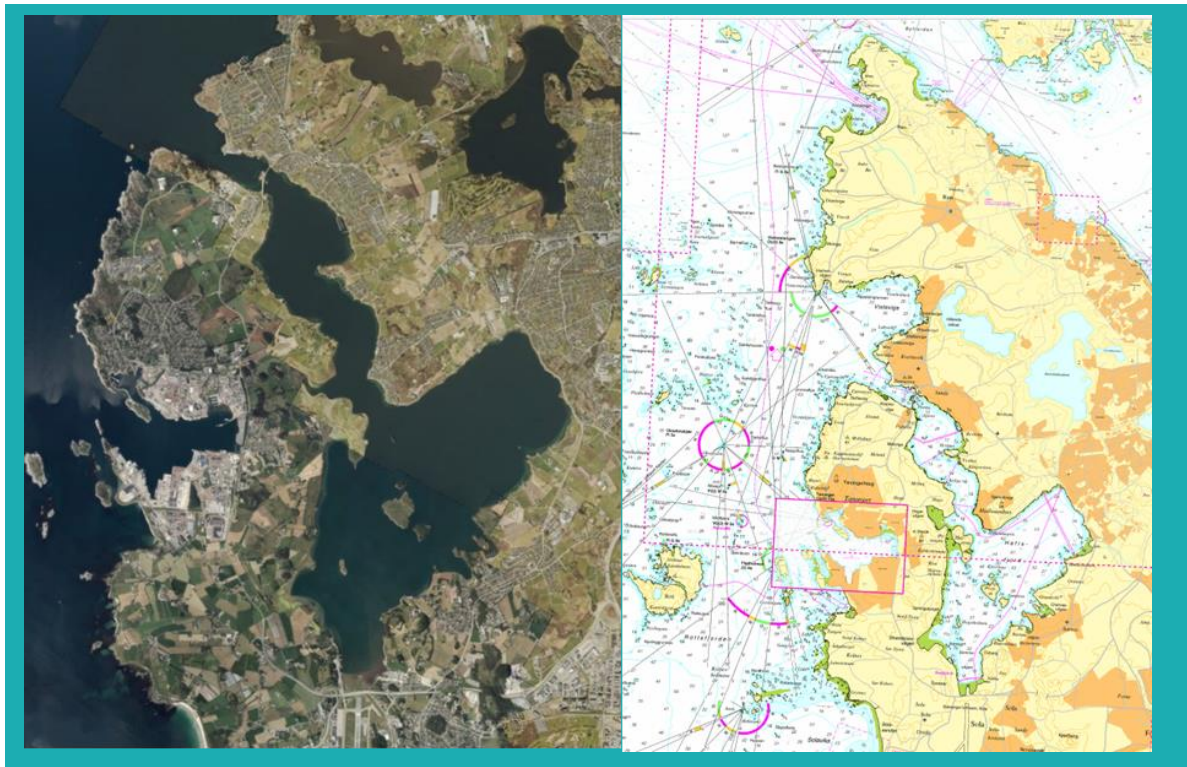


Er fjordforbedring en god ide for Hafrsfjord?

Forfatter:

Renée Katrin Bechmann

Rapport 1-2022 NORCE Klima og miljø



Rapporttittel	Er fjordforbedring en god ide for Hafrsfjord?
Prosjektnummer	104643
Institusjon	NORCE Klima og miljø
Oppdragsgiver	Miljødirektoratet
Gradering	Åpen
Rapportnr	1-2022 NORCE Klima og miljø
ISBN	978-82-8408-193-9
Antall sider	53
Publiseringsdato	Januar 2022
Geografisk område	Hafrsfjord, Rogaland
Stikkord	Hafrsfjord, Rogaland, oksygenmangel, fjordforbedring, forurensning, overgjødsling, terskelfjord, miljøgifter, miljøtiltak
Sammendrag	

Reduksjon i tilførsel av næringssalter og organisk materiale til fjorden og fjerning av bruffylling som har snevret inn innløpet er viktige tiltak for å bedre oksygenforholdene i dypet av Hafrsfjord. Hvis miljømyndighetene ønsker å inkludere nedpumping av overflatevann i tiltakspakken bør man bruke modellering for å dimensjonere tiltaket og deretter overvåke miljøet for å se om alt går som planlagt. Hensikten med å pumpe ned vann er å bidra til hyppigere dypvannsutskiftninger som gir bedre oksygenforhold. Negative effekter av tiltaket på de ulike naturtypene i fjorden må unngås, derfor er det viktig å ha mulighet til raskt å kunne stoppe pumpingen hvis det oppstår uønskede effekter, spesielt for mye hydrogensulfid og næringssalter i de øvre vannmassene i fjorden.

Revisjoner

Rev.	Dato	Forfatter	Kontrollert av	Godkjent av	Årsak til revisjon
	6/1-2022	 R. K. Bechmann	Fiona Provan	 Fiona Provan	(første utgave)

Innhold

1.	Bakgrunn og innledning	3
2.	Naturtyper i Hafrsfjord.....	4
2.1.	Marin sedimentbunn preget av oksygenmangel	4
2.2.	Eufotisk marin sedimentbunn	5
2.2.1.	Bløtbunnsområder i strandsonen er svært viktige for fugl.....	5
2.2.2.	Stillehavsøsters: En fremmed art med svært høy risiko	5
2.2.3.	En liten historie om vann som forsvant	6
2.3.	Marin undervannseng	7
2.4.	Eufotisk fast saltvannsbunn	7
2.5.	Sirkulerende vannmasser i fysisk avgrensede saltvannsforekomster.....	8
3.	Økologisk og kjemisk tilstand før og nå.....	9
3.1.	Oksygen i dypvannet	9
3.2.	Både overgjødning og klimaendring påvirker oksygenforholdene.....	11
3.3.	Liv i sedimentet	12
3.4.	Miljøgifter.....	16
3.5.	Hva vil skje med miljøgiftene hvis oksygenforholdene blir bedre?	18
4.	Kan fisken komme tilbake?	22
4.1.	Hva vet vi egentlig om fisk i Hafrsfjord?.....	22
4.2.	Hvordan står det til med fisken utenfor Hafrsfjord?.....	27
4.3.	Vil tiltak i Hafrsfjord gi mer fisk i fjorden?.....	28
5.	Vurdering av tiltak for å bedre miljøtilstanden	29
5.1.	Planlagte tiltak.....	29
5.2.	Fjordforbedring i tillegg?.....	33
6.	Hvis fjordforbedring inkluderes i tiltakspakken.....	39
6.1.	Fjordforbedring: Modellering og dimensjonering.....	39
6.2.	Overvåking.....	40
6.3.	Hindre skadelige bivirkninger.....	41
6.4.	Ønsker lokalbefolkningen at fjordforbedring inngår i tiltakspakken?	42
6.5.	Bivirkninger av alle typer tiltak som motvirker oksygenmangel i sediment.....	42
7.	Sammendrag med anbefalinger	44
8.	Litteratur	46

1. Bakgrunn og innledning

NORCE ble kontaktet av gründeren Rune Freyer (Freyer Holding AS) i august 2020 angående hans ide om å bringe liv tilbake til Hafrsfjord ved å pumpe oksygenrikt overflatevann ned i dypet. Metoden han foreslo var inspirert av et prosjekt i Byfjorden utenfor Uddevalla på vestkysten av Sverige (Stigebrandt et al. 2015). Freyer flyttet til Stavanger (Hafrsfjord) i 1970. Han forteller at «*Det va folllt av båder her, du konne gå tvers øve fjorden på fiskebåder. Alt levde i straen, småe fiskar, skjell, krabber. Det va møye mer sjøfoggel.*» Freyer hadde snakket med folk som fisket i fjorden på 1970-tallet og mente at det var masse fisk i Hafrsfjord den gangen. Han håpet at fjordforbedring kunne bidra til at det ble mer av både fisk og sjøfuglen.

Fiona Provan fra NORCE arrangerte først et internt møte med Freyer og senere et møte med forvaltningen for å diskutere Freyers ide. I januar 2021 søkte NORCE Miljødirektoratet om *Tilskudd til vassmiljøtiltak - generell vassforvaltning (21S5D800)* for å gjøre en evaluering av mulige positive og negative konsekvenser av å pumpe oksygenrikt overflatevann ned i dypet i Hafrsfjord som et miljøforbedringstiltak. Prosjektet ble innvilget i juli 2021. Prosjektets tittel er *Oksygenering av Hafrsfjord – En mulighetsanalyse*, og dette er prosjektrapporten.

Rapporten tar for seg de ulike naturtypene i Hafrsfjord (Kapittel 2), økologisk og kjemisk tilstand i fjorden før og nå (Kapittel 3), fisk i fjorden (Kapittel 4), en oversikt over planlagte og foreslåtte tiltak for å bedre miljøtilstanden (Kapittel 5.1) og en oversikt over ulike fjordforbedringstiltak testet ut i Norge og Sverige, med fokus på nedpumping av overflatevann (Kapittel 5.2). Reduksjon i tilførsel av næringsalter og organisk materiale til fjorden og fjerning av brufylling som har snevret inn innløpet er viktige tiltak for å bedre oksygenforholdene i dypet av Hafrsfjord. Kapittel 6 omhandler hva miljømyndighetene bør huske på hvis de i tillegg ønsker å inkludere nedpumping av overflatevann i tiltakspakken for Hafrsfjord. Det anbefales å bruke modellering for å dimensjonere tiltaket og deretter overvåke miljøet for å se om alt går som planlagt. Negative effekter av tiltaket på de ulike naturtypene i fjorden må unngås, derfor er det viktig å ha mulighet til raskt å kunne stoppe pumpingen hvis det oppstår uønskede effekter, som for mye hydrogensulfid og næringsalter i de øvre vannmassene i fjorden.

Etter å ha lest relevant litteratur om fjordforbedring og miljøtilstanden i Hafrsfjord og diskutert med andre forskere ble forvaltningen invitert til et teams-møte 29. november 2021. Takk til Ingrid Handå Bysveen fra Miljødirektoratet, Kirsten Redmond Kristiansen, Ørjan Simonsen og Kristian Falnes Solberg fra Statsforvalteren i Rogaland, Anneli Vatshaug Jenssen fra Rogaland fylkeskommune, Kristin Bringedal fra Stavanger kommune, Randi Storhaug fra Sola kommune og Ingvald Erga fra Avinor for interessante diskusjoner på møtet. Og tusen takk til alle som har tatt seg tid til å diskutere fjordforbedring med meg, spesielt Anders Stigebrandt (Universitetet i Göteborg), Hilde Trannum (NIVA), Marianne Nilsen (Høgskolen på Vestlandet), Åge Molversmyr, Einar Bye-Ingebrigtsen og Leon Moodley (NORCE), Steinar Sanni (Universitetet i Stavanger), og pensjonert NORCE kollega Stig Westerlund.

I tillegg til å gi relevant informasjon til alle som vurderer å ta i bruk fjordforbedringstiltak for å bedre miljøtilstanden i oksygenfattige fjorder, så kan denne rapporten være nyttig for arbeidet med å lage en helhetlig tiltaksplan for å bedre forholdene i Hafrsfjord.

2. Naturtyper i Hafrsfjord

Hafrsfjord karakteriseres noen steder som en «ferskvannspåvirket beskyttet fjord»¹ og andre steder som en «fjord med naturlig lavt oksygeninnhold i bunnvannet»². Etter møtet med forvaltningen 29. november 2021 ble vanntypen til Hafrsfjord i vann-nett endret til nasjonal vanntype N6 «Naturlig oksygenfattig fjord». Selv om vanntypen til hele fjorden kalles «Naturlig oksygenfattig fjord» så finnes det flere naturtyper i fjorden. Når det gjelder naturtypene i Hafrsfjord har jeg hentet informasjon fra Artsdatabanken.no NiN 2.0, Miljødirektoratets faktaark knyttet til Temakart Rogaland/Natur/Viktige naturtyper, (Direktoratgruppen-_vanndirektivet 2018) og (Direktoratet_for_naturforvaltning 2001, rev 2007). Natur i Norge (NiN) er samfunnets felles verktøykasse for å beskrive natur på en sammenlignbar måte. I Hafrsfjord kan man finne disse naturtypene ifølge NiN 2.0 systemet:

- M Saltvannsbunnsystemer
 - M13 Marin sedimentbunn preget av oksygenmangel³.
 - M4 Eufotisk marin sedimentbunn⁴
 - M7 Marin undervannseng⁵
 - M1 Eufotisk fast saltvannsbunn⁶ (sterk tidevannstrøm i innløpet)
- H Marine vannmasser
 - H2 Sirkulerende vannmasser i fysisk avgrensede saltvannsforkomster⁷.

2.1. Marin sedimentbunn preget av oksygenmangel

De dype bassengene innerst i Hafrsfjord passer best til kategorien M13 Marin sedimentbunn preget av oksygenmangel i NiN 2.0. Oksygenfattig marin sedimentbunn er vurdert til intakt på hovedtypenivå (Oug et al. 2018). DN's håndbok 19 (Direktoratet for naturforvaltning 2001 – rev 2007) nevner at trusler mot fjorder med naturlig lavt oksygeninnhold er inngrep som sprengning og utdyping av fjordinnløp, regulering av ferskvannstilførsel og andre aktiviteter som bedrer sirkulasjonen, deriblant såkalte bobleanlegg hvor luft pumpes ned i de dypeste områdene. Selv om Hafrsfjord er en fjord med naturlig oksygenfattig bunnvann, så har menneskelig aktivitet siden 1800-tallet forverret forholdene på bunnen (Statens_Vegvesen 2014). Naturtilstanden eller referansetilstanden til en vannforekomst defineres som tilstanden før oppstart av den industrielle revolusjonen (Dolven and Alve 2021) (i Norge betyr det midten av 1800-tallet⁸). Naturtypen sedimentbunn preget av oksygenmangel er hovedtema i denne rapporten, så hele kapittel 3 omhandler økologisk og kjemisk tilstand i fjorden før og nå med fokus på denne naturtypen.

¹ <https://vann-nett.no/portal/#/waterbody/0242010200-C>

² <https://faktaark.naturbase.no/?id=BM00036131>

³ https://artsdatabanken.no/Pages/171909/Marin_sedimentbunn_preget_av_oksygenmangel

⁴ https://artsdatabanken.no/Pages/171897/Eufotisk_marin_sedimentbunn

⁵ https://artsdatabanken.no/Pages/171903/Marin_undervannseng

⁶ https://artsdatabanken.no/Pages/171894/Eufotisk_fast_saltvannsbunn

⁷ https://artsdatabanken.no/Pages/171977/Sirkulerende_vannmasser_i_fysisk_avgrensede

⁸ https://snl.no/den_industrielle_revolusjon_i_Norge

2.2. Eufotisk marin sedimentbunn

2.2.1. Bløtbunnsområder i strandsonen er svært viktige for fugl

Hafrsfjord har flere bløtbunnsområder i strandsonen som er viktige beite- og rasteplasser for fugl og flere av dem er av nasjonal og regional verdi ifølge DN Håndbok nr. 19. Denne naturtypen tilsvarer M4 Eufotisk marin sedimentbunn⁹ i NiN 2.0 Natur i Norge, og naturtypen er «intakt» ifølge rødlista¹⁰. Grunn marin sedimentbunn er påvirket av menneskelige virksomheter i strandsonen og på grunt vann som utbygging av havneområder, småbåthavner, industrianlegg, mudring og deponering av masse og utslipp av avløpsvann fra kommunale anlegg og industri. For å hindre mer naturtap er det viktig å stanse arealforbruket¹¹.

Strandnesvågen¹², Hagavågen¹³, Sømmevågen, Strandnesvågen og Haga er nasjonalt viktige bløtbunnsområder i strandsonen i Hafrsfjord. I tillegg er det regionalt viktige områder i Jåsund, Grannevågen, Hestnes, Grannesbukta¹⁴ og Grannevågen. Revheimsvågen sør, Teigen og Vesthei er lokalt viktige slike områder. Haga og Strandnesvågen og flere andre områder rundt fjorden beskrives som store ekstremt beskyttede bløtbunnsområder som overlapper med viktig funksjonsområde for andefugler og vade/måke/alkefugl i fjord med naturlig lavt oksygen nivå. Naturreservatene i Hagavågen, Strandnesvågen og Grannesbukta ble opprettet i 1996 som en del av våtmarksvernet i Rogaland (Berge 2013). Reservatene er tre av de viktigste våtmarksområdene på Jæren¹⁵, og har internasjonal status som Ramsar-område. De fungerer som et viktige raste- og overvintringsområde for fugl (Berge 2013). I temakart Rogaland og i Artsdatabankens kart¹⁶ kan man finne mer informasjon om hvilke fugler som holder til der. Disse områdene er viktige for flere rødlistede (truede) fuglearter. Lomvi er en av de kritisk truede artene som er observert i Hafrsfjord. Vipe, makrellterne, brushane, alke, polarsnipe og svalthalespove er sterkt truet. Sothøne, storspove, bergand, dvergdykker, stjertand, horndykker, sjørre og hettemåke er sårbare arter. Fiskemåke, ærfugl, toppdykker, svartand, havelle og svartann er nær trua. Mange sjøfuglpopulasjoner langs norskekysten har blitt redusert de siste tiårene og årsaken er sammensatt (Fauchald et al. 2015). Oksygenforholdene i dypvannet i fjorden påvirker nok i liten grad fugler som finner mat på grunna eller i de øvre vannmassene.

2.2.2. Stillehavsøsters: En fremmed art med svært høy risiko

Stillehavsøsters (*Crassostrea gigas*) ble i 1979 importert til Norge fra Storbritannia med sikte på å drive oppdrett. I dag finnes den fra Svenkegrensen til Nord-Møre. Basert på dens raske vekst, store spredningsevne og sine forholdsvis omfattende økologiske effekter, er

⁹ https://artsdatabanken.no/Pages/171897/Eufotisk_marin_sedimentbunn

¹⁰ <https://artsdatabanken.no/rIn/2018/17/Grunn%20marin%20sedimentbunn?mode=headless>

¹¹ <https://www.sabima.no/et-arealnoytralt-norge/>

og <https://www.harvestmagazine.no/artikkel/lofoten-kommunen-som-vil-vaere-arealnoytral>

¹² <https://faktaark.naturbase.no/?id=VV00001202>

¹³ <https://faktaark.naturbase.no/?id=VV00000633>

¹⁴ <https://faktaark.naturbase.no/?id=VV00000340>

¹⁵ <https://faktaark.naturbase.no/?id=VM00000046>

¹⁶ <https://www.artsdatabanken.no/Pages/264269/Kart>

stillehavsøsters vurdert til svært høy risiko¹⁷. Stillehavsøsters er en såkalt ingeniørart som kan forekomme i høye tettheter (> 1000 ind/m²) og danne revformasjoner som overdekker bunnsubstratet fullstendig. Dette er kjent fra Vadehavet og forekommer også stedvis på den svenske vestkysten. Arten omdanner bløtbunn til hardbunn når tettheten blir stor og den danner rev. Denne overgangen har konsekvenser for bløtbunns-, epi- og innfauna, og vil blant annet påvirke næringstilgang for vadefugler som finner byttedyr på bløtbunn. Det er viktig å fjerne denne arten før den omdanner bløtbunnsområdene i strandsonen til slike rev.

Bestandene av stillehavsøsters ble kartlagt fra Karmøy til Svenskegrensa i 2017 – 2019 (Jelmert et al. 2020). I Rogaland ble det ikke funnet «rev» (Lokaliteter med >50 individer m²), eller lokaliteter med «stor tetthet» (gjennomsnitt > 1 individ m²), men enkelte lokaliteter lå svært nær denne tettheten. Høyere tettheter av stillehavsøsters ble registret hovedsakelig ved Stavanger, i Hafrsfjord der det var en blanding av flatøsters og stillehavsøsters. Det var tegn til plukking, eller rydding, i enkelte lokaliteter i Hafrsfjord (Jelmert et al. 2020).

Det ble funnet Stillehavsøsters spredt i de fleste bukter og vikene, både på sand-, stein og blokk i Hafrsfjord også i 2018 (Randulff and Larsen 2019). Dette tyder på at arten har en veletablert bestand i fjorden. Parallelt med kartlegging av stillehavsøsters ble det kartlagt flatøsters på andre lokaliteter i Hafrsfjord og også disse lokalitetene ble det observert stillehavsøsters. Tettheten av stillehavsøsters i Hafrsfjord er svært lav sammenlignet med hva som er funnet på Sørlandet og Østlandet. Foreslåtte tiltak for fjerning av stillehavsøsters er generell høsting av østers med dybdebegrensning ned til en meter, slik sett vil mesteparten av stillehavsøstersen bli høstet, mens flatøstersbestanden blir berørt i mindre grad (Randulff and Larsen 2019). Statsforvalteren i Rogaland har også dratt i gang folkeforskning for å få hjelp fra «vanlige folk» til å dokumentere hvor det finnes (og ikke finnes) stillehavsøsters¹⁸.

2.2.3. En liten historie om vann som forsvant

Rogaland har ikke alltid vært opptatt av å ta vare på leveområdene til fugl og fisk. Drenering av våtmarksområder, myrer og vann har siden midten av 1800-tallet resultert i endret arealbruk og store landskapsforandringer. En av de største landskapsendringene på Jæren i nyere tid er knyttet til arbeidet med å skape jordbruksland av de mange myrene og småvannene. Solabonden Jens Døskeland skal ha vært den første som lanserte tanken om tørrlegging av Skas-Heigrevatnet i 1855¹⁹ (Thomsen 1988). Foruskanalen (en av kanalene som bringer ferskvann og forurensning til Hafrsfjord) ble laget for å tømme det 4500 mål store Stokkavannet på Forus (Thomsen 1988). Det ble laget en tunnel gjennom Åsen og gravd en kanal ut til Hafrsfjord. Kanalen ble åpnet i 1908, men det tok 5-6 år før innsjøen var tømt. Stokkavannet var grunt, fra 1.5 til 3 meter dypt og hadde utløp mot Gandsfjorden. Vannet hadde god fiskebestand med røye, sik, aure og ål, og det var et viktig hekke- og trekkområde for svaner, ender og gjess. Det var også torvmyrer rundt vannet med et myrbelte som var på opptil 900 meter bredt. I noen år ble det drevet jordbruk på den gamle innsjøbunnen før

¹⁷ <https://artsdatabanken.no/fremmedarter/2018/N/1050>

¹⁸ <https://www.statsforvalteren.no/Rogaland/Miljo-og-klima/Frammande-arter/marint-frammande-arter/delta-i-folkeforskning-om-stillehavsosters-og-vinn-premie/>

¹⁹ <https://www.sandnes.kommune.no/globalassets/tekniskeiendom/kulturminner/bydelsrapporter/malmheim-og-soma-bydelsrapport-kulturmiljo-150620.pdf>

tyskerne tok området i 1940 og bygde militær flyplass. I dag er Forus et av Norges største industriområder. Inge Røyneberg forteller om uttappingen av Stokkavatnet på Forus i en interessant artikkel i Sola Historielags årbok 2020²⁰. I Rogaland var man altså tidlig ute med å lage SMVF, Sterkt Modifiserte Vannforekomster. Mange vann og enda flere myrer ble drenert vekk og fisk og fugl og annet liv i tilknytning til disse naturtypene/vannforekomstene ble borte. Det er litt informasjon om SMVF i Rogaland blant annet i rapporten «Sammen for vannet. Hovedutfordringer til Regional plan for vannforvaltning i Rogaland vannregion 2022-2027» (Rogaland_Vannregion 2021).

2.3. Marin undervannsenseng

Naturtype M7 Marin undervannsenseng i NiN 2.0. Marin undervannsenseng omfatter sammenhengende områder på grunt vann og i vannstrand-delen av fjærebeltet som er dominert av langskuddplanter (plante med lange stengler og med blader i de frie vannmassene, oftest festet på bunnen), først og fremst ålegras, men en rekke andre karplantearter kan også dominere eller inngå. Ålegrassamfunn er «intakte» ifølge rødlista. I Hafrsfjord er det dvergålegras (*Zostera noltei*) med nasjonal verdi, og vanlig ålegras (*Zostera marina*) med regional verdi. Et eksempel på et regionalt viktig område med vanlig ålegras er Grannes. En relativt stor ålegraseng med stort sett tett vegetasjon av *Z. marina*. Sommert areal av ålegrasengene i Hafrsfjorden indre del er omtrent 110 000 kvm. Karistø-Håhammarbrautene, Saurnesvågen og Småvågane er andre regionalt viktige ålegrassamfunn i Hafrsfjord. I tillegg kommer mange lokalt viktige ålegrassamfunn (Sunde, Revheim, Klagsteinen, Håhammaren, Møllebukta midtre/øst, Strandnesvågen, Hagøyna, Vesthei sør og nord, Hammaren).

Dvergålegras er en «sterkt truet» art ifølge Norsk rødliste for arter 2021²¹. I 2015 ble dvergålegras en prioritert art etter naturmangfoldloven²². I forbindelse med vegarbeid i Sømmevågen i Hafrsfjord, laget Statens vegvesen en erstatningsbiotop for dvergålegras ved Leirberg. Leirberg ligg om lag 1 km nord for Sømmevågen i Hafrsfjord. Basert på befaring i 2014 (Ole Kristian Larsen fra Ecofact AS) fungerer erstatningsbiotopen fint som vekstområde for dvergålegras og som oppholdssted for fugl. Han fant dvergålegras flere steder i erstatningsbiotopen, men det var kun i de områdene de brukte sedimenter fra Sømmevågen det spirte. Det å flytte frøbanken fungerte.

2.4. Eufotisk fast saltvannsbunn

DNs håndbok 19 (Direktoratet for naturforvaltning 2001 – rev 2007) har en naturtype som heter «Sterk tidevannsstrøm» og området under Hafrsfjord bru ved utløpet av fjorden tilhører denne naturtypen²³. Dette tilsvarer M4 Eufotisk marin sedimentbunn i NiN 2.0. Lokaliteten Hafrsfjord bru gis regional verdi fordi sterke tidevannstrømmer er en sjelden naturtype i regionen pga liten tidevannsforskjell. Marin flora og fauna er ikke kartlagt står

²⁰ <https://www.solahistorielag.no/uttappingen-av-stokkavatnet-forus/>

²¹ <https://artsdatabanken.no/lister/rodlisteforarter/2021/32494>

²² <https://www.fylkesmannen.no/nb/Rogaland/Miljo-og-klima/Naturmangfold/Dvergalegras-har-blitt-prioritert-art/>,
<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-05-22-546>

²³ <https://faktaark.naturbase.no/?id=BM00061856>

det i faktaarket, men det er en rik sjøfuglforekomst, lomvi, terne og vipe i området. Flere av fuglene er på rødlista. En trussel som nevnes mot denne naturtypen er at endring av strømforholdene kan være ødeleggende. Strømforholdene er endret allerede da det ble fylt ut i innløpet da den første broa ble laget, slik at innløpet ble enda trangere. I forbindelse med planer om å bygge ny vei har det blitt foreslått å fjerne utfylling før ny bro bygges. Dette vil kunne tilbakeføre innløpet til slik det var før den første broa ble bygget. Det vil sannsynligvis være positivt for vannutskiftningen i fjorden, og dermed for oksygenforholdene i dypvannet.

2.5. Sirkulerende vannmasser i fysisk avgrensede saltvannsforekomster

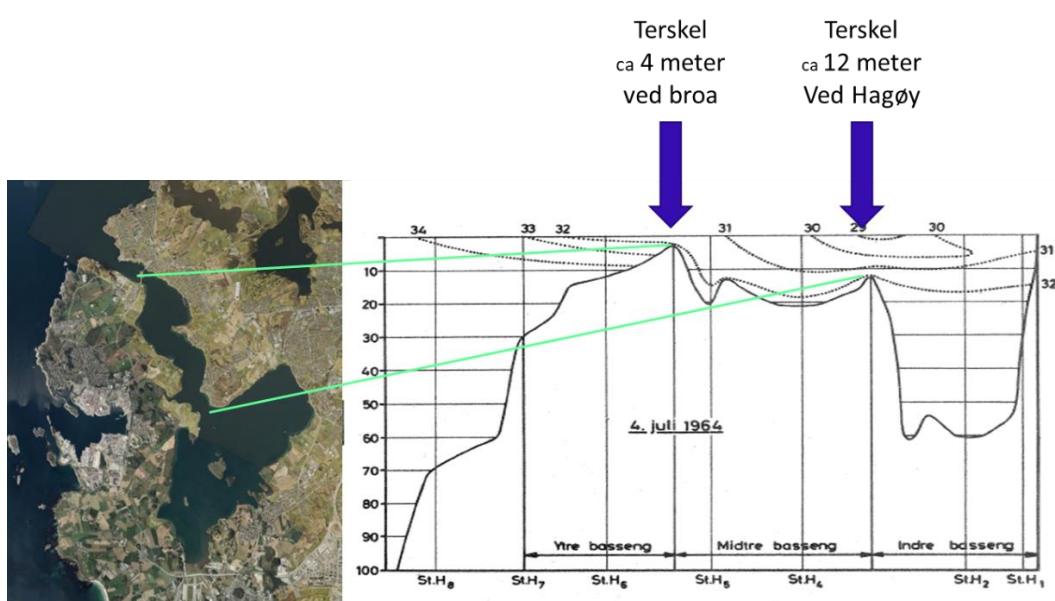
Det er ikke egne naturtyper for vannmasser i DN Håndbok nr. 19, men i NiN 2.0 finnes det en kategori som heter: H Marine vannmasser - H2 Sirkulerende vannmasser i fysisk avgrensede saltvannsforekomster.

Det er svært lite data på livet i vannmassene i Hafrsfjord. Den eneste biologien som blir kartlagt i vannmassene i miljøundersøkelsene er klorofyll a som et mål på mengden planktonalger. Det finnes ikke data på hva slags arter som lever der, kun at det er for mye alger. Vi vet ingenting om mengden eller typen av dyreplankton, og vi vet svært lite om hva slags fisk som lever der i dag og som har levd der før. Mer om det i kapittel 4.

I Vannforskriften er det satt opp kvalitative kriterier for å bedømme om den økologiske tilstanden er tilfredsstillende eller ikke, basert på tre biologiske kvalitetsselementer (Planteplankton, Makroalger og angiospermer, Bunnlevende virvelløse dyr) (Staalstrøm et al. 2021). I vannmassene er det i vannforskriften fokus på planktonalger, mens det ikke er gitt kriterier for tilstanden til for eksempel dyreplankton, maneter, fisk eller pattedyr. I tråd med vannforskriften vurderes vanligvis ikke de andre organismene i økosystemet, når det skal konkluderes om vannkvaliteten er tilfredsstillende eller ikke. Dette kan blant annet føre til den paradoksale konklusjonen at vannkvaliteten er tilfredsstillende selv om fisken er fraværende, og en bør derfor vurdere dette opp mot eventuelt andre typer undersøkelser som gjøres (Staalstrøm et al. 2021).

3. Økologisk og kjemisk tilstand før og nå

Hafrsfjord er en terskelfjord med trangt innløp og grunne terskler og derfor sjelden vannutskiftning av dypvannet (Figur 1). Innløpet til fjorden ble smalere på 1920-tallet på grunn av utfylling for brobygging. Foraminifermetoden viste at naturtilstanden (tilstanden på 1800-tallet) i Hafrsfjord tilsvarer «moderat økologisk tilstand» i de dypeste delene av fjorden (Statens_Vegvesen 2014). Økologisk tilstand ble dårligere allerede før første brufylling på 1920-tallet, og har blitt enda dårligere etter det. Foraminifermetoden viste altså at det er naturlig med moderat økologisk tilstand i de dypeste delene av fjorden, men at den «svært dårlige økologiske tilstanden» som er dokumentert i miljøundersøkelser siden 1970-tallet skyldes menneskelig aktivitet.



Figur 1. Hafrsfjord er en terskelfjord med trangt innløp og to grunne terskler. Arealet av Hafrsfjord er 12 km². Illustrasjon av tverrsnittet av Hafrsfjord er fra (Simensen and Stene-Johansen 1966) og flyfoto er fra Temakart-Rogaland.

3.1. Oksygen i dypvannet

Tidevannet sørger for gode oksygenforhold i de øverste meterne i Hafrsfjord (Simensen and Stene-Johansen 1966), men det må strømme inn tungt, salt vann i flere måneder for å bytte ut dypvannet. På grunn av tersklene ved broa og ut for Hagøy på henholdsvis 3 og 12 m dyp, begrenses vanntransporten til de øvre lag (Simensen and Stene-Johansen 1966). Det meste av vanntransporten i fjorden skyldes tidevannet, som på tross av det trange og grunne innløpet er betydelig. En effektiv vannutskiftning av bunnvannet er avhengig av en tetthetsdifferanse mellom overflatelaget utenfor Hafrsfjord og de dypere liggende lag innenfor terskelen. Variasjoner i salinitet i overflatelaget utenfor kysten er av størst betydning for en effektiv utskiftning av dyplagene. Det er høyest saltholdighet om vinteren og dermed størst mulighet for utskiftning av dypvannet, men for å få en fullstendig utskiftning må innstrømmingen av tungt vann vare i flere måneder. Simensen and Stene-Johansen (1966) antok at en total utskiftning av bunnvannet skjer i løpet av to år. Resultatene

til Kjos-Hansen and Staveland (1979), oppsummert i Tvedten et al. (2003), viste at det skjedde en årlig bunnvannsfornyelse i 1975-77 og i 1979 i tiden januar-mars. Dette skjedde ikke i 1978, så det gikk 1-2 år mellom hver gang bunnvannet ble byttet ut. Jeg har ikke funnet nyere studier av bunnvannutskiftningen i fjorden. Det er ikke mulig å si om bunnvannet skiftes ut like ofte (sjelden) i dag som på 1970-tallet basert på tilgjengelige data.

Oksygenmålingene gjort i forbindelse med miljøundersøkelsene indikerer at det ofte er svært lite eller ikke noe oksygen i bunnvannet i det dypeste bassenget (60 m). Noen ganger er det også oksygenmangel i Sømmevågen og ved Hestnes nærmere utløpet (H14), men dette skjer vanligvis kun deler av året på disse grunnere stasjonene. Oksygendata fra perioden 1964-2017 indikerer at det går minst ett år mellom hver gang bunnvannet skiftes ut. Her er en oversikt over oksygenforholdene i Hafrsfjord i perioden 1964 – 2017:

- 1964-65: Simensen and Stene-Johansen (1966) skriver at dyplagens oksygenforhold viste tydelige tegn på belastning med organisk stoff, slik som det er vanlig i terskelfjorder. Oksygenminimumet i 60 m bunnvann var 2,3 mg/l i juli 1964 og 5,5 mg/l i april 1965 (de målte kun en gang per år).
- 1975-79: Tvedten et al. (2003) har oppsummert resultatene fra Kjos-Hansen and Staveland (1979). Oksygeninnholdet i vannet ble målt månedlig fra mars 1975 til mai 1979. Bortsett fra i 1978 skjedde det en bunnvannsfornyelse hvert år i tiden januar-mars. Oksygenfritt bunnvann ble registrert i 1975 og 1978 og skille mellom gode og dårlige oksygenforhold lå på 30 m.
- 1983/1985: Ifølge Tvedten et al. (2003) ble det også funnet oksygenmangel i bunnvannet på 1980-tallet (Stokland 1985; Byveterinæren 1983).
- 1995: Basert på målinger av salinitet og temperatur skjedde det innstrømming av vann både til ytre og indre basseng i perioden juni-september/oktober (Bokn et al. 1996). Oksygendata for oktober tydet på en begynnende utskiftning av bunnvannet. I indre basseng ble det observert en jevnt avtagende mengde oksygen fra 20 meter og ned til bunnen (0,7 mg/L på 56 m).
- 2001-2002: I bunnvannet på den dypeste stasjonen utenfor Møllebukta var det ikke oksygen i bunnvannet (50-60 meters dyp) i måleperioden i 2001-2002 (Tvedten et al. 2003). På 30 m dyp ble det målt lite oksygen i desember og mye i juli, og serien med målinger viser at skille mellom oksygenrikt og fattig vann ligger på rundt 30 m dyp. I Sømmevågen var oksygenforholdene i bunnvannet også meget dårlige. Ved Hestnes/Sunde (H 14, Hafrsfjord ytre dypbasseng, 29 m) var det variable oksygenforhold. Det var kun i juni og juli at det var lite oksygen og målingene tyder på at dette området har hyppigere og bedre vannutskiftning enn stasjonene innenfor.
- 2010: Oksygenverdiene sank fra juli til desember i 2010, og de var under 1 mg/L fra august og ut året både på HAF1 og 2 (Nilsen, Westerlund, and Tandberg 2011). Det tyder på at bunnvannet ikke ble skiftet ut i perioden.
- 2011-12: Stasjon 220 utenfor Møllebukta: Oksygenforholdene i bunnvannet var svært dårlige, og det ble registrert hydrogensulfid i vannet (Nilsen et al. 2012). Sedimentet var også helt svart med sterk lukt av hydrogensulfid, og bunndyr er så å si fraværende. Også i 2010 ble tilstanden for bunnfauna vurdert som svært dårlig (Nilsen et al. 2010). Bunnvannet under ca. 30 m dyp har vært periodevis oksygenfritt, og det er lite eller ingen bunndyr på større dyp. SA6: Også her er det registrert svarte sedimenter med lukt av

hydrogensulfid, og oksygenforholdene er dårlige. Det kom imidlertid inn nytt bunnvann tidlig på vinteren og etter det var oksygenforholdene svært bra. H14: Selv om oksygenforholdene i bunnvannet var svært gode, var det også her en svak lukt av hydrogensulfid fra sedimentet.

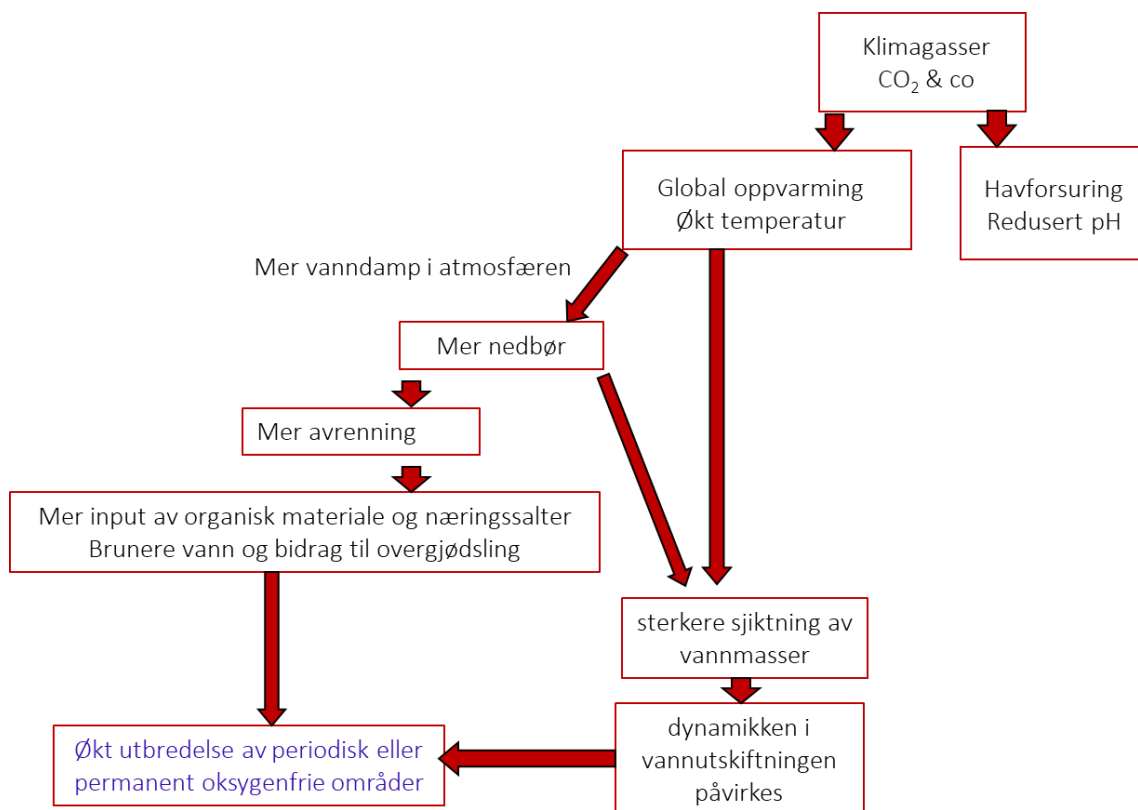
- 2013: Oksygenkonsentrasjonen sank raskt med dyp på F1 nær HAF1 og det var oksygenmangel i bunnvannet (0,16 mg/L) (Statens_Vegvesen 2014). Oksygenforholdene var gode i stasjonen i Sømmevågen (F4 nær SA6).
- 2017: Det ble kun målt hydrografi 20. juni 2017 (Knag et al. 2018). Altså gir disse målingene kun et øyeblikksbilde av hydrografien i fjorden. Oksygendata i Vedlegg 5A (klassifiserte data bunnvann), vedlegg 5B (CTD data per vannforekomst), Tabell 9 og teksten på side 31-32 stemmer ikke overens. Hvis man kan stole på verdiene (og ikke fargekodene) oppgitt i Vedlegg 5A så er tilstanden for oksygen i bunnvannet «svært dårlig» på stasjon 220 og H14 og «dårlig» på stasjon SA6. CTD profilene i Vedlegg 5B viser generelt høyere oksygenverdier (2-4 mg/L i bunnvannet). Oppsummeringen i tabell 9 konkluderer med «svært dårlig» tilstand for oksygen i bunnvann på stasjon 220 og H14 og moderat tilstand på stasjon SA6. Teksten på side 31-32 indikerer dårlige oksygenforhold på 220 og meget dårlige på SA6 og H14. Dette er litt forvirrende, men jeg velger å stole på tallene i vedlegg 5A.

3.2. Både overgjødning og klimaendring påvirker oksygenforholdene

Generelt kan endringer i klimaet føre til en økning i forekomst og utbredelse av periodisk eller permanent oksygenfrie områder (Oug et al. 2018). Høyere temperaturer og økt nedbør vil bidra til sterkere sjiktning av vannmasser, noe som påvirker dynamikken i vannutskiftningen, samtidig som endringer i nedbør og ferskvannstilførsler tilfører mer næringsstoffer fra land (Figur 2). I sin tur vil dette føre til at områder som allerede har nedsatt oksygeninnhold, og et plante- og dyreliv preget av dette, blir anoksiske uten høyere organismer. Hvis miljømålet for Hafrsfjord er mer oksygen i dypvannet og mer liv på bunnen og i vannet, så er det viktig å være klar over at de pågående klimaendringene vil gjøre det vanskeligere å nå målet. Oksygenkonsentrasjonen synker over hele verden både i havet og i kystvannet (Breitburg et al. 2018; Friedrich et al. 2014; Diaz and Rosenberg 2008). Områder uten oksygen, såkalte "dead zones" har spredd seg eksponentielt siden 1960-tallet og dette har alvorlige konsekvenser for økosystemene. Dette skyldes overgjødning og brenning av fossilt brensel som gir global oppvarming. Økt primærproduksjon gir akkumulering av organisk materiale som igjen gir økt mikrobiell aktivitet og økt forbruk av oksygen i bunnvannet (Diaz and Rosenberg 2008).

Bergens Tidene hadde en god artikkel der de blant annet forklarer om sjeldnere utskiftning av bunnvannet i terskelfjordene på Vestlandet (Andersson 2021). Vannet i Nord-Atlanteren er blitt varmere og høyere temperatur gjør vannet lettere. For å få skiftet ut vannet i fjordbassenget, må vannet ved terskelen være tyngre slik at det kan strømme inn i fjorden. Når vannet fra kysten blir lettere, kan det gå lengre tid mellom hver gang man får tungt nok vann som kan renne over terskelen, inn i fjordbassenget og dermed erstatte det oksygenfattige bunnvannet. De dype delene av terskelfjordene får oksygen gjennom kortvarige episoder med tilførsel av oksygenrikt vann fra havet. Den forfriskende utskiftningen skjer nå sjeldnere enn før i mange fjorder på Vestlandet. Uten innstrømming

av friskt, tungt og oksygenrikt atlantisk vann, blir det oksygenmangel i dypet. Lite oksygen er altså en naturlig tilstand i mange av fjordene, men forholdene går fra vondt til verre. Data tyder på at det har vært sjeldnere utskiftning av bunnvannet i mange norske fjorder de siste 30 årene på grunn av global oppvarming (Darelius 2020; Nedreaas et al. 2008). Analyse av bunndyrdata fra fire norske terskelfjorder på Vestlandet viste at det hadde blitt mer av den opportunistiske børstemarken *Polydora sp.* de siste 10-15 årene, og at dette var korrelert til redusert oksygen og økt temperatur i bunnvannet og økt mengde organisk materiale i sedimentet (Johansen et al. 2018). Resultatene viser at terskelfjordene har blitt enda mer sårbare for tilførsel av organisk materiale de siste tiårene.



Figur 2. Klimaendringer vil føre til økning i forekomst og utbredelse av periodisk eller permanent oksygenfrie områder.

3.3. Liv i sedimentet

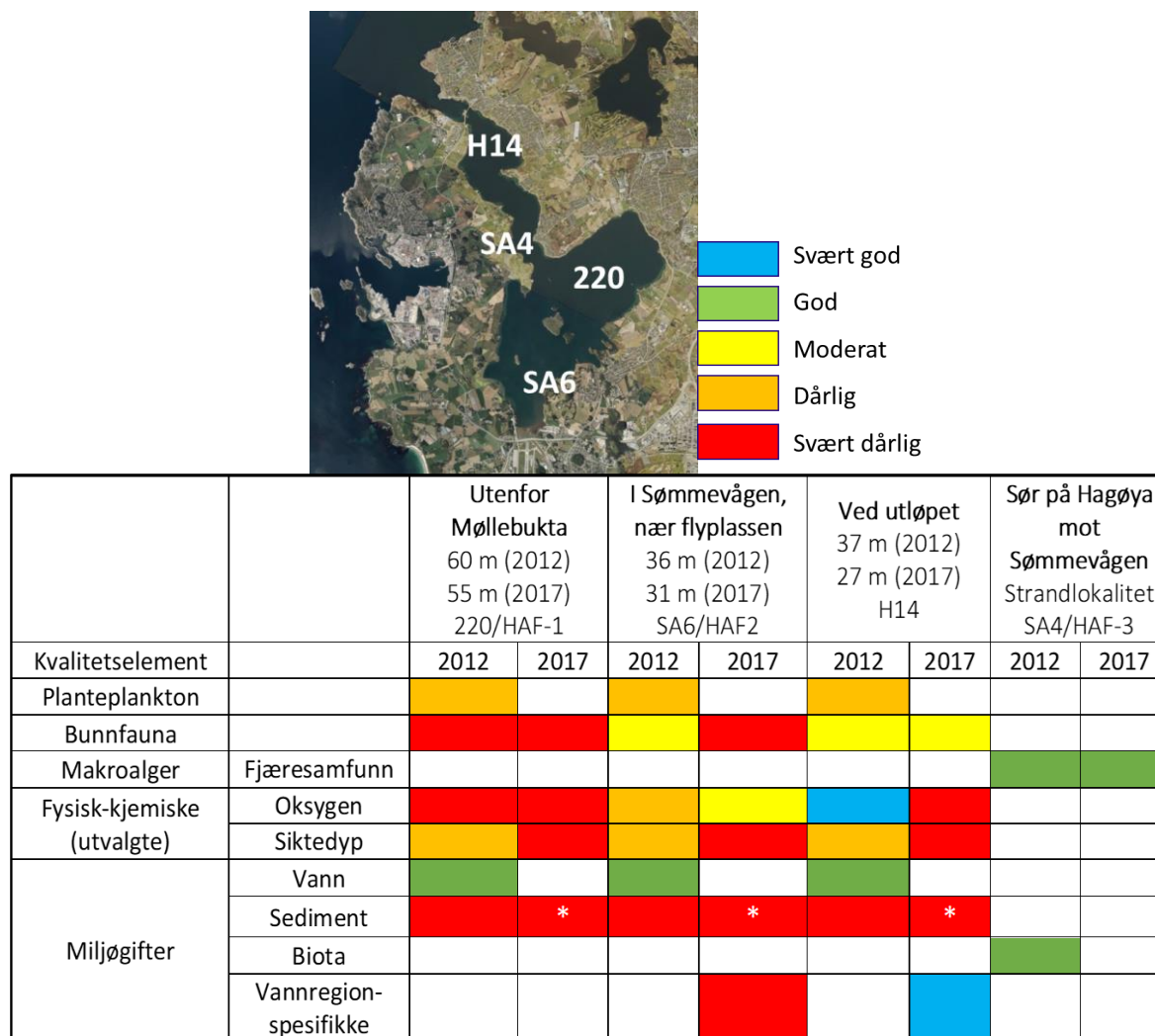
På grunna, der det er nok oksygen, er tilstanden i Hafrsfjord god og det er mange viktige områder for fugl. I dette avsnittet dreier det seg kun om tilstanden i dypet der det er lite eller ingen oksygen i vann og sediment. I vann-nett står det at økologisk tilstand i Hafrsfjord er «svært dårlig»²⁴. Det er risiko for å ikke nå målet om God Økologisk tilstand, og det er nødvendig med nye tiltak for å oppnå god miljøtilstand. Miljømål skal nås i 2027-2033. Det er utsatt frist pga naturforhold (Paragraf 9²⁵).

²⁴ <https://vann-nett.no/portal/#/waterbody/0242010200-C>

²⁵ <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-12-15-1446>

Figur 3 oppsummerer resultater fra miljøundersøkelser i Hafrsfjord i 2012 og 2017. Hafrsfjord har en uheldig kombinasjon av høy næringssalttilførsel og sjelden utskifting av bunnvannet som fører til det dårlige miljøet (Nilsen et al. 2012). Dette gir en sterk oppblomstring av planteplankton som synker ned og råtner og bunnvannet er tidvis oksygenfritt og periodevis registreres også hydrogensulfid. Bunnfauna er så å si fraværende i det dypeste bassenget. På grunt vann er imidlertid tilstanden for makroalger vurdert som god, noe som antyder at situasjonen er bra i de øverste vannmassene (Nilsen et al. 2012).

I resipientundersøkelsene i Hafrsfjord har fokus vært på tilstanden på bunnen av de dype bassengene i tillegg til strandsoneundersøkelser og kvalitetselementer i vannet. I (Direktoratgruppen-_vanndirektivet 2018) står det imidlertid at klassifiseringssystemet ikke omfatter fjordbasseng som har naturlig lavt oksygeninnhold i dypvannet. Det er vanskelig å skille disse fra fjordbassenger hvor oksygeninnholdet er lavt som følge av menneskelig aktivitet. Ofte er det slik at antropogen aktivitet gir en ytterligere reduksjon i oksygeninnholdet der hvor bunnstrømningen naturlig er svekket. I slike bassenger kan faunaen være svært fattig eller mangle helt. Denne beskrivelsen passer godt på de dype bassengene i Hafrsfjord. Veilederen forklarer at i slike vannforekomster kan en ta prøver på grunnere dyp eller legge flere prøvetakingsstasjoner langs en dybdeprofil for mer representativ prøvetaking, såfremt det finnes flate bunnpartier med egnet sediment (Direktoratgruppen-_vanndirektivet 2018). Alternativt kan man benytte foraminifermetoden. Foraminifermetoden har blant annet blitt brukt til å dokumentere hvordan miljøtilstanden i den tidligere svært forurensede Idefjord på vestkysten av Sverige gradvis har blitt bedre etter tilførselene til fjorden ble redusert (Polovodova Asteman, Hanslik, and Nordberg 2015; Polovodova Asteman and Nordberg 2017). Foraminifermetoden ble brukt i Hafrsfjord i 2014 for å finne naturtilstanden til fjorden. Oksygenforholdene i de dypere delene av Hafrsfjord har vært «moderate» over lang tid (Statens_Vegvesen 2014). Dette skyldes sannsynligvis fjordens innelukkede karakter (relativt smalt innløp og grunn terskel) noe som gir naturlig begrenset vannsirkulasjon og dypvannsfornyelse, og høy organisk belastning gjennom lang tid (hvert fall de siste 200 år jf. TOC-data). Sistnevnte kan være knyttet til mye jordbruk rundt fjorden. Endringer i økologisk status startet allerede før bygging av Hafrsfjord bru (på 1920-tallet). Endringer i økologisk status har fortsatt frem til nåtid. Det er flere faktorer som kan ha medvirkende årsak til denne utviklingen og det er vanskelig å skille disse fra hverandre.



Figur 3. Resultater fra miljøundersøkelser i Hafrsfjord i 2012 (Nilsen et al. 2012) og 2017 (Knag et al. 2018). De fire stasjonene er vist på det lille kartet. «Det verste styrer» når man skal vurdere status for hele vannforekomsten. Derfor får Hafrsfjord svært dårlig økologisk tilstand og oppnår ikke god kjemisk tilstand.

Her er et kort sammendrag av resultatene fra bunndyrundersøkelsene gjort i Hafrsfjord:

Stasjonen utenfor Møllebukta, i det dypeste bassenget i Hafrsfjorden (60 m dyp)

- Stasjon 220/HAF-1/H15, nær F1. Dypvannsbassenget mottar utslipp fra flere overvannsledninger og disse kan lede feilkoplet avløpsvann og være en kilde til næringsalter. Avløpet er sanert, og transporteres til Sentralrenseanlegget Nord-Jæren²⁶ (SNJ).
- Foraminiferundersøkelsen viste at tilstanden var moderat ca. 1800, dårlig ca. 1900 og svært dårlig nå (Statens_Vegvesen 2014).
- Myhrvold, Forsberg, and Molversmyr (1997) oppsummerer resipientundersøkelser fra årene før 1997. De konkluderer at det var oksygenvikt og sterkt belastet

²⁶ <https://www.ivar.no/snj/>

bunndyrsamfunn på denne stasjonen og at dette reduserer fiskemulighetene. Tilstanden i de indre deler av Hafrsfjord preges av økologisk ubalanse i forhold til en naturtilstand.

- Bunndyranalyser fra perioden 1995 – 2017 bekrefter svært dårlig tilstand for bunndyr (Tvedten et al. 2003; Nilsen et al. 2012; Nilsen, Westerlund, and Tandberg 2011; Knag et al. 2018; Bokn et al. 1996).

Stasjonen utenfor Sømmevågen nær flyplassen (31 m)

- Stasjon HAF-2/SA6, nær F4. Ved en tidligere avfallsfylling på Forsvarets område. Flere nødoverløp fra Grannes har utløp i Sømmevågen. Avløp er sanert, og går til SNJ, men overvannsledninger kan lede feilkoplet avløpsvann.
- Foraminiferundersøkelser viser det samme som for stasjonen utenfor Møllebukta. Tilstanden var moderat ca. 1800, dårlig ca. 1900 og svært dårlig nå (Statens_Vegvesen 2014).
- Bunndyranalyser viste svært dårlig tilstand i 2002 (Tvedten et al. 2003) dårlig tilstand i 2010 (Nilsen, Westerlund, and Tandberg 2011), moderat tilstand i 2012 (Nilsen et al. 2012) og svært dårlig tilstand i 2017 (Knag et al. 2018).

To stasjoner sør for Hagøyna (F2: 44 m, F3: 26 m)

- F2: Foraminiferundersøkelsen viste god økologisk tilstand før brubyggingen (1820 – 1890), moderat tilstand etter brobygging (1977), og dårlig økologisk tilstand i 2012 (Statens_Vegvesen 2014). Denne stasjonen har ikke blitt undersøkt i resipientundersøkelsene.
- F3: Foraminiferundersøkelsen viste god økologisk tilstand i 2012 (Statens_Vegvesen 2014). Kjernen var for bioturbert til å snittes, derfor fant de ikke naturtilstanden på denne stasjonen. Stasjonen har ikke blitt studert i miljøundersøkelsene, men resultatene samsvarer med «god økologisk tilstand» for makroalger i grunnere deler av fjorden (SA4) (Nilsen et al. 2012).

Stasjon H14 i ytre basseng ved utløpet av Hafrsfjorden (22-37 m)

- Avløp er sanert til SNJ.
- Det ble ikke gjort foraminiferundersøkelse ved stasjon H14 i ytre basseng av Hafrsfjord.
- Det var nokså dårlig tilstand for bunndyr på 22 m dyp i 1995 (Bokn et al. 1996). Tydelig forurensningspreget fauna ble også funnet i ytre Hafrsfjord i 1983 (Dahle 1984), men i 1977 (Johannessen 1977) og i 1984 (Stokland 1985) var faunaen rikere (Bokn et al. 1996).
- Dårlig tilstand for bunndyr i 2002 (Tvedten et al. 2003) og moderat tilstand på 37 m dyp i 2012 (Nilsen et al. 2012) og på 27 m dyp i 2017 (Knag et al. 2018).

Strandsone undersøkelser ved Hagavågen - SA4 Haga sør

Avløp sanert til SNJ. Lokaliteten på nordsiden av åpningen til Hagavågen er langgrunn, med store stein i fjæra og mudderbunn med flatøsters og ålegress. På grunt vann er tilstanden for makroalger vurdert som god (Nilsen et al. 2012), noe som tyder på at situasjonen er bra i de øverste vannmassene. Allikevel er siktdypet gjennomgående dårlig, fjorden er beriket med næringsalter både sommer og vinter, og tilstanden for planteplankton er dårlig. SA4 er

plassert i en vanntype som det i dag ikke er utviklet indekser for mht. makroalger (vanntype 6 oksygenfattige fjorder) (Walday et al. 2015; Pedersen, Gitmark, and Kile 2012). Forholdene i oksygenfattige fjorder nær bunnen eller under terskeldypet for fjorden, kan være meget dårlige og ikke egnet for vanlig dyreliv. Det er derimot ikke noe i veien for at forholdene i overflaten kan være bra selv om bunnforholdene er meget dårlige. De benyttet "Reduced Species List with Abundance (RSLA)» for beskyttete fjorder og forholdene kom ut som gode (Pedersen, Gitmark, and Kile 2012).

Miljømålet for liv i sedimentet

Miljømålet for liv i sedimentet kan være å få god tilstand sør for Hagøyna og moderat tilstand utenfor Møllebukta og Sømmevågen. Naturtilstanden i ytre basseng (H14) er ukjent. Hvis man ønsker å vite mer om hvordan det var der før kan man bruke foraminifermetoden der også, eller man kan anta at tilstanden var minst en tilstandsklasse bedre før og ha som mål å få god tilstand.

3.4. Miljøgifter

Innholdet av miljøgifter i sediment gjenspeiler den generelle forurensningssituasjonen i et område på den tiden sedimentet ble avsatt (Statens_Vegvesen 2014). Sedimentkjerner kan derfor være gode arkiv for å vise ending av forurensing bakover i tid. Konsentrasjonen av tungmetaller (bl.a. bly²⁷, sink, kobber og kvikksølv²⁸) i sedimentkjernene økte gradvis fra slutten av 1800-tallet/tidlig 1900-tallet. Mye av dette kan trolig relateres til utslipp fra landbasert industri, olje- og gassvirksomhet, blyholdig bil- og fly-bensin, pigmenter i malingrester, økt forbruk av gummidekk og plastprodukter for å nevne noen årsaker. For bly, sink og kvikksølv ser man en nedgang fra 1960/1970-tallet, noe som trolig er relatert til innføring av restriksjoner og spredningsreducerende tiltak (Statens_Vegvesen 2014). Sedimentet på bunnen av Hafrsfjord har altså lenge vært forurenset med miljøgifter ifølge miljøundersøkelser gjort i fjorden. Her er noen stikkord om miljøgifter i sedimentet fra undersøkelser gjort i perioden 1978 – 2017:

- Høy konsentrasjon av sink, bly og sølv ble målt i sediment i 1978 (Bokn 1978). Sølv i sedimentet kan skyldes utslipp fra tidligere fotolaboratorier siden starten av 1950 tallet. Det ble også målt polyklorerte bifenyl²⁹ (PCB) i sedimentet.
- Bokn et al. (1996) rapporterte om sterk forurensning av Polysykliske Aromatiske Hydrokarboner³⁰ (PAH), men relativt lite tungmetaller i sedimentet i 1995.
- I 2002 ble det funnet forhøyet nivå av kadmium³¹, bly, sink og sølv, samt de organiske miljøgiftene PAH, Benzo(a)Pyren (B(a)P er en av de giftigste PAHene) og PCB i forhold til uforurenset sediment (Tvedten et al. 2003). Det var høyest innhold av miljøgifter i Sømmevågen. Bortsett fra en betydelig nedgang av de oljerelaterte PAHene (naftalen),

²⁷ <https://miljostatus-dev.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/bly-og-blyforbindelser/>

²⁸ <https://miljostatus-dev.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/kvikksolv-og-kvikksolvforbindelser/>

²⁹ <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/PCB>

³⁰ <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/polysykliske-aromatiske-hydrokarboner-pah/>

³¹ <https://miljostatus-dev.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/kadmium-og-kadmiumforbindelser/>

var det mindre endringer i forhold til 1995. Også i forhold til de få målingene på 70- og 80-tallet og frem til 2002 var det ingen tydelige utviklingstrekk i sedimentkonsentrasjonen av miljøgifter (Tvedten et al. 2003). Kadmiuminnholdet og B(a)P fikk tilstand *markert forurenset* og bunnen var *moderat forurenset* av PCB. I Sømmevågen ble det også funnet høyt innhold av sølv. Det var mest miljøgifter i sjøbunnen i Sømmevågen og på den dypeste stasjonen i Hafrsfjord. Flyplassområdet er en mulig kilde til forurensning.

- Det var hovedsakelig konsentrasjonene av PAH forbindelser i sedimentet som gjorde at Hafrsfjord fikk dårlig kjemisk tilstand i 2010 (Nilsen, Westerlund, and Tandberg 2011).
- Den kjemiske tilstanden i vannforekomst Hafrsfjorden er dårlig hovedsakelig grunnet høye PAH verdier i sedimentet. Det er ikke registrert betydelige mengder miljøgifter i vann eller biota (Nilsen 2012). Det var høye verdier av pentaklorfenol³² (stasjon 220), PAH (stasjon H14), og både PAH og bly (stasjon SA6) (Nilsen et al. 2012).
- I 2017 ble også kjemisk tilstand i fjorden vurdert som dårlig pga nonylfenol³³ og tributyltinn (TBT)³⁴ på stasjon 220, flere PAH forbindelser, arsen³⁵, sink og PCB7 på stasjon SA6 og TBT på stasjon H14 (Knag et al. 2018).

Den høye nonylfenol-konsentrasjonen målt i 2017 (Knag et al. 2018) bør sjekkes på nytt siden lignende konsentrasjon ikke ble dokumentert i 2012 (Nilsen et al. 2012). Knag et al. (2018) analyserte ikke PerFluorOktanylSulfonat (PFOS)³⁶ i Hafrsfjord og PFOS analysene i (Nilsen et al. 2012) hadde alt for høy deteksjonsgrense i forhold til grenseverdiene i m409 (Breedveld et al. 2015). Det bør derfor gjøres nye PFOS analyser med god nok deteksjonsgrense. Sola Lufthavn har avrenning til Solavika i vest og Hafrsfjord i nord. Selv om brannøvingsfeltet der perfluorerte stoffer³⁷ (PFAS) er brukt dreneres mot Solavika anbefales det å analysere PFAS/PFOS i neste miljøundersøkelse i Hafrsfjord for å være sikker på at det ikke har lekket noe til fjorden. Det ble funnet svært høye konsentrasjoner av PFAS-forbindelser i bunnslam og i flyndrefisken skrubbe (*Platichthys flesus*) fanget i Rægebekken som drenerer lufthavnsområdet og renner ut på Solastranden (Gravem et al. 2016; Avinor 2019).

Data fra Knag et al. (2018) og Nilsen et al. (2012) viser at selv om den kjemiske tilstanden i Hafrsfjord er dårlig, så er den mindre dårlig enn i Stavanger havn og Hillevågsvannet (en bukt med båthavn i Gandsfjorden). Konsentrasjonen av TBT er mer enn 30 ganger høyere i Stavanger havn og mer enn 300 ganger høyere i Hillevågsvannet enn i Hafrsfjord. Konsentrasjonen av PCB er mer enn ti ganger høyere i Stavanger havn enn i Hafrsfjord, og konsentrasjonene av tungmetaller var betydelig høyere i Stavanger Havn og i Hillevågsvannet enn i Hafrsfjord. Konsentrasjonene av PAH i sedimentet bidrar til at Hafrsfjord får dårlig kjemisk tilstand (Figur 4), men konsentrasjonene er betydelig lavere enn i forurensete havner (Figur 5).

³² <https://miljostatus-dev.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/pentaklorfenol-pcp/>

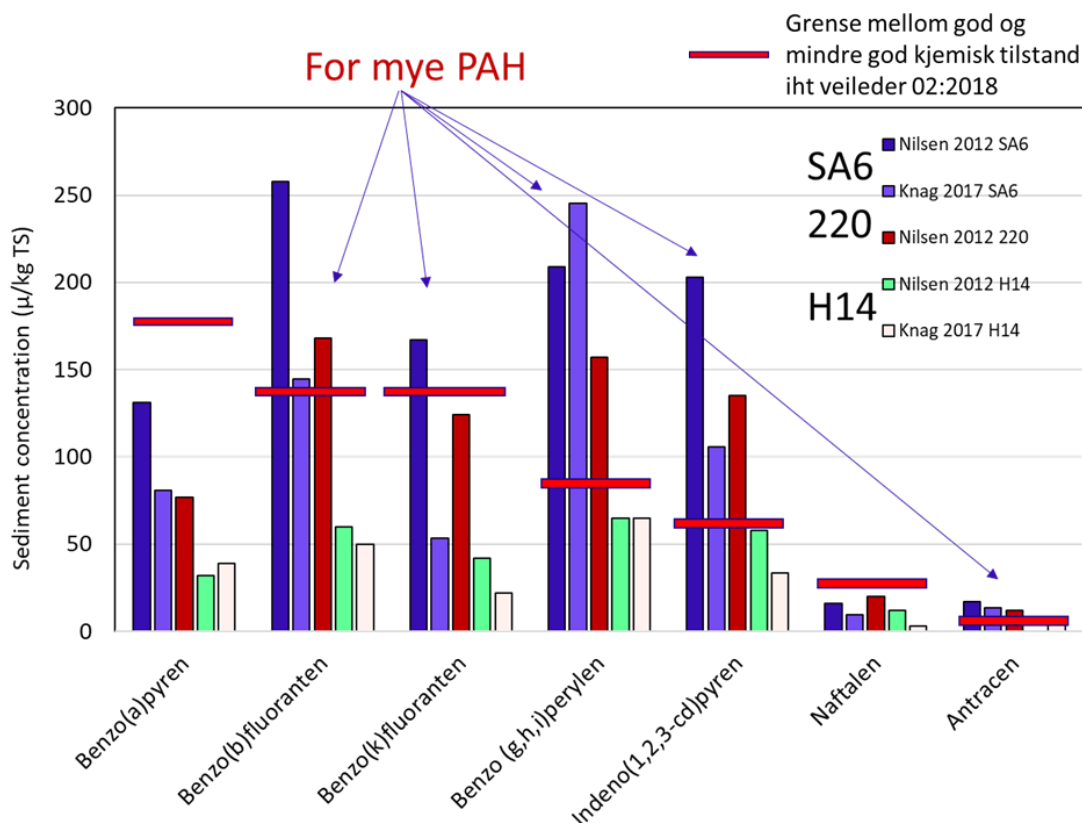
³³ <https://miljostatus-dev.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/alkylfenoler-og-deres-etoksilater/>

³⁴ <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tbt>

³⁵ <https://miljostatus-dev.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/arsen-og-arsenforbindelser/>

³⁶ <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/perfluorerte-stoffer-pfos-pfoa-og-andre-pfas-er/>

³⁷ <https://miljostatus-dev.miljodirektoratet.no/tema/miljogifter/prioriterte-miljogifter/perfluorerte-stoffer-pfos-pfoa-og-andre-pfas-er/>

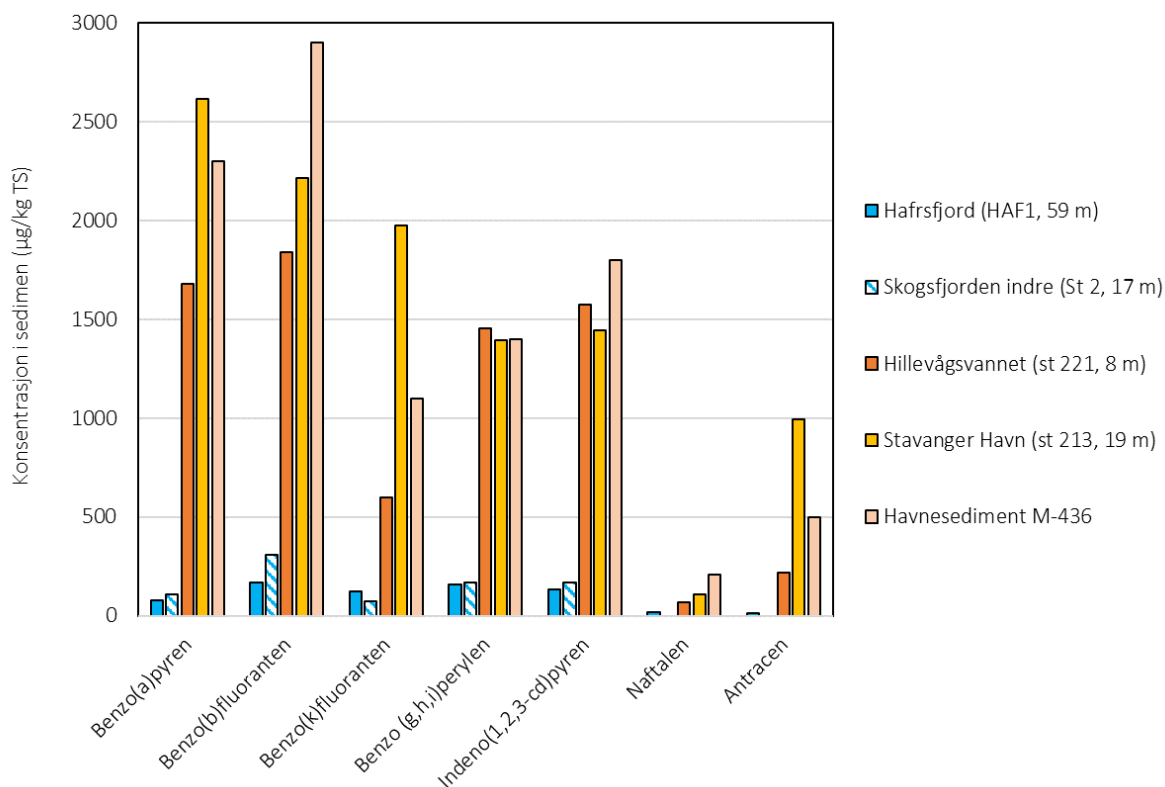


Figur 4. Prioriterte PAH i Hafresfjord. Stasjon SA6 er utenfor Sømmevågen, Stasjon 220 er utenfor Møllebukta og stasjon H14 er i ytre basseng. Data fra Nilsen et al. (2012) og Knag et al. (2018). Grensen mellom god og dårlig kjemisk tilstand er indikert med en rød horisontal strek (Direktoratgruppen-_vanndirektivet 2018).

3.5. Hva vil skje med miljøgiftene hvis oksygenforholdene blir bedre?

Hvis de foreslåtte tiltakene (eventuelt med hjelp fra et fjordforbedringstiltak) fører til bedre oksygenforhold i dypet og i sedimentet er det mulig at noe av miljøgiftene i sedimentet kan lekke ut i vannet og bli tilgjengelige for dyr som etter hvert slår seg ned på sedimentet (Figur 6). Miljøgifter vil i så fall kunne oppkonsentreres i næringskjeden og bli et potensielt helseproblem for dyr og mennesker høyere opp i næringskjeden (Direktoratgruppen-_vanndirektivet 2018). Bunndyr som graver i sedimentet, kan bidra til at miljøgifter som har blitt lagret i mange år blir biotilgjengelige. Tykkelsen til det bioturberte sedimentlaget varierer mye. Et globalt snitt er estimert til å være 5,75 cm (Teal et al. 2008), men noen steder kan dyrene rote rundt mer enn en meter ned i sedimentet (Bentley and Nittrouer 2012; Parsons-Hubbard et al. 2014; Tomašových et al. 2018). I Hafresfjord er det omtrent 25-35 cm ned til det laget som representerer naturtilstanden (1800-tallet) (Statens_Vegvesen 2014). Forsøk der anoksiske sedimentkjerner fra Østersjøen er tatt inn i lab og tilsatt bunndyr viser at ulike arter har ulik effekt på hvor mye av sedimentet som blir oksisk (Bonaglia, Marzocchi, et al. 2019). Hvilke dyr som først slår seg ned etter bunnvannet får mer oksygen kan dermed påvirke hvordan det går med miljøgifter i sedimentet. Det er usikkert hvor mye av de lagrede miljøgiftene som vil lekke ut hvis oksygenforholdene i dypvannet blir bedre, men det anbefales å følge med på hva som skjer. Utlekking av

miljøgifter fra sedimentet kan overvåkes ved å sette ut passive prøvetagere og blåskjell i bur og analysere opptak av miljøgifter (Stigebrandt et al. 2015; Schaanning et al. 2021) og i tillegg analysere fisk og annen sjømat der man ikke ønsker miljøgifter av hensyn til folkehelsen. Med de planlagte tiltakene (reduksjon i tilførsler av næringsalter og eventuelt åpning av brufylling) vil endringene i bunnvannet antagelig gå relativt sakte. Hvis man i tillegg inkluderer et fjordforbedringstiltak, kan endringene skje raskere.



Figur 5. Sammenligning av PAH konsentrasjonen i sedimentet i Hafrsfjords dypeste stasjon og andre vannforekomster. Data for Hafrsfjord, Hillevågsvannet og Stavanger Havn (Nilsen et al. 2012), Skogsfjorden indre (Trannum and Håvardstun 2019) og Havnesediment M436 (Ruus et al. 2015).

Hvis utlekking av miljøgifter blir et problem, kan tildekking av sedimentet vurderes. I 2002 ble det konkludert å fokusere på tiltak i de mest forurenede vannlokalitetene i Rogaland vannregionen og Hafrsfjord nådde ikke opp i konkurransen (Myhre 2002). NIVA har nylig vurdert hvor forurenset sjøbunn i dag utgjør størst risiko for helse og miljø (Olsen et al. 2021) og de har laget en liste over 20 slike områder. I tillegg kommer de 17 prioriterte områdene i den nasjonale handlingsplanen for opprydding i forurenset sjøbunn (Miljøverndepartementet 2006). NIVA vurderte ikke Hafrsfjord pga kvaliteten på tilgjengelige data. Hafrsfjord ligger altså langt bak i køen når det gjelder å få midler til å dekke til bunnen hvis man skulle ønske det. Det viktigste er å kutte nye tilførselene av miljøgifter til fjorden og å hindre at det lekker fra gamle fyllinger. Det har liten verdi å dekke til bunnen hvis man ikke klarer å stoppe tilførsel av nye miljøgifter. Målet med tildekkingen er at ikke gammel forurensning skal tas opp i næringskjeden og skade økosystemet og folk som spiser sjømat.

Bruken av midler til opprydding i forurenset grunn og forurenset sjøbunn har blitt evaluert (Magnussen et al. 2019). Det ble konkludert at til dels mangelfull overvåking før og etter

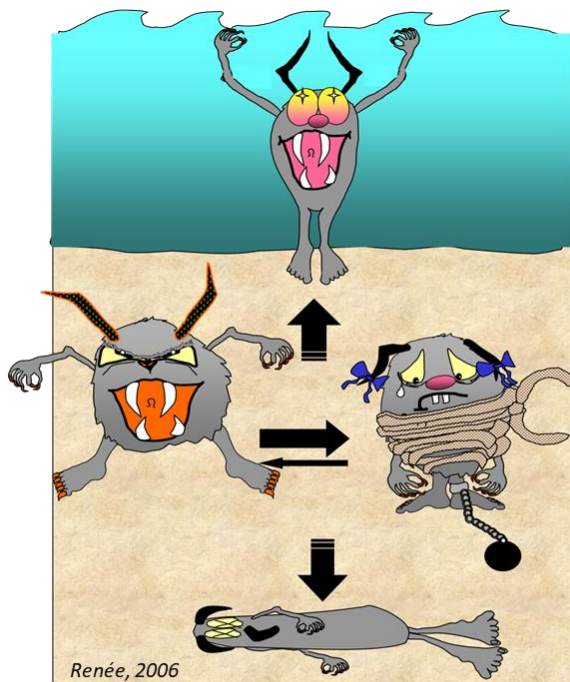
tiltakene gjør at det i liten grad er mulig å fremskaffe dokumentasjon på om tiltakene har medført noen reduksjon i miljøgiftnivået i fisk, skalldyr og andre organismer i eller i nærheten av tiltaksområdene. Det anbefales derfor at arbeidet med å fremskaffe slik dokumentasjon styrkes i fremtidige prosjekter. Når sedimenter skal dekkes til for å bedre miljøtilstanden er det viktig å overvåke om tiltaket har den ønskede effekten og i tillegg er det viktig å vurdere hva som er den beste metoden å dekke til forurenset sediment på (Trannum et al. 2021; Schaanning et al. 2021). Tildekking av sediment med et tynt lag av aktivt karbon var ikke bra for bunndyrene (Trannum et al. 2021) selv om det var effektivt for å hindre utlekking av miljøgifter (Schaanning et al. 2021) og næringsalter (Bonaglia, Rämö, et al. 2019).

Fjordforbedring med mål om å øke sirkulasjonen i vannmassene for dermed å revitalisere sjøbunnen i Skogsfjorden indre nær Mandal i Agder har blitt foreslått (Trannum and Håvardstun 2019; Frigstad et al. 2017). NIVA har konkludert at et slikt tiltak først vil være formålstjenlig og forsvarlig når risikoen for spredning av miljøgiftene er eliminert (Trannum and Håvardstun 2019). De anbefaler å gjennomføre en tiltaksanalyse for forurenset sjøbunn for å avklare best egnede tiltaksløsning for å hindre spredning av miljøgifter fra sedimentet (Trannum and Håvardstun 2019). Det betyr fjerning eller tildekking av de forurensete sedimentene før man eventuelt kan gå i gang med tiltak som kan øke sirkulasjonen i vannmassene og revitalisere sjøbunnen i Skogsfjord-indre³⁸. Nivåene av PAH (Figur 5), metaller og PCB i sedimentet var i samme størrelsesorden i Hafrsfjord og Skogsfjord-indre, men det var høyere konsentrasjon av TBT i Skogsfjord-indre (Trannum and Håvardstun 2019). Det er relevant å ta hensyn til NIVAs vurderingen når det gjelder eventuelle fjordforbedringstiltak i Hafrsfjord, men hvis miljømålet for Hafrsfjord er å bedre oksygenforholdene i bunnvannet så vil det være en risiko for utlekking av miljøgifter uansett hvilke tiltak som fører til bedringen (utslippskutt, åpning av brufylling, fjordforbedring).

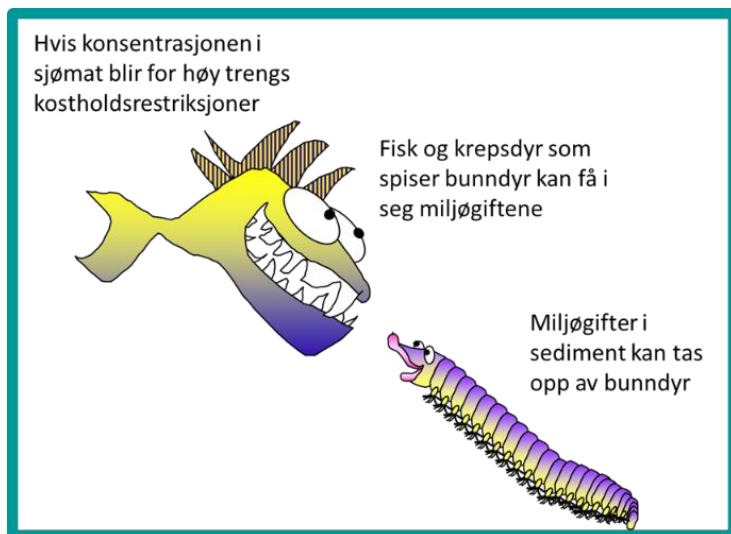
Miljømål³⁹ for Hafrsfjord er å oppnå God Økologisk tilstand innen 2033 (Kapittel 3.3.) og God Kjemisk tilstand innen 2027. Noen miljøgifter inngår i økologisk tilstand (vannregionspesifikke stoffer, bestemmes av Miljødirektoratet) og andre miljøgifter inngår i kjemisk tilstand (prioriterte stoffer, bestemmes av EU). Verken de prioriterte eller de vannregionspesifikke miljøgiftene som ligger i sedimentet vil forsvinne av seg selv de neste ti årene, men hvis man lykkes med å kutte tilførselene av miljøgifter kan nytt sediment som dannes ha lavere konsentrasjoner. Hvis man lykkes med å bedre oksygenforhold i bunnvannet bør man følge med på om miljøgifter kommer seg ut av fra sedimentet og opp i næringskjeden.

³⁸ <https://vann-nett.no/portal/#/waterbody/0132010201-C>

³⁹ <https://www.vann-nett.no/portal/#/waterbody/0242010200-C>



Utilgjengelige miljøgifter i sedimentet kan bli tilgjengelige når sedimentet går fra anoksisk til oksisk



Figur 6. Tegningene illustrerer på en forsøksvis munter måte hvordan miljøgifter som ligger bundet i anoksisk sediment kan frigis når sedimentet blir oksisk. Miljøgifter kan tas opp i bunndyr og oppkonsentreres i næringskjeden.

4. Kan fisken komme tilbake?

«Vanlige folk» er opptatt av om det er mulig å fange fisk og annen sjømat i fjordene våre. Er det sannsynlig at en forbedring av oksygentilstanden i Hafrsfjord vil føre til at det blir mer fisk i fjorden?

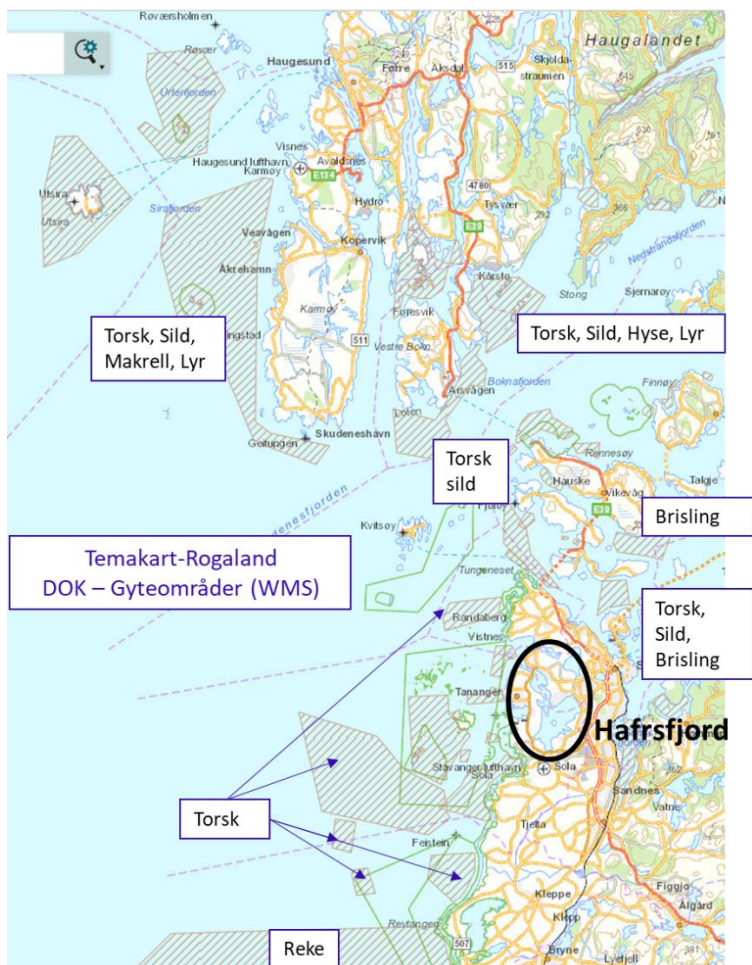
Dessverre har ingen undersøkt hvilke arter av fisk og plankton som lever i fjorden og heller ikke hvor mye det er av andre bevegelige arter (f.eks. krepsdyr) som lever på bunnen i de områdene der det er oksygen. Det er altså mye man ikke vet om livet i Hafrsfjord og andre fjorder, selv om det gjøres regelmessige miljøundersøkelser. I vannforskriften fokuseres det kun på dyr som lever i sedimentet og mengden planktonalger (klorofyll a) når det gjelder biologi. Fiskeridirektoratet har mange viktige og interessante tidsserier med fangstdata for ulike arter av fisk og annen sjømat. De har også fine kart på sin nettside som viser utbredelse av arter, gytefelt, fiskefelt etc. Det finnes data på fangst fordelt på fangstområde og fangstdata koblet med fartøydata, men det finnes dessverre ikke informasjon om hvor mye fisk det har vært fisket før og nå i en enkelt fjord, ifølge Katharina Jacob og Tove Aasheim i Fiskeridirektoratet. Det er vanskelig å finne fiskeridata inne i fjordene, siden fartøy under 15 m ikke er pålagt å rapportere sin posisjon. De fleste som fisker nær kysten bruker disse små fartøyene. Det er imidlertid flere måter å finne informasjon om fangst gjort av fartøy over 15 m, men det er ikke relevant for Hafrsfjord. Det foregår for tiden en trinnvis innføring av rapporteringsplikt også for fartøy under 15 m⁴⁰. All fangst som omsettes i Norge registreres, men fangsten blir ikke registrert per fjord eller per fiskefelt. For å kunne si noe om økosystemets tilstand per vannforekomst ville det vært veldig nyttig å ha tidsserier med overvåkings- og fangstdata for fisk og annen sjømat (reker, sjøkreps, hummer og skjell) for hver vannforekomst. Dessverre er slike data bare unntaksvis tilgjengelige.

4.1. Hva vet vi egentlig om fisk i Hafrsfjord?

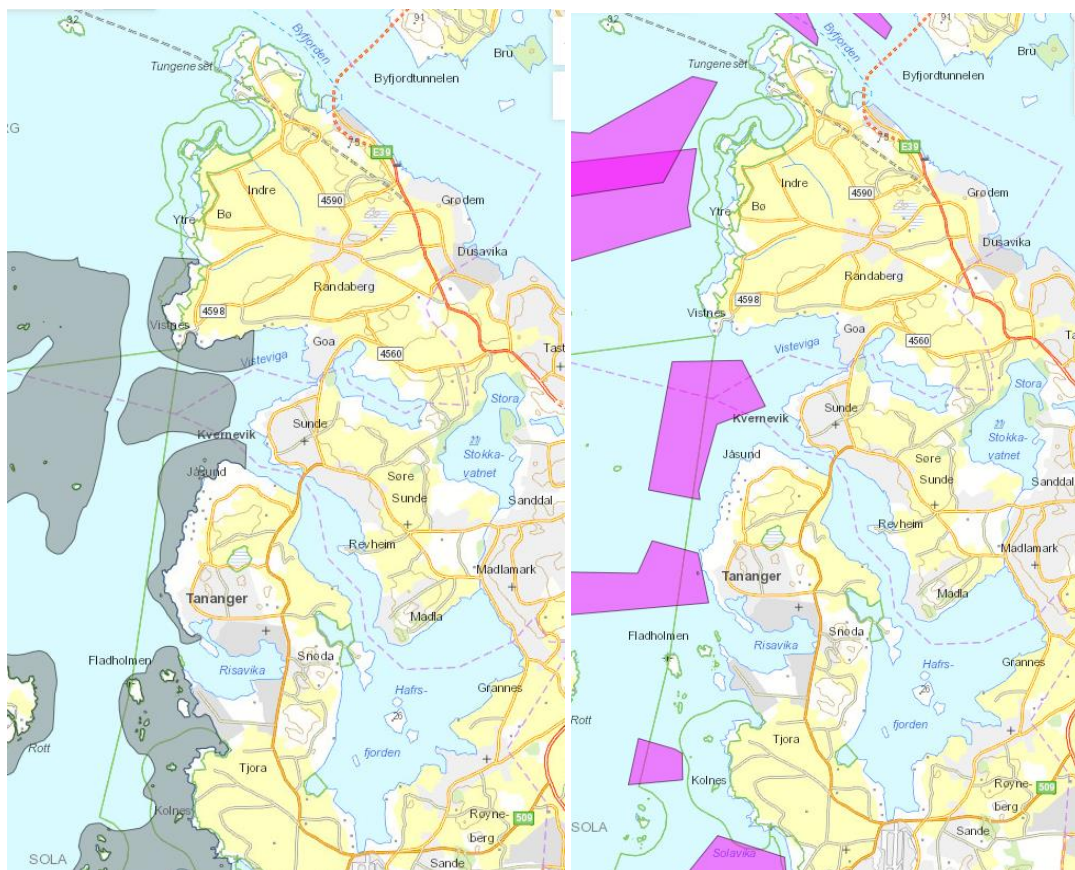
Marine arter. Temakart-Rogaland viser at det ikke er registrert gytefelt for torsk eller andre arter fisk i Hafrsfjord (Figur 7). Kysttorsken gyter både inne i fjordene og i skjærgården. I fjordene velger den beskyttede områder, ofte innerst i fjordarmene, i poller, våger eller bukter, hvor gytingen foregår typisk på 20–60 m dyp (Husa et al. 2016), men oksygenforholdene er antagelig for dårlige i Hafrsfjord. Gyteområdene er kartlagt gjennom intervjuer med fiskere, og i tillegg gjennomfører Havforskningsinstituttet eggundersøkelser (Espeland et al. ; Husa et al. 2016). Det er ikke registrert fiskeplasser for verken aktiv eller passiv redskap i Hafrsfjord. Den nærmeste fiskeplassen for passiv redskap er Vistevinga og Tananger utenfor Hafrsfjord bru. Der er det et fiskefelt for sjøkreps, taskekrabbe og hummer i de grå feltene utenfor innløpet til Hafrsfjord (Vistnestangen og Tananger NV) (Figur 8).

40

<https://www.fiskeridir.no/Yrkesfiske/Rapportering-paa-havet/utvidelse-av-rapporteringsplikten-for-alle-fiskefartoy>
https://www.fiskeridir.no/Yrkesfiske/Rapportering-paa-havet/_attachment/download/1d6e2883-44ab-4978-9882-6a0769420758:4c1dcd05583308eea636b446dc5e1365e832610b/elektronisk-rapportering-fartoy-under-15-meter-oktober2018.pdf



Figur 7. Temakart-Rogaland <https://www.temakart-rogaland.no/>. Kyst/Fiskeri – DOK – Gyteområder. De fleste skraverte områdene i nærheten av utløpet fra Hafrsfjord skal være gyteområder for torsk. Figuren viser også hvilke arter som gyter på noen av de andre gytefeltene i området.



Figur 8. Temakart-Rogaland <https://www.temakart-rogaland.no/>. De grå feltene utenfor Hafsrfjord er fiskeplasser: Kyst/Fiskeri – DOK Fiskeplasser – Passiv redskap. De rosa feltene er Kyst/Fiskeri – DOK Fiskeplasser – Aktiv redskap. På feltet rett utenfor utløpet av Hafsrfjord (Vistevik) fiskes det torsk og andre arter hvitfisk.

Sjørørret. Ifølge Temakart-Rogaland⁴¹ er det flere bekker med sjørørret som renner inn i Hafsrfjord (Figur 9). Jeg har ikke funnet data på hvordan det står til med bestandene av sjørørret i Hafsrfjord og bekkene som munner ut i fjorden, men Sjørørretprosjektet Rogaland⁴² gjør en god innsats for å bedre forholdene for sjørørreten. Møllebekken, som renner fra Stokkavatnet til Hafsrfjord, har vært en god gyteelv for ørret og laks, står det i en artikkel i Stavanger Aftenblad⁴³. Nå er tilstanden så dårlig at fisken ikke lenger går opp i bekken. Slam som har samlet seg i bekken skal fjernes og erstattes med grus som fisken igjen kan gyte i. Ifølge møtereferat fra Jæren vannområdeutvalg 11. november 2020⁴⁴ pågår det restaurering av Møllebekken. Naturvernforbundet i Rogaland⁴⁵ skriver at på flyfoto fra 1960 kan Grannesbekken ses der den bukter seg gjennom jordbrukslandskapet fra Grannes rideskole og til utløpet i Grannesbukta naturreservat i Hafsrfjord. I dag er det bare de siste 70-80 meterne av bekken som er åpne, resten av bekken ligger i rør. Naturvernforbundet skriver at undersøkelser tyder på at sjørørreten gyter i bekken og at det kan gå ål der.

⁴¹ <https://www.temakart-rogaland.no/>

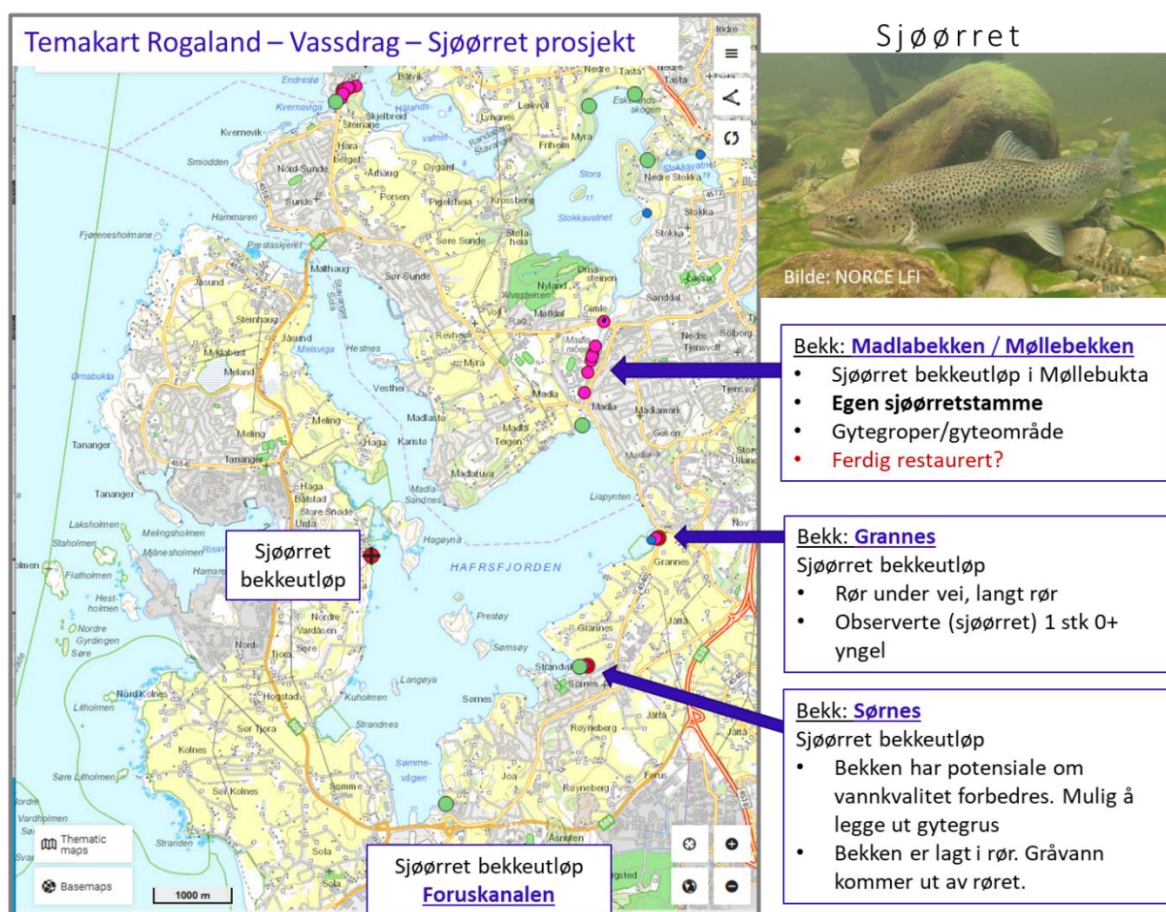
⁴² <https://www.vannportalen.no/globalassets/vannportalen/vannregioner/rogaland/dalane-vannomrade/roar-eik---presentasjon-av-sjoorretprosjektet-i-rogaland.pdf>

⁴³ <https://www.aftenbladet.no/lokalt/i/g7Bo6L/artister-redder-sjoeaure-i-moellebekken>

⁴⁴ <https://www.vannportalen.no/sharepoint/downloaditem?id=01FM3LD2RJM54T4N4JEVD3U4LMUBX7GGED>

⁴⁵ <https://naturvernforbundet.no/rogaland/nyhetsarkiv/apne-grannesbekken-til-hafsrfjord-article39028-1276.html>

Naturvernforbundet ønsker å åpne opp Grannesbekken for å bedre forholdene for sjørørret. Det står dårlig til med sjørørreten i Rogaland (Anon. 2019). Mange av bestandene har dårlig tilstand på grunn av påvirkning fra lakselus, landbruk, og kraftregulering.



Figur 9. Ifølge Temakart-Rogaland er det flere bekker med sjørørret som renner inn i Hafrsfjord.

Laks. Hafrsfjord er del av nasjonal laksefjord *Kysten Jæren-Dalane* (Figur 10). Det er en oversikt over laksefjorder og laksevasdrag i Forskrift om særskilte krav til akvakulturrelatert virksomhet i eller ved nasjonale laksevasdrag og nasjonale laksefjorder⁴⁶. Det er to nasjonale laksefjorder i Rogaland: *Kysten Jæren-Dalane* (fra Tungenes fyr til Åna-Sira, inkludert Hafrsfjord) og *Sandsfjorden* (Austbø-Jelsa og Vardnes-Breidvik). I tillegg er det fem nasjonale laksevasdrag: Bjerkreimselva, Suldalslågen, Oгна, Håelva og Figgjo. Formålet med ordningen med nasjonale laksevasdrag (NLV) og nasjonale laksefjorder (NLF) er å gi et utvalg av de viktigste laksebestandene i Norge en særlig beskyttelse mot skadelige inngrep og aktiviteter i vassdragene og mot oppdrettsvirksomhet, forurensning og munningsinngrep i de nærliggende fjord- og kystområdene (Hindar et al. 2018). Ordningens viktigste funksjon i regional forvaltning er at den bidrar til økt vektlegging av at det må tas hensyn til laks i de utpekte områdene (Dervo et al. 2018). Til tross for bedring på viktige områder, er antallet norsk laks i havet mer enn halvert siden 1980-tallet (Vitenskapelig_råd_for_lakseforvaltning 2020). Særlig har det vært en nedgang på Vestlandet og i Midt-Norge. Negativ påvirkning fra

⁴⁶ https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2009-06-22-961/KAPITTEL_4#KAPITTEL_4

lakseoppdrett er en viktig årsak, men generelt lav overlevelse i havet har også bidratt. I takt med at laksebestander har blitt redusert, så har laksefisket blir betydelig redusert eller stengt. Villaksen ble rødlistet i 2021. Arten er vurdert til nær truet i Norsk rødliste for arter 2021⁴⁷ på grunn av reduksjon i populasjonsstørrelse. Lakselus og rømt oppdrettslaks er vurdert som ikke stabiliserte bestandstrusler (Forseth et al. 2017). Miljødirektoratet har fastsatt nye forskrifter for fiske etter anadrome laksefiske i sjø og vassdrag for sesongen 2021⁴⁸. Endringene medfører blant annet en betydelig innstramning i sjølaksefiske i Rogaland. Det er ikke lov å fiske laks innenfor Hafrsfjordbrua. Denne reguleringen viser at det har vært eller er laks i Hafrsfjord.



Figur 10. Temakart-Rogaland. Kyst/Fiskeri – DOK – Nasjonale laksefjorder

Jeg har søkt i artikler og rapporter og på nettet for å finne mer informasjon om fisk i Hafrsfjord, men har ikke lykket med å finne mer enn det jeg nevner i dette kapittelet. Man vil kunne få mer informasjon ved å intervjuer lokale fritidsfiskere og yrkesfiskere og folk som har bodd lenge ved fjorden, men det inngår ikke i dette prosjektet. Intervjuer med fiskere og folk som bor langs kysten brukes av forskere når man mangler data på fiskebestander i et område (Pauly 2019), men det vil være usikkerhet rundt denne typen informasjon. En av få rapporter som nevner fisk i Hafrsfjord bygger delvis på intervjuer med fiskere (Tangen et al. 2016). Det foreligger ikke bestandsestimat for brisling i fjordene⁴⁹, så den eneste informasjonen man har er det som kommer fra denne typen undersøkelser. De som drev

⁴⁷ <https://artsdatabanken.no/lister/rodlisteforarter/2021/8149>

⁴⁸ <https://www.statsforvalteren.no/Rogaland/Miljo-og-klima/Fiskeforvaltning/nye-regler-for-laksefiske-fra-2021/>

⁴⁹ <https://www.hi.no/hi/temasider/arter/brisling/kyst-og-fjordbrisling>

fiske etter brisling i Rogaland på 1950- og 1960-tallet forteller at det årlig kom brisling inn fra havet om våren (Tangen et al. 2016). Noen år kom det brisling inn til Hafrsfjord, noe som viser at den må ha oppholdt seg vest for Sola. Fiskerne mente derfor at situasjonen på 1950- og 1960-tallet viste et årlig innsig av Nordsjøbrisling til Ryfylke-fjordene. Nyere forskning viser imidlertid at det er signifikante genetiske forskjeller mellom kyst-/fjord-brisling og brisling i Nordsjøen. Siden det har skjedd store endringer i Nordsjøen og langs kysten de siste 50 årene er det vanskelig å si om brislingen kom inn i fjordene fra Nordsjøen i gamle dager eller ikke (Tangen et al. 2016).

4.2. Hvordan står det til med fisken utenfor Hafrsfjord?

Hvordan står det til med fiskebestandene ute i Nordsjøen? Selv om tilstanden til majoriteten av de kommersielt viktigste fiskeartene i Nordsjøen har forbedret seg til over kritiske nivåer, tyder flere undersøkelser på at rekrutteringen er svak og nettoproduksjonen lav (Clausen et al. 2018; Arneberg et al. 2018). Fiskebestandene kollapset som følge av overfiske på 1970- og 1980-tallet, men det er gjennomført fiskerireguleringer både på norsk og EUs side (Arneberg et al. 2018).

Hvordan går det egentlig med kystfisken? Det har vært en stor nedgang i mengden kysttorsk fanget i strandnotttrekk på Skagerrakkysten fra 1919 til 2006 (Nedreaas et al. 2008). Tore Johannessen fra HI mener at økt temperatur påvirker næringsgrunnlaget (dyreplankton og småfisk) til torsken langs Skagerrakkysten⁵⁰. Ifølge Havforskningsinstituttet sin temaside om Kysttorsk sør for 62°N⁵¹ så tyder fiskeridata på en nedgang i kysttorsk mellom Lindesnes og Stadt, i tillegg til den dokumenterte nedgangen i Skagerak. Selv om det er vist i flere studier at klima virker klart negativt inn på bestandene, så er økt beskatning identifisert av Havforskningsinstituttet som den enkeltfaktoren som har størst effekt på nedgang i forekomstene av voksen torsk på Vestlandet og langs østre deler av kysten av Skagerrak. Basert på data fra overvåking av torsk, miljøgifter og klima langs kysten av Skagerrak konkluderte (Hjermann et al. 2013) at Skagerak-torsken var påvirket både av klimavariasjoner og av lokal forurensning (miljøgifter). Når det gjelder effekten av global oppvarming er det dokumentert at fiske embryo og fisk som skal gyte er mer følsomme for temperaturendringer enn andre livsstadier (Dahlke Flemming et al. 2020).

... og fisken i fjordene? Oslofjorden sliter. Espeland and Knutsen (2019) dokumenterte at rekruttering av torsk i Indre Oslofjord var svært lav i 2018, også sett i forhold til de siste årene hvor trenden har vært på et historisk lavt nivå. De varmekjære artene (for eksempel makrell) har hatt et oppsving de siste 20 årene, og spesielt ser vi at pelagiske arter overtar for bunnlevende (Barceló et al. 2016). Høyt fiskepress gjennom de siste 100 år og teknologisk utvikling av fiskeriene siden 1950 er en viktig årsak til at flere fiskearter har hatt sterk tilbakegang i Oslofjorden og indre Skagerrak (Moland et al. 2021). Fravær av stedstilpasset fiskeriforvaltning har ført til gradvis utfisking av lokale bestander, der tap av eldre og større individer av toppredatorer har resultert i et fiskesamfunn som domineres av mindre arter. Deler av Oslofjorden har også til dels store miljøutfordringer med hensyn på avrenning,

⁵⁰ <https://www.hi.no/hi/nyheter/2019/august/total-kollaps-i-matfatet-til-de-yngste-torskene-i-sor>.

⁵¹ <https://www.hi.no/hi/temasider/arter/kysttorsk-sor-for-62n>

nærings saltbelastning og oksygenforhold i bunnvannet. Viktige habitater er svekket gjennom utbredt og langvarig bunntåling, endret lysgjennomtrenging ned i vannmassene og temperaturøkning (Moland et al. 2021). Noen av utfordringene i Oslofjorden er relevante for den mye mindre Hafrsfjorden (terskelfjord med forurensning), men i Hafrsfjord har det ikke vært tilsvarende fiskeriaktivitet.

Mangel på fisk, reker og blåskjell i fjordene på Sørvestlandet har blitt omtalt i media. Et eksempel er en artikkel i Jakt & Fiske (Skjelde 2019). I artikkelen forklarer Sigurd Heiberg Espeland ved Havforskningsinstituttet at torskefisker som sei, lyr, torsk, lange og hvitting er kaldtvannsfisker som får stadig trangere kår ettersom sjøtemperaturen stiger. Samtlige arter er sjeldnere nå enn på 1970-tallet og årsaken er høyere sjøtemperatur. Kaldtvannsartene dykker når temperaturen stiger, sier Espeland og forklarer at det at man ikke får like mye fisk som i «gamle dager», enten kan skyldes at det har blitt mindre fisk eller at den ikke lenger lar seg fange. HIs strandnotfiske på Skagerrak-kysten de siste 100 årene viser at samtlige torskefisker er i ferd med å forsvinne (Nedreaas et al. 2008). Utviklingen er i ferd med å kripe vestover mot Vestlandet og Espeland uttrykte i artikkelen bekymring for kysttorskens langs hele norskekysten.

4.3. Vil tiltak i Hafrsfjord gi mer fisk i fjorden?

Basert på rapportene og artiklene nevnt over er det mindre fisk i Nordsjøen enn det var før overfisket på 1970-80-tallet, det er mindre fisk langs Skagerrakkysten og langs kysten mellom Lindesnes og Stadt, og det er mindre fisk i fjordene på sørvestlandet i tillegg til i den bedre dokumenterte Oslofjorden. Som forklart over er det flere mulige årsaker til at fiskebestandene er redusert. Det er vanskelig å vite sikkert hvorfor fisken har forsvunnet fra en spesifikk fjord, spesielt når man ikke har data på hvor mye fisk det har vært og er i fjorden. Fiskebestandene kan reduseres i en fjord på grunn av for mye fiske (ute i havet eller i fjordene), klimaendringer (høyere temperatur), for lite oksygen på grunn av overgjødning og/eller for mye miljøgifter i fjordene. Det som er sikkert, er at fisk ikke kan overleve i bunnvannet i Hafrsfjord med de lave oksygenkonsentrasjonene som er der nå. Derfor er det sannsynlig at det kan komme mer fisk inn i fjorden hvis noen av tiltakene som gjennomføres lykkes i å øke mengden oksygen i bunnvannet. Det er mer usikkert om det vil bli like mye fisk som det eventuelt var i gamle dager, siden det generelt er mindre fisk nå enn før.

For å finne ut om tiltakene (utslippskutt, åpning av brufylling, ev. fjordforbedring) som gjøres for å bedre oksygenforholdene i dypvannet i Hafrsfjord fører til mer fisk og dyreplankton (mat for fisk) i fjorden må man sjekke hvor mye fisk det er nå og om det blir mer etter tiltakene er gjennomført. Hvis målet kun er mer oksygen i dypvannet og litt bunndyr kan man nøye seg med å overvåke det. Jeg går ikke inn i detaljer om de ulike metodene for overvåking av plankton og fisk i denne rapporten, men nevner at overvåking av fisk kan gjøres med standardisert fiske, forsøksfiske med ruser og teiner, strandnotttrekk, eggundersøkelser, akustiske merker og agnede stereo-videorigger (Espeland et al. 2016). Det er mulig at man kan få nyttig informasjon om mengden fisk som svømmer inn og ut av fjorden ved videoovervåking av det smale innløpet (Aguzzi et al. 2020). Man kunne også bruke droner og selvgående undervannsroboter som bruker akustikk og video til å dokumentere mengden fisk (Johnsen, Totland, and Kvamme 2020).

5. Vurdering av tiltak for å bedre miljøtilstanden

Uansett om målet for økologisk tilstand i dypvannet i Hafrsfjord er *god* eller *moderat* så er det en jobb å gjøre for å nå målet. Dette kapitlet gir en oversikt over ulike relevante tiltak for Hafrsfjord. For at tilstanden i dypvannet skal nærme seg naturtilstanden som var «moderat økologisk tilstand» må det bli mer oksygen i bunnvannet og i sedimentet slik at bunndyr kan slå seg ned. Det er foreslått mange gode tiltak som kan redusere utslipp både av næringssalter, organisk materiale og miljøgifter til fjorden, men det er ikke realistisk å redusere utslippene ned til 1800-talls-nivå (naturtilstanden). Selv om man innfører strengere lovverk som fører til redusert spredning av husdyrgjødsel, redusert bruk av kunstgjødsel, og driftsmetoder som reduserer avrenning så vil man fremdeles ha mye jordbruk, bebyggelse, industri og veier i området rundt Hafrsfjord og mer avrenning og tilførsel av forurensning enn på 1800-tallet vil det fremdeles være. Det å fjerne brufyllingen som ble laget på 1920-tallet vil kunne bedre vannutvekslingen (Statens_Vegvesen 2014), men det er ikke sikkert at utslippsreduksjoner og fjerning av brufylling er tilstrekkelig for å oppnå moderat tilstand (naturtilstanden) i dypvannet. I tillegg til at vi ikke kan stoppe all avrenning selv om alle foreslåtte tiltak gjennomføres så vil klimaendringene bidra i negativ retning (Figur 2).

5.1. Planlagte tiltak

Hafrsfjord er delt mellom Stavanger kommune i nord og Sola i sør. De fem bekkene og kanalene (Figur 11) som bringer vann og forurensning til Hafrsfjord renner igjennom de tre kommunene Sola, Stavanger og Sandnes. Møllebekken⁵² er den eneste som ikke er en SMVF (Sterkt Modifisert Vannforekomst). Miljøtilstanden er dårlig i Møllebekken og moderat i de fire SMVFe Grannesbekken⁵³, Hagavikbekken⁵⁴, Soma-Bærheim kanalen⁵⁵ og Foruskanalen⁵⁶. Molversmyr et al. (2015) og Molversmyr, Stabell, and Mjelde (2018) har mer informasjon om miljøtilstanden i bekkene enn det som finnes i vann-nett, og COWI (2014) har data på forurensningsbidrag fra Foruskanalen vest og Soma-Bærheimkanalen.

Kommunene rundt fjorden har laget flere rapporter som omtaler påvirkninger og tiltak som kan bedre miljøtilstanden i Hafrsfjord med bekkeløp (f.eks. (Sandnes_kommune 2015; Stavanger_kommune 2019; Sola_kommune 2021)). I Stavanger kommune er Hafrsfjord en av tre prioriterte vannforekomster, og de skal i samarbeid med Sandnes og Sola kommune lage en helhetlig tiltaksplan for å sikre at de rette tiltakene gjøres for å bedre forholdene i Hafrsfjord (Stavanger_kommune 2019). Hensikten med prioriteringen er å få til en helhetlig vannforvaltning, på tvers av sektormyndigheter og kommuner. For å klare å nå målene er vannregionen avhengig av at alle sektormyndigheter drar i samme retning og gjennomfører tiltak noenlunde samtidig.

⁵² <https://vann-nett.no/portal/#/waterbody/028-36-R>

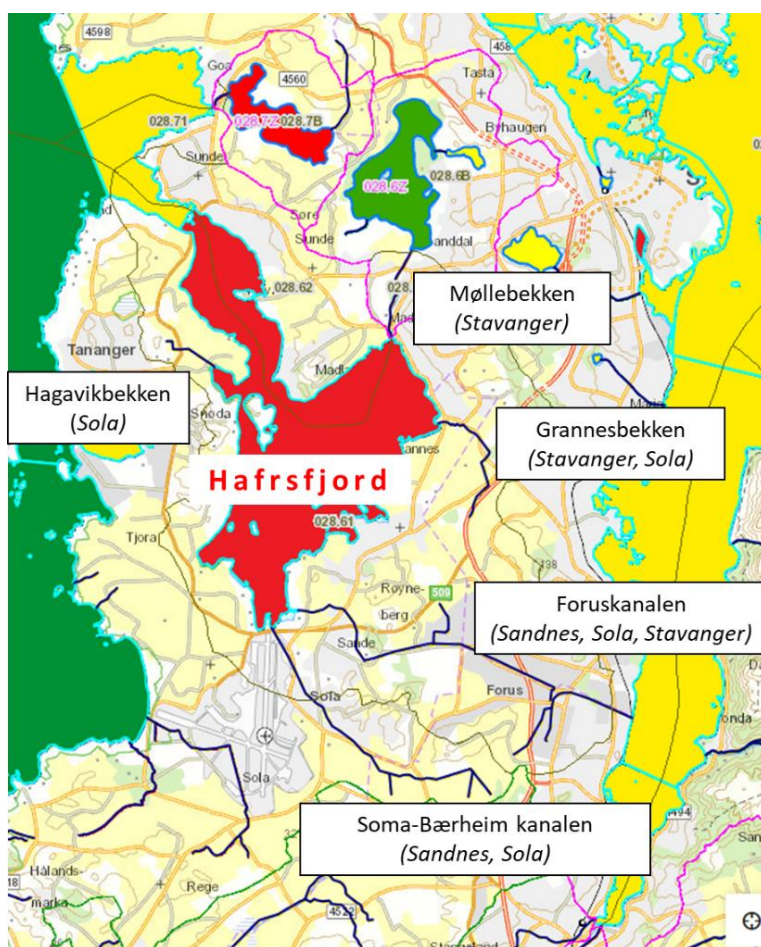
⁵³ <https://vann-nett.no/portal/#/waterbody/028-201-R>

⁵⁴ <https://vann-nett.no/portal/#/waterbody/028-200-R>

⁵⁵ <https://vann-nett.no/portal/#/waterbody/028-121-R>

⁵⁶ <https://vann-nett.no/portal/#/waterbody/028-119-R>

Tidligere mottok Hafrsfjord avløp fra ca. 18 000 personekvivalenter, men det meste er overført til Sentralrenseanlegget Nord-Jæren (SNJ) eller sanert (Nilsen et al. 2012). Områdene rundt Hafrsfjord består av mye jordbruksland, og fjorden påvirkes av avrenning herfra. SNJ kom i full drift i 1992 og i 1995 var vannkvaliteten i de øverste vannmassene tydelig forbedret i alle fjordområdene som hadde fått sanert kloakkutslippene rundt Stavangerhalvøya (Bokn et al. 1996). Alle var blitt mindre næringsrike, og badevannskvaliteten var forbedret eller uendret. I bunnvannet og bunnsedimentene var det i 1995 derimot få tegn til bedring i oksygeninnhold, artsmangfold og innhold av miljøgifter (Bokn et al. 1996). Den siste resipientundersøkelsen fra 2017 viser at det fremdeles er lite oksygen i dypvannet i Hafrsfjord (Knag et al. 2018). Dette viser at selv om kloakkrensning er et avgjørende tiltak for å bedre miljøkvaliteten i vannforkomster, så skal det flere tiltak til for å få bedre miljøtilstanden i dypvannet i Hafrsfjord enn de tiltakene man har gjort til nå.



Figur 11. Kart fra temakart-Rogaland/Vassdrag/Vannforekomster. De mørkeblå strekene som går inn til Hafrsfjord er bekker og kanaler som bringer vann (og forurensning) inn i Hafrsfjorden.

Hafrsfjord med bekkeløp er påvirket av diffus avrenning fra fulldyrket mark, byer, tettsteder og spredt bebyggelse, punktutslipp fra avløp og industri, og bekkelukking (vann-nett og (Stavanger_kommune 2019)). I spredt bebyggelse er det landbruksdrift som har de største tilførselene til vassdragene, mens i mer bebygde strøk er det både avløp, landbruk og urban avrenning (Sandnes_kommune 2015). I både tettbebygde områder og landbruksområder er det gjort omfattende inngrep i og langs elver, bekker og langs kystlinjen, noe som har

stor påvirkning på miljøtilstanden. En lang rekke tiltak for å bedre miljøtilstanden i Hafrsfjord med bekkeløp er nevnt i vann-nett.no og beskrevet blant annet i Stavanger_kommune (2019). Her er noen av tiltakene: lokal forskrift som forbyr spredning av husdyrgjødsel etter første september, tilsyn etter gjødselvareforskriften, frivillige tiltak i landbruket (rådgiving om klima- og miljøvennlige driftsmåter), tilsyn og kontroll med spredte avløp, utbedringer på kommunalt avløp, rensiltak på overvannsnettet, rensesepark ved utløp av bekker, habitatforbedrende tiltak for sjøørret (Møllebekken), vurdere åpning av Revheimskanalen og andre bekkeløp til Hafrsfjord, åpne deler av vegfylling (Hafrsfjord bru), drift av sandfang, utarbeide tiltaksplan og skjøtselsplan og kartlegging av avrenning fra landbruk, industri og avfallsdeponi, opprydding av spøkelsesteiner, andre fiskeredskaper og søppel, informasjonstiltak mot Stillehavsøsters (kartlegging av stillehavsøsters er utført). Når det gjelder habitatforbedrende tiltak i bekker anbefales rapporten «Effektivitet og kost-nytte forhold av miljøtiltak i vassdrag» (Pulg et al. 2020).

For å bedre oksygenforholdene i bunnvannet må tilførsel av næringsalter og organisk materiale reduseres. I den sammenheng er det viktig med tiltak som går på å redusere gjødsling og avrenning fra jordbruk, bebyggelse og veier, i tillegg til tiltak som reduserer utslipp fra spredte avløp og overvann. Her er litt mer informasjon om noen av tiltakene:

- *Miljøvennlig spredning av husdyrgjødsel* er en lokal forskrift som forbyr spredning av husdyrgjødsel etter første september. I Regional plan for vannforvaltning i vannregion Rogaland 2016-2021 er avrenning fra landbruket identifisert som en av hovedpåvirkningene i vannforekomstene i regionen. Utarbeidelsen av en lokal forskrift er et tiltak for å redusere avrenningen i fra landbruket. Jæren vannområde har vært pådriver for å få på plass en lokal forskrift som begrenser spredeperioden. Forskriften sier det er forbudt å spre gjødselvarer mv. av organisk opphav etter 1. september. Nesten alle kommunene i Jæren vannområde har vedtatt den lokale forskriften utenom Sola kommune, som er viktig for å sikre lik behandling innenfor vannområdet. Statsforvalteren i Rogaland⁵⁷ påpeker i sitt høringssvar til Sola kommune sin kommunedelplan for klima og miljø (Sola_kommune 2021) at punktet om økt presisjon i gjødsling og oppfølging av gjødselplaner, er et av de viktigste tiltakene innenfor kommunens myndighetsområde i forhold til å kartlegge gjødselbelastning og gjødselbruk. Kommunene på Jæren har en egen forskrift som skal avgrense høstspredning av gjødsel⁵⁸. Sola bør vurdere å bruke denne forskriften, som alt ligger klar med tydelige føringer. Øygarden et al. (2019) gir mer informasjon om aktuelle tilpasningstiltak for vannmiljø på Jæren med fokus på metoder for spredning av husdyrgjødsel. På Jæren jobbes det også med å finne løsninger for bruken av husdyrgjødsel i biogassanlegg⁵⁹ (Gitlesen et al. 2019). Det vil være positivt hvis mindre husdyrgjødsel spres på jordene og ender opp i vannet.
- *Frivillige landbrukstiltak*. Rådgiving om klima- og miljøvennlige driftsmåter. Frivillige tiltak i landbruket er et prosjekt i Jæren vannområde som eies av kommunene med støtte fra Statsforvalteren og Rogaland fylkeskommune. Målet er å få flere bønder med på frivillige miljøtiltak som kan gi bedre økologisk tilstand i vassdrag på Jæren gjennom å informere

⁵⁷ <https://www.statsforvalteren.no/siteassets/fm-rogaland/dokument-fmro/landbruk/planar/uttale-klima--og-energiplan-sola-kommune.pdf>

⁵⁸ <https://lovdata.no/dokument/LF/forskrift/2018-05-24-1037>

⁵⁹ <https://www.ha.no/landbruk-og-naring/landbruk/landbruk-og-miljo/biogass/>

om økonomiske støtteordninger som Regionalt MiljøProgram (RMP)⁶⁰ og Spesielle Miljøtiltak i Landbruket (SMIL)⁶¹. Hålandsvatnet er prioritert foreløpig i Stavanger mht frivillige tiltak i landbruket. Landbrukets virkning på vannkvaliteten samt effekten av endringer i jordbrukspraksis og tiltaksgjennomføring er dokumentert i rapporter og artikler, blant annet (Bechmann et al. 2017). Det er både overflateavrenning og underjordisk avrenning, og det har betydning om man driver med høstpløying eller vårpløying (Bechmann and Bøe 2021; Chen and Bechmann). I tillegg påvirker ekstreme værhendelser avrenningen fra landbruket (Bechmann and Bøe 2021). Skjellum et al. (2021) beskriver bl.a. prosesser for avrenning av næringsstoffer fra jordbruksarealer og forklarer hvordan ulik jordbruksdrift påvirker avrenningen. Blankenberg, Skarbøvik, and Kværnø (2017) oppsummerer litteraturen om effekt av buffersoner på vannmiljø og andre økosystemtjenester. De beskriver også bestemmelser om kantsoner langs vassdrag i lover og forskrifter. Buffersoner langs vassdrag kan redusere overflateavrenning fra jordbruket, men det er mange forhold som er med på å bestemme effektiviteten av dette tiltaket. Blankenberg and Skarbøvik (2018) har kartlagt kantsoner langs flere jordbrukskanaler og elver i Rogaland, men ikke langs bekkefelt til Hafrsfjord. De har også intervjuet grunneierne (bønder) om deres erfaringer med tiltak i og langs vassdrag, og deres synspunkt på hvilke andre tiltak de mener er viktige for å bedre vannkvaliteten i Vannområde Jæren. Alt dette er nyttig informasjon for å vurdere hvilke tiltak som vil gi best effekt for Hafrsfjord. De mange økosystemtjenestene skogkledde elvebredder bidrar med er undersøkt langs franske og tyske elvesystemer og beskrevet i en ny artikkel (Vermaat et al. 2021).

- *Forurensning fra Foruskanalen*. For Forusområdet er hovedutfordringen overvannsavrenning (Sandnes_kommune 2015). Det har ikke vært fokus på lokal håndtering av overvann under utvikling av Forus og alt overvann ledes nå via rør til Foruskanalen. Kanalen har utløp både i Gandsfjorden i øst og i Sømmevågen i Hafrsfjord i vest. Næringsområdet er tettbygd, har store parkeringsarealer og få grønne flater. Det er mye industri og trafikk i området, noe som medfører høyt innhold av partikler og mye miljøgifter i avrenningen. Overvannsavrenningen fra området utgjør en stor belastning både med tanke på flom og forurensning. Statsforvalteren i Rogaland⁶² påpeker i sitt høringssvar til Sola kommune sin kommunedelplan for klima og miljø (Sola_kommune 2021) at planen bør vise til utfordringene med avrenning fra Forus mot Hafrsfjord, og hvordan en ser for seg klima- og miljøvennlige løsninger her. Økende utbygging og økende nedbør vil øke belastningen på Foruskanalen.
- *Fjerne bruffylling*. Et foreslått tiltak er å tilbakeføre utløpet av fjorden til slik det var før bro over sundet ble bygget og utløpet smalet inn. Som del av arbeidet med Transportkorridor Vest planlegges ny bru over innløpet til Hafrsfjord hvorav flere mulige bruløsninger er aktuelle. Det har blitt foreslått å fjerne dagens bruffylling som dekker deler av innløpet, noe som vil kunne ha positiv innvirkning på vanntilførselen og sirkulasjonen i Hafrsfjord (Statens_Vegvesen 2014). Den første bruffyllingen ble laget på 1920-tallet. Rapporten inneholder ikke noen målinger eller modellering av vannutveksling i fjorden, men i Statsforvalterens høringssvar til Sola kommunes plan for

⁶⁰ <https://www.statsforvalteren.no/Rogaland/Landbruk-og-mat/Miljotiltak/Tilskot-til-miljotiltak/>

⁶¹ <https://www.stavanger.kommune.no/siteassets/naring-og-arbeidsliv/landbruk/smil-strategi-stavanger-kommune-2020--2023-vedtatt.pdf>

⁶² <https://www.statsforvalteren.no/siteassets/fm-rogaland/dokument-fmro/landbruk/planar/uttale-klima-og-energiplan-sola-kommune.pdf>

klima og miljø 2021-2031 står det at det i forbindelse med planer for etablering av ny bro ved innløpet, ble ved hjelp av simuleringer dokumentert en bedret vannkvalitet hvis innløpet ble utvidet. Statsforvalteren i Rogaland anbefalte at et slik tilleggstiltak vurderes tatt med som et eget moment i arbeidet for å oppnå en bedre tilstand i Hafrsfjord. Da jeg spurte om status for arbeidet med broa svarte Statens Vegvesen⁶³ at videre planarbeid er satt på vent inntil det er tatt en beslutning om prioritering av prosjekter i Bymiljøpakken og da spesielt Transportkorridor vest som Hafrsfjord bro er en del av. Det er derfor litt uklart om planen er å fjerne den gamle brufyllingen eller ikke.

Oksygenforholdene i dypet av Hafrsfjord kan altså bedres ved å fjerne brufylling som dekker deler av innløpet og redusere tilførsler av næringsalter og organisk materiale. I tillegg kan miljømyndighetene vurdere å inkludere fjordforbedring i tiltakspakken for Hafrsfjord. I kapittel 5.2. skal jeg gi en oversikt over relevante fjordforbedringstiltak og kommentere på fordeler og ulemper med å bruke fjordforbedring.

5.2. Fjordforbedring i tillegg?

Når det gjelder fjordforbedringstiltak i Norge finnes det blant annet en serie rapporter fra 1980-tallet (Berge et al. 1982; Thendrup and Hansen 1989; Molvær et al. 1983; Berge and Thendrup 1981), en oversiktsrapport fra 1997 (Johnsen 1997) og noen nyere rapporter (Birkeland 2002; Frigstad et al. 2017; Trannum and Håvardstun 2019; Staalstrøm and Yakushev 2020). I Sverige har nedpumping av overflatevann blitt testet ut i Byfjorden utenfor Uddevalla i 2010-2012 (Stigebrandt et al. 2015).

Flere metoder er utviklet for å øke de vertikale transport- og blandingsprosessene, og dermed påskynde de naturlige prosessene som fører til dypvannsutsiftninger (Johnsen 1997). Dette kan gjøres ved å kunstig blande overflatevannet med bunnvannet (Staalstrøm and Yakushev 2020). Hensikten med kunstig blanding er å gjøre bunnvannet lettere, slik at friskt vann fra utsiden kommer inn oftere. Dette er den mest effektive måten å ventilere bunnvannet, som ikke bare øker oksygenkonsentrasjonen, men også minsker næringsalt-konsentrasjonene. Hensikten er ikke å direkte tilføre oksygen til bunnvannet, som ikke vil være særlig effektivt, og heller ikke vil gjøre noe med reservoaret av næringsalter i bunnvannet. I Norge har man størst erfaring fra dykkede ferskvannsutslipp og luftbobling (Johnsen 1997). Begge metodene bryter ned tetthetsgradientene i vannmassene og øker vertikalsirkulasjonen. Dette resulterer i hyppigere dypvannsutsiftninger og forbedrede oksygenforhold i bassengvannet. Effektiviteten ved dykket ferskvannsutslipp avhenger av stabil vanntilførsel. Hyppigere dypvannsutsiftninger fører til økt variasjon i dypvannets temperatur og salinitet. Bobleanlegg medfører vertikalsirkulasjon i hele vannsøylen, men algenes respons på næringstilførselen synes blant annet å avhenge av ferskvannstilførselen (silikatbegrensning). Nedpumping av lett overflatevann er i prinsippet det samme som dykket utslipp av ferskvann, men effektiviteten vil avhenge av overflatevannets egenvekt. Jo tyngre vann, dess mindre oppdrift og dermed blandingsenergi (Johnsen 1997). Johnsen (1997) beskriver også andre metoder for fjordforbedring som jeg ikke går mer inn på i denne

⁶³<https://www.vegvesen.no/vegprosjekter/prosjekt/transportkorridorvest/nyhetsarkiv/varsel-om-plannarbeid-rv.509-transportkorridor-vest-hafrsfjord-bru/>

rapporten, f.eks. økt terskedyp ved utsprenning, innpumping av rent sjøvann/utpumping av tungt dypvann, tilsetning av oksidasjonsmiddel og bygging av demning eller sluse for omgjøring til rent ferskvannsbasseng.

Modellering er viktig for å dimensjonere fjordforbedringstiltaket og tiltaket bør følges av et faglig forsvarlig overvåkingsprogram som inneholder de fysiske, kjemiske og biologiske faktorer som er nødvendige for evaluering av tiltak i forhold til målsetting (Johnsen 1997). Svært få av de tiltakene som ble gjennomført før 1997 ble fulgt av gode overvåkingsprogram. Konsekvensen er at det foreligger svært begrenset datagrunnlag for bedømmelse av totaleffekter av gjennomførte fjordforbedringstiltak (Johnsen 1997). Hvis man ønsker å teste ut om fjordforbedring kan bedre miljøtilstanden i Hafrsfjord er det viktig å inkludere et overvåkingsprogram som er tilpasset fjorden og miljømålet for en eventuell fjordforbedring.

Det er risiko for negative effekter med de ulike fjordforbedringsmetodene, men mesteparten av disse negative effektene kan unngås ved riktig prosjektering og gjennomføring ifølge (Johnsen 1997). Kunstig blanding av overflatevannet med bunnvannet kan gi negative effekter:

- Økt vertikalsirkulasjon medfører at næringsrikt dypvann bringes høyere opp i vannsøylen og kan i grunne tiltaksområder føre til masseblomstring av alger som ved sedimentasjon kan øke belastningen på dypvannets oksygenreserver. I en grunn fjord med liten ferskvannstilførsel vil sjiktningen i vannmassene være liten, og det fører til at gjennomføring av fjordforbedringstiltak vil påvirke både overflatelaget og hele den eufotiske sonen.
- For kraftig sirkulasjon kan gi opptrenging av hydrogensulfid til overflatelaget og resultere i stor dødelighet både hos fastsittende og frittlevende organismer (i tillegg til luktproblemer).
- Økt oksygenkonsentrasjon i dypvannet og større variasjon i bassengvannets temperatur og salinitet over året kan føre til at spesialtilpassede arter utkonkurreres av arter med et høyere krav til vannkvalitet.
- I anoksisk vann konserveres miljøgifter deponert på bunnen, og oksygenering av slike områder kan føre til utlekking fra sedimentet (se kapittel 3.5).

Under er det litt mer informasjon om ni fjordforbedringsprosjekt, ett fra Sverige og åtte fra Norge.

Eksempel 1. Byfjorden utenfor Uddevalla på den svenske vestkysten

Nedpumping av overflatevann i Byfjorden var et pilotprosjekt i forbindelse med The Baltic deepwater oxygenation (BOX) project. Det har vært periodevis oksygenmangel i Østersjøen i flere tusen år, men områdene med oksygenmangel har økt fra 10 000 km² før 1950 til over 60 000 km² i år 2000. Dette skyldes hovedsakelig økte tilførsel av næringssalter (Carstensen et al. 2014; Conley et al. 2009). Det er avgjørende at en restaureringsplan for Østersjøen inkluderer en stor reduksjon i tilførselene av næringssalter for å lykkes (Conley et al. 2009; Carstensen et al. 2014). De uttrykker bekymring for at ulike ingeniør-løsninger vil ta vekk fokus fra at man (også) må sørge for en stor reduksjon i tilførselene av nitrogen og fosfor. Fra

BOX prosjektets nettside⁶⁴ kan man laste ned artikler og rapporter som omhandler en mulig storskala nedpumping av overflatevann med kraft fra vindturbiner for å restaurere Østersjøen. Dette dreier seg om vindturbiner av en helt annen størrelse enn den ene lille vindturbinen med 7 meter rotor-diameter som ble foreslått for Hafrsfjord av en lokal gründer. BOX prosjektet vurderer å bruke Equinors Hywind (offshore flytende havvind) med rotoror som har 167 meter diameter⁶⁵. Dette er selvfølgelig et mye mer omfattende prosjekt enn å forbedre tilstanden i noen små områder av Hafrsfjord, derfor trenger man å gjøre egne vurderinger av pris og teknologi i tillegg til miljø hvis man ønsker å benytte en liten vindturbin i Hafrsfjord. Likevel er det relevant å diskutere mer med Stigebrandt og andre forskere som har jobbet med BOX prosjektet hvis miljømyndighetene i Norge er interessert i å teste ut denne typen restaurering. En ny oversiktsartikkel om bruk av kunstig downwelling for å motvirke oksygenvikt i kystvannet globalt hevder at vindturbiner ble brukt til å drive pumpene i Byfjorden (Liu et al. 2020). Dette er ikke korrekt. Selv om det ble diskutert å bruke vindturbiner så endte de opp med å bruke strømkabler fra land (Stigebrandt et al. 2015).

Oksygenrikt overflatevann ble pumpet ned i dypvannet i Byfjorden utenfor Uddevalla i 2010-2012 for å bedre oksygenforholdene i bunnvannet (Stigebrandt et al. 2015). Før overflatevannet ble pumpet ned var det hydrogensulfid fra omtrent 20 meters dyp og ned til bunnen av Byfjorden (40 m) (Stigebrandt et al. 2015)(Figur 12). Under forsøket ble dypvannet oksisk og frekvensen av dypvannsfornyelser økte med en faktor 10. Nitrat ble den dominerende oppløste uorganiske nitrogenkomponenten, og mengden fosfat i vannsøylen gikk ned med en faktor 5 på grunn av at bunnvannet ble byttet ut og at det lakk mindre fosfor fra sedimentet da det ble oksisk (se også (Stigebrandt et al. 2014; Stigebrandt 2018)). Oksygenering av sedimentene økte ikke lekkasjen av giftige metaller og organiske miljøgifter. Bakteriesamfunnet var det første som viste endringer etter oksygeneringen, med aerobe bakterier som også trivdes på dypvannet. Bunndyr vendte tilbake til sedimentet. Under forsøket fant de ingen strukturell forskjell mellom planteplanktonsamfunnene i Byfjorden og den tilstøtende Havstenfjorden, med oksygenert dypvann (Stigebrandt et al. 2015). Her er en kort oppsummering av overvåkingsprogrammet de hadde i tilknytning til pilotprosjektet med nedpumping av overflatevann (Stigebrandt et al. 2015):

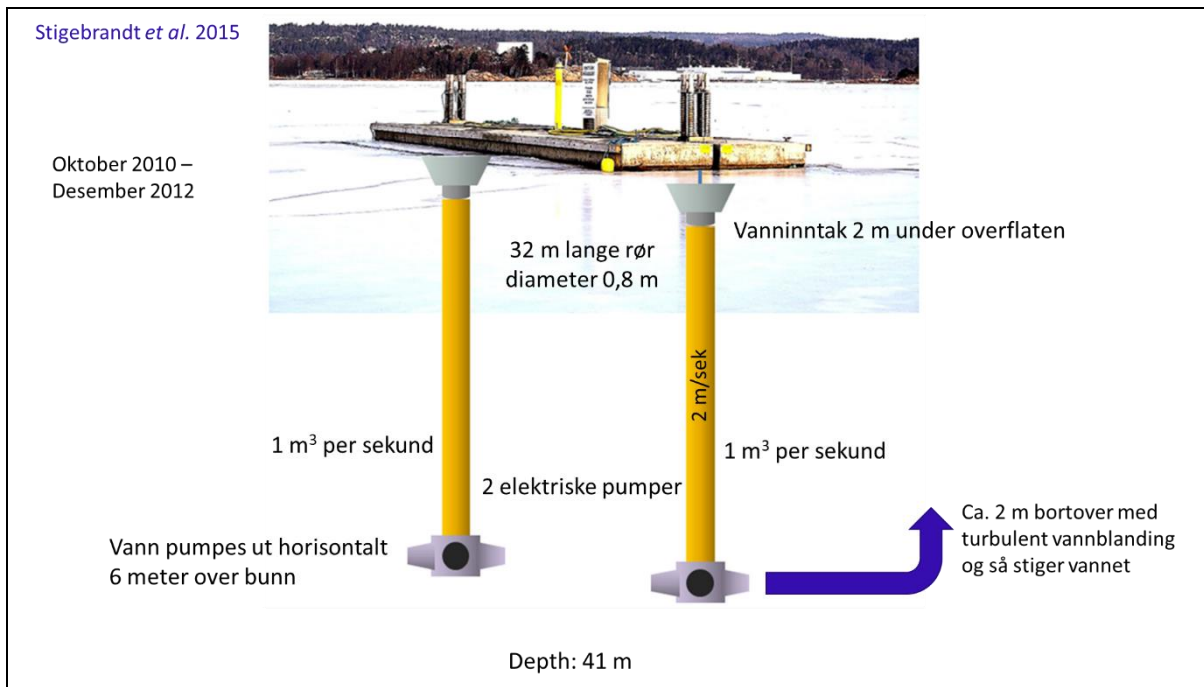
- Overvåking to ganger per måned: Temperatur, saltholdighet, løst oksygen, hydrogensulfid og næringssalter
- Loggere som ga sanntidsdata for oksygen, temperatur og saltholdighet
- Akustisk strømmåler ved terskelen (data i sanntid)
- Endringer i bunndyrsamfunn
 - ✓ Profilbilder av sedimentet for å sjekke endringer i bunnhabitat
 - ✓ Bunndyrundersøkelser
 - ✓ Endring i strukturen av bakteriesamfunn
- Akkumulering av miljøgifter i blåskjell i bur
- Passive prøvetagere i bunnvannet for å sjekke utlekking av miljøgifter før og etter oksygenering

⁶⁴ <http://www.balticsearestoration.org/>

⁶⁵ <https://www.equinor.com/no/what-we-do/hywind-tampen.html>

- Sjekket om fosfor lakk mindre ut av sedimentet når det ble mer oksygen

Hvis man ønsker å teste ut fjordforbedring i Hafrsfjord er dette overvåkingsprogrammet et godt utgangspunkt.



Figur 12. Illustrasjon fra Stigebrandt et al. (2015) med informasjon fra materiale og metode delen av artikkelen.

Eksempel 2. Hunnebunn ved Fredrikstad

NIVA Fjordmodell ble brukt til å vurdere virkningen av en rekke tiltak for å bedre vannkvaliteten i Hunnebunn (Staalstrøm and Yakushev 2020). Det tiltaket som hadde tydeligst positiv effekt for vannkvaliteten, var å skape kunstig vertikal blanding i pollen. NIVA anbefalte derfor at prosjektet med bobleanlegg som Skjærviken lokalsamfunnsutvalg har fått midler til, tillates av kommunen. Det ble ikke anbefalt å gjennomføre kunstig omrøring uten at vannmassen overvåkes slik at man har kontroll på effektene av tiltaket (Staalstrøm and Yakushev 2020). Målet er å oppnå blanding mellom dypvannet og vannet over ca. 6 m slik at grensen mellom oksygenrikt og anoksisk vann senkes dypere, uten å bryte ned ferskvannslaget i den øverste meteren, som hindrer tilførsel av næringssalter til de bentiske algene på strendene.

Eksempel 3. Botn i Rissa, Trøndelag

Her ble det testet ut et bobleanlegg i tillegg til utslippsreduksjoner (Johnsen 1997). Oksygeneringen av vannmassene førte til at næringsstoffer ble frigitt fra sedimentet, og boblingen ga vertikal sirkulasjon som brakte næringen opp i den produktive delen av vannsøylen. Algebiomassen i vannsøylen økte betydelig, men likevel bedret vannkvaliteten seg og mengden hvitfisk (spesielt torsk og sei) tok seg opp igjen står det i rapporten fra 1997, men jeg har ikke funnet informasjon om hvordan tilstanden er der i dag.

Eksempel 4. Bekkelagsbassenget i Oslofjorden

Kunstig blanding har vært vellykket i Bekkelagsbassenget i Oslofjorden, hvor det ikke lenger er anoksiske forhold, etter at Bekkelaget renseanlegg la sitt utslipp av ferskvann ned på dypet, og dermed skapte kunstig blanding (Staalstrøm and Yakushev 2020). Før dette ble satt i gang gjorde NIVA grundige vurderinger av hvor og hvordan dypvannsutslippet av ferskvann skulle gjøres blant annet ved å bruke en fjordmodell. Det er mer informasjon om dette blant annet i disse rapportene (Bjørneby 2019; Staalstrøm 2017).

Eksempel 5. Skogsfjorden ved Mandal

Skogsfjordsystemet er et fjordsystem med flere grunne terskler. Bobleanlegg ble utprøvd fra sommeren 1987 og en tid utover (Staalstrøm and Yakushev 2020; Johnsen 1997). Fjorden ble oksygenholdig helt ned til bunn (Molvær, 1992), men ble avhengig av «kunstig åndedrett» (Johnsen 1997). Bobleanlegget ble stoppet i perioder med islegging og det bidro til å opprettholde anoksiske sedimenter og periodevis anoksisk bunnvann (Johnsen 1997). Det kom bunndyr og noen småfisk som trepigget stingsild og svartkutling, og i tillegg sjøørret. Liten ferskvannsavrenning og dermed liten tilgang på silikat så ut til å forhindre høstblomstring av kiselalger selv om både fosfor og nitrattilgangen var god (Johnsen 1997). Jeg oppfatter fra disse rapportene at fjordforbedringen ble avsluttet, men ifølge (Frigstad et al. 2017) og (Trannum and Håvardstun 2019) er det nå nye planer om fjordforbedring i samme fjordsystem. Et av prosjektets overordnede mål er å øke sirkulasjonen i vannmassene for å revitalisere sjøbunnen i Skogsfjorden indre. NIVA anbefalte ikke fjordforbedring før risikoen for spredning av miljøgiftene fra sedimentet var eliminert (Trannum and Håvardstun 2019) (se kapittel 3.3). Så vidt jeg vet er ikke denne nye runden med fjordforbedring kommet i gang enda. Denne gangen er planen å lede ferskvann fra bekker i nærområdet i slanger ned til det oksygenfattige dypvannet. Målet er at dypvannet da vil bli frisket opp gjennom hyppige terskeloverskyllinger (Frigstad et al. 2017). Ifølge Frigstad et al. (2017) ønsker Miljødirektoratet at vannområdet eller kommunen står som ansvarlig for prosjektet, og at tiltakene sees i sammenheng med Vannregionutvalgets (VRU) prioriteringer og foreliggende tiltaksprogram. Dette betyr at kommunene rundt Hafrsfjord eller Rogaland vannregionen kan vurdere om de ønsker å inkludere fjordforbedring i tiltakspakken for Hafrsfjord og de kan være ansvarlige for et slikt fjordforbedringsprosjekt.

Eksempel 6. Nordåsvannet ved Bergen

Pollsystem med smalt og grunt innløp og flere grunne terskler. De grunne tersklene fører til en hydrogensulfid-holdig vannsøyle fra bunnen og opptil 10-15 m dyp i indre basseng. Da kloakken ble sanert på 1970-80-tallet ble oksygenforholdene i fjorden forverret til tross for at belastningen fra kloakken var redusert (Johnsen 1997). Man antok at årsaken var at den vertikale sirkulasjonen avtok da dyputslippene ble fjernet (Johnsen 1997). I 1989 førte man en del av vannet fra Apeltunelven ned på 40 meters dyp. Dette ga en bedring i oksygenforholdene i fjorden, selv om det fremdeles var hydrogensulfid i dypvannet. Mindre utskiftninger som ikke trenger helt til bunns skjer ofte, men det går mange år mellom hver gang bunnvannet byttes ut fullstendig i indre basseng. Det var en utskifting i indre basseng i Nordåsvannet vinteren 2010; den første siden 1942 (Hestetun, Heggøy, and Johannessen 2012). Bunnvannet i Nordåsvannet og Sælenvatnet var oksygenfritt i 2015 (Kvalø et al. 2016).

Eksempel 7. Sælenvatnet ved Bergen

Det ble satt i gang et opplegg på midten av 1990-tallet med tilførsler av luft for å oksygenere opp og blande ut de tunge, oksygenfrie og hydrogensulfid-holdige vannmassene i dypet. Sælenvatnet ble igjen «luftet» ved hjelp av innblåsing av luft i periodene i 2010–2013, noe som også bedret forholdene (Johnsen, Olsen, and Wathne 2020). Dypvannet er tungt og salt sjøvann som ikke skiftes ut, og som er fullstendig oksygenfritt og fullt av hydrogensulfid. Dette er en naturlig situasjon, som tidvis resulterer i utlufting av den illeluktende hydrogensulfid-gassen til omgivelsene når det er særlig tynt overflatelag (Johnsen and Olsen 2019; Hestetun, Heggøy, and Johannessen 2012). Sommeren 2018 var det igjen utlufting av hydrogensulfid til omgivelsene. Det ble også da tilført luft fra en pumpe nær utløpet, og det kan ikke utelukkes at dette har bidratt positivt til å lufte det innstrømmende tidevannet (Johnsen and Olsen 2019). I 2019 ble det ikke observert hydrogensulfid i de øverste fem meterne av vannsøylen, men innholdet i dypvannet var høyt og det var ingen dypvannsutskifting (Johnsen, Olsen, and Wathne 2020).

Eksempel 8. Lysefjorden, Rogaland

Et stor-skala kunstig upwelling system ble testet ut i Lysefjorden sommeren 2004 og 2005. Brakt overflatevann ble pumpet ned til 30 meters dyp og førte til at næringsrikt vann fra dypet ble brakt opp til omtrent 10 meters dyp. Mengden klorofyll a og primærproduksjon av planktonalger ble tredoblet i et 10 km² stort område. Målet med dette var å dyrke mer blåskjell (Aure et al. 2007). Økt algeproduksjon er definitivt uønsket i Hafrsfjord, der målet er hyppigere utskifting av bunnvannet og dermed mer oksygen i dypvannet uten at algeproduksjonen øker.

Eksempel 9. Skjoldafjorden, Rogaland

Terskelfjord med oksygenfritt bunnvann. Kunstig oksygenering med Minox-duppen ble testet 1992 – 1993 (Johnsen 1997; Vea 1994). Prinsippet er at vann hentes opp fra ønsket dyp, oksygeneres og føres tilbake igjen til ønsket dyp. Hvis vannvolumet som skal oksygeneres, og oksygenforbruket står i forhold til enhetens kapasitet, kan denne teknikken gi den ønskede virkningen, men i Skjoldafjorden fikk dette tiltaket ingen positiv effekt. Sannsynligvis var det feildimensjonert og varte ikke lenge nok ifølge Johnsen (1997).

6. Hvis fjordforbedring inkluderes i tiltakspakken

De tiltakene det bør være fokus på for å bedre miljøtilstanden i Hafrsfjord er reduksjon i tilførsel av forurensning til fjorden og fjerning av brufylling som har snevret inn innløpet. I tillegg kan kommunene rundt fjorden vurdere å pumpe ned overflatevann som et fjordforbedringstiltak. Generelt bør man prioritere å kutte tilførsler av næringssalter, selv om det kan være fristende å heller gjøre fjordforbedringstiltak (Conley et al. 2009; Johnsen 1997). Det er også viktig å være klar over at hvis man slutter å pumpe ned overflatevann vil det igjen bli oksygenmangel i dypet. Denne typen tiltak må man fortsette med i mange år til man eventuelt har lyktes med å redusere alle tilførsler så mye at det ikke lenger blir nødvendig. Hvis miljømyndighetene ønsker å inkludere fjordforbedring i tiltakspakken bør man bruke modellering for å dimensjonere tiltaket og deretter overvåke miljøet for å se om alt går som planlagt slik at man eventuelt kan avslutte tiltaket hvis det oppstår uønskede effekter (se Kapittel 5.2). Resten av dette kapittelet omhandler hva man bør huske på hvis nedpumping av overflatevann (en type fjordforbedring) skal være en del av tiltakspakken for Hafrsfjord.

6.1. Fjordforbedring: Modellering og dimensjonering

Sammenligne effekten av ulike tiltak

Det kan være nyttig å gjøre tilsvarende modellering som beskrives i (Staalstrøm and Yakushev 2020; Staalstrøm 2017) for å vurdere i hvilken grad de ulike tiltakene (reduksjon i tilførsler av næringssalter, fjerning av brufylling og fjordforbedring) kan forbedre oksygenforholdene i bunnvannet i Hafrsfjord. Modellering anbefales også for å dimensjonere nedpumping av overflatevann (Johnsen 1997; Stigebrandt et al. 2015). Modeller kan gi en indikasjon på om det vil bli bedre oksygenforhold i bunnvannet i Hafrsfjord hvis alle planlagte tiltak for å redusere tilførsler av næringssalter og organisk materiale til fjorden blir gjennomført og hvis brufylling fjernes. I tillegg kan man modellere om nedpumping av overflatevann vil bidra positivt i kombinasjon med de planlagte tiltakene. Modelleringen bør ta hensyn til at klimaendringer til en viss grad kan motvirke de planlagte tiltakene (Figur 2). Hvis det er nok data på forholdene i fjorden kan modellene også si noe om sannsynligheten for at nedpumping av vann vil bringe skadelige mengder av hydrogensulfid og næringssalter opp fra dypet.

Kraft til å drive pumpene

Pumpene kan drives av solenergi, tidevann, bølgekraft og vindkraft (Liu et al. 2020), eller de kan drives av strøm fra land (Stigebrandt et al. 2015). Hafrsfjord er svært beskyttet og selv om tidevannet er viktig for utskiftning av vannmassene over tersklene så er tidevannsforskjellen relativt liten. Når det gjelder solenergi så er mengden kraft man kan få fra solen veldig variabel i Norge. Derfor er verken sol, tidevann eller bølgekraft relevante energikilder for å pumpe vann ned i dypet i Hafrsfjord. Selv om vinden også varierer, så er vindkraft mer relevant hvis man ikke ønsker å hente strøm (hovedsakelig vannkraft-basert) fra land. Hvis man skal bruke en vindturbin for å gi kraft til pumpa vil det være vanskelig (umulig) å finjustere mengden vann som pumpes ned. Det bør modelleres om en liten vindturbin av den typen som ble foreslått av en lokal gründer (7 meter rotor-diameter) kan

pumpe ned tilstrekkelig med vann til å bedre tilstanden i dypet med de vindforholdene det er i Hafrsfjord. Det er en mulighet for at denne typen fjordforbedring vil overkompensere og gjøre oksygenforholdene i dypet bedre enn i naturtilstanden (dvs moderat tilstand). «Marin sedimentbunn preget av oksygenmangel» er ingen truet naturtype, men derimot en naturtype i vekst på grunn av både overgjødning og klimaendringer. Hvis målet er å komme så nær naturtilstanden som mulig (ikke overkompensere) så vil det være mindre vanskelig å kontrollere mengden vann som pumpes ned med en strømkabel fra land enn varierende kraft fra en vindturbin. Hvis man ønsker å bruke kraft fra en liten vindturbin er det viktig at denne ikke skader de truede fugleartene som lever rundt Hafrsfjord. Vindkraftutbygging har vist seg å kunne påvirke fugl (Lund Hoel, Auran, and Nilsen 2019), men den foreslåtte vindturbinen er mye mindre enn de som brukes i vindkraftverk i dag. Rundt Hafrsfjord er det flere Ramsar-områder/naturreservater med grunne bløtbunnsområder der det lever børstemark og andre bunndyr som noen av fuglene spiser. Miljømyndighetene bør sjekke med eksperter på fugl, f.eks. forskere fra Norsk Institutt for Naturforskning og lokale representanter for BirdLife Norge (tidligere Norsk ornitologisk forening) før man bestemmer seg for om en liten vindturbin er en akseptabel løsning for det lokale fuglelivet. Kanskje er det kun en liten risiko for skade på fugl fra en slik liten vindturbin, men man bør overvåke tap av fugl f.eks. med video hvis vindturbin velges som kraftkilde. Hvis det skulle vise seg at truede fuglearter skremmes vekk eller blir drept av en slik vindturbin bør man kun gjennomføre de planlagte tiltakene for å bedre oksygenforholdene i fjorden (kutt i tilførsler av forurensning og fjerning av bruffylling).

6.2. Overvåking

For å sjekke at nedpumping av overflatevann faktisk fører til en forbedring av miljøtilstanden og for raskt å kunne oppdage uønskede effekter trengs det et tilpasset overvåkingsprogram. Negative effekter av tiltaket på de ulike naturtypene i fjorden må unngås, derfor er det viktig å ha mulighet til raskt å stoppe nedpumping av vann hvis det oppstår uønskede effekter, spesielt for mye hydrogensulfid og næringsalter i overflatelaget. Det er nødvendig med bedre overvåking av miljøeffekter enn det som ble gjort i fjordforbedringstiltakene beskrevet i (Johnsen 1997). Det trengs blant annet kontinuerlig overvåking av oksygen, hydrogensulfid, salinitet og temperatur i hele vannsøylen på utvalgte stasjoner for å følge med på om forholdene i dypvannet bedrer seg. Friedrich et al. (2014) gir en god oversikt over ulike teknologi brukt til å overvåke områder med oksygenmangel. Etter oppstart av pumpa er det også nødvendig med hyppige analyser av næringsalter i den eufotiske sonen for å passe på at det ikke bringes opp for mye næring fra dypet som kan føre til økt algevekst. Man kan ta utgangspunkt i overvåkingsprogrammet beskrevet i Stigebrandt et al. (2015) som er kort oppsummert i Kapittel 5.2. Det vil ta tid før bunnen rekoloniseres etter vannet over sedimentet blir oksygenert, men det er viktig å følge med på hva som skjer med livet på bunnen med jevne mellomrom før og etter pumpa settes i gang. I tillegg til standard bunndyrundersøkelser kan man analysere foraminiferer i sedimentet (Nordberg et al. 2017; Moodley et al. 1998; Alve et al. 2019; Bouchet et al. 2021; Bouchet et al. 2018) og gjøre metabarcoding (miljø DNA) som kan dokumentere alle slags levende organismer (Pawlowski et al. 2018; Cordier et al. 2019; Cordier et al. 2018).

Hvis målet med tiltakene er å få mer fisk i fjorden er det også nødvendig å kartlegge hvor mye fisk det er i fjorden i dag og deretter følge med på om fisken faktisk kommer tilbake når tiltak settes inn (mer om fisk i Kapittel 4).

6.3. Hindre skadelige bivirkninger

Pumpingen av overflatevann ned i dypet må foregå på en måte som ikke fører hydrogensulfid, næringssalter og sedimentpartikler opp i de øvre vannmassene, men er kraftig nok til å nå målet om oftere utbytting av dypvannet. Da kan oksygenforholdene på bunn blir bedre uten uønskede bivirkninger. Riktig dimensjonering og plassering av utløpet fra pumpa kan hindre at partikler virvles opp fra bunnen.

Hydrogensulfid er giftig og kan drepe liv i de øvre vannmasser og på grunna, f.eks. fisk som fremdeles lever i fjorden og bunndyr i fjæra som er mat for blant annet fugl. Det er stor variasjon i hvor følsomme ulike organismer er for hydrogensulfid (Grieshaber and Völkel 1998), men denne giftige gassen kan forårsake fiskedød (Luther et al. 2004), og den kan påvirke for eksempel børstemark (Llansó 1991) og ålegras (Dooley et al. 2013) som lever på grunt vann. Det er også viktig for lokalbefolkningen at det ikke lukter hydrogensulfid (råtne egg) av fjorden. Rett etter dypvannet i Hafrsfjord har blitt skiftet på naturlig vis vil det være oksygen helt ned til bunnen. Tilgjengelige data tyder på at det går ett eller to år mellom hver gang bunnvannet byttes ut (Kapittel 3.1). For å redusere risiko for å få skadelig hydrogensulfid opp i de øvre vannmassene bør man vente med å sette i gang pumpingen til rett etter bunnvannet er skiftet ut på naturlig måte.

Næringssalter. Det kan også være fordelaktig om oppstart av pumpa skjer før våroppblomstringen slik at man kunne følge med på om pumping av vann gir en uakseptabel økning i næringssalt-konsentrasjonene i den eufotiske sonen. Mer næringssalter vil kunne føre til mer planktonalger som vil sedimentere og føre til mindre oksygen i bunnvannet. Hvis konsentrasjonene av næringssalter øker over et forhåndsbestemt nivå, kan man velge å stoppe pumpa og avslutte forsøket på fjordforbedring. I Lysefjorden førte nedpumping av overflatevann til en ønsket økning i algeproduksjonen (Aure et al. 2007). I Hafrsfjord er risiko for økt algeproduksjon en uønsket bivirkning av å pumpe ned overflatevann. Derfor er det viktig å følge med på endringer i næringssaltkonsentrasjonene, klorofyll a og siktedyp. Hvis det er mulig å dimensjonere pumpingen av vann slik at man får til kunstig upwelling uten at man transporterer næringssalter helt opp i den eufotiske sonen vil risikoen for økt algevekst reduseres. I Byfjorden i Sverige førte oksygenering av dypvannet til en mye større reduksjon av fosfor-lekkasje fra sedimentet enn av nitrogen-lekkasje. Nedpumping av overflatevann vil være mest effektiv for å redusere algeoppblomstringer i fosfatbegrensede områder som Østersjøen om sommeren (De Brabandere et al. 2015). Overvåkingsdata tyder på at planteplanktonet i Oslofjorden er begrenset av fosfor om våren og nitrogen om høsten (Lundsør et al. 2020). Ubalanse mellom næringssalter i vannet kan påvirke økosystemet og blant annet øke risiko for oppblomstring av giftige alger (Burson et al. 2016; Staalstrøm et al. 2021). Man kan forsøke å modellere hva som vil skje i Hafrsfjord, men det vil likevel være nødvendig å følge med på mengden næringssalter og klorofyll a (planktonalger) før og etter pumpingen settes i gang.

6.4. Ønsker lokalbefolkningen at fjordforbedring inngår i tiltakspakken?

Det anbefales en høringsrunde der blant annet lokalbefolkningen og miljøorganisasjonene kan si sin mening om en eventuell nedpumping av overflatevann med eller uten vindturbin. I den forbindelse må man forklare at dette tiltaket ikke kan garantere at fisken kommer tilbake og at det er en risiko for at tiltaket må avbrytes hvis uønskede bivirkninger oppstår. Hvis det hadde vært så dårlig tilstand at hydrogensulfid stadig kom opp av fjorden (som i Sælenvatnet, (Johnsen and Olsen 2019)) ville folk antagelig vært veldig positive, men hvis tiltaket ikke fører til forbedring i mengden sjømat fritidsfiskere kan fange er det mulig at en del folk vil være negative til denne typen tekniske inngrep. En vindturbin er positivt for å ikke bruke strøm fra land og vil derfor kunne ha lavere pris på sikt, men det er mulig at ikke alle er positive til en vindturbin i fjorden. I tillegg til eventuelle problemer for fuglelivet kan folk være bekymret for forstyrrende lyd og lys, og den kan oppfattes som et uønsket fremmedelement i fjorden. Mange har et forhold til denne fjorden og antagelig en mening og hva som er akseptable tiltak for å nå miljømålene. Det er mange friluftsområder og turveier langs Hafrsfjord ifølge naturbase faktaark fra Miljødirektoratet. For eksempel Turveg Hafrsfjord⁶⁶, og Ytraberget⁶⁷ som har stor historisk verdi, er rikt på kulturminner, og har flott badeområde og eikeskog. Bygdeborgen på Ytraberget er nevnt i Snorres kongesagaer. Det var antakeligvis her vikingkongen Kjotve den rike søkte tilflukt før han rømte videre etter å ha tapt slaget mot Harald Hårfagre i Hafrsfjord. Møllebukta har badestrand, leke- og rekreasjonsområde og monumentet "Sverd i fjell", et kjennemerke for hele regionen⁶⁸. Monumentet er laget av skulptøren Fritz Røed fra Bryne og ble avduket av Kong Olav i 1983. Det er tre store sverd som er satt ned i svaberget til minne om slaget i Hafrsfjord i 872, da Harald Hårfagre samlet Norge til ett rike. Sola Historielag⁶⁹ skriver følgende om slaget i Hafrsfjord: Denne litt merkelige fjorden med sitt trange innløp som utvider seg lenger inne er geografisk helt spesiell. Den som kom inn i fjorden visste at han måtte vinne for å komme ut igjen, for det er så trangt at det er lett å hindre båter å seile både inn og ut. Her stod det berømte slaget hvor Harald Hårfagre i år 872 samlet Norge til et rike.

6.5. Bivirkninger av alle typer tiltak som motvirker oksygenmangel i sediment

Hensikten med å bedre oksygenforholdene i dypvannet er å bringe Hafrsfjord nærmere naturtilstanden enn i dag. Uavhengig av om oksygenering av bunnvannet skjer som følge av utslippskutt, fjerning av brufylling eller nedpumping av overflatevann så kan en endring fra anoksisk til oksisk sediment føre til uønskede bivirkninger som utlekking av miljøgifter fra sedimentet (Kapittel 3.5) og frigjøring av karbon lagret i anoksisk sediment. Selv om alle tiltak som bedrer oksygenforholdene vil kunne gi denne typen bivirkninger så vil nok oksygeneringen skje betydelig raskere med et fjordforbedringstiltak enn med tiltak som reduserer tilførsel av forurensning.

⁶⁶ <https://www.visitnorway.no/listings/turvei-langs-hafrsfjord/205788/>

⁶⁷ <https://www.visitnorway.no/listings/ytraberget-ved-hafrsfjord/14636/>

⁶⁸ <https://stavanger.nkdb.no/objekt/180000/Sverd+i+fjell>

⁶⁹ <https://www.solahistorielag.no/slaget-i-hafrsfjord/>

Utlekking av miljøgifter

Stigebrandt et al. (2015) overvåket spredning av miljøgifter mens overflatevann ble pumpet ned i dypet i Byfjorden ved Uddevalla, men de fant ingen økt akkumulering av miljøgifter i blåskjell eller i passive prøvetakere. Konsentrasjonen av miljøgifter i bunndyr og fisk som eventuelt vender tilbake til fjorden bør likevel overvåkes i tillegg til miljøgifter i filtrerende organismer som østers. Hvis nivåene overstiger de aksepterte grensene kan man vurdere tiltak som kostholdsrestriksjoner og tildekking av sedimentene.

Klimagass-utlekking

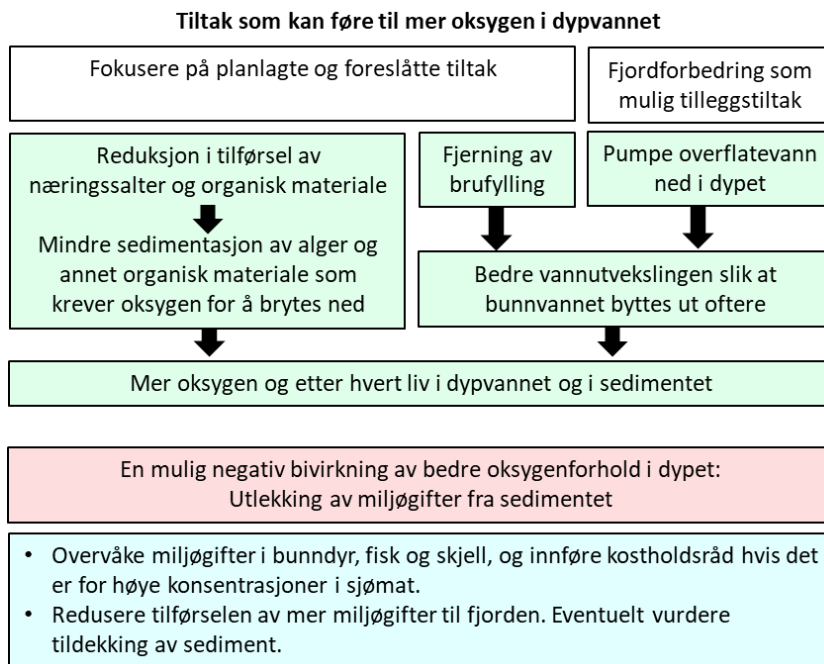
Fjordsedimenter er globale hotspots for karbon (Ruvalcaba Baroni, Palastanga, and Slomp 2020; Atwood et al. 2020; Smeaton, Yang, and Austin 2021; Bianchi et al. 2020; Faust and Knies 2019). Karbon lagres i anoksiske sedimenter. Karbonet i sedimentet frigis når man driver med bunntåling, mineralutvinning i dyphavet og lignende aktiviteter. Karbon vil også frigis når sedimentet går fra anoksisk til oksisk som følge av tiltak som gjøres for å bedre miljøtilstanden. Hvis oksygenforholdene på bunnen av Hafrsfjord blir bedre kan mer av det lagrede karbonet i sedimentet brytes ned enn det som skjer i dag.

Disse bivirkningene av bedre oksygenforhold på bunnen er ikke en grunn til å la være å gjøre tiltak, men det anbefales å overvåke miljøgifter i fisk og skjell i fjorden.

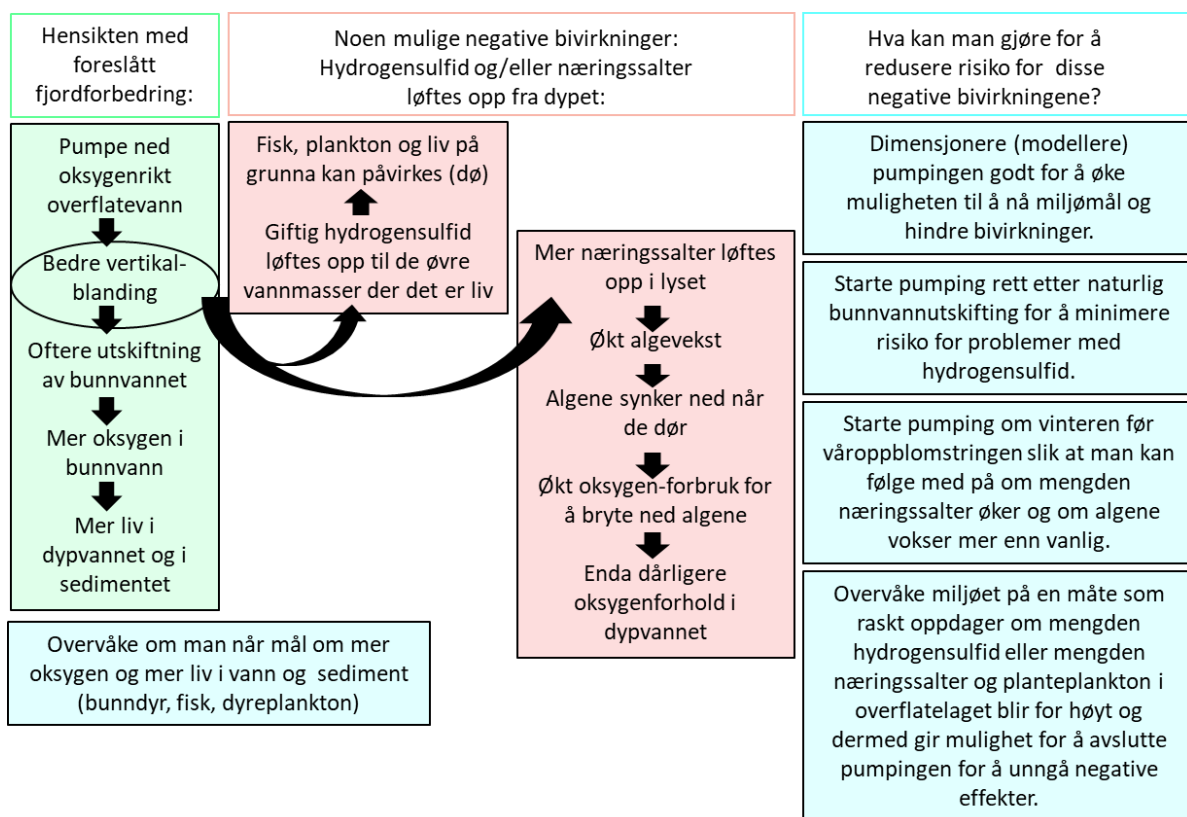
7. Sammendrag med anbefalinger

Det er flere naturtyper i Hafrsfjord. I denne rapporten er det fokus på naturtypen «Marin sedimentbunn preget av oksygenmangel». Hafrsfjord har en uheldig kombinasjon av høy næringssalttilførsel og sjelden utskifting av bunnvannet som fører til dårlige oksygenforhold i dypvannet. Dette gir en sterk oppblomstring av planteplankton som synker ned og råtner. Bunnvannet er derfor periodevis oksygenfritt og det er nesten ingen bunndyr i det dypeste bassenget. Foraminifermetoden viste at naturtilstanden (tilstanden på 1800-tallet) i Hafrsfjord tilsvarer «moderat økologisk tilstand» i de dypeste delene av fjorden. Økologisk tilstand ble dårligere allerede før første brufylling på 1920-tallet, og har blitt enda dårligere etter det. Den «svært dårlige økologiske tilstanden» som er dokumentert i miljøundersøkelser siden 1970-tallet skyldes menneskelig aktivitet. Hafrsfjord har tre andre naturtyper på grunnere vann: 1) «Eufotisk marin sedimentbunn» med bløtbunnsområder i strandsonen som er nasjonalt, regionalt og lokalt viktige for fugl; 2) «Marin undervannseng» med nasjonalt viktig dvergålegras og regionalt viktige ålegrasenger; og 3) «Eufotisk fast saltvannsbunn», det vil si området med sterk tidevannsstrøm i innløpet som har regional verdi fordi sterke tidevannsstrømmer er en sjelden naturtype i regionen. I tillegg kommer vannmasser av typen «Sirkulerende vannmasser i fysisk avgrensede saltvannsforekomster». I vannforskriften fokuseres det kun på dyr som lever i sedimentet og mengden planktonalger (klorofyll a) når det gjelder biologi. Det er svært lite data på livet i vannmassene i Hafrsfjord. Det finnes ikke data på hva slags planteplankton som lever der, kun at det er for mye alger. Vi vet ingenting om mengden eller typen av dyreplankton, og vi vet svært lite om fisk i fjorden.

Rapporten gir en oversikt over planlagte og foreslåtte tiltak for å bedre miljøtilstanden i Hafrsfjord. Reduksjon i tilførsel av næringssalter og organisk materiale til fjorden og fjerning av brufylling som har snevret inn innløpet er viktige tiltak for å bedre oksygenforholdene i dypet. Det gis også en oversikt over mulige fjordforbedringstiltak, med fokus på nedpumping av overflatevann. Fjordforbedringstiltak bør kun benyttes i tillegg til og ikke istedenfor de planlagte tiltakene for å bedre miljøtilstanden i fjorden (Figur 13). Hvis miljømyndighetene ønsker å inkludere nedpumping av overflatevann i tiltakspakken anbefales det å bruke modellering for å dimensjonere tiltaket og deretter overvåke miljøet for å se om alt går som planlagt. Negative effekter av tiltaket på de ulike naturtypene i fjorden må unngås, derfor er det viktig å ha mulighet til raskt å kunne avslutte pumpingen hvis det oppstår uønskede effekter (Figur 14). Hvis nedpumping av overflatevann skal testes må det også vurderes om strømkabel fra land eller en liten vindturbin er best egnet til å drive pumpen. Lokalbefolkningen kan mislike utsikten til en vindturbin i fjorden, og bekymre seg for støy og lys. Lytt til innspill fra lokalbefolkningen før beslutning om fjordforbedring tas. Før beslutning tas må man sammenligne kostnader med langsiktig nedpumping av overflatevann med kraft fra strømkabel eller vindturbin. Det vil ikke være mulig å finjustere pumpingen med kraft fra en vindturbin fordi mengden vann som pumpes vil variere med vindforholdene. Det anbefales å modellere hvor mye vann som trengs å pumpes for å nå miljømålet og om dette lar seg gjøre med en vindturbin. Man bør også snakke med fugleeksperter før en avgjørelse tas, og installere videoovervåking hvis en vindturbin velges til å drive pumpen slik at man kan følge med på hva som skjer med fuglene.



Figur 13. Figuren viser hvordan reduksjon i tilførsel av forurensning, fjerning av brufylling i innløpet og nedpumping av overflatevann kan forbedre oksygenforholdene i Hafrsfjord. Alle tiltak som gir bedre oksygenforhold i bunnvannet, kan føre til utlekking av miljøgifter fra sediment.



Figur 14. Hensikten med å pumpe ned overflatevann som et fjordforbedringstiltak (grønn boks), mulige negative bivirkninger (røde bokser) og anbefalte tiltak for å redusere risiko for negative bivirkninger og følge med på om man når miljømålene (blå bokser).

8. Litteratur

- Aguzzi, J., N. Iveša, M. Gelli, C. Costa, A. Gavrilovic, N. Cukrov, M. Cukrov, Nu Cukrov, D. Omanovic, M. Štifanić, S. Marini, M. Piria, E. Azzurro, E. Fanelli, and R. Danovaro. 2020. 'Ecological video monitoring of Marine Protected Areas by underwater cabled surveillance cameras', *Marine Policy*, 119: 104052.
- Alve, E., S. Hess, V. M. P. Bouchet, J. K. Dolven, and B. Rygg. 2019. 'Intercalibration of benthic foraminiferal and macrofaunal biotic indices: An example from the Norwegian Skagerrak coast (NE North Sea)', *Ecological Indicators*, 96: 107-15.
- Andersson, Atle. 2021. 'Fisk forsvinner. Bunnen er råtten og livløs. Det foregår noe skummelt i flere av fjordene våre.', *Bergens Tidene*, 24. januar 2021.
- Anon. 2019. "Klassifisering av tilstanden til 430 norske sjøørretbestander. Temarapport nr 7." In, edited by Eva B. Thorstad, Torbjørn Forseth and Peder Fiske, 150 s.: Vitenskapelig råd for lakseforvaltning.
- Arneberg, Per, Gro I. van der Meeren, Sylvia Frantzen, and (red.). 2018. "Status for miljøet og ytre påvirkning i Nordsjøen og Skagerrak – Rapport fra Overvåkingsgruppen 2018 " *Fisken og Havet, særnummer 3-2018*, . Havforskningsinstituttet.
- Atwood, Trisha B., Andrew Witt, Juan Mayorga, Edd Hammill, and Enric Sala. 2020. 'Global Patterns in Marine Sediment Carbon Stocks', *Frontiers in Marine Science*, 7.
- Aure, Jan, Øivind Strand, Svein Rune Erga, and Tore Strohmeier. 2007. 'Primary production enhancement by artificial upwelling in a western Norwegian fjord '.
- Avinor. 2019. "Rapportering for del 1 og del 2 av Miljødirektoratets pålegg: "Samlet vurdering av PFAS-forurensning ved Avinors lufthavner". Norconsult.
- Barceló, Caren, Lorenzo Ciannelli, Esben M. Olsen, Tore Johannessen, and Halvor Knutsen. 2016. 'Eight decades of sampling reveal a contemporary novel fish assemblage in coastal nursery habitats', *Global Change Biology*, 22: 1155-67.
- Bechmann, Marianne E., and Frederik Bøe. 2021. 'Soil Tillage and Crop Growth Effects on Surface and Subsurface Runoff, Loss of Soil, Phosphorus and Nitrogen in a Cold Climate', *Land*, 10: 77.
- Bechmann, Marianne, Marianne Stenrød, Inga Greipsland, Marit Hauken, Johannes Deelstra, Hans Olav Eggstad, and Geir Tveiti. 2017. "Erosjon og tap av næringsstoffer og plantevernmidler fra jordbruksdominerte nedbørfelt. Sammendragsrapport fra Program for jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA) for 1992—2016. "
- Bentley, Samuel Jackson, and Charles A. Nittrouer. 2012. 'Accumulation and intense bioturbation of bioclastic muds along a carbonate-platform margin: Dry Tortugas, Florida', *Marine Geology*, 315-318: 44-57.
- Berge, F. S., J. Molvær, G. Nilsen, and A. Thendrup. 1982. "Fjordforbedring. Tiltak for å bedre oksygenforholdene i poller og terskelfjorder." NIVA.
- Berge, F. S., and A. Thendrup. 1981. 'Forsøk med pumping og tilførsel av komprimert luft i Bongstøvvann ved Mandal', *Vann*, 1981: 373-76.
- Berge, Torborg 2013. "Forvaltningsplan for naturreservata Hagavågen, Strandnesvågen og Grannesbukta. Sola kommune, Rogaland." In.: Fylkesmannen i Rogaland.
- Bianchi, Thomas S., Sandra Arndt, William E. N. Austin, Douglas I. Benn, Sebastien Bertrand, Xingqian Cui, Johan C. Faust, Katarzyna Kozirowska-Makuch, Christopher M. Moy, Candida Savage, Craig Smeaton, Richard W. Smith, and Jaia Syvitski. 2020. 'Fjords as Aquatic Critical Zones (ACZs)', *Earth-Science Reviews*, 203: 103145.
- Birkeland, Anja 2002. 'Resipientundersøkelse Smedasundet og Skjoldafjorden', Høgskolen i Stavanger.
- Bjørneby, Lars. 2019. MSc-oppgave. 'Den historiske utviklingen av miljøtilstanden i Bekkelagsbassenget, Indre Oslofjord. En geokjemisk og mikropaleontologisk studie'. Institutt for geofag - Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet - UiO.

- Blankenberg, Anne-Grete Buseth, and Eva Skarbøvik. 2018. "Kartlegging av kantsoner langs jordbrukskanaler og -elver i Rogaland. Forprosjekt." NIBIO.
- Blankenberg, Anne-Grete Buseth, Eva Skarbøvik, and Sigrun Kværnø. 2017. "Effekt av buffersoner - på vannmiljø og andre økosystemtjenester" NIBIO.
- Bokn, T. 1978. "Kjemisk/biologisk undersøkelse i fjordene omkring Stavangerhalvøya. September 1976." In *NIVA-rapport;1034*. Norsk institutt for vannforskning.
- Bokn, T., T. Johnsen, J. Knutzen, E. Lømsland, F. Moy, K. Nygaard, and B. Rygg. 1996. "Resipientundersøkelser 1995 i sjøområder rundt Stavangerhalvøya. (Monitoring Stavanger peninsula, 1995)." *NIVA-rapport;3493*. Norsk institutt for vannforskning.
- Bonaglia, S., U. Marzocchi, N. Ekeroth, V. Bruchert, S. Blomqvist, and P. O. J. Hall. 2019. 'Sulfide oxidation in deep Baltic Sea sediments upon oxygenation and colonization by macrofauna', *Marine Biology*, 166.
- Bonaglia, Stefano, Robert Rämö, Ugo Marzocchi, Léonie Le Bouille, Martine Leermakers, Francisco J. A. Nascimento, and Jonas S. Gunnarsson. 2019. 'Capping with activated carbon reduces nutrient fluxes, denitrification and meiofauna in contaminated sediments', *Water Research*, 148: 515-25.
- Bouchet, V. M. P., F. Frontalini, F. Francescangeli, P. G. Sauriau, E. Geslin, M. V. A. Martins, A. Almogilabini, S. Avnaim-Katav, L. Di Bella, A. Cearreta, R. Coccioni, A. Costelloe, M. D. Dimiza, L. Ferraro, K. Haynert, M. Martínez-Colón, R. Melis, M. Schweizer, M. V. Triantaphyllou, A. Tsujimoto, B. Wilson, and E. Armynot du Châtelet. 2021. 'Indicative value of benthic foraminifera for biomonitoring: Assignment to ecological groups of sensitivity to total organic carbon of species from European intertidal areas and transitional waters', *Marine Pollution Bulletin*, 164.
- Bouchet, V. M. P., R. J. Telford, B. Rygg, E. Oug, and E. Alve. 2018. 'Can benthic foraminifera serve as proxies for changes in benthic macrofaunal community structure? Implications for the definition of reference conditions', *Marine Environmental Research*, 137: 24-36.
- Breedveld, Gijs, Anders Ruus, Torgeir Bakke, Anne Kibsgaard, and Hans Peter Arp. 2015. "M409 Veileder for risikovurdering av forurenset sediment." In, 106. Norges geotekniske institutt, Norsk institutt for vannforskning.
- Breitburg, Denise, Lisa A. Levin, Andreas Oschlies, Marilaure Grégoire, Francisco P. Chavez, Daniel J. Conley, Véronique Garçon, Denis Gilbert, Dimitri Gutiérrez, Kirsten Isensee, Gil S. Jacinto, Karin E. Limburg, Ivonne Montes, S. W. A. Naqvi, Grant C. Pitcher, Nancy N. Rabalais, Michael R. Roman, Kenneth A. Rose, Brad A. Seibel, Maciej Telszewski, Moriaki Yasuhara, and Jing Zhang. 2018. 'Declining oxygen in the global ocean and coastal waters', *Science*, 359: eaam7240.
- Burson, Amanda, Maayke Stomp, Larissa Akil, Corina P. D. Brussaard, and Jef Huisman. 2016. 'Unbalanced reduction of nutrient loads has created an offshore gradient from phosphorus to nitrogen limitation in the North Sea', *Limnology and Oceanography*, 61: 869-88.
- Byveterinæren. 1983. "Vannovervåkning av Hafrsfjord 1977-1982. Sluttrapport. Byveterinæren i Stavanger."
- Carstensen, Jacob, Daniel J. Conley, Erik Bonsdorff, Bo G. Gustafsson, Susanna Hietanen, Ursula Janas, Tom Jilbert, Alexey Maximov, Alf Norkko, Joanna Norkko, Daniel C. Reed, Caroline P. Slomp, Karen Timmermann, and Maren Voss. 2014. 'Hypoxia in the Baltic Sea: Biogeochemical Cycles, Benthic Fauna, and Management', *Ambio*, 43: 26-36.
- Chen, Xueli, and Marianne Bechmann. 2019. 'Nitrogen losses from two contrasting agricultural catchments in Norway', *Royal Society Open Science*, 6: 190490.
- Clausen, Lotte W., Anna Rindorf, Mikael van Deurs, Mark Dickey-Collas, and Niels T. Hintzen. 2018. 'Shifts in North Sea forage fish productivity and potential fisheries yield', *Journal of Applied Ecology*, 55: 1092-101.
- Conley, Daniel J., Svante Björck, Erik Bonsdorff, Jacob Carstensen, Georgia Destouni, Bo G. Gustafsson, Susanna Hietanen, Marloes Kortekaas, Harri Kuosa, H. E. Markus Meier, Baerbel Müller-Karulis, Kjell Nordberg, Alf Norkko, Gertrud Nürnberg, Heikki Pitkänen, Nancy N.

- Rabalais, Rutger Rosenberg, Oleg P. Savchuk, Caroline P. Slomp, Maren Voss, Fredrik Wulff, and Lovisa Zillén. 2009. 'Hypoxia-Related Processes in the Baltic Sea', *Environmental Science & Technology*, 43: 3412-20.
- Cordier, T., D. Forster, Y. Dufresne, C. I. M. Martins, T. Stoeck, and J. Pawlowski. 2018. 'Supervised machine learning outperforms taxonomy-based environmental DNA metabarcoding applied to biomonitoring', *Molecular Ecology Resources*, 18: 1381-91.
- Cordier, T., A. Lanzen, L. Apotheloz-Perret-Gentil, T. Stoeck, and J. Pawlowski. 2019. 'Embracing Environmental Genomics and Machine Learning for Routine Biomonitoring', *Trends in Microbiology*, 27: 387-97.
- COWI. 2014. "Kartlegging av miljøgifter i overvannskanaler på Forus vest."
- Dahle, A. B. 1984. "Resipientundersøkelser i fjordområdene rundt Jæren 1982-1984. Rogalandsforskning T 27/84. Del I og II, 50 +56 s."
- Dahlke Flemming, T., Sylke Wohlrab, Martin Butzin, and Hans-Otto Pörtner. 2020. 'Thermal bottlenecks in the life cycle define climate vulnerability of fish', *Science*, 369: 65-70.
- Darelius, E. 2020. 'On the effect of climate trends in coastal density on deep water renewal frequency in sill fjords—A statistical approach', *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 243: 106904.
- De Brabandere, Loreto, Stefano Bonaglia, Mikhail Y. Kononets, Lena Viktorsson, Anders Stigebrandt, Bo Thamdrup, and Per O. J. Hall. 2015. 'Oxygenation of an anoxic fjord basin strongly stimulates benthic denitrification and DNRA', *Biogeochemistry*, 126: 131-52.
- Dervo, Børre, Øystein Aas, Oddgeir Andersen, Knut Marius Myrvold, and Peder Fiske. 2018. "Forvaltningspraksis i nasjonale laksevassdrag og laksefjorder. En analyse om beskyttelsesordningen har medført endret forvaltningspraksis." Lillehammer: Norsk institutt for naturforskning.
- Diaz, Robert J., and Rutger Rosenberg. 2008. 'Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems', *Science*, 321: 926-29.
- Direktoratet_for_naturforvaltning. 2001, rev 2007. "Kartlegging av marint biologisk mangfold. DN Håndbok 19-2001. Revidert 2007." Trondheim.
- Direktoratgruppen-_vanndirektivet. 2018. "Veileder 02:2018 Klassifisering av miljøtilstand i vann. www.vannportalen.no." Trondheim, Norway.
- Dolven, J. K., and E. Alve. 2021. 'Naturally changing reference conditions: Evidence of isostatic uplift being the main cause of changes in ecological status in a SW Norwegian fjord system', *Ecological Indicators*, 131.
- Dooley, Frederick D., Sandy Wyllie-Echeverria, Mark B. Roth, and Peter D. Ward. 2013. 'Tolerance and response of *Zostera marina* seedlings to hydrogen sulfide', *Aquatic Botany*, 105: 7-10.
- Espeland, Sigurd H., Alf R. Kleiven, Even Moland, Portia Joy Nillos Kleiven, Kim Halvorsen, Torjan Bodvin, Esben Moland Olsen, and Jan Atle Knutsen. 2016. "Aktiv forvaltning av marine ressurser – lokalt tilpasset forvaltning. Tvedestrand. Sluttrapport." Flødevigen.
- Espeland, Sigurd Heiberg, Jon Albretsen, Kjell Nedreaas, Hanne Sannæs, Torjan Bodvin, and Frithjof Moy. 2013. "Kartlegging av gytefelt - Gytefelt for kysttorsk." *Fisken og havet*. Havforskningsinstituttet.
- Espeland, Sigurd Heiberg, and Halvor Knutsen. 2019. "Rapport fra høstundersøkelsene med strandnot i indre og ytre Oslofjord 2018 - <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-hostundersokelsene-med-strandnot-i-indre-og-ytre-oslofjord-2018#sec-2-3> Rapport fra havforskningen. Havforskningsinstituttet.
- Fauchald, P., T. Anker-Nilssen, R. T. Barrett, J. O. Bustnes, B-J. Bårdsen, S. Christensen-Dalsgaard, S. Descamps, S. Engen, Erikstad K. E., S. A. Hanssen, S-H. Lorentsen, B. Moe, T. K. Reiertsen, H. Strøm, and G. H. Systad. 2015. "The status and trends of seabirds breeding in Norway and Svalbard." 84 pp. Tromsø.
- Faust, J. C., and J. Knies. 2019. 'Organic Matter Sources in North Atlantic Fjord Sediments', *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20: 2872-85.
- Forseth, Torbjørn, Bjørn T. Barlaup, Bengt Finstad, Peder Fiske, Harald Gjøsæter, Morten Falkegård, Atle Hindar, Tor Atle Mo, Audun H. Rikardsen, Eva B. Thorstad, Leif Asbjørn Vøllestad, and

- Vidar Wennevik. 2017. 'The major threats to Atlantic salmon in Norway', *ICES Journal of Marine Science*, 74: 1496-513.
- Friedrich, J., F. Janssen, D. Aleynik, H. W. Bange, N. Boltacheva, M. N. Çagatay, A. W. Dale, G. Etiope, Z. Erdem, M. Geraga, A. Gilli, M. T. Gomoiu, P. O. J. Hall, D. Hansson, Y. He, M. Holtappels, M. K. Kirf, M. Kononets, S. Konovalov, A. Lichtschlag, D. M. Livingstone, G. Marinaro, S. Mazlumyan, S. Naeher, R. P. North, G. Papatheodorou, O. Pfannkuche, R. Prien, G. Rehder, C. J. Schubert, T. Soltwedel, S. Sommer, H. Stahl, E. V. Stanev, A. Teaca, A. Tengberg, C. Waldmann, B. Wehrli, and F. Wenzhöfer. 2014. 'Investigating hypoxia in aquatic environments: Diverse approaches to addressing a complex phenomenon', *Biogeosciences*, 11: 1215-59.
- Frigstad, H., E. Dahl, F. Moy, K. Næs, J.A. Knutsen, and Ø. Kaste. 2017. "Mulighetskartlegging for kystbaserte næringer i Agder." HI.
- Gitlesen, Susanne , Kari-Anne Lyng, Pieter Callewaert, and Anne Vatland Krøvel. 2019. "Biogass/biorestproduksjon som bærekraftig gjødselhåndteringsstrategi på Jæren. Sluttrapport kvalifiseringsprosjekt – RFFVEST."
- Gravem, Finn G., Bente Breyholtz, Lars Været, Marth-Lise Sjøvik, Jannicke Gry B. Jensen, Eivind Halvorsen, and Halvard Kaasa. 2016. "Undersøkelser av PFAS i jord, vann og biota med risikovurdering."
- Grieshaber, Manfred K., and Susanne Völkel. 1998. 'Animal adaptations for tolerance and exploitation of poisonous sulfide', *Annual Review of Physiology*, 60: 33-53.
- Hestetun, Jon Thomassen, Erling Heggøy, and Per Johannessen. 2012. "Resipientovervåking av fjordsystemene rundt Bergen 2011-2015." Uni Research.
- Hindar, Kjetil , Ola H. Diserud, Peder Fiske, Sten Karlsson, Geir H. Bolstad, Anders Foldvik, Vidar Wennevik, Gunnbjørn Bremset, and Carolyn Rosten. 2018. "Evaluering av nasjonale laksevassdrag og nasjonale laksefjorder: Rømt oppdrettslaks, genetisk innkryssing og bestandsstatus." In.: Norsk institutt for naturforskning.
- Hjermann, Dag Ø., Katrine Borgå, Anders Ruus, Hege Gundersen, Halvor Knudsen, and Esben Moland Olsen. 2013. "Tallknusing av miljøovervåkingsdata."
- Husa, V. , T. Kutti, Grefsrud, E. S. A.-L. Agnalt, Ø. Karlsen, R. Bannister, O. Samuelsen, and B.E. Grøsvik. 2016. "Effekter av utslipp fra akvakultur på spesielle marine naturtyper, rødlista habitat og arter. Kunnskapsstatus" Institute of Marine Research.
- Jelmert, Anders, Sigurd Heiberg Espeland, Martin Junker Ohldieck, Thijs Christiaan van Son, and Lars-Johan Naustvoll. 2020. "Kartlegging av stillehavsøsters (*Crassostrea gigas*). Bestandskartlegging Karmøy - Svenskegrensa 2017 - 2019." Havforskningsinstituttet.
- Johannessen, P. J. 1977. "Resipientundersøkelse av fjordene rundt Stavanger og Sandnes med hovedvekten lagt på bunnforhold og bunndyr. Institutt for marinbiologi, Universitetet i Bergen, 44 s."
- Johansen, Per-Otto, Trond Einar Isaksen, Einar Bye-Ingebrigtsen, Marte Haave, Thomas G. Dahlgren, Stian Ervik Kvalø, Michael Greenacre, Dominique Durand, and Hans Tore Rapp. 2018. 'Temporal changes in benthic macrofauna on the west coast of Norway resulting from human activities', *Marine Pollution Bulletin*, 128: 483-95.
- Johnsen, Espen , Atle Totland, and Cecilie Kvamme. 2020. "Measuring distribution and density of sprat in Årdalsfjorden with a kayak drone."
- Johnsen, G. H., and B. R. Olsen. 2019. "Overvåking av Sælenvatnet 2018." Rådgivende Biologer AS.
- Johnsen, Geir Helge, Bernt Rydland Olsen, and Ingrid Wathne. 2020. "Overvåking av Sælenvatnet 2019." Rådgivende Biologer AS.
- Johnsen, T. 1997. "Fjordforbedring - en gjennomgang av metoder og miljøkonsekvenser."
- Kjos-Hansen, B. , and K. Staveland. 1979. "Overvåking av fjordsystemene rundt Stavangerhalvøya 1977-1979. Rapport 1B og 2B 1979. Byveterinæren i Stavanger. 55 s."
- Knag, Anne Christine , Stian E. Kvalø, Ragni Torvanger, and Øydis Alme. 2018. "Miljøundersøkelse kystvann, Stavangerhalvøya 2017." Fishguard Miljø, avd. Bergen.

- Kvalø, S. E., R. Torvanger, S. Hadler-Jacobsen, Ø. Alme, Einar Bye-Ingebrigtsen, and Per Johannessen. 2016. "Resipientovervåking av fjordsystemene rundt Bergen 2011-2015. Årsrapport 2015." Uni Research.
- Liu, Shuo, Lige Zhao, Canbo Xiao, Wei Fan, Yong Cai, Yiwen Pan, and Ying Chen. 2020. 'Review of Artificial Downwelling for Mitigating Hypoxia in Coastal Waters', *Water*, 12: 2846.
- Llansó, Roberto J. 1991. 'Tolerance of low dissolved oxygen and hydrogen sulfide by the polychaete *Streblospio benedicti* (Webster)', *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 153: 165-78.
- Lund Hoel, Pernille, Jo Anders Auran, and Glenn Nilsen. 2019. "M 1307 - Faggrunnlag - Fugl. Underlagsdokument til nasjonal ramme for vindkraft."
- Lundsør, Elisabeth, Leif Christian Stige, Kai Sørensen, and Bente Edvardsen. 2020. 'Long-term coastal monitoring data show nutrient-driven reduction in chlorophyll', *Journal of Sea Research*, 164: 101925.
- Luther, George W., Shufen Ma, Robert Trouwborst, Brian Glazer, Michelle Blickley, Robert W. Scarborough, and Michael G. Mensinger. 2004. 'The roles of anoxia, H₂S, and storm events in fish kills of dead-end canals of Delaware inland bays', *Estuaries*, 27: 551-60.
- Magnussen, Kristin, Nina Bruvik Westberg, Siri Voll Dombu, Morten T. Schaanning, Morten Jartun, Marianne Olsen, and Kaja Høiseth-Gilje. 2019. "Evaluering av bruken av midler til opprydding i forurenset grunn og forurenset sjøbunn."
- Miljøverndepartementet. 2006. "St.meld. nr. 14 (2006–2007). Sammen for et giftfritt miljø – forutsetninger for en tryggere fremtid."
- Moland, Even, Ann-Elin Synnes, Lars-Johan Naustvoll, Carla Freitas Brandt, Kjell Magnus Norderhaug, Jonas Thormar, Martin Biuw, Per Erik Jorde, Halvor Knutsen, Geir Dahle, Anders Jelmert, Sebastian Bosgraaf, Esben Moland Olsen, Anne Deininger, and Atle Haga. 2021. "Krafttak for kysttorsken. Kunnskap for stedstilpasset gjenoppbygging av bestander, naturtyper og økosystem i Færder- og Ytre Hvaler nasjonalparker." Hl.
- Molversmyr, Å., H. E. Schneider, M. Bergan, and K. J.A. Aanes. 2015. "Overvåking av Jærvassdrag 2014 - Datarapport. Rapport IRIS - 2015/28." IRIS og NIVA.
- Molversmyr, Åge, Trond Stabell, and Marit Mjelde. 2018. 'Overvåking av innsjøer og elver i Jæren vannområde 2017. Rapport – 2018/028.
- Molvær, J., F. S. Berge, G. Nilsen, and A. Thendrup. 1983. 'Tiltak for å bedre oksygenforholdene i poller og terskelfjorder', *Vann*: 16-23.
- Moodley, L., G. J. van der Zwaan, G. M. W. Rutten, R. C. E. Boom, and A. J. Kempers. 1998. 'Subsurface activity of benthic foraminifera in relation to porewater oxygen content: laboratory experiments', *Marine Micropaleontology*, 34: 91-106.
- Myhre, Kjersti 2002. "Tiltaksplan for opprydding av forurensete sedimenter i Stavanger havn. Miljørapport nr 1 - 2002." Fylkesmannen i Rogaland, Miljøvern avdelingen.
- Myhrvold, Arne, Odd Inge Forsberg, and Åge Molversmyr. 1997. "Forurensningsundersøkelser sjøområder." Rogalandsforskning.
- Nedreaas, K., A. Aglen, J. Gjøsæter, K. Jørstad, H. Knutsen, O. Smedstad, T. Svåsand, and P. Ågotnes. 2008. "Kysttorskforvaltning på Vestlandet og langs Skagerrakkysten - vurdering av status for kysttorsk på strekningen svenskegrensen–Stad med forslag om forvaltningstiltak. ." *Fisken og havet*, 106.
- Nilsen, Marianne, Stig Westerlund, and Anne Helene S. Tandberg. 2011. "Overvåking av kyst- og fjordsone Jæren vannområde, 2010." *Rapport IRIS 2011/028*. IRIS Miljø.
- Nilsen, Marianne, Stig Westerlund, Anne Helene S. Tandberg, and Are Pedersen. 2012. "Resipientundersøkelser Stavangerhalvøya, 2011–2012. ." IRIS Miljø.
- Nordberg, K., I. Polovodova Asteman, T. M. Gallagher, and A. Robijn. 2017. 'Recent oxygen depletion and benthic faunal change in shallow areas of Sannäs Fjord, Swedish west coast', *Journal of Sea Research*, 127: 46-62.
- Olsen, Marianne, Sissel Ranneklev, John Rune Selvik, Anita Evensen, Kristine Bondo Pedersen, Jarle Håvardstun, Sigurd Øxnevad, Green Norman, and Valentina Tartiu. 2021. "Hvor langs kysten

- utgjør forurenset sjøbunn i dag størst risiko for helse og miljø: Kunnskapssammenstilling, vurdering og rangering av områder."
- Oug, E. , P. Buhl-Mortensen, T. Bakken, H. T. Rapp, T. Bekkby, H. Gundersen, and K. Norderhaug, M. 2018. 'Marin sedimentbunn preget av oksygenmangel, Marint gruntvann. Norsk rødliste for naturtyper 2018. Artsdatabanken, Trondheim. Hentet (dato) fra: <https://artsdatabanken.no/RLN2018/6> '.
- Parsons-Hubbard, Karla, Dennis Hubbard, Caitlin Tems, and Ashley Burkett. 2014. 'The Relationship Between Modern Mollusk Assemblages and Their Expression in Subsurface Sediment in a Carbonate Lagoon, St. Croix, US Virgin Islands.' in Daniel I. Hembree, Brian F. Platt and Jon J. Smith (eds.), *Experimental Approaches to Understanding Fossil Organisms: Lessons from the Living* (Springer Netherlands: Dordrecht).
- Pauly, Daniel. 2019. *Vanishing fish. Shifting baselines and the future of global fisheries* (Greystone Books Ltd: Vancouver/Berkeley).
- Pawlowski, J., M. Kelly-Quinn, F. Altermatt, L. Apotheloz-Perret-Gentil, P. Beja, A. Boggero, A. Borja, A. Bouchez, T. Cordier, I. Domaizon, M. J. Feio, A. F. Filipe, R. Fornaroli, W. Graf, J. Herder, B. van der Hoorn, J. I. Jones, M. Sagova-Mareckova, C. Moritz, J. Barquin, J. J. Piggott, M. Pinna, F. Rimet, B. Rinkevich, C. Sousa-Santos, V. Specchia, R. Trobajo, V. Vasselon, S. Vitecek, J. Zimmerman, A. Weigand, F. Leese, and M. Kahlert. 2018. 'The future of biotic indices in the ecogenomic era: Integrating (e) DNA metabarcoding in biological assessment of aquatic ecosystems', *Science of The Total Environment*, 637: 1295-310.
- Pedersen, A., J. Gitmark, and M. Kile. 2012. "Makroalgevegetasjon i Stavanger-Sandnes-Jæren-området i 2011." *NIVA-rapport;6376*. Norsk institutt for vannforskning.
- Polovodova Asteman, I., D. Hanslik, and K. Nordberg. 2015. 'An almost completed pollution-recovery cycle reflected by sediment geochemistry and benthic foraminiferal assemblages in a Swedish-Norwegian Skagerrak fjord', *Marine Pollution Bulletin*, 95: 126-40.
- Polovodova Asteman, Irina, and Kjell Nordberg. 2017. 'A short note on a present-day benthic recovery status in the formerly heavily polluted Idefjord (Sweden/Norway)', *Marine Pollution Bulletin*, 123: 227-31.
- Pulg, U. , S. Stranzl, E.O. Espedal, Gabrielsen S-E., C. Postler, Ugedal. O., G.J. Jensås, G. Bremset, Fjeldstad H-P., and K. Alfredsen. 2020. "Effektivitet og kost-nytte forhold av miljøtiltak i vassdrag." In, 84 s. Bergen: Norwegian Research Center LFI.
- Randulff, S.T., and O.K. Larsen. 2019. "Kartlegging av stillehavsøsters (*Crassostrea gigas*) i Hafrsfjord og på Sandøy. ." *Ecofact rapport 650*.
- Rogaland_Vannregion. 2021. "Sammen for vannet. Hovedutfordringer til Regional plan for vannforvaltning i Rogaland vannregion 2022-2027." *Vann fra fjell til fjord*.
- Ruus, Anders, Hans Peter Arp, Amy M-P-Oen, Merete Grung, and Gijs Breedveld. 2015. "M-436 PAH i forurenset sediment: Utredning av egnethet av PAHkomponenter/grupperinger for vurdering av tiltaksbehov." *NIVA-rapport*. NIVA/NGI.
- Ruvalcaba Baroni, Itzel, Virginia Palastanga, and Caroline P. Slomp. 2020. 'Enhanced Organic Carbon Burial in Sediments of Oxygen Minimum Zones Upon Ocean Deoxygenation', *Frontiers in Marine Science*, 6.
- Sandnes_kommune. 2015. "Hovedplan avløp og vannmiljø 2015 - 2025 - Bymiljø <https://www.sandnes.kommune.no/globalassets/tekniskeiendom/teknisk-planer-under-arbeid/hovedplan-avlop-og-vannmiljo-2015-2025.pdf> ".
- Schaanning, M. T., B. Beylich, J. S. Gunnarsson, and E. Eek. 2021. 'Long-term effects of thin layer capping in the Grenland fjords, Norway: Reduced uptake of dioxins in passive samplers and sediment-dwelling organisms', *Chemosphere*, 264.
- Simensen, T., and S. Stene-Johansen. 1966. "En resipientundersøkelse av Gannsfjord og Hafrsfjord 1964/65." In *NIVA-rapport;0158*. Norsk institutt for vannforskning.
- Skjelde, Atle 2019. "Fjordfisken forsvinner - <https://jaktogfiske.njff.no/fiske/2019/07/fjordfisken-forsvinner>." *Jakt & Fiske*.

- Skjellum, Solrun Figenschau, Øyvind Kaste, Sigrid Haande, James Sample, Caroline Enge, Marianne Bechmann, Eva Skarbøvik, Finn Walland, Lillian Øygarden, and Hans Olav Eggstad. 2021. "Framskrivninger for vann. Muligheter for å overføre dagens metodikk for klimagassframskrivninger til avrenning av næringsstoffer fra jordbrukssektoren og økologisk tilstand i vannforekomster. RAPPORT L.NR. 7602-2021." NIVA og NIBIO.
- Smeaton, Craig, Handong Yang, and William E. N. Austin. 2021. 'Carbon burial in the mid-latitude fjords of Scotland', *Marine Geology*, 441: 106618.
- Sola_kommune. 2021. "Kommunedelplan for klima og miljø 2021-2031. Høringsforslag."
- Statens_Vegvesen. 2014. "Naturtilstanden i Hafrsfjord. Sluttrapport. Delprosjekt 1 og 2" Norconsult.
- Stavanger_kommune. 2019. "Vann i Stavanger. Hovedplan for vannforsyning, avløp, vannmiljø og overvann 2019-2029. https://www.stavanger.kommune.no/siteassets/bolig-og-bygg/vann-og-avlop/hovedplan_vann-i-stavanger_lavoppløselig-enkeltsider.pdf."
- Stigebrandt, A. 2018. 'On the response of the Baltic proper to changes of the total phosphorus supply', *Ambio*, 47: 31-44.
- Stigebrandt, A., B. Liljebadh, L. de Brabandere, M. Forth, A. Granmo, P. Hall, J. Hammar, D. Hansson, M. Kononets, M. Magnusson, F. Noren, L. Rahm, A. H. Treusch, and L. Viktorsson. 2015. 'An Experiment with Forced Oxygenation of the Deepwater of the Anoxic By Fjord, Western Sweden', *Ambio*, 44: 42-54.
- Stigebrandt, Anders, Lars Rahm, Lena Viktorsson, Malin Ödalen, Per O. J. Hall, and Bengt Liljebadh. 2014. 'A New Phosphorus Paradigm for the Baltic Proper', *Ambio*, 43: 634-43.
- Stokland, Ø. . 1985. "Resipientundersøkelse Hafrsfjord og Vistevika 1984 – 1985. – AVF 4/85 del I og II. Åpen rapport. Rogalandsforskning. 31 og 24 sider." In.
- Staalstrøm, A. 2017. "Vurdering av effekter på vannkvaliteten ved endrede utslipp i Bunnefjorden og Bekkelagsbassenget." In *NIVA-rapport*, 36. Oslo: NIVA.
- Staalstrøm, André, Mats Walday, Christian Vogelsang, Helene Frigstad, Gunhild Borgersen, Jon Albretsen, and Lars-Johan Naustvoll. 2021. "Utredning av behovet for å redusere tilførselene av nitrogen til Ytre Oslofjord." Miljødirektoratet.
- Staalstrøm, André, and Evgeniy Yakushev. 2020. "Vurdering av mulige tiltak for å bedre vannkvaliteten i Hunnebunn." NIVA.
- Tangen, Magnus, Johannes Hamre, Espen Johnsen, Odd Nakken, Kjell Nedreaas, Øyvind Tangen, and Per Ågotnes. 2016. "Tobis ved Vestlandet og i Nordsjøen 1950 - 1990." In *Fisken og havet;5-2016*. Havforskningsinstituttet.
- Teal, L. R., M. T. Bulling, E. R. Parker, and M. Solan. 2008. 'Global patterns of bioturbation intensity and mixed depth of marine soft sediments', *Aquatic Biology*, 2: 207-18.
- Thendrup, A., and S.E Hansen. 1989. 'Tiltak for å forbedre vannutskiftningen i terskelfjorder', *Vann*, 3-89: 352-62.
- Thomsen, Hanne. 1988. *Jærlandskapet forandrer seg. Landskapsforandring gjennom 1.500.000.000 år* (Hå kommune ved kulturetaten).
- Tomašových, Adam, Ivo Gallmetzer, Alexandra Haselmair, Darrell S. Kaufman, Martina Kralj, Daniele Cassin, Roberto Zonta, and Martin Zuschin. 2018. 'Tracing the effects of eutrophication on molluscan communities in sediment cores: outbreaks of an opportunistic species coincide with reduced bioturbation and high frequency of hypoxia in the Adriatic Sea', *Paleobiology*, 44: 575-602.
- Trannum, H. C., and J. Håvardstun. 2019. "Kartlegging av forurensede sedimenter og risikovurdering av Skogfjorden, Mandal." NIVA.
- Trannum, Hilde C., Caroline Raymond, Rita Næss, Gunhild Borgersen, Jonas S. Gunnarsson, and Morten T. Schaanning. 2021. 'Long-term response of marine benthic fauna to thin-layer capping with powdered activated carbon in the Grenland fjords, Norway', *Science of The Total Environment*, 776: 145971.
- Tvedten, Øyvind F., Veslemøy Eriksen, Jon Kongsrud, and Narve Brattenborg. 2003. "Miljøundersøkelse av marine resipienter rundt Stavangerhalvøya, 2001-02. Rapport RF – 2003/081." In *Rapport RF – 2003/081*. Rogalandsforskning (NORCE).

- Vea, Jostein. 1994. "Oksygenering av Skjoldafjorden. RF-30/94." Stavanger: RF - Rogalandsforskning.
- Vermaat, Jan E., Martin Palt, Jeremy Piffady, Arturs Putnins, and Jochem Kail. 2021. 'The effect of riparian woodland cover on ecosystem service delivery by river floodplains: a scenario assessment', *Ecosphere*, 12: e03716.
- Vitenskapelig_råd_for_lakseforvaltning. 2020. "Status for norske laksebestander i 2020. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr. 15." In *Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning*, edited by Eva B. Thorstad, Torbjørn Forseth and Peder Fiske, 147 s. Trondheim: Vitenskapelig råd for lakseforvaltning.
- Walday, Mats, Hege Gundersen, Janne Gitmark, Trine Bekkby, Kjell Magnus Norderhaug, and Are Pedersen. 2015. "Videreutvikling av makroalgeindeksene for klassifisering av miljøtilstand i kystvann (Further development of WFD-indexes for the biological quality element macroalgae)." NIVA.
- Øygarden, Lillian, Marianne Bechmann, Torsten Starkloff, and Siri Svengård Stokke. 2019. "Synergier mellom tiltak for vannmiljø, klimatilpasning og klimagassutslipp." In *NIBIO rapport*. NIBIO Norsk Institutt for Bioøkonomi.