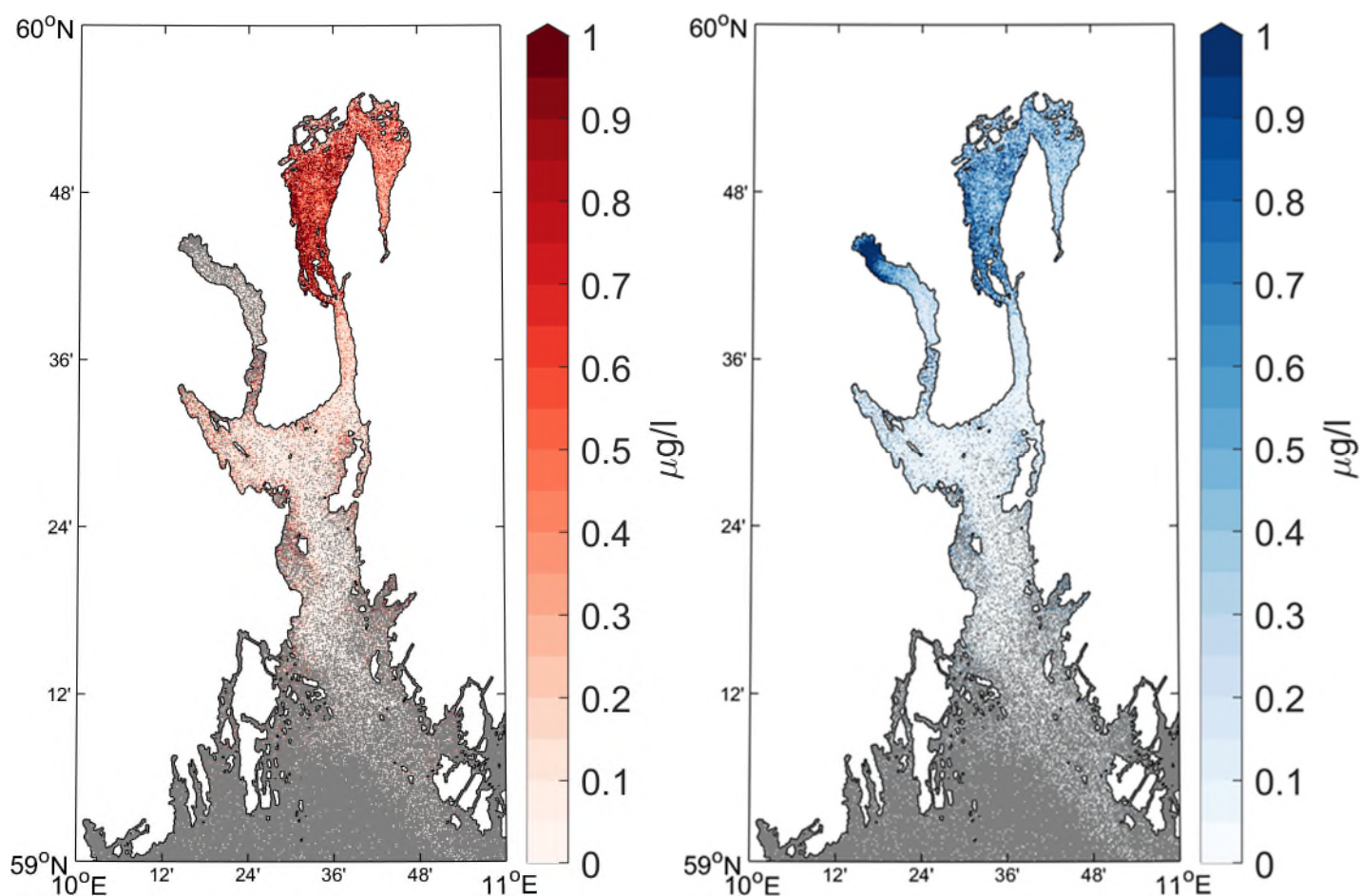


Veas

► Modellering og vurdering av utslippsscenarioer 2030

Oppdragsnr.:52203276 Dokumentnr.:01 Versjon: E05 Dato: 2022-09-05



Oppdragsgiver: Veas
Oppdragsgivers kontaktperson: Kirsti Grundnes Berg
Rådgiver: Norconsult AS
Oppdragsleder: Elisabeth Lundsør
Fagansvarlig: Stig Dalsøren og Elisabeth Lundsør
Andre nøkkelpersoner: Jon Albretsen

E05	2022-09-05		Stig/Ellun		Ellun
E04	2022-06-29	Korrigert versjon	Stig		Ellun
D03	2022-05-20	For godkjenning fra oppdragsgiver			Ellun
B02	2022-05-09	For gjennomgang hos oppdragsgiver		Stig/Ellun	
A01	2022-05-09	Utkast for fagkontroll	Stig/Ellun		
A01	2022-05-09	Utkast for fagkontroll	Stig/Ellun		

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

► Sammen drag

Miljøstatusen for de øvre vannmassene i indre Oslofjord har forbedret seg betydelig de siste 50 årene. Med innføring av renseteknologi for avløpsvann har den økologiske tilstanden til den øvre vannsøylen blitt bedre.

Bakgrunnen for vurderingene i denne rapporten er at Veas skal søke om ny utslippstillatelse. Det er nødvendig å vurdere effekten av Veas utslipp på resipienten. Det er også interessant å vurdere mulig effekt av å øke fjerning av nitrogen. Videre står Drammensregionen foran omfattende investeringer i avløpsløsninger og overføring av avløpsvann for rensing og ressursutnyttelse på Veas er et av konseptene som vurderes.

I denne rapporten har vi kombinert flere ulike, velprøvde modellverktøy for å undersøke spredning av utslipp til resipientene Drammensfjorden, indre Oslofjord og ytre Oslofjord basert på fire ulike scenarier for år 2030:

1. Separat 70 %: Nytt anlegg ved Gullaug separat fra Veas, like rensesstandarder som Veas har i dag.
2. Separat 80 %: Som 1. men med økning av rensesgraden for nitrogen til 80 %.
3. Alt Veas 70 %: Begge utslipp kombineres ved Veas, lik rensesstandard som i dag.
4. Alt Veas 80 %: Begge utslipp kombineres ved Veas, økning av rensesgraden for nitrogen til 80 %.

Modellverktøyene er brukt til å beregne hvordan utslipp av nitrogen, fosfor og organisk materiale innlagres og spres i vannmassene i de nevnte fjordområdene. For de to næringssaltene er bidragene til totalbelastning også vurdert.

Resultatene viser at utslippene ved Veas er betydelig større enn ved Gullaug, og simuleringene viser at utslippene fra Veas påvirker områdene utenfor Drammensfjorden i større grad enn utslippene fra Gullaug. Det er også større grad av tilbakeholdelse i den mer lukkede Drammensfjorden, noe som også bidrar til dette bildet. Det blir derfor en økning i tilførsler av fosfor og organisk materiale til indre og ytre Oslofjord dersom utslippene kombineres og overføres til Veas. Forskjellene er likevel ikke så store. For Drammensfjorden blir det derimot en betydelig forbedring dersom alt overføres. Det aller viktigste tiltaket for å begrense nitrogenbelastning i indre og ytre Oslofjord vil være å øke rensesgraden for nitrogen ved Veas til 80% (tabell under). For indre og ytre Oslofjord vil reduksjonen være aller størst dersom utslippene er separert på begge anlegg, men for Drammensfjorden vil det igjen være en stor fordel å få overført utslippene til Veas.

Modellsimuleringene viser at en stor del av utslippene transporteres ut av indre fjordområder til ytre Oslofjord og videre ut mot kysten og åpne havområder. Det er m.a.o. effektiv vannutveksling med ytre Oslofjord. En helhetlig tilnærming er derfor nødvendig. Eksempelvis vil det for indre Oslofjords del være nyttig å vurdere bidrag fra, og tiltak på, utslippskilder i ytre Oslofjord (og Drammenselva), i o.m. store utslippskilder der (langt større totalutslipp enn i indre Oslofjord).

Område	Beste scenario	Nest beste	Kommentar
Drammensfjorden	Alt Veas 80 %	Alt Veas 70 %	Mye bedre enn alternativer
Indre Oslofjord +Breiangen	Separat 80 %	Alt Veas 80 %	Bedre enn alternativer
Ytre Oslofjord	Separat 80 %	Alt Veas 80 %	Liten forskjell

Innhold

1	Bakgrunn	5
2	Områdebeskrivelse	7
3	Metodikk	9
4	Resultater	12
4.1	Innlagringsdyp	12
4.2	Karakteristiske spredningsmønstre fra utslippslokalitetene	12
4.3	Fosfor 2030	14
4.3.1	<i>Scenarier for utslipp og spredning av fosfor</i>	14
4.3.2	<i>Effekt av ulike scenarier</i>	15
4.3.3	<i>Bidrag til totalbelastningen</i>	17
4.4	Nitrogen 2030	20
4.4.1	<i>Scenarier for utslipp og spredning av nitrogen</i>	20
4.4.2	<i>Effekt av ulike scenarier</i>	20
4.4.3	<i>Bidrag til totalbelastningen</i>	21
4.5	Organisk materiale	24
4.5.1	<i>Scenarier for utslipp og spredning av organisk materiale</i>	24
4.5.2	<i>Effekt av ulike scenarier</i>	24
4.6	Økologiske konsekvenser	25
5	Referanser	27
	Appendiks	29

1 Bakgrunn

Miljøstatusen for de øvre vannmassene i indre Oslofjord har forbedret seg betydelig de siste 50 årene. Med innføring av renseteknologi for avløpsvann har den økologiske tilstanden til den øvre vannsøylen blitt bedre. Studier av historiske tidsseriedata viser hvordan mengde planteplankton og dermed økologisk tilstand i de øvre vannmassene har blitt betydelig forbedret i takt med nedgang i næringsstoffutslipp. Det er ulik grad av rensing i indre og ytre Oslofjord og også betydelige forskjeller i andre påvirkningsfaktorer. Det er en stor grad av utveksling av vann og næringsalter mellom disse fjordområdene og miljøtilstanden henger tett sammen. Bevisstheten rundt miljøtilstanden i disse fjordområdene og den antropogene belastningen de utsettes for har økt den siste tiden og nye rapporter viser til større problemer enn tidligere antatt.

Bakgrunnen for vurderingene i denne rapporten er at Veas skal søke om ny utslippstillatelse. Fjordens behov er sentralt for fremtidige utslippskrav. Veas søker derfor å få bedre kunnskap om effekten på fjorden av utslipp fra anlegget. Det er også interessant å vurdere mulig effekt av å øke fjerningen av nitrogen. Videre står Drammensregionen foran omfattende investeringer i avløpsløsninger og overføring av avløpsvann for rensing og ressursutnyttelse på Veas er et av konseptene som vurderes. Konseptet har god score på kostnader og klimanytte. En overføring av avløpsvann fra Drammensregionen til indre Oslofjord, forventes å gi betydelig reduksjon av utslippene av næringsalter til Drammensfjorden, mens det vil øke den direkte tilførselen til indre Oslofjord, forutsatt dagens rensekrav, 90% P-fjerning og 70% N-fjerning. Veas søker nærmere kunnskap om konsekvensene av en slik overføring. Det er derfor valgt å vurdere effekten av følgende scenarier for året 2030:

1. *Separat 70 %: Veas renser til nåværende rensekrav, 70% N og 90% P, og Drammensregionen har etablert et eget, regionalt renseanlegg med utslipp til Drammensfjorden, forslagsvis ved Gullaug, med samme rensekrav som Veas.*
2. *Separat 80 %: Som over, men rense-nivå for N er 80%.*
3. *Alt Veas 70 %: Veas renser eget pluss avløpsvann fra Drammensregionen, med nåværende rensekrav, dvs. 70% N-fjerning. Dvs. at renset avløp fra Drammensregionen føres ut i indre Oslofjord.*
4. *Alt Veas 80 %: Veas renser eget pluss avløpsvann fra Drammensregionen, til 80% N-fjerning. Dvs. at renset avløp fra Drammensregionen føres ut i indre Oslofjord.*

Næringsalter påvirker vannkvaliteten til en resipient fordi det er med å styre produksjonen av planteplankton i de frie vannmassene. Planteplankton, og andre alger, tar opp uorganiske næringsstoffer fra vannmiljøet. Nedbrytning av organisk materiale og metabolisme hos dyr eller mikroorganismer vil regenerere brukte uorganiske næringsstoffer tilbake til sjøen (biokjemisk syklus). Tilgangen på fire viktige elementer, P, N, Fe og Si kan ofte være begrenset i marin vannforsyning og disse stoffene har derfor avgjørende økologisk betydning. En forhøyet produksjon av planteplankton vil føre til sedimentering av organisk materiale på sjøbunnen. Der dette kommer i overflod og ikke blir spist opp av beitere eller nedbrutt av bakterier på grunn av begrenset tilgang på oksygen kan dette føre til at ingen organismer kan leve på denne sjøbunnen. Dette er tilfelle i flere deler av indre og ytre Oslofjord.

Naturlig fosfor kommer i små mengder fra forvitring av fosfatisk mineraler (Reynolds, 2006), men mange kystmiljøer mottar menneskeskapt fosfor fra avløpsvann, jordbruk og industri. Det meste av det biotilgjengelige nitrogenet i Oslofjorden er oppløst uorganisk nitrogen (DIN) som tilføres fra menneskeskapt virksomhet, spesielt landbruk (Staalstrøm et al., 2021). Denne menneskeskapte tilførselen av næringsstoffer kan fungere som gjødsel og øke vekst og deling av planteplankton veldig raskt.

Hovedkilden til fosfor og nitrogen i Oslofjorden er menneskelig aktivitet. I indre Oslofjord er avløpsvann den største bidragsyteren til totalen (ca. 70 %). I ytre Oslofjorden er tilførslene fra avløpsvann dobbelt så store, men her er samlede tilførsler omtrent ti ganger større enn i indre fjord og landbruket bidrar med omtrent halvparten (Guerrero and Sample, 2021). Det er også et betydelig bidrag av næringsalter fra ytre Oslofjord til indre Oslofjord.

Hvorvidt primærproduksjonen av planteplankton er begrenset av nitrogen (N) eller fosfor (P) vil avhenge av den relative tilgjengeligheten til N og P i vannet sammenlignet med det behovet. Redfield N:P-forholdet på 16:1 brukes derfor ofte som en målestokk for å differensiere N-begrensning fra P-begrensning (Falkowski, 1997; Tyrrell, 1999). Det er likevel vist at plastisiteten og variasjonen i planteplankton er stor og det er store variasjoner mellom arter og grupper av planteplankton.

Historisk regnes ferskvann som P-begrenset (Schindler, 1977) mens sjøvann er nitrogenbegrenset (Ryther og Dunstan, 1971). Denne oppfatningen har vært med å forhindre tiltak for kontroll av nitrogenforurensning (Howarth og Marino, 2010). I indre Oslofjord ble teknologi for fjerning av nitrogen etablert i avløpsrensaneanleggene fra 1997. I ytre Oslofjord er det fortsatt kun fosforfjerning. Selv om det er høyere befolkningstetthet rundt de indre delene av Oslofjorden enn de ytre delene, fører denne praksisen til høyere nivåer av nitrogen i overflatevannet i ytre Oslofjorden enn de indre delene (Staalstrøm et al., 2021). Analyser av data fra indre Oslofjord tilbake til 1973 har vist hvor viktig rensing av avløpsvann har vært for å redusere overgjødning/eutrofi i indre Oslofjord. Innføring av avløpsrensing førte til betydelig nedgang i planteplankton produksjonen og innføring av nitrogenrensing antas å være en viktig faktor for å holde produksjonen nede (Lundsør 2020). Det er ikke påvist en økende produksjon av planteplankton (klorofyll a) i ytre Oslofjord de siste 10-20 årene (Staalstrøm et al., 2021b).

2 Områdebeskrivelse

Indre Oslofjord er en relativt liten fjord med begrenset vannutskiftning. Samtidig er avløp en viktig bidragsyter til næringssalter i fjorden. Det er derfor viktig å vurdere hva en endring i tilførsler vil bety for vannkvaliteten og økologisk tilstand, både for indre Oslofjord og for tilgrensende områder i ytre Oslofjord. Selv om det tidvis er registrert større algeoppblomstringer i Oslofjorden viser rapporterte utregninger fra overvåkningsprogrammene at konsentrasjon av planteplankton (klorofyll a) ligger i tilstandsklasse «svært god» til «god» de siste årene (Fagerli et al., 2021; Staalstrøm et al., 2021a, 2020).

Stasjonen **Dk1** ved Steilene (Figur 1) ligger i den vestlige delen (Vestfjorden) av indre Oslofjord og nær Veas sitt utslipp. Denne stasjonen har vært en del av miljøovervåkningsprogrammet i indre Oslofjord i mer enn 50 år. En studie av trender tilbake i tid viste at miljøtilstanden i de øvre vannmassene er klart forbedret. Mye av denne forbedringen kan tilskrives rensing og endring av utslippspunkt for avløp. Vinterstid kan konsentrasjonene av totalt nitrogen (tot-N) komme opp i konsentrasjoner på mellom 300 og 400 µg/L. Mye av dette er i form av uorganisk nitrogen som vil være tilgjengelig for primærproduksjon. Nivåene av denne typen nitrogen er i tilstandsklasse «moderat» vinterstid. I vekstsesongen for planteplankton (mars-sept) vil nitrogenet forbrukes i de øvre vannlagene, men mye nitrogen innlagres under sprangsjiktet og det er høye konsentrasjoner (>300 µg/L) i disse vannlagene gjennom hele året.

Det er et tilsvarende bilde for fosfor gjennom sesongen, men de største konsentrasjonene innlagres på større dyp, under 50m dyp. Det er bare vinterstid at konsentrasjonene i overflatevannet ligger over klassegrensen for «god» tilstand i Vestfjorden. I Vestfjorden er det normalt en årlig utskiftning av bunnvannet.

Ep1 ligger i den østlige delen av indre Oslofjord (Bunnefjorden). Bunnefjorden har dårligere vannutskiftning, svært dårlige oksygenforhold i bunnvannet og er sårbar for antropogene belastninger. Innlagring av tot-N har høyest konsentrasjoner mellom 5 og 30m dyp og kan her ligge opp mot 500 µg/L. I overflatelaget er det lave fosforkonsentrasjoner, men under 10m dyp og disse øker til >50 µg/L og konsentrasjonene øker nedover i dypet. Det er høye konsentrasjoner av fosfor innlagret i de dypere vannmassene i Bunnefjorden og med begrenset utskiftning av bunnvannet akkumuleres det over tid.

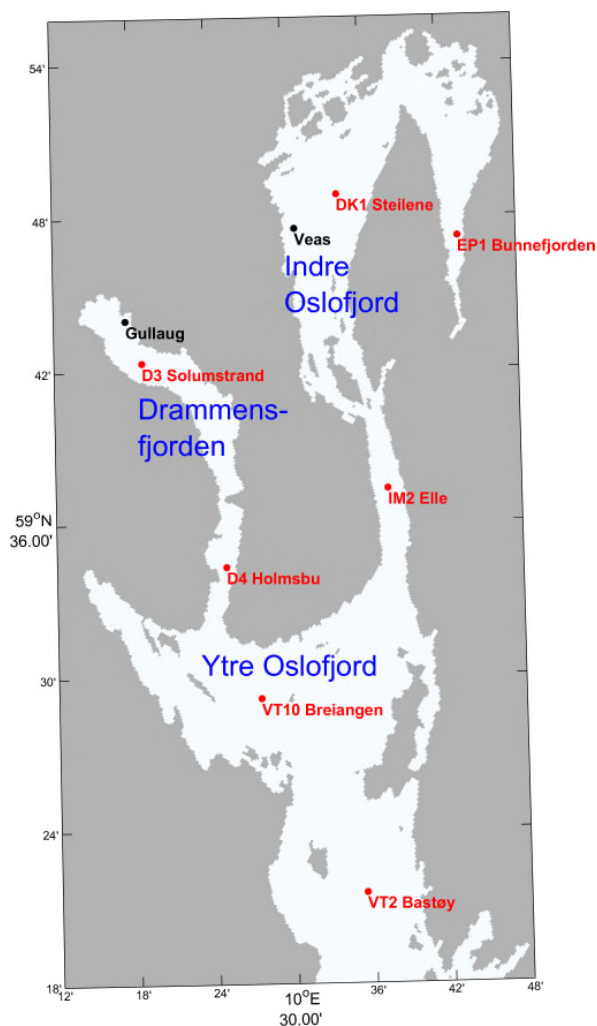
På stasjonen **IM2** som ligger i Drøbaksundet der vannutskiftningen er god er konsentrasjonene av næringssalter lavere, men også her er det innlagret næringssalter i de dypere vannmassene gjennom hele året. Både nitrogen og fosfor ligger i tilstandsklasse «moderat» i overflatelaget vinterstid, men for nitrogen gjelder dette også om sommeren (Staalstrøm et al., 2021a).

Selv om nitrogen finnes i høye konsentrasjoner i indre Oslofjord er de enda høyere i ytre Oslofjord der det ikke er innført rensing av nitrogen i avløpsanleggene. I flere av fjordarmene til ytre Oslofjord, inkludert Drammensfjorden, er nitratnivåene i tilstandsklasse «moderat» eller «dårlig» sommerstid. Det er også behov for minimum 10% reduksjon i nitrogenkonsentrasjonene om man skal oppnå målet om «god» tilstand for hele fjorden.

Drammensfjorden er en terskelfjord der det jevnlig oppstår anoksiske forhold i bunnvannet. Overvåkningsstasjonene **D-2** og **D-3** ligger i dette sjøområdet. På disse stasjonene er det målt forhøyede konsentrasjoner av fosfor og nitrogen i de øvre vannmassene (tilstandsklasse «moderat»), spesielt vinterstid, men nitrogen også sommerstid. Her er det også begrenset utskiftning av bunnvann og dårlige oksygenforhold (Engesmo et al., 2020).

Drammensfjorden renner ut i Oslofjorden ved Breiangen og her er det også utfordringer med vannutskiftning og lave oksygenverdier i bunnvannet og forhøyede konsentrasjoner av nitrat vinterstid. Det er en økende trend i vinterkonsentrasjoner av både nitrogen (nitrat+nitritt) og fosfor (fosfat) siden 1995, noe som tyder på økte tilførsler. Oksygenkonsentrasjonene i bunnvannet ligger i tilstandsklasse «moderat»

Som en referanse for ytre Oslofjord har vi tatt med stasjonen **VT 2** som ligger sentralt, ved Bastøy, i Oslofjorden. Denne stasjonen vil være påvirket av flere kilder fra indre Oslofjord, Drammensfjorden, elver som renner ut i Oslofjorden, men også vann utenfra, fra Skagerrak. Her ligger konsentrasjonene av både fosfor og nitrogen i «god» tilstand i overflatelaget, både sommer og vinter. Dette er et åpent område med god vannutskiftning og gode oksygenforhold i bunnvannet. Noe lave verdier for siktedyp tyder likevel på at området mottar betydelige mengder med partikler fra landbaserte kilder.



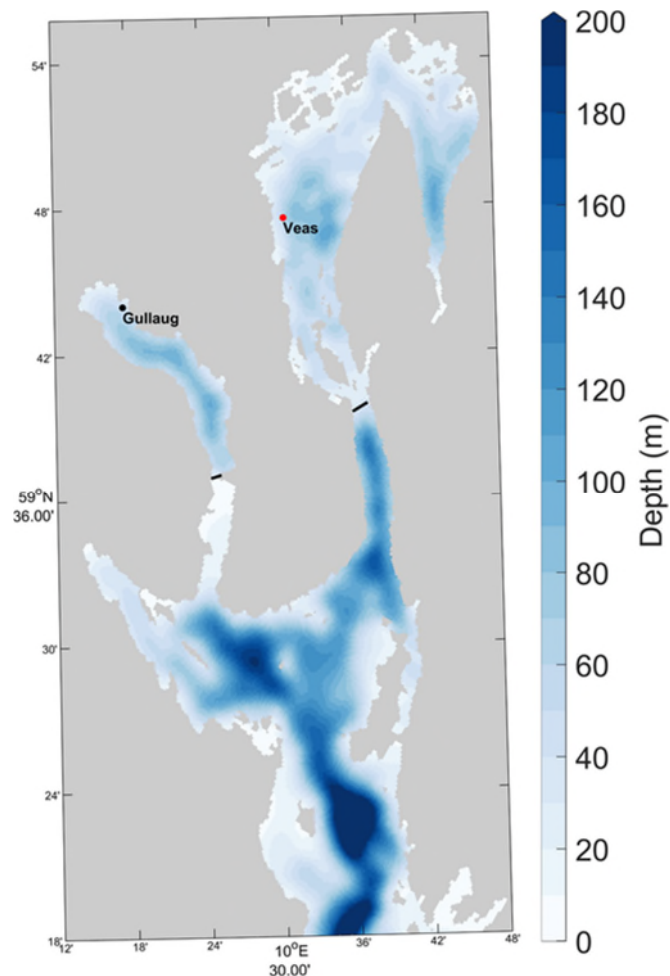
Figur 1 Utslippssteder avløp (sort) og målestasjoner (rødt) i Oslofjorden og Drammensfjorden diskutert i områdebeskrivelsen over. Bakgrunns-kartet er basert fordeling av land/sjø i modellene beskrevet i neste kapittel

3 Metodikk

Flere modeller er satt sammen og brukt for å modellere en så realistisk spredning i resipientene som mulig. Et data-arkiv fra strømodellen NorFjords (Asplin et al. 2020, Dalsøren et al. 2020) som er kjørt opp av Havforskningsinstituttet, er brukt som inngangsdata til partikkelspredningsmodeller. NorFjords er basert på modellsystemet ROMS (Regional Ocean Modeling System, f.eks. Shchepetkin og McWilliams, 2005; Haidvogel et al. 2008, eller se <http://myroms.org>). Modellen er videreutviklet for norske kyst og fjordområder samt nærliggende havområder av Havforskningsinstituttet (HI) i samarbeid med Meteorologisk Institutt. Modellen er evaluert mot observasjoner ved en rekke lokaliteter langs norskekysten og i fjorder og har bra samsvar med målingene i tid og rom de fleste steder (Asplin et al. 2020, Dalsøren et al. 2020, HI 2021). Modellens horisontale oppløsning er 160 m x 160 m og vertikalt har den 35 nivåer. I utstrekning dekker modellkjøringen brukt her kyst og havområdene fra Koster/Sverige til Agder og hele Oslofjorden og indre Skagerrak er inkludert.

For å undersøke hvordan avløpsvannet fordeler seg vertikalt i vannsøylen tett inntil utslippspunktene, ble Visual Plumes benyttet. Visual Plumes er et åpent tilgjengelig modellverktøy utviklet av EPA (United States Environmental Protection Agency). Utslippsvannet (tilnærmet ferskvann og forholdsvis nært i temperatur til sjøvannet i resipienten) er lettere enn resipientvannet og vil stige og fortynnes inntil det får samme egenvekt som omgivende vannmasser (innlagringsdyp). Prosessen, foregår svært nær utslippspunktet, og et typisk utslipp har ofte nådd sitt innlagringsdyp 10-50 m i horisontal distanse fra utslippspunktet. For tilstanden i resipienten ble år 2020 hydrografi og strøm fra NorFjords brukt som input i Visual Plumes. I tillegg legges det bl.a. inn opplysninger om utslippets volumfluks, temperatur, saltholdighet, rørdiameter, dybde og retning. Temperaturen til utslippsvannet ble basert på år 2020 data fra Veas. Det ble antatt at utslippsvannets saltholdighet er tilnærmet likt ferskvann (basert på målinger i tilført vann til Veas anlegget og begrenset etterfølgende tilførsel av salter).

Veas-anlegget har 5 utslippsledninger med til sammen ca. 100 diffusorhull med utslipp på ca. 30-55 m dyp (Figur 2). Totalfluks fra anlegget og dermed også flukser fra diffusorhull varierer (nedbør er en viktig styrende faktor). Døgnmidlet fluks i 2020-2021 lå mellom ca. 1.5-10 m³/s (typiske medianverdier over de seneste årene er 2.5-2.8 m³/s). Fluksen er forventet å øke med 5 % til 2030 i scenariene dette studiet belyser. I utredning (Bjerkeng og Magnusson 2013) av utvidelse fra fire til fem utslippsledninger ble det beregnet flukser fra hvert enkelt diffusorhull for totalfluks til alle ledninger på hhv. 2, 6.8 og 11 (nåværende Q_{max}) m³/s. Typiske flukser fra diffusorhullene for disse totalfluksene ble brukt i Visual Plumes.



Figur 2 Utslippspunkter brukt i spredningsmodellering for avløp fra Veas (indre Oslofjord) og Gullaug (Drammensfjorden). Utsnitt av NorFjords bunntopografi i Oslofjorden og Drammensfjorden er også vist. Sorte linjer viser omtrentlig posisjon til terskler som er viktige styrende faktorer for vann-utvekslingen med ytre Oslofjord

For Drammensregionen er det flere alternativer til plassering av nytt felles renseanlegg og utslippsledninger (Norconsult 2021). Gullaug er antatt som framtidig (år 2030) lokalitet siden det er foreslått i bestillingsteksten til dette studiet. Det er antatt utløp til 50 meters dyp (Norconsult 2020, Rambøll 2021) (Figur 2). For utslippsledningene (hoved og reserve med diametere på 0.706 m) er det antatt lengder på ca. 300 meter på land og ca. 800 meter under vann. Totalt 1100 m. Totalfluks fra Drammensregionen i 2030 er antatt 30 mill m^3 (versus 100 mill m^3 for Veas). Basert på spenn i Veas fluksene for utslipp til Oslofjorden (avsnitt over) ble det gjort beregninger av innlagringsdyp i Visual Plumes med døgnmiddel flukser på 0.5, 0.95 (middel) og 2.8 m^3/s .

For påfølgende modellering på større skala ble Havforskningsinstituttets standard verktøy for spredningsmodellering LADiM (Lagrangian Advection and Diffusion Model) brukt (Ådlandsvik 2019). LADiM er tidligere anvendt til spredningsvurderinger for en rekke problemstillinger knyttet til drift av kjemiske komponenter, plast, partikler og biologisk materiale (f.eks. lakselus, egg og larver) (Carvajalino-Fernandez 2020, Huserbråten et al. 2019,2022, Sandvik et al. 2021, Ådlandsvik 2019). NorFjords arkivet med timesverdier av strøm og turbulent blanding fra hele 2020 ble brukt som input til LADiM. LADiM ble satt opp til å modellere spredning av fiktive partikler fra lokasjoner som sammenfaller med avløp fra Gullaug i

Drammensfjorden og Veas i indre Oslofjord (Figur 2). Inntil ble alle partiklene sluppet ut i syv ulike dyp, og partiklene i de ulike dypene ble vektet ulikt avhengig av de mest vanlige innlagingsdypene som ble estimert av Visual Plumes-modellen (angitt i neste kapittel). Hver partikkel ble tillagt en vekt N (eller P) utfra data for år 2020 døgnvariasjon i utslipp ved Veas og år 2030 utslippstall for hhv. Veas og Gullaug. Partikler ble sluppet ut i det modellerte strømfeltet hver time gjennom ett år (2020), og i tillegg ble det sluppet ut fem partikler i hver (x,y,z)-posisjon. Mao. hver time ble det sluppet ut 35 partikler fra hver resipient-lokasjon.

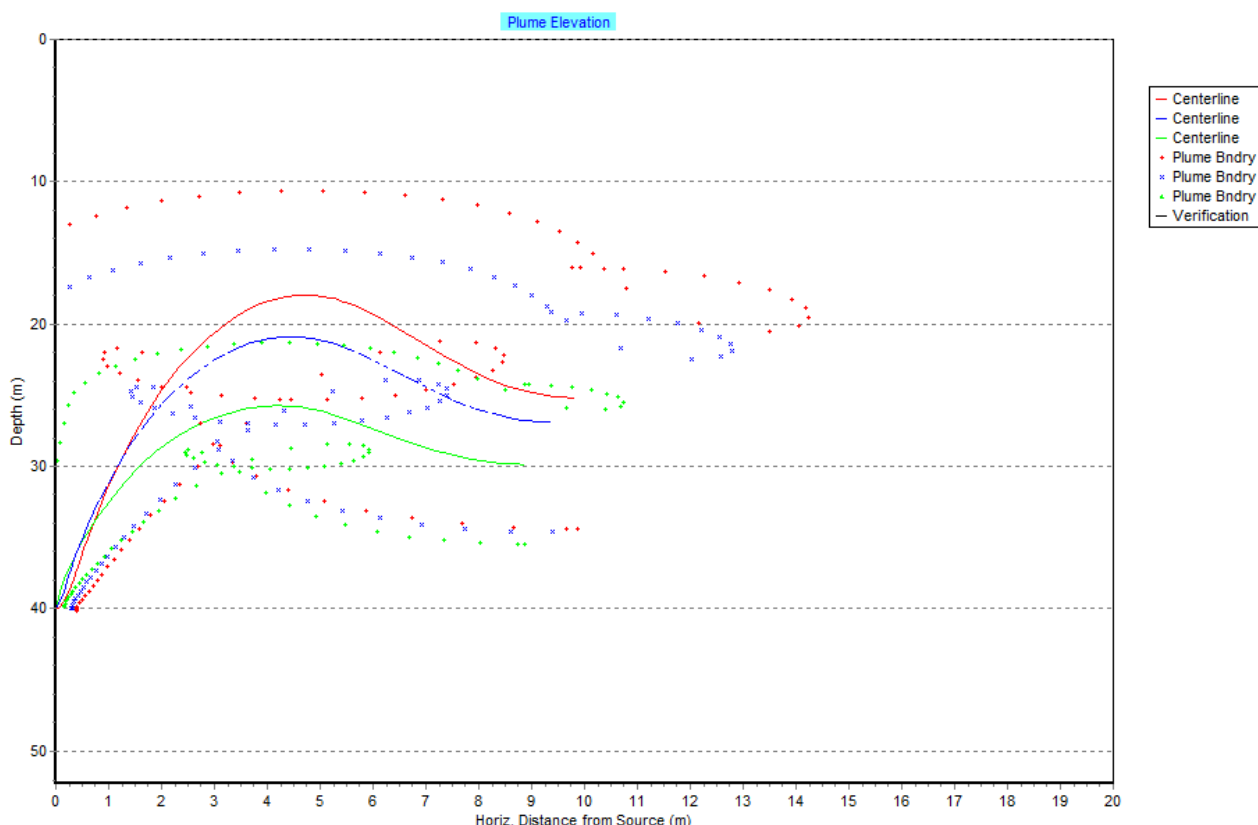
I tillegg til at partiklene ble ilagt en bevegelse bestemt av det modellerte, horisontale strømfeltet fra ROMS, så ble hver partikkel også utsatt for en liten ekstra bevegelse horisontalt ("random walk"). Dette er en vanlig metode som kompenserer for havets diffusive egenskaper og at hver partikkels bevegelse ikke skal være helt bestemt av de modellerte strømforholdene, som kan ha små avvik fra de virkelige strømforholdene. I tillegg la vi inn en vertikal forflytning av partiklene ut fra oppvelling/hedsynking og vertikal turbulens som også var beregnet av strømmodellen NorFjords 160.

Da det er brukt rene spredningsmodeller som ikke inkluderer biogeokjemiske prosesser gjøres analysene og sammenligninger med målinger for total-nitrogen og total-fosfor. Der det er måledata tilgjengelig for hele vannsøylen gjøres sammenligninger integrert over denne da modellen f.eks. ikke fanger biologisk forbruk av næringsalter i overflatelaget og remobilisering i dypvannet.

4 Resultater

4.1 Innlagringsdyp

Modellen Visual Plumes (kap. 3) ble brukt til å beregne innlagringsdyp. For Veas utslippene er det hovedsakelig innlagring på 20-35 m dyp (Figur 3). Ved høy fluks (mye nedbør) kan innlagring skje opp til 10-15m.



Figur 3 Eksempel på innlagring av Veas utslipp i februar beregnet med Visual Plumes for totalflukser på 2 m³/s (grønn), 6.8 m³/s (blå) og 11 m³/s (rød).

Resultatene er veldig like innlagringsdypene i tidligere studie (Bjerkeng og Magnusson 2013) som beregnet disse for totalfluks på 2 m³/s.

For utslipp fra Gullaug til Drammensfjorden er typiske beregnede innlagringsdyp 30-45 m, men det kan tidvis forekomme innlagring opp til 15 m og ned til 55 m.

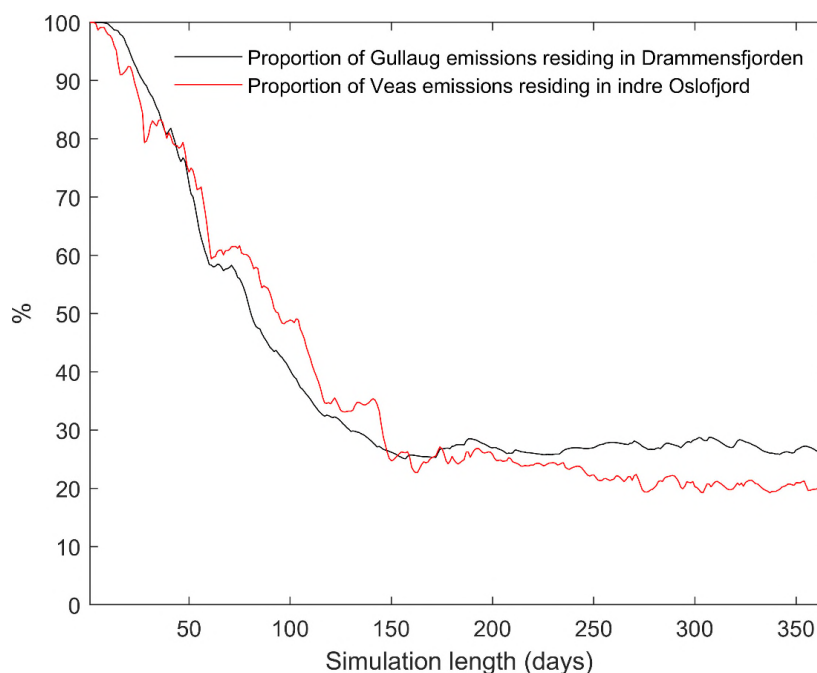
4.2 Karakteristiske spredningsmønstre fra utslippslokalitetene

For å belyse hvordan utslippene transporteres i vannmassene diskuteres først spredning fra utslipp ved Gullaug (Drammensfjorden) og Veas (indre Oslofjord/Vestfjorden) separat. Man får da fram nyttig informasjon for analysen av resultatene for de spesifikke år 2030 scenariene diskutert senere i dette kapitlet. Begge fjordene er terskelfjorder. Terskelfjorder består av et eller flere bassenger som er adskilt fra andre

fjorder eller åpne havområder av undersjøiske rygger (terskler). Drøbakerskelen (sort linje i Figur 2) med sitt maksimale dyp på ca. 20 meter avgrenser indre Oslofjord fra ytre Oslofjord. Det smale innløpet med grunn terskel og varierende bunntopografi påvirker vannsirkulasjonen i Oslofjorden og begrenser bunnvannutskiftningen i Indre Oslofjord. Flere terskler innover i indre Oslofjord deler den i store og små bassenger. I Vestfjorden hvor man har utslipp fra Veas skjer bunnvannutskiftningen stort sett årlig mens det lenger inn i Bunnefjorden vanligvis kun skjer hvert 3.-4. år.

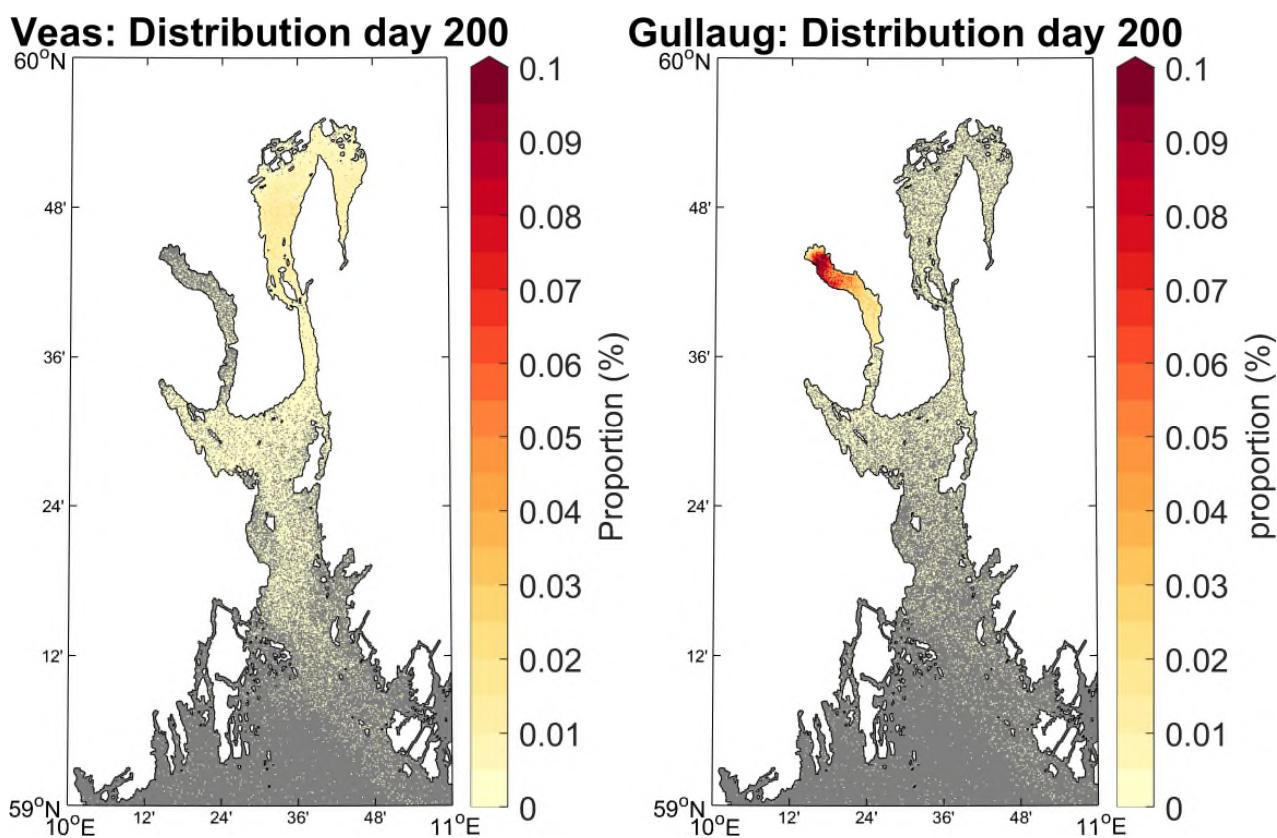
I Drammensfjorden er den ca. 13 m dype Svelvikterskelen (sort strek figur i Figur 2) en tilsvarende barriere. Det grunne og trange innløpet ved Svelvik gjør at vannutskiftningen er begrenset. Før siste mudring fra 10-13 m (2003-2006) var det vanlig at utskiftningen av dypvannet skjedde hvert 3-5 år (Smittenberg et al. 2005).

Med terskler som er grunnere enn typiske innlagringsdyp (kapittel 4.1) for utslippene og begrenset vannutskiftning vil oppholdstiden til utslippene i de indre fjordområdene være forholdsvis lang. Det vil derfor ta en viss tid inntil man når en likevekt i mengden som transporteres ut og inn av Drammensfjorden og indre Oslofjord. Figur 4 viser andelen av nitrogen utslippene fra Gullaug og Veas som forblir i hhv. Drammensfjorden og indre Oslofjord (innenfor tersklene diskutert over og vist i Figur 2). I den første tiden etter oppstart av modellkjøringen vil andelen være nær 100 % da lite er transportert ut av indre fjordområder. Etter hvert synker andelen inntil man nærmer seg en likevekt etter drøyt 150 døgn. Det er derfor resultatene fra 150 døgn og utover ut året som er vurdert i videre analyser. Ved oppnådd likevekt befinner drøyt 25 % av Gullaug utslippene seg i Drammensfjorden mens drøyt 20 % av Veas utslippene befinner seg i indre Oslofjord. Veas-utslippene transporteres altså noe mer effektivt ut noe som hovedsakelig antagelig skyldes en noe dypere terskel. Det er verdt å merke seg at til tross for tidligere nevnte barrierer er det en stor andel av utslippene som via oppvelling og vertikal turbulens transporteres opp over terskeldypene og til ytre Oslofjord og videre ut mot kysten og åpne havområder. Resultatene viser (ikke belyst i mer detalj her) at en betydelig andel av utslippene fraktes ut av Oslofjorden og ut i Skagerrak eller med kyststrømmen langs kysten.



Figur 4 Andel av nitrogen utslipp som forblir innenfor indre Oslofjord og Drammensfjorden dvs. innenfor tersklene i Drøbaksundet og ved Svelvik vist i Figur 2.

Figur 5 viser hvordan utslipp fra hhv. Veas og Gullaug er fordelt i Oslofjorden og Drammensfjorden etter 200 døgns simulering. De største effektene av utslipp kan forventes nær utslippsstedene og i indre fjordområder. Det gjelder spesielt for Gullaug. Som diskutert over forblir en noe større andel av disse utslippene innenfor Drammensfjorden enn hva som er tilfelle for indre Oslofjord og Veas utslipp. Kun en svært liten andel av utslippene fra Veas kommer inn i Drammensfjorden mens andelen Gullaug utslipp som influerer på indre Oslofjord er en del større.

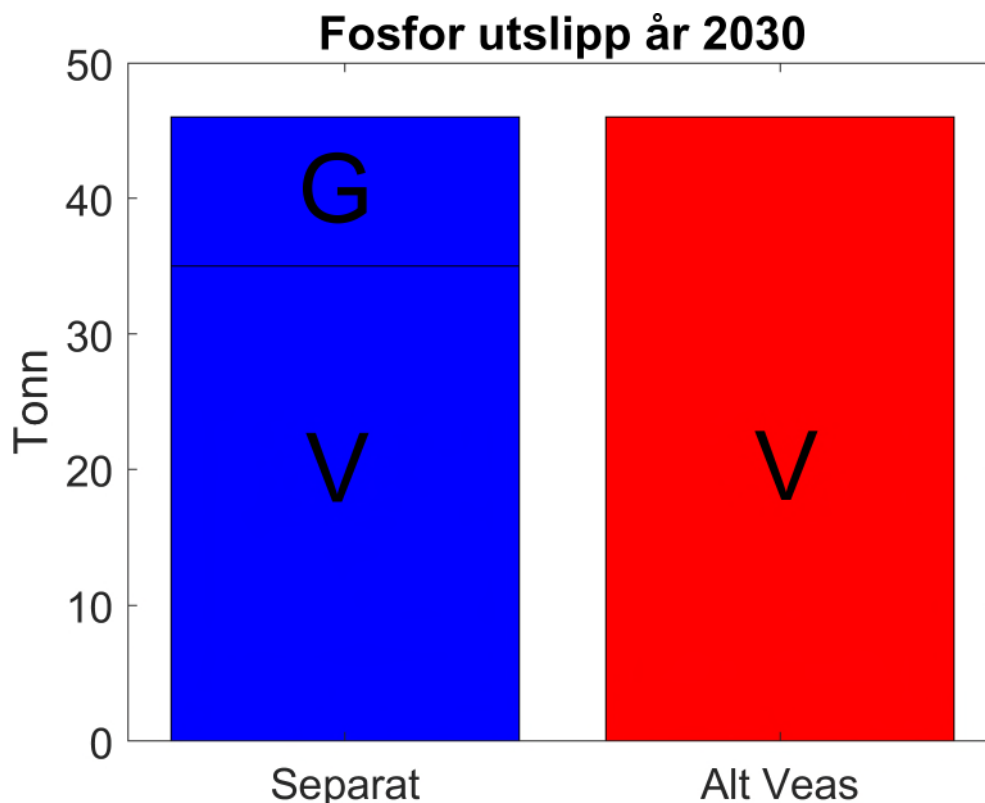


Figur 5 Relativ fordeling (summert over vannsøylen) i hver modell gridboks (160 x 160 m) av nitrogen utslipp fra Veas (venstre) og Gullaug (høyre) etter 200 døgns simulering.

4.3 Fosfor 2030

4.3.1 Scenarier for utslipp og spredning av fosfor

Figur 6 viser to utslippsscenarioer for år 2030. Det er antatt rensegrad for fosfor på 90 % både ved Gullaug og Veas. I det ene scenarioet er det separate utslipp fra Gullaug (Drammensfjorden) og Veas (indre Oslofjord) mens det i det andre er overføring til Veas og begge utslipp kombineres og slippes kun ut der. I scenariet med utslipp begge steder er utslippet til Drammensfjorden (Gullaug) ca. 1/3 av utslippet til indre Oslofjord (Veas).

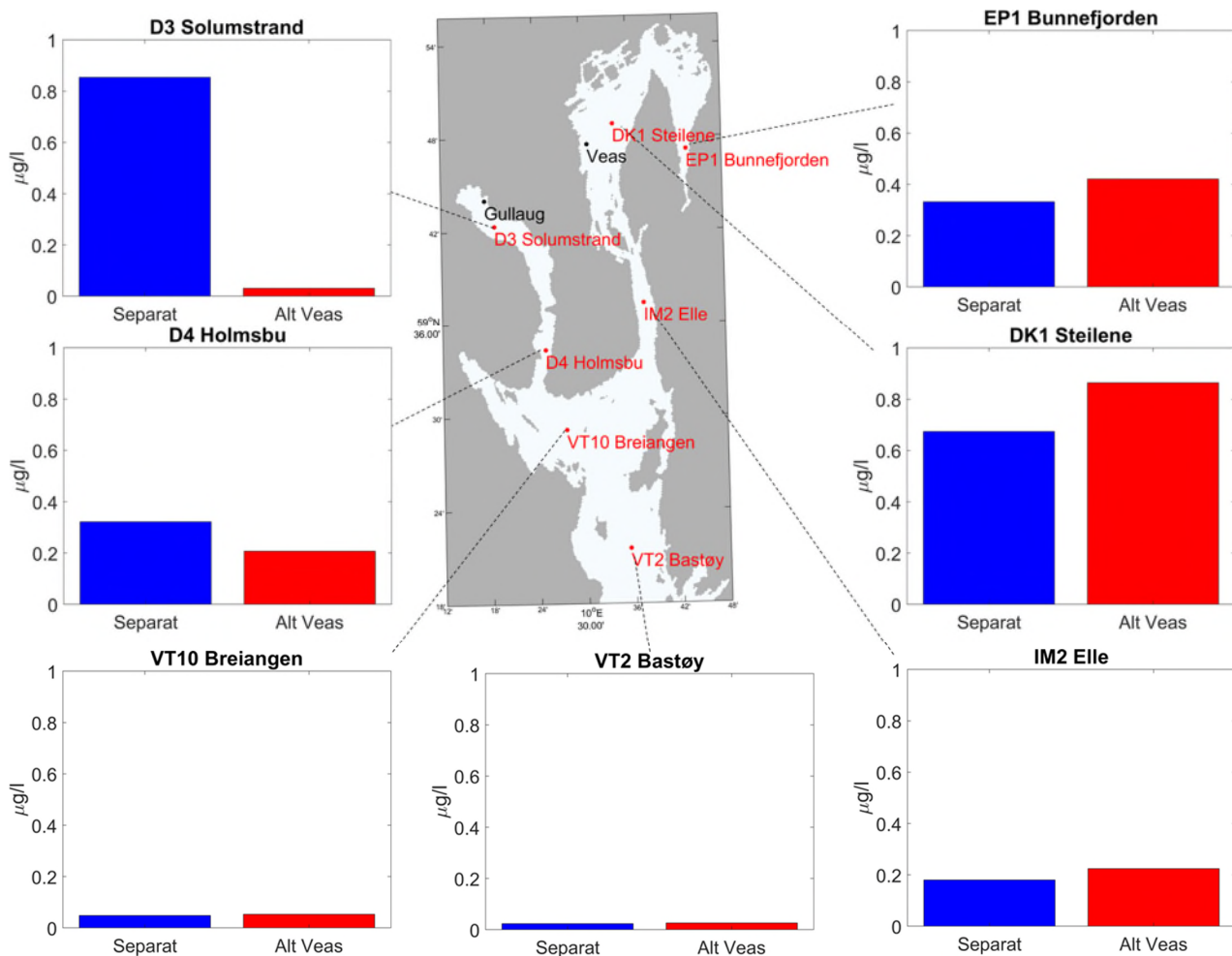


Figur 6 Utslippsscenarioer for år 2030. Separat (blå farge) betyr at det er utslipp både fra Gullaug (G) i Drammensfjorden og Veas (V) i indre Oslofjord. Alt Veas (rød farge): Avløpsvann er overført fra Gullaug (G) til Veas så alt utslipp kun fra Veas (V).

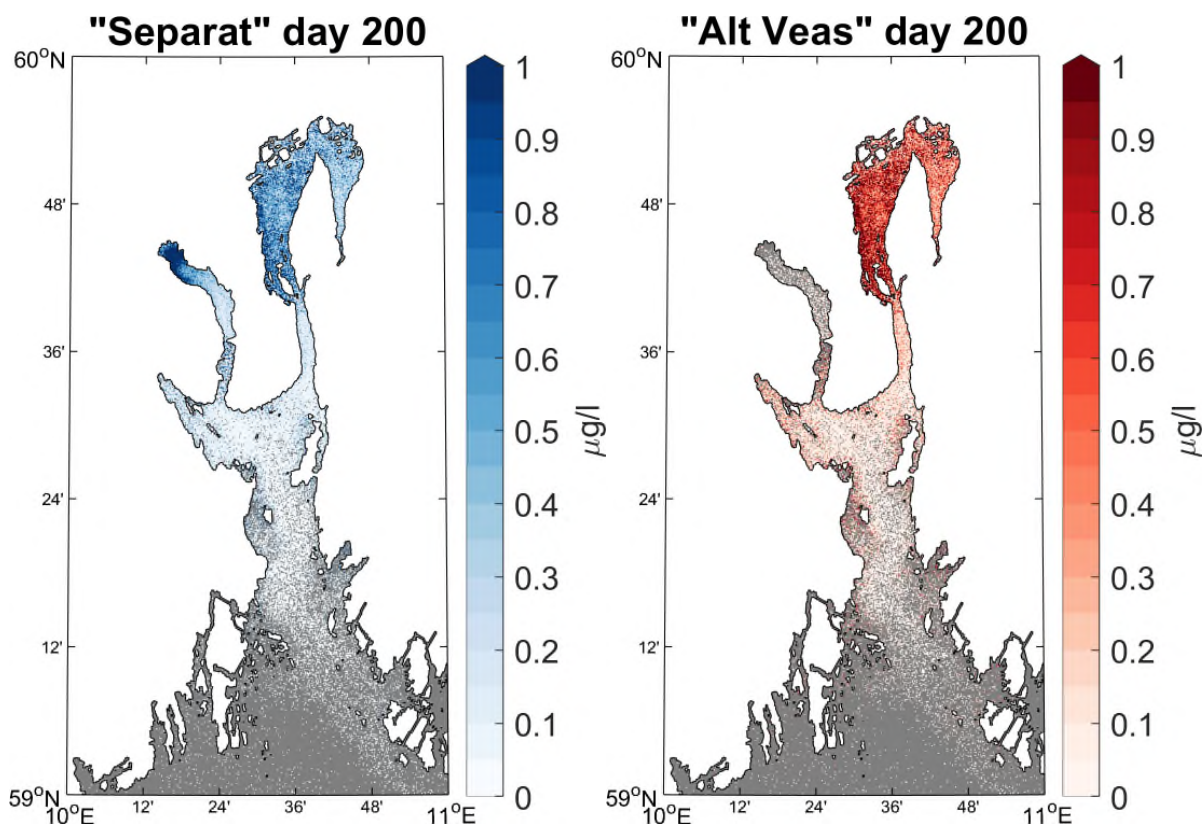
4.3.2 Effekt av ulike scenarier

Figur 7 viser fosfor for utvalgte stasjoner i de to scenariene beskrevet i kapittel 4.3.1. Middelkonsentrasjonen over vannsøylen fra dag 150 og ut året for modell gridboksene (160 m x 160 m) som omslutter stasjonene er beregnet. Tidsserier med døgnverdier er vist i appendiks (figur A1). Overføring fra Gullaug til Veas gir betydelig redusert belastning i Drammensfjorden. Det er bare en svært liten andel av utslippene fra Veas som transporteres til Drammensfjorden (Figur 5) så hvis alt utslipp flyttes til Veas blir reduksjonen i Drammensfjorden stor. Tilsvarende påvirker utslippene fra Gullaug indre Oslofjord i liten grad (Figur 5) så flytting av alt utslipp til Veas (røde søyler) gir noe større fosfor belastning i indre Oslofjord. Flytting til Veas gir også noe større belastning i ytre Oslofjord. Det skyldes at en større andel av utslippene fra Veas transporteres til ytre Oslofjord (Figur 4).

Figur 8 viser kart med fosfor konsentrasjon midlet over vannsøylen på en eksempeldag. Flyttes utslippene fra Drammensregionen ser man en tydelig reduksjon i konsentrasjonene i Drammensfjorden (konsentrasjoner i rødt kart der betydelig mindre enn i blått kart). I Oslofjorden er forskjellene mellom scenariene mindre synlige, men scenarioet med alt utslipp på Veas gir som belyst over for utvalgte stasjoner generelt noe høyere konsentrasjoner både i indre og ytre Oslofjord. Både kartene og verdiene på enkelt stasjoner viser at scenariene har størst absolutt fotavtrykk i indre fjordområder mens det er mindre i ytre Oslofjord. I neste kapittel gjøres en overordnet vurdering av det relative fotavtrykket og bidraget til totalbelastning i ulike områder.



Figur 7 Fosfor konsentrasjon midlet over vannsøylen og dag 150-365 av simuleringen ved utvalgte stasjoner vist i kart. Utslippene for de to scenariene er diskutert i kap 4.3.1 og vist i Figur 6.



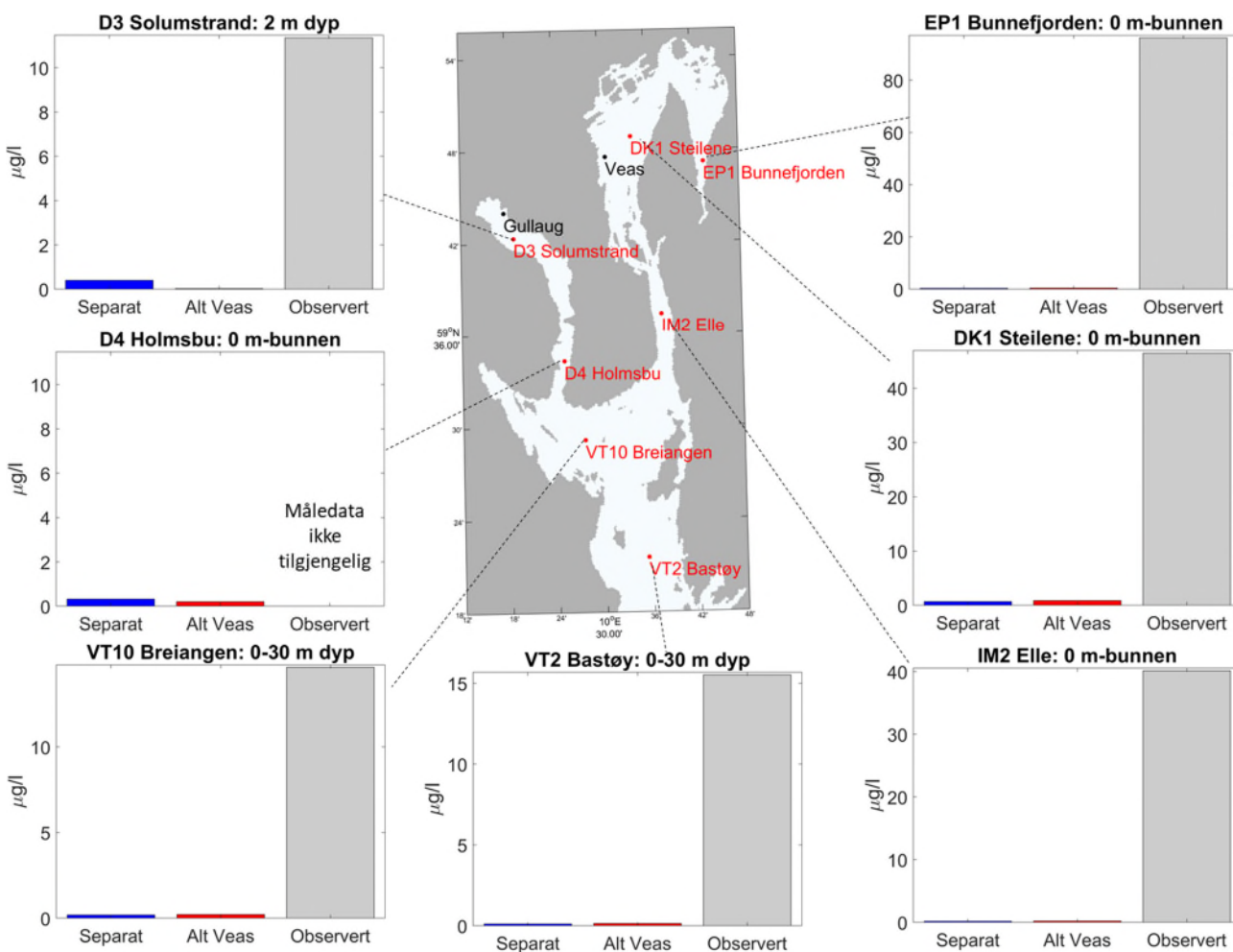
Figur 8 Fosfor konsentrasjon midlet over vannsøylen i hver modell gridboks (160 x 160m) på dag 200 av simuleringen. Utslippene for de to scenariene er diskutert i kap. 4.3.1 og vist i Figur 6.

4.3.3 Bidrag til totalbelastningen

For å sette de ulike scenariene i en større sammenheng er det gjort sammenligninger med observerte konsentrasjoner (Figur 9). Man får da et anslag på hvordan utslippene i de to scenariene bidrar til totalbelastningen fra alle kilder. Måledataene er hentet fra vannmiljø databasen (Vannmiljø 2022). Observasjoner fra tidsperioden 2015-2021 er brukt til å beregne midler over siste fem tilgjengelige år med data (for noen stasjoner er siste tilgjengelige år 2019 el. 2020). Det er beregnet middelværdier over vannsøylen for stasjoner som har målinger i mange dyp. Målingene fra denne perioden inkluderer daværende bidrag fra Veas og renseanleggene i Drammensregionen Gullaug anlegget erstatter. Disse vil være litt forskjellige fra 2030 bidraget fra Veas (pga. økte utslipp fra 2020 til 2030) og mer forskjellige for Drammensregionen (ny lokalitet med annen geografisk plassering og utslippsdyp kommer i tillegg til 2020-2030 endring i utslippsmengde). Dersom andre kilder endres lite (elveavrenning, andre avløp, etc.) vil sammenligningene med målinger gi et omtrentlig anslag for scenarienes bidrag til totalbelastning i 2030.

Av figur 9 er det tydelig at målt konsentrasjon i vannmassene er betydelig høyere enn det modellerte bidraget fra VEAS og Gullaug. Dette skyldes at en stor del av utslippene transporteres ut av indre fjordområder, og at det er betydelig bidrag fra næringssalter fra ytre Oslofjord. Ytre Oslofjord har langt større utslipp og i tillegg tilførsel fra Skagerrak og svenskekysten og gir derfor et viktig bidrag i indre Oslofjord selv om kun en fraksjon av næringssaltene der transporteres til indre fjordområder.

For mer eksakte estimater kreves det simulering av alle utslippsskilder for nær nåtid og år 2030 og evt. også en biokjemisk modell noe det ikke var rom for gitt tidsramme og prosjektomfang for denne rapporten. Da spredningsmodelleringen ikke inneholder noe biogeokjemisk tap til sedimenter eller atmosfæren vil anslagene for bidrag være øvre estimater med mindre annet er presisert.

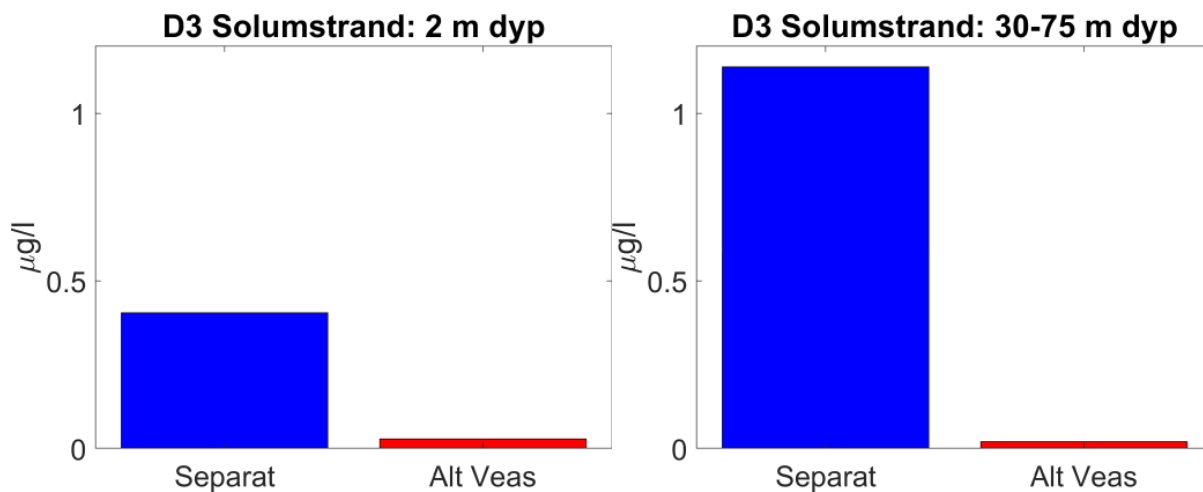


Figur 9 Midlede modellerte fosfor konsentrasjoner i scenarier sammenlignet med middel av siste fem tilgjengelige år med målinger ved utvalgte stasjoner vist i kart. Midlene er beregnet for dag 150-365. Utslippene for de to scenariene er diskutert i kap. 4.3.1 og vist i Figur 6.

For Drammensfjorden er det kun tilgjengelig målinger i overflatelaget. Som vist i Figur 9 er bidraget til totalbelastningen der betydelig dersom utslipp fra anlegg ved Gullaug blir en realitet (blå søyler). Figur 10 viser at scenarioet med Gullaug utslipp gir enda høyere konsentrasjoner på 10-50 m dyp (under overflatelaget) som er typisk innlagringsområde for disse utslippene (kap. 4.1). Det er derfor grunn til å anta at bidraget til totalbelastning er spesielt stort i det intermedieære laget under overflatelaget.

Totalt sett (basert på diskusjon her og i kap. 4.3.2) vil flytting til Veas (røde søyler) kunne være et bidrag til å redusere fosfor belastningen i Drammensfjorden. Basert på sammenligning med målte verdier reduseres bidraget i overflatelaget fra ca. 3.6 % til drøyt 0.2 % (Tabell 1). Når man kun har utslipp fra Veas (røde søyler) ser man at disse har størst relativt bidrag i overflatelaget i Drammensfjorden (Figur 10) siden de hovedsakelig transporteres inn i fjorden i overflatevannet pga. den grunne terskelen ved Svelvik. Derfor vil

overføring av utslipp til Veas gi enda større effekt på reduksjon av konsentrasjoner intermediære dyp i Drammensfjorden (Figur 10).



Figur 10 Midlede fosfor konsentrasjoner i scenarier på 2 m og 30-75 m dyp. Midlene er beregnet for dag 150-365. Utslippene for de to scenariene er diskutert i kap 4.3.1 og vist i Figur 6.

Tabell 1 Anslag for bidraget (rundet av til en desimal) til total fosfor belastning i de modellerte scenariene for år 2030 basert på sammenligningene med observasjoner i Figur 9.

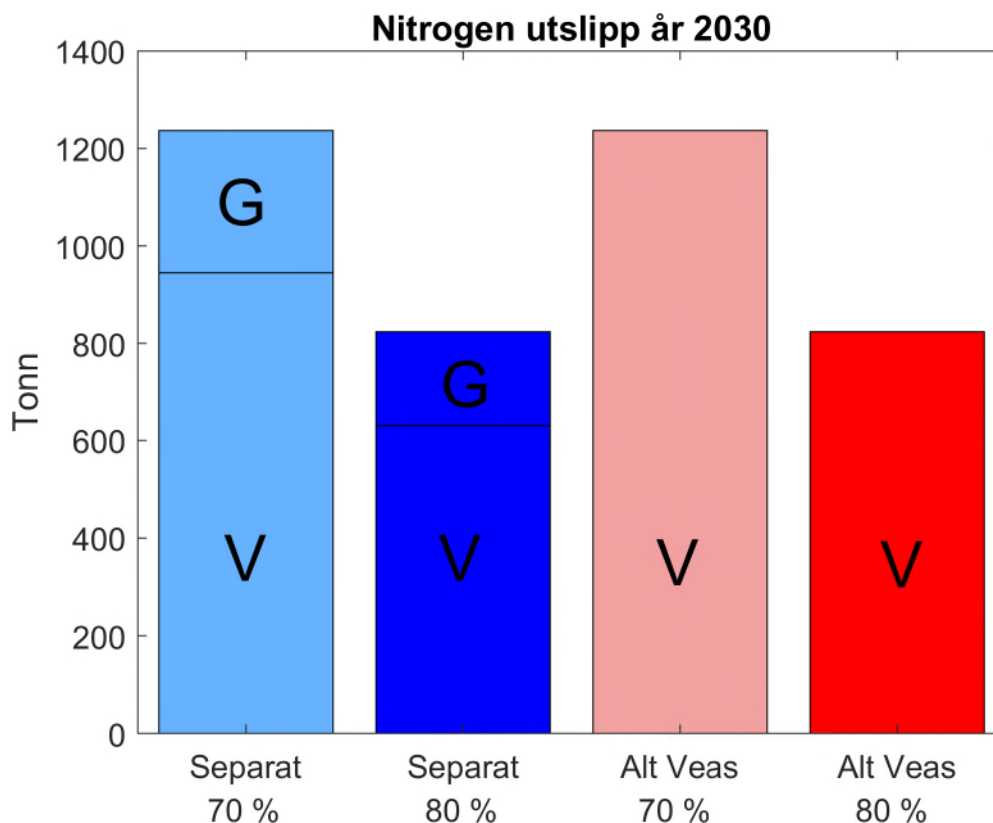
Region	Stasjon	Dybde	Bidrag (%)	
			Separat scenario	Alt Veas scenario
Drammensfjorden	D3 Solumstrand	2m	3.6	0.2
Indre Oslofjord	DK1 Steilene	Hele vannsøylen	1.5	1.9
	EP1 Bunnefjorden	Hele vannsøylen	0.3	0.4
Ytre Oslofjord	IM2 Elle	Hele vannsøylen	0.4	0.6
	VT10 Breiangen	0-30 m	1.3	1.5
	VT2 Bastøy	0-30 m	0.8	0.9

I indre Oslofjord øker anslaget for bidraget til fosforbelastning ved stasjon DK1 Steilene i Vestfjorden nær Veas utslippsområde fra ca. 1.5 % til snaut 1.9 % hvis alt utslipp skjer ved Veas (Tabell 1). Tilsvarende lenger inn i Bunnefjorden er økning fra 0.3 % til 0.4 % bidrag. Dette viser at for Bunnefjorden er bidraget fra Veas lite, noe som trolig kan forklares av dominerende bidrag fra nærliggende renseanlegg og avløp. For Elle utenfor Drøbaksundet er det tilsvarende lite bidrag og endring. Lenger ut i ytre Oslofjord for stasjonene Breiangen og Bastøy økes bidraget ved overflytting til Veas hhv fra 1.3 til 1.5 % og fra 0.8 til 0.9 %. Et tilsynelatende større bidrag her enn lenger inn ved Elle kan virke ulogisk. Årsaken er at de to ytterste stasjonene er vurdert for 0-30 m dyp (dyp med tilgjengelige målinger) mens Elle bidraget er beregnet for hele vannsøylen. En stor andel av utslippene transportert ut av indre fjordområder befinner seg nær overflaten etter passering av grunne terskler i overgangene til ytre Oslofjord. I ytre Oslofjord får man derfor størst påvirkning nær overflaten. Beregningene viser at avløpsutslippene i indre Oslofjord og Drammensfjorden har et bidrag av noe betydning i øvre vannmasser i ytre Oslofjord (ca. 1 % bidrag). Flytting av utslipp fra Drammensfjorden til indre Oslofjord gir en forholdsvis liten økning i dette bidraget (eksempelvis økning fra 1.3 til 1.5 %).

4.4 Nitrogen 2030

4.4.1 Scenarier for utslipp og spredning av nitrogen

Figur 11 viser fire utslippsscenarioer for år 2030. Det er antatt rensegrad på 70 % eller 80 %. I to av scenariene er det separate utslipp fra Gullaug (Drammensfjorden) og Veas (indre Oslofjord) mens det i de to andre er overføring til Veas og utslippene kombineres og slippes ut kun der. I scenariene med separate utslipp er andelen av utslippet til Drammensfjorden (Gullaug) ca. 30 % av utslippet til indre Oslofjord (Veas).

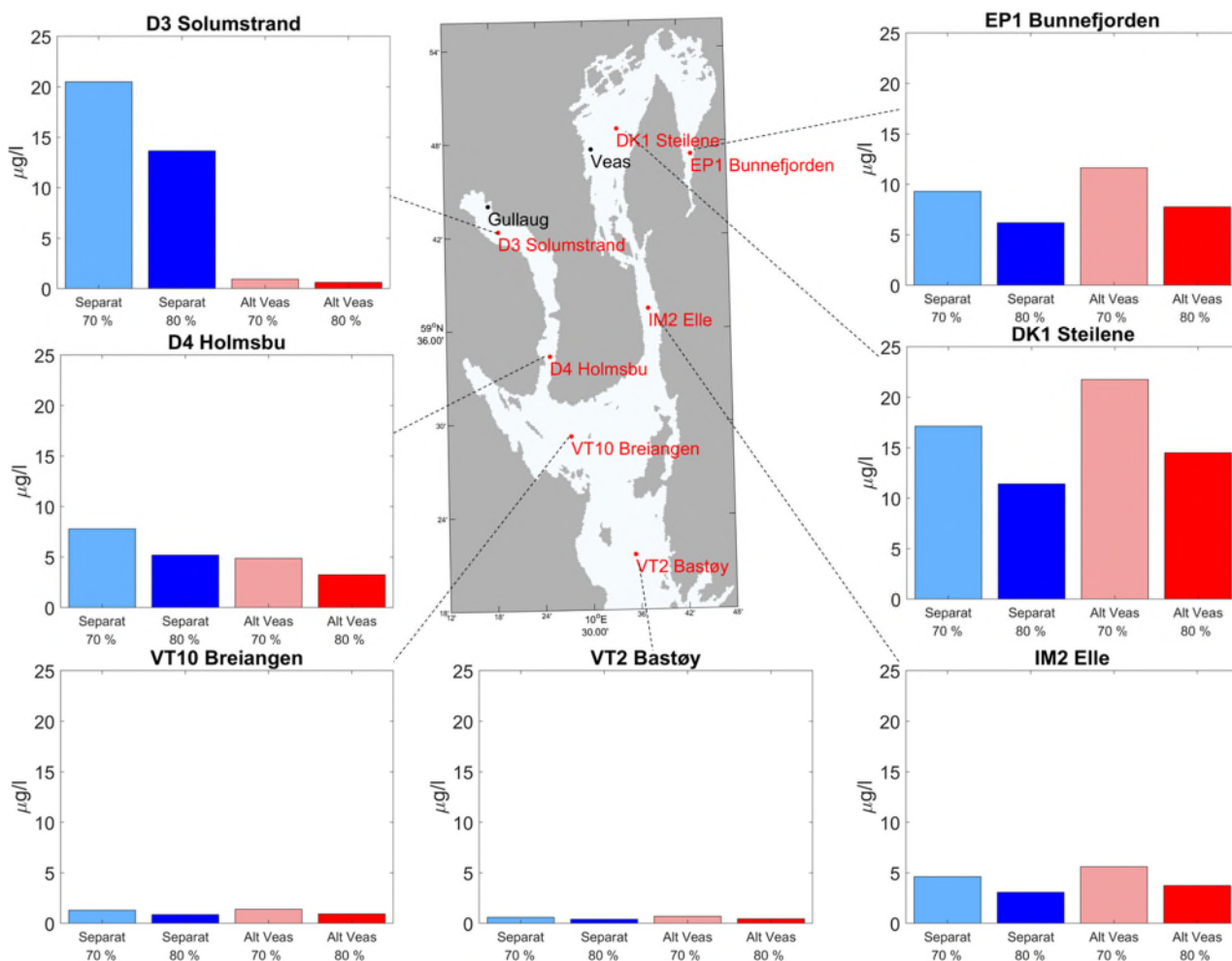


Figur 11 Utslippsscenarioer for år 2030. Separat (blå farge) betyr at det er utslipp både fra Gullaug (G) i Drammensfjorden og Veas (V) i indre Oslofjord. Alt Veas (rød farge): Avløpsvann er overført fra Gullaug (G) til Veas så alt utslipp kun fra Veas (V). Rensegrad er oppgitt i figuren. Scenariene med lavest Veas rensegrad (70 %) har stolper med svak farge, mens de med høyest (80 %) har sterk farge.

4.4.2 Effekt av ulike scenarier

Figur 12 viser modellert nitrogen for utvalgte stasjoner i scenariene beskrevet i kapittel 4.4.1. Middelkonsentrasjonen over vannsøylen fra dag 150 og ut året for modell gridboksene (160 m x 160 m) som omslutter stasjonene vises. Tidsserier med døgnverdier er vist i appendiks (figur A2). Hovedtrekkene i resultatene er de samme som for fosfor (kap. 4.3.2). Overføring fra Gullaug til Veas gir betydelig redusert belastning i Drammensfjorden. En svært liten andel av utslippene fra Veas transporteres til Drammensfjorden (Figur 5) så hvis alt utslipp flyttes til Veas blir reduksjonen i Drammensfjorden stor. Tilsvarende påvirker Gullaug utslippene indre Oslofjord kun i noen grad (Figur 5) så flytting av alt utslipp til Veas (røde søyler) gir noe større nitrogen belastning i indre Oslofjord gitt at man ikke endrer rensegrad.

Flytting til Veas gir også noe større belastning i ytre Oslofjord. Det skyldes at en større andel av Veas utslippene transporteres til ytre Oslofjord (Figur 4). 80 % rensing gir klart lavere belastning på alle stasjoner enn 70 %. Alt Veas 80 % gir mye lavere belastning enn Separat 80 % i Drammensfjorden, men litt høyere belastning i indre og ytre Oslofjord. Det kan isolert sett ut fra dette være gunstig å øke rensesgraden fra nåværende rundt 70 % til 80 % men om det er en effekt av betydning diskuteres i neste kapittel som vurderer relativt bidrag til totalbelastning ved de utvalgte stasjonene.



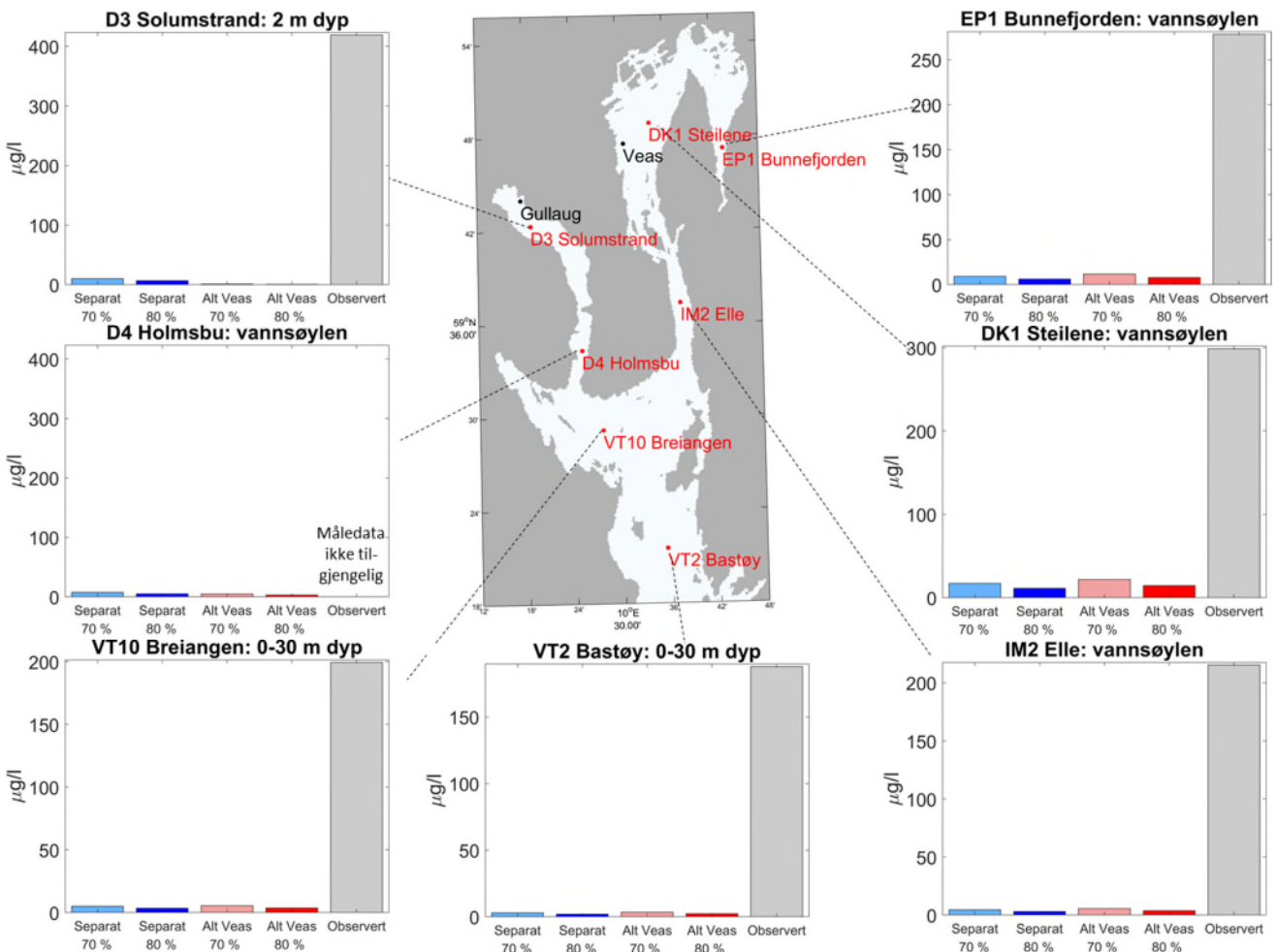
Figur 12 Nitrogen midlet over vannsøylen for dag 150-365 av simuleringen ved utvalgte stasjoner vist i kart. Utslippene for scenariene er diskutert i kap 4.4.1 og vist i Figur 11.

4.4.3 Bidrag til totalbelastningen

For å sette de ulike scenariene i en større sammenheng er det gjort sammenligninger med observerte konsentrasjoner (Figur 13). Man får da et anslag på hvordan utslippene i scenariene bidrar til totalbelastningen fra alle kilder. Måledataene er hentet fra vannmiljø databasen (Vannmiljø 2022). Det er beregnet middelveier over vannsøylen for stasjoner som har målinger i mange dyp. Observasjoner fra tidsperioden 2015-2021 er brukt (midler er beregnet over siste fem år og for noen er siste tilgjengelige år 2019 el. 2020). Målingene fra denne perioden inkluderer daværende bidrag fra Veas og renseanleggene i

Drammensregionen Gullaug anlegget erstatter. Disse vil være litt forskjellige fra 2030 bidraget fra Veas (pga. endrede utslipp fra 2020 til 2030) og mer forskjellige for Drammensregionen (lavere nåværende rensegrad (30 %), ny lokalitet med annen geografisk plassering og utslippsdyp kommer i tillegg til 2020-2030 endring i utslippsmengde). Dersom andre kilder endres lite (elveavrenning, andre avløp, etc.) vil sammenligningene med målinger likevel gi et omtrentlig anslag for scenarienes bidrag til totalbelastning i 2030. Av figur 13 er det tydelig at de målte konsentrasjonene i vannmassene er betydelig høyere enn det modellerte bidraget fra VEAS og Gullaug. Dette skyldes i stor grad at simuleringene viser at en stor del av utslippene transporteres ut av fjorden. Det er sannsynligvis en betydelig transport av næringsalter fra ytre Oslofjord som transporteres inn i indre fjord og bidrar til de totale konsentrasjonene i vannmassene på de ulike stasjonene.

For mer eksakte estimater krever det simulering av alle utslippskilder for nær nåtid og framtid (2030) og evt. også en biokjemisk modell noe det ikke var rom for gitt tidsramme og prosjektovmfang for denne rapporten. Da spredningsmodelleringen ikke inneholder noe biogeokjemisk tap til sedimenter eller atmosfæren vil anslagene for bidrag være øvre estimater med mindre annet er presisert.



Figur 13 Midlede modellerte nitrogen konsentrasjoner i scenarier sammenlignet med middel av siste fem tilgjengelige år med målinger ved utvalgte stasjoner vist i kart. Midlene er beregnet for dag 150-365. Utslippene for scenariene er diskutert i kap. 4.4.1 og vist i Figur 11.

Tabell 2 Anslag for bidrag til total nitrogen belastning (rundet av til en desimal) i de modellerte scenariene for år 2030 basert på sammenligningene med observasjoner i Figur 13.

Region	Stasjon	Dybde	Bidrag (%) Separat 70 %	Bidrag (%) Separat 80 %	Bidrag (%) Alt Veas 70 %	Bidrag (%) Alt Veas 80 %
Drammensfjorden	D3 Solumstrand	2m	2.4	1.6	0.2	0.2
Indre Oslofjord	DK1 Steilene	Hele vannsøylen	5.7	3.8	7.3	4.9
	EP1 Bunnefjorden	Hele vannsøylen	3.3	2.2	4.2	2.8
Ytre Oslofjord	IM2 Elle	Hele vannsøylen	2.1	1.4	2.6	1.7
	VT10 Breiangeren	0-30 m	2.5	1.7	2.7	1.8
	VT2 Bastøy	0-30 m	1.6	1.1	1.8	1.2

Flytting av alt avløp til Veas vil redusere anslått bidrag til nitrogen konsentrasjoner i overflatelaget i Drammensfjorden fra drøyt 2 % til noen få tidels prosent (røde stolper og tall, Figur 13 og

Tabell 2). Muligens underestimeres bidraget i 2030 noe i disse tallene da de observerte verdiene fra 2015-2019 inneholder bidrag fra eksisterende renseanlegg med lavere rensegrad (ca. 30 %) enn det som forventes (70 %) for det nye fellesanlegget ved Gullaug. Som vist for (Figur 10) og diskutert (kap. 4.3.3) vil bidraget fra utslippene ved Gullaug også trolig være relativt sett større på intermedieære dyp mens effekten der av utslipp fra Veas er mindre slik at flytting til Veas vil ha enda større effekt under overflatelaget.

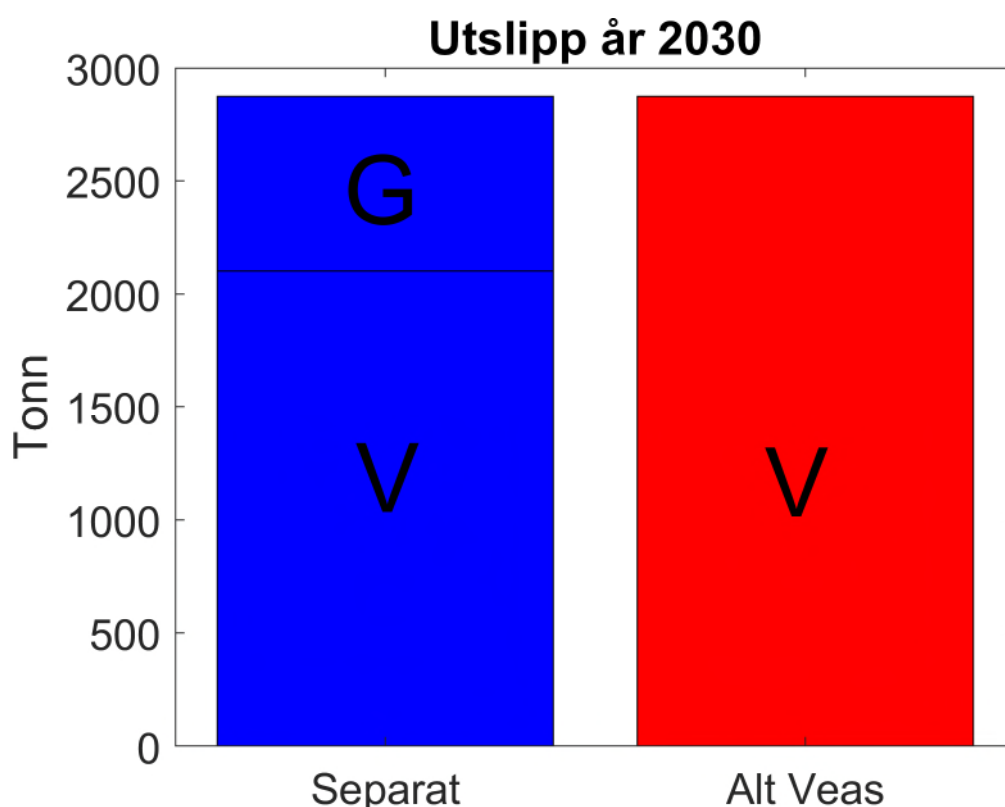
I indre Oslofjord er bidraget til nitrogen konsentrasjoner større enn bidraget til fosfor konsentrasjoner (kap. 4.3.3). Dette skyldes trolig høyere rensegrad for fosfor. Å flytte utslippene til Veas uten endringer i rensegrad gjør at bidraget til totalkonsentrasjoner blir ca. 1.6 % høyere (5.7-7.3 %) for DK1 Steilene nær Veas utslippsområde og 1 % høyere (3.3-4.2 %) for stasjonen EP1 lenger inn i Bunnefjorden. I ytre Oslofjord har alle scenariene et anslått bidrag til totalbelastningen for nitrogen i området 1-3 % noe som må sies å være av en viss betydning. Her vil flytting til Veas med samme rensegrad gi en liten økning (0.1-0.5 %) i bidrag til totalbelastningen.

For stasjonene i indre Oslofjord gir det en betydelig forbedring å gå fra 70 til 80 % rensing (sammenligning hhv. lyseblått mot mørkeblått og lyserødt mot mørkerødt). Bidraget til totalbelastning blir 1-2.5 % lavere. Dette gir også reduksjon av litt betydning (0.5-1 % mindre bidrag) i ytre Oslofjord og Drammensfjorden (dersom det er utslipp i Drammensfjorden, endret rensegrad med alt på Veas har lite å si for Drammensfjorden).

4.5 Organisk materiale

4.5.1 Scenarier for utslipp og spredning av organisk materiale

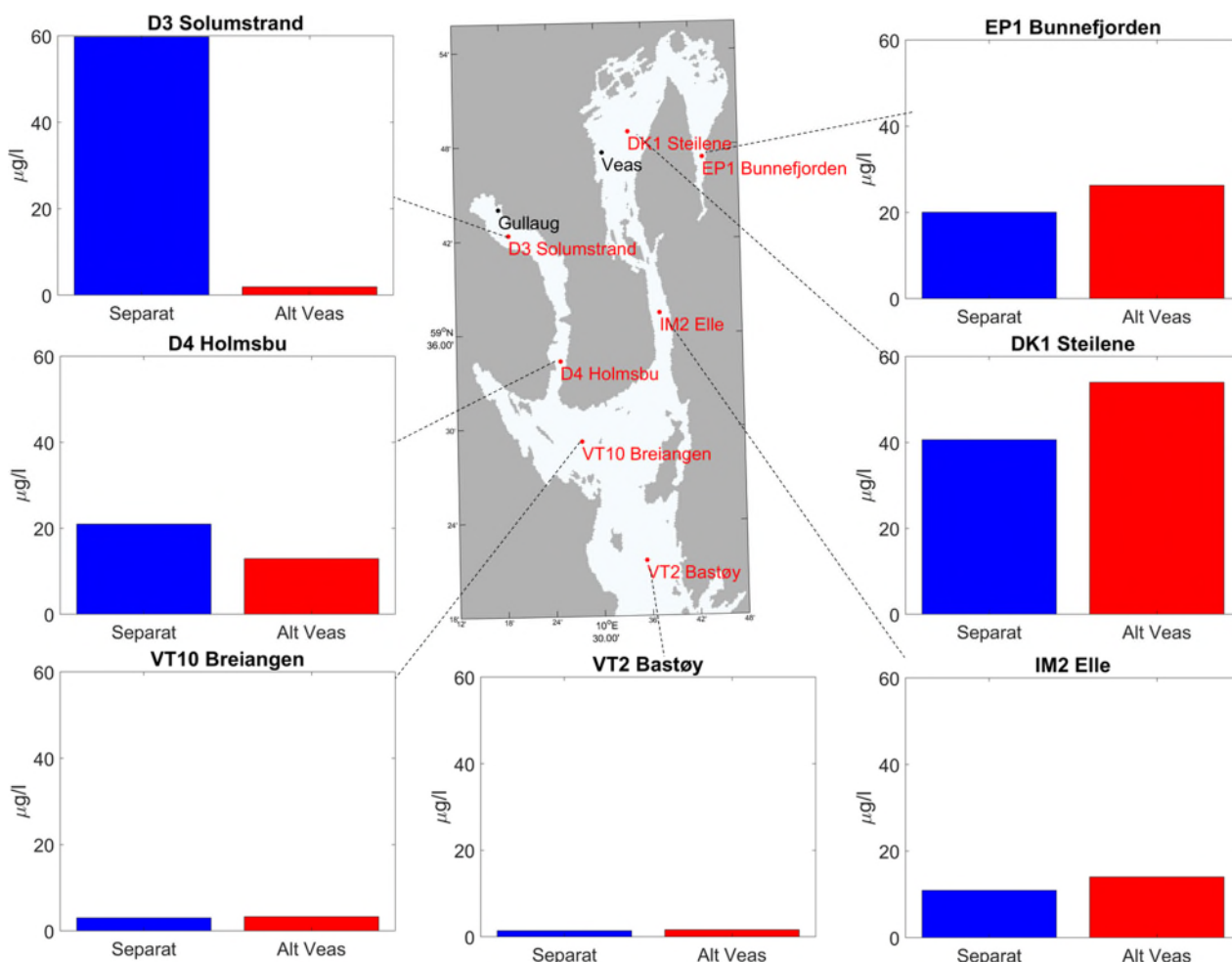
Figur 14 viser utslippsscenarioer for år 2030. Det er antatt 85 % fjerning av organisk materiale både ved Gullaug og Veas. I det ene scenarioet er det utslipp både fra Gullaug (Drammensfjorden) og Veas (indre Oslofjord) mens det i det andre er overføring til Veas og utslipp kun der. I scenariet med utslipp begge steder er utslippet til Drammensfjorden (Gullaug) drøyt 1/3 av utslippet til indre Oslofjord (Veas).



Figur 14 Utslippsscenarioer for år 2030. Separat (blå farge) betyr at det er utslipp både fra Gullaug (G) i Drammensfjorden og Veas (V) i indre Oslofjord. Alt Veas (rød farge): Avløpsvann er overført fra Gullaug (G) til Veas så alt utslipp kun fra Veas (V).

4.5.2 Effekt av ulike scenarier

Figur 15 viser organisk materiale for utvalgte stasjoner i de to scenariene beskrevet i kapittel 4.5.1. I figuren er middelkonsentrasjonen over vannsøylen fra dag 150 og ut året for modell gridboksene (160 m x 160 m) som omslutter stasjonene vist. Overføring fra Gullaug til Veas gir betydelig redusert belastning i Drammensfjorden. En svært liten andel av Veas utslippene transporteres til Drammensfjorden (Figur 5) så hvis alt utslipp flyttes til Veas blir reduksjonen i Drammensfjorden stor. Tilsvarende påvirker Gullaug utslippene indre Oslofjord i liten grad (Figur 5) så flytting av alt utslipp til Veas (røde søyler) gir noe større belastning i indre Oslofjord. Flytting til Veas gir også noe større belastning i ytre Oslofjord. Det skyldes at en større andel av Veas utslippene transporteres til ytre Oslofjord (Figur 4). I modell kjøringene er det ikke inkludert eventuell sedimentering av organiske partikler. Organisk materiale studiet er forenklet (også i vurderingene gjort for utslippsscenarioene) da hovedfokus har vært på næringsalter. Tallene og spredningen presentert her er således øvre estimater.



Figur 15 Midlede modellerte konsentrasjoner av organisk materiale over vannsøylen for dag 150-365 av simuleringen ved utvalgte stasjoner vist i kart. Utslippene for de to scenariene er diskutert i kap. 4.5.1 og vist i Figur 14.

4.6 Økologiske konsekvenser

Hele Oslofjorden, inkludert indre Oslofjord, Drammensfjorden og andre sidefjorder er et sårbart økosystem som har vært utsatt for store antropogene belastninger over lang tid. Tilførsler av næringsalter er en av de største truslene og det er behov for betydelige tiltak for å bedre situasjonen. Hensikten med økning av kapasitet og rensegrad ved Veas er å være en del av løsningen for å oppnå dette.

I denne rapporten har vi simulert ulike scenarier for utslipp og rensing av fosfor, nitrogen og organisk materiale som trenger oksygen for nedbrytning. Vi har vurdert disse sammen med måledata fra stasjoner i tre ulike områder i Oslofjorden, indre Oslofjord, Drammensfjorden og ytre Oslofjord, for å se hvilken påvirkning de ulike scenariene kan få i disse områdene.

Et høyt eller sterkt økt bidrag på en stasjon vil ikke nødvendigvis implisere negative konsekvenser da dette vil avhenge av den eksisterende økologiske tilstanden på stedet. Likeledes kan en liten endring i bidrag være av betydning i områder med dårlig tilstand.

Drammensfjorden er det minste fjordområdet av de tre. Her er det spesielt utfordringer knyttet til nitrogen i overflaten og til anoksiske forhold i bunnvannet. For Drammensfjorden er det helt tydelig en stor fordel om alt avløp blir overført til Veas. Det vil føre til en betydelig reduksjon i både fosfor, nitrogen og organisk belastning. Med utgangspunkt i at det ikke ennå er innført avansert nitrogenrensing her så vil uansett en innføring av nytt anlegg og teknologi med høyere rensegrad bidra positivt til reduksjon av de høye konsentrasjonene av nitrogen i overflatevannet både sommer og vinter.

Drammensfjorden og områdene utenfor, i Breiangen, har også utfordringer med dårlige oksygenforhold i bunnvannet. Overføring av utslipp til Veas vil bidra til reduserte tilførsler av organisk materiale i Drammensfjorden, spesielt i indre deler av fjorden, mens i Breiangen vil det bli små endringer.

Indre Oslofjord har hatt en stor forbedring i miljøtilstanden i de øvre vannmassene de siste femti årene, takket være innføring av ny renseteknologi. Det er fortsatt forhøyede konsentrasjoner av nitrogen i overflatevannet vinterstid, men reduksjon av nitrogentilførsler de siste tiårene antas å ha en sammenheng med forbedringen i miljøtilstand og mengde og sammensetning av planteplankton. En økning i næringssalter og/eller organisk belastning kan derfor motvirke den positive utviklingen. Det er økning i rensegrad for nitrogen (fra 70 til 80%) som vil bidra mest positivt i indre Oslofjord (tabell under). Både separate anlegg med 80 % rensing og overføring av alt til Veas med rensegrad 80% vil være klart bedre enn de andre alternativene. Separate anlegg er best, men forskjellene i forhold til «alt Veas» scenariet er moderat.

I ytre Oslofjord er de totale tilførslene mye større enn i indre Oslofjord og Drammensfjorden. Det er også andre store kilder som f.eks. Glomma. Andelen tilført fra avløpsanleggene ved Veas og Drammensområdet er derfor relativt lavere. Det er estimert at det er behov for omtrent 10 % reduksjon i nitrogentilførselene til ytre Oslofjord for å opprettholde «god» økologiske tilstand (Staalstrøm et al., 2021b). Det er også stort fokus på å redusere den organiske belastningen og mengde av partikulært organisk materiale i ytre Oslofjord da det er tegn til reduksjon i lystilgjengelighet nedover i vannmassene. Resultatene fra simuleringene viser at scenariene der det er innført 80% nitrogen rensing er de gunstigste. Man får enda litt mindre nitrogenbelastning dersom man fortsetter med to anlegg, men ekstra-reduksjonen det gir er liten. Det er tilsvarende litt mindre fosfor og organisk belastning som vil tilføres ytre Oslofjord ved to anlegg, men forskjellen er minimal.

Område	Beste scenario	Nest beste	Kommentar
Drammensfjorden	Alt Veas 80 %	Alt Veas 70 %	Mye bedre enn alternativer
Indre Oslofjord +Breiangen	Separat 80 %	Alt Veas 80 %	Bedre enn alternativer
Ytre Oslofjord	Separat 80 %	Alt Veas 80 %	Liten forskjell

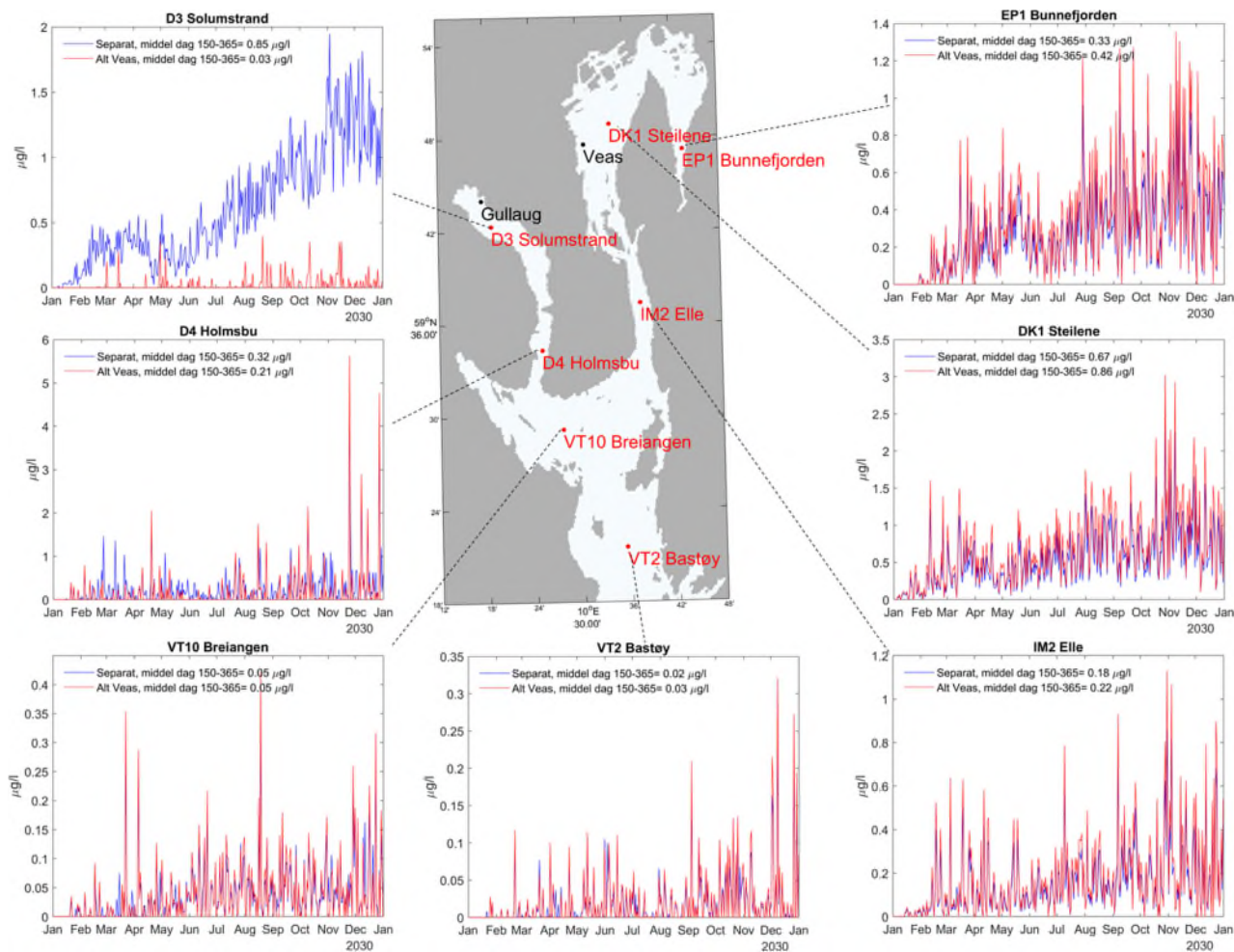
5 Referanser

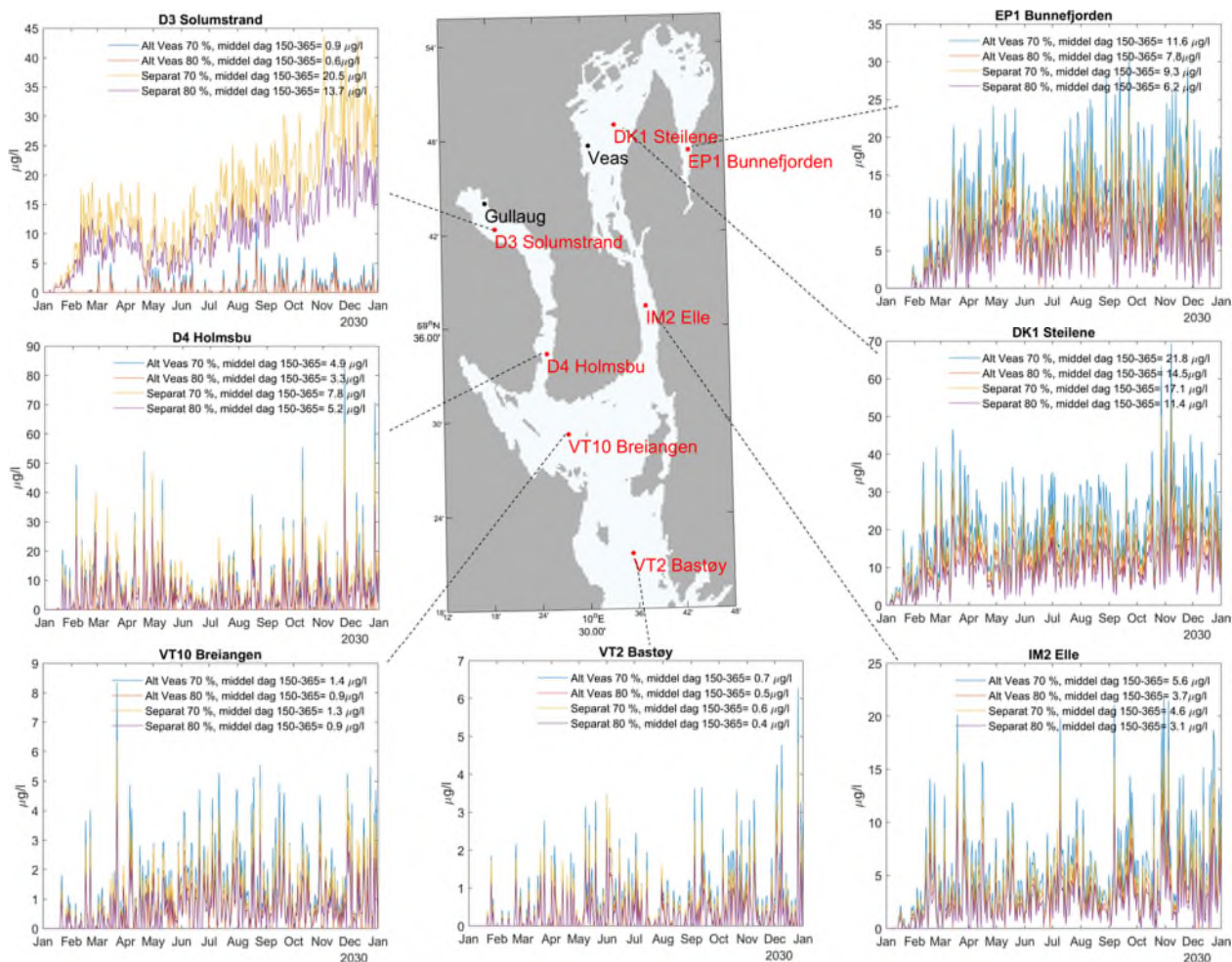
- Asplin, L., Albretsen, J., Johnsen, I.A., Sandvik, A.D., 2020. The hydrodynamic foundation for salmon lice dispersion modeling along the Norwegian coast. *Ocean Dynamics*. 10.1007/s10236-020-01378-0.
- Bjerkeng, B., Magnusson, J. 2013. Vurdering av tiltak for reduserte overløp til Lysakerfjorden ved utvidelse av VEAS. Beregning av tilførsler og dimensjonering av diffusor utført i 2005 som grunnlag for gjennomføring av planlagte tiltak. NIVA. RAPPORT L.NR. 6490-2013.
- Carvajalino-Fernandez, M. A., Sævik, P. N., Johnsen, I. A., Albretsen, J., Keeley, N. B., Simulating particle organic matter dispersal beneath Atlantic salmon fish farms using different resuspension approaches. *Marine Pollution Bulletin* 161 p. 1-14, 2020
- Dalsøren, S.B., Albretsen, J., Asplin, L., 2020. New validation method for hydrodynamic fjord models applied in the Hardangerfjord, Norway. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 246, 107028. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.107028>
- Engesmo, A., Staalstrøm, A., Norli, M., Selvik, J.R., Gitmark, J.K., 2020. Overvåking av Ytre Oslofjord 2019-2023 - Årsrapport 2019.
- Fagerli, C.W., Trannum, H.C., Staalstrøm, A., Eikrem, W., Deininger, A., Sørensen, K., Marty, S., 2021. Økokyst - delprogram Skagerrak, årsrapport 2020.
- Falkowski, P.G., 1997. Evolution of the nitrogen cycle and its influence on the biological sequestration of CO₂ in the ocean. *Nature* 387, 272–275. <https://doi.org/10.1038/387272a0>
- Guerrero, J.-L., Sample, J.E., 2021. Kildefordelte tilførsler av nitrogen og fosfor til norske kystområder i 2019 - tabeller, figurer og kart.
- Haidvogel et al., 2008. D.B. Haidvogel, H. Arango, W.P. Budgell, B.D. Cornuelle, E. Curchitser, E. Di Lorenzo, K. Fennel, W.R. Geyer, A.J. Hermann, L. Lanerolle, J. Levin, J.C. McWilliams, A.J. Miller, A.M. Moore, T.M. Powell, A.F. Shchepetkin, C.R. Sherwood, R.P. Signell, J.C. Warner, J. Wilkin. Ocean forecasting in terrain-following coordinates: formulation and skill assessment of the Regional Ocean modeling system. *J. Comput. Phys.*, 227 (2008), pp. 3595-3624, 10.1016/j.jcp.2007.06.016
- HI, Set trafikklys-fargar på fjordmodell | Havforskningsinstituttet (hi.no). 2021.
- Howarth, R.W., Marino, R., 2010. Nitrogen as the limiting nutrient for eutrophication in coastal marine ecosystems: Evolving views over three decades. *Limnol. Oceanogr.* 51, 364–376. https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0364
- Huserbråten, M.B.O., Eriksen, E., Gjøsæter, H. et al. Polar cod in jeopardy under the retreating Arctic sea ice. *Commun Biol* 2, 407 (2019). <https://doi.org/10.1038/s42003-019-0649-2>
- Huserbråten, M.B.O., Hattermann, T., Broms, C. et al. Trans-polar drift-pathways of riverine European microplastic. *Sci Rep* 12, 3016 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07080-z>
- Lundsør, E., L. C. Stige, K. Sørensen, and B. Edvardsen. 2020. Long-term coastal monitoring data show nutrient-driven reduction in chlorophyll. *J. Sea Res.* 164: 101925. doi:10.1016/j.seares.2020.101925
- Norconsult 2020. Felles avløpsløsning for Drammensregionen, Teknisk underlag for konseptvalganalyse, 2020-03-26. Utarbeidet av Norconsult for Godt Vann Drammensregionen.
- Norconsult 2021. KVV avløpsløsninger for Drammensregionen, Sluttrapport.

- Rambøll 2021. Nytt hovedrenseanlegg, Lier kommune. Fagrapport no 5.
- Reynolds, C., 2006. The ecology of phytoplankton (Ecology, biodiversity and conservation). Cambridge University Press, Cambridge.
- Ryther, J.H., Dunstan, W.M., 1971. Nitrogen , Phosphorus , and Eutrophication in the Coastal Marine Environment. *Science* (80-). 171, 1008–1013.
- Sandvik, A. D., Bui, S., Huserbråten, M. B. O., Karlsen, Ø., Myksvoll, M. S., Ådlandsvik, B., Johnsen, I. A., The development of a sustainability assessment indicator and its response to management changes as derived from salmon lice dispersal modelling *ICES Journal of Marine Science*, 2021.
- Shchepetkin, A. F. and McWilliams, J. C., 2005. The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean Model.*, 9 (2005), pp. 347-404, 10.1016/j.ocemod.2004.08.002
- Smittenberg, R.H., Baas, M., Green, M.J., Hopmans, E.C., Schouten, S., & Damsté, J.S., 2005. Pre- and post-industrial environmental changes as revealed by the biogeochemical sedimentary record of Drammensfjord, Norway. *Marine Geology*, 214, 177-200.
- Staalstrøm, A., Engesmo, A., Andersen, G.S., Hjermann, D.Ø., 2020. Undersøkelse av hydrografiske og biologiske forhold i Indre Oslofjord.
- Staalstrøm, A., Engesmo, A., Sogn Andersen, G., Gran, S., Borgersen, G., Moy, S., Valestrand, L., Brooks, S., Hylland, K., Fredrik Holth, T., 2021a. Undersøkesle av hydrografiske og biologiske forhold i Indre Oslofjord. Årsrapport 2020.
- Staalstrøm, A., Walday, M., Vogelsang, C., Frigstad, H., Borgersen, G., Albretsen, J., Naustvoll, L., 2021b. Utredning av behovet for å redusere tilførslene av nitrogen til Ytre Oslofjord.
- Tyrrell, T., 1999. The relative influences of nitrogen and phosphorus on oceanic primary production. *Nature* 400, 525–531
- Vannmiljø 2022 <https://vannmiljo.miljodirektoratet.no/>.
- Ådlandsvik, B. 2019. LADiM documentation. <https://ladim.readthedocs.io>.

Appendiks

Figur A1: Total masse av fosfor summert over vannsøylen ved utvalgte stasjoner vist i kart. Tidsseriene har døgnvariasjon da modelldata fra kl 12 hver dag er vist. Utslippene for de to scenariene er diskutert i kap 4.3.1.





Figur A2: Total masse av nitrogen summert over vannsøylen ved utvalgte stasjoner vist i kart. Tidsseriene har døgnvariasjon da modelldata fra kl 12 hver dag er vist. Utslippene for scenariene er diskutert i kap 4.4.1.