



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2024 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Behandling av avløpsvann fra småskala landbasert fiskeoppdrett – eksempel fra Noraker Gård med rakfiskproduksjon i Valdres

Wastewater treatment from small-scale land-based
fish farming – a study of Noraker Gård with rakfisk
production in Valdres

Eivor Høydahl Fodnes
Vann- og miljøteknikk

Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på mastergraden min i Vann- og miljøteknikk ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Oppgaven ble skrevet våren 2024 og har et omfang på 30 studiepoeng.

Masteroppgaven utgjør en del av grunnlaget for forprosjektet “Naturbasert behandling av avløpsvann fra fiskeoppdrettsanlegg”, som er et samarbeid mellom rakfiskprodusenten Noraker Rakfisk AS, NIBIO og NMBU. Prosjektet har mottatt midler fra FORREGION Innlandet, som har som mål å fremme forskningsbasert innovasjon i regionen. Formålet med prosjektet er å undersøke hvilke rensemetoder, hovedsaklig naturbaserte, som effektivt kan redusere aktuelle forurensningsstoffer fra fiskeoppdrett.

En sentral del av masteroppgaven har vært å gjennomføre feltundersøkelser med prøvetaking av jord og vann på Noraker Gård. Det har vært svært lærerikt å gjennomføre dette selv, og se resultatene i sammenheng med hvordan naturgrunnlaget kan utnyttes til å forbedre vannkvaliteten.

Jeg ønsker å rette en stor takk til veilederne mine; førsteamanuensis Odd-Ivar Lekang, seniorforsker Trond Mæhlum og professor emeritus Petter D. Jenssen, for faglige innspill og engasjement rundt oppgaven. Videre vil jeg takke Nils Noraker for forslag til masteroppgave og all praktisk støtte med prøvetakingen.

Takk til Geir Aksel P. Dahl-Hansen for tilsendt rådata fra Akvaplan-niva, samt Sara Steigedal for innføring i kornfordelingsanalyse, og Charlotte Borge Hunskår for korrekturlesing. Takk til pappa som ble med til Valdres og holdt meg med selskap under feltarbeidet.

Avslutningsvis vil jeg takke familie og venner som har støttet og oppmuntret meg gjennom hele studieløpet. En spesiell takk til Elias for hans tålmodighet og gode humør.

Vestskogen, mai 2024
Eivor Høydahl Fodnes

Sammendrag

Som følge av EUs vanndirektiv med målsetting om god vannkvalitet i alle vassdrag er det et økt fokus på å redusere forurensninger fra alle typer virksomheter, inkludert fiskeoppdrett. Denne oppgaven peker på hvilke viktige forurensninger som bør håndteres ved utslipp til vassdrag fra småskala landbasert fiskeoppdrett, og hvilke renseløsninger som er egnet for å håndtere denne type avløpsvann. Oppgaven tar utgangspunkt i Noraker Gård i Valdres som driver med regnbueoppdrett og videreforedling til rakfisk.

For å kartlegge utslipp og renskapasitet på Noraker Gård ble det tatt vannprøver fra inntaksvannet, underveis i rensenanlegget og ved utslipp, i perioden des. 2023 - feb. 2024. Vannprøvene ble analysert for total nitrogen (Tot-N), ammonium-nitrogen ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitrat-nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$), nitritt-nitrogen ($\text{NO}_2\text{-N}$), total fosfor (Tot-P), fosfat-fosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$), totalt organisk karbon (TOC), kjemisk oksygenforbruk (KOF), biokjemisk oksygenforbruk (BOF5), suspendert stoff (SS) og klorid (Cl). Videre ble det gjennomført en enkel grunnundersøkelse i området for å vurdere hvordan naturgrunnet kan benyttes til videre rensing. Muligheter og begrensninger er basert på en litteraturgjennomgang av nasjonale og internasjonale relevante erfaringer, samt egne prøver og grunnundersøkelser.

Analyse av vannprøvene indikerer at det eksisterende rensenanlegget ikke fungerte som tiltent i den undersøkte perioden, da konsentrasjonen av næringsstoffer og organisk stoff var høyere etter å ha passert rensenanlegget. Alloktion tilførsel fra nærliggende landbruk og skog, utspyling av sedimenter, utlekking av fosfor, og ender som skaper oppvirvling av partikler i sedimenteringsdammene kan være mulige årsaker, men det kreves ytterligere undersøkelser for å fastslå dette. Målingene viste imidlertid at det er generelt lave konsentrasjoner av de ulike parameterne, utenom Tot-N og Tot-P som har moderat til høy tilførsel.

Det er foreslått fem tiltak rettet mot å forbedre eksisterende rensanlegg: Undersøke dybden til sedimentene, forbedre oppholdstiden i våtmarken, etablere et trommelfilter ved den siste oppdrettsdammen, finere maskevidde, og la trommelfiltrene være i bruk hele året. Forbehandling på alle fire dammene kan gi økt partikkelfjerning, hvilket er positivt i seg selv, men også fordelaktig for de påfølgende prosessene. Det er ingen

konkrete råd knyttet til fôr og drift da systemet anses som tilfredsstillende.

Kornfordelingsanalyse av jordprøvene indikerer at de stedlige massene er egnet til infiltrasjon, men konservative beregninger på hydraulisk kapasitet antyder at et infiltrasjonsanlegg i det undersøkte området vil ha begrenset evne til å ta unna alt vannet når vannføringen er på sitt største om sommeren. Det er behov for flere grunnundersøkelser før anlegget kan dimensjoneres og utformes i terrenget.

Summary

Due to the Water Framework Directive's main objective of ensuring good status in all water bodies, there is an increased focus on reducing pollution from all industries, including aquaculture. This thesis examines the environmental impact on water quality from small-scale land-based fish farming, and identifies suitable wastewater treatment systems. The effluent discharge and treatment options at Noraker Gård, a trout farm located in Valdres (Norway), have been evaluated.

Water samples were collected at five different locations throughout the wastewater treatment plant between December 2023 and February 2024. The parameters measured were total nitrogen (Tot-N), ammonium-nitrogen ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitrate-nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$), nitrite-nitrogen ($\text{NO}_2\text{-N}$), total phosphorus (Tot-P), phosphate-phosphorus ($\text{PO}_4\text{-P}$), total organic carbon (TOC), chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD_5), suspended solids (SS) and chloride (Cl). Furthermore, soil samples were collected to assess hydraulic capacity. The possibilities and limitations for further treatment at Noraker Gård are based on a literature review of national and international relevant experiences.

The results indicate that the existing wastewater treatment plant did not operate as intended during the investigated period, with most parameters showing higher concentrations after passing through the treatment process. Possible causes may include allochthonous material from nearby areas, sediment leaching, and disturbance of sediment by ducks. However, concentrations were generally low for most parameters, except for Tot-N and Tot-P, which exhibited moderate to high levels.

Five measures have been proposed to improve existing treatment facilities: Investigate the depth of the sediments, improve the retention time in the wetland, establish a drum filter at the last rearing pond, finer mesh size, and keep the drum filters in operation throughout the year. Pre-treatment in all four ponds can increase particle removal, which is positive in itself, but also beneficial for the subsequent processes. There are no specific recommendations related to feed quality and feed management as the system is considered satisfactory.

Sieve analysis of the soil samples indicates that local masses are suitable for infiltration. Nonetheless, conservative calculations regarding hydraulic capacity imply that further research is needed before the infiltration system can be adequately dimensioned.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	iii
Summary	v
Innhold	vii
Figurer	xii
Tabeller	xiii
Forkortelser	xv
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Formål	2
1.3 Metode	2
1.4 Oppgavens struktur	2
1.5 Avgrensninger	3
2 Teori	4
2.1 Grunnleggende om landbasert fiskeoppdrett	4
2.1.1 Landbasert fiskeoppdrett i Norge	4
2.1.2 Regelverk	5
2.1.3 Typer produksjonsanlegg	6
2.1.4 Fôrfaktor og forbruk	7
2.2 Avløpsvann fra fiskeoppdrett	8
2.2.1 Avløpets sammensetning	8
2.2.2 Fôrspill	9
2.2.3 Fosfor i fôr	9
2.2.4 Konsekvenser ved utslipp til vann og vassdrag	9
2.2.5 utfordringer knyttet til utslippskontroll og miljøovervåking	10
2.3 Avløpsteknologi	11
2.3.1 Mekanisk rensing	11
2.3.2 Biofilter	11
2.3.3 Naturbaserte løsninger	12

2.3.4	Begrensende faktorer ved naturbaserte løsninger	14
2.3.5	Vurderingsgrunnlag for valg av løsning	15
3	Beskrivelse av Noraker Gård	16
3.1	Rakfisk fra Valdres	16
3.2	Totalrevidering av dagens konsesjonsvilkår og kommende krav	16
3.3	Beskrivelse av produksjon og renseanlegg	18
3.4	Avløp fra fiskeslakteriet	20
3.5	Aurdalsfjorden og Begnavassdraget	21
3.6	Tidligere studier	22
4	Metode	24
4.1	Litteratursøk	24
4.2	Feltundersøkelser på Noraker Gård	24
4.2.1	Innhenting av tidligere data	25
4.2.2	Prøvetakingsområdet	25
4.2.3	Vannprøver	26
4.2.4	Kornfordelingsanalyse og beregning av hydraulisk ledningsevne og kapasitet	27
5	Resultater	30
5.1	Prinsipielle måter for å begrense fôr-relatert utslipp	30
5.2	Erfaringer med vannkvalitet og behandling av avløpsvann fra småskala landbasert fiskeoppdrett	31
5.2.1	Nasjonale funn	31
5.2.2	Internasjonale funn	32
5.3	Feltundersøkelser på Noraker Gård	36
5.3.1	Observasjoner gjort ved prøvetaking	36
5.3.2	Vannføring	38
5.3.3	Vannkvalitet og renseeffekt	39
5.3.4	Grunnundersøkelse	44
6	Diskusjon	47
6.1	Hva er utslippet på Noraker Gård med dagens renseløsning?	47
6.2	Hvordan kan Noraker Gård redusere sine utslipp?	50
6.2.1	Tiltak i fôr og drift	50
6.2.2	Tiltak for å øke rensegraden ved eksisterende anlegg	50
6.2.3	Etablere infiltrasjonsanlegg nedstrøms våtmarken	51
6.2.4	Irrigasjon og akvaponi	52
6.3	Feilkilder	52

7 Konklusjon	54
7.1 Viktige funn fra litteratursøk og egne undersøkelser	54
7.2 Videre arbeid	55
Referanser	56
Vedlegg A Analysemetoder	63
Vedlegg B Værdata	64
Vedlegg C Vannføringsmålinger	66
Vedlegg D Tabellverdier for vannkvalitetsundersøkelser	67
Vedlegg E Kornfordelingsdiagrammer	69

Figurer

2.1	Regulering av akvakultur	6
2.2	Metabolisme hos fisk	8
3.1	Oversikt over Noraker Gård	18
3.2	Stor rensedam/våtmark på Noraker Gård	19
3.3	Forenklet flytskjema for renseprosessen på Noraker Gård	20
3.4	Miljømål etter vannforskriften	22
4.1	Prøvetakingsområdet på Noraker Gård	26
4.2	Prinsippskisse for hydraulisk kapasitet	29
5.1	Illustrasjon av kombinert fiskeoppdrett og irrigasjon i landbruket	35
5.2	Is/snø på sedimenteringsdammene og våtmark på Noraker Gård	36
5.3	Observasjon av rustbrun jord under feltarbeid	37
5.4	Vannføring på Noraker Gård i 2013 - 2014	38
5.5	Konsentrasjon av Tot-N og Tot-P i utløpsvannet på Noraker Gård i løpet av produksjonssyklusen 2013 - 2014	39
5.6	Resultater på Noraker Gård: Tot-N, NH ₄ -N og NO ₃ -N	40
5.7	Resultater på Noraker Gård: Tot-P og PO ₄ -P	41
5.8	Resultater på Noraker Gård: TOC og KOF	42
5.9	Resultater på Noraker Gård: Cl	43
5.10	Lengde i regneeksempel	46
5.11	Høydeprofil av lengde i regneeksempel	46
6.1	Forslag til hvordan naturgrunnet på Noraker Gård kan utnyttes ytterligere for å øke lengden på infiltrasjonsfilteret	51
7.1	Forslag til områder for grunnundersøkelser i videre arbeid	55
B.1	Temperatur målt ved Fagernes målestasjon i perioden april 2023 - april 2024	64
B.2	Nedbør målt ved Fagernes målestasjon i perioden april 2023 - april 2024	64

B.3	Nedbør målt ved Fagernes målestasjon i desember 2023	64
B.4	Nedbør målt ved Fagernes målestasjon i januar 2024	65
B.5	Nedbør målt ved Fagernes målestasjon i februar 2024	65
E.1	Kornfordelingsdiagram jordprøve 1.1	69
E.2	Kornfordelingsdiagram jordprøve 1.2	70
E.3	Kornfordelingsdiagram jordprøve 2.1	70
E.4	Kornfordelingsdiagram jordprøve 2.2	71

Tabeller

2.1	Normale konsentrasjoner for avløpsvann fra fiskeoppdrett og innløp til kommunale RA	9
2.2	Naturbaserte løsninger brukt i Norge	12
2.3	Forventet effekt i lukkede infiltrasjonsanlegg	14
3.1	Oversikt over hver enkelt komponentens størrelse i renseanlegget på Noraker Gård	20
5.1	Målinger i felt på Noraker Gård	43
5.2	Biomasse, vann- og fôrforbruk på Noraker Gård ved uttak av vannprøver .	44
5.3	Dybde ved uttak, sorteringsgrad og hydraulisk ledningsevne for jordprøvene fra Noraker Gård	44
5.4	Regneeksempel: Hydraulisk kapasitet og infiltrasjonsevne	45
6.1	Estimert utslippsmengde fra Noraker Gård om vinteren	49
A.1	Analysemetoder	63
C.1	Vannføring på Noraker Gård i 2013-2014	66
D.1	Tot-N og Tot-P gjennom produksjonssyklusen 2013-2014 på Noraker Gård	67
D.2	Vannkvalitetsundersøkelser på Noraker Gård	68

Forkortelser

BOF5	Biokjemisk oksygenforbruk over 5 døgn
Cl	Klorid
FORREGION	Forskningsbasert innovasjon i regionene
KOF	Kjemisk oksygenforbruk
MTF	Model-Trout-Farms
NH3	Ammoniakk
NH4-N	Ammonium-nitrogen
NIBIO	Norsk institutt for bioøkonomi
NIVA	Norsk institutt for vannforskning
NO2-N	Nitritt-nitrogen
NO3-N	Nitrat-nitrogen
pe	Personekvivalent
PO4-P	Fosfat-fosfor
RA	Renseanlegg
RAS	Recirculation Aquaculture System
SS	Suspendert stoff
TAN	Total ammonium nitrogen
TOC	Totalt organisk karbon
Tot-N	Total nitrogen
Tot-P	Total fosfor

1. Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Vann er en av våre viktigste ressurser og en forutsetning for alt liv. For å sikre en mest mulig helhetlig beskyttelse og bærekraftig bruk av vannforekomstene har EUs rammedirektiv for vann (vanndirektivet) satt strenge krav til vannkvalitet i vann og vassdrag (Vannforskriften, 2006). Gjennom EØS-avtalen er Norge forpliktet til å forebygge at miljøtilstanden i norske vannforekomster forverres, og til å forbedre tilstanden der det er mulig (Nerbø, 2022). Direktivet er innført i norsk rett gjennom vannforskriften (Vannforskriften, 2006). For å nå målsettingen om minst god økologisk og god kjemisk tilstand i alle vannforekomster er det et økt fokus på å redusere forurensninger til vassdrag fra alle typer virksomheter (Halleraker, 2023).

I juni 2023 fikk rakfiskprodusentene i Valdres beskjed fra Statsforvalteren om at det er behov for en totalrevidering av dagens utslippstillatelser (Pedersen, 2023). Utslippstillatelsene ble gitt i årene mellom 1989 og 1997, og er mangelfulle sammenlignet med nyere tillatelser etter forurensningsloven. Utslipp fra fiskeoppdrett (nitrogen, fosfor, organisk stoff) kan forårsake eutrofiering, lave oksygenforhold, redusert vannkvalitet og derved negativt påvirke annet liv i vannet (Cole mfl., 2009). I de nye tillatelsene er det forventet skjerpede krav til rensing av avløpet fra oppdrettsdammene, samt nye vilkår tilknyttet utslipp fra slakting og bearbeiding av fisken.

En av rakfiskprodusentene, Noraker Rakfisk AS (heretter kalt Noraker Gård), ligger i Nord-Aurdal kommune og har en konsesjon på 30 tonn regnbueørret. Dagens renseløsning består av trommelfilter, tre sedimenteringsdammer, en stor rensedam/våtmark og flere hundre meter med åpen kanal gjennom skog og dyrket mark. For å søke om rensesjon om oppdrett og utslipp av næringsstoffer må Noraker Gård kartlegge dagens utslipp og renskapasitet.

Utfordringen ved rensing av avløpsvann fra fiskeoppdrett er at det er store vannmengder og lave konsentrasjoner av forurensninger (Lekang og Fjæra, 2002, s.75). Det er kjent at naturbaserte løsninger kan oppnå svært lave utslippskonsentrasjoner på en kostnadseffektiv måte.

fektiv måte (Jenssen mfl., 2006), men det er imidlertid begrenset kunnskap om hvordan naturbaserte løsninger skal utformes for å takle vannmengder av den størrelsesordenen som fiskeoppdrett representerer.

Noraker Gård har god tilgang på areal og ønsker å utnytte naturgrunnet til videre rensing. Denne masteroppgaven utgjør en del av grunnlaget for forprosjektet “Naturbasert behandling av avløpsvann fra fiskeoppdrettsanlegg”. Målet med prosjektet er å undersøke hvilke rensemetoder, hovedsaklig naturbaserte, som effektivt kan redusere aktuelle forurensningsstoffer fra fiskeoppdrett.

1.2 Formål

Formålet med denne masteroppgaven er å undersøke hvilke viktige forurensinger som bør håndteres ved utslipp til vassdrag fra småskala landbasert fiskeoppdrett, og hvilke renseløsninger som er egnet for å håndtere denne type avløpsvann.

Oppgaven tar utgangspunkt i rensenanlegget på Noraker Gård. For å nå det overordnede målet er arbeidet brutt ned til et sett av mer konkrete deloppgaver:

- Hva er utslipp før og etter rensing med dagens løsning?
- Hvilke tiltak kan gjøres i drift og fôring?
- Hva er aktuelle kompakte rensemetoder for god forbehandling?
- Hvordan kan naturgrunnet benyttes til videre rensing?

1.3 Metode

For å besvare problemstillingen er det gjort en litteraturgjennomgang av nasjonale og internasjonale relevante erfaringer med vannkvalitet og behandling av avløpsvann fra småskala landbasert fiskeoppdrett. Det er litteraturgjennomgangen som vil være grunnlaget for å identifisere muligheter og begrensninger på Noraker Gård. For å styrke beskrivelsen av nåværende anlegg og forslag til hvordan naturgrunnet på Noraker Gård kan utnyttes, er det gjennomført egne feltundersøkelser med prøvetaking av jord og vann. Metodene beskrives nærmere i kapittel 4.

1.4 Oppgavens struktur

Oppgaven er organisert med en teoridel (kap. 2) om landbasert fiskeoppdrett, utfordringer i forhold til avløp, og aktuell renseteknologi, etterfulgt av en beskrivelse av rakfiskproduksjon og lokaliteten i Valdres med resipient (kap. 3). Dette er ment som grunnlag

for oppgavens spesifikke undersøkelser i forhold til rensing og utslipp (kap. 4 - 6). Til slutt gis en konklusjon med forslag til videre undersøkelser (kap. 7).

1.5 Avgrensninger

Problemstillingen er bred og favner vidt innenfor både akvakultur og avløpsteknologi. Det har vært nødvendig å gjøre følgende avgrensninger:

- I de fremtidige utslippstillatelsene til rakfiskprodusentene i Valdres er det forventet krav til utslipp fra oppdrettsdammene og fra slakting/bearbeiding av fisken. På grunn av begrenset tid var det nødvendig å avgrense oppgaven til et av anleggene på Noraker Gård, og det ble bestemt å definere deloppgavene utifra avløpet fra oppdrettsanlegget. En beskrivelse av avløpet fra fiskeslakteriet er likevel inkludert i masteroppgaven for å gi et helhetlig bilde av virksomheten. I tillegg til en refleksjon rundt hvilken betydning krav til utslipp fra fiskeslakteriet kan ha for fremtiden til småskala produsenter. Utover dette vil det ikke utdypes ytterligere.
- Vannprøvene ble tatt på vinteren og beskriver eksplisitt utslippet fra Noraker Gård i disse månedene, og ikke et helt år i produksjon.
- Faren for spredning av fiskepatogene bakterier har ikke blitt undersøkt i denne oppgaven.
- I tråd med Noraker Gård sine ønsker om å beholde gjennomstrømningsanlegg og utnytte naturgrunnet er det forsøkt å ta hensyn til dette ved forslag til tiltak. Det er derfor lagt vekt på naturbaserte renseløsninger som er egnet for denne type produksjonsanlegg.
- Det er gjort en overordnet vurdering av fôringssystemet på Noraker Gård.
- Oppgaven er en mulighetsstudie av Noraker Gård. Alle analyser som må ligge til grunn for detaljprosjektering er derfor ikke gjennomført.

2. Teori

I dette kapitlet er grunnleggende litteratur om fiskeoppdrett og avløpsteknologi presentert for å gi et helhetlig bilde av næringen og aktuelle løsninger. Det er nødvendig for å forstå valgene og analysene som er gjort for det påfølgende feltarbeidet på Noraker Gård. Kapitlet består av tre deler, der den første delen tar for seg omfanget av landbasert fiskeoppdrett i Norge, regelverket og sentrale begreper knyttet til fôr og drift. Den andre delen handler om avløpets sammensetning og hvordan utslipp fra fisk påvirker vann og vassdrag negativt. Videre er det en introduksjon til relevante mekaniske, prosesstekniske og naturbaserte løsninger. Det er lagt vekt på å beskrive de rensetekniske prinsippene som ligger til grunn og faktorene som må hensyntas ved utforming og dimensjonering.

2.1 Grunnleggende om landbasert fiskeoppdrett

2.1.1 Landbasert fiskeoppdrett i Norge

Fiskeoppdrett er en av Norges største næringer og omsetter for i overkant av 80 milliarder kroner i året (Misund, 2023a). Det produseres hovedsaklig atlantisk laks, regnbueørret og sjørøye, der store deler av produksjonen foregår i åpne merder i sjøen. Landbasert fiskeoppdrett utgjør en mindre del av næringen. Produksjon av smolt og settefisk har lenge blitt produsert på land, men det er få aktører i Norge som driver matfiskeoppdrett på land i stor skala (Martinussen og Skullerud, 2022). Det er primært småskalaprodusenter som produserer opptil 100 tonn i året (Winther mfl., 2010). Per 31.12.2023 er det registrert totalt 64 lokaliteter på land som driver med matfiskproduksjon av laks, regnbueørret og ørret. Til sammenligning er det 990 lokaliteter i sjø (Fiskeridirektoratet, 2024). Dersom man inkluderer alle stadier (yngel-, settefisk-, stamfisk- og matfiskanlegg) er det totalt ca. 355 registrerte anlegg på land, der de fleste er lokalisert langs kystfylkene (Knutsen og Monsen, 2024).

I takt med økt etterspørsel etter mer fisk for å dekke dagens matbehov, samt utviklingen av ny teknologi, er det stadig flere aktører som planlegger å etablere oppdrettsanlegg

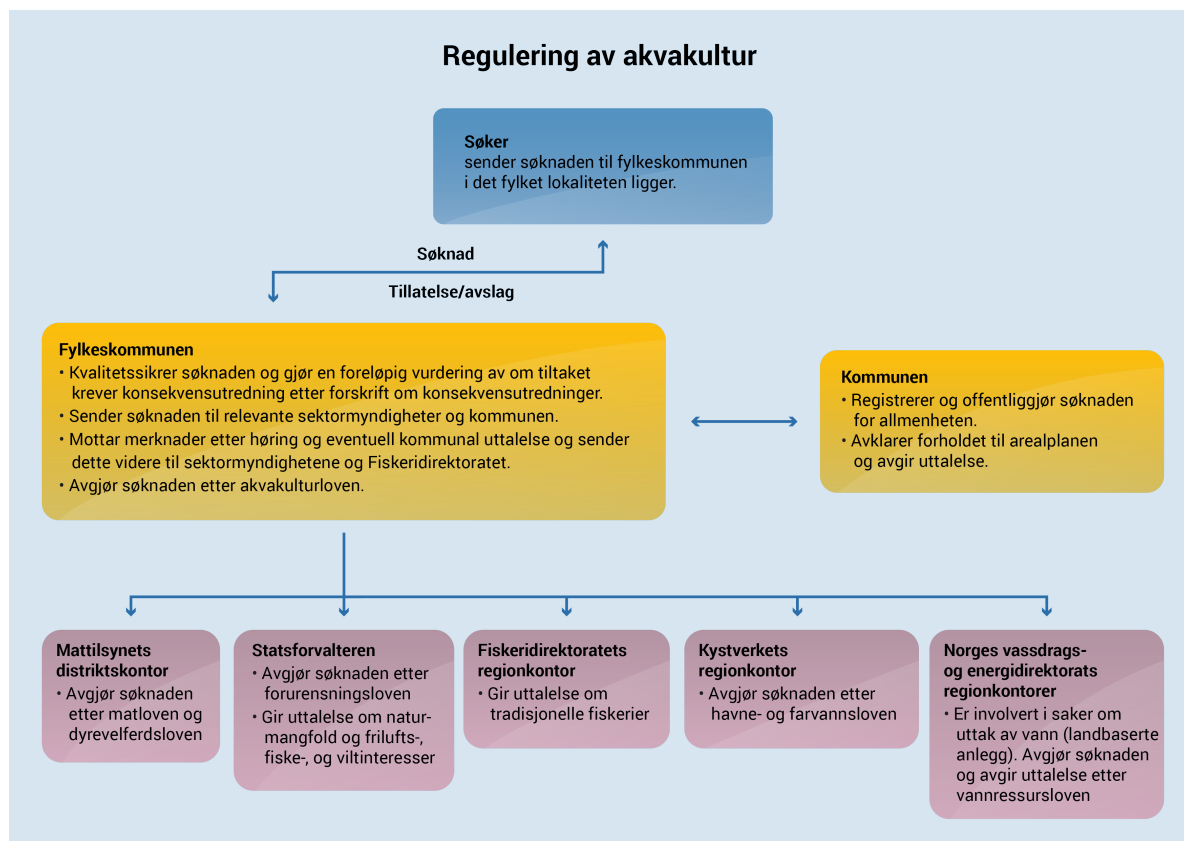
på land (Martinussen og Skullerud, 2022). Mange av disse anleggene baserer seg på gjennomstrømming av sjøvann, hvilket førte til en midlertidig stans i desember 2022 for muligheten til å søke om tillatelser til akvakultur på land. Nærings- og fiskeridepartementet innførte stansen da det var tvil om anlegg på land som har nær tilknytning til sjø skal anses som akvakultur på land, eller i sjø (Nærings- og fiskeridepartementet, 2022). Skillet mellom “på land” og “i sjø” er ikke tydelig nok definert i regelverket, og har stor betydning for hvilke rammebetingelser som gjelder for oppdretterne (Frølich og Paulsen, 2023).

I denne oppgaven er det derfor valgt å ta utgangspunkt i oppdrett av fisk der normalt alt utslipp fra produksjonen går til en ferskvannsresipient. Det er samme definisjon som ble brukt av Winther mfl. (2010). Tall fra deres rapport viser at det i 2010 ble produsert ca. 650 tonn fisk fra innlandsoppdrett fordelt på 20 foretak som produserer mer enn ti tonn per år. Samme år ble det produsert ca. 950 000 tonn i norsk havbruk (Winther mfl., 2010). Den totale rakfiskproduksjon i hele Norge utgjør omtrent 400 tonn i året (Axelsson, 2016).

2.1.2 Regelverk

Regelverket for akvakultur omfatter all produksjonen av vannlevende dyr og planter, og er forankret i mattrygghet, bærekraftig produksjon, og god fiskehelse- og velferd (Akvakulturloven, 2005).

Figur 2.1 er hentet fra Miljødirektoratet sin nettside, og viser en oversikt over gjeldende regelverk og hvem som har tilhørende sektormyndighet. De mest sentrale lovene er akvakulturloven, matloven, dyrevelferdsloven og forurensningsloven, samt vannressursloven for landbaserte anlegg. Det er et felles lovverk som gjelder for alle produsenter, uavhengig av hvor stor skala de driver. Fiskeoppdrett har vært konsesjonsbelagt siden 1973 (Misund, 2023a).



Figur 2.1: Oversikt over de mest sentrale lovene og ansvarlig sektormyndighet.

Kilde: Miljødirektoratet (2024).

2.1.3 Typer produksjonsanlegg

Det finnes hovedsaklig to typer produksjonsanlegg som brukes til fiskeoppdrett på land. Det er gjennomstrømningsanlegg og RAS-anlegg (Recirculation Aquaculture System), og i noen tilfeller en kombinasjon av begge deler (Aarhus mfl., 2011). Som navnene tilsier ligger forskjellen i hvorvidt vannet gjenbrukes i prosessen eller ikke.

Gjennomstrømningsanlegg

I et gjennomstrømningsanlegg er det kontinuerlig utskiftning av vannet. Vann kommer inn til fiskekaret og strømmer gjennom anlegget før det slippes ut i resipienten. På grunn av det store vannbehovet er det avgjørende å ha tilgang på en stabil råvannskilde av god kvalitet (Lomnes mfl., 2019).

Gjennomstrømningsanlegg er relativt enkle å drifte da det er begrenset behandling av inntaks- og avløpsvannet (Aarhus mfl., 2011). Ofte tilføres oksygen i fiskekaret for å sikre at oksygenmetningen er opp mot 100 %, som er anbefalt verdi. Rennende vann har i utgangspunktet denne metningsgraden og det er ønskelig å tilby et tilnærmet naturlig oksygenmiljø (Rosten, 2009; Aarhus mfl., 2011). Utover det er det få andre tiltak som gjøres. Gjennomstrømningsanlegg er mest vanlig for innlandsoppdrett (Winther mfl., 2010).

RAS-anlegg

Innovativ teknologiutvikling har resultert i RAS-anlegg, som ifølge Havforskningsinstituttet kan resirkulere inntil 95 % av vannet (Taranger, G. L., 2023). Det benyttes ulike metoder for mekanisk, kjemisk og biologisk rensing som renser vannet tilstrekkelig til at det kan holdes i omløp (Aarhus mfl., 2011). Fordelen ved denne type anlegg er at det utnytter vannressursene bedre, samtidig som oppdretterne har mer kontroll over vannkvaliteten i fiskekaret (Taranger, G. L., 2023).

Lindroos mfl. (2020) hevder at det er behov for omtrent 500-1000 liter vann per kilo fôr i RAS-anlegg, i motsetning til gjennomstrømningsanlegg der det er behov for opptil 50 000 liter vann per kilo fôr. Ettersom det benyttes mindre råvann per kg fôr vil avløpet fra RAS-anlegg være mer konsentrert (Rosten, 2015).

Sammenlignet med gjennomstrømningsanlegg er RAS-anlegg en kompleks prosess som krever høy kompetanse om de ulike rensetekniske prinsippene. Ved bruk av slik teknologi er det større risiko for driftsstans, hvilket kan føre til akkumulering av giftige stoffer (karbondioksid, hydrogensulfid, ammonium), og i verste fall fiskedød. Ifølge Fiskehelse-rapporten fra 2022 (Sommerset mfl., 2023) skjer de mest alvorlige hendelsene innen vannkvalitet på RAS-anlegg. RAS-anlegg er også forbundet med høyere driftskostnader.

2.1.4 Fôrfaktor og forbruk

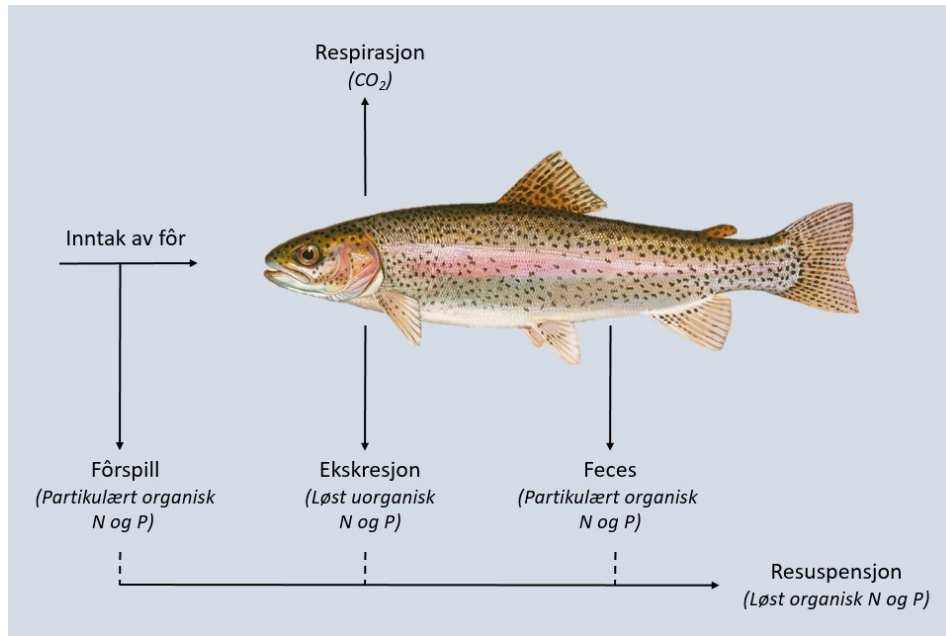
Ifølge Store Norske Leksikon er fôrfaktor definert som: “Et mål på hvor effektivt fisken utnytter fôret i fiskeoppdrett. Fôrfaktor sier hvor mange kilo fôr fisken trenger for å vokse én kilo i vekt” (Misund, 2023b). Vi skiller mellom biologisk og økonomisk fôrfaktor. Den biologiske fôrfaktoren er mengden fôr som er brukt basert på den totale biomassen, inkludert tap (fisk som har dødd, rømt eller blitt vraket før slakting). Mens den økonomiske fôrfaktoren kun tar hensyn til mengden fôr i sammenheng med mengden slaktet fisk (Misund, 2023b).

Selv om lav fôrfaktor kan indikere en mer lønnsom produksjon, er det viktig med tilstrekkelig fôr for å sikre gode vekstvilkår for fisken. For lite fôr over lenger tid kan føre til aggressiv atferd blant fiskene, og det kan oppstå konkurransesituasjoner der fisken skader seg. På den andre siden vil for mye fôr påvirke vannkvaliteten negativt, samtidig som det er en sløsing av midler (Sommerset mfl., 2023).

Fôr er en av de største utgiftene og kan være opptil 60 % av den totale produksjonskostnaden (White, 2013). Det er ikke incitament til å velge bærekraftige fôrleverandører, og mange oppdrettere velger det billigste alternativet.

2.2 Avløpsvann fra fiskeoppdrett

2.2.1 Avløpets sammensetning



Figur 2.2: Fiskens metabolisme og påvirkning på vannkvalitet. Figur utformet etter inspirasjon fra Olsen mfl. (2012). Foto av regnbueørret: Raver (1975).

Vann som kommer ut av fiskekaret er en sammensetning av partikulære og oppløste stoffer som stammer fra fôrspill og produkter fra fiskens metabolisme (figur 2.2). Av det fôret fisken spiser blir noe tatt opp og omdannet til biomasse. Resten blir skilt ut i form av feces, samt karbondioksid (CO₂), fosfat (PO₄) og ammoniakk (NH₃) via gjellene (Amirkolaie, 2011; Rosten, 2015). Feces inneholder organiske forbindelser og næringsstoffer. I tillegg vil det være noe utslipp av legemidler og andre kjemikalier dersom dette benyttes i produksjonen, og eventuelt fiskepatogene sykdommer (Miljødirektoratet, 2024).

Rosten (2015) hevder at omtrent 43 % av nitrogenet fisken spiser i form av protein skilles ut som oppløst nitrogen, mens omtrent 12 % antas å havne i feces som partikkelbundet nitrogen. For fosfor er det omvendt, der det meste vil være bundet i partikler i feces, og kun en liten del i oppløst form. Gjennomsnittlig utslipp fra landbasert fiskeoppdrett i Norden er på 55 kg nitrogen og 8 kg fosfor per tonn fisk produsert (Solbakken mfl., 2008).

Normale verdier for avløpsvann fra fiskeoppdrett er presentert i tabell 2.1. Sammenliknet med innløpsvann til kommunale rensanlegg (RA) er konsentrasjonen av de ulike forurensningene omtrent 1/10.

Tabell 2.1: Normale konsentrasjoner for avløpsvann fra fiskeoppdrett og innløp til kommunale rensesanlegg (RA).

Parameter	Avløp fra fiskeoppdrett [mg/l]	Innløp til kommunale RA [mg/l]
SS	5 - 50	320
KOF	0,2 - 17	440
Tot-N	0,5 - 5	25
Tot-P	0,5 - 1,5	7

Kilde: Lekang og Fjæra (2002)

2.2.2 Fôrspill

Mengden protein, fett og fosfor i fôret er avgjørende for utslipp av organisk stoff og næringsstoffer fra oppdrett (Rosten, 2015). Det er kjent at overføring er en unødvendig kilde til forurensing, og i de fleste utslippstillatelser og tekniske rapporter anbefales det å redusere fôrmengden for å unngå fôrspill. Farestveit og Kryvi (1986) hevder at en reduksjon av fôrforbruk er det mest effektive tiltaket for å begrense forurensing fra fiskeoppdrett.

2.2.3 Fosfor i fôr

Opprinnelig ble fiskefôr laget av fiskeolje og -mel, men i nyere tid har flere leverandører erstattet marine ingredienser med plantebaserte råvarer, f.eks. rapsolje (Ørnstrud, R., 2021). Fôret er formet som små pellets som inneholder alle de nødvendige næringsstoffene fisken trenger for å vokse. En av bestanddelene er fosfor som er essensielt for oppbygningen av beinvev, DNA og ATP (Pedersen og Kofstad, 2023).

Fisk har i likhet med planter en begrenset evne til å utnytte fosfor, og det tilsettes ekstra mengder i fôret for å kompensere for denne ulempen. Det er problematisk, da fosfor er en begrenset og ikke-fornybar ressurs. Det er estimert at rundt 70 % av fosforet som tilføres fiskeoppdrettsanlegg går tapt (Hamilton mfl., 2016). Det forskes på å utvikle teknologi som fanger opp og resirkulerer fosfor fra fiskeoppdrettsanlegg, samtidig som det etterlyses sterkere politisk styring av næringen.

2.2.4 Konsekvenser ved utslipp til vann og vassdrag

Noen av de største utfordringene relatert til fiskeoppdrett er eutrofiering av vann og vassdrag, spredning av sykdom og rømning av fisk (Stevik, 2000). Landbaserte anlegg kan designes til å være 100 % rømningsfrie, hvilket begrenser oppdrettsfisk fra å spre sykdom og gener til villfisk. Dette er et mer utbredt problem i åpne merdsystemer der oppdrettsfisk og villfisk i mer eller mindre grad lever i samme miljø (Colquhoun mfl.,

2018). Det er imidlertid umulig å gardere seg fullstendig på grunn av flomsituasjoner, oversvømmelser og inntrengning av skadedyr som fugl og mink (Winther mfl., 2010).

Med tanke på vannkvalitet er utslipp av nitrogen, fosfor og karbon mest bekymringsfullt (Chatvijitkul mfl., 2018). Nitrogen og fosfor bidrar til å øke planktonalgenes primærproduksjon. Det fører ofte til masseoppblomstringer av enkelte arter, og påfølgende svinn av oksygen ved bunnen der biomassen brytes ned. I ferskvann er det som regel fosfor som er den begrensende faktoren for organisk produksjon (Ødegaard, 2014, s.129). Nedbrytningen av organisk materiale vil redusere vannets oksygeninnhold. Om tilførselen er stor i forhold til vannmassene kan det gi oksygenfrie forhold i sedimentene slik at metan og hydrogensulfid dannes (Ormerod, 1979). Dette er giftig for vannlevende organismer, selv i små konsentrasjoner (Sommerset mfl., 2023).

Hvilken effekt utslippet vil ha på resipienten avhenger av en rekke faktorer, blant annet anleggets plassering, utforming og størrelse, samt fôr, driftspraksis og resipientkapasitet (Caramel mfl., 2014). Med resipientkapasitet menes: “Den belastning en vannforekomst tåler uten uakseptable skader på økosystemet eller effekter som er i strid med målsettingen for området” (Molvær, 1991, s.395).

2.2.5 utfordringer knyttet til utslippskontroll og miljøovervåking

I 2022 gjennomførte NIVA (Hess-Erga mfl., 2022) en kartlegging av hvordan utslippskontroll fra landbaserte akvakulturanlegg i Norge praktiseres i dag, og det ble konkludert med at det ikke er lagt til rette for god utslippskontroll og miljøovervåking. Noe av årsaken til det er mangel på tydelige krav og standardiserte metoder for prøvetaking. Eksempelvis hvilke parametere som skal overvåkes, og hvordan disse skal måles og dokumenteres. Fylkene praktiserer dette ulikt, hvilket gjør det vanskelig for næringen å sammenligne utslipp og aktuelle renseløsninger seg imellom. I tillegg påpekes det at forvaltningen mangler teknisk innsikt til å foreslå konkrete tiltak som kan bidra til å gi økt rensesgrad på anleggene.

I 2024 skal landbasert akvakultur kontrolleres over hele landet (Knutsen og Monsen, 2024). Hensikten med denne landsomfattende tilsynsaksjonen er å undersøke om bransjen følger opp kravene i miljøregelverket og tillatelser i forurensningsloven, samt danne et bedre grunnlag for å vurdere standardiserte vilkår. Sammen vil det tilrettelegge for at forurensningsmyndighetene kan tilby bedre veiledning for bransjen. Det er første gang en tilsynsaksjon av landbasert akvakultur gjennomføres i Norge.

2.3 Avløpsteknologi

2.3.1 Mekanisk rensing

Det er generelt ønskelig å få partikler ut av vannstrømmen så fort som mulig, da næringsstoffer på oppløst form er vanskelig å fjerne (Lekang og Fjæra, 2002, s.83). Metoder for å fjerne partikler fra fiskeoppdrett er blitt beskrevet av Lekang og Fjæra (2002, s.77-80). Det finnes hovedsaklig fire metoder:

Siling

En silduk settes ned i vannstrømmen og holder tilbake partikler ned til en viss størrelse avhengig av maskevidden i silduken. Maskevidde varierer fra anlegg til anlegg, men den dominerende partikkelstørrelsen i antall i avløpsvann fra fiskeoppdrett er mindre enn 40 μm (Lekang og Fjæra, 2002, s.76). For at duken ikke skal gå tett er det vanlig at den roterer og tilbakespyles.

Dybdefilter

Ved dybdefiltrering ledes vannet langsomt gjennom tykke lag av media, for eksempel sand, mens partikler avsettes. Etter hvert vil filteret bli mettet og det kreves tilbakespyling for å unngå gjentetting. I utgangspunktet er dybdefiltrering mindre egnet da det har begrenset evne til å infiltrere store vannmengder.

Sedimentering

I et sedimenteringsbasseng strømmer vannet gradvis gjennom mens partiklene graviterer mot bunnen. Hensikten er at partiklene skal falle mot bunnen slik at det separerte vannet kan tas ut i andre enden. Det forutsetter rolige strømningsforhold slik at bunnslammet ikke virvles opp. Overflateareal og oppholdstid er sentrale faktorer for å sikre god separasjon av vannet.

Sentrifugalfilter

Et sentrifugalfilter bygger på samme prinsipp som sedimentering. I et sentrifugalfilter roterer vannet i en rund beholder, der partiklene slynges ut mot sidene og synker. Det rensede vannet tas ut i midten.

2.3.2 Biofilter

Fisk skiller hovedsaklig ut nitrogen i form av TAN (Total Ammonium Nitrogen), som er summen av NH_3 og NH_4 (Fjellheim mfl., 2016). Bakteriell nedbrytning av fôrspill og

feces bidrar også til økt TAN i vannet. Ved høy pH vil en større andel av TAN foreligge som NH_3 , hvilket er skadelig for fisk. TAN fjernes fra vannet ved at nitrifiserende bakterier som sitter på et biologisk filter omsetter TAN via NO_2 til NO_3 ved tilgang på oksygen.

2.3.3 Naturbaserte løsninger

Det er flere måter å beskrive naturbasert avløpsteknologi. Jenssen mfl. (2006, s.9) definerer det som: “Rensemetoder basert på naturlige økologiske prosesser, med eller uten resirkulering av næringsstoffer til planteproduksjon”. Naturbaserte løsninger er ofte multifunksjonelle i den form at de har praktisk verdi, men kan også tilføre omgivelsene noe mer som er bra for mennesker og natur (Mæhlum, u.å.).

Tabell 2.2: Naturbaserte løsninger brukt i Norge der målet primært er forbedring av vannkvaliteten eller fordrøyning av vann.

Naturbaserte løsninger brukt i Norge
→ Infiltrasjon og sandfiltre
→ Konstruerte dammer (rensedammer, fangdammer, sedimenteringsdammer, retensjonsdammer)
→ Konstruerte våtmarker og regnbed
→ Etablere/bevare vegetasjonssoner og gressdekte vannveier
→ Grønne tak og vegger
→ Restaurering av elveløp
→ Stabilisering av kantsoner langs vassdrag

Kilde: Mæhlum (u.å.)

Oversikt over naturbaserte løsninger brukt i Norge der målet primært er forbedring av vannkvalitet eller fordrøyning av vann er presentert i tabell 2.2. Av de ulike løsningene som er listet opp er det særlig konstruerte dammer/våtmarker og infiltrasjon som kan være aktuelle løsninger for å håndtere avløp fra småskala landbasert fiskeoppdrett. Videre følger en beskrivelse av disse løsningene:

Rensedammer

Det påfølgende avsnittet er basert på personlig kommunikasjon med seniorforsker ved NIBIO, Trond Mæhlum (13.mai 2024).

Rensedammer er utgravde dammer i jord der rensingen foregår ved hjelp av sedimentering av partikler, samt nedbrytningsprosesser i dammen. Normalt er dybden minimum to meter og teoretisk oppholdstid varierer fra noen timer til dager. En gitt partikkelstørrelse har en bestemt synkehastighet, der dybde og oppholdstid bestemmer hvor stor andel av partiklene som sedimenterer. Oksygen tilføres fra lufta via vannoverflaten og innblan-

ding i vannmassene. Slike dammer er typisk aerobe i øvre sjikt og anaerobe/anoksiske i og nær bunnsedimentene. I Innlandet vil slike dammer fryse til vinterstid, og oksygentilgangen begrenses dersom luft ikke aktivt tilføres. Det finnes ulike løsninger for tilførsel av luft som hindrer anaerobe forhold (luftet dam) og som bidrar til blanding av vannmassene. For optimal funksjon må sedimentene fjernes regelmessig for å opprettholde funksjonen og hindre utlekking og slamflukt. Slamflukt av sedimenter kan foregå ved uvanlig høye hydrauliske belastninger. Grunne dammer som er tilplantet blir omtalt som våtmarksrensing.

Våtmarksrensing

Vi skiller vanligvis mellom dammer uten vegetasjon (rense- og sedimenteringsdammer) og våtmarker (kunstig etablerte eller naturlige) som har typisk våtmarksvegetasjon. Med våtmarksvegetasjon menes planter som er tilpasset permanent vannmettede forhold. Når vann strømmer gjennom kan smittestoffer og miljøgifter brytes ned mikrobielt, eller bindes til filtermaterialet eller organisk materiale (Tryland mfl., 2017). Planter bidrar dessuten til å stabilisere sedimenter og ta opp forurensninger.

Våtmarksrensing har et stort potensiale for fjerning av nitrogen, da det foregår en veksling mellom aerobe og anaerobe soner i den vannmettede rotsonen. Plantene har hule røtter som bringer oksygenet ned til rotsonen og siver ut fra røttene (Jenssen mfl., 2006, s.17). Ved aerobe forhold vil ammonium oksideres til nitrat (nitrifikasjon), og ved anaerobe forhold vil nitrat reduseres til nitrogengass og lystgass (denitrifikasjon). Det er derimot ingen dokumenterbar effekt på rensing av organisk materiale og fosfor (Jenssen mfl., 2006, s.45). For å gjenopprette fosforbindingsevnen i en konstruert våtmark kan sand eller lettklinker byttes ut i hele eller deler av anlegget (Jenssen mfl., 2006, s.18).

Infiltrasjon

Infiltrasjonsanlegg utnytter jordas egenskaper til å oppnå kjemisk, mekanisk og biologisk rensing. Biofilm dannes i anlegget og noe lenger ned i løsmassene, og er et viktig område for biologisk nedbrytning på grunn av høy tetthet av mikroorganismer. I hele jordprofilen foregår det prosesser som adsorpsjon, felling, filtrering og mineralisering, som sammen gir ønsket renseseffekt (Rise mfl., 2021). Jo lengre oppholdstid i både umettet og mettet sone, desto bedre tilbakeholdelse av ulike forurensninger og sykdomsfremkallende mikroorganismer (parasitter, bakterier og virus) (VA/Miljø-blad nr.59, 2018). Tabell 2.3 viser at renseseffekten kan være svært høy i lukkede infiltrasjonsanlegg. For fosfor og nitrogen er det imidlertid forbehold om at det er store lokale variasjoner med tanke på forventet renseseffekt.

Tabell 2.3: Forventet renseseffekt og utslippskonsentrasjon i lukkede infiltrasjonsanlegg.

Parameter	Renseeffekt [%]	Konsentrasjon [mg/l]
Tot-P	> 90 *	< 1,0
BOF5	> 90	< 20
Tot-N	30 - 50 *	< 50

* Store lokale variasjoner, avhengig av løsmassenes sammensetning og mektighet

Kilde: VA/Miljø-blad nr.59 (2018)

Det er en generell anbefaling om å etablere lange og smale filtre fremfor korte og brede (Rise mfl., 2021). Vi skiller mellom lukket infiltrasjonsgrøft med infiltrasjonsrør og åpent infiltrasjonsbasseng utgravd i stedlige masser. Åpne anlegg kan ha en vesentlig høyere hydraulisk belastning, og derved være mer egnet for denne type avløpsvann, men det settes imidlertid større krav til løsmassenes sammensetning og mektighet da det er mye vann som skal håndteres. Godt sorterte løsmasser med høy mektighet er optimalt.

Det er fordelaktig å bruke de øvre delene av jorda når det planlegges å bygge infiltrasjonsanlegg da det normalt er denne delen av jordprofilen som har best renssevne (Rise mfl., 2021). I sommerhalvåret vil planter lettere kunne ta opp næringsstoffer (Jenssen mfl., 2006, s.40), i tillegg til at det øvre laget som regel er mer porøst og har bedre oksygentilgang sammenlignet med jordmassene lenger ned. Rustbrun jord, som vanligvis har et høyt innhold av jern- og aluminiumoksider/-hydroksider, har en god evne til å binde fosfor og sykdomsfremkallende organismer (Jenssen mfl., 2006, s.14). Slik jord finnes også normalt nær jordoverflaten.

Åpen kanal med stort fall

Åpen kanal med stort fall, gjerne steinsatt, kan gi økt tilførsel av oksygen i vannet som bidrar til å bryte ned organisk materiale. I en slik kanal vil det foregå rensesprosesser på grunn av dannelsen av biofilm på overflater og nedbrytning i vannmassene, men oppholdstiden vil vanligvis være kort på grunn av store vannmengder.

2.3.4 Begrensede faktorer ved naturbaserte løsninger

Naturbasert avløpsteknologi har flere begrensninger, inkludert:

- **Tilgjengelig areal:** Naturbaserte løsninger er normalt mer arealkrevende enn prosesstekniske metoder.
- **Klima og geografi:** I Norge er det kalde klimaet en utfordring da de biologiske prosessene går saktere, eventuelt i dvale, om vinteren. Tele, frost og større ned-

børshendelser kan påvirke ytelsen. Videre vil geografiske forhold være avgjørende ved etablering, da de stedlige massene må være egnet for den valgte løsningen.

- **Prøvetaking:** Sammenlignet med prosesstekniske anlegg kan det være utfordrende å få tatt representative prøver for utslipp.
- **Biofilm:** Det kan ta noe tid før biofilmen er ferdig utviklet og fungerer optimalt, hvilket betyr at man ikke nødvendigvis får ønsket renseseffekt umiddelbart.

I likhet med andre rensemetoder er det behov for god forbehandling og faglig kompetanse ved planlegging og prosjektering av valgt renseløsning.

2.3.5 Vurderingsgrunnlag for valg av løsning

Det er mye kunnskap om ulike renseløsninger, men ofte sett i sammenheng med andre typer avløp enn det som kommer fra fiskeoppdrett. For eksempel fra behandling av kommunalt avløpsvann eller prosessindustri. Denne teknologien er ikke direkte overførbar (Lekang, 2013). Sammenlignet med for eksempel kommunalt avløpsvann er partiklene i avløpet fra fiskeoppdrett mykere, sedimenterer raskere og former tyngre, mer viskøst slam (Lekang og Fjæra, 2002, s.76).

For å velge riktig renseløsning i forhold til målsetting er det sentralt å vurdere enhver renseløsning i forhold til lokalitet. Norsk Vann rapport 262 (Rise mfl., 2021), *Undersøkelser som grunnlag for valg av avløpsløsning*, beskriver nødvendige undersøkelser og vurderinger som bør ligge til grunn for prosjektering og søknadsbehandling. Bergheim og Brinker (2003) hevder at faktorer som vannføring, utlippskonsentrasjoner, produksjonsanlegg, tilgjengelig areal, investerings- og driftskostnader, og gjeldende miljøforskrifter bør tas i betraktning ved valg av renseløsning for fiskeoppdrett.

3. Beskrivelse av Noraker Gård

Informasjon om historie, produksjon og drift av oppdrettsanlegget på Noraker Gård er hentet inn via samtaler med eier og daglig leder, Nils Noraker.

3.1 Rakfisk fra Valdres

Rakfisk, som er fermentert ørret, er en særnorsk spesialitet som er vanlig å spise til jul (Axelsson, 2016). Det har en karakteristisk smak og lukt som følge av modningsprosessen, hvilket varierer fra 4 til 18 måneder. I 2006 ble Rakfisk fra Valdres godkjent som beskyttet geografisk betegnelse. Bruk av dette varemerket garanterer forbrukeren at rakfisken er klekket, oppdrettet og foredlet i Valdres (Forskrift om Rakfisk fra Valdres, 2006). I tillegg arrangeres Norsk Rakfiskfestival årlig den første helga i november, som er et viktig samlingspunkt for de som er interessert i rakfisk og annen norsk matkultur.

Det er totalt seks rakfiskprodusenter i Valdres: Haadem Fisk AS, Hande Fiskeoppdrett, Lofoss Fisk AS, Noraker Rakfisk AS, Røn Gard DA og Trøsvik Gård. De har til sammen et konsesjonsvolum på 112 tonn regnbueørret per år. To av virksomhetene driver også med settefiskproduksjon (Dahl-Hansen og Dahl-Hansen, 2015).

3.2 Totalrevidering av dagens konsesjonsvilkår og kommende krav

Dagens utslippstillatelser for rakfiskprodusentene i Valdres er mangelfulle sammenlignet med nyere tillatelser etter forurensningsloven (Pedersen, 2023). Forurensningsloven (1983, § 1) har som formål å verne miljøet mot forurensning og redusere eksisterende forurensning. Utslipp skal ikke føre til helseskade eller påvirke naturens evne til produksjon og selvfornyelse.

I de nye tillatelsene er det forventet strengere krav til dokumentasjon av utslipp av næringsstoffer og organisk materiale, samt økt rensegrad på oppdrettsanleggene. I tillegg til oppdaterte vilkår tilknyttet maksimalt fôrforbruk og fôrfaktor. På grunn av fare

for spredning av fiske sykdommer vil vilkår for rensing av avløpsvannet fra slakting og bearbeiding av fisken sannsynligvis også bli inkludert i de nye tillatelsene.

I Noraker sitt tilfelle ble gjeldende konsesjonsvilkår gitt i 1989, og har mer eller mindre vært uendret siden, med unntak av en endring i 2005 som tillot virksomheten å ha fisk på vinteren også. Det ble ikke pålagt ekstra rensetrinn til tross for overvintring av fisk.

I konsesjonsvilkårene er det en kombinasjon av krav og anbefalinger til rensing. Det er for eksempel krav om installasjon av filtreringsutstyr med maskevidde på maksimalt 100 μm og sedimenteringsdam med en oppholdstid på minst 2 timer, mens det er en anbefaling om lavest mulig fôrforbruk. Det er anbefalt med maksimalt 1.2 kg fortørrstoff per kg produsert matfisk.

Oppfordring om RAS-anlegg

Per dags dato har alle rakfiskprodusentene i Valdres gjennomstrømningsanlegg. Flere av dem ønsker å øke produksjonen og starte med egen settefiskproduksjon, men har fått signaler fra Statsforvalteren om at det ikke lar seg gjøre på grunn av tilstanden i vassdraget. I brevet fra Statsforvalteren oppfordres det til samarbeid om å etablere større og mer moderne RAS-anlegg, da det kan gi bedre kontroll over utslipp (Pedersen, 2023). Noraker selv ønsker ikke RAS-anlegg, men å rense vannet mest mulig etter at det har passert gjennomstrømningsanlegget.

Årsaken til det er sammensatt. Noraker trekker frem lønnsomhet og forutsigbarhet ved gjennomstrømningsanlegg som sentrale faktorer, samt hevder at fisken smaker bedre ved bruk av rent fjellvann. Dessuten har de fleste av produsentene drevet med rakfisk i generasjoner og har egne tradisjoner for rakingen.

Noraker har etablert et visningscenter på gården som gir turister og andre interessenter innblikk i produksjonen fra start til slutt. Det er satt opp plakater med bilder og informasjon, samt video som spilles av med jevne mellomrom. Salgslokalet har dessuten store vinduer som gir innsyn inn til produksjonslokalet der fisken bearbeides. Noraker er opptatt av å produsere opplevelser, og frykter at et RAS-anlegg vil føre til at virksomheten mister konseptet sitt. Noraker sine ønsker og ambisjoner for virksomheten er å beholde gjennomstrømningsanlegg, øke konsesjonen og starte med egen settefiskproduksjon.

3.3 Beskrivelse av produksjon og renseanlegg

Noraker Gård er en av de største eiendommene i kommunen, med et areal på 12 000 mål. Figur 3.1 viser et flyfoto av hele anlegget. Som vist på figuren består området hovedsaklig av skog og dyrket mark. Det er en høydeforskjell på 133 meter fra oppdrettsdammene (fire øverste dammene) og ned til resipienten, Aurdalsfjorden.



Figur 3.1: Oversikt over Noraker Gård. E16 kan observeres i det øvre høyre hjørne, like ved de fire oppdrettsdammene. Avløpet fra produksjonsanlegget er tegnet inn som en blå strek. Resipienten er Aurdalsfjorden. Bakgrunnskartet er hentet fra www.norgeskart.no.

Produksjonssyklusen på Noraker Gård er omtrent 11 måneder; de får inn settefisk i mai, og all fisken blir slaktet innen utgangen av mars/april året etter. Når all fisken er slaktet blir oppdrettsdammene tørrlagt og rengjort før det settes inn ny fisk.

Oppdrettsanlegget er et utendørs gjennomstrømningsanlegg med fire oppdrettsdammer. Oppdrettsdammene er sirkelformede av varierende størrelse, med et totalt damvolum på 2000 m³. Vanntilførselen kommer fra Norakerelva, som ligger like nord for anlegget. I

perioden fra midten av juni til starten av september tilsettes det oksygen, for å sikre høy oksygenmetning når den biologiske aktiviteten er på sitt største. Utover dette gjøres det ingen andre tiltak, utenom å måle temperatur og oksygen daglig. Det er automatisk fôring, men som justeres manuelt etter fiskens appetitt. Anlegget er 100 % rømmingsfritt.

Det er plassert et trommelfilter etter oppdrettsdam 1+2 og 3, med en maskevidde på 100 μm som tar ut de største partiklene. Det er et UNIK 2000-filter levert av UNIK filter-system. Trommelfilteret er ikke i bruk om vinteren på grunn av lavere partikkelinnhold som følge av færre fisk i anlegget etter hvert som de blir slaktet ut.

Videre er det tre sedimenteringsdammer med en dybde på 3-5 meter som ble anlagt for over 20 år siden. Herfra transporteres avløpet via en åpen kanal til en stor rensedam/våtmark, med omtrentlig dybde 4,5 meter, før det til slutt renner ut i Aurdalsfjorden.

Våtmarken kan beskrives som tilvokst med våtmarksvegetasjon langs kanter og flytende vegetasjonsmatter på deler av dammen (figur 3.2). Det var tidligere en myr, men har blitt gravd dypere og utformet med regelmessige svinger for å utnytte potensialet til rensing bedre. Sedimenteringsdammene og våtmarken har et totalt overflateareal på 10 daa. Sentrale størrelser for de ulike komponentene av renseanlegget er vist i tabell 3.1.



Figur 3.2: Stor rensedam/våtmark på Noraker Gård. Bildet er tatt i september 2023. Foto: Trond Mæhlum.

Tabell 3.1: Oversikt over hver enkelt komponentens størrelse i renseanlegget på Noraker Gård. Dette er omtrentlige verdier.

Komponent	Areal [m ²]	Dybde [m]	Estimert volum [m ³]	Antatt teoretisk oppholdstid* [døgn]
Sedimenteringsdammer totalt	2500	3-5	10 000**	1 - 3
Stor rensedam/våtmark	7500	4,5	33 750	4 - 11

* Ved antatt vannføring på 35 l/s om vinteren og 100 l/s om sommeren

** Areal er multiplisert med gjennomsnittlig dybde 4 m

Det er estimert at avløpsvannet ved maksimal vannføring bruker omtrent to døgn fra utløpet av våtmarken og til fjorden. Slammet som samles i bunn av fiskedammene, som inneholder en mengde gunstige næringsstoffer, kommer til nytte ved å brukes som gjødsel i landbruket. Figur 3.3 oppsummerer hele renseprosessen.



Figur 3.3: Forenklet flytskjema for renseprosessen på Noraker Gård. Trommelfil- teret er kun i bruk om sommeren.

3.4 Avløp fra fiskeslakteriet

Avløpsvannet fra fiskeslakteriet passerer fettutskiller, slamavskiller og deretter 200 meter med infiltrasjonsgrøft der infiltrasjonsrør går i grøft med puk som ligger i sand og morenemasser. Etter infiltrasjonsgrøften er det flere hundre meter til nærmeste bekk, og over en kilometer til Aurdalsfjorden. Slakteriet er i drift omtrent 25 dager i året.

Desinfeksjon av avløpsvannet fra slakteriet

Samtidig som beskjeden om totalrevidering av utslippstillatelsen kom, fikk Noraker Gård krav fra Mattilsynet om å desinfisere avløpsvannet fra slakteriet. Det er foreslått først en sil med 1 mm poreåpning, etterfulgt av desinfeksjon i form av maursyre, klor, varmebehandling, kjemisk felling eller UV-bestråling.

Regelverket er tilpasset store slakterier langs kysten som får inn levende fisk fra mange ulike lokaliteter. Det kan stilles spørsmål ved om kravene er tilpasset lokale forhold, da oppdrett og slakting foregår på samme sted på Noraker Gård. Skulle det være påvist fiskesykdom i oppdrettsanlegget så er det avløpsvannet fra oppdrettsanlegget som bærer en smitterisiko, og ikke avløpsvannet fra slakteriet. Det er per i dag ikke krav til desinfeksjon av avløpsvannet fra oppdrettsanlegget.

I lys av de nye kravene vil det være forventet økte utgifter knyttet til investering og drift, hvilket kan bety starten på slutten for mange småskalaprodusenter. Denne problemstillingen generelt er blitt påpekt av Hess-Erga mfl. (2022, s.10):

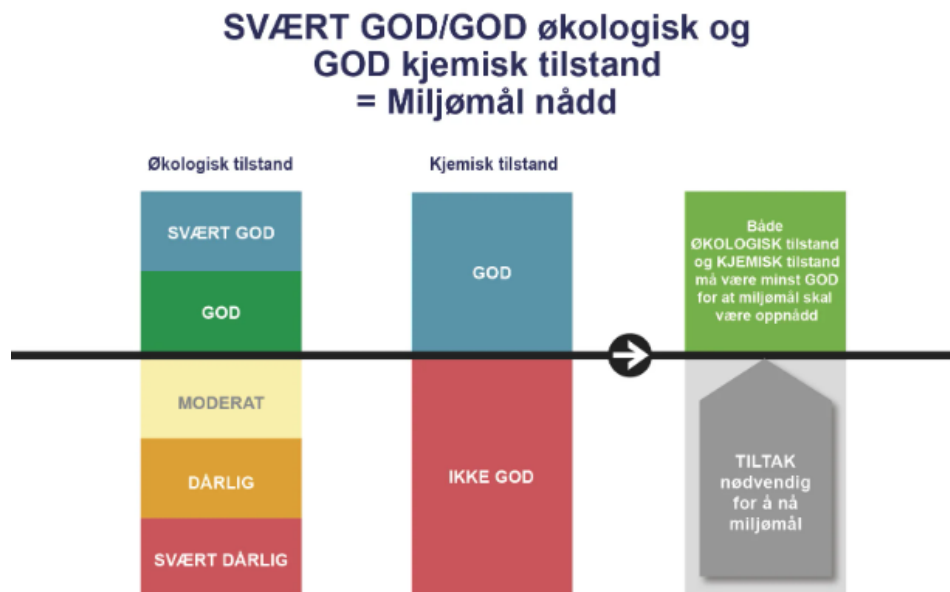
“Etter hvert som kunnskapsgrunnlaget blir bedre, må det regnes med nye krav til miljøovervåkning og miljøtilstand. Det blir da viktig å foreta en avveining av hva som oppnås i forhold til byrdene næringen påføres og hvorvidt nytteeffekten blir tilstrekkelig høy”.

3.5 Aurdalsfjorden og Begnavassdraget

Noraker Gård har utslipp til Aurdalsfjorden, også kalt Dokkafjorden, som er en del av Begnavassdraget. Vassdraget har sitt utspring fra Filefjell og renner gjennom deler av Valdres før det passerer Hønefoss og ut i Tyrifjorden. Store deler av nedbørsfeltet ligger over 800 moh., med det høyeste punktet på 1900 moh. (Våge og Stabell, 2018). Vassdraget er betydelig påvirket av både vannkraftregulering og utslipp (Pedersen, 2023). Dahl-Hansen og Dahl-Hansen (2015) hevder at fiskeoppdrett står for omtrent 60 % av den menneskeskapte fosfortilførselen til vassdraget i de månedene når produksjonen er på sitt største (juni til september).

Alle rakfiskprodusentene i Valdres har utslipp til Begnavassdraget. De forventede kravene til økt rensing i Innlandet kan sees i sammenheng med tilstanden i Oslofjorden, som er sterkt preget av avrenning fra avløp, landbruk og industri. Tiltak i Innlandet spiller en sentral rolle i arbeidet med å redde Oslofjorden, da hele 44 av 46 kommuner i Innlandet ligger i nedbørsfeltet til Oslofjorden (Elstrand og Pålsrud, 2023).

Når det gjelder Aurdalsfjorden spesifikt så er det en kalkfattig, klar innsjø med en svakt sur til nøytral vannkvalitet (Løvik og Brettum, 2009). Ifølge Vann-Nett, Norges vannforvaltningsverktøy, faller innsjøen innunder vanntype L205 (Miljødirektoratet, u.å.[a]). Tilløpsbekker faller innunder R205 (Miljødirektoratet, u.å.[b]). Undersøkelser fra 2009 viser at innsjøen er karakterisert som næringsfattig, og at graden av påvirkning fra tilførsler av næringsstoffer anses som liten til moderat. Ettersom middelveien for Tot-P lå i grenseområdet mellom god og moderat tilstand, ble den økologiske tilstanden kategorisert som moderat (Løvik og Brettum, 2009). I henhold til vanndirektivet (figur 3.4) må det iverksettes tiltak for å forbedre tilstanden i fjorden.



Figur 3.4: Klassifiseringssystem for miljøtilstand i vann. Miljømålet etter vannforskriften er at vannforekomstene skal ha minst god økologisk og god kjemisk tilstand. Kilde: Sangolt, H. (2022).

3.6 Tidligere studier

På oppdrag fra Oppland fylkeskommune (nå Innlandet fylkeskommune), ble det i perioden fra mai 2013 til mai 2014 gjennomført vannkvalitetsundersøkelser ved alle seks rakfiskproduzentene i Valdres (Dahl-Hansen og Dahl-Hansen, 2015). Formålet med måleprogrammet var å undersøke mengden utslipp som fiskeoppdrett bidrar til å forurense Begnavassdraget. Det ble målt for følgende eutrofieringsrelevante parametere: Total fosfor (Tot-P), total nitrogen (Tot-N), totalt organisk karbon (TOC), fosfat (PO₄), ammonium (NH₄), nitrat (NO₃), suspendert stoff (SS) og biokjemisk oksygenforbruk (BOF₅).

Akvaplan-niva, som gjennomførte prøvetakingen, tok totalt 26 målinger på Noraker Gård i løpet av det året. Det ble tatt ukentlige prøver i månedene juni, juli og august da produksjonen var på sitt største. I de resterende månedene ble det tatt 1-2 prøver i måneden. Det ble tatt vannprøver fra inntaket (blandet prøvevann fra inntaksrør og rørgate), samt fra utløpsbekken ved våtmarken. I tillegg til vannføringsmålinger. Ettersom anleggets renseevne ikke ble vurdert i denne sammenhengen er det ikke tatt vannprøver underveis i anlegget.

Beregningene som ble gjort er basert på en produksjon på 30 tonn, og det ble estimert at Noraker Gård slipper ut 189 kg fosfor og 1399 kg nitrogen i løpet av et år (Dahl-Hansen og Dahl-Hansen, 2015). Dette er mengden fosfor og nitrogen som er direkte tilført fra oppdrettsanlegget, konsentrasjoner fra inntaksvannet er altså trukket fra. Til

sammenligning hadde det lokale avløpsrenseanlegget, Aurdal RA med en størrelse på 5900 pe, et utslipp på 35 kg fosfor og 4894 kg nitrogen i 2022 (Miljødirektoratet, 2022). Aurdal RA bruker kjemisk rensing, som er den mest effektive måten å redusere fosfor på (Ødegaard, 2014, s.414). Det kan forklare den svært lave konsentrasjonen av fosfor sammenlignet med Noraker Gård.

Ifølge brevet fra Statsforvalteren så var det lite som kom ut av dette oppdraget som følge av manglende data om produksjon, fiskebiomasse og fôr-forbruk (Pedersen, 2023). Det var derfor vanskelig å beregne mengden utslipp i forhold til den faktiske mengden fisk som ble produsert ved hvert anlegg.

I forbindelse med disse undersøkelsene ble det foreslått to tiltak for å redusere mengden utslipp til resipienten:

- Legge til et trommelfilter etter den siste oppdrettsdammen, som vil gi økt partikkelseparasjon før utslipp til sedimentasjonsdammen. I dag er det kun trommelfilter etter de tre første dammene.
- Anlegge våtmarker med dybde 30-50 cm. Grunne våtmarker vil gi et godt grunnlag for god vekst av ulike planter som kan bidra til å tilbakeholde forurensningene.

Rådata fra undersøkelsen er stilt til rådighet for denne masteroppgaven. Dette beskrives nærmere i avsnitt 4.2.1 i metodedelen.

4. Metode

Metodevalget er basert på formålet som retter seg mot utslipp og rensing av avløpsvann fra småskala landbasert fiskeoppdrett. I dette kapitlet er en beskrivelse av søkestrategien presentert, samt detaljert informasjon om utstyret og de benyttede metodene for feltundersøkelsene på Noraker Gård.

4.1 Litteratursøk

Til å begynne med ble det gjennomført et omfattende søk etter relevante forskningsartikler innen utslipp og behandling av avløpsvann fra småskala landbasert fiskeoppdrett. Hensikten med det var å skaffe informasjon om eksisterende kunnskap og tidligere prosjekter, men også for å danne et grunnlag for forslag til rensetiltak på Noraker Gård. Det ble derfor tatt utgangspunkt i områder med tilsvarende forhold (produksjon, klima, jord og resipient) som Noraker Gård.

Det ble benyttet søkemotorer som Oria, ScienceDirect og Google Scholar, i tillegg til søk i tidsskriftet VANN. Søkene ble gjort på både norsk og engelsk for å finne lignende anlegg i Norge og internasjonalt. Det ble også forsøkt å bruke svenske søkeord, da innlandsoppdrett er et satsningsområde i Sverige.

En kombinasjon av søkeordene “trout farming”, “fish farming”, “small-scale”, “land-based”, “water quality”, “environmental effects”, “effluent”, “wastewater treatment”, “sustainable aquaculture”, “wetland” og “water quality assessment” ble brukt.

4.2 Feltundersøkelser på Noraker Gård

For å kartlegge dagens situasjon på Noraker Gård ble det gjennomført befaringsoppdrettsanlegget, samt alle komponentene i renseanlegget. Det ble tatt vannprøver for å kvantifisere utslippet før, underveis og etter rensing med dagens løsning, samt gjort en enkel grunnundersøkelse i skogområdet sør for våtmarken for å vurdere om de stedlige massene her egner seg til infiltrasjon. Noraker ønsker å utnytte arealet på eiendommen og vurderer å bygge et infiltrasjonsanlegg som et siste trinn i renseprosessen.

Denne oppgaven inngår i underlaget for å vurdere infiltrasjon som renseløsning og hvilke undersøkelser som videre bør foretas før anlegget dimensjoneres og utformes i terrenget.

4.2.1 Innhenting av tidligere data

I rapporten til Akvaplan-niva, presentert i avsnitt 3.6, var kun deler av målingene deres presentert. Middelerverdi av konsentrasjonene for de ulike elementene i inntaksvannet på Noraker Gård ble lagt til som vedlegg, mens data på utløpsvannet og vannføringsmålingene er ikke tidligere blitt fremstilt. Geir Aksel P. Dahl-Hansen, en av forfatterne på rapporten, ble kontaktet og forespurt tilgang på datasettet. Datasettet ble tilsendt og det ble gitt skriftlig samtykke til å bruke målingene i masteroppgaven.

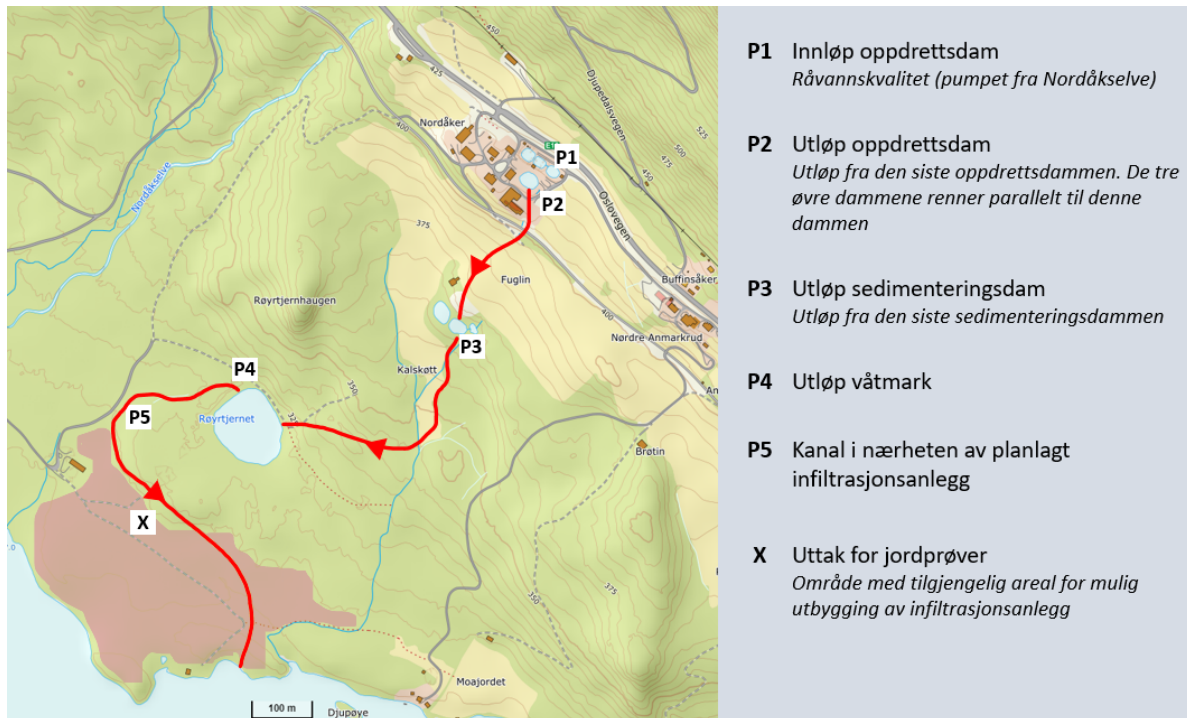
Ettersom dataene ble samlet inn for over ti år siden, ble det stilt spørsmål ved hvorvidt målingene fremdeles var representative for å beskrive nåværende utslipp på Noraker Gård. Ifølge Noraker har det ikke vært noen vesentlige endringer i verken drift eller utbygging i området som tilsier at konsentrasjonen og vannføringen skal ha endret seg siden da. For informasjon om prøvetakingsmetoder, analysemetoder og annen metadata henvises det til rapporten (Dahl-Hansen og Dahl-Hansen, 2015).

4.2.2 Prøvetakingsområdet

Det ble gjennomført totalt tre prøvetakinger på Noraker Gård (14.12.2023, 29.01.2024 og 20.02.2024) for å undersøke vannkvaliteten før, underveis og etter rensesprosessen ved dagens anlegg. Punktene for uttak (figur 4.1) ble valgt på bakgrunn av at det markerer et tydelig skille mellom de ulike delene av rensenanlegget.

I forkant av første prøvetaking ble det gravd to hull med gravemaskin i området der det er planlagt å bygge et infiltrasjonsanlegg. Valg av område ble valgt av veiledere da de var på befaring der i september 2023. Det ble tatt totalt fire jordprøver: Fra det øvre og nedre sjiktet i hvert av de to prøvehullene. For å sikre representative prøver ble det tatt større mengder jord dersom det med det blotte øye så ut til være stor variasjon i kornstørrelsen.

Å observere området inngikk som en naturlig del av arbeidet da den ene deloppgaven er å undersøke hvordan naturgrunnlaget kan benyttes til videre rensing. Det innebar å vurdere forbedringspotensialet til hver enkelt komponent i det eksisterende rensenanlegget, samt se området som en helhet for å undersøke mulighetene som ligger i det uberørte. Faktorer som vannhastighet, strømningsmønster, begroing av planter, helning på terreng og tilgjengelig areal ble notert. Dette er også med tanke på at rensenanlegget ikke er et lukket system, der abiotiske faktorer kan påvirke resultatene.



Figur 4.1: Oversikt over alle prøvepunktene på Noraker Gård. P1-P5 viser uttak for vannprøvene, mens X representerer området der jordprøvene ble hentet ut. Avløpet slik det er foreslått endret gjennom området med infiltrasjon er tegnet inn med rød strek. Det markerte området illustrerer tilgjengelig areal for mulig etablering av infiltrasjonsanlegget. Bakgrunnskartet er hentet fra www.norgeskart.no.

4.2.3 Vannprøver

I samråd med veiledere ble det bestemt å måle for følgende parametere:

Total nitrogen (Tot-N), ammonium-nitrogen (NH₄-N), nitrat-nitrogen (NO₃-N), nitritt-nitrogen (NO₂-N), total fosfor (Tot-P), fosfat-fosfor (PO₄-P), totalt organisk karbon (TOC), kjemisk oksygenforbruk (KOF), biokjemisk oksygenforbruk (BOF₅), suspendert stoff (SS) og klorid (Cl).

Dette er de vanligste parameterne å måle for med tanke på forurensing i overflatevann. Dessuten målte Akvaplan-niva mange av de samme parameterne i 2013 - 2014, hvilket gir et grunnlag for å sammenstille eldre og ny data. Klorid er benyttet som fortynningsgrad siden ionet klorid i liten grad inngår i kjemiske bindinger i vannfasen og i jord.

I felt ble elektrisk ledningsevne og vanntemperatur målt med WTW Multi 3420 med WTW TetraCon 925 sensor, samt oksygenmetning og pH med ORION Thermo Scientific med tilhørende sensorer. Disse målingene er å betrakte som støtteparametere. Elektrisk ledningsevne sier noe om fortynningsgrad, mens pH og oksygen kan gi informasjon om hvorvidt det er reduserende eller oksiderende forhold. Løseligheten av oksygen er avhengig av temperatur. For å undersøke sammenhengen mellom produksjon og utslipp ble biomasse, vann- og fôrforbruk ved prøvetaking registrert samtidig.

Ved hver prøvetaking ble det tatt 2,5 liter prøvemateriale fra hvert punkt. Mengden nødvendig prøvemateriale ble beregnet ved å sjekke ut anbefalt prøvemengde for hver enkelt parameter på ALS Laboratory Group Norway AS sine nettsider (www.alsglobal.no), og summere opp. For å sikre god kvalitet på analysene, spesielt med tanke på at det var forventet svært lave konsentrasjoner, ble det benyttet sterile plastflasker egnet for prøvetaking. Vannprøvene ble sendt til Valdres Lab AS for analyse. Analysen ble gjennomført av deres underleverandør, Alex Stewart International Norge AS avd. Odda med standard analyseteknologi. For oversikt over analysemetoder henvises det til vedlegg [A](#).

4.2.4 Kornfordelingsanalyse og beregning av hydraulisk ledningsevne og kapasitet

De fire jordprøvene ble plassert i tørkeskap i et døgn før analyse. Ettersom det var forventet sorterte masser fra elv/breelv ble det brukt sikter med maskevidde 31.5, 16, 8, 4, 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125 og 0.063 mm. Det var tilsynelatende lite finstoff i jordprøvene, så det ble vurdert som tilstrekkelig å bruke sikting som metode. Alternativt kunne laser blitt brukt for å analysere finfraksjonen (< 2 mm). Siktediameter og %-andel av totalfraksjonen ble plottet inn i en mal for kornfordelingsanalyse levert av NIBIO. Dette ga et kornfordelingsdiagram for hver av de fire jordprøvene.

Kornfordelingsdiagrammet ble videre brukt til å beregne sorteringsgrad, hydraulisk ledningsevne og kapasitet i henhold til beskrivelsen gitt i VA/Miljø-blad nr.59 (2018), *Lukkede infiltrasjonsanlegg for sanitært avløpsvann*:

Sorteringsgrad

Sorteringsgrad sier noe om massenes fordeling. Jordmassene er godt sortert når det er homogen blanding. Ifølge Norsk Vann rapport 262 (Rise mfl., 2021) er det ved sorteringsgrad < 6. Formelen er som følger:

$$S_o = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (4.1)$$

hvor

d_{60} : Kornstørrelsen i skjæringspunktet mellom 60 %-linjen og kornfordelingskurven

d_{10} : Kornstørrelsen i skjæringspunktet mellom 10 %-linjen og kornfordelingskurven

Hazens formel

Dersom jordmassenes sorteringsgrad er mindre enn 5, kan Hazens formel benyttes for å beregne den hydrauliske ledningsevnen. Hydraulisk ledningsevne er et uttrykk for vannets strømningssevne i jordmassene. Enheten blir da meter per døgn:

$$K = (d_{10})^2 \cdot 1000 \quad (4.2)$$

Dersom jordmassenes sorteringsgrad er større enn 5, bør metoden ikke benyttes. Det er da mulig å bruke Gustafsons metode, men siden det er såpass mye usikkerhet knyttet til formelen er det valgt å sette strek her. Årsaken til det er at ved utbygging av et infiltrasjonsanlegg av den størrelsen som er tenkt, vil det uansett være nødvendig å gjennomføre flere utdypende undersøkelser etter at snøen har smeltet. Hensikten med kornfordelingsanalysen er å gi en indikasjon på løsmassenes sammensetning og potensiale.

Hydraulisk kapasitet

Den beregnede K -verdien kan videre brukes til å beregne hydraulisk kapasitet, som sier noe om hvor mye vann jordmassene har kapasitet til å ta imot. Enheten blir da m^3 per døgn:

$$Q = K \cdot M \cdot I \cdot L \quad (4.3)$$

hvor

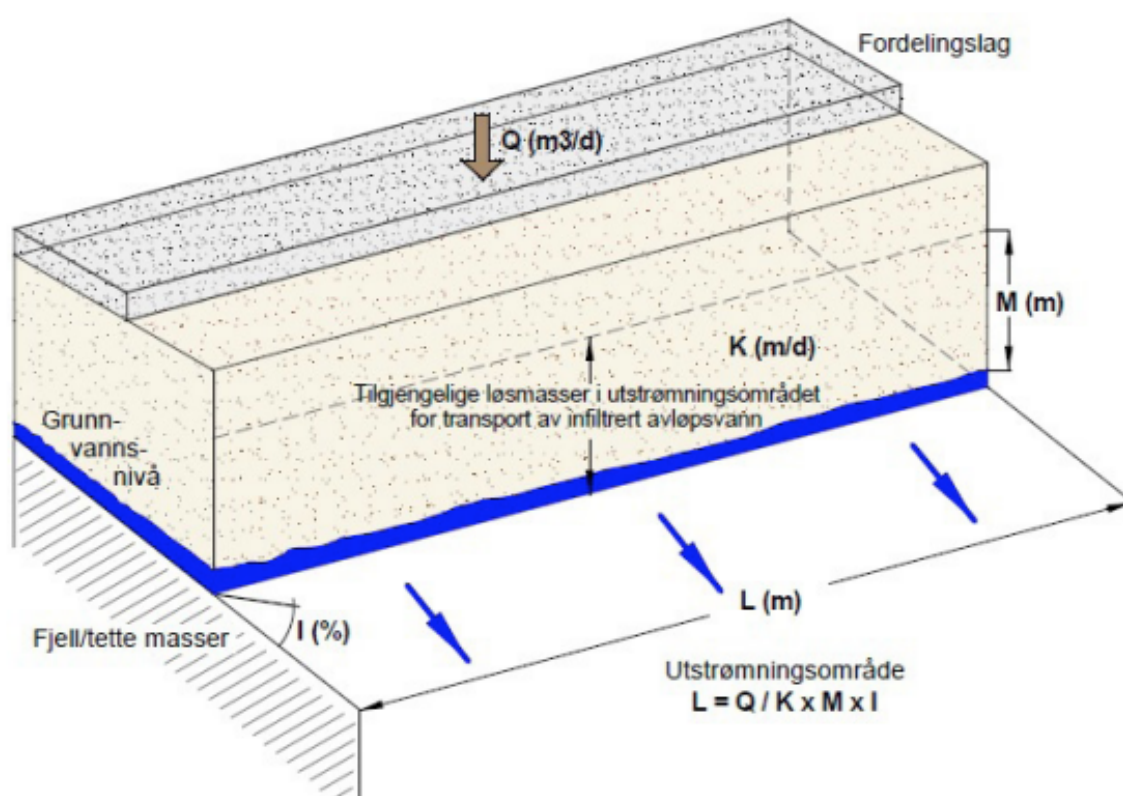
K : Jordmassenes vannledningsevne (m/døgn)

M : Mektighet av det vannførende jordlaget i utstrømningsområdet (m)

I : Gradienten på grunnvannets/terrengets helning (%)

L : Lengde av infiltrasjonsfilterets bredde (m)

Prinsippskisse for hydraulisk kapasitet er vist i figur 4.2.



Figur 4.2: Prinsippskisse for hydraulisk kapasitet. Kilde: VA/Miljø-blad nr.59 (2018).

5. Resultater

5.1 Prinsipielle måter for å begrense fôr-relatert utslipp

Flere studier har vist at utslipp fra fiskeoppdrett kan reduseres gjennom kvalitetsfôr og optimalisert fôringssystem (Amirkolaie, 2011; White, 2013). Det finnes en rekke prinsipielle måter for å begrense fôr-relatert utslipp, og en systematisk litteraturstudie er blitt gjennomført av Sindilariu (2007), sitert i Winther mfl. (2010). De viktigste funnene er oppsummert av Winther mfl. (2010, s.84):

- *“Bruk av fôr med god ernæringsmessig kvalitet og god tilgjengelighet av næringsstoffene i spist fôr.*
- *Bruk av fôr med teknisk god kvalitet, gode sveveegenskaper, lite fôrstøv og lite lekkasje av næringsstoffer til vannet.*
- *Tildeling av riktig mengde fôr i forhold til fiskemengde og appetitt.*
- *God vannhydraulikk i oppdrettskar som muliggjør rask transport av partikler ut fra oppdrettskarene.*
- *Fjerning av partikulært materiale fra avløpet ved hjelp av mikrosil eller annet partikkelfjerningssystem.”*

Disse anbefalingene er i samsvar med Amirkolaie (2011) og White (2013).

På markedet finnes det såkalt RAS-fôr som har fysiske egenskaper som minimerer forurensning. Fôret er utviklet slik at det tåler friksjon som oppstår i fôrings- og transportsystemet, har lav synkehastighet, og gjør feces mer stabil (iLaks, 2019). At avløpet er på partikkelform, fremfor oppløst eller suspendert, betyr at mer partikler vil fanges opp av et mekanisk filter (Dalsgaard og Pedersen, 2011). En studie gjennomført av Brinker mfl. (2005) viste at fôr tilsatt 0,3 % *Guar Gum* (stabilisator) førte til fastere feces, uten å gå på bekostning av fiskens evne til å ta opp makronæringsstoffer.

Sammenlignet med kontrollgruppen var andelen partikler i avløpet etter filtrering med maskevidde 100 μm ved to separate forsøk redusert med henholdsvis 40,2 % og 18,2 %.

5.2 Erfaringer med vannkvalitet og behandling av avløpsvann fra småskala landbasert fiskeoppdrett

I dag er mekanisk rensing normalt brukt i gjennomstrømningsanlegg for å fjerne partikler fra avløpsvannet, både i Norge og internasjonalt. De to mest benyttede metodene er filtrering og sedimentering (Bergheim og Brinker, 2003). Flotasjon, membranfiltrering og ozonering er nevnt som alternativer til partikkelfjerning, men er ikke like vanlig i akvakulturanlegg på grunn av høye kostnader (Lekang, 2013).

Mekanisk rensing fjerner imidlertid ikke oppløste eller svakt bundne molekyler av nitrogen og fosfor (Solbakken mfl., 2008). For å fjerne oppløste næringsstoffer kreves det kjemiske og/eller biologiske prosesser (Rosten, 2015). Kashem mfl. (2023) har kartlagt alle tekniske løsninger egnet for behandling av avløpsvann fra landbasert fiskeoppdrett, samt gjennomført en SWOT-analyse (styrker, svakheter, muligheter, trusler) av de ulike alternativene. Bergheim og Brinker (2003) hevder at det hovedsaklig er virksomheter som driver i stor skala som har ressursene til å ta i bruk moderne avløpsteknologi.

I de påfølgende avsnittene er det vist til noen konkrete eksempler på nasjonale og internasjonale relevante erfaringer med vannkvalitet og behandling fra småskala landbasert fiskeoppdrett.

5.2.1 Nasjonale funn

Under normale produksjonsbetingelser i et gjennomstrømningsanlegg med partikkelseparasjon kan det med stor sikkerhet oppnås 50 % renseeffekt av partikler, der 20 % er partikkelbundet nitrogen og 80 % er partikkelbundet fosfor. Basert på disse forutsetningene frigjøres det 45 g nitrogen og 6,5 g fosfor per kg fisk produsert (Skotvold mfl., 2003 sitert i Winther mfl. (2010)).

Det er gjennomført minst to større kartlegginger av utslipp og renseeffekter fra landbaserte settefiskanlegg i Norge (Rosten, 2015; Lomnes mfl., 2019). Med unntak av rapporten fra Akvaplan-niva og noen masteroppgaver om utslippsregnskap, er det ikke funnet dokumentasjon av liknende omfang for småskala anlegg. Rosten (2015, s.268) innleder sin studie med å belyse at det mangler systematiske undersøkelser av kvalitet på utslippsvann hvilket: "... kan gjenspeile at fokus for vannkvalitet har vært dyrevelferd og produksjonsytelse i anleggene og i mindre grad utslippsrelatert vannkvalitet".

I Norge har vi generelt god erfaring med bruk av infiltrasjon til å rense avløpsvann

fra spredt bebyggelse, turistområder o.l. (Jenssen mfl., 2006, s.27). Det er ikke funnet dokumentasjon på bruk av infiltrasjon til å rense avløpsvann fra fiskeoppdrett, men det er gjort flere studier ved bruk av kommunalt avløpsvann. Selv om det ikke er direkte overførbart kan det trolig gi noen indikasjoner (Stevik, 2000).

Det nærmeste relevante funnet er en hydrogeologisk grunnundersøkelse gjennomført av Asplan Viak, som i 2019 ble engasjert av Oppdal Fjellmat & Fjellfisk AS (nå Drive Aquaculture) til å vurdere infiltrasjonsmuligheter for rensset avløp fra et planlagt oppdrettsanlegg for matproduksjon basert på fjellørret (Vestland mfl., 2019). I deres rapport påpeker de: “Vi er ikke kjent med at det foreligger erfaringer med infiltrasjon av denne type avløpsvann eller prosessvann” (Vestland mfl., 2019, s.17). Beregningene er basert på et vannforbruk tilsvarende 3,2 l/s (= 274 m³/døgn). Det er ikke bekreftet at dette infiltrasjonsanlegget er bygget og i drift.

Virksomheten Hongset Røye på Helgeland, sør for Brønnøysund, etablerte en rensepark for avrenning fra røyeproduksjon for mer enn 15 år siden (Trond Mæhlum, personlig meddelelse etter samtale med eier av Hongset Røye, Odd Hagen. 7.mai 2024). Produksjonen har en vanngjennomstrømning på ca. 6 m³/min, og et årlig fôrforbruk og produksjon på 10 - 15 tonn røye som går til røyking og raking. Renseanlegget for avrenning fra oppdrett og landbruk behandles i en rensepark bestående av et grunt, avlangt, tilplantet basseng på ca. 600 m. Vann fra slakteriet (ca. 1 m³/uke) behandles i en rensedam som er 6 m bred og 15 m lang, i kombinasjon med et biofilter med sand og grus. Eier hevder renseparken fungerer bra basert på målinger. Det foreligger ingen skriftlig dokumentasjon på erfaringer med rensingen på dette anlegget. Det er krav om oppgradering av rensedam fra Mattilsynet.

5.2.2 Internasjonale funn

Studier fra Brasil

I Brasil er det gjennomført flere studier på vannkvalitet og miljøpåvirkning fra småskala landbasert fiskeoppdrett (Caramel mfl., 2014; Skoronski mfl., 2018; Marques mfl., 2019). Småskala produsenter utgjør en stor del av næringen i landet da omtrent 70 % av de brasilianske anleggene som driver med regnbueoppdrett produserer mindre enn 20 tonn i året. Dette skyldes små elver med lav vannføring (Caramel mfl., 2014). Rensemetoden er hovedsaklig mekanisk filtrering, sedimentering og/eller konstruert våtmark. Brasil har imidlertid et mer tropisk klima sammenlignet med Norge, hvilket gjør det mer tilrettelagt for biologiske prosesser.

Model-Trout-Farms i Danmark

Regnbueørret er den dominerende arten som oppdrettes i dansk akvakultur, og store deler av produksjonen foregår i gjennomstrømningsanlegg (Jokumsen og Svendsen, 2010). I 1989 ble det innført et sett av strenge miljøreguleringer som hadde stor betydning for landbaserte oppdrettsanlegg, hvilket førte til at antall anlegg ble redusert fra 700 til i underkant av 450. Særlig mindre familiedrevne virksomheter var nødt til å legge ned (Bergheim og Brinker, 2003).

I løpet av de siste tiårene har det skjedd en overgang til Model-Trout-Farms (MTF), som bidrar til å sikre økt vekst i næringen uten å påføre miljøet skade (Dalsgaard mfl., 2013; Jokumsen og Svendsen, 2010). De ulike variantene er beskrevet av Jokumsen og Svendsen (2010), men har til felles at de benytter seg av sentrale komponenter fra RAS-teknologi. Type I resirkulerer minst 70 % av vannet, mens type III resirkulerer minst 95 % av vannet. Type II ser vi bortifra da det ikke finnes oppdrettere som har valgt dette alternativet. Type I er beskrevet som det billigste og minst inngripende alternativet (Dalsgaard mfl., 2021), og normalt brukes det ikke biofiltrering i denne type anlegg (Pedersen mfl., 2003, sitert i Dalsgaard mfl. (2021)). Både for type I og type III er nedlagte fiskedammer omgjort til våtmarker som renses før utslipp til resipient.

I løpet av en to års studie ble effekten til åtte MTF-våtmarker av varierende størrelse (1375-14 800 m²) undersøkt. Massebalanseberegninger viste at utslippet av Tot-N, Tot-P, BOF5 og KOF ble betydelig redusert med henholdsvis 50 %, 76 %, 93 % og 87 %. Reduksjonen tilsvarte 2,7 g Tot-N, 0,18 g Tot-P, 4,4 g BOF5 og 13,1 g KOF per m² i døgnet. For å oppnå maksimal renseseffekt er det en generell anbefaling om å koble dammene og kanalene slik at hele volumet blir godt utnyttet.

Våtmarksrensing har vist dokumentert god effekt

Det er kjent at våtmarksrensing kan redusere aktuelle forurensningsstoffer på en kostnadseffektiv og bærekraftig måte (Turcios og Papenbrock, 2014; Snow mfl., 2012). Sindilariu mfl. (2009) undersøkte renseseffekten ved 13 tyske oppdrettsanlegg, hovedsaklig oppdrett av regnbueørret. Seks av anleggene hadde direkte utslipp til resipient, mens de resterende anleggene hadde rensing i form av sedimenteringsdam (med og uten fisk), mekanisk filtrering eller konstruert våtmark. Vanngjennomstrømningen varierte mellom 0,03 - 0,8 m³/s. Studien viste at sedimenteringsdammer hadde liten til ingen effekt, mens konstruerte våtmarker hadde en reduserende effekt på alle parameterne. En studie gjennomført av Guner mfl. (2016) ved et anlegg (10 tonn/år) i Tyrkia kom fram til samme konklusjon. Konsentrasjonen av nitrogen, fosfor og BOF5 ble redusert med henholdsvis 53,2 %, 58,2 % og 36,5 % etter å ha passert våtmarken.

Bioreaktor med treflis

RAS-anlegg har fått en oppsving de siste årene, men det betyr imidlertid ikke at teknologien er synonym med nullutslipp. I Finland har de likevel forsøkt å oppnå svært lave konsentrasjoner ved å bygge et pilotanlegg med kapasitet på 14 tonn, der de renses avløpet ved bruk av en bioreaktor basert på treflis, konstruert våtmark og infiltrasjon gjennom sand (Pulkkinen mfl., 2021). Treflis er egnet for fjerning av nitrogen i form av nitrat, men krever nitrifikasjon i forkant. Det første året viste forsøket gode resultater, også vinterstid ved lave temperaturer, men etter hvert begynte bioreaktoren å lekke organisk stoff. Pulkkinen mfl. (2021) resonnerer med at det er behov for flere forsøk for å vurdere hvorvidt teknologien er brukbar.

Sedimenteringsfelle utviklet spesifikt for småskalaprodusenter

85 % av landbasert fiskeoppdrett i provinsen Quebec, Canada, produserer mindre enn 25 tonn i året. Myndighetene har satt krav om utslipp av maksimalt 4,2 kg fosfor per tonn fisk produsert. Som et alternativ til andre løsninger som gjerne er kostbare og krever mye arbeidskraft, utviklet Lefrançois mfl. (2010) en form sedimenteringsfelle, formet som en omvendt pyramide. For teknisk beskrivelse henvises det til artikkelen. Sedimenteringsfellen plasseres under en lufter i oppdrettsdammen, og resultatene viste at komponenten hadde kapasitet til å fange opp 12 g fosfor per døgn.

Akvaponi

Akvaponi er en form for kretsløpsdyrking som forener akvakultur og hydroponi (vannbasert dyrking av planter), der restfraksjoner av næringsholdig vann fra fisk brukes til å dyrke grønnsaker og planter. Denne prosessen fremmer vekst hos planter, men renser også vannet kontinuerlig slik at det kan returneres tilbake til fiskekaret (Junge mfl., 2017). Dette resulterer i en bærekraftig matproduksjon som utnytter ressurser som ellers ville gått tapt ved utslipp fra fiskeoppdrett.

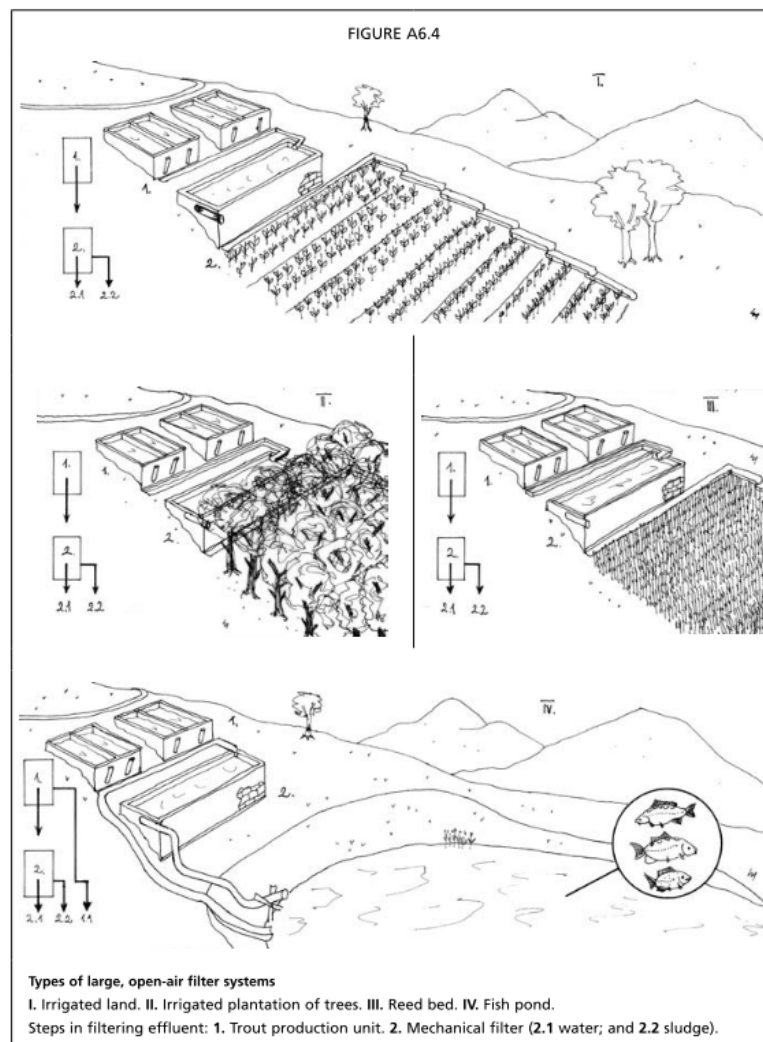
Det finnes kommersielle akvaponianlegg i hele verden, og Europas største ligger i Sverige. Selskapet Agtira, tidligere kjent som Peckas Naturodlingar, produserer hovedsaklig tomat, agurk og urter (Agtira, u.å.). I et intervju fra 2019 sa deleier og grunnlegger, Per Erik "Pecka" Nygård, følgende: "Om du oppdretter et tonn fisk på land, får du nok næring til ti tonn grønnsaker" (Palm, 2019). De viser til at ett kilo tørrfôr gir 1,2 kg fisk og omtrent 10 kg tomater. Det finnes noen akvaponi-anlegg i Norge også, men hovedsaklig brukt til forskningsformål (Palm, 2019).

Lagerstedt (2024) har i sin masteroppgave undersøkt regelverket for akvaponi i både Norge og EU, og konkludert med at det i dag har ingen fastsatt juridisk status eller spesifikk regulering. Hun skriver: "Det eksisterende regelverket består av en kompleks

blanding av lokale, nasjonale og EU-lover som håndterer drift av fiskeoppdrett og hydroponidyrking separat” (Lagerstedt, 2024, s.39).

Irrigasjon

Avløp fra fiskeoppdrett kan brukes til vanning i landbruket, slik som illustrert i figur 5.1. Dette er ofte store bassenger med kapasitet som kan egne seg i kombinasjon med annen teknologi. Vanningsvannet vil videre infiltrere, evaporere eller ledes til landbruksdrenering. Fornshell og Hinshaw (2008) påpeker imidlertid at det er en misoppfatning om at avløp fra akvakulturanlegg inneholder betydelige mengder næringsstoffer som er gunstige for avlinger. Til tross for at avløpet inneholder essensielle næringsstoffer, er det svært fortynnet, noe som betyr at enorme mengder vann kreves for å kompensere for den samme mengden næring som normal gjødsel tilbyr. Videre kan store mengder SS føre til gjentetting i sprederanlegget, hvilket krever økt vedlikehold.



Figur 5.1: Avløp fra fiskeoppdrett kan utnyttes til flere formål, deriblant irrigasjon i landbruket (I). Kilde: Woyarovich mfl. (2011).

5.3 Feltundersøkelser på Noraker Gård

5.3.1 Observasjoner gjort ved prøvetaking



(a) Utløp sedimenteringsdam



(b) Utløp våtmark

Figur 5.2: Dammene var delvis dekket av is/snø. Foto: Eivor Høydahl Fodnes.

Ved alle tre prøvetakingene var sedimenteringsdammene og våtmarken delvis dekket av is og snø (figur 5.2). Is/snø på overflaten hindrer vinden fra å sirkulere vannmassene slik at nytt oksygen kan tilføres. Ettersom vann veier tyngst ved 4 °C fører det til en temperatursjiktning der vannmassene deler seg i to. Vann nærmest overflaten avkjøles til nært frysepunktet (0 °C) og legger seg som et lag over bunnvannet. Kombinasjonen av vinterstagnasjon og nedbrytning av organisk materiale kan føre til anaerobe forhold. Mangel på oksygen gjør at jern reduseres til jern(II), og fosfat frigjøres fra sedimentene. Utlekking av fosfat kan også forekomme dersom pH overstiger 8,5 (Faafeng, 1996).

Et titalls fugler, hovedsaklig ender, ble sett svømmende på sedimenteringsdammene. Ender pleier å dukke ned i grunne vann for å lete etter mat, hvilket kan forårsake oppvirvling av partikler. Feces i omkringliggende snø indikerer at sedimenteringsdammene er et populært habitat for fugler.

Ved utgraving av jordprøvene ble det oppdaget rustbrun jord i det øvre laget på prøvehull 1 (figur 5.3). Det indikerer at de øvre massene har god evne til å holde tilbake fosfor.

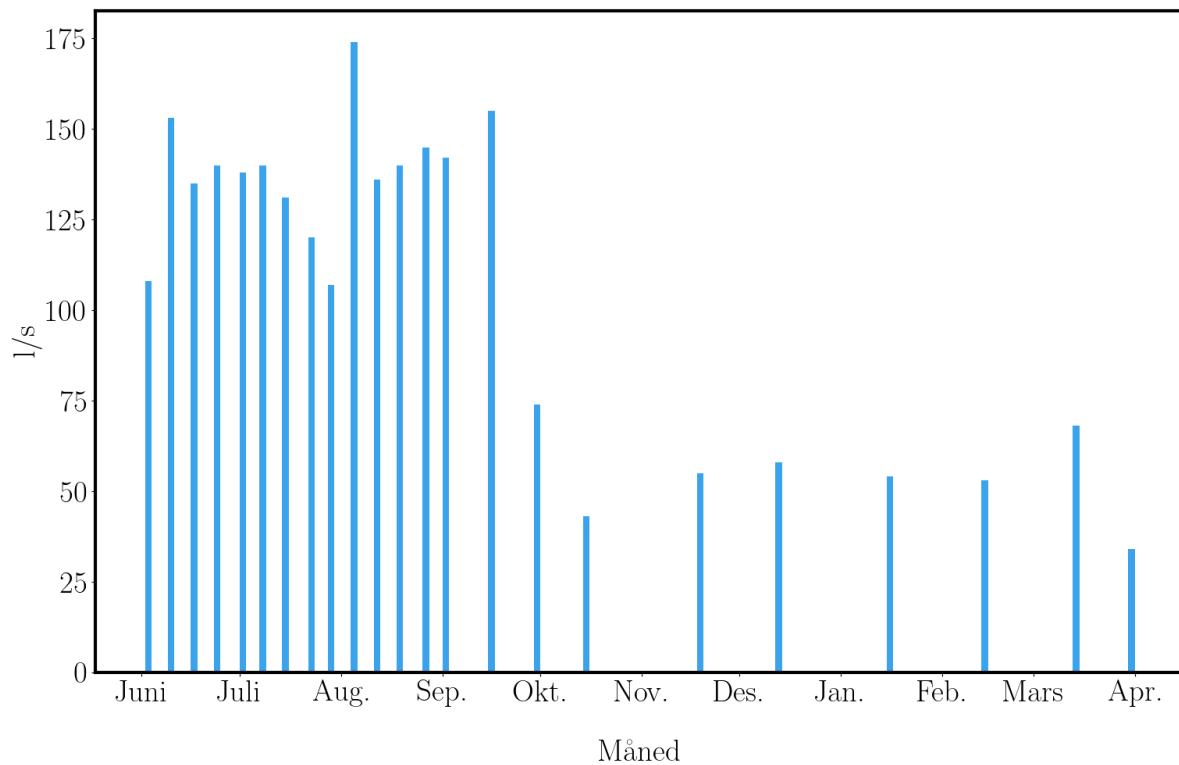


Figur 5.3: Rustbrun jord i det øvre sjiktet i prøvehull 1. Foto: Eivor Høydahl Fodnes.

Da renseanlegget er et åpent system kan nedbør og snøsmelting påvirke resultatene. Basert på værdata fra Yr (vedlegg B) var det ingen til lite nedbør i forkant av, eller på selve dagen, for prøvetaking. Likevel har det vært en unormalt våt sommer, spesielt med tanke på ekstremværet Hans som rammet i august 2023. Jorda i nedbørfeltet kan være fullstendig mettet av vann på grunn av mye nedbør i den perioden. Mest sannsynlig lite snøsmelting da vinteren har vært kaldere enn normalt, med gjennomsnitt ned mot $-11,7$ °C.

5.3.2 Vannføring

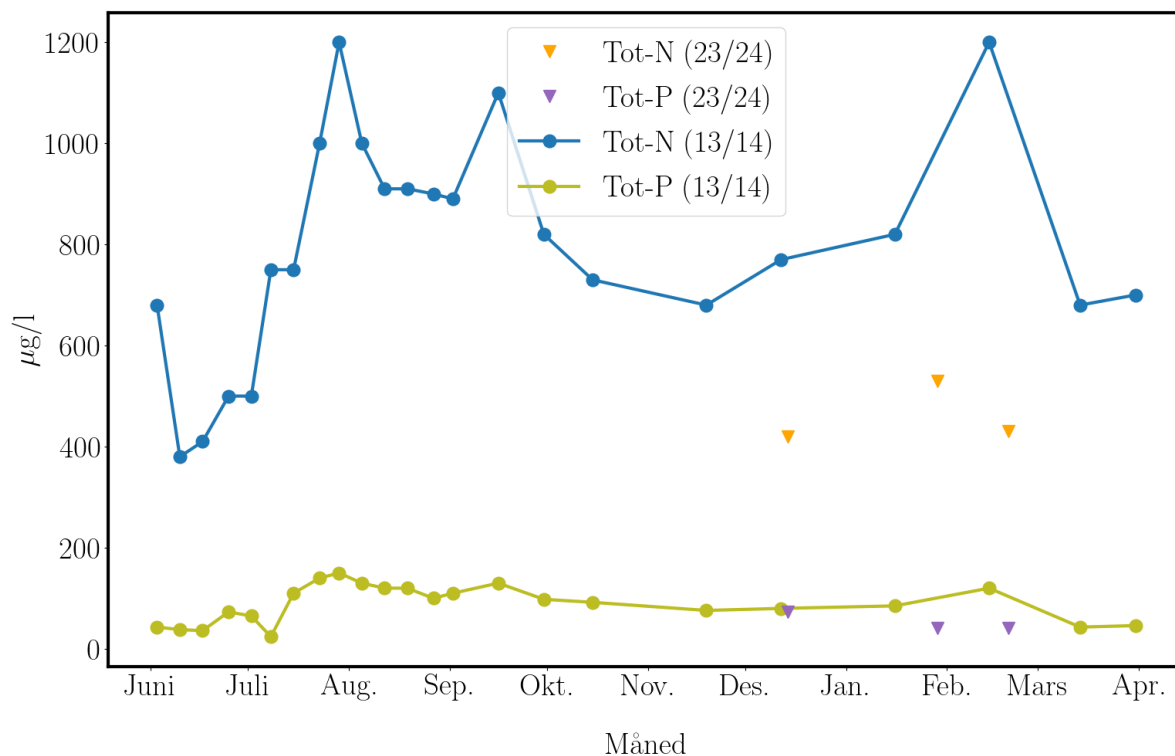
Vannføringen på Noraker Gård er størst om sommeren, i månedene rett etter at det er satt ny fisk i oppdrettsdammene (figur 5.4). Det settes som regel ny fisk i løpet av mai. For produksjonsåret 2013 - 2014 var gjennomsnittlig vannføring for månedene juni, juli og august 136 l/s (n=13), mens det for januar, februar og mars var 52 l/s (n=4). Om vinteren er vannføringen mer en halvert som følge av redusert biomasse. For tabellverdier av vannføringen fremstilt i figur 5.3.2 henvises det til vedlegg C.



Figur 5.4: Vannføring målt ut av renseanlegget på Noraker Gård i perioden juni 2013 - mars 2014.

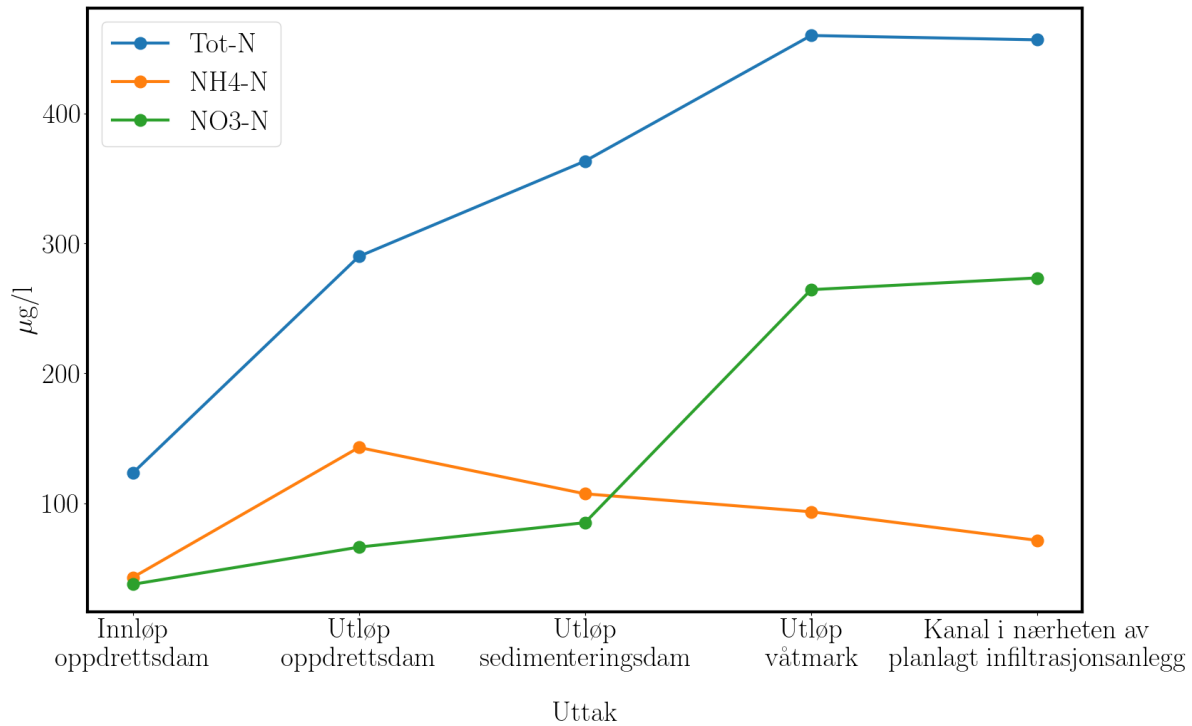
5.3.3 Vannkvalitet og renseseffekt

For å evaluere utslippet og dagens renseløsning på Noraker Gård ble det tatt vannprøver fra inntaksvannet, underveis i rensenanlegget og ved utløpet (figur 4.1 for oversikt over prøvetakingsområdet). Alle vannprøvene ble målt for de samme parameterne. For tabellverdier for de påfølgende grafene (figur 5.5 - figur 5.9) henvises det til vedlegg D.



Figur 5.5: Konsentrasjon av Tot-N og Tot-P målt i utløpsvannet på Noraker Gård gjennom produksjonssyklusen 2013 - 2014. Resultater fra egne målinger tatt i perioden des. 2023 - feb. 2024 (n=3) er lagt over som trekantede markører.

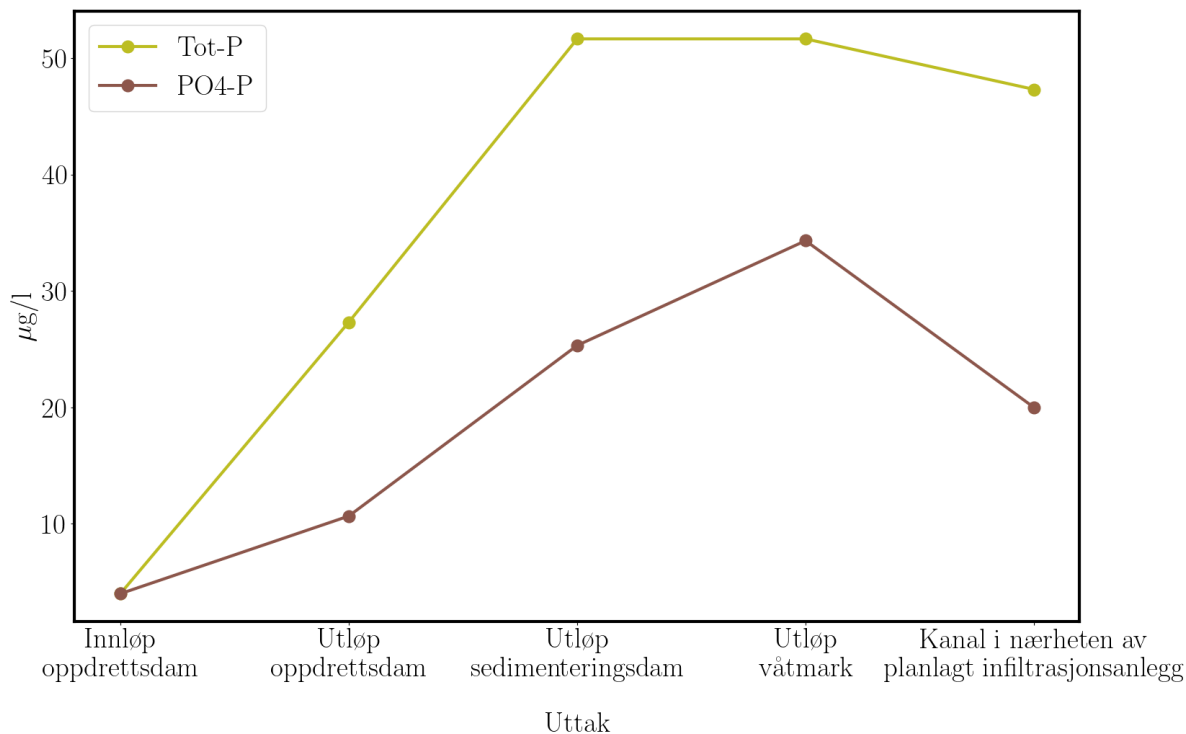
Grafene på figur 5.5 viser konsentrasjonen av Tot-N og Tot-P målt ut av rensenanlegget på Noraker Gård gjennom hele produksjonssyklusen i 2013 - 2014. Begge parameterne har tilsvarende lik trend, der de lavest registrerte målingene er i juni og deler av juli, før det øker og når toppunkt i august (utenom en måling av Tot-N i februar). Konsentrasjonene stabiliserer seg deretter på henholdsvis ca. 800 µg/l og 90 µg/l. De trekantede markørene representerer egne målinger av Tot-N og Tot-P målt ved utløpet. Egne målinger er tilsvarende eller noe lavere enn de som ble målt for ti år siden på samme tidspunkt.



Figur 5.6: Gjennomsnittlig konsentrasjon (n=3) av Tot-N, NH₄-N og NO₃-N målt på Noraker Gård (prøvetakingsområdet vist i figur 4.1) i perioden des. 2023 - feb. 2024.

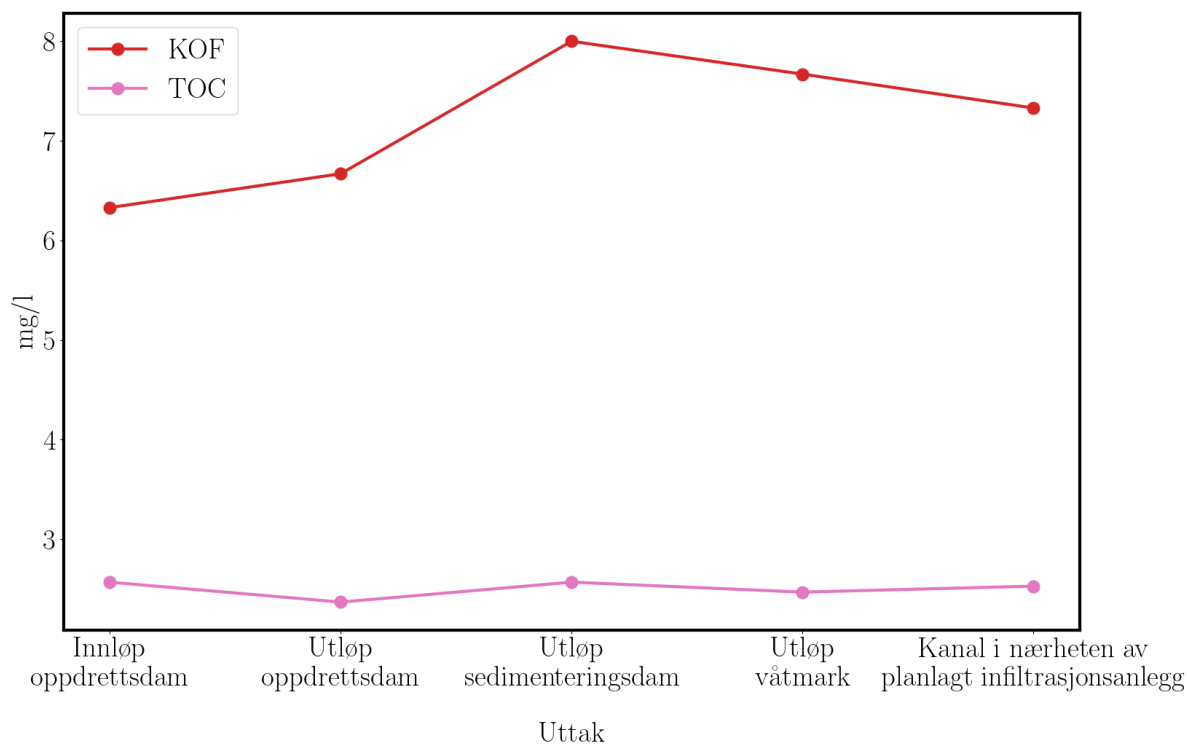
Figur 5.6 viser at Tot-N øker gjennom renseanlegget på Noraker Gård, selv etter å ha passert sedimenteringsdammene og våtmarken. Det indikerer at renseanlegget ikke fungerer som tiltenkt. Utslippet av Tot-N ved utløp våtmark er 460 µg/l. Konsentrasjonen av NH₄-N øker fra 43 µg/l i inntaket til 143 µg/l etter å ha passert alle fire oppdrettsdammene. Differansen utgjør mengden NH₄-N som fiskene frigjør. Deretter avtar konsentrasjonen av NH₄-N gradvis, mens konsentrasjonen av NO₃-N øker. Resultatene indikerer at det forekommer en nitrifikasjon der NH₄-N omdannes til NO₃-N.

Konsentrasjonen av NO₂-N var under nedre bestemmelsesgrense (< 15 µg/l) for alle punktene ved alle tre prøvetakingene.



Figur 5.7: Gjennomsnittlig konsentrasjon ($n=3$) av Tot-P og PO4-P målt på Noraker Gård (prøvetakingsområdet vist i figur 4.1) i perioden des. 2023 - feb. 2024.

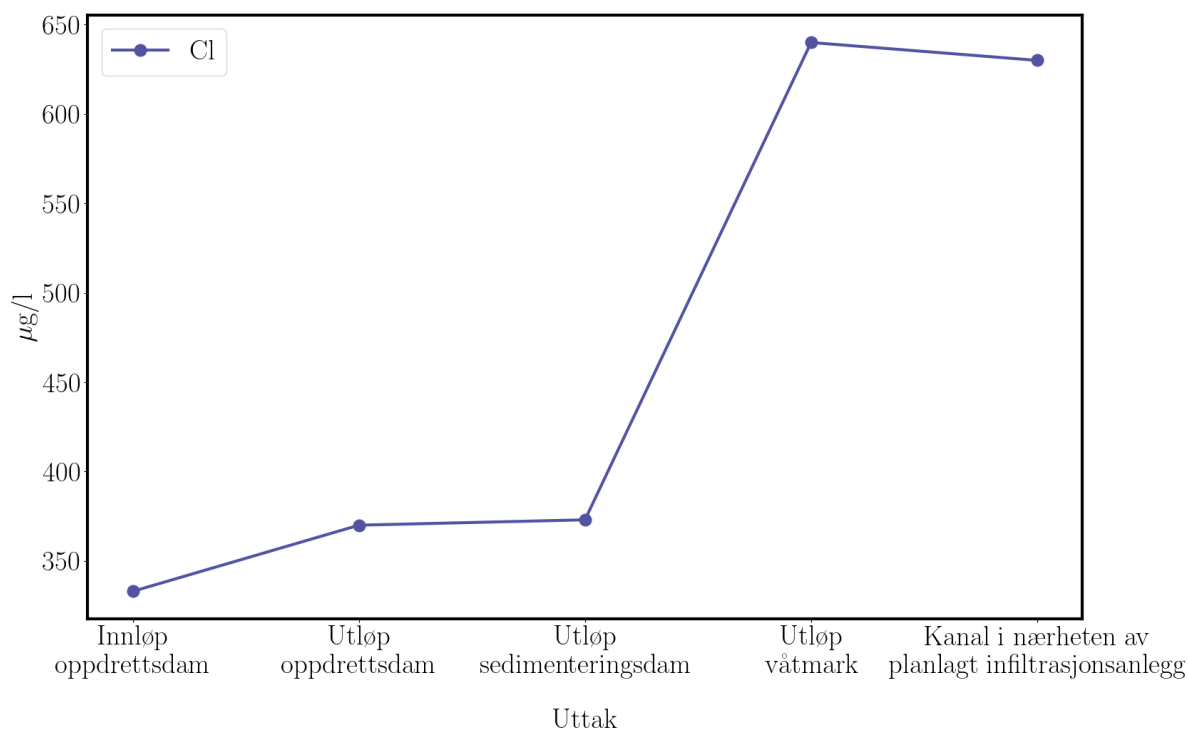
Figur 5.7 viser gjennomsnittlig konsentrasjon av Tot-P og PO4-P gjennom renseanlegget. På samme måte som for Tot-N er konsentrasjonen av Tot-P større ved utløpet på sedimenteringsdammen enn utløpet på oppdrettsdammen. Det er en reduksjon i Tot-P og PO4-P på henholdsvis 5% og 41% fra utløp våtmark til siste måling i kanalen. Reduksjon i PO4-P indikerer at det er noe opptak av planter eller binding i sedimenter langs kanalen. Utslippet av Tot-P ved utløp våtmark er $52 \mu\text{g/l}$.



Figur 5.8: Gjennomsnittlig konsentrasjon (n=3) av KOF og TOC målt på Nora-ker Gård (prøvetakingsområdet vist i figur 4.1) i perioden des. 2023 - feb. 2024.

Figur 5.8 viser gjennomsnittlig konsentrasjon av KOF og TOC gjennom renseanlegget. Konsentrasjonen av KOF øker fra 6,3 mg/l i inntaket til 8 mg/l i utløpet på sedimenteringsdammen. Ved siste måling er konsentrasjonen av KOF 7,3 mg/l. Konsentrasjonen av TOC ligger i området mellom 2,4 - 2,6 mg/l.

Konsentrasjonen av BOF5 og SS var under nedre bestemmelsesgrense (< 5 mg/l) for alle punktene ved alle tre prøvetakingene.



Figur 5.9: Gjennomsnittlig konsentrasjon (n=3) for klorid målt på Noraker Gård (prøvetakingsområdet vist i figur 4.1) i perioden des. 2023 - feb. 2024.

Konsentrasjonen av klorid har en uventet økning etter å ha passert sedimenteringsdammene (figur 5.9). Samme trend kan også observeres i tabell 5.1, der den målte ledningsevnen øker fra 26,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ til 29,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Klorid betraktes i denne sammenhengen som et ikke-reaktivt anion og konsentrasjonen vil da indikere grad av fortykning gjennom et anlegg dersom det ikke foreligger prosesser som øker konsentrasjonen, slik som fordampning eller tilførsel fra andre kilder enn avløpet.

De andre målingene i felt (tabell 5.1) viser at det var liten variasjon i abiotiske faktorer mellom de ulike punktene i målingene. Temperatur varierte mellom 0 - 3 °C og oksygenmetningen var minst 10,4 mg/l. Nøytral pH ved alle fem punktene.

Tabell 5.1: Målinger i felt på Noraker Gård i perioden des. 2023 - feb. 2024. n=3 for ledningsevne og temperatur, og n=2 for oksygenmetning og pH.

Parameter	Uttak				
	Innløp oppdrettsdam	Utløp oppdrettsdam	Utløp sedimenteringsdam	Utløp våtmark	Kanal i nærheten av planlagt infiltrasjonsanlegg
Ledningsevne ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	23,8	26,1	26,8	29,7	29,3
Temperatur (°C)	2,8	1,2	0,8	0,7	0,6
Oksygenmetning (mg/l)	10,4	11,7	12,5	12,0	12,8
pH	7,0	7,0	7,1	7,1	7,0

Biomasse, vann- og fôrforbruk ble registrert samtidig som vannprøvene ble tatt for å se sammenhengen mellom produksjon og utslipp (tabell 5.2). Det ble ikke observert noen klar sammenheng, da måleverdier og trend gjennom renseanlegget var tilnærmet likt for alle tre prøvetakingene.

Tabell 5.2: Biomasse, vann- og fôrforbruk på Noraker Gård ved uttak av vannprøver.

Dato prøvetaking	Biomasse [kg]	Vannforbruk [l/s]	Vannforbruk [m ³ /d]	Fôr [kg/d]
14.12.2023	17530	60	5184	74
29.01.2024	14200	55	4752	51
20.02.2024	9100	54	4666	30

5.3.4 Grunnundersøkelse

Det ble gjennomført en enkel grunnundersøkelse i skogområdet sør for våtmarken (figur 4.1) for å vurdere om de stedlige massene her egner til infiltrasjon.

Sorteringsgrad og hydraulisk ledningsevne

Dybde ved uttak, samt beregnet sorteringsgrad (S_0) og hydraulisk ledningsevne (K) for jordprøvene er presentert i tabell 5.3. Kornfordelingsdiagrammene er lagt til som vedlegg (E).

Tabell 5.3: Beregnet sorteringsgrad (formel 4.1) og hydraulisk ledningsevne (Hazens formel 4.2) for de fire jordprøvene fra Noraker Gård.

Prøvehull	Dybde ved uttak [cm]	d_{60} [mm]	d_{10} [mm]	S_0	K [m/døgn]
1	30	2,5	0,4	6,3	-
	130	4,8	1,0	4,8	1000
2	70	0,7	0,3	2,3	100
	120	1,1	0,6	1,8	400

Den hydrauliske ledningsevnen ble bestemt utifra Hazens formel for alle jordprøvene med sorteringsgrad mindre enn 5. Resultatet indikerer at massene har generelt god vannledningsevne, men at begrensningen ligger i det øvre sjiktet. Massene fra uttak ved 30 cm og 70 cm er dårligere sortert enn massene som ligger dypere ned i jordprofilen.

Regneeksempel: Hydraulisk kapasitet

Et regneeksempel på hvordan beregnet K -verdi og enkelte antakelser kan brukes til å estimere hydraulisk kapasitet er vist i tabell 5.4. Det er en konservativ beregning der M , I og L er bestemt ved bruk av SCALGO Live. Figur 5.10 viser det aktuelle området, og

figur 5.11 er tilhørende høydedata til den opptegnede streken. Samme fremgangsmåte ble brukt til å anslå mektighet og helning i utstrømningsområdet. For enkelhets skyld er lengden tegnet som en rett strek i dette tilfellet, men i realiteten bør lengden på infiltrasjonsfilteret følge en høydekurve. Hvordan valg av M , I og L påvirker regneeksempelet kommer vi tilbake til i diskusjonen, i avsnitt 6.2.3.

Infiltrasjonsanlegget må dimensjoneres ut ifra tilførte vannmengder. I regneeksempelet er den hydrauliske kapasiteten sett i sammenheng med gjennomsnittlig vannføring om sommeren og vinteren (data presentert i avsnitt 5.3.2). Kolonnene til høyre indikerer hvor stor prosentandel av avløpet fra oppdrettsanlegget som infiltrasjonsanlegget potensielt kan rense, gitt de forutsetningene som er satt.

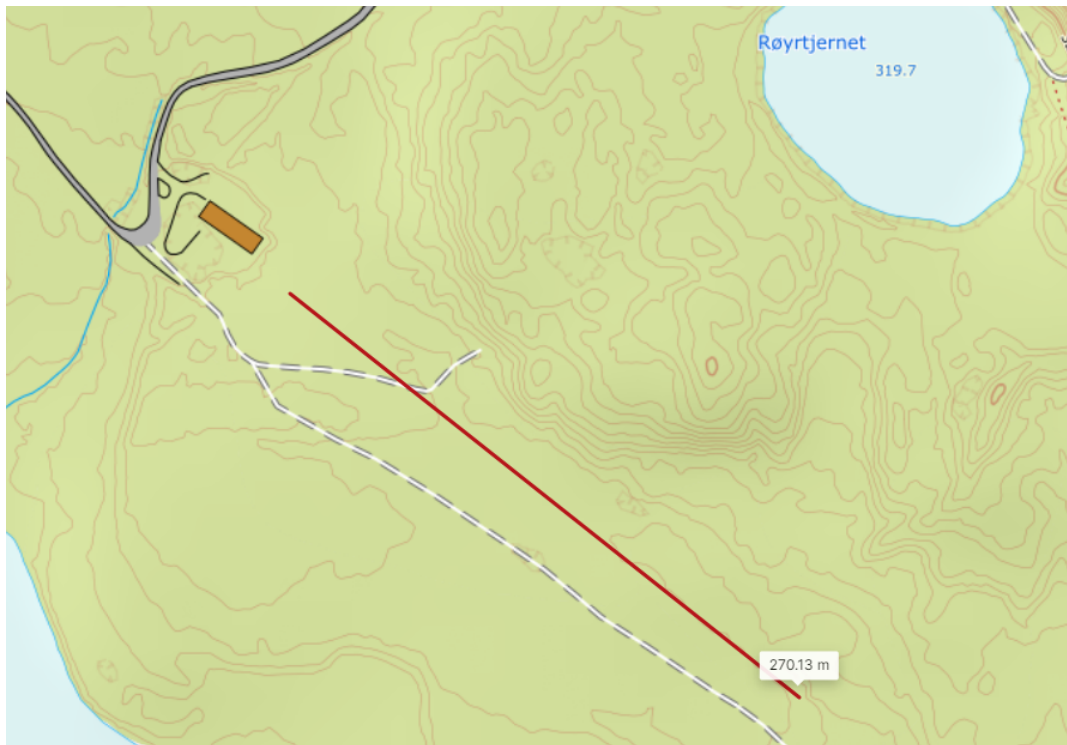
Tabell 5.4: Regneeksempel som viser hydraulisk kapasitet (Q) avhengig av hydraulisk ledningsevne (K) basert på undersøkte jordtyper, samt andel av vannføringen som potensielt kan infiltreres på gitt strekning ved infiltrasjonskanal sommer og vinter. Prinsippskisse for hydraulisk kapasitet er illustrert i figur 4.2 og de andre forkortelsene (M , I , L) er forklart i likning 4.3.

K	M	I	L	Q	Sommer*	Vinter**
[m/døgn]	[m]	[%]	[m]	[m ³ /døgn]	[%]	[%]
100	1	0,02	270	540	5	12
400	1	0,02	270	2160	18	48
1000	1	0,02	270	5400	46	100

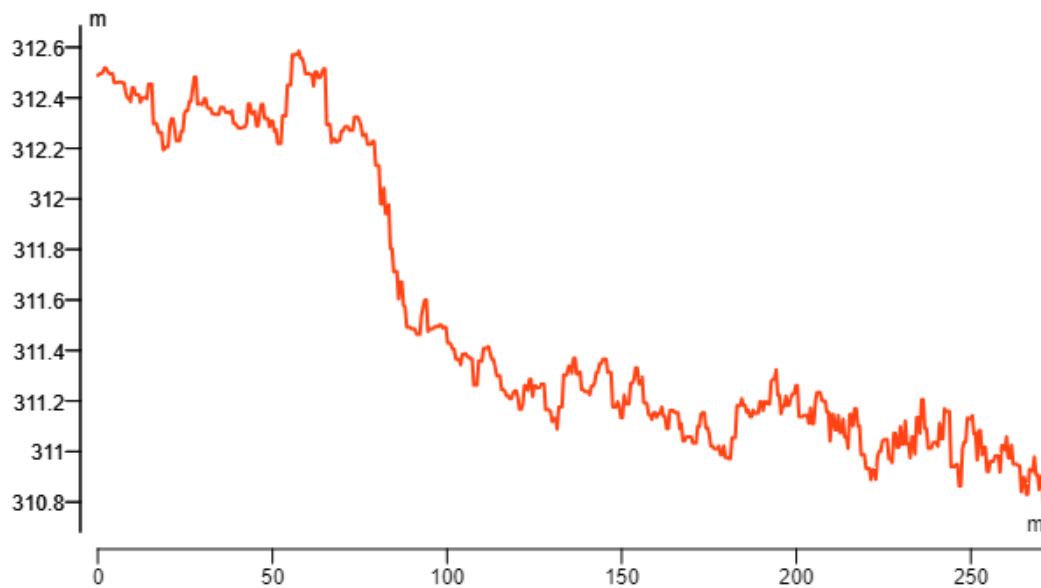
* Gjennomsnittlig vannføring sommer: 136 l/s = 11750 m³/døgn

** Gjennomsnittlig vannføring vinter: 52 l/s = 4493 m³/døgn

Regneeksempelet viser at den aktuelle hydrauliske belastningen er betydelig større i sommermånedene. Ved K -verdi på 1000 m³/døgn er infiltrasjonsevnen omtrent 50 % om sommeren og 100 % om vinteren. Ved en K -verdi på under 500 m/døgn vil kapasiteten være lavere, henholdvis mindre enn 20 % og 50 % av gjennomsnittlig vannføring avhengig av årstid.



Figur 5.10: Skjermdump fra SCALGO Live for å illustrere området der L er hentet fra. I realiteten bør lengden ikke være en rett strek, men følge en høydekurve i terrenget.



Figur 5.11: Tilhørende høydeprofil til streken tegnet i figur 5.10 i SCALGO Live (skjermdump). Det er bra med noe fall da det kreves en hydraulisk gradient for å få vannet frem. Fallet mellom ca. 80 og 90 m kan kompenseres med en voll og nivåforskjell til neste infiltrasjonskanal eller infiltrasjonsbasseng.

6. Diskusjon

6.1 Hva er utslippet på Noraker Gård med dagens renseløsning?

Analyse av vannprøvene indikerer at rensenanlegget på Noraker Gård ikke fungerer som tiltenkt i den undersøkte perioden vinteren 2023-2024. Det var forventet at sedimenteringsdammene og våtmarken ville ha en viss renseseffekt, men resultatene viser imidlertid at konsentrasjonen av næringsstoffer og organisk stoff er høyere etter å ha passert rensenanlegget.

Det er særlig konsentrasjonen av Tot-N og Tot-P som overrasker. Figur 5.6 og 5.7 viser at konsentrasjonen er større etter å ha passert sedimenteringsdammene, enn målingene som er tatt i utløpet på selve produksjonsanlegget. Videre er det liten forskjell i målingene mellom utløpet på sedimenteringsdammene og de to påfølgende prøvepunktene. Det er usikkert hva som er den direkte årsaken til dette, men mulige forklaringer kan være:

- Alloktion tilførsel av næringsstoffer fra nærliggende landbruk og skog som har avrenning til rensenanlegget.
- Anaerobe forhold i sedimenteringsdammene om vinteren som frigjør fosfat fra sedimentene og derved øker konsentrasjonen av Tot-P (figur 5.2).
- Ender som roter i bunnen av sedimenteringsdammene etter mat og skaper oppvirvling av bunnslam som renner videre.
- Utspyling av sedimenter. Det er over 20 år siden sedimenteringsdammene ble anlagt og det kan ha lagt seg organisk materiale på bunnen som spyles ut på grunn av høy vannhastighet. Mest sannsynlig på grunn av mye nedbør sensommeren 2023 og innblandet overvann.

Reduksjon i biomasse, vann- og förforbruk fra første til siste prøvetaking ga ikke spesielt utslag på analyserapportene. Alle tre prøvetakingene viste tilsvarende like måleverdier og trend gjennom rensenanlegget, hvilket sår tvil om at det kan ha skjedd feil i felt eller på

lab. Utslipet av Tot-N og Tot-P er dessuten i samsvar med målingene til Akvaplan-niva (figur 5.5), der egne målinger er like eller lavere enn datasettet fra 2013-2014.

I henhold til Veileder 02:2018, “*Klassifisering av miljøtilstand i vann*”, (Direktoratsgruppen vanndirektivet, 2018), må konsentrasjonen av Tot-P og Tot-N være mindre enn henholdsvis 15 µg/l og 425 µg/l for å kategoriseres som “minst god” for gjeldende vann-type (R205). Resultatet for Tot-P ved utslipp er imidlertid 47 ± 16 µg/l, og faller med dette innenfor klassegrensen “dårlig/svært dårlig”. Konsentrasjonen av Tot-N ved utslipp er 457 ± 80 µg/l, hvilket tilsvarer moderat tilførsel. Begge utslippene må reduseres for å nå miljømålet.

De andre parameterne er generelt lave. I veilederen er vann med TOC mellom 2-5 mg/l (i kombinasjon med farge 10-30 mg Pt/L) definert som “klar”. Egne målinger viser at konsentrasjonen av TOC ligger stabilt mellom 2,4 og 2,6 mg/l. Påvirkning på biota i vann av SS er lite undersøkt (Kjelland mfl., 2015, sitert i Kaste mfl. (2023)). De fleste undersøkelser som finnes omhandler tålegrensene til fisk, der konsentrasjon mindre enn 25 mg/l har ingen skadelig effekt på fisk. Konsentrasjonen av SS er under nedre bestemmelsesgrense (< 5 mg/l) ved alle målinger. Utslipet av BOF5 og KOF innfrir kravene til sekundærrensing, der måleverdiene ikke overskrider gitte grenseverdier (Forurensningsforskriften, 2004).

Det var forventet at konsentrasjonen av klorid ville minke nedover i bekkeløpet, da det indikerer tilførsel av kloridfattig vann (grunnvann). Målingene viser derimot at konsentrasjonen av klorid dobler seg ved utløpet på våtmarken, samt at ledningsevnen endrer seg ved sedimenteringsdammene. Ifølge Noraker er det en liten bekk som kommer inn på strekket mellom sedimenteringsdammene og våtmarken. Bekken passerer hovedveien, E16, og det er mistanke om at det er vegsalt (CaCl_2) som er årsaken (Folkehelseinstituttet, 2021). Generelt er konsentrasjonen av klorid i renseanlegget lav, da alle målinger ligger under 1 mg/l ved alle punkter. Som referanseverdi er konsentrasjonen normalt lavere enn 25 mg/l i grunnvanns- og overflatekilder (Folkehelseinstituttet, 2021).

I drikkevannsforskriften er grenseverdien for $\text{NH}_4\text{-N}$ satt til 500 µg/l (Folkehelseinstituttet, 2021). I alle målinger ligger konsentrasjonen under 200 µg/l. Enkelte målinger, inkludert utsløpskonsentrasjoner, er mindre enn 80 µg/l som er retningsgivende maksimumskonsentrasjon for god vannkvalitet på råvann (Folkehelseinstituttet, 2021). Videre er konsentrasjonen av NO_3 ($< 1,4$ mg/l) under grenseverdien på henholdsvis 50 mg/l. Drikkevannsforskriften er imidlertid helsebasert, og 50 mg/L er mye i en vannforekomst ettersom nitrat er et plantenæringsstoff som lett tas opp.

En konservativ beregning for totale mengder i inntaks- og avløpsvannet er vist i figur 6.1. Sammenlignet med spesifikk forurensningsmengde fra husholdningsavløp tilsvarer

6.1. HVA ER UTSLIPPET PÅ NORAKER GÅRD MED DAGENS RENSELØSNING?49

Tabell 6.1: Totale mengder av de ulike parameterne som kommer inn i anlegget og som slippes ut i resipienten om vinteren. Mengde inn og total til resipient er beregnet ved å multiplisere gjennomsnittlig konsentrasjon ved inntaket/utløpet med gjennomsnittlig vannforbruk ved prøvetaking, målt i perioden des. 2023 - feb. 2024.

Parameter	Inntaksvann* [kg/d]	Total til resipient* [kg/d]	Referanseverdi** [pe]
Tot-N	0,6	2,2	183
NH4-N	0,2	0,4	
NO3-N	0,2	1,3	
Tot-P	0,02	0,2	111
PO4-P	0,02	0,1	
TOC	12,7	12,2	
KOF	30,7	35,5	296
Cl	1,6	3,1	

* Basert på gjennomsnittlig vannforbruk ved prøvetaking: 4867 m³/døgn (n=3)

** Referanseverdi er hva total til resipient tilsvarer i utslipp fra antall personekvivalenter basert på spesifikk forurensningsmengde i husholdningsavløp hentet fra Ødegaard (2014, s.286)

total til resipient et utslipp fra 100-300 pe. BOF5, SS og NO2-N er utelatt fra tabellen da alle målingene var under nedre bestemmelsesgrense. Uten konkrete verdier er det vanskelig å estimere utslippsmengde, samt si noe om hvordan konsentrasjonen endrer seg gjennom renseprosessen.

Feltundersøkelsene ble gjennomført på vinteren og beskriver eksplisitt utslippet på Nora-ker Gård i disse månedene, og ikke et helt år i produksjon. Det er forventet høyere utslippskonsentrasjoner om sommeren når produksjonen er større. Samtidig kan det tenkes at de biologiske prosessene i rensanlegget fungerer bedre om sommeren når klimaet er varmere, slik figur 5.5 kan gi antydning til. Det mangler imidlertid informasjon om biomasse, vann og fôrforbruk fra datasettet til Akvaplan-niva, og man skal være forsiktig med å trekke konklusjoner. Generelt er det vanskelig å sammenligne egne resultater mot andre studier da det er forskjeller i biomasse, fiskeart, vannføring, fôrforbruk og avløpsteknologi.

6.2 Hvordan kan Noraker Gård redusere sine utslipp?

6.2.1 Tiltak i fôr og drift

Basert på en overordnet vurdering og samtaler med Noraker Gård kommer det frem at de har et velfungerende fôringssystem for sitt bruk med lite fôrspill, der de tar hensyn til de prinsipielle måtene for å begrense fôr-relatert utslipp beskrevet i resultatdelen.

Forsøket til Brinker mfl. (2005) indikerer at RAS-fôr har en positiv effekt på filtrering ved 100 μm , hvilket er samme maskevidde som på Noraker Gård. Noraker Gård kan vurdere å bytte til RAS-fôr for å gjøres feces mer stabil slik at trommelfilteret får fanget opp mer, men det er usikkert hvor stor nytteverdi dette vil ha fremfor andre mekaniske eller prosessstekniske løsninger. Dessuten er det et spørsmål om tilgjengelighet og pris fra fôrleverandører. Utover det er det ingen konkrete anbefalinger for fôr og drift.

6.2.2 Tiltak for å øke rensgraden ved eksisterende anlegg

Ettersom det eksisterende renseanlegget ikke fungerte optimalt i den undersøkte perioden bør det i første omgang tas tak i de nevnte mulige årsakene. Det anses som mer bærekraftig å prøve disse forslagene fremfor andre løsninger til å begynne med. Tiltak som bør gjennomføres for å øke rensgraden ved renseanlegget er:

- Grave ut sedimenter fra sedimenteringsdammen og våtmarken for å hindre utspyling og gjøre det mindre attraktivt for endene å dukke ned i bunnen etter mat. En energidreper ved innløpet vil i tillegg dempe vannhastigheten slik at vannmassene ikke graver i sedimentene og skaper oppvirvling.
- Våtmarken kan forbedres ved å få teoretisk oppholdstid nærmeste mulig praktisk oppholdstid. For eksempel ved å få innløp langt unna utløp, etablere skillevegger som leder vannet gradvis gjennom våtmarken, øke overflatearealet og dybden.
- Videre foreslås det å holde trommelfilteret i drift hele året, og ikke kun i sommermånedene når produksjonen er på sitt største. Finere maskevidde vil dessuten bidra til å fange opp mer partikler.
- Som foreslått av Akvaplan-niva bør det vurderes å legge til et trommelfilter etter den siste oppdrettsdammen. Forbehandling på alle fire dammene kan gi økt partikkelfjerning, hvilket er positivt i seg selv, men også fordelaktig for de påfølgende prosessene.

Etter at et eller flere av tiltakene er gjennomført bør det tas en ny vurdering av vann-

kvalitet og renskapasitet.

6.2.3 Etablere infiltrasjonsanlegg nedstrøms våtmarken

Jordmassenes sammensetning er avgjørende for utformingen av infiltrasjonsfilteret, og kornfordelingsanalyse av jordprøvene ga en K -verdi på 100, 400 og 1000 m/døgn. Regneeksempelet indikerer at infiltrasjonsanlegget vil ha begrenset evne til å ta unna alt vannet, spesielt om sommeren når vannføringen er på sitt største. Selv om ikke alt vannet fra oppdrettsanlegget vil infiltreres, vil den andelen av avløpet som passerer utstrømningsområdet potensielt nå svært lave utslippskonsentrasjoner.

For å øke kapasiteten ytterligere kan lengden på infiltrasjonsfilteret forlenges. Det er mulig å utnytte arealet nord for veien, som illustrert i figur 6.1, men det må da gjøres nye grunnundersøkelser for å bestemme om de stedlige massene er egnet til infiltrasjon. Det er tro på at et infiltrasjonsanlegg kan fungere som et supplement til eksisterende renseanlegg, men da det ikke foreligger erfaringer med infiltrasjon av denne type avløpsvann eller prosessvann bør arealbelastningen erfares ved drift.



Figur 6.1: For å øke lengden på infiltrasjonsbassenget kan avløpet splittes i to og ledes til området Vikan, nord for det undersøkte området. Eventuelt utnytte sandtaket på Amrudøye. Det er imidlertid ikke gjort grunnundersøkelser på de nevnte plassene. Figuren illustrerer også hvordan anlegget bør følge høydekurven i terrenget. Bakgrunnskartet er hentet fra www.norgeskart.no.

En konsekvens av å overskride den hydrauliske kapasiteten er at grunnvannstanden vil stige, hvilket vil føre til at vannet stuves opp eller strømmer ut på terrengoverflaten før det er tilstrekkelig renses (Rise mfl., 2021). En risikovurdering av fuktige områder nedstrøms infiltrasjonsanlegget bør gjennomføres.

6.2.4 Irrigasjon og akvaponi

Noraker Gård har et fokus på å formidle kunnskap om produksjon og foredling til kunder og turister. Kunnskapsformidlingen kan få enda en dimensjon ved å utnytte avløpet på en fullstendig sirkulær måte, for eksempel ved at delstrømmer benyttes til irrigasjon eller akvaponi. Det har imidlertid sine begrensninger. Irrigasjon er begrenset til vekstsesongen i sommerhalvåret og tørre områder, mens det finnes få studier på kombinert akvaponi og gjennomstrømningsanlegg. I de fleste tilfeller er akvaponi sett i sammenheng med RAS-anlegg. Dessuten er regelverket for akvaponi komplekst, som beskrevet av Lagerstedt (2024), og det vil kreve mer av Noraker Gård å sette seg inn regelverket og hydroponidyrking generelt.

6.3 Feilkilder

Mulige faktorer som kan ha påvirket resultatene fra feltundersøkelsene på Noraker Gård kan være:

- Det er relativt få prøveserier som ligger til grunn. Disse er tatt som stikkprøver på vinteren, når biomasse, vann- og fôrforbruk er på sitt laveste. Med stikkprøver kan det være variasjoner som ikke fanges opp. I tillegg mangler det noen målinger i felt på grunn av tekniske forhold. Endringer i trender kan dessuten skyldes fortykning eller analysefeil. Analysene og estimert utslippsmengde kan derfor gi et noe feilaktig bilde av utslippet på Noraker Gård. Risikoen ved stikkprøver kan reduseres dersom det blir tatt 2-3 parallelle prøver og analyser av hver lokalitet ved hver prøveserie. Det var ikke analysebudsjett til det i denne omgang.
- Biologiske prosesser er langsommere om vinteren på grunn av kulde, men dette kompenseres tildels av lavere produksjon og lengre oppholdstid.
- Hazens formel lar seg ikke korrigere for struktur, lagringsfasthet eller kornform (VA/Miljø-blad nr.59, 2018).
- Det er benyttet rådata fra Akvaplan-niva om vannføring og konsentrasjoner i utløpsvannet som ble tatt for over ti år siden. Det foreligger ikke detaljer om prøvebehandling og analysemetoder, men da det er et FoU-prosjekt og har god frekvens i prøvetaking kan det likevel antas at det er god kvalitet på målingene.

- Effekten til trommefilteret ble ikke undersøkt da det ikke var i drift i den undersøkte perioden. Det er derfor uvisst hvilken effekt trommefilteret har for renseeffekten.

7. Konklusjon

7.1 Viktige funn fra litteratursøk og egne undersøkelser

Formålet med denne oppgaven var å undersøke hvilke viktige forurensinger som bør håndteres ved utslipp til vassdrag fra småskala landbasert fiskeoppdrett, og hvilke renseløsninger som er egnet for å håndtere denne type avløpsvann. Metoden som ble benyttet var litteraturgjennomgang av relevante erfaringer fra Norge og internasjonalt, samt prøvetaking av jord og vann på Noraker Gård.

Funn fra litteratursøket viser at særlig utslipp av fosfor, nitrogen og organisk materiale har en negativ miljøeffekt på vannforekomster, og at utslippsmengden i stor grad avhenger av fôr og renseløsning. Mekanisk rensing med filtrering og sedimentering er de mest benyttede metodene for rensing av avløp fra gjennomstrømningsanlegg, men det er ikke tilstrekkelig til å rense for oppløste næringsstoffer. Flere studier antyder at en viss resirkulering av vannet er nødvendig for å møte dagens renskrav, slik som demonstrert i Danmark med MTF. Mange av disse løsningene er imidlertid forbeholdt virksomheter som driver i større skala, ettersom teknologien er kostbar og krever kvalifisert driftspersonell. Når det gjelder naturbasert avløpsteknologi er det lite dokumentert erfaring i litteraturen, bortsett fra sedimenteringsdammer og konstruerte våtmarker.

Vannkvalitetsundersøkelsene på Noraker Gård indikerer at rensenanlegget ikke fungerte optimalt i den undersøkte perioden des. 2023 - feb. 2024, da konsentrasjonen av næringsstoffer og organisk stoff var høyere etter å ha passert rensenanlegget. Årsaken til dette er ikke fastslått, men observasjoner i felt antyder at det kan skyldes flere faktorer. Deriblant allokkon tilførsel av næringsstoffer fra nærliggende landbruk og skog, utspyling av sedimenter, utlekking av fosfor, og ender som skaper oppvirvling av partikler. Målingene viser imidlertid at det generelt er lave konsentrasjoner av de ulike forurensningene, utenom Tot-N og Tot-P som har moderat til høy tilførsel. I første omgang er det foreslått tiltak for å forbedre eksisterende rensenanlegg, da det anses som mer bærekraftig å prøve dette før man vurderer andre mer inngripende tiltak. Tiltak som er foreslått

er å undersøke dybden til sedimentene, forbedre oppholdstiden i våtmarken, etablere et trommelfilter ved den siste oppdrettsdammen, finere maskevidde, og la trommelfiltrene være i bruk hele året. Det er ingen konkrete råd knyttet til fôr og drift da systemet anses som tilfredsstillende i tråd med internasjonale anbefalinger.

Konfordelingsanalyse av jordprøvene indikerer at de stedlige massene er egnet til infiltrasjon, men konservative beregninger på hydraulisk kapasitet antyder at et infiltrasjonsanlegg i det undersøkte området vil ha begrenset evne til å ta unna alt vannet når vannføringen er på sitt største om sommeren. Det er behov for flere grunnundersøkelser, både i det undersøkte området og lenger nord, før anlegget kan dimensjoneres og utformes i terrenget.

7.2 Videre arbeid

Om sommeren er produksjonen på Noraker Gård større og det kan forventes at de biologiske prosessene i renseanlegget fungerer bedre. I tillegg vil trommelfilteret være i bruk. Det samme prøvetakingsregimet av vannprøver bør gjennomføres gjennom sommeren for å gi et mer representativt bilde av utslippet og ytelsen til renseanlegget. Dessuten bør tykkelsen på sedimentene i sedimenteringsdammene og våtmarken undersøkes, og eventuelt fjernes med gravemaskin.

Det anbefales å gjennomføre en fullskala infiltrasjonstest når snøen har smeltet, da en slik test vil gi et bedre grunnlag for å regne på hydrauliske forhold enn det kornfordelingsanalysen alene kan si. De stedlige massene ved Vikan, Amrudøye og nærmere resipienten bør undersøkes for egnethet til infiltrasjon (figur 7.1).



Figur 7.1: Forslag til områder (omtrentlige punkter) for grunnundersøkelser i videre arbeid. Bakgrunnskartet er hentet fra www.norgeskart.no.

Referanser

- Agtira (u.å.). *Färnska grönsaker varje dag, året rundt*. Lest 14.03.2024. URL: <https://www.agtira.com/odlingssystem/>.
- Akvakulturloven (2005). *Lov om akvakultur*. (LOV-2005-06-17-79). Lovdata. URL: <https://lovdata.no/lov/2005-06-17-79>.
- Amirkolaie, A. K. (2011). Reduction in the environmental impact of waste discharged by fish farms through feed and feeding. *Reviews in Aquaculture* 3 (1): 19–26. DOI: [10.1111/j.1753-5131.2010.01040.x](https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2010.01040.x).
- Axelsson, L. (2016). Rakkfisk. *Norsk tidsskrift for ernæring* 14 (4): 16–19. DOI: [10.18261/ntfe.14.4.4](https://doi.org/10.18261/ntfe.14.4.4).
- Bergheim, A. og Brinker, A. (2003). Effluent treatment for flow through systems and European environmental regulations. *Aquacultural Engineering* 27: 61–77. DOI: [10.1016/S0144-8609\(02\)00041-9](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(02)00041-9).
- Brinker, A., Koppe, W. og Rösch, R. (2005). Optimised effluent treatment by stabilised trout faeces. *Aquaculture* 249 (1-4): 125–144. DOI: [10.1016/j.aquaculture.2004.12.029](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.12.029).
- Caramel, B. P., Moraes, M. A. B., Carmo, C. F., Vaz-dos-Santos, A. M., Tabata, Y. A., Osti, J. A. S., Ishikawa, C. M., Cerqueira, M. A. S. og Mercante, C. T. J. (2014). Water quality assessment of a trout farming effluent, Bocaina, Brazil. *Journal of Water Resource and Protection* 6: 909–915. DOI: [10.4236/jwarp.2014.610086](https://doi.org/10.4236/jwarp.2014.610086).
- Chatvijitkul, S., Boyd, C. E. og Davis, D. A. (2018). Nitrogen, phosphorus, and carbon concentrations in some common aquaculture feeds. *Journal of the World Aquaculture Society* 49 (3): 477–483. DOI: [10.1111/jwas.12443](https://doi.org/10.1111/jwas.12443).
- Cole, D. W., Cole, R., Gaydos, S. J., Gray, J., Hyland, G., Jacques, M. L., Powell-Dunford, N., Sawhney, C. og Au, W. W. (2009). Aquaculture: Environmental, toxicological, and health issues. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 212 (4): 369–377. DOI: [10.1016/j.ijheh.2008.08.003](https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2008.08.003).
- Colquhoun, D., Garseth, Å.-H., Gudding, R., Helgesen, K. O., Holst-Jensen, A., Lillehaug, A., Løkka, G., Mo, T. A., Qviller, L. og Skaar, I. (2018). *Smitte mellom oppdrettsfisk og villfisk: Kunnskapsstatus og risikovurdering*. Tekn. rapp. 12 - 2018. Veterinærinstituttet. URL: <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901318/>.
- Dahl-Hansen, G. A. og Dahl-Hansen, I. E. (2015). *Tiltaksorientert overvåking av utslipp fra 6 fiskeoppdrettsanlegg i Valdres, Nord-Aurdal og Vestre Slidre kommuner, 2013-2014*. Tekn. rapp. 6389-02. Akvaplan-niva. URL: <https://www.statsforvalteren.no/siteassets/fm-innlandet/06-miljo-og-klima/forurensning/akvakultur/begna-utslippsovervakning-2013-2014---sluttrapport.pdf>.
- Dalsgaard, J. og Pedersen, P. B. (2011). Solid and suspended/dissolved waste (N, P, O) from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 313 (1-4): 92–99. DOI: [10.1016/j.aquaculture.2011.01.037](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.01.037).

- Dalsgaard, J., Lund, I., Thorarinsdottir, R., Drengstig, A., Arvonen, K. og Pedersen, P. B. (2013). Farming different species in RAS in Nordic countries: Current status and future perspectives. *Aquacultural Engineering* 53: 2–13. DOI: [10.1016/j.aquaeng.2012.11.008](https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.11.008).
- Dalsgaard, J., von Ahnen, M. og Pedersen, P. B. (2021). Nutrient removal in a slow-flowing constructed wetland treating aquaculture effluent. *Aquaculture Environment Interactions* 13: 363–376. DOI: [10.3354/aei00411](https://doi.org/10.3354/aei00411).
- Direktoratsgruppen vanndirektivet (2018). *Veileder 02:2018. Klassifisering av miljøtilstand i vann*. URL: <https://www.vannportalen.no/veiledere/klassifiseringsveileder/>.
- Elstrand, H. og Pålsrud, S. H. (18.april 2023). *Innlandet skal være med å redde Oslofjorden*. Statsforvalteren i Innlandet. Lest 15.02.2024. URL: <https://www.statsforvalteren.no/innlandet/miljo-og-klima/vann/innlandet-skal-vare-med-a-redde-oslofjorden/>.
- Farestveit, T. og Kryvi, H. (1986). Tiltak for å redusere belastninger fra fiskeoppdrett. *VANN* 21 (4): 530–537. URL: <https://vannforeningen.no/dokumentarkiv/tiltak-for-a-redusere-belastninger-fra-fiskeoppdrett/>.
- Fiskeridirektoratet (25.januar 2024). *Akvakulturstatistikk: matfiskproduksjon av laks, regnbueørret og ørret. Antall lokaliteter 2006-2023 (.xlsx)*. URL: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Laks-regnbueoerret-og-oerret/Matfiskproduksjon>.
- Fjellheim, A. J., Hess-Erga, O.-K., Attramadal, K. og Vadstein, O. (2016). *Resirkulering av vann i settefiskproduksjon. Bakgrunnshefte til kurs i resirkuleringsteknologi for settefiskproduksjon*. 2. utg. NIVA, SINTEF mfl. URL: https://folk.ntnu.no/skoge/diplom/prosjekt19/more-info-on-projects/RAS/7127-2017%20-%20RAS%20guide_NO_low.pdf.
- Folkehelseinstituttet (19.mars 2021). *Kjemiske og fysiske stoffer i drikkevann*. Lest 26.04.2024. URL: <https://www.fhi.no/sm/drikkevann/stoffer-i-drikkevann/kjemiske-og-fysiske-stoffer-i-drikkevann/kjemiske-og-fysiske-stoffer-i-drikkevann/?term=#totalt-organisk-karbon-toc>.
- Fornshell, G. og Hinshaw, J. M. (2008). Better Management Practices for Flow-Through Aquaculture Systems. I: *Environmental Best Management Practices for Aquaculture*. Red. av C. S. Tucker og J. A. Hargreaves. John Wiley & Sons, Inc. Kap. 9: 331–383. DOI: [10.1002/9780813818672](https://doi.org/10.1002/9780813818672).
- Forskrift om Rakfisk fra Valdres (2006). *Forskrift om beskyttelse av produktbetegnelsen Rakfisk fra Valdres som beskyttet geografisk betegnelse*. (FOR-2006-10-27-1196). Lovdata. URL: <https://lovdata.no/forskrift/2006-10-27-1196>.
- Forurensningsforskriften (2004). *Forskrift om begrensnig av forurensning*. (FOR-2004-06-01-931), Lovdata. URL: <https://lovdata.no/forskrift/2004-06-01-931>.
- Forurensningsloven (1983). *Lov om vern mot forurensninger og om avfall*. (LOV-1981-03-13-6). Lovdata. URL: <https://lovdata.no/lov/1981-03-13-6>.
- Frølich, T. og Paulsen, M. A. (27.april 2023). *Akvakultur i sjø eller på land – hva er status etter dommen i Losna Seafood-saken?* Kyst. Lest 20.04.2024. URL: <https://www.kyst.no/advokatfirmaet-thommessen-losna-seafood/akvakultur-i-sjo-eller-pa-land-hva-er-status-etter-dommen-i-losna-seafood-saken/1515783>.
- Faafeng, B. (1996). *Innsjø-sedimenter i Farstad- og Lilandsvassdragene. Om betydningen av indre gjødsling for bedring i vannkvaliteten*. Tekn. rapp. 3387. NIVA. URL: <https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/208640>.
- Guner, Y., Kizak, V., Saygi, H., Turan, G., Tekogul, H., Karacalar, U., Gulec, F. og Hekimoglu, M. (2016). Production Optimisation of a Land-Based Trout Farm and the Reduction of its

- Environmental Effects. *Ekoloji* 25 (98): 41–51. URL: https://www.researchgate.net/publication/301331234_Production_Optimisation_of_a_Land-Based_Trout_Farm_and_the_Reduction_of_its_Environmental_Effects.
- Halleraker, J. H. (5.mai 2023). *vanndirektivet*. Store norske leksikon. Lest 13.03.2024. URL: <https://snl.no/vanndirektivet>.
- Hamilton, H. A., Brod, E., Hanserud, O. S., Gracey, E. O., Vestrum, M. I., Bøen, A., Steinhoff, F. S., Müller, D. B. og Brattebø, H. (2016). Investigating Cross-Sectoral Synergies through Integrated Aquaculture, Fisheries, and Agriculture Phosphorus Assessments: A Case Study of Norway. *Journal of Industrial Ecology* 20: 867–881. DOI: [10.1111/jiec.12324](https://doi.org/10.1111/jiec.12324).
- Hess-Erga, O.-K., Furseth, K. og Dale, T. (2022). *Søknad, overvåking og kontroll med utslipp fra landbasert akvakultur*. Tekn. rapp. 7796-2022. NIVA. URL: <https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/3039242>.
- iLaks (15.februar 2019). *Hva er et godt RAS-fôr, og hvorfor er det så viktig?* Lest 20.01.2024. URL: <https://ilaks.no/hva-er-et-godt-ras-for-og-hvorfor-er-det-sa-viktig/>.
- Jenssen, P. D., Jonasson, S. A. og Heistad, A. (2006). *Naturbasert rensing av avløpsvann - en kunnskapssammenstilling med hovedvekt på norske erfaringer*. Tekn. rapp. VA-forsk 2006-20. Svensk Vatten AB. URL: <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/produkt/naturbasert-rensing-av-avlopsvann-en-kunnskapssammenstilling-med-hovedvekt-pa-norske-erfaringer/>.
- Jokumsen, A. og Svendsen, L. M. (2010). *Farming of freshwater rainbow trout in Denmark*. Tekn. rapp. 219-2010. DTU Aqua. URL: https://orbit.dtu.dk/files/6581106/219-10_Farming-of-freshwater-rainbow-trout-in-denmark-v2.pdf.
- Junge, R., König, B., Villarroel, M., Komives, T. og Jijakli, M. H. (2017). Strategic points in aquaponics. *Water* 9 (3): 182. DOI: [10.3390/w9030182](https://doi.org/10.3390/w9030182).
- Kashem, A. H. M., Das, P., Hawari, A. H., Mehariya, S., Thaher, M. I., Khan, S., Abduquadir, M. og Al-Jabri, H. (2023). Aquaculture from inland fish cultivation to wastewater treatment: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 22: 969–1008. DOI: [10.1007/s11157-023-09672-1](https://doi.org/10.1007/s11157-023-09672-1).
- Kaste, Ø., Skarbøvik, E. og Vogt R., D. (2023). *Utredning om parametere for suspendert stoff og organisk materiale kan inkluderes i klassifiseringssystemet for vann*. Tekn. rapp. 7860-2023. NIVA. URL: <https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/3067437>.
- Knutsen, E. og Monsen, Å. (6.mai 2024). *Landbasert akvakultur kontrolleres over hele landet*. Miljødirektoratet. Lest 06.05.2024. URL: <https://www.miljodirektoratet.no/aktuelt/fagmeldinger/2024/mai-2024/landbasert-akvakultur-kontrolleres-over-hele-landet/>.
- Lagerstedt, Å. (2024). *Kan takvann gjenbrukes som vannkilde i akvaponi?* [Masteroppgave]. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Lefrançois, P., Puigagut, J., Chazarenc, F. og Comeau, Y. (2010). Minimizing phosphorus discharge from aquaculture earth ponds by a novel sediment retention system. *Aquacultural Engineering* 43: 94–100. DOI: [10.1016/j.aquaeng.2010.07.002](https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.07.002).
- Lekang, O.-I. og Fjæra, S. O. (2002). *Teknisk utstyr til fiskeoppdrett: teknisk fagskole, linje for naturbruk, fordypningsområde akvakultur*. 2. utg. GAN Forlag AS.
- Lekang, O.-I. (2013). Removal of Particles: Traditional Methods. I: *Aquaculture Engineering*. 2. utg. John Wiley & sons, Ltd. Kap. 6: 50–65.
- Lindroos, A. J., Lindholm-Lehto, P., Pulkkinen, J., Kiuru, T. og Vielma, J. (2020). The Effect of Filtration with Natural Esker Sand on the Removal of Organic Carbon and Suspended

- Solids from the Effluent of Experimental Recirculating Aquaculture Systems. *Water, Air, and Soil Pollution* 231: 209. DOI: [10.1007/s11270-020-04589-9](https://doi.org/10.1007/s11270-020-04589-9).
- Lomnes, B. S., Senneset, A. og Tevasvold, G. (2019). *Kunnskapsgrunnlag for rensing av utslipp fra landbasert akvakultur*. Tekn. rapp. M-1568. Rambøll. URL: <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2019/desember-2019/kunnskapsgrunnlag-for-rensing-av-utslipp-fra-landbasert-akvakultur/>.
- Løvik, J. E. og Brettum, P. (2009). *Overvåking av miljøtilstand i innsjøer i Valdres 2009*. Tekn. rapp. 5958. NIVA. URL: <https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/214936>.
- Marques, É. A. T., Filho, G. Q. D. L., De Oliveira, C. R., Cunha, M. C. C., Calado, S. C. D. S. og Sobral, M. D. C. M. (2019). Improving wastewater quality of a fish farm in Itacuruba, Northeastern Brazil. *Advances in Oceanography Marine Biology* 10 (3). DOI: [10.3352/AOMB.2019.01.000515](https://doi.org/10.3352/AOMB.2019.01.000515).
- Martinussen, V. S. W. og Skullerud, M. (2022). *Landbasert oppdrett av atlantisk laks (Salmo salar)*. [Masteroppgave]. Brage NMBU. URL: <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/3027243>.
- Meteorologisk institutt og NRK (2023). *Fagernes målestasjon. Des. 2023*. Lest 08.05.2024. URL: <https://www.yr.no/nb/historikk/graf/1-537760/Norge/Innlandet/Nord-Aurdal/Valdres?q=2023-12>.
- Meteorologisk institutt og NRK (2024a). *Fagernes målestasjon. Feb. 2024*. Lest 08.05.2024. URL: <https://www.yr.no/nb/historikk/graf/1-537760/Norge/Innlandet/Nord-Aurdal/Valdres?q=2024-02>.
- Meteorologisk institutt og NRK (2024b). *Fagernes målestasjon. Jan. 2024*. Lest 08.05.2024. URL: <https://www.yr.no/nb/historikk/graf/1-537760/Norge/Innlandet/Nord-Aurdal/Valdres?q=2024-01>.
- Meteorologisk institutt og NRK (2024c). *Fagernes målestasjon. Siste 13 måneder*. Lest 08.05.2024. URL: <https://www.yr.no/nb/historikk/graf/1-537760/Norge/Innlandet/Nord-Aurdal/Valdres?q=siste-13-m%C3%A5neder>.
- Miljødirektoratet (2022). *Aurdal renseanlegg*. Norske utslipp. Lest 18.01.2024. URL: <https://www.norskeutslipp.no/no/Diverse/Virksomhet/?CompanyID=9438>.
- Miljødirektoratet (7.februar 2024). *Akvakultur-oppdrett*. Lest 15.02.2024. URL: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/vann-hav-og-kyst/Akvakultur-fiskeoppdrett/>.
- Miljødirektoratet (u.å.[a]). *Aurdalsfjorden (Dokkafjorden)*. Vann-Nett. Lest 29.04.2024. URL: <https://vann-nett.no/portal/#/waterbody/012-565-L>.
- Miljødirektoratet (u.å.[b]). *Fløafjorden, Dokkafjorden tilløpsbekker*. Vann-Nett. Lest 29.04.2024. URL: <https://vann-nett.no/portal/#/waterbody/012-1897-R>.
- Misund, B. (21.januar 2023a). *fiskeoppdrett*. Store Norske Leksikon. Lest 15.01.2024. URL: <https://snl.no/fiskeoppdrett>.
- Misund, B. (29.desember 2023b). *fôrfaktor*. Store Norske Leksikon. Lest 15.01.2024. URL: <https://snl.no/f%C3%B4rfaktor>.
- Molvær, J. (1991). Større utslipp til fjord- og kystvann – Har rensing noen hensikt? *VANN* 26 (4): 395–402. URL: <https://vannforeningen.no/dokumentarkiv/storre-utslipp-til-fjord-og-kystvann-har-rensing-noen-hensikt/>.
- Mæhlum, T. (u.å.). *Vannmiljø - Naturbaserte løsninger*. NIBIO. Lest 08.04.2024. URL: <https://www.nibio.no/tema/miljo/vannmiljo-naturbaserte-systemer>.

- Nerbø, K. H. (2022). Krav til utredning av miljøkonsekvenser i vann. I: *Vann, juss og samfunn - Rettigheter og regulering i utvikling*. Red. av S. Taubøll. Cappelen Damm Akademisk. Kap. 10: 331–357. DOI: <https://doi.org/10.23865/noasp.176.ch10>.
- Nærings- og fiskeridepartementet (des. 2022). *Midlertidig stans i muligheten til å søke om tillatelser til akvakultur på land [Pressemelding]*. Regjeringen. Lest 17.04.2024. URL: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/midlertidig-stans-i-muligheten-til-a-soke-om-tillatelser-til-akvakultur-pa-land/id2952346/>.
- Olsen, Y., Tokle, N. og Vadstein, O. (2012). Hvordan forvalte vannmassene? Om samspillet mellom næringsaltutslipp og det planktoniske økosystemet. I: *Kampen om plass på kysten*. Universitetsforlaget. Kap. 11: 199–216. DOI: [10.18261/9788215050966-2012-12](https://doi.org/10.18261/9788215050966-2012-12).
- Ormerod, K. (1979). Biologiske forhold og prosesser i vann. *VANN* 14 (1b): 16–24. URL: <https://vannforeningen.no/dokumentarkiv/biologiske-forhold-og-prosesser-i-vann/>.
- Palm, J. (nov. 2019). *I symbiose med tomater – fremtidens miljøsmarte oppdrettsfisk?* Aftenposten. Lest 15.03.2024. URL: <https://www.aftenposteninnsett.no/klimamilj/i-symbiose-med-tomater-fremtidens-milj-smarte-oppdrettsfisk>.
- Pedersen, B. og Kofstad, P. K. (11.juli 2023). *fosfor*. Store norske leksikon. Lest 07.04.2024. URL: <https://snl.no/fosfor>.
- Pedersen, T. (29.juni 2023). *Rakfiskprodusenter må ha fornyede utslippstillatelser*. Statsforvalteren i Innlandet. Lest 10.01.2024. URL: <https://www.statsforvalteren.no/innlandet/miljo-og-klima/forurensning/rakfiskprodusenter-ma-ha-fornyede-utslippstillatelser/>.
- Pulkkinen, J. T., Ronkanen, A. K., Pasanen, A., Kiani, S., Kiuru, T., Koskela, J., Lindholm-Lehto, P., Lindroos, A. J., Muniruzzaman, M., Solismaa, L., Klöve, B. og Vielma, J. (2021). Start-up of a “zero-discharge” recirculating aquaculture system using woodchip denitrification, constructed wetland, and sand infiltration. *Aquacultural Engineering* 93. DOI: [10.1016/j.aquaeng.2021.102161](https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102161).
- Raver, D. (1975). *Rainbow trout*. [Fotografi]. U.S. Fish and Wildlife Service. URL: <https://digitalmedia.fws.gov/digital/collection/natdiglib/id/27690/rec/9>.
- Rise, T., Hensel, G. R., Westlie, L., Myrre, J. O. og Mæhlum, T. (2021). *Undersøkelser som grunnlag for valg av avløpsløsning*. Tekn. rapp. 262/2021. Norsk Vann.
- Rosten, T. W. (2009). Oksygen i vann – hva er det beste for fisken? *VANN* 44 (4): 367–374. URL: <https://vannforeningen.no/dokumentarkiv/oksygen-i-vann-hva-er-det-beste-for-fisken/>.
- Rosten, T. W. (2015). Karakterisering av avløpsvann fra norske landbaserte settefiskanlegg. *VANN* 50 (3): 267–277. URL: <https://vannforeningen.no/dokumentarkiv/karakterisering-av-avlopsvann-fra-norske-landbaserte-settefiskanlegg/>.
- Sangolt, H. (9.mai 2022). *Miljømål i vannforskriften*. Vannportalen. Lest 10.04.2024. URL: <https://www.vannportalen.no/miljomal/miljomal2/>.
- Sindilariu, P. D., Reiter, R. og Wedekind, H. (2009). Impact of trout aquaculture on water quality and farm effluent treatment options. *Aquatic Living Resources* 22 (1): 93–103. DOI: [10.1051/alr/2009009](https://doi.org/10.1051/alr/2009009).
- Skoronski, E., Gonçalves, A. F. N., Melim, E. W. H., Aguiar, A. R. d., Libardo, K., Fritzke, W. og Fabregat, T. E. H. P. (2018). Evaluation of small-scale trout farming impact on water quality in Santa Catarina State, Brazil. *Latin american journal of aquatic research* 46 (5): 981–988. DOI: [10.3856/vol46-issue5-fulltext-11](https://doi.org/10.3856/vol46-issue5-fulltext-11).

- Snow, A., Anderson, B. og Wootton, B. (2012). Flow-through land-based aquaculture wastewater and its treatment in subsurface flow constructed wetlands. *Environmental Reviews* 20 (1): 54–69. DOI: [10.1139/a11-023](https://doi.org/10.1139/a11-023).
- Solbakken, J., Windmar, L., Liltved, H., Hesjevik, J. I. og Johannson, R. (2008). *Beste tilgjengelige teknikker (BAT) for fiskeoppdrett i Norden: Kortversjon*. Tekn. rapp. TemaNord 2008:546. Nordisk ministerråd. DOI: [10.6027/TN2008-546](https://doi.org/10.6027/TN2008-546).
- Sommerset, I., Wiik-Nielsen, J., Oliviera, V. H. S., Moldal, T., Bornø, G., Haukaas, A. og Brun, E. (2023). *Fiskehelsesrapporten 2022*. Tekn. rapp. 5a/2023. Veterinærinstituttet. URL: <https://www.vetinst.no/rapporter-og-publikasjoner/rapporter/2023/fiskehelsesrapporten-2022>.
- Stevik, T. K. (2000). Bruk av infiltrasjonsløsninger til rensing av avløpsvann fra fiskeoppdrett. *VANN* 35 (1): 38–41. URL: <https://vannforeningen.no/dokumentarkiv/bruk-av-infiltrasjonslosninger-til-rensing-av-avlopsvann-fra-fiskeoppdrett/>.
- Taranger, G. L. (2.januar 2023). *Tema: Landbaserte oppdrettsanlegg/lukkede anlegg*. Havforskningsinstituttet. Lest 20.01.2024. URL: <https://www.hi.no/hi/temasider/akvakultur/landbaserte-oppdrettsanlegg-lukkede-anlegg>.
- Tryland, I., Mæhlum, T., Wennberg, A. C., Paruch, A. M., Krystad, R., Paruch, L., Ranneklev, S., Moe, T. F., Haande, S., Myrmel, M., Robertson, L., Fergus, T., Beschorner, A.-L. og Kvitsjøen, J. (2017). *Tiltak for å oppnå bedre hygienisk vannkvalitet til rekreasjonsformål i overvann og byvassdrag - forprosjekt for å identifisere forskningsbehov*. Tekn. rapp. 7190-2017. Akvaplan-niva. URL: <https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/2480511>.
- Turcios, A. E. og Papenbrock, J. (2014). Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents—What Can We Learn from the Past for the Future? *Sustainability* 6 (2): 836–856. DOI: [10.3390/su6020836](https://doi.org/10.3390/su6020836).
- VA/Miljø-blad nr.59 (2018). *Lukkede infiltrasjonsanlegg for sanitært avløpsvann*. Tekn. rapp. URL: <https://www.va-blad.no/lukkede-infiltrasjonsanlegg/>.
- Vannforskriften (2006). *Forskrift om rammer for vannforvaltningen*. (FOR-2006-12-15-1446). Lovdata. URL: <https://lovdata.no/forskrift/2006-12-15-1446>.
- Vestland, M., Robertsen, K. R. og Hilmo, B. O. (2019). *Hydrogeologisk grunnundersøkelse. Infiltrasjon av utslippsvann fra landbasert fiskeoppdrett*. Tekn. rapp. Asplan Viak. URL: <https://www.oppdal.kommune.no/globalassets/pdfdokumenter/plan-miljo-og-landbruk/miljo/driva-aquaculture-as---skoresbruholen/vedlegg-18-resultat-fra-hydrogeologiske-grunnundersokelser.pdf>.
- Våge, K. og Stabell, T. (2018). *Vassdragsovervåking i vannområde Valdres 2015-2017*. Tekn. rapp. 014-2018. Faun naturforvaltning.
- White, P. (2013). Environmental consequences of poor feed quality and feed management. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* 583: 553–564. URL: <https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/T583/root/21.pdf>.
- Winther, U., Prestvik, Ø., Ulgenes, Y., Heide, M., Nilssen, F., Haug, L., Uhlig, C., Jensen, H., Siikavuopio, S. og Sæther, B.-S. (2010). *En mulighetsstudie for økt vekst innen innlandsoppdrett*. Tekn. rapp. SFH80 A106041. SINTEF Fiskeri og havbruk AS. URL: <https://nofima.brage.unit.no/nofima-xmlui/handle/11250/2482709>.
- Woynarovich, A., Hoitsy, G. og Moth-Poulsen, T. (2011). Small-scale rainbow trout farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* 561. URL: <https://www.fao.org/3/i2125e/i2125e.pdf>.
- Ødegaard, H. (2014). *Vann- og avløpsteknikk*. 2. utg. Norsk Vann.

- Ørnsrud, R. (2.mars 2021). *Tema: Fôr og ernæring*. Havforskningsinstituttet. Lest 20.01.2024.
URL: <https://www.hi.no/hi/temasider/akvakultur/for-og-ertering>.
- Aarhus, I. J., Høy, E., Fredheim, A. og Winther, U. (2011). *Kartlegging av ulike teknologiske løsninger for å møte de miljømessige utfordringene i havbruksnæringen*. Tekn. rapp. F18718. SINTEF Fiskeri og havbruk. URL: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/rapport-sintef-fiskeri-og-havbruk/id654479/>.

Vedlegg A. Analysemetoder

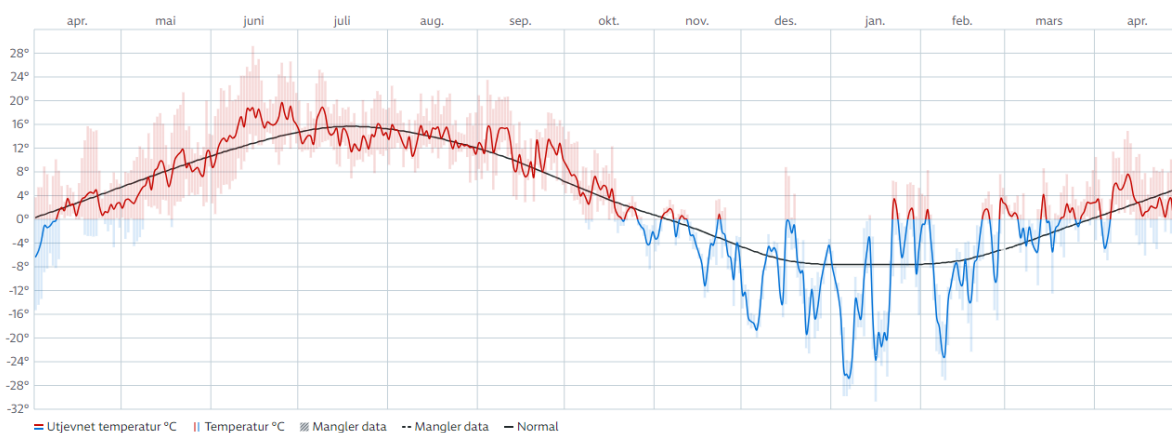
Som presentert i avsnitt 4.2.3.

Tabell A.1: Oversikt over analysemetoder.

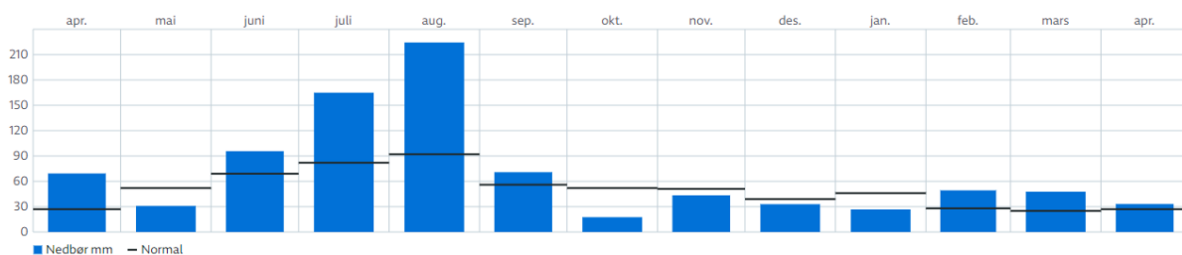
Analyse	Standard
Tot-N	Intern metode (KJ-005)
Tot-P	Intern metode (KJ-001)
PO4-P	Intern metode (KJ-002)
TOC	NS-EN 1484
NH4-N	ISO 15923-1
BOF5	NS-EN ISO 5815-1
SS	NS-EN 872
Cl	NS-EN ISO 10304-1
NO2	NS-EN ISO 10304-1
NO3	NS-EN ISO 10304-1
KOF	NS-ISO 15705
pH	NS-EN ISO 10523
Konduktivitet	NS-ISO 7888

Vedlegg B. Værdata

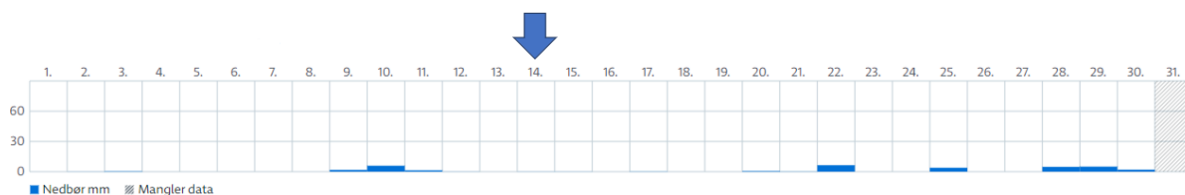
Som presentert i avsnitt 5.3.1.



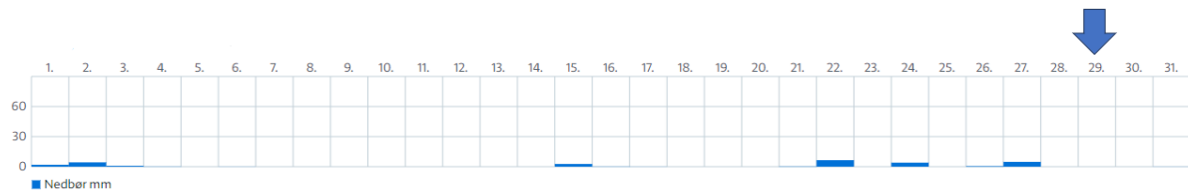
Figur B.1: Temperatur målt ved Fagernes målestasjon i perioden april 2023 - april 2024. Kilde: Yr (Meteorologisk institutt og NRK, 2024c).



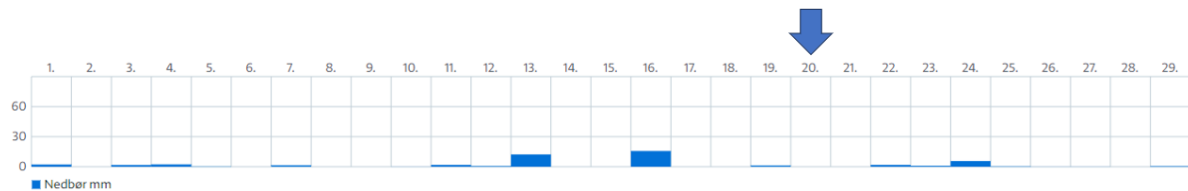
Figur B.2: Nedbør målt ved Fagernes målestasjon i perioden april 2023 - april 2024. Kilde: Yr (Meteorologisk institutt og NRK, 2024c).



Figur B.3: Nedbør målt ved Fagernes målestasjon i desember 2023. Prøvetaking på Noraker Gård gjennomført 14.des (markert med pil). Kilde: Yr (Meteorologisk institutt og NRK, 2023).



Figur B.4: Nedbør målt ved Fagernes målestasjon i januar 2024. Prøvetaking på Noraker Gård gjennomført 29.jan (markert med pil). Kilde: Yr (Meteorologisk institutt og NRK, 2024b).



Figur B.5: Nedbør målt ved Fagernes målestasjon i februar 2024. Prøvetaking på Noraker Gård gjennomført 20.feb (markert med pil). Kilde: Yr (Meteorologisk institutt og NRK, 2024a).

Vedlegg C. Vannføringsmålinger

Som presentert i avsnitt 5.3.2.

Tabell C.1: Vannføring målt ut av renseanlegget på Noraker Gård i perioden juni 2013 - mars 2014.

Dato	Vannføring [l/s]
3.juni	108
10.juni	153
17.juni	135
24.juni	140
2.juli	138
8.juli	140
15.juli	131
23.juli	120
29.juli	107
5.aug.	174
12.aug.	136
19.aug.	140
27.aug.	145
2.sep.	142
16.sep.	155
30.sep.	74
15.okt.	43
19.nov.	55
13.des.	58
16.jan.	54
14.feb.	53
14.mars	68
31.mars	34

Kilde: Tilsendt på e-post fra
Geir Aksel P. Dahl-Hansen

Vedlegg D. Tabellverdier for vannkvalitetsundersøkelser

Som presentert i avsnitt 5.3.3.

Tabell D.1: Konsentrasjoner av eutrofieringsparametere målt ut av renseanlegget på Noraker Gård i perioden juni 2013 - mars 2014.

Dato	Tot-N [µg/l]	Tot-P [µg/l]
3.juni	680	43
10.juni	380	38
17.juni	410	36
25.juni	500	73
2.juli	500	65
8.juli	750	24
15.juli	750	110
23.juli	1000	140
29.juli	1200	150
5.aug.	1000	130
12.aug.	910	120
19.aug.	910	120
27.aug.	900	100
2. sep.	890	110
16.sep.	1100	130
30.sep.	820	98
15.okt.	730	92
19.nov.	680	76
13.des.	770	80
16.jan.	820	85
14.feb.	1200	120
14.mars	680	43
31.mars	700	46

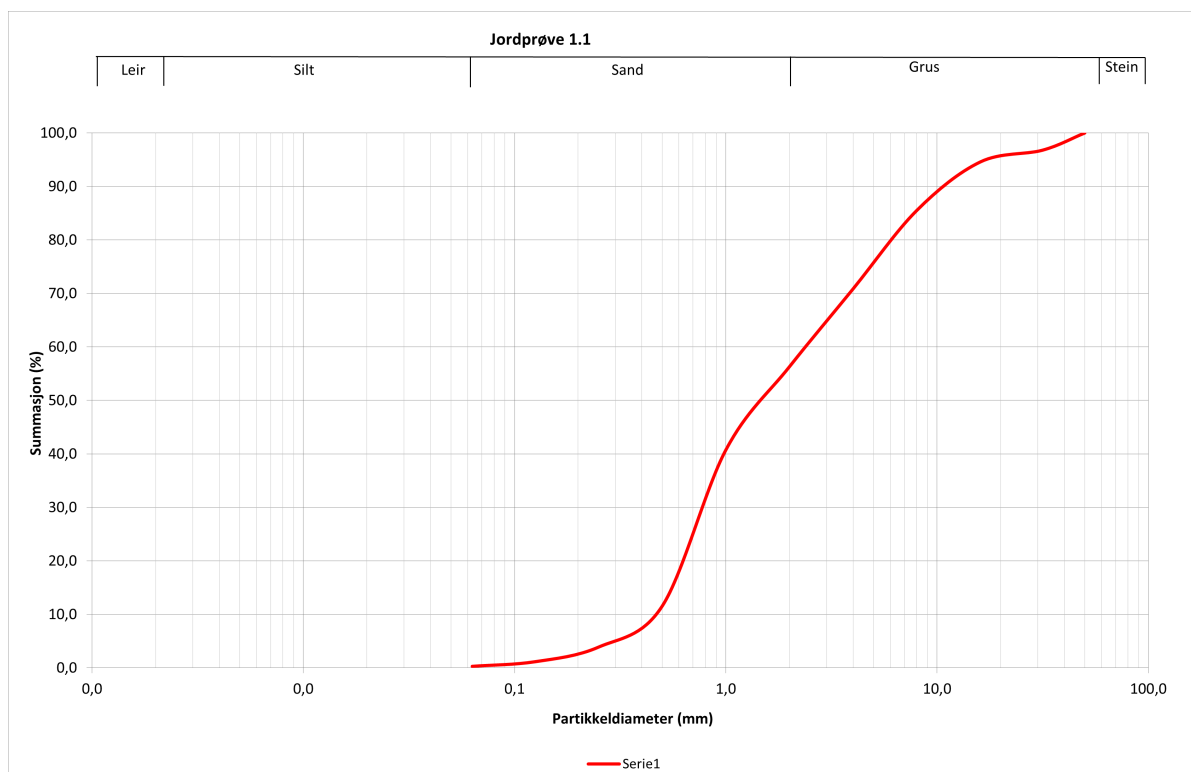
Kilde: Tilsendt på e-post fra Geir Aksel P. Dahl-Hansen

Tabell D.2: Konsentrasjoner av de ulike analyseparameterne ved alle fem prøvepunktene (figur 4.1) på Noraker Gård. Gjennomsnittsverdier (n=3) for perioden des. 2023 - feb. 2024. Verdier er angitt som gjennomsnitt og standardavvik.

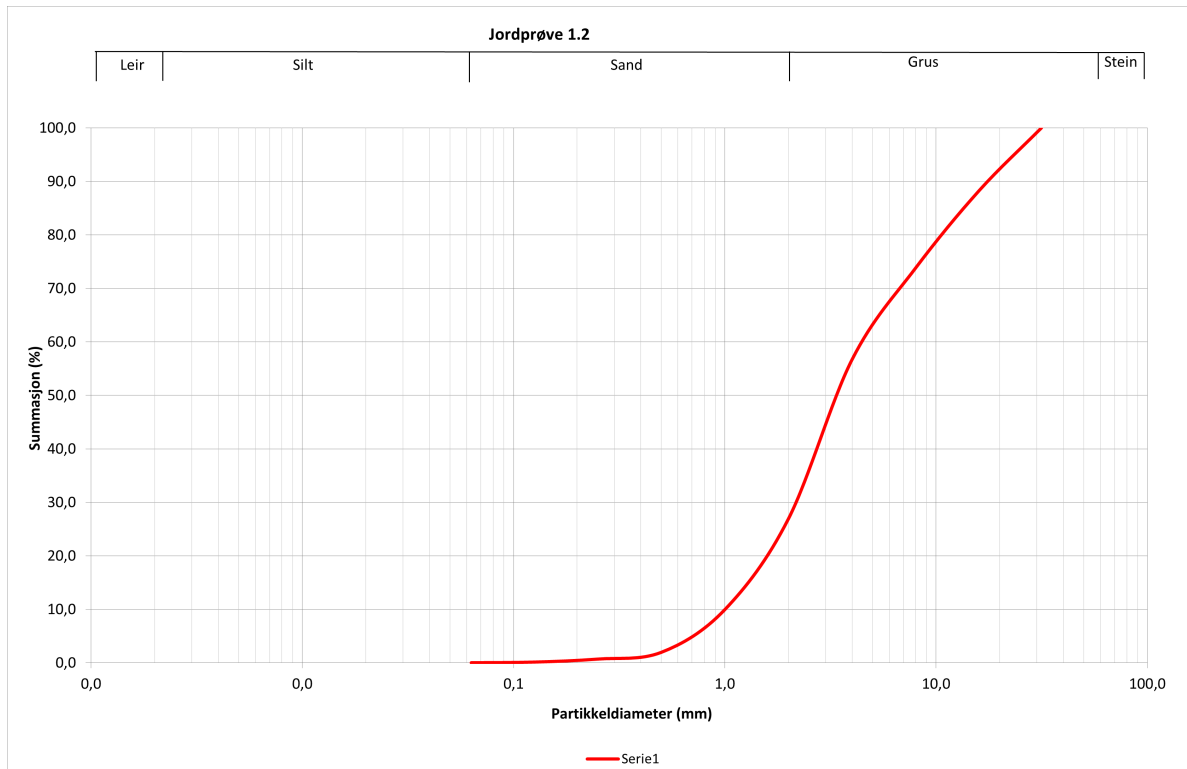
Parameter	Uttak				
	Innløp oppdrettsdam	Utløp oppdrettsdam	Utløp sedimenteringsdam	Utløp våtmark	Kanal i nærheten av planlagt infiltrasjonsanlegg
Tot-N (µg/l)	123 ± 58	290 ± 108	363 ± 124	460 ± 61	457 ± 80
NH4-N (µg/l)	43 ± 21	143 ± 57	107 ± 41	94 ± 9	72 ± 6
NO3-N (µg/l)	38 ± 15	66 ± 25	85 ± 26	264 ± 47	273 ± 45
NO2-N (µg/l)	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15
Tot-P (µg/l)	< 4	27 ± 22	52 ± 21	52 ± 18	47 ± 16
PO4-P (µg/l)	< 4	11 ± 7	25 ± 23	34 ± 9	20 ± 12
TOC (mg/l)	2,6 ± 0,3	2,4 ± 0,1	2,6 ± 0,3	2,5 ± 0,2	2,5 ± 0,3
BOF5 (mg/l)	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
KOF (mg/l)	6,3 ± 1,2	6,7 ± 0,6	8,0 ± 1,0	7,7 ± 0,6	7,3 ± 0,6
SS (mg/l)	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Cl (µg/l)	333 ± 12	370 ± 20	373 ± 6	640 ± 40	630 ± 53

Vedlegg E. Kornfordelingsdiagrammer

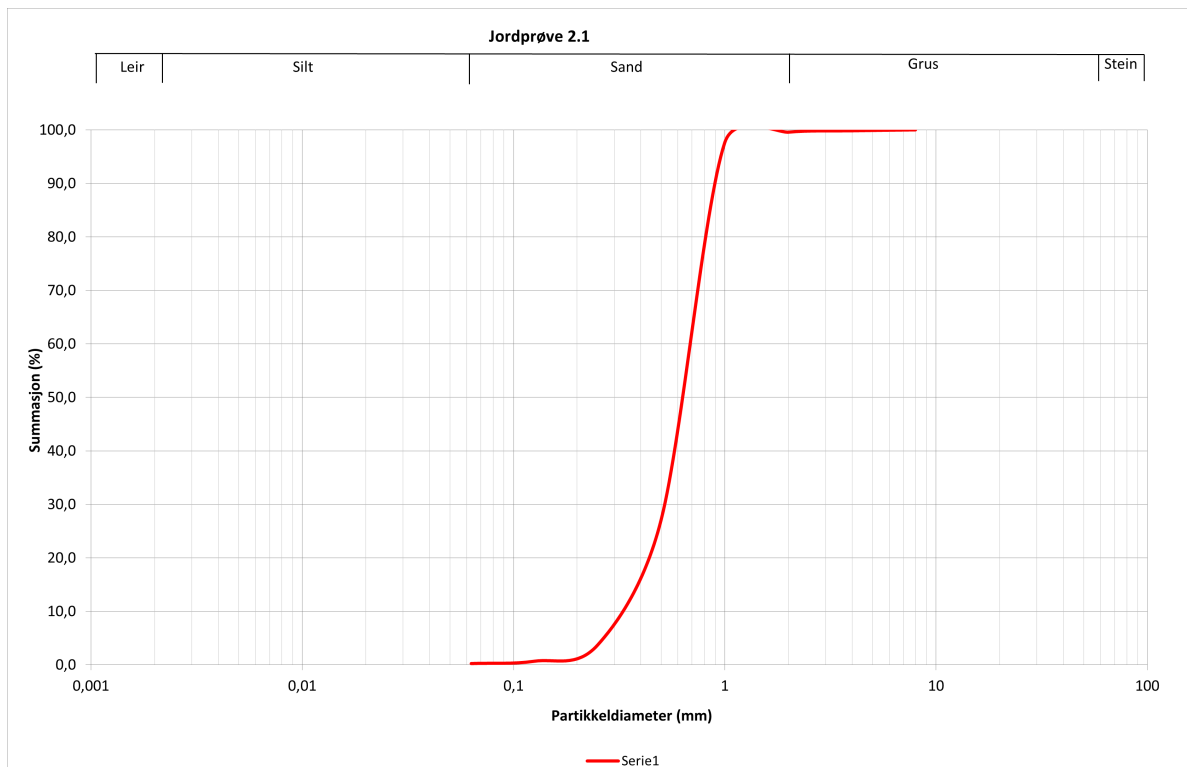
Som presentert i avsnitt 5.3.4



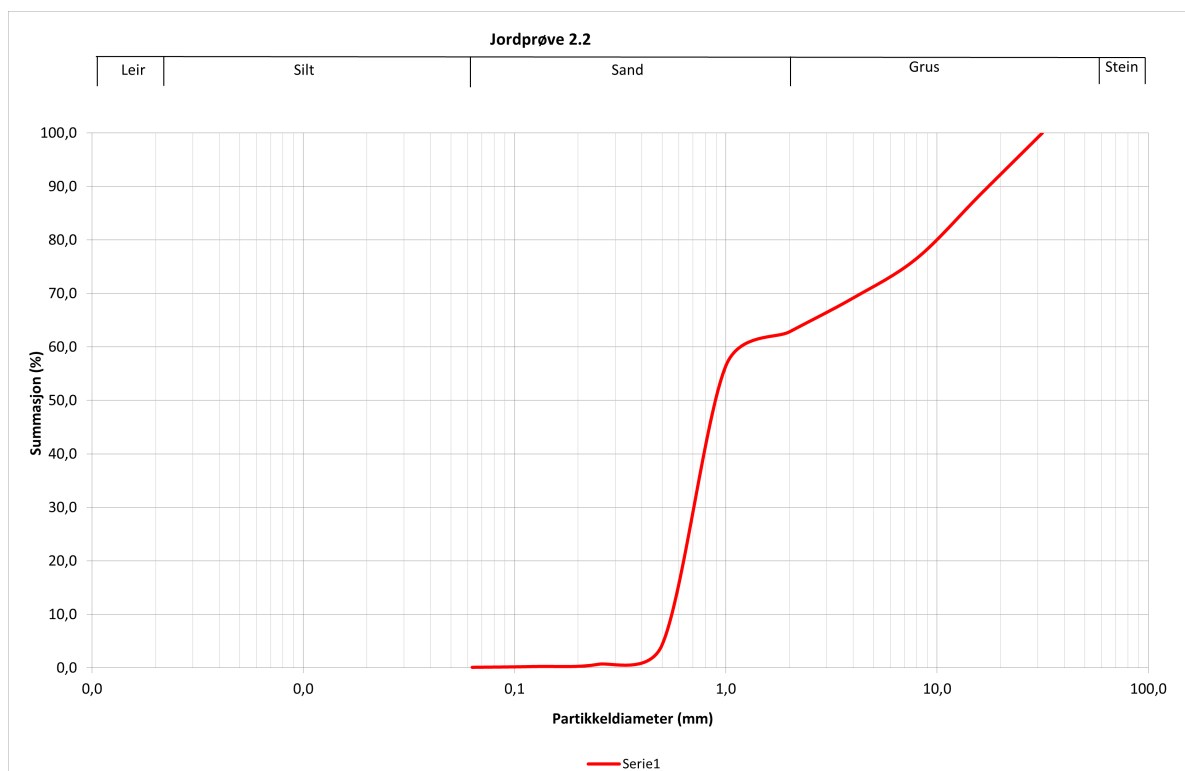
Figur E.1: Fra øvre sjikt i prøvehull 1 på Noraker Gård. Uttak fra 30 cm dyp.



Figur E.2: Fra nedre sjikt i prøvehull 1 på Noraker Gård. Uttak fra 130 cm dyp.



Figur E.3: Fra øvre sjikt i prøvehull 2 på Noraker Gård. Uttak fra 70 cm dyp.



Figur E.4: Fra nedre sjikt i prøvehull 2 på Noraker Gård. Uttak fra 120 cm dyp.



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway