ammoniakkfjerning

?



?

NonBio

1. Kartlegging: kandidatteknologier og næringens behov

- LIteraturgjennomgang
- Intervjuer med teknologileverandører og oppdrettere

2. Mulighets- og gjennomførbarhetsstudie

- Teknisk gjennomførbarhet, skalerbarhet, og virkinger
- CAPEX / OPEX

3. Identifisering av risiko/farer ved drift

- Fiskehelse og -velferd
- Helse, miljø, og sikkerhet (HMS)

Prosjektdeltagere

Forskningspartnere

Nofima

NMBU

TECHNION Israel Institute of Technology

Zurich University of Applied Sciences
zhaw

Industripartnere

apria

NORMEX
Making a clean difference™

SWT

AKVA GROUP™

PURE salmon | Technology

NonBio

Finansiert av:
FHF

Kartlegging av aktuelle teknologier

Gjennomføring:

Litteraturgjennomgang

- 85 vitenskapelige publikasjoner

Intervjuer

- Oppdrettere som bruker RAS
- Teknologileverandører

Teknologiene ble vurdert på:

- renseeffekt og teknologisk modenhet
- skalerbarhet og arealbehov
- energi-, vann- og kjemikalieforbruk
- vannkvalitet, krav og påvirkning
- biprodukter og sikkerhet for fisk
- mulighet for integrasjon i dagens RAS

Oppdretternes perspektiv

*Oppdretterne i utgangspunktet mer interessert i **hybride løsninger** fremfor full erstatning av biofilteret*

- Generelt **tilfreds med biofiltre** under stabil drift
- **Utfordringer** ved **oppstart** og ved plutselige **belastningsendringer**
- **Risiko for teknologisk svikt** ble vurdert som viktigere enn arealbehov
- **Investerings- og driftskostnader** sentrale beslutningskriterier
- Ikke-biologiske teknologier som **støtte- og beredskapsløsninger**
- Interesse for løsninger som kan gi desinfeksjon og fjerne uønsket smak og lukt

Teknologier vurdert under kartleggingen

Metodisk prinsipp	Teknologier
Fysisk	Adsorpsjon og ionebytte, membranfiltrering og luftstripping
Kjemisk	Klorering, ozonering, avansert oksidasjon og struvittutfelling
Elektrokjemisk	Elektrokjemisk oksidasjon, elektrosorpsjon (kapasitiv avionisering, CDI)

Teknologier vurdert under kartleggingen

Metodisk prinsipp	Teknologier
Fysisk	Adsorpsjon, ionebytte, membranfiltrering, luftstripping
Kjemisk	Klorering, ozonering, avansert oksidasjon og struvittutfelling
Elektrokjemisk	Elektrokjemisk oksidasjon, elektrosorpsjon (kapasitiv avionisering, CDI)

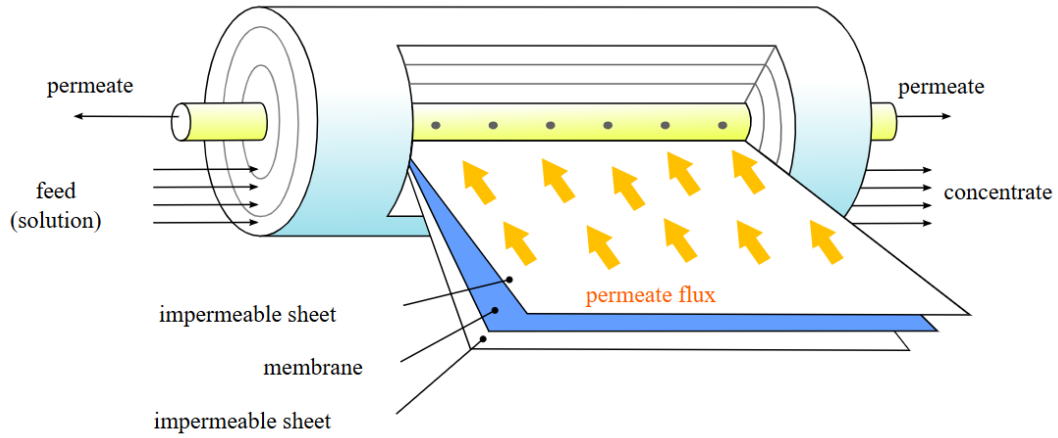
Valgt for videre vurdering:

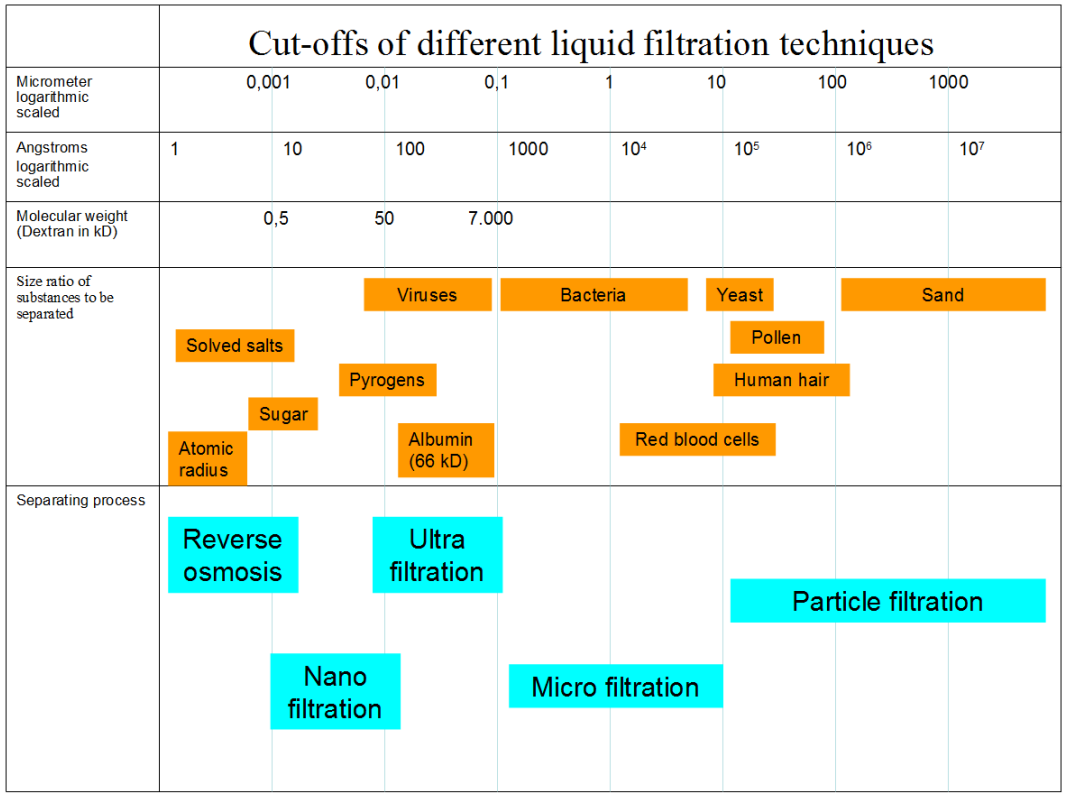
1. Ultrafiltrering + nanofiltrering
2. Indirekte elektrokjemisk oksidasjon (klorbasert)
3. Kapasitiv avionisering
4. Ionebytte med zeolitter

Mulighetsstudie – del 1

Ultrafiltrering + nanofiltrering

- Fysisk, trykkdrevet separasjon
- Permeable membraner





Figurer: Wikimedia Commons

Mulighetsstudie – del 1

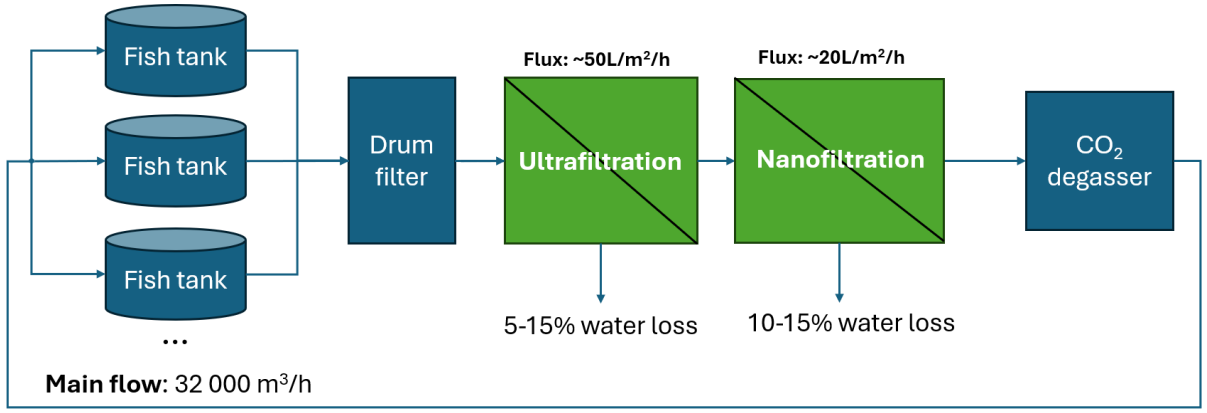
Ultrafiltrering + nanofiltrering

Fordeler:

- Kan gi høy tilbakeholdelse av ammonium
- Modulær og veletablert teknologi i vannbehandling

Ulemper:

- Stor andel av RAS-strømmen må behandles; stort behandlingsvolum
- Membranareal og vanntap
- Høyt energibehov
- Betydelig vanntap
- Demineralisering av systemvann

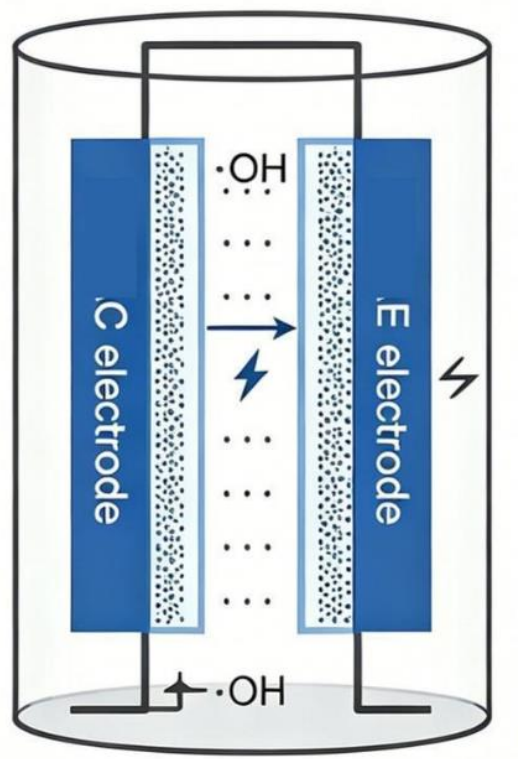


Mulighetsstudie – del 1

Kapasitiv avionisering

Elektrosorpsjon:

- To porøse karbonelektroder
- Svak strømtilsetning
- Ammoniumioner trekkes mot katode
- Motioner trekkes mot anode



Figur: https://doi.org/10.1016/j.desal.2026.120413

Mulighetsstudie – del 1

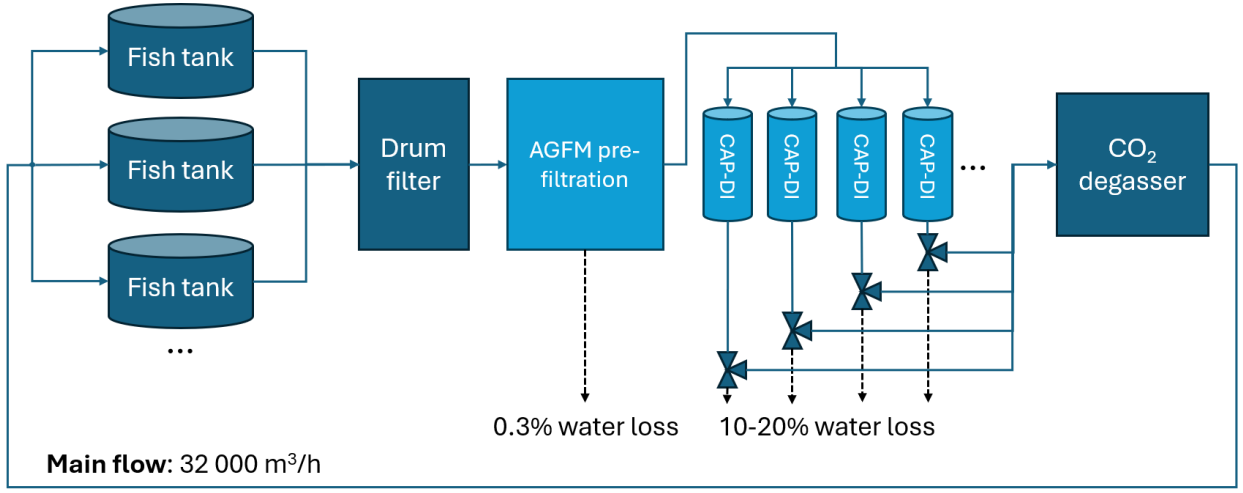
Kapasitiv avionisering

Fordeler

- Ingen kontinuerlig kjemikaliedosering
- Elektrisk regenerering av elektroder
- Potensiale for nitrogengjenvinning
- Utprøvd i forsøksskala RAS

Ulemper

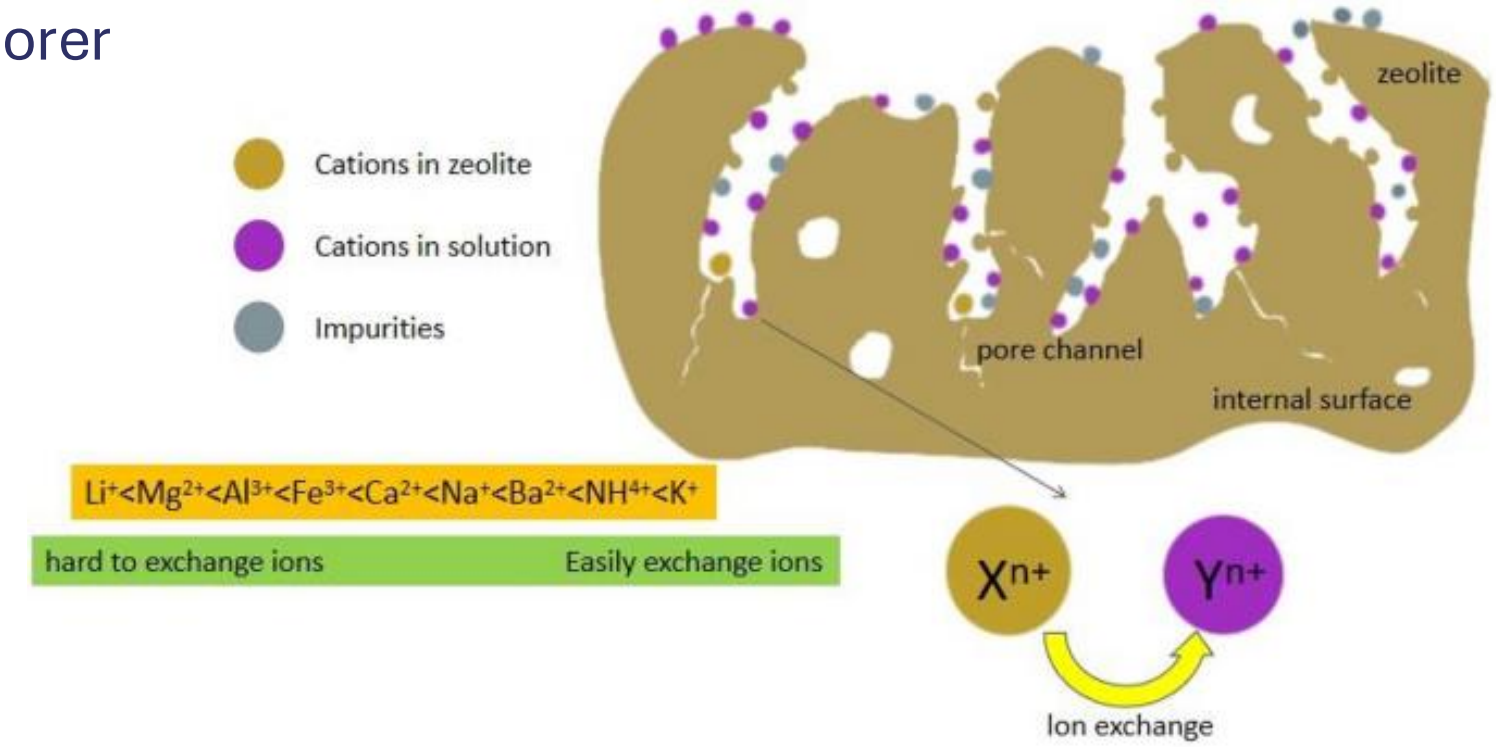
- Kun ferskvann
- Betydelig vanntap
- Begroing på elektroder
- Ikke skalerbart nok



Mulighetsstudie – del 1

Ionebytte (zeolitt)

- Negativt ladet aluminium-silikat-nettverk
- Diffusjon av kationer inn i porer
- Elektrostatisk bytting



Figur: https://doi.org/10.1007/s43832-025-00226-w

Mulighetsstudie – del 1

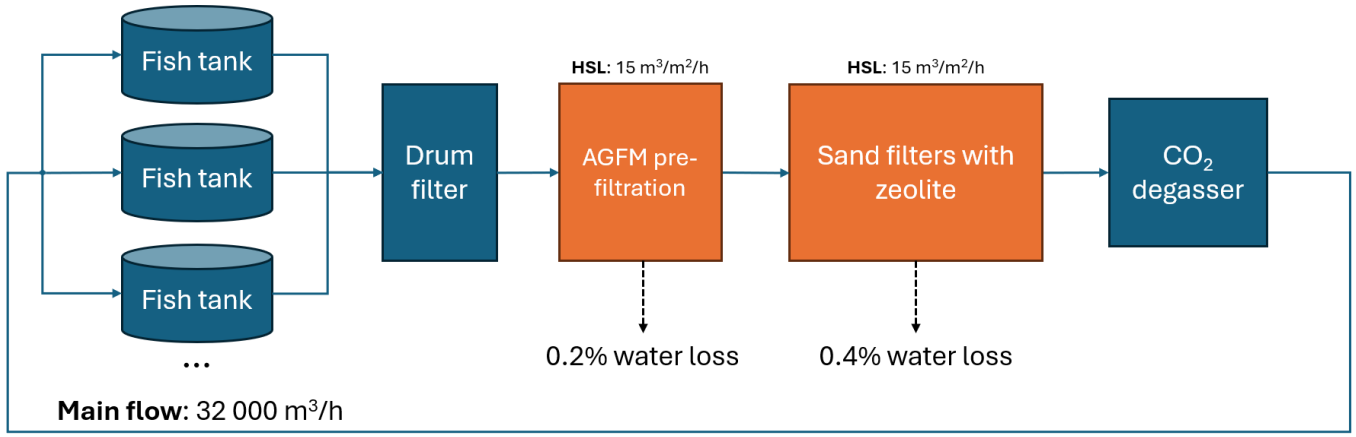
Ionebytte (zeolitt)

Fordeler

- Effektiv binding av ammonium i ferskvann
- Kan startes opp raskt
- Ingen kjemisk dosering

Ulemper

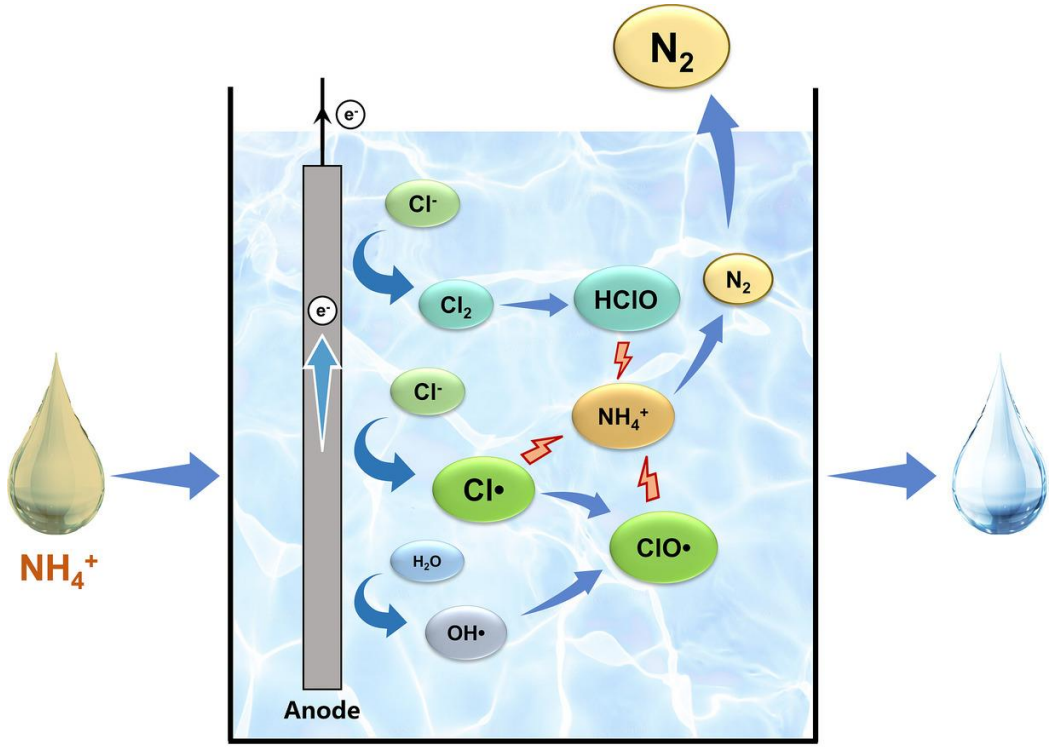
- Umoden teknologi for RAS
- Stort behov for zeolitt
- Potensial for begroing
- Sekundære avfallsstrømmer
- Høyt vannbehov for regenerering



Mulighetsstudie – del 1

Elektrokjemisk oksidasjon

- Indirekte, med elektrogenererte klorbaserte oksidanter
- Reagerer med ammonium og danner nitrogengass



$$2NH_4^+ + 3HClO \rightarrow N_2 + 3H_2O + 5H^+ + 3Cl^-$$

$$2NH_4^+ + 6Cl^{\bullet} \rightarrow N_2 + 6Cl^- + 8H^+$$

$$2NH_4^+ + 2ClO^{\bullet} \rightarrow N_2 + 2H_2O + 2Cl^- + 4H^+$$

Figur: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165169

Mulighetsstudie – del 1

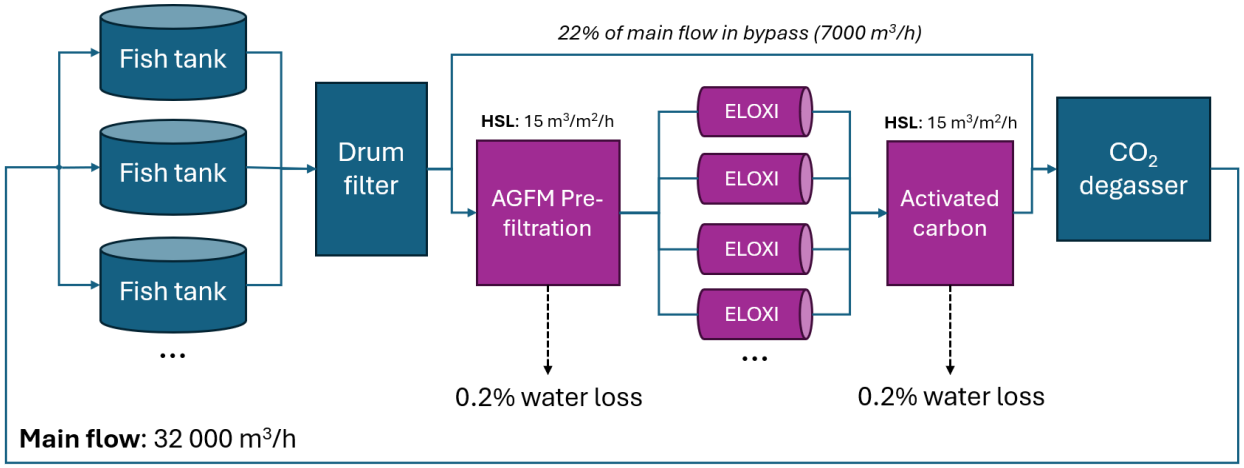
Elektrokjemisk oksidasjon

Fordeler:

- Effektiv destruksjon av TAN
- Lavt vanntap
- Desinfeksjon av vann
- Demonstrert i RAS

Ulemper:

- Behøver minst salinitet => 3
- For- og etterbehandling nødvendig
- Klorerte biprodukter
- Lav effekt ved lav TAN



Samlet teknologivurdering

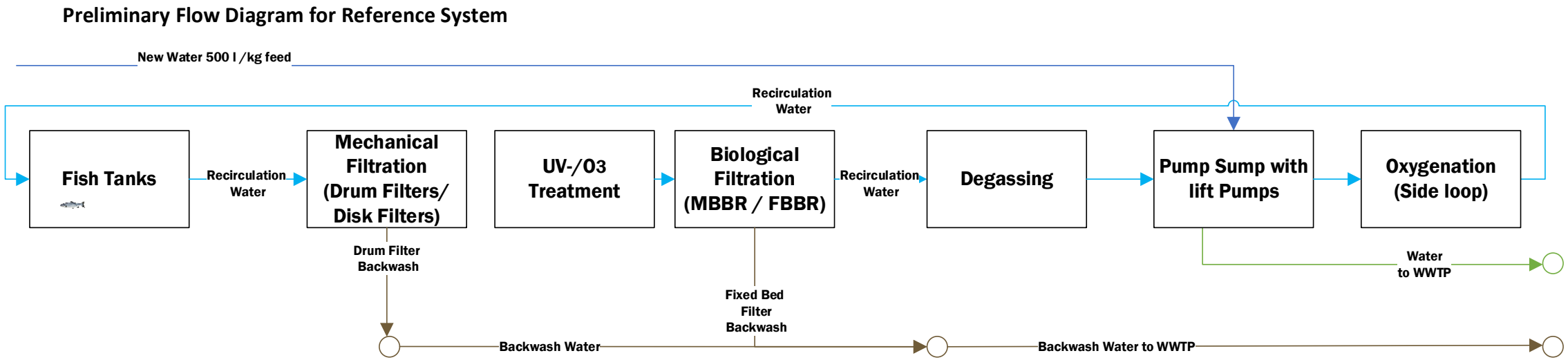
Teknologi	Viktigste styrke	Viktigste begrensning	Resultat
Ultrafiltrering + nanofiltrering (UF/NF)	Høy separasjonseffektivitet	Energi, rejektvann og vannkjemi	Avvist for hovedstrøm
Kapasitiv avionisering (CDI)	Elektrisk og regenererbar prosess	Antall enheter, areal og vanntap	Avvist i dagens utforming
Ionebytte med zeolitt	Effektiv NH_4^+-binding i ferskvann	Regenerering og saltforbruk	Avvist som fullskala løsning
Elektrokjemisk oksidasjon (ELOXI)	Høy TAN-fjerning og destruksjon	Biprodukter, salinitet og forbehandling	Valgt for videre analyse

Elektrokjemisk oksidasjon ga den beste samlede kombinasjonen av renseeffektivitet, arealbehov og vanneffektivitet

Mulighetsstudie – del 2

Sammenligne oppsett med elektrokjemisk oksidasjon og MBBR

- Teknisk ytelsessammenligning
- Kostnadssammenligning



Nofima

NonBio

Rapporter i Q1 2027

Ikke-biologisk ammoniakkfjerning er teknisk mulig, men må vurderes som en del av hele systemet – ikke som en isolert reaktor

- Biofiltrering fortsatt hovedløsningen for kontinuerlig TAN-kontroll i RAS
- Ikke-biologiske metoder har ofte et stort fotavtrykk, høy kompleksitet, og ugunstige biprodukter
- Elektrokjemisk oksidasjon mest lovende
  - valgt for videre teknisk og økonomisk analyse
- Spesifikke anvendelser for ikke-biologiske metoder: *transport, oppstart, sjokkbelastning, og driftsforstyrrelser*

Nofima
Norwegian Institute of Food, Fisheries and Aquaculture Research

NonBio
Ikke-biologisk ammoniakkfjerning

Takk for oppmerksomheten!

Kontakt:

Rene.Alvestad@nofima.no

NonBio on Nofima

NonBio

Finansiert av:
FHF

FHF website