

SEPTEMBER 2025
SUND OG BÆLT

ADRESSE COWI A/S
Parallelvej 2
2800 Kongens Lyngby

STRØMNINGSANALYSER, MV. AF FREMSKUDT FÆRGEHAVN VED TÅRS

TLF +45 56 40 00 00
FAX +45 56 40 99 99
WWW cowi.dk

EKSPERT REVIEW

INDHOLD

1	Baggrund	2
2	Indledning	2
3	Ekspert review	4
3.1	Beskrivelse af aktiviteter for eksperterne	4
3.2	Ekspertes	5
3.3	Hydrografisk modellering	5
3.4	Økologisk modellering	5

BILAG

Bilag A	Hydrografisk modellering, Afgrænsningsnotat
Bilag B	Hydrografisk modellering, Resultater/Vurderinger
Bilag C	Økologisk modellering, Afgrænsningsnotat
Bilag D	Økologisk modellering, Resultater/Vurderinger

PROJEKTNR. DOKUMENTNR.
A258774 A258774-HYD-TEK-04

VERSION	UDGIVELSES DATO	BESKRIVELSE	UDARBEJDET	KONTROLLERET	GODKENDT
1.0	9 september 2025	Ekspert review	JJU	FLJNX/MSBDX	JJU

1 Baggrund

I 2018 blev der gennemført en bredere første undersøgelse af en mulig fremskudt færgehavn ved Tårs (Sund og Bælt, 2018).

Aftalen om Infrastrukturplan 2035 (IP 35) d. 28. juni 2021 indeholder nye/supplerende undersøgelser af en mulig fremskudt færgehavn ved Tårs: "Analyse af strømforholdene ved fremskudt færgehavn ved Tårs". Forligspartierne bag vejaf-talen under IP 35 godkendte i december 2021 kommissoriet for en supplerende "Analyse af vandgennemstrømningen i Storebælt og strømforhold ved indsejlingen til en fremskudt færgehavn ved Tårs".

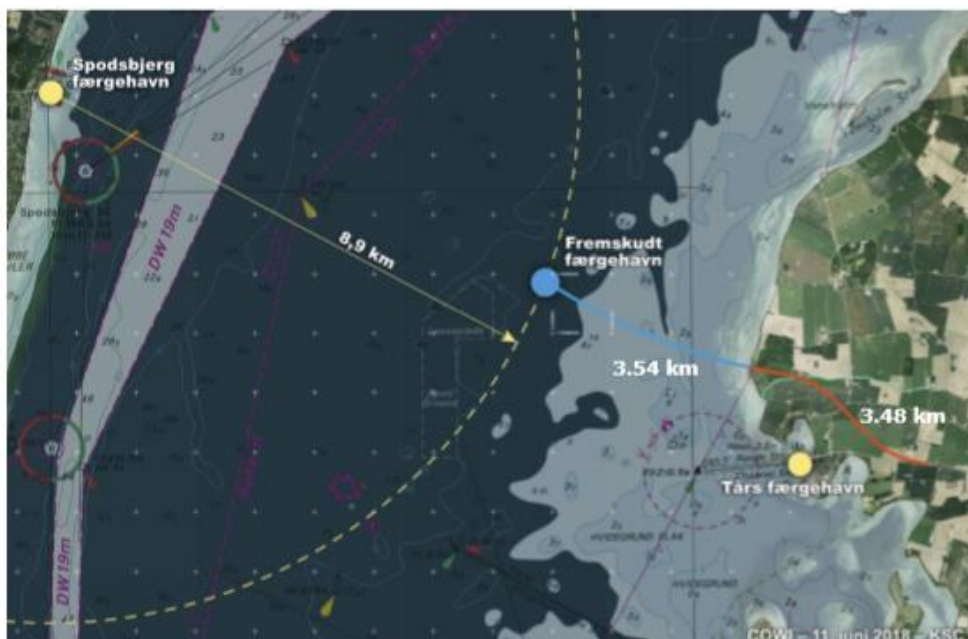
Inden igangsættelsen af nævnte supplerende analyser tiltrådte forligskredsen i et præciseret kommissorium (oktober 2023), at analysearbejdet også skulle omfatte kumulative virkninger med øvrige infrastrukturprojekter i overgangsområdet mellem Kattegat og Østersøen samt muligheden for på sigt at etablere vindmøller ved eller på selve færgehavnen.

Det præciserede kommissorium ligger til grund for udbudt "Rammeaftale om analyser af strømforhold, besejlingsforhold og udvalgte miljøforhold ved en fremskudt færgehavn ved Tårs" (oktober 2023). I den udbudte rammeaftales ydelsesbeskrivelse er der i tillæg til det opdaterede kommissorium foretaget en præcisering af kravene til analysearbejdet (Bilag 3, Ydelsesbeskrivelse, afsnit 2.1.2). Opgaven omhandler således alene analyser relateret til projektets lokale og regionale hydrografiske aspekter og virkninger, herunder vurdering af påvirkningen af vandmiljøet i Østersøen. Øvrige spørgsmål og miljøaspekter knyttet til projektets gennemførlighed og miljøkonsekvensvurdering, herunder aspekter knyttet til anlægsarbejdet, er ikke omfattet i den indledende konkrete opgave.

Aktiviteterne knyttet til kommissoriet er beskrevet i detaljer i et Afgrænsningsnotat, der danner grundlag for de udførte analyser. En detaljeret beskrivelse af de hydrografiske og økologiske modelleringer er indeholdt i et Forudsætningsnotat.

2 Indledning

Den fremskudte færgehavns formål er at skabe rammerne for at opnå en kortere overfartstid året rundt på overfarten Spodsbjerg-Tårs ved at etablere havnen på en kunstig ø ude i Langelandsbælt. Figur 2-1 viser placeringen af en kunstig ø med en fremskudt havn ca. 3,5 km ude i Langelandsbælt. Havnen forbindes til Lolland med lavbro(er) og/eller dæmning(er). Forundersøgelserne i 2018 indeholdt et koncept og betragtning af miljøaspekter for en ny tilslutningsvej mellem adgangsvejen til den fremskudte havn og den eksisterende rute 9. Den fremskudte havn vil bidrage til en forbedret infrastruktur på tværs af det sydlige Danmark, og vil fortsat være et alternativ til den faste forbindelse over Storebælt.



Figur 2-1 Placering af den fremskudte havn.
 Blå cirkel: Indikativ placering af fremskudt færgehavn.
 Blå linje: Indikativ linjeføring af dæmning/bro.
 Rød linje: Indikativ linjeføring af tilslutningsvej.

En fremskudt havn ude i Langelandsbælt er væsentligt mere udsat for vind-, strøm- og bølgeforhold end de eksisterende færgehavne i Spodsbjerg og Tårs. De forhold har stor betydning for den mest fordelagtige placering, orientering og udformning af den fremskudte havn, der er vurderet gennem en iterativ proces involverende besjlingsforhold, bølgeuro, servicetid for færger, nedetid, påvirkning af vandgennemstrømning, lokal påvirkning af miljøforhold og anlægsbudgettet.

Analyser er også foretaget af mulighederne for at introducere elfærger på færgeoverfarten samt for at undersøge om vindmøller kan placeres på eller ved den fremskudte havn.

For at bringe planerne om en fremskudt havn ved Tårs videre kræves det, at de hydrografiske og vandmiljømæssige påvirkninger af den fremskudte færgehavn dokumenteres. De foretagne analyser omhandler potentielle hydrografiske påvirkninger, såvel lokalt som regionalt ved etablering af en fremskudt færgehavn ved Tårs. Fokus er på de permanente hydrografiske ændringer og udvalgte påvirkninger af vandmiljøet.

Påvirkningerne af den Centrale Østersø er et væsentligt fokuspunkt i analyserne. Dette inkluderer dokumentation af effekten af klimaændringer (herunder havspejlsstigninger) på transporten af vand, salt og ilt m.m. og af de kumulative effekter på den Centrale Østersø af større infrastrukturprojekter, der er blevet eller aktuelt bliver undersøgt, men for hvilke der ikke er truffet beslutning om gennemførelse. De større infrastrukturprojekter, der betragtes, er den fremskudte færgehavn ved Tårs, Østlig Ringvej, Kattegatforbindelsen og en fast forbindelse mellem Als og Fyn samt fra en stormflodssikring af hovedstaden.

En sammenfattende rapport er offentligt tilgængelig sammen med alle baggrundsdokumenter og kan downloades fra www.sundogbaelt.dk/forbindelser/faergehavn-ved-tars.

3 Ekspert review

I forbindelse med projektet er der gennemført et ekspert review af Forudsætningsnotatet og af Resultater/Vurderinger af de numeriske modelleringer af hydrografi og vandmiljø.

3.1 Beskrivelse af aktiviteter for eksperterne

Beskrivelsen af aktiviteten er opdelt i to dele, den første del vedr. Forudsætningsnotatet og den anden del vedr. Resultater og vurderinger.

Forudsætningsnotat

Denne aktivitet består af et fagligt review af de væsentligste forudsætninger og metoder, der er udarbejdet af rådgiveren og indeholdt i Forudsætningsnotatet for projektets numeriske modelleringer og beregninger af hydrografi/vandmiljø.

Indledningsvis gennemgik eksperterne nedenstående dokumenter for at sætte sig ind i projektets formål og aktiviteter:

1. Kommissorium for Analyse af vandgennemstrømningen i Storebælt og strømforhold ved indsejlingen til en fremskudt færgehavn ved Tårs
2. Afgrænsningsnotat, Undersøgelse af Fremskudt færgehavn ved Tårs. A258774-GEN-TEK-01 Tårs-Afgrænsningsnotat Ver2.0
3. Ekspertnotat, Påvirkning af Østersøen fra marine anlægsprojekter i Bælt-havet og Øresund. A258774-HYD-TEK-01 Ekspertnotat Ver1.0

Hver ekspert udarbejdede et fagligt notat med kommentarer og eventuelle forslag til de beskrevne forudsætninger og metoder for modelleringer og beregninger som beskrevet i Forudsætningsnotatet. Eksperterne deltog i møde med Sund og Bælt for at præsentere deres kommentarer og forslag.

Resultater/Vurderinger

Efter gennemførelsen af de i Forudsætningsnotatet beskrevne modelleringer udførte eksperterne et fagligt review af Resultater og vurderinger foretaget på baggrund af de foretagne modelleringer af hydrografi/vandmiljø.

Følgende rapporter indgik i eksperternes review:

1. Analyser af fremskudt færgehavn ved Tårs. A258774-HYD-RAP-01 Hydrografisk modellering.
2. Analyser af fremskudt færgehavn ved Tårs. A258774-HYD-RAP-03 Økologisk modellering.

3. Analyser af fremskudt færgehavn ved Tårs. A258774-HYD-TEK-03 Konceptuel model for cirkulation i Østersøen.
4. Analyser af fremskudt færgehavn ved Tårs. A258774-HYD-RAP-02 Modellering af cirkulation i Østersøen med konceptuel model.

Hver ekspert udarbejdede kommentarer til resultater og vurderinger foretaget i modelleringsrapporterne i enten et fagligt notat eller direkte i rapporten. Ekspertene deltog i møde med Sund og Bælt for at præsentere deres kommentarer og forslag.

3.2 Ekspert

Ekspert reviewet er udført af to anerkendte eksperter:

- › **Hydrografisk modellering: Jacob Steen Møller**, Konsulent med kompetence indenfor hydrografisk modellering, f.eks. fra Storebæltsforbindelsen og Øresundsforbindelsen.
- › **Økologisk modellering: Karen Timmermann**, Professor, National Institute of Aquatic Resources, Section for Coastal Ecology.

3.3 Hydrografisk modellering

Det faglige notat med kommentarer og forslag til de beskrevne forudsætninger og metoder for modelleringer og beregninger som beskrevet i Forudsætningsnotatet mv. er inkluderet i Bilag A (24. januar 2025). Rådgiver har svaret på og inddraget de fremkomne kommentarer og forslag, se rådgivers svar inkluderet i Bilag A.

Det faglige notat med kommentarer til resultater og vurderinger foretaget i modelleringsrapporterne er inkluderet i Bilag B (5. maj 2025), der også indeholder rådgivers svar på og inddragelse af de fremkomne kommentarer og forslag (dels vedr. MIKE 3 modelleringer og dels vedr. modelleringer med den konceptuelle model).

3.4 Økologisk modellering

Det faglige notat med kommentarer og forslag til de beskrevne forudsætninger og metoder for modelleringer og beregninger som beskrevet i Forudsætningsnotatet er inkluderet i Bilag C (25. februar 2025). Rådgiver har svaret på og inddraget de fremkomne kommentarer og forslag, der også er inkluderet i Bilag C.

Det faglige review med kommentarer til resultater og vurderinger foretaget i modelleringsrapporten er inkluderet som kommentarer i rapporten (24. april 2025) og inkluderet i Bilag D. Rådgiver har svaret på og inddraget de fremkomne kommentarer og forslag, der også er inkluderet i Bilag D.

Bilag A Hydrografisk modellering, Afgrænsningsnotat

- › Fagligt notat (24. januar 2025)
- › Rådgivers svar

Dato: 2025.01.24

Undersøgelse af fremskudt færgehavn ved Tårs

Hydrografisk modellering, forudsætninger og metoder

Baggrund

Sund & Bælt udfører forundersøgelser for en fremskudt færgehavn ved Tårs for Transportministeriet. Formålet med den fremskudte færgehavn er at kunne etablere halvtimes færgedrift på strækningen Spodsbjerg-Tårs. Rådgiver for Sund & Bælt er COWI, DHI og FORCE, i det følgende benævnt 'Rådgiver'.

Sund & Bælt ønsker et tekniske review af Rådgivers hydrografiske og miljømæssige modellering gennemført af en ekspert inden for hydrografisk modellering og en ekspert inden for miljømodellering.

Opgavebeskrivelse for det hydrografiske review er givet i Ref.6. Indledningsvis skal eksperten sætte sig ind i projektets formål og aktiviteter ved at gennemgå nedenstående baggrundsdokumenter (Ref. 1, 2 og 3), eksperten skal ikke kommentere på dette materiale. Derefter skal eksperten gennemføre et review af Rådgivers faglige rapporter (Ref. 4 og 5) og Rådgivers efterfølgende evalueringsrapporter.

Review vedrørende hydrografisk modellering udføres af selvstændig konsulent Jacob Steen Møller. Review vedrørende miljømodellering udføres af professor Karen Timmermann. Rådgivers nøglepersoner er Flemming Jakobsen, Mads Joakim Birkeland og Carsten Jürgensen, der deltager i møder med eksperterne.

Indhold

Nærværende notat indeholder et kort resume af undersøgelseernes grundlag (Ref.: 1, 2 og 3) samt den hydrografiske eksperts review af notaterne om forudsætninger og metoder (Ref. 4) og konceptuel modellering (Ref. 5). Notatet vil blive efterfulgt af et notat omfattende review af Rådgivers afrapportering af resultater og vurderinger

Resume af grundlag

I dette afsnit gives et resume men ingen kommentering af projektets formål og aktiviteter, som er beskrevet i følgende rådgivernotater (Ref.: 1, 2, og 3).

Kommissorium

Ref. 1: Sund & Bælt: **Kommissorium**. Analyse af vandgennemstrømningen i Storebælt og strømforhold ved indsejlingen til en fremskudt færgehavn ved Tårs. 3. oktober 2023.

Resume

Det fremgår af Ref. 1, at:

Undersøgelsen skal omfatte følgende emner:

- Revurdering af fremskudt færgehavns strømningsblokering
- Verificerende simuleringer af klimaeffekter (øget vandstand)
- Verificerende simuleringer af Østersøen (salt, lagdeling mv.), herunder kumulative virkninger med øvrige infrastrukturprojekter i overgangsområdet mellem Kattegat og Østersøen.
- Nærmere afklaring af forudsætninger for blokeringsstal, herunder verificering af acceptable blokeringsstal
- Vurdering af besejlingsmuligheder omkring den fremskudte færgehavn samt evt. tilpasning af havnelayoutet
- Simulering af bølgeforhold inde i færgehavnen, samt evt. tilpasning af havnelayoutet
- Undersøgelse af risiko for oversvømmelse af lavtliggende områder ved kysten som følge af opstuvende af havvand
- Vurdering af sedimentering og erosion omkring de nye anlæg, samt vurdering af eventuel effekt af Natura 2000 område.
- Overordnet vurdering af vindmøller ved eller på selve færgehavnen, herunder betydningen for udformningen af selve færgehavnen og påvirkningen af vandgennemstrømningen

Afgrænsningsnotat

Ref. 2: Cowi: **Afgrænsningsnotat**. Undersøgelse af fremskudt færgehavn ved Tårs. 27. maj 2024.

Resume

Det fremgår af Ref. 2, som udgør Rådgivers præcisering af sin opgave baseret på Sund & Bælts udbud og ydelsesbeskrivelse, at:

For tidligere store infrastrukturprojekter, så som Storebælt og Øresund, var kravet (miljøkriteriet), at "forbindelserne ikke måtte give anledning til en ændring af den lokale vandgennemstrømning for dermed at opfylde et overordnet miljøkrav om ikke at påvirke den Centrale Østersø". Miljøkriteriet kaldes 'nulløsningen'. Nulløsningen blev opnået ved lokale kompenserende afgravninger, der opvejede modstanden fra forbindelsen, så der ikke er nogen ændring af transporten af vand og salt, som følge af anlæggene.

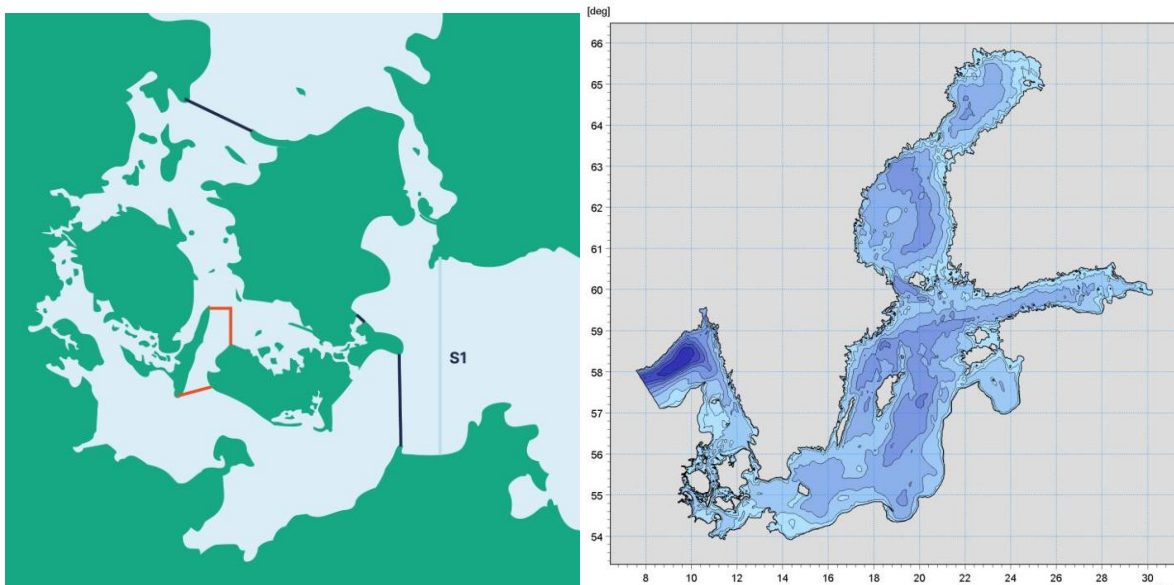
For kommende store infrastrukturprojekter skal de konkrete miljøkonsekvenser vurderes iht. VVM-direktivet (EU baseret). Det nye miljøkrav skal ses i lyset af en bedre forståelse af det naturlige system, bedre analyseværktøjer (numeriske modeller) og klimaforandringerne. Rådgiver angiver, at der til formulering af det nye miljøkrav f.eks. kan tages afsæt i Vandrammedirektivets Indsatsbekendtgørelse, hvorefter et projekt ikke må hindre opfyldelse af fastlagte miljømål. Konkret formuleret det således, "**et infrastrukturprojekt ikke særskilt eller kumulativt påvirker hydrografien og vandudvekslingen på en sådan måde, at det står i vejen for langsigtet at opnå eller opretholde en god miljøtilstand i havområdet**". Valget af de konkrete deskriptorer og presfaktorer, som inddrages i vurderingen, kan støtte sig til HELCOMs Baltic Sea Action Plan2, EU's Vandramme-direktiv, EU's naturbeskyttelsesdirektiver og Danmarks Havstrategi.

Derefter indeholder afgrænsningsnotatet en beskrivelse af en række delopgaver:

- Forudsætninger for undersøgelsen. Rådgivers forståelse af problemstillingen og dens naturgivne forudsætninger.

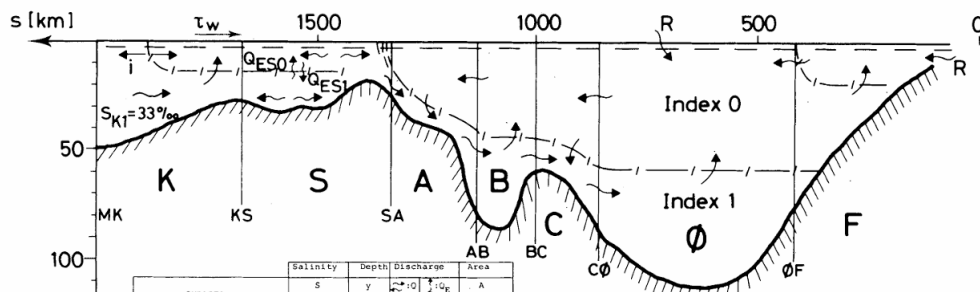
- Modelberegninger af lokalområdet mhp. vurdering af besejlingsforhold, bølgeuro, lokal morfologi, vindmøller. Der benyttes en 'Langelandsmodel'.
- Modelberegninger af nærområdet mhp. vurdering af påvirkningen af strømmingen gennem Storebælt og lokal oversvømmelse. Der benyttes en 'Lokalmodel'.
- Modelberegninger af de akkumulerede hydrografiske og biologiske effekter af flere infrastrukturprojekter og klimaeffekter på hele Østersøen. Der benyttes en 'Regionalmodel' og en 'Konceptuel model'.

Langelandsmodellen, Lokalmodellen og den Regionalmodellen er alle tre aktualiseringer af DHI's generelle numeriske dynamiske hydrodynamiske og biologiske modelsystem MIKE3, se Ref. 7.



Figur 1: Langelandsmodel (fra Langelands nordspids til Langelands Sydspids) og Lokalmodel (fra Sjællands Odde til Stevns) og Regionalmodel (hele Østersøen frem til Hanstholm).

Den konceptuelle model er en analytisk stationær todimensional to-lags boksmodel for hele Østersøen frem til Læsø. Modellen beskriver sammenhængen mellem dybden til den primære lagdeling, blandingen mellem de to lag, vandføringer og saltholdigheder i øvre og nedre lag for en række bokse integreret på tværs af Østersøen i form af sammenhørende lineære ligninger, se Ref. 8.



Figur 2: Den konceptuelle model. Et lodret tværsnit af Østersøen fra Skt. Petersborg til Læsø med angivelse af modellens bokse og variable.

Ekspertnotat

Ref. 3: DHI og Cowi: **Ekspertnotat**. Påvirkning af Østersøen fra marine anlægsprojekter i Bælthavet og Øresund. 26. september 2024.

Resume

Notatet beskriver Østersøens hydrografi med særlig fokus på de mest betydende fysiske processer, der styrer Østersøens vandskifte. Østersøen har i de seneste 2000 år været et brakvandsområde, hvor afstrømning (50 års glidende middel) over de sidste 1000 år har varieret mellem 14.000 og 15.000 m³/s. Strømningsmodstanden i de danske stræder er af særlig interesse for Østersøens hydrografi, idet al vandudskiftning mellem indre Østersø og Nordsøen går gennem dette relativt smalle og lavvandede område.

Modstandsforholdene af eksisterende og påtænkte broer, tunneler og landvindinger belyses på baggrund af eksisterende viden og foreliggende analyser med hensyn til deres effekt på strømningsforhold i overgangsområdet og på de hydrografiske forhold i den indre Østersø. Projekterne med den største strømningsmodstand er Kattegat forbindelsen (er blevet undersøgt) og en fremskudt færgehavn ved Tårs (bliver aktuelt undersøgt).

I en tidligere undersøgelse vurderes det, at effekter på hydrografi og vandkvalitet i den centrale Østersø for en påtænkt (men ikke realiseret) broløsning over Femern Bælt ikke vil være betydende for miljøforholdene i den indre Østersø. Da effekterne på hydrografien og vandkvaliteten fra de øvrige projekter er af samme størrelsesorden som broløsningen, antages det, at effekterne fra disse faste forbindelser ikke vil medføre en væsentlig påvirkning af Østersøens hydrografi og vandmiljø eller være i konflikt ift. implementeringen af vandrammedirektivet og havstrategidirektivet.

Klimaforandringer og deres påvirkning af hydrografien og dermed af miljøforholdene i indre Østersø er medtaget for at perspektivere projekternes effekt. Ændringer forårsaget af projekterne sammenlignes med de ændringer, der forventes at ville ske under alle omstændigheder pga. klimaændringer. Der er især fokus på klimaændringer relateret til vandstandsstigning og ferskvandsafstrømning. Mulige effekter af vind og temperatur er ikke analyseret.

Den mest direkte sammenligning mellem effekterne fra infrastrukturprojekter og klimaændringer er ændringen af strømningsmodstanden i overgangsområdet, fordi ændringerne forgår det samme sted, og fordi de begge påvirker gennemstrømningen. Strømningsreduktionen fra projekterne vil i overgangsområdet være en til to størrelsesordener mindre end den strømningsøgning, som klimaændringernes havspejlstigning vil medføre. Påvirkningen af projekterne på gennemstrømningen vurderes dermed som ubetydelige.

Review af modelanalyser

I dette afsnit gives et review af Rådgivers forudsætninger og metoder, som er beskrevet i følgende rådgivernotater (Ref.: 4 og 5).

Forudsætningsnotat

Ref. 4: DHI og COWI: **Forudsætningsnotat**. Undersøgelse af fremskudt Færgehavn ved Tårs. 14. november 2024.

Resume

Forudsætningsnotatet redegør for baggrunden og de væsentligste forudsætninger for den hydrografiske og økologiske modellering i forbindelse med undersøgelserne for en fremskudt færgehavn ved Tårs. Specifikt redegøres for den mekanistiske model (MIKE3) og en konceptuel model og de fysiske forhold de to modeller skal simulere.

Opsummering af tidligere forbindelsers baggrund og forudsætninger ("Nulløsningen"), samt værdier for påvirkninger på vandgennemstrømningen fra en fremskudt havn ved Tårs og andre kendte projekter med mulig indvirkning på gennemstrømningen.

Valg af egnede klimascenarier med tilhørende nedskalering til Østersøområdet og deres implementering i modellerne med fokus på vandstand, vind, nedbør, afstrømning og havtemperatur alle med dertil hørende sandsynlighedsfordeling.

Et opdateret vurderingsgrundlag for de individuelle og kumulative effekter af projekterne med henblik på at opnå "langsigtet god miljøtilstand i havområdet".

En "transparent og forståelig" metode til vurdering af simuleringresultaterne. Hvordan afvejes forskellige påvirkninger i forhold til hinanden. Hvordan vurderes en given parameterændring ift. det overordnede mål om "god miljøtilstand".

Generelle kommentarer:

Egnethed

Det er reviewers vurdering, at de valgte modeller er velegnede til undersøgelsens formål.

MIKE3 er et anerkendt og særdeles veldokumenteret numerisk simuleringsværktøj, som vurderes som state of the art inden for sit felt. Reviewer vurderer, at der ikke findes mere velegnede modeller til direkte fysisk/kemisk/biologisk modellering af hele Østersøen. MIKE3 indeholder et kemisk/biologisk modul, som muliggør simulering af biologiske processer.

Den Konceptuelle model er konsistent og komplet (baseret på veldokumenterede fysiske processer samt kontinuitetsligninger i integreret form), men pga. de nødvendige forenklinger af de fysiske processer også en mere aggregeret model sammenlignet med MIKE3. Til gengæld er den konsistent med og mere detaljeret end de øvrige analytiske modeller, som findes beskrevet i den videnskabelige litteratur. Den Konceptuelle model kan ikke benyttes til direkte biologisk simulering.

Anvendelse af de to uafhængige modeller og udstrakt sammenligning med den videnskabelige litteratur styrker troværdigheden af de beregnede resultater.

Almen interesse

Reviewer vurderer, at de planlagte beregninger af klimascenarier vil have bredere interesse end den nærværende undersøgelse, og foreslår derfor, at resultaterne publiceres til en bredere kreds.

Reviewer har en række kommentarer til den konkrete opstilling af modellerne, som findes i det følgende.

Specifikke kommentarer:

MIKE 3

MIKE3 er opstillet på tre modelområder: Langelandsmodel, Lokalmodel og Regionalmodel. Hver model anvendes til specifikke formål jf. Afgrænsningsnotat, Ref. 2. Opdelingen i delmodeller vurderes at være velegnet til de stillede spørgsmål.

Randbetingelser

Korrekt valg af randbetingelser er afgørende for simuleringernes kvalitet. Der anvendes randbetingelser fra den løbende hindcast med DHI's DKBS model. Dette vurderes som tilfredsstillende.

Simuleringsperioden skal være repræsentativ for det fænomen, som skal undersøges. Rådgiver har valgt at anvende hindcastdata fra året 2019 som udgangspunkt for at generere simuleringsperioder for alle tre modeller. Rådgiver anfører, at 2019 er et "typisk år (år 2019), som indeholder både storme og saltvandsindbrud til Østersøen". Reviewer anbefaler, at dette udsagn kvalificeres ved at dokumentere den statistiske repræsentativitet for nøgleprocesser af betydning for undersøgelsen (fx styrke og antal af saltvandsindbrud, vandstandsstatistik, vindstatistik).

- Langelandsmodellen benyttes til vurdering af besejlingsforhold, lokal scour og kystpåvirkning. Til vurdering af besejlingsforhold og scour har hyppighed af kraftig strøm ved havnen betydning. Reviewer anbefaler, at det dokumenteres, at simuleringsperioden er repræsentativ for dette.
- Lokalmodellen benyttes til vurdering af strømningsmodstand og vandstandsændringer. Reviewer vurderer, at strømningsmodstanden kan bestemmes med tilstrækkelig sikkerhed med et repræsentativt år som simuleringsperiode. Ændringer af vandstanden har kun interesse i det omfang, der er tale om påvirkningen på ekstreme vandstandshændelser. Reviewer anbefaler, at det godtgøres, at simuleringerne kan anvendes til at vurdere påvirkningen på vandstanden ved ekstreme stormflodshændelser som ikke er indeholdt i simuleringsperioden.
- Regionalmodellen benyttes til vurdering af strømningsmodstand fra kumulerede infrastrukturprojekter, klimaeffekter og miljøforhold i Østersøen. Der simuleres en årrække med årlige (2019 eller 2019 modificeret med klimaforandringer i 2100) cyklisk gentagne randbetingelser indtil modellen viser kvasistationære forhold i Østersøen. Rådgiver angiver ikke hvor mange år en simuleringsperiode forventes at tage, reviewer foreslår, at der redegøres herfor. Til den valgte simuleringsstrategi kan indvendes, at Østersøen i virkeligheden aldrig er i en kvasistationær tilstand fra år til år, da randbetingelserne udviser store variationer mellem årene. Reviewer anbefaler, at Rådgiver diskuterer dette forhold for om muligt at godtgøre sit valg af en kvasistationær simuleringsperiode.

Kalibrering

Reviewer vurderer, at den beskrevne kalibrering af MIKE3 modellerne er tilfredsstillende til formålet.

Konceptuel model

Den konceptuelle model er baseret på en model, som blev udviklet af reviewer som eksamensprojekt i 1980 og publiceret i et videnskabeligt tidsskrift med reviewers vejleder som medforfatter i 1981. Det bemærkes derfor, at reviewer har forhåndskendskab til modellen og ikke kan betragtes som upartisk i en generel vurdering af modellens egnethed. Til gengæld har reviewer forudsætningerne for at vurdere Rådgivers implementering og modificeringer af modellen på et detaljeret niveau. Reviewer finder, at Rådgiver har videreudviklet og anvendt modellen på en korrekt måde.

Strømningsmodstande

Rådgiver giver et overblik over strømningsmodstande for de infrastrukturprojekter, som de seneste 100 år potentielt har påvirket gennemstrømningen gennem de danske stræder. For hvert projekt angives den %-vise reduktion af den *lokale* gennemstrømning, som den har kunnet findes fra tidligere beregninger.

For at beregne hvert projektets virkning på den *totale* gennemstrømning gennem alle stræder foretages en vægtning baseret på fordelingen af vandføringen mellem de tre stræder (Storebælt:Øresund:Lillebælt), som baseret på litteraturen sættes til (7:3:1). Reviewer noterer, at metoden antager, at strømningen er friktionsdomineret og ikke lagdelt. Da forholdene i stræderne ikke ganske opfylder denne betingelse, anbefales det, at Rådgiver vurderer, hvor sikker beregningen er specielt for saltgennemstrømningen.

Rådgiver angiver en række projekter hvor strømningsmodstanden vurderes at være ubetydelig. Reviewer savner en vurdering af strømningsmodstanden for Københavns Nordhavn.

Parameterisering

Projekternes parameterisering af strømningsmodstande i den Regionale model vurderes af reviewer at være tilstrækkelig.

Klimaændringer

Rådgiver skriver: "Formålet med at betragte klimaændringer og deres påvirkning på Østersøens hydrografi er, at sammenholde størrelsen af påvirkningerne fra infrastrukturprojekterne og fra klimaændringer på hydrografien og miljøet".

Reviewer finder, at det muligt at gennemføre denne sammenligning, og at det er særdeles interessant som generelt forskningsspørgsmål at undersøge klimaforandringernes betydning for Østersøens miljøtilstand i sig selv. Men Reviewer finder, at det ikke er relevant at sammenholde effekterne af klimaforandringerne med effekterne af forbindelsen som led i en miljøvurdering. Dette skyldes, dels at infrastrukturprojekternes indflydelse på klimaet må vurderes til at være aldeles negligible – klimaforandringerne vil indtræde uanset projekterne, og dels at alle enkeltprojekters betydning på langt sigt vil være negligible i forhold til effekten af de globale klimaforandringer.

Reviewer anbefaler, at Rådgiver og Sund & Bælt i stedet overvejer at vurdere betydningen af forbindelsen på Østersøens miljøtilstand i det nuværende klima og i det fremtidige klima. I begge klimascenarier undersøges om påvirkningen fra forbindelsen overholder følgende krav; **"et infrastrukturprojekt ikke særskilt eller kumulativt påvirker hydrografien og vandudvekslingen på en sådan måde, at det står i vejen for langsigtet at opnå eller opretholde en god miljøtilstand i havområdet"**. Det bemærkes, at klimaforandringerne betyder at der aldrig vil indtræde en kvasistationær miljøtilstand i Østersøen, som i stedet vil være i konstant tilpasning til de nye vilkår. Se ovenstående kommentar vedrørende gentagne cirkulære randbetingelser.

Da det faktiske klima i 2100 er ukendt, har Rådgiver til modelberegningerne udvalgt klimascenarier fra IPCC's samling af undersøgte scenarier. Reviewer tilslutter sig denne metode og de gjorte valg.

Rådgivers valg af parameterisering af randbetingelserne i det nye klima tiltrædes af reviewer.

Dog noteres, at vinden vurderes ikke at ændres væsentligt i de fremtidige klimascenarier, hvilket forekommer i modstrid med de seneste års vindklima, specielt hvad angår stormfloder. Reviewer foreslår, at Rådgiver adresserer dette spørgsmål.

Reviewer noterer også, at kvælstoftilførslen til Østersøen er det største antropogene bidrag til Østersøens miljøtilstand. Rådgiver vælger at holde den atmosfæriske kvælstofdeposition uændret ift. reference året 2019 og at beregne afstrømningsbidraget under antagelse af, at koncentrationer i de respektive oplande ikke ændres markant. Det er en meget usikker antagelse, men reviewer finder umiddelbart ikke, at det er muligt at reducere denne usikkerhed. Da usikkerheden er så betydelig foreslår reviewer at Rådgiver

vurderer om en følsomhedsanalyse, fx ved beregning af et scenarie med og uden de mellemstatslige aftaler om kvælstofreduktion, vil være hensigtsmæssig.

Vurderingsgrundlag

Formålet med at opstille et vurderingsgrundlag er: "... det (*skal*) vurderes om infrastrukturprojekterne kompromitterer målet om "langsigtet god miljøtilstand i havområdet".

De valgte presfaktorer fra infrastrukturprojekternes er deres påvirkning af vandgennemstrømningen, klimaeffekter udgør en heraf uafhængig presfaktor. Reviewer henviser til diskussionen ovenfor vedrørende klima som presfaktor og sammenligning af effekterne fra projekter med effekter af klimaforandringer.

Der gennemføres følgende beregninger:

1. Referencescenarie, dvs. uden den fremskudte havn og de udvalgte større infrastrukturprojekter og uden klimaændringer
2. Scenarie med den fremskudte havn og de udvalgte større infrastruktur-projekter og uden klimaændringer
3. Scenarie uden den fremskudte havn og de udvalgte større infrastruktur-projekter og med klimaændringer
4. Scenarie med den fremskudte havn og de udvalgte større infrastruktur-projekter og med klimaændringer.

Ved at sammenholde resultaterne af beregning 1 og 2 kan effekten af projekterne i 2019 klima kvantificeres. Tilsvarende vil en sammenligning af beregning 3 og 4 illustrere effekten af projekterne i 2100 klima. Sammenligning af 1 eller 2 med 3 eller 4 anbefales ikke af reviewer jf. diskussionen ovenfor.

Betydningen af de beregnede effekter skal ses i lyset af det valgte miljøkriterium: **"et infrastrukturprojekt ikke særskilt eller kumulativt påvirker hydrografien og vandudvekslingen på en sådan måde, at det står i vejen for langsigtet at opnå eller opretholde en god miljøtilstand i havområdet.** Idet vurderingen skal ske på grundlag af Havstrategidirektivet og Vandramme-direktivet, herunder Havstrategidirektivets elleve deskriptorer og Vandrammedirektivets tre kvalitetsselementer og to understøttende kvalitetsselementer". Reviewer kommenterer ikke på det valgte miljøkriterium i dette notat, da et miljøkriterium altid vil være udtryk for en normativ vurdering vedtaget af relevante myndigheder.

Reviewer noterer, at det valgte kriterium muligvis vil indebære, at en vis akkumuleret strømningsreduktion fra projekter i de danske stræder vil kunne accepteres inden for miljøkriteriet. Denne akkumulerede strømningsreduktion skal fordeles mellem alle igangværende og fremtidige danske og svenske projekter. Denne fordeling indebærer en vanskelig afvejning, som ikke adresseres af Forudsætningsnotatet, Ref. 4.

Rådgiver har udvalgt følgende indikatorer til vurderingen:

Indikatorer	Vurderingskriterier
Saltholdighed i overfladen (‰)	Indikator for potentiel påvirkning af havmiljøet
Saltholdighed ved bunden (‰)	Indikator for potentiel påvirkning af havmiljøet
Lagdeling (‰)	Indikator for potentiel påvirkning af havmiljøet
Fytoplankton ($\mu\text{g l}^{-1}$)	Koncentration i øvre vandmasser

Ilt i bundvandet (mg l-1)	Udbredelse, hyppighed og varighed af iltvindshændelser defineret ved iltkoncentrationer <2 mg ilt l-1 og <4 mg ilt l-1
Vandets klarhed, Secchidybde (m)	±0,01 (måles med ±0,1 m nøjagtighed – ca. 10% -> 0,01 m)

Reviewer vurderer, at det er relevante indikatorer i forhold til det valgte miljøkriterium.

Fortolkning

Modelberegningerne vil vise ændringerne i indikatorerne som følge af projekterne. Det kritiske er på den baggrund at opstille relevante og alment forståelige kriterier for, hvor store disse forandringer må være uden det kompromitterer miljøkriteriet. Dette spørgsmål behandles af Rådgiver i afsnit 6.5.1: "Fra acceptkriterie til sandsynlighedsfordeling".

Rådgiver anfører, at anvendelse af acceptkriterier forudsætter stationære naturlige systemer og sikre dosis-responsvurderinger, og at disse forhold ikke er gældende for Østersøen, da miljøtilstanden der er under stadig forandring og responsfunktionerne usikkert bestemt. Rådgiver konkluderer: "Derfor er det nødvendigt at behandle resultaterne ikke blot som enkelte tal, men som et interval i hvilket de forskellige værdier har deres specifikke sandsynlighed. At gå fra et enkelt tal til en sandsynlighedsfordeling repræsenterer et betydende metodisk skift. På denne måde nærmer miljøvurderingen sig en risikovurdering, som man kender fra bl.a. industrien". Reviewer er enig i at indikatorerne bør præsenteres med deres sandsynlighedsfordeling, men finder ikke dette er unikt for Østersøen. Reviewer forstår ikke henvisningen til industrien og foreslår analogien forklaret nærmere eller udeladt.

Rådgiver skriver videre: "En veldefineret referencetilstand, som den er krævet i en traditionel miljøvurdering, kan ikke længere defineres på grund af klimaændringerne. En vurdering af et projekts virkning på miljøforholdene skal derfor tage hensyn til denne tidlige udvikling." Reviewer er enig men foreslår, at der med den valgte modelstrategi etableres en referencetilstand, nemlig simuleringen uden forbindelse (beregning 1 og 3), som kan sammenlignes med simuleringen med forbindelse (hhv. beregning 2 og 4).

Opgavebeskrivelsen for Forudsætningsnotatet, Ref. 4, har som sidste punkt i afsnittet om grundlag, at der skal udvikles: "En "transparent og forståelig" metode til vurdering af simuleringsresultaterne. Hvordan afvejes forskellige påvirkninger i forhold til hinanden. Hvordan vurderes en given parameterændring ift. det overordnede mål om "god miljøtilstand"". Reviewer finder, at dette ikke til fulde er opnået jf. ovenstående diskussioner. En mulig relativisering af effekten af strømningsblokeringen kunne måske findes ved at sammenholde effekten af strømningsreduktionen med effekten af den antropogene tilførsel af kvælstof til Østersøen. Landene omkring Østersøen har indgået omfattende aftaler om regulering af kvælstoftilførslen, som udtrykker en ramme for den samfundsmæssige indsats for at mindske miljøpåvirkningen på Østersøen. Reviewer foreslår, at denne tilgang drøftes med den biologiske ekspert.

Konceptionel model

Ref. 5: DHI og COWI: **Konceptuel model** for cirkulation i Østersøen. Undersøgelse af fremskudt Færgenhavn ved Tårs. 3. december 2024.

Resume

En stationær model baseret på Ref. 8 (Pedersen & Møller, 1981) er blevet opstillet og tilpasset den aktuelle anvendelse, hvor effekter på udvalgte hydrografiske nøg-leparametre for den centrale Østersø af infrastruktur projekter i de danske farvande sammenlignes med de effekter, der kan forventes fra klimaændringer.

Formelsystemet er anvendt på et fiktivt klimascenarie for at illustrere arbejdsmetoden og resultatpræsentationen.

Generelle kommentarer:

Egnethed

Reviewer finder, at anvendelse af modellen sammen med MIKE3 styrker den samlede sikkerhed i vurderingen af miljøeffekterne af infrastrukturprojekterne.

Modelantagelser

Reviewer finder, at de mest kritiske antagelser for anvendelse af den konceptuelle model er 1; at forholdene antages kvasistationære, hvilket de, som diskuteret ovenfor, ikke er, og 2: at forandringerne, som undersøges, er så små, at de tillader linearisering af de styrende ligninger. Umiddelbart vurderer reviewer ikke, at antagelserne falsificerer resultaterne til den påtænkte anvendelse, men forholdet foreslås diskuteret.

Specifikke kommentarer:

Genetablering af modellen

Reviewer finder, at fejlretning og genetableringen af modellen er veldokumenteret og metodisk meget tilfredsstillende, og at den gennemførte sammenligning med andre konceptuelle modeller fra litteraturen er veldokumenteret og tilfredsstillende. Da der er fundet fejl i den oprindelige artikel, foreslår reviewer, at Rådgiver publicerer den nye model.

Udvidelse af modellen

Rådgiver har udvidet modellen til ud over at kunne beregne effekten af ændret ferskvandstilstrømning også at kunne beregne effekten af henholdsvis ændret vandstand og vind (for at kunne beregne effekterne af klimaforandringer) og strømningsreduktion (for at kunne beregne effekten af infrastrukturprojekterne) og sammenlignet modelresultaterne med tilsvarende modelberegninger fra litteraturen, hvor det har været muligt. Reviewer har ikke efterregnet ligningssystemet men finder, at den anvendte metode for udvidelsen er konsistent med den oprindelige model, og at de gennemførte sammenligninger med andre konceptuelle modeller fra litteraturen er veldokumenterede og tilfredsstillende.

Beregningseksempel

Endelig noterer reviewer, at der præsenteres et tænkt klimascenarie for år 2100, se nedenstående tabel:

Central Østersø	Saltholdighed, øvre lag (‰)	Saltholdighed, nedre lag (‰)	Stabilitet (‰)
Ferskvandsafstrømning (5%)	-0,39	-0,39	0
Vandstandshævning (0,33 m)	+0,29	+0,44	+0,15
Øgning af vind (+1,1%)	+0,14	+0,19	+0,05

Klimaeffekter samlet	+0,04	+0,24	+0,20
Infrastruktur projekter	-0,06	-0,07	-0,01

Beregningen viser en effekt af infrastrukturprojekterne på saltholdigheden i Østersøen, som er modsatrettet og i samme størrelsesorden som effekten af klimaforandringerne i 2100. Ekspertnotatet, Ref. 3, konkluderer: "Strømningsreduktionen fra projekterne vil i overgangsområdet være en til to størrelsesordener mindre end den strømningsøgning, som klimaændringernes havspejlstigning vil medføre". Da effekten i Østersøen i modellen er lineært afhængig af strømningsreduktionen, synes de to vurderinger at være i modstrid. Reviewer anbefaler, at dette forhold diskuteres.

Referencer

1. Sund & Bælt: **Kommissorium**. Analyse af vandgennemstrømningen i Storebælt og strømforhold ved indsejlingen til en fremskudt færgehavn ved Tårs. 3. oktober 2023.
2. Cowi: **Afgrænsningsnotat**. Undersøgelse af fremskudt færgehavn ved Tårs. 27. maj 2024.
3. DHI og Cowi: **Ekspertnotat**. Påvirkning af Østersøen fra marine anlægsprojekter i Bælthavet og Øresund. 26. september 2024.
4. DHI og COWI: **Forudsætningsnotat**. Undersøgelse af fremskudt Færgehavn ved Tårs. 14. november 2024.
5. DHI og COWI: **Konceptuel model** for cirkulation i Østersøen. Undersøgelse af fremskudt Færgehavn ved Tårs. 3. december 2024.
6. DHI og JSM Rådgivning: *Consultancy Agreement*. 15. december 2024
7. DHI: <https://www.dhigroup.com/technologies/mikepoweredbydhi/mike-21-3>
8. Pedersen, F. B., & Møller, J. S. Diversion of River Neva - How will it influence the Baltic Sea, the Belts and the Kattegat. *Nordic Hydrology*, 12, 1-20, 1981.

Rådgivers kommentarer til "Reviewrapport 1 Tårs" af Jacob Steen Møller, 2025.01.24

"Hydrografisk modellering, forudsætninger og metoder"

ID	Reference	Reviewers bemærkninger	Rådgivers svar
1	Side 4, Ekspertnotat, Resume	Mulige effekter af vind og temperatur er ikke analyseret.	Analyser af disse parametres påvirkning på Østersøen kunne ikke findes i litteraturen.
2	Side 6, Review af modelanalyser, Forudsætningsnotat, Specifikke kommentarer, Randbetingelser	Dokumentere at år 2019 repræsenterer et "typisk år", f.eks. med hensyn til saltvandsindbrud, vandstand og vind.	En dokumentation for valget af år 2019 vil blive inkluderet i rapporten af MIKE 3 modelleringer med udgangspunkt i en undersøgelse foretaget ifm. modellering af Østlig Ringvej.
3	Side 6, do	Langelandsmodel: dokumentere at strømforhold i år 2019 er repræsentativ	Undersøgelser foretaget for Østlig Ringvej fokuserer på Øresund, men vil også være relevant for Storebælt. Statistiske strømforhold i Storebælt vil blive undersøgt og sammenlignet med år 2019. Dokumentation vil indgå i rapporten af MIKE 3 modelleringer.
4	Side 6, do	Lokalmodel: godtgøre at simuleringer af år 2019 kan anvendes til vurdering af påvirkning af vandstand ved ekstreme stormfloder	Fokus i modelleringen er påvirkning af vandstand for et typisk år og ikke påvirkning ved ekstreme vandstande. En vurdering af en mulig påvirkning ifm. ekstreme stormfloder vil blive foretaget baseret på modelleringerne af år 2019. Det vil bl.a. blive undersøgt hvordan storme i 2019 med tilhørende vandstande passer ind i vandstandsstatistikken ved Bagenkop. Vurdering vil indgå i rapporten af MIKE 3 modelleringer.

5	Side 6, do	Regional model: redegøre for hvor mange år en simuleringsperiode inkluderer	<p>En simuleringsperiode på 20 år er i modelleringerne fundet tilstrækkelig for at opnå en kvasistationær tilstand.</p> <p>Redegørelse vil indgå i rapporten af MIKE 3 modelleringer.</p>
6	Side 6, do	Regional model: diskutere valg af kvasistationær tilstand som simuleringsstrategi	<p>En diskussion af valg af simuleringsstrategi vil blive inkluderet i rapporten af MIKE 3 modelleringer.</p> <p>Kort sagt er metoden 'konservativ' mht. til ændringer i Østersen, da de får tid til at udvikle sig fuldt ud, men til gengæld betragtes ikke alle variationer i drivkræfter, for eksempel i vejret og dermed indstrømninger imellem forskellige år.</p> <p>Vores mål i denne analysefase er at se på ændringer af hydrografien i Østersøen, ikke at give en fyldestgørende beskrivelse af hydrografien i Østersøen.</p> <p>I efterfølgende miljøundersøgelser for store infrastrukturprojekter kan det være relevant at modellere en lang tidsserie for at perspektivere ikke-stationariteten af Østersøen.</p>
7	Side 7 Review af modelanalyser, Forudsætningsnotat, Specifikke kommentarer, Strømningsmodstande	Vurdere hvor sikker en beregning baseret på en 7:3:1 fordeling af vandføringen er for specielt saltgennemstrømningen	<p>Beregningen i Forudsætningsnotatet er bevist simpel og kun for volumen, og den viser hvad der er stort og småt og giver cirka værdier til de foreløbige overslag.</p> <p>Beregningen er ikke dækkende for salttransport (og forsøger ikke at være det).</p> <p>Denne antagelse af fordelingen er ikke relevant for de foretagne MIKE 3 modelleringer, idet modellen udregner de aktuelle fordelinger.</p>

8	Side 7 Review af modelanalyser, Forudsætningsnotat, Specifikke kommentarer, Strømningsmodstande	Vurdering af strømningsmodstanden for Københavns Nordhavn	I tidligere rapport vedr. Københavns Nordhavn er det vurderet, at denne er uden betydning for strømningsmodstanden. Reference: Udvidelse af Københavns Nordhavn og ny krydstogtsterminal, VVM – Teknisk baggrundsrapport nr. 3, Marine miljøkonsekvensvurderinger, marts 2009. Udarbejdet for Københavns Kommune og Kystdirektoratet af DHI.
9	Side 7 Review af modelanalyser, Forudsætningsnotat, Specifikke kommentarer, Klimaændringer	I en miljøvurdering er det ikke relevant at sammenholde effekterne af klimaforandringerne med effekterne af infrastrukturprojekterne. Anbefaler at vurdere betydningen af forbindelsen på Østersøens miljøtilstand i det nuværende klima og i det fremtidige klima.	Det er korrekt, at i en miljøvurdering er en sådan sammenligning ikke relevant og vil ikke blive foretaget. En vurdering af infrastrukturprojekternes samlede påvirkning af hydrografien og vandmiljø både under de nuværende samt de fremtidige klimatiske forhold vil blive foretaget. Denne sammenligning vil blive gennemført baseret på de foretagne modelleringer med Mike 3 EcoLab.
10	Side 7 Review af modelanalyser, Forudsætningsnotat, Specifikke kommentarer, Klimaændringer	Adressere hvorfor vinden ikke vurderes at ændres væsentligt i de fremtidige klimascenarier.	Dette forhold har været undersøgt ved at se på både data og klimamodelleringer, og ud fra dette er der ikke inkluderet klimaændringer for vinden i MIKE modelleringerne. Dette forhold vil blive yderligere adresseret i rapporten af MIKE 3 modelleringer.

11	Side 7/8 Review af modelanalyser, Forudsætningsnotat, Specifikke kommentarer, Klimaændringer	Foreslår vurdering af om en sensitivitetsanalyse af N belastning vil være hensigtsmæssig.	<p>Dette vil være en meget omfattende opgave at modellere i MIKE 3, og er derfor ikke en del af denne analyse. Endvidere vil inddragelse af en sensitivitetsanalyse af N og P belastning fjerne fokus fra projektets formål.</p> <p>Det vil være yderst relevant efterfølgende i et separat studie at undersøge forskellige scenarier for implementering af Baltic Sea Action Plan, dette kunne f.eks. være gennem HELCOM.</p>
12	Side 8 Review af modelanalyser, Forudsætningsnotat, Specifikke kommentarer, Vurderingsgrundlag	En sammenligning af effekterne af klimaforandringerne med effekterne af infrastrukturprojekterne anbefales ikke.	Sammenligning af effekterne som beskrevet vil ikke blive foretaget, se også ID 9.
13	Side 8 Review af modelanalyser, Forudsætningsnotat, Specifikke kommentarer, Vurderingsgrundlag	Det valgte miljøkriterium kan give anledning til et "råderum" for strømningsmodstand, der skal deles med Sverige. Dette forhold er ikke adresseret i Forudsætningsnotatet.	De udførte analyser skal vurdere påvirkningen af de betragtede infrastrukturprojekter og klimaændringer. Det er ikke analysernes formål at se på et råderum eller en fordeling af dette råderum med Sverige og evt. andre lande.
14	Side 9 Review af modelanalyser, Forudsætningsnotat, Specifikke kommentarer, Fortolkning	Forstår ikke henvisningen til industrien	Sammenligning med industrien udelades i beskrivelsen af sandsynlighedsfordelinger.

15	Side 9 Review af modelanalyser, Forudsætningsnotat, Specifikke kommentarer, Fortolkning	Forklar bedre hvordan en given parameterændring vurderes ift. "god miljøtilstand"	<p>Dette emne er under drøftelse Karen Timmermann, som vil fremkomme med en note.</p> <p>Som eksempel kan en identificeret miljøeffekt, fx en potentiel øgning i udbredelse og/eller varighed af iltsvind vurderes ift. Havstrategiens deskriptor 6. Havbundens integritet (<i>"Havbundens integritet er på et niveau, der sikrer, at økosystemernes struktur og funktioner bevares, og at især bentiske økosystemer ikke påvirkes negativt"</i>).</p>
16	Side 9 Review af modelanalyser, Forudsætningsnotat, Specifikke kommentarer, Fortolkning	Miljøeffekt i Østersøen fra projekter kunne sammenlignes med miljøeffekt fra N-belastning af Østersøen	Dette vil blive drøftet med Karen Timmermann.
17	Side 10 Konceptuel model, Specifikke kommentarer, Modelantagelser	Foreslår at antagelser for den konceptuelle model diskuteres	En diskussion af antagelsernes gyldighed vil indgå i resultatrapporten for den konceptuelle model.
18	Side 10 Konceptuel model, Specifikke kommentarer, Beregningseksempel	Diskutere de foretagne vurderinger af resultaterne af beregningseksemplet.	<p>Tabellen i rapporten vedr. opsætningen af den konceptuelle model repræsenterer resultater, der er beregnet på baggrund af foreløbige input data. Disse input data er ændret i de endelige beregninger og resultaterne er derfor også ændret.</p> <p>Detaljerede beskrivelser af resultater fra den konceptuelle model vil blive beskrevet i resultatrapporten, og sammenligninger vil blive foretaget med MIKE 3 modelleringer.</p>

Bilag B Hydrografisk modellering, Resultater/Vurderinger

- › Fagligt notat (5. maj 2025)
- › Rådgivers svar – MIKE 3
- › Rådgivers svar – Konceptuel model

Dato: 2025.05.05

Undersøgelse af fremskudt færgehavn ved Tårs

Review af hydrografisk modellering; resultater og evalueringer

Baggrund

Sund & Bælt udfører forundersøgelser for en fremskudt færgehavn ved Tårs for Transportministeriet. Formålet med den fremskudte færgehavn er at kunne etablere halvtimes færgedrift på strækningen Spodsbjerg-Tårs. Rådgiver for Sund & Bælt er COWI, DHI og FORCE, i det følgende benævnt 'Rådgiver'.

Sund & Bælt ønsker et tekniske review af Rådgivers hydrografiske og miljømæssige modellering gennemført af en ekspert inden for hydrografisk modellering og en ekspert inden for miljømodellering. Review vedrørende hydrografisk modellering udføres af selvstændig konsulent Jacob Steen Møller. Review vedrørende miljømodellering udføres af professor Karen Timmermann. Nærværende notat omfatter den hydrografiske del.

Opgavebeskrivelse for det hydrografiske review er givet i Ref.6.

1. Indledningsvis skal eksperten sætte sig ind i projektets formål og aktiviteter ved at gennemgå nedenstående baggrundsdokumenter (Ref. 1, 2 og 3), eksperten skal ikke kommentere på dette materiale. Dette punkt er udført, se Ref. 9.
2. Derefter skal eksperten gennemføre et review af Rådgivers faglige rapporter (Ref. 4 og 5). Dette review er gennemført, og indholdet heraf forudsættes kendt i det følgende. (Ref. 9).
3. Endelig skal eksperten gennemføre et review af Rådgivers resultat- og evalueringsrapporter (Ref. 10, 11, 12 og 13). Nærværende notat indeholder dette afsluttende hydrografiske review.

Rådgivers nøglepersoner Jørgen Juhl, Flemming Jakobsen og Carsten Jürgensen deltog i møde med Reviewer den 22. april 2025, hvor hovedpunkterne i dette review blev drøftet.

Indhold

Nærværende notat indeholder først en kommentar vedrørende undersøgelsens formål, dernæst en kommentar vedrørende sammenligning af klimaeffekter og miljøeffekter, og endelig et kort resume og review af de hydrografiske undersøgelsers resultater og evalueringer heraf (Ref.: 10, 11, 12 og 13). Det bemærkes, at Reviewer primært har kommenteret på de dele af undersøgelsen, som vedrører den fremskudte havns potentielle påvirkning på miljøforholdene med særlig vægt på Østersøen.

Review

Undersøgelsens formål

I dette afsnit giver reviewer sin vurdering af, om undersøgelsens formål overordnet set er opfyldt af Rådgiver i de hydrografiske rapporter, Ref. 11, 12 og 13.

Af undersøgelsens Kommissorium, Ref. 1, fremgår:

Undersøgelsen skal omfatte følgende emner:

1. *Revurdering af fremskudt færgehavns strømningsblokering*
2. *Verificerende simuleringer af klimaeffekter (øget vandstand)*
3. *Verificerende simuleringer af Østersøen (salt, lagdeling mv.), herunder kumulative virkninger med øvrige infrastrukturprojekter i overgangsområdet mellem Kattegat og Østersøen.*
4. *Nærmere afklaring af forudsætninger for blokeringsstal, herunder verificering af acceptable blokeringsstal*
5. *Vurdering af besejlingsmuligheder omkring den fremskudte færgehavn samt evt. tilpasning af havnelayoutet*
6. *Simulering af bølgeforhold inde i færgehavnen, samt evt. tilpasning af havnelayoutet*
7. *Undersøgelse af risiko for oversvømmelse af lavtliggende områder ved kysten som følge af opstuvende af havvand*
8. *Vurdering af sedimentering og erosion omkring de nye anlæg, samt vurdering af eventuel effekt af Natura 2000 område.*
9. *Overordnet vurdering af vindmøller ved eller på selve færgehavnen, herunder betydningen for udformningen af selve færgehavnen og påvirkningen af vandgennemstrømningen*

Reviewer finder, at alle punkterne på nær nr. 4 er tilfredsstillende belyst. For nr. 4 gælder, at Rådgiver henviser til den biologiske modellering som grundlag for vurdering af om miljøkriteriet er opfyldt, hvilket er i overensstemmelse med miljøkriteriet, som opstilles i Afgrænsningsnotatet, Ref. 2.

Af Afgrænsningsnotat, Ref. 2, fremgår:

*For kommende store infrastrukturprojekter skal de konkrete miljøkonsekvenser vurderes iht. VVM-direktivet (EU baseret). Det nye miljøkrav skal ses i lyset af en bedre forståelse af det naturlige system, bedre analyseværktøjer (numeriske modeller) og klimaforandringerne. Rådgiver angiver, at der til formulering af det nye miljøkrav f.eks. kan tages afsæt i Vandrammedirektivets Indsatsbekendtgørelse, hvorefter et projekt ikke må hindre opfyldelse af fastlagte miljømål. Konkret formuleret det således, **"et infrastrukturprojekt ikke særskilt eller kumulativt påvirker hydrografien og vandudvekslingen på en sådan måde, at det står i vejen for langsigtet at opnå eller opretholde en god miljøtilstand i havområdet"**. Valget af de konkrete deskriptorer og presfaktorer, som inddrages i vurderingen, kan støtte sig til HELCOMs Baltic Sea Action Plan2, EU's Vandramme-direktiv, EU's naturbeskyttelsesdirektiver og Danmarks Havstrategi.*

Og af Forudsætningsnotat, Ref. 4, fremgår:

At der skal tilvejebringes et opdateret vurderingsgrundlag for de individuelle og kumulative effekter af projekterne med henblik på at opnå "langsigtet god miljøtilstand i havområdet", og en "transparent og forståelig" metode til vurdering af simuleringresultaterne. Hvordan afvejes forskellige påvirkninger i forhold til hinanden. Hvordan vurderes en given parameterændring ift. det overordnede mål om "god miljøtilstand".

Rådgiver henviser til, at vurderingen af, om dette miljøkriterium er opfyldt, ikke afgøres af de hydrografiske forhold, men i stedet af de afledte biologiske forhold. Disse undersøges i en særskilt biologisk modelleringsundersøgelse, som ikke indgår i nærværende hydrografiske review. Reviewer er enig med Rådgiver om denne tilgang.

Klimaforandringer og miljøeffekter

Af Ekspertnotat, Ref. 3, fremgår:

Klimaforandringer og deres påvirkning af hydrografien og dermed af miljøforholdene i indre Østersø er medtaget for at perspektivere projekternes effekt. Ændringer forårsaget af projekterne sammenlignes med de ændringer, der forventes at ville ske under alle omstændigheder pga. klimaændringer. Der er især fokus på klimaændringer relateret til vandstandsstigning og ferskvandsafstrømning.

Af Forudsætningsnotat, Ref. 4, fremgår:

Formålet med at betragte klimaændringer og deres påvirkning på Østersøens hydrografi er, at sammenholde størrelsen af påvirkningerne fra infrastrukturprojekterne og fra klimaændringer på hydrografien og miljøet.

Reviewer finder (Ref. 9), at det muligt at gennemføre denne sammenligning, og at det er særdeles interessant som generelt forskningsspørgsmål at undersøge klimaforandringernes betydning for Østersøens miljøtilstand i sig selv. Men Reviewer finder ikke, at det er relevant at sammenholde effekterne af klimaforandringerne med effekterne af forbindelsen som led i en miljøvurdering. Dette skyldes dels, at infrastrukturprojekternes indflydelse på klimaet må vurderes til at være aldeles neglige, dels, at klimaforandringerne vil indtræde uanset projekterne og dels, at alle enkeltprojekters betydning på langt sigt vil være neglige i forhold til effekten af de globale klimaforandringer.

Reviewer anbefaler i Ref. 9, at Rådgiver og Sund & Bælt i stedet vurderer betydningen af forbindelsen på Østersøens miljøtilstand i det nuværende klima og i det fremtidige klima. I begge klimascenarier undersøges om påvirkningen fra forbindelsen overholder miljøkravet opstillet i Ref. 4: **"et infrastrukturprojekt ikke særskilt eller kumulativt påvirker hydrografien og vandudvekslingen på en sådan måde, at det står i vejen for langsigtet at opnå eller opretholde en god miljøtilstand i havområdet"**.

Når man læser Rådgivers resultater (Ref. 10, 11, 12 og 13) er der en række henvisninger og formuleringer, som henviser til sammenligning af klimaeffekter med effekter af infrastrukturprojekterne. Reviewer noterer, at Rådgiver således ikke har fulgt Reviewers anbefaling om ikke at lægge vægt på denne sammenligning.

Man kan spørge, hvorfor klimaforandringer bør indgå i undersøgelsen i det hele taget, hvis miljøeffekterne ikke bør sammenlignes med klimaeffekterne? Når man læser Rådgivers notater, er dette spørgsmål ikke besvaret på en tydelig måde. Det er Reviewers opfattelse, at klimaeffekter bør indgå af følgende grunde:

1. Klimaeffekter kan have betydning for projekternes design.
2. Klimaeffekter kan have betydning for projektets miljøeffekt, altså vil projekternes miljøeffekter være anderledes i et fremtidigt klima end det nuværende?

Det første punkt er åbenbart, idet alene vandstandsøgningen over projekternes levetid skal indregnes i projekternes design.

Det andet punkt relaterer til både den basistilstand mulige miljøeffekter af projekterne udfolder sig i og selve vurderingen af miljøeffekterne. Rådgiver beregner miljøeffekterne i både et nutidigt og et fremtidigt klima, og tager derfor hensyn til både ændringen af basistilstanden som følge af klimaet og klimaets betydning for miljøeffekten.

Rådgivers undersøgelse viser, at det fremtidige klima vil medføre en betydelig ændring af miljøtilstanden i Østersøen. Men også, at denne ændring ikke er så stor, at den afgørende ændrer vurderingen af projekternes miljøeffekt, altså at undersøgelsens metode er robust i forhold til klimaforandringerne. Rådgiver viser yderligere, at projekternes miljøeffekter er af samme (marginale) størrelsesorden i begge klimaforhold, altså at vurderingen af miljøeffekterne er robust overfor ændringer i klimaet. Rådgivers undersøgelse er dermed grundig og tilfredsstillende i forhold til undersøgelsens formål.

Rådgivers kommentarer til ”Reviewrapport 1 Tårs”, Ref. 14.

Resume

Rådgiver har i Ref. 14 svaret på review (Ref. 9) af Rådgivers faglige rapporter.

Generelt

Reviewer noterer, at Rådgiver i alt væsentligt svarer tilfredsstillende på og imødekommer review. Rådgiver henviser en række spørgsmål til fremtidig besvarelse i efterfølgende notater Ref. 10, 11, 12 og 13. Disse emner behandles nedenfor under review af de enkelte notater.

Specifikt

ID 8: Reviewer efterspørger dokumentation for Rådgivers angivelse af, at ”I tidligere rapport vedr. Københavns Nordhavn er det vurderet, at denne er uden betydning for strømningsmodstanden”. Rådgiver henviser til en rapport: ”Udvidelse af Københavns Nordhavn og ny krydstogtsterminal, VVM – Teknisk baggrundsrapport nr. 3, Marine miljøkonsekvensvurderinger, marts 2009 udarbejdet for Københavns Kommune og Kystdirektoratet af DHI”. Så vidt det er reviewer bekendt, er der i nævnte rapport ikke dokumenteret strømningsmodstand efter samme metode, som anvendes i nærværende undersøgelse. Reviewer finder derfor ikke, at påstanden om, at modstanden er ubetydelig, er dokumenteret. Men det bemærkes, at dette forhold ikke har betydning for nærværende undersøgelse af Tårs havn.

ID 15: Rådgiver angiver, at Karen Timmermann vil udarbejde et notat, som forklarer, hvorledes en given parameterændring vurderes ift. ”god miljøtilstand”. Dette notat har reviewer ikke modtaget.

Konceptuel model for cirkulation i Østersøen, Ref. 10.

Resume

Ref. 10 er en opdateret udgave af Ref. 5, som er kommenteret af Reviewer i Ref. 9. Opdateringen består i en udvidelse af den konceptuelle model med til tilføjelse af den nedadrettede medrivning af overfladevand til bundvandet i den centrale Østersø.

Generelt

Reviewer finder, at den opdaterede model er egnet til den foretagne undersøgelse.

Notatet angiver, at formålet er at sammenligne klimaeffekter med effekterne af forbindelserne. Om dette henviser Reviewer til diskussionen ovenfor.

Specifikt

Side 46, afsnit 2: *Den langsomme fortynding på grund af turbulensen i det dybe vandlag medtages og medfører at saltholdigheden aftager ... og dermed muliggør sporadisk indstrømning af nyt og tungt bundvand.*

Det er ikke faldet i saltholdighed af bundvandet, som betinger indstrømning af bundvand, men alene den vindbetingende strømning hen over tærsklerne til Østersøen. Selv hvis bundvandet i Østersøen fik samme saltholdighed som overfladen, ville dette ikke øge de store saltvandsindbrud.

Side 48, sidste tre formler:

Der er en slåfejl, at vandføringen benævnes 'C'

Side 48, lige før 8.2.1:

At den nedadrettede medrivning er betydelig, ses også ved direkte inspektion af data for saltholdigheden i bundklaget, som er faldende mellem hvert saltvandindbrud (figur 8.1).

Modellering af cirkulation i Østersøen med konceptuel model, Ref. 11.

Resume

Den konceptuelle model anvendes til gentagne beregninger af forskellige klimaforudsætninger for at vurdere spredningen på klimafremskrivningerne. Modellen viser, at klimaændringerne vil medføre betydelige målbare ændringer i Østersøens hydrografi, og at effekterne er tydeligt afhængige af klimaforudsætningerne, altså at vurderingen af effekten af det fremtidige klima er usikker.

Modellen anvendes til at beregne effekten af projekterne. Modellen viser, at effekten af projekterne i det nuværende klima er umåleligt små, og modellen viser, at usikkerheden på klimaforudsætningerne overskygger effekten af projekterne i forhold til at beskrive de fremtidige hydrografiske forhold i Østersøen.

Generelt

Reviewer finder, at de beregnede effekter af klimaforandringerne og af projekterne er konsistente og sandsynlige under modellens forudsætninger.

Notatet sammenligner klimaeffekter med effekterne af forbindelserne. Om dette henviser Reviewer til diskussionen ovenfor.

Specifikt

Afsnit 3.1:

Afsnittet adresserer Reviewers ønske fra Ref. 9 om diskussion af modelantagelser på en tilfredsstillende måde.

Side 7, bullit om Vind og afsnit 3.5:

Den konceptuelle model anvendes til at vurdere effekten af mulige klimabetingede ændringer af vinden. Det bemærkes, at diskussionen af vind i Ref. 12 konkluderer, at vinden ikke forventes at ændre sig signifikant i de valgte klimascenarier.

Afsnit 5.2.4:

I dette afsnit argumenteres for, at spredningen på resultaterne domineres af usikkerheden på klimaforudsætningerne, og at dette dominerer effekten af projekterne på middelværdien af fremskrivningen. Denne argumentation kan give det forkerte indtryk; at betydningen af projekterne er usikker eller ubetydelig, fordi den er lille i forhold til usikkerheden som følge af usikkerhed på klimaforudsætningerne. Dette er ikke tilfældet, idet det er flytningen af middelværdien i hvert konkrete klimaudfald, som bestemmer miljøeffekten og ikke usikkerheden på klimaet (man kan se dette af følgende tankeeksperiment: Antag; at ændringen af saltholdigheden med -0,02 promille er betydelig, så er det ligegyldigt, om der er stor usikkerhed på klimaforudsigtelsen, idet de -0,02 promille indtræder og vil være betydelig i alle klimascenarier).

Afsnit 5.2.5:

I dette afsnit beskrives tre statistiske tests, og der skrives: *Med baggrund i generelle statistiske metoder kan de dermed antages at effekten fra infrastrukturprojekterne ikke bidrager med en betydelig forskel i prognosen for år 2100 af Østersøens hydrografiske tilstand.*

På samme måde, som beskrevet for afsnit 5.2.4, kan også dette afsnit give et forkert indtryk af, at den lille effekt fra projekterne er ubetydelig, fordi den ikke bidrager til usikkerheden på klimaprognosen.

Side 38 næst nederste afsnit: *Tre objektive statistiske test underbygger at forholdene i år 2100 ikke påvirkes betydende af infrastrukturprojekterne.*

Som beskrevet ovenfor om afsnit 5.2.4 og 5.2.5 er dette ikke rigtigt.

Afsnit 5.3.3:

I dette afsnit sammenlignes resultater fra den konceptuelle model med resultater fra MIKE3 (Ref. 12). Der er en god overensstemmelse mellem de to modeller, hvad angår effekterne af klimaforandringerne. Dette er tilfredsstillende og styrker modellernes troværdighed som prognoseværktøjer.

Der er en uoverensstemmelse mellem de to modellers forudsigtelse af effekten fra projekterne, idet saltholdigheden i den centrale Østersø overfladevand reduceres en smule i den konceptuelle model, hvilket er forventeligt under de givne modelforudsætninger, mens den stiger en anelse i MIKE3 beregningerne, hvilket ikke er intuitivt. Dette forhold ved MIKE3 beregningerne diskuteres i det næste afsnit om Ref. 12.

Afsnittet afsluttes med en bemærkning om usikkerheden på beregningerne, som kan misforstås, jf. ovenstående kommentarer til afsnit 5.2.4 og 5.2.4.

Hydrografisk modellering med Mike3, Ref. 12

Resume

I rapporten beskrives beregninger og resultater for:

1. Lokale strømforhold og udformning af havnen, som viser, at en nord-syd orientering er mest gunstig i forhold til besejling og ændring af de lokale strømforhold.
2. Kystbeskyttelse, som viser, at påvirkningen på sedimentationsmønstrene vil være begrænsede og mulige at kontrollere med mindre konstruktioner, som ikke er afgørende for projektets gennemførlighed.

3. Mindskelse af vandføringen, som viser, at strømningsmodstanden afhænger af havnens udformning. En udformning med stor strømningsmodstand anvendes til miljøvurderingen, hvilket er konservativt således, at effekterne vil blive mindre ved en fremtidig optimering af projekterne.
4. Nakskov fjord vandskifte og højvande, som viser, at indvirkningen fra projektet på fjorden er ubetydelig.
5. Hydrografiske effekter i Østersøen, som viser, at klimaændringerne vil få betydelig og målbar indflydelse på de hydrografiske forhold i Østersøen, mens effekterne fra projekterne vil være meget små og ikke målbare (i rapporten kaldt 'marginale') både i det nuværende klima og i fremtidige klimascenarier.

Generelt

Reviewer finder, at alle forhold fra det første review (Ref. 9 og 14) vedrørende MIKE3 beregningerne er besvaret tilfredsstillende.

Notatet sammenligner enkelte steder klimaeffekter med effekterne af forbindelserne. Om dette henviser Reviewer til diskussionen ovenfor.

Reviewer finder, at beskrivelse og resultater for

1. Lokale strømforhold og udformning af havnen
2. Kystbeskyttelse
3. Mindskelse af vandføringen
4. Nakskov fjord vandskifte og højvande

er dækkende og retvisende.

Reviewer finder, at beregningerne af effekterne fra projekterne dokumenterer at effekterne er små, men også, at effekten på saltholdigheden af projekterne ikke er intuitivt forståelige.

Beregningerne viser en lille stigning af saltholdigheden i mellemvandet i den centrale Østersø og bundvandet i Kattegat. Dette er overraskende (og i modstrid med den konceptuelle model), da det er åbenbart at saltholdigheden i Østersøen vil falde hvis gennemstrømningen mindskes signifikant som følge af indsnævring af de danske stræder. At MIKE3 beregner en lille stigning af saltholdigheden i tilfældet med en meget lille reduktion af gennemstrømningen er derfor overraskende.

Rådgiver påpeger selv det overraskende resultat og forklarer det med en mindskelse af den lodrette nedblanding i Kattegat som følge af den mindskede vandføring (en mekanisme som ikke indgår i den konceptuelle model). Det er en mulig forklaring, men Reviewer anbefaler, at hypotesen understøttes med principielle beregninger, som dokumenterer at forklaringen er mulig.

Specifikt

Side 5, 2. afsnit.

Det bør fremgå, at de beregnede reduktioner af vandføringen er beregnet med den lokale Langelands Bælt model og derfor vil være større end den faktiske reduktion.

Side 7, sidste afsnit:

Den beregnede vandstandsstigning benævnes 'marginal', hvilket er rigtigt. Reviewer konkluderer, at den er ubetydelig set ud fra et kystsikringsperspektiv (den vil ikke give anledning til en ændret strategi eller indsats overfor stormflod).

Side 10: *De ændrede hydrografiske forhold forårsaget af forbindelserne forventes tilsvarende kun at have en marginal påvirkning af miljøet i Østersøen.*

Da Rådgiver generelt henviser den miljømæssige vurdering til den biologiske modellering, foreslås denne vurdering udeladt. Denne bemærkning gælder flere tilsvarende formuleringer i alle de kommenterede notater.

Side 10: *Ændringerne fra forbindelserne er lidt større i scenariet med klimaændringer end i det uden klimaændringerne. Dette illustrerer, at påvirkningerne fra forbindelserne er robuste i den forstand, at de nær de samme med og uden klimaændringer.*

Foreslås ændret til: *Ændringerne fra forbindelserne er ikke væsentligt forskellige i scenariet med klimaændringer sammenlignet med scenariet uden klimaændringerne. Dette illustrerer, at påvirkningerne fra forbindelserne er robuste i den forstand, at de nær de samme med og uden klimaændringer.*

Side 16 og 17, tabel 1.1 og tabel 1.2:

Den nederste blok angives som: *2019 uden forb. & 2100 med forb.* Det må være "med" forbindelse i begge tilfælde.

Side 37 nederst: *Det kan nævnes, at havnens strømningsmodstand i en tidligere rapport (KK & KDI, 2009) er vurderet at være lille og uden betydning for gennemstrømningen i Øresund, dvs. at vandføringsændringen er meget lille.*

Som nævnt ovenfor mener Reviewer at det er muligt men ikke vist, men dette forhold har ikke betydning for konklusionerne i nærværende undersøgelse.

Side 44, 2. afsnit: *De "naturlige niveauer" er baseret på hindcast modelberegninger (cirka år 1900) og historiske data dækkende perioden 1880-1970 (dvs. før store infrastruktur-projekter og nævneværdige klimaændringer).*

Er det rigtigt at betragte klimaet som værende uden nævneværdige ændringer før 1900? Som modeksempel kan nævnes "den lille istid" med et lokalt temperaturminimum i midten af 1800-tallet.

Side 7 nederst: *Disse ændringer er små, og skal ikke tillægges for stor betydning i lyset af usikkerhederne.*

Der henvises her og flere gange i rapporten til usikkerheden på beregningerne med MIKE3. Men, der er en forskel på usikkerhed ved måling og usikkerhed ved beregning med en deterministisk model som MIKE3. Usikkerheden på beregningen med MIKE3 er uhyre lille, hvorfor de beregnede forskelle ikke kan tilskrives beregningsusikkerhed, men en faktisk beregnet forskel som følge af forskellen i randbetingelser mellem de to beregninger.

Figur 7.1 og 7.2:

Det er interessant og overbevisende, at der kan ses små beregnede forskelle i overfladesaltholdigheden, som er konsistente med en den lille omløjring af udstrømningen fra Østersøen fra Storebælt til Øresund. Saltholdigheden falder svagt i Øresund og udstrømningen, som påvirkes af Corioliskraften, gennem Kattegat langs den svenske kyst bliver en smule mere markant. Resultatet er i overensstemmelse med de beregnede omløjringer af vandføringerne rapporteret i afsnit 7.7.

Figur 7.7 og 7.14:

Der er tale om meget markante fald i saltholdighed og stigende temperatur som følge af klimaændringerne.

Side 85, tredje afsnit fra neden:

Rådgiver beskriver en lille stigning i bundvandet, som Reviewer har kommenteret ovenfor i afsnit om generelle kommentarer.

Side 85, næstsidste afsnit:

Den beregnede effekt af Kattegatforbindelsen er interessant og overbevisende.

Afsnit 7.6:

Rådgiver gennemfører en sensitivitetstest, hvor afstrømningen fra land i klimascenariet 2100 halveres. Reviewer finder, at dette valg af scenarie forekommer tilfældigt. Hvorfor dette valg og ikke andre?

Side 123 nederst:

Rådgiver skriver at stabiliteten og blandingen ikke har været i fokus. Det gælder dog at arealerne under skillefladen, som er iltsvindstruede, vil være meget afhængig af skillefladens beliggenhed, stabilitet og blanding.

Sammenfattende rapport. Strømningsanalyser mv., Ref. 13

Resume

Rapporten beskriver havnens og tilhørende anlægs mulige udformning, elforsyning og overordnede økonomi. Derefter giver rapporten et resume af de hydrografiske undersøgelser, Ref. 10, 11 og 12. Endelig beskrives den økologiske modellering og afledte økologiske vurdering.

Generelt

De anlægstekniske, designmæssige og økologiske forhold ligger uden for Reviewers arbejdsbeskrivelse og kommenteres ikke.

Da der er tale om et resume af Ref. 10, 11 og 12, som er kommenteret af Reviewer ovenfor, henviser Reviewer til de allerede givne bemærkninger for denne del af rapporten.

Specifikt

Figur 8.18:

Den valgte sensitivitetstest forekommer ubegrundet set i lyset af figurens sandsynlighedsfordelingen for klimaudfald.

Bilag

1. Sund & Bælt: *Kommissorium. Analyse af vandgennemstrømningen i Storebælt og strømforhold ved indsejlingen til en fremskudt færgehavn ved Tårs*. 3. oktober 2023.
2. Cowi: *Afgrænsningsnotat*. Undersøgelse af fremskudt færgehavn ved Tårs. 27. maj 2024.
3. DHI og Cowi: *Ekspertnotat. Påvirkning af Østersøen fra marine anlægsprojekter i Bælthavet og Øresund*. 26. september 2024.

4. DHI og COWI: *Forudsætningsnotat. Undersøgelse af fremskudt Færgehavn ved Tårs*. 14. november 2024.
5. DHI og COWI: *Konceptuel model for cirkulation i Østersøen. Undersøgelse af fremskudt Færgehavn ved Tårs*. 3. december 2024.
6. DHI og JSM Rådgivning: *Consultancy Agreement*. 15. december 2024
7. DHI: <https://www.dhigroup.com/technologies/mikepoweredbydhi/mike-21-3>
8. Pedersen, F. B., & Møller, J. S: *Diversion of River Neva - How will it influence the Baltic Sea, the Belts and the Kattegat*. *Nordic Hydrology*, 12, 1-20, 1981.
9. Jacob Steen Møller: *Hydrografisk modellering, forudsætninger og metoder. Undersøgelse af fremskudt færgehavn ved Tårs*. 24. januar 2025.
10. DHI og COWI: *Analyser af fremskudt færgehavn ved Tårs. Konceptuel model for cirkulation i Østersøen*. 3. april 2025
11. DHI og COWI: *Analyser af fremskudt færgehavn ved Tårs. Modellering af cirkulation i Østersøen med konceptuel model*. 3. april 2025
12. DHI og COWI: *Analyser af fremskudt færgehavn ved Tårs. Hydrografisk modellering*. 28. marts 2025
13. DHI og COWI: *Sammenfattende rapport. Strømningsanalyser mv. af fremskudt færgehavn ved Tårs*. Ver.06, april 2025.
14. DHI og COWI: *Rådgivers kommentarer til "Reviewrapport 1 Tårs" af Jacob Steen Møller, 2025.01.24 "Hydrografisk modellering, forudsætninger og metoder"*

Svar til "Review af hydrografisk modellering; resultater og evalueringer"

Kommentar / spørgsmål	Svar
<p>Vedrørende afsnittene "Review" og "Klimaforandringer og miljøeffekter", hvor projektets kommissorium og klimaændringer diskuteres.</p> <p>I Afgrænsningsnotat (Sund & Bælt, 2024D) og Forudsætningsnotat (Sund & Bælt, 2024E) er det foreslået, at det fremtidige miljøkrav til store marine infrastrukturprojekter kan være, at "et infrastrukturprojekt ikke særskilt eller kumulativt påvirker hydrografien og vandudvekslingen på en sådan måde, at det står i vejen for langsigtet at opnå eller opretholde en god miljøtilstand i havområdet".</p>	<p>Der er indarbejdet et svar under rapportens diskussion: <u>Vurdering af infrastrukturprojekter</u></p> <p><i>I Afgrænsningsnotat (Sund & Bælt, 2024D) og Forudsætningsnotat (Sund & Bælt, 2024E) er det foreslået, at det fremtidige miljøkrav til store marine infrastrukturprojekter kan være, at 'et infrastrukturprojekt ikke alene eller kumulativt med andre planer og projekter påvirker hydrografien og vandudvekslingen på en sådan måde, at det står i vejen for langsigtet at opnå eller opretholde en god miljøtilstand i Østersøen'.</i></p> <p><i>Langsigtet betyder i denne sammenhæng, at infrastrukturprojekterne skal analyseres både med og uden klimaændringer.</i></p> <p><i>Nærværende projekt er ikke en miljøkonsekvensvurdering, og således skal projektet ikke frembringe et fyldestgørende grundlag for en sådan vurdering.</i></p> <p><i>Det er fundet, at infrastrukturprojekternes påvirkning af hydrografien er marginal, både med og uden klimaændringer. Tilsvarende findes det i de økologiske analyser (Sund & Bælt, 2025B), at infrastrukturenes påvirkning af økologien er marginal, både med og uden klimaændringer.</i></p> <p><i>Hvorvidt resultaterne af en senere miljøkonsekvensvurdering leder til, at infrastrukturprojekterne vurderes 'ikke alene eller kumulativt med andre planer og projekter at påvirke hydrografien og vandudvekslingen på en sådan måde, at det står i vejen for langsigtet at opnå eller opretholde en god miljøtilstand i Østersøen' er uvist, og kan naturligvis ikke besvares fyldestgørende på baggrund af dette projekt.</i></p> <p><i>Men påvirkningerne fra infrastrukturprojekterne på hydrografien er i dette projekt fundet at være marginale, hvormed menes, at ændringerne er så små, at de ikke vil kunne måles og dokumenteres i fremtidige monitoreringsprogrammer, og forventes ikke i sig selv at stå 'i vejen for langsigtet at opnå eller opretholde en god miljøtilstand i Østersøen'. En vurdering af afledte påvirkninger på økologien vurderes ikke i denne rapport.</i></p>
<p>ID 8: Reviewer efterspørger dokumentation for Rådgivers angivelse af, at "I tidligere rapport vedr. Københavns Nordhavn er det vurderet, at denne er uden betydning for strømningsmodstanden". Rådgiver henviser til en rapport: "Udvidelse af Københavns Nordhavn og ny krydstogtsterminal, VVM – Teknisk baggrundsrapport nr. 3, Marine miljøkonsekvensvurderinger, marts 2009 udarbejdet for Københavns Kommune og Kystdirektoratet af DHI". Så vidt det er reviewer bekendt, er der i nævnte rapport ikke dokumenteret strømningsmodstand efter samme metode, som anvendes i nærværende undersøgelse. Reviewer finder derfor ikke, at påstanden om, at modstanden er ubetydelig, er dokumenteret. Men det bemærkes, at dette forhold ikke har betydning for nærværende undersøgelse af Tårs havn.</p>	<p>Teksten er præciseret:</p> <p><i>Det kan nævnes, at havnens strømningsmodstand i en tidligere rapport (KK & KDI, 2009) er vurderet at være lille og uden betydning for gennemstrømningen i Øresund, dvs. at vandføringsændringen er lille. Vandføringsændringen er ikke kvantificeret, som gjort i denne rapport, og kan således ikke sammenlignes direkte med andre forbindelser.</i></p>
<p>Reviewer finder, at beregningerne af effekterne fra projekterne dokumenterer at effekterne er små, men</p>	<p>Tekst og forklaring er forbedret:</p>

Kommentar / spørgsmål	Svar
<p>også, at effekten på saltholdigheden af projekterne ikke er intuitivt forståelige.</p> <p>Beregningerne viser en lille stigning af saltholdigheden i mellemvandet i den centrale Østersø og bundvandet i Kattegat. Dette er overraskende (og i modstrid med den konceptuelle model), da det er åbenbart at saltholdigheden i Østersøen vil falde hvis gennemstrømningen mindskes signifikant som følge af indsnævring af de danske stræder. At MIKE3 beregner en lille stigning af saltholdigheden i tilfældet med en meget lille reduktion af gennemstrømningen er derfor overraskende.</p> <p>Rådgiver påpeger selv det overraskende resultat og forklarer det med en mindskelse af den lodrette nedblanding i Kattegat som følge af den mindskede vandføring (en mekanisme som ikke indgår i den konceptuelle model). Det er en mulig forklaring, men Reviewer anbefaler, at hypotesen understøttes med principielle beregninger, som dokumenterer at forklaringen er mulig.</p>	<p><i>Stigningen i bundlaget i Kattegat i 2019 skyldes en øget opblanding fra nedre til øvre lag forårsaget af forbindelserne, som bevirker en større turbulensproduktion i øvre lag. Den øgede opblanding giver en tilsvarende øget indstrømning i nedre lag fra Skagerrak, og dermed stiger saltholdigheden i nedre lag. Dette medfører, at saltholdigheden af det indstrømmende saltvand i bundlagene i Østersøen stiger lidt, hvilket ses at resultere i en øget saltholdighed under haloklinen i Gotlands Bassinet. Dette er et resultat, som ikke har været betragtet i tidligere undersøgelser, og som kun kan belyses, idet der benyttes en model af hele Østersøsystemet. I 2100 øges saltholdigheden i bundlaget i Kattegat yderligere pga. af mindre turbulensproduktion i nedre lag (dokumenteret vha. modellens resultater), som mindsker nedblandingen fra øvre til nedre lag. I Sund & Bælt (2025A) er de øgede saliniteter i nedre lag (~0,2 g/kg fra forbindelser og ~0,2 g/kg fra klimaændringer) også beregnet med den konceptuelle model.</i></p>
<p>Side 5, 2. afsnit.</p> <p>Det bør fremgå, at de beregnede reduktioner af vandføringen er beregnet med den lokale Langelands Bælt model og derfor vil være større end den faktiske reduktion.</p>	<p>Tekst er konkretiseret:</p> <p><i>For de undersøgte udformninger er vandføringsændringen (brutto) i Langelandsbælt i intervallet fra -1,21% til -0,19%, og salttransportændringer (brutto) fra -0,72% til -0,11%. Vandføringsændringerne er skaleret med ændringerne bestemt med modellen af Bælthavet.</i></p>
<p>Side 7, sidste afsnit:</p> <p>Den beregnede vandstandsstigning benævnes 'marginal', hvilket er rigtigt. Reviewer konkluderer, at den er ubetydelig set ud fra et kystsikringsperspektiv (den vil ikke give anledning til en ændret strategi eller indsats overfor stormflod).</p>	<p>Enig, korrekt. Marginalt benyttes gennem hele rapporten om noget der er småt.</p>
<p>Side 10: <i>De ændrede hydrografiske forhold forårsaget af forbindelserne forventes tilsvarende kun at have en marginal påvirkning af miljøet i Østersøen.</i></p> <p>Da Rådgiver generelt henviser den miljømæssige vurdering til den biologiske modellering, foreslås denne vurdering udeladt. Denne bemærkning gælder flere tilsvarende formuleringer i alle de kommenterede notater.</p>	<p>Tekst er ændret.</p> <p>Økologiske resultater er nu kun nævnt med to linjer i diskussionen.</p>
<p>Side 10: <i>Ændringerne fra forbindelserne er lidt større i scenariet med klimaændringer end i det uden klimaændringerne. Dette illustrerer, at påvirkningerne fra forbindelserne er robuste i den forstand, at de nær de samme med og uden klimaændringer.</i></p> <p>Foreslås ændret til: <i>"Ændringerne fra forbindelserne er ikke væsentligt forskellige i scenariet med klimaændringer sammenlignet med scenariet uden klimaændringerne. Dette illustrerer, at påvirkningerne fra forbindelserne er robuste i den forstand, at de nær de samme med og uden klimaændringer.</i></p>	<p>Teksten er forbedret.</p> <p>Den sidste foreslåede sætning er kopieret ind i rapporten.</p>
<p>Side 16 og 17, tabel 1.1 og tabel 1.2:</p> <p>Den nederste blok angives som: <i>2019 uden forb. & 2100 med forb.</i> Det må være "med" forbindelse i begge tilfælde.</p>	<p>Det skrevne i rapporten er korrekt.</p> <p>Denne blok angiver således de samlede ændringer med forbindelse og klimaændringer:</p> <p>Scenariet med forbindelser og klimaændringer (2100 med forb.) fratrukket scenariet uden forbindelser og klimaændringer (2019 uden forb.).</p>
<p>Side 37 nederst: <i>Det kan nævnes, at havnens strømningsmodstand i en tidligere rapport (KK & KDI,</i></p>	<p>Besvaret i tidligere kommentar:</p>

Kommentar / spørgsmål	Svar
<p>2009) er vurderet at være lille og uden betydning for gennemstrømningen i Øresund, dvs. at vandføringsændringen er meget lille.</p> <p>Som nævnt ovenfor mener Reviewer at det er muligt men ikke vist, men dette forhold har ikke betydning for konklusionerne i nærværende undersøgelse.</p>	<p>"Teksten er præciseret:</p> <p><i>I projektet betragtes kun undersøgte fremtidige projekter, hvilket Københavns Nordhavn falder uden for, da havnen er bygget. Den ses i den nordlige del af området på Figur 4-1.</i></p> <p><i>Havnens strømningsmodstand er i en tidligere rapport (KK & KDI, 2009) vurderet at være lille og uden betydning for gennemstrømningen i Øresund, dvs. at vandføringsændringen er lille. Vandføringsændringen er ikke kvantificeret, som gjort i denne rapport, og kan således ikke sammenlignes direkte med andre forbindelser."</i></p>
<p>Side 44, 2. afsnit: <i>De "naturlige niveauer" er baseret på hindcast modelberegninger (cirka år 1900) og historiske data dækkende perioden 1880-1970 (dvs. før store infrastruktur-projekter og nævneværdige klimaændringer).</i></p> <p>Er det rigtigt at betragte klimaet som værende uden nævneværdige ændringer før 1900? Som modeksempel kan nævnes "den lille istid" med et lokalt temperaturminimum i midten af 1800-tallet.</p>	<p>Teksten er forbedret.</p> <p>I stedet for blot "klimaændring" er der skrevet "menneskabt klimaændring".</p> <p>Det er også tidligt i rapporten tydeliggjort, at når vi i rapporten skriver klimaændring menes der generelt menneskabt klimaændring, og yderligere tydeliggjort, at der dermed menes klimascenarier fra "Intergovernmental Panel on Climate Change".</p>
<p>Side 7 nederst: <i>Disse ændringer er små, og skal ikke tillægges for stor betydning i lyset af usikkerhederne.</i></p> <p>Der henvises her og flere gange i rapporten til usikkerheden på beregningerne med MIKE3. Men, der er en forskel på usikkerhed ved måling og usikkerhed ved beregning med en deterministisk model som MIKE3. Usikkerheden på beregningen med MIKE3 er uhyre lille, hvorfor de beregnede forskelle ikke kan tilskrives beregningsusikkerhed, men en faktisk beregnet forskel som følge af forskellen i randbetingelser mellem de to beregninger.</p>	<p>Tekst er forbedret.</p> <p>Der er søgt på ordet "usikkerhed", og de steder, hvor der stod "usikkerhed" er teksten forbedret.</p>
<p>Figur 7.1 og 7.2:</p> <p>Det er interessant og overbevisende, at der kan ses små beregnede forskelle i overfladesaltholdigheden, som er konsistente med en den lille omlejring af udstrømningen fra Østersøen fra Storebælt til Øresund. Saltholdigheden falder svagt i Øresund og udstrømningen, som påvirkes af Corioliskraften, gennem Kattegat langs den svenske kyst bliver en smule mere markant. Resultatet er i overensstemmelse med de beregnede omlejringer af vandføringerne rapporteret i afsnit 7.7.</p>	<p>Enig.</p>
<p>Figur 7.7 og 7.14:</p> <p>Der er tale om meget markante fald i saltholdighed og stigende temperatur som følge af klimaændringerne.</p>	<p>Enig.</p> <p>Det vil påvirke forholdene i Østersøen markant!</p>
<p>Side 85, tredje afsnit fra neden:</p> <p>Rådgiver beskriver en lille stigning i bundvandet, som Reviewer har kommenteret ovenfor i afsnit om generelle kommentarer.</p>	<p>Der er givet en længere forklaring ved den første kommentar.</p>
<p>Side 85, næstsidste afsnit:</p> <p>Den beregnede effekt af Kattegatforbindelsen er interessant og overbevisende.</p>	<p>Enig.</p>
<p>Afsnit 7.6:</p> <p>Rådgiver gennemfører en sensitivitetstest, hvor afstrømningen fra land i klimascenariet 2100 halveres. Reviewer finder, at dette valg af scenarie forekommer tilfældigt. Hvorfor dette valg og ikke andre?</p>	<p>En forklaring er tilføjet:</p> <p><i>Fordampningen fra land (evapotranspiration) kan variere en del i fremtiden, for eksempel pga. ændret arealudnyttelse, hvilket ledte til en sensitivitetstest af afstrømningen fra land. En højere fordampning fra land mindsker afstrømningen til Østersøen. I sensitivitetstesten halveres øgningen i afstrømning. Med</i></p>

Kommentar / spørgsmål	Svar
	<i>den Globale Hydrologiske Model er øgning i afstrømning beregnet til 18,7%, hvilket i sensitivitetstesten mindskes til 9,4%.</i>
<p>Side 123 nederst: Rådgiver skriver at stabiliteten og blandingen ikke har været i fokus. Det gælder dog at arealerne under skillefladen, som er iltsvindstruede, vil være meget afhængig af skillefladens beliggenhed, stabilitet og blanding.</p>	<p>Sætningen er erstattet med (nu sidste linje i afsnittet): <i>Denne dynamik er inkluderet i den numeriske model af Østersøen og opløst i beregningerne.</i></p>
<p>Sammenfattende rapport, Figur 8.18 Den valgte sensitivitetstest forekommer ubegrundet set i lyset af figurens sandsynlighedsfordelingen for klimaudfald.</p>	<p>Se svar til Afsnit 7.6</p>

Rådgivers kommentarer til "Reviewrapport 2 Tårs" af Jacob Steen Møller, 2025.05.05

"Hydrografisk modellering, forudsætninger og metoder"

ID	Reference	Reviewers bemærkninger	Rådgivers svar
1	Konceptuel model, specifikt, side 46, afsnit 2	Det er ikke faldet i saltholdighed af bundvandet, som betinger indstrømning af bundvand, men alene den vindbetingende strømning hen over tærsklerne til Østersøen.	Indsat ny formulering: Indstrømmende saltvand fra Bælthavet vil indlejre sig i den dybde, hvor tyngden i Østersøens bundvand svarer til tyngden af det indstrømmende saltvand. Hvis den langsomme fortynding har foregået i lang tid, vil tyngden i bundvandet være forholdsvis lav og indstrømmende saltvand vil indlejre sig dybt. Udskiftning af dybdevandet kræver derfor en kombination af at bundvandet er relativt let, dvs. har en lav saltholdighed efter lang tids fortynding, og at det indstrømmende vand er meget tungt, dvs. har en høj saltholdighed.
2	Konceptuel model, specifikt, side 48, afsnit 2, sidste tre formler	Der er en slåfejl, at vandføringen benævnes 'C'	'C' er erstattet med 'Q', i alle tre formler.
3	Konceptuel model, specifikt, side 48, lige før 8.2.1	At den nedadrettede medrivning er betydelig, ses også ved direkte inspektion af data for saltholdigheden i bundlaget, som er faldende mellem hvert saltvandindbrud (figur 8.1).	Det er et godt forslag, og sætningen er tilføjet dokumentet.

4	Modellering af cirkulation i Østersøen med konceptuel model, generelt	Når man læser Rådgivers resultater (Ref. 10, 11, 12 og 13) er der en række henvisninger og formuleringer, som henviser til sammenligning af klimaeffekter med effekter af infrastrukturprojekterne. Reviewer noterer, at Rådgiver således ikke har fulgt Reviewers anbefaling om ikke at lægge vægt på denne sammenligning.	Rådgiver har forsøgt at perspektivere resultaterne. Sammenfatning To sætninger med direkte sammenligninger mellem klima- og projekteffekter er udgået. Tilpasninger er foretaget af tekst i afsnit 5.3.3 Sammenligning med resultater fra mekanistisk model.
5	Modellering af cirkulation i Østersøen med konceptuel model, specifikt. Afsnit 3.1:	Afsnittet adresserer Reviewers ønske fra Ref. 9 om diskussion af modelantagelser på en tilfredsstillende måde.	
6	Modellering af cirkulation i Østersøen med konceptuel model, specifikt. Side 7, bullit om Vind og afsnit 3.5:	Den konceptuelle model anvendes til at vurdere effekten af mulige klimabetingede ændringer af vinden. Det bemærkes, at diskussionen af vind i Ref. 12 konkluderer, at vinden ikke forventes at ændre sig signifikant i de valgte klimascenarier.	Følgende tekst er tilføjet: Selvom vindforholdene ikke forventes at ændre sig betydende, er usikkerheden på prognosen for vind betydende og bidrager dermed betydende til forventningsintervallet af prognosen for vind. Derfor er ændring af vindforhold inklusive udfaldsrum medtaget i den konceptuelle model. Afsnit 3.5: I indledningen er betydningen af spredningen på vindestimatet tydeliggjort
7	Modellering af cirkulation i Østersøen med konceptuel model, specifikt: Afsnit 5.2.4	Argumentation kan give det forkerte indtryk; at betydningen af projekterne er usikker eller ubetydelig, fordi den er lille i forhold til usikkerheden som følge af usikkerhed på klimaforudsætningerne.	De pågældende to sætninger er fjernet.
8	Modellering af cirkulation i Østersøen med konceptuel model, specifikt: Afsnit 5.2.5	” I dette afsnit beskrives tre statistiske tests, og der skrives: <i>Med baggrund i generelle statistiske metoder kan de dermed antages at effekten fra infrastrukturprojekterne ikke bidrager med en betydelig forskel i prognosen for år 2100 af Østersøens hydrografiske tilstand.</i> ”	Sætningen erstattes med: <i>Uafhængig af infrastrukturprojekternes mulige betydning viser alle tre statistiske tests, at prognosen for år 2100 er uafhængig af om effekterne fra infrastrukturprojekterne medtages i prognosen eller ej.</i> Begrundelsen for fordelingerne ensartethed stryges.

9	Modellering af cirkulation i Østersøen med konceptuel model, specifikt: Side 38 næst nederste afsnit:	<i>”Tre objektive statistiske test underbygger at forholdene i år 2100 ikke påvirkes betydende af infrastrukturprojekterne”</i> Er ikke rigtig	Sætningen ændres til: <i>” Tre objektive statistiske test underbygger, at prognosen for år 2100 ikke påvirkes betydende af om infrastrukturprojekterne medregnes i prognosen.”</i>
10	Modellering af cirkulation i Østersøen med konceptuel model, specifikt: Afsnit 5.3.3	Der er en uoverensstemmelse mellem de to modellers forudsigelse af effekten fra projekterne, idet saltholdigheden i den centrale Østersø overfladevand reduceres en smule i den konceptuelle model, hvilket er forventeligt under de givne modelforudsætninger, mens den stiger en anelse i MIKE3 beregningerne, hvilket ikke er intuitivt. Dette forhold ved MIKE3 beregningerne diskuteres i det næste afsnit om Ref. 12.	Der er indført en henvisning til nyt bilag C i dette afsnit. Bilag C omhandler en ny overslagsberegning af processer vedr. op- og nedadrettet medrivning i Bælthavet som ændres pga. klimaforandring og projekter. Disse processer er ikke en del af den konceptuelle model. Beregningerne tyder på, at MIKE modelleringen er den korrekte modellering. Ny tabel indsat)
11	Samme afsnit	Afsnittet afsluttes med en bemærkning om usikkerheden på beregningerne, som kan misforstås	Ordet usikkerhed er erstattet med begrebet bredde af forventningsinterval. Det er mere korrekt men også mere teknisk.

Bilag C Økologisk modellering, Afgrænsningsnotat

- › Fagligt notat (25. februar 2025)
- › Rådgivers svar

Koncept for miljøeffektvurdering af fremskudt havn ved Tårs

Forslag til indikatorer og sammenligningskriterier til brug for miljøeffektvurdering på Østersøskala

Forfatter: Karen Timmermann

Forord

Som en del af aftalen om Infrastrukturplan 2035, vedtaget den 28. juni 2021 blev det besluttet at igangsætte ”Analyse af strømforholdene ved fremskudt færgehavn ved Tårs”, som led i at skabe viden om og dokumentation for mulige effekter af et byggeri på både lokal og regional skala (centrale Østersø). Nærværende notat angiver forslag til, hvordan miljøeffekter i den centrale del af Østersøen forårsaget af fysiske konstruktioner i danske farvande kan vurderes. DHI og COWI har haft et tidligere udkast af notatet til kommentering. Notatets indhold og konklusioner er alene forfatterens ansvar.

Indledning

Kattegat, Bælthavet og Øresund udgør vandtransportvejen mellem Nordsøen og Østersøen. Større infrastrukturprojekter i disse farvande, som påvirker hydrografien lokalt (blokerings-effekt) kan derfor have afledte effekter på transporten af vand, salt og ilt til og fra Østersøen, hvilket igen kan påvirke hydrografien, vandmiljøet og biologien i Østersøen.

I forbindelse med tidligere marine infrastrukturprojekter i dansk farvand har der været krav om, at projekterne ikke måtte påvirke vandmiljøet i den centrale del af Østersøen. For at opfylde dette overordnede miljøkrav, blev ”nulløsnings” konceptet/metoden udviklet og benyttet, se for eksempel (Møller & Ottesen Hansen, 1988), (Farmer & Møller, 1990) og (Ottesen Hansen & Møller, 1990). Ideen bag nulløsningen er, at hvis forbindelserne ikke ændrer gennemstrømningsforholdene lokalt i Bælthavet og Øresund, da vil de ikke ændre forholdene i den indre Østersø (Ekspert notat).

For at sikre, at vandtransporten lokalt og samlet set forblev uændret, blev den øgede blokerings pga infrastrukturprojekterne kompenseres ved udgravninger tæt på projekterne.

Disse kompensationsafgravninger har imidlertid både en økonomisk og (lokal) miljømæssig omkostning og det er derfor muligt, at nulløsnings konceptet ikke er optimalt ift. at sikre miljø og rentabilitet i infrastrukturprojekterne i danske farvande.

Hidtil har det ikke været muligt at kvantificere effekter af øget blokeret på Østersøskala primært fordi der ikke har været dynamiske modeller med tilstrækkelig rumlig opløsning. I dag er der imidlertid udviklet modeller, som muliggør kvantificering af ændringer for de ”traditionelle” parametre, som indgår i vurdering af vandkvalitet - også på Østersøskala.

Østersøen betragtes i dag som et af verdens mest forurenede og forarmede økosystemer og særligt den centrale del af Østersøen (Fig. 2) er ramt af udbredt og permanent iltsvind, opblomstring af cyanobakterier og lav sigtbarhed. Derudover er Østersøtorsken på et historisk lavt niveau og vurderes som kritisk truet bl.a. som følge af de dårlige miljøforhold i Østersøen.

For at rette op på Østersøens forfatning er der internationalt fokus på indgreb og forvaltning, som på sigt vil forbedre tilstanden i Østersøen. Vandkvaliteten i den centrale del af Østersøen er forvaltet via Østersøhandleplanen, som Østersølandene (undtagen Polen og Rusland) har tilsluttet sig. I Østersøhandleplanen er der opstillet målkriterier for en række parametre som klorofyl, iltkoncentration og secchidybde og der er fastlagt indsatsplaner til regulering af særligt kvælstof og fosforudledninger, som skal lede til målopfyldelse. Udover Østersøhandleplanen er også Havstrategidirektivet gældende for Østersøen. Dette direktiv dækker bredere end vandkvalitet, men er endnu ikke fuldt implementeret og der er endnu ikke udviklet mål og indikatorer. Vandkvaliteten i Østersøens kystvande forvaltes via Vandrammedirektivet og her er nationalt lovfastsatte miljømålsætninger og indikatorer.

Der er stort internationalt fokus på at forbedre Miljøtilstanden i Østersøen og en opmærksomhed på projekter, som kan medføre en forringelse af tilstanden. Infrastrukturprojekter i danske farvande medfører en potentiel risiko for at miljøtilstanden kan blive forværret i den centrale del af Østersøen, idet små reduktioner i vandgennemstrømningen og transporten af salt og ilt i de danske farvande potentielt kan medføre (små) ændringer i negativ retning for økologisk relevante parametre på en rumlig skala, som omfatter hele den centrale Østersø.

De komplekse sammenhænge mellem ændringer i vandtransport og resulterende ændringer i hydrografi og vandmiljø på Østersøskala vanskeliggør imidlertid miljøkonsekvensvurderinger.

Dette notat indeholder forslag til indikatorer og sammenligningskriterier, som kan understøtte en vurdering af miljøkonsekvenser for den centrale Østersø ved anlæg af infrastrukturprojekter i indre danske farvande.

Koncept for effektivvurdering

Effektivvurderingen bygger dels på en række miljøkvalitets indikatorer, som er målsat i Østersøhandleplanen og dels på indikatorer, som vurderes at være relevante ift. den økologiske funktion af Østersøen.

Effekter af en blokering i danske farvande kvantificeres derefter ud fra modelberegnete ændringer i de foreslåede indikatorer.

Potentielle ændringer i indikatorværdier, som følge af øget blokering, vil derefter blive sammenholdt med foreslåede "sammenligningskriterier", hvor en kvantificeret effekt på de valgte indikatorer relateres til miljømålskrav i Østersøhandleplanen eller andre forvaltningsmæssige tiltag, som kan bidrage til at udligne en effekt af øget blokering. Herved bliver det muligt at sammenligne "nul-løsningen", hvor der tilstræbes at undgå ændringer i Østersøen, med en løsning, hvor potentielle ændringer i Østersøen neutraliseres/udlignes af andre forvaltningsmæssige tiltag.

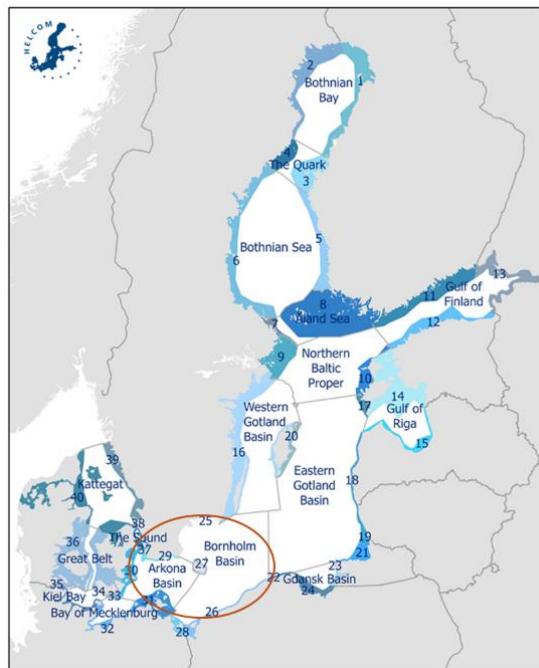
Der vil ikke blive udviklet eller foreslået "no impact" kriterier eller såkaldte bagatel grænser. Dette skyldes manglende empirisk dokumentation for betydningen af marginale ændringer i vandgennemstrømning for de fysiske og biologiske forhold på østersøskala, herunder kumulerede effekter af forskellige presfaktorer.

Figur 1: Koncept til vurdering af miljøeffekter i Østersøen som følge af infrastrukturprojekter i danske farvande



Fokus vil være på den centrale del af Østersøen, som i Helcom benævnes hhv. Arkona bassinet og Bornholms bassinet.

Figur 2: Oversigt over de 19 bassiner i Østersøen, som er forvaltningsenheder i Østersøhandleplanen. Arkona og Bornholms bassinet, som her er i fokus, er markeret med cirkel.



Forslag til indikatorer

Infrastrukturprojekter i danske farvande kan potentielt påvirke hydrodynamikken og dermed vandkvaliteten i Østersøen. Miljøindikatorer er et ofte anvendt redskab til at understøtte miljøeffektvurderinger og anvendes i eksisterende EU miljødirektiver til kvantificering af status for miljøkvalitet, miljømål og fastlæggelse af tilhørende indsatsprogrammer. Her foreslås en række miljøindikatorer, som kan understøtte en miljøeffektvurdering af infrastrukturprojekter i danske farvande.

Kriterier for valg af indikatorer

Valget af indikatorer til brug for konsekvensvurdering er her baseret på følgende kriterier:

- Økologisk relevans: Indikatoren skal kunne relateres til økosystemets struktur og funktion
- Videnskabeligt dokumenteret: Indikatoren skal dokumenterbart variere forudsigeligt, som følge af ændringer i miljøtilstand og/eller ændringer i en eller flere presfaktorer
- Kvantificerbar: Indikatoren skal kunne kvantificeres ved brug af økologiske modeller, hvilket muliggør scenariekørsler

I dette projekt er der alene fokus på åbent vand i den centrale/vestlige del af Østersøen, hvorfor indikatorer for kystnære og lavvandede områder ikke medtages.

Helcom core-indicators

Vandkvaliteten i de åbne dele af Østersøen er forvaltet via Østersøhandleplanen (HELCOM), som landene omkring Østersøen har tilsluttet sig. Danske infrastrukturprojekter, som påvirker vandkvaliteten i Østersøen kan derfor potentielt gøre det vanskeligere (eller nemmere) at opnå miljømålene i Østersøen.

I Østersøhandleplanen opereres med såkaldte "core indicators" for vandkvalitet, som Østersølandene også skal tilslutte sig, før de bliver gældende. For at sikre international forståelse for -og accept af – miljøeffektvurderinger foreslås derfor, at der anvendes samme indikatorer og miljømål som i Østersøhandleplanen. Herved sikres også, at indikatorerne er økologisk relevante og videnskabeligt dokumenterede og accepterede.

Helcoms "Core indicators" som anvendes til vurdering af status for vandkvalitet i Østersøen og som foreslås anvendt til vurdering af effekter af infrastrukturprojekter udgøres af:

- Sommer (juni-sept) klorofylkoncentration
- vinter (dec - feb) DIN koncentration
- vinter (dec - feb) DIP
- secchi dybde
- iltgæld (kun for bassiner med permanent lagdeling), defineret som den manglende ilt relativt til fuld mætning

Helcom opererer med yderligere "core indicators", fx TN, TP og bundfauna, som her udelades da de er delvist overlappende med andre "core indicators" eller ikke umiddelbart kan kvantificeres af en økologisk model.

Hver "core indicator" har fastlagte målkriterier og der er indsatsplaner til regulering af særligt kvælstof og fosforudledninger, som skal lede til målopfyldelse.

De overordnede miljømål for vandkvaliteten i Østersøhandleplanen er:

- Næringsstofkoncentrationer tæt på naturlige niveauer
- Klart vand
- Naturlig niveau for algeopblomstringer
- Naturlige iltniveauer

De "naturlige niveauer" anvendt som grundlag for fastlæggelse af miljømålene i Østersøhandleplaner er baseret på hindcast (ca år 1900) modelberegninger og historiske data dækkende perioden 1880-1970. Dvs de "naturlige niveauer" i Østersøhandleplanen reflekterer en situation, hvor klimaforandringerne ikke er slået igennem i havmiljøet og uden blokeringer i de danske farvande.

Grænseværdierne, der adskiller målopfyldelse fra ikke-målopfyldelse for centrale "core indicators" i den centrale Østersø fremgår af tabel 1.

Tabel 1: Miljømål og statusværdier for udvalgte Helcom "core-indicators" i den centrale Østersø (Arkona bassinet og Bornholms bassinet). Det foreslås at disse indikatorer anvendes ved miljøkonsekvensvurdering af øget blokering i danske farvande.

Indikator	Arkona bassinet		Bornholms bassinet	
	Miljømål	Status	Miljømål	Status
Klorofyl (ug/L)	1.8	2.29	1.55	2.37
DIN (umol/L)	2.9	3.8	1.8	4.16
DIP (umol/L)	0.36	0.6	0.28	0.71
Sigtdybde (m)	7.2	6.1	7.1	6.3
Iltgæld (mg/L)	-	-	8.66	13.29

Hvis status værdien for en indikator forringes, betyder dette, at der skal laves flere forvaltningsmæssige tiltag (i praksis større næringsstofreduktioner), så miljømålet opnås. Det er uklart om miljømålene i fremtiden justeres, som følge af klimaændringer, ligesom det er uklart om miljømålene ville kunne ændres, hvis de hydrografiske forhold ændres. Dette ville i så fald kræve en politisk beslutning af landende omkring Østersøen.

Supplerende indikatorer

Cyanobakterier

Udover de udvalgte Helcom core-indicators foreslås konsekvensanalysen suppleret med en indikator for cyanobakterie opblomstringer. Cyanobakterier har afgørende betydning for vandkvaliteten og næringsstoffodynamikken i de centrale og sydlige dele af Østersøen (Conley et al., 2013). Cyanobakterie opblomstringer i Østersøen er primært styret af forfor overskud og derudover afhængig af lav salinitet, samt varme og stille vejrforhold. Det kan ikke udelukkes at ændret vand- og salttransport til Østersøen potentielt kan påvirke frekvens og/eller omfang af cyanobakterieopblomstringer og derfor kan en indikator for cyanobakterier inkluderes i effektvurderinger.

Østersøtorske

Østersøtorsken er på et historisk lavt niveau pga multiple presfaktorer (fiskeri, miljøforhold, predation, parasitter osv). En af de parametre, som dokumenterbart har indflydelse på rekruttering af torske, er torskens reproduktive volumen (MacKenzie et al., 1996; Heikinheimo, 2008; Plikshs et al., 2015). Det reproduktive volumen kan beregnes som det vandvolumen, hvor ilt koncentrationen > 2 mg/L, temperaturen > 1,5 °C og saliniteten > 11 ‰. Dette volumen bliver i dag brugt som indikator i f.eks ICES og Copernicus.

Sammenligningskriterier

Den store udfordring for vandkvaliteten i den centrale Østersø er udledninger af særligt fosfor, men også kvælstof og opnåelse af miljømålene sker derfor gennem Østersøhandleplanen, som skal reducere udledninger af næringsstoffer til Østersøen.

Ændringer i en vandkvalitetsindikator, som følge af f.eks øget blokering i danske farvande kan derfor oversættes til eller sammenlignes med den kompenserende reduktion i udledning af næringsstoffer, hvilket igen kan omsættes til ændret arealpraksis eller forbedret vandrensningsteknologi på land.

Det foreslås derfor, at ændringer i en eller flere vandkvalitetsindikatorer, som følge af en øget blokeringseffekt transformeres til en reduktion i udledningen af næringsstoffer fra landende omkring den centrale Østersø.

I princippet ville denne transformering alligevel ske, når Østersøhandleplanerne opdateres idet miljømålene er faste og vedtaget af landende omkring Østersøen. Det er imidlertid uklart om og hvordan transformeringen sker i praksis.

Klimaforandringerne forventes også at påvirke indikatorerne for vandkvalitet i negativ retning og derfor er det en udtalt målsætning, at Østersøhandleplanen skal bidrage til at gøre Østersøen mere resilient overfor klimaforandringer og det er endnu uklart om Helcom (Havstrategidirektivet) på sigt vil justere miljømålene, så man sigter efter en potentielt ringere miljøtilstand eller om indsatskravene for næringsstoffer forventes at kompensere for klimaforandringer.

I de eksisterende ”vanddirektiver”, dvs habitatdirektivet, vandrammedirektivet og havstrategidirektivet er der endnu ikke taget stilling til evt. håndtering af effekter af klimaforandringer.

Nedgang i torskens reproduktive volumen for bestanden af Østersøtorske kan mest direkte udlignes ved en reduktion i (bi)fangstkvoter. Indirekte kan det reproduktive volumen øges ved reduktion i næringsstoffer, som vil forbedre iltforholdene.

Oversigt over indikatorer og sammenligningskriterier

De foreslåede indikatorer og metoder til at sammenligne - og evt udligne - potentielle miljøeffekter er skitseret i nedenstående skema. Sammenligningskriterierne gør det muligt, at sammenligne de økologiske og økonomiske effekter af en ”nul-løsning”, hvor der tilstræbes at undgå ændringer i Østersøen, med en løsning, hvor potentielle ændringer i Østersøen neutraliseres/udlignes af andre forvaltningsmæssige tiltag.

Tabel 2: Oversigt over foreslåede indikatorer til miljøeffektvurdering samt metoder til at udligne en evt effekt på indikatorerne. Modelberegninger kan anvendes til kvantificering af næringsstofreduktioner, som udligner en blokerings effekt for den enkelte miljøindikator.

Miljø Indikator	Sammenligning/udligning af effekt
Øget Klorofyl ($\mu\text{g/L}$)	Reduktion i næringsstofudledning
Øget DIN ($\mu\text{mol/L}$)	Reduktion i næringsstofudledning
Øget DIP ($\mu\text{mol/L}$)	Reduktion i næringsstofudledning
Reduceret sigtddybde (m)	Reduktion i næringsstofudledning
Øget Iltgæld (mg/L)	Reduktion i næringsstofudledning
Øget Cyanobakterier ($\mu\text{mol/L}$) eller areal?	Reduktion i næringsstofudledning (?)
Reduktion i torskens reproduktive volumen (m^3)	Reduktion i (bi)fangstkvote og reduktion i næringsstofudledning

Rådgivers kommentarer til udkast af "Reviewrapport Tårs" af Karen Timmermann, 2025.02.25

"Koncept for miljøeffektvurdering af fremskudt havn ved Tårs - Forslag til indikatorer og sammenligningskriterier til brug for miljøeffektvurdering på Østersøskala"

ID	Reference	Reviewers bemærkninger	Rådgivers svar
1	Notat generelt	Blokering/blokerings effekt	I overensstemmelse med de dokumenter, der ligger til grund for det foretagne review bedes du bruge "påvirkning af vandgennemstrømningen" eller evt. "strømreduktion".
2	Side 3, figur 1	Figur 1: Koncept til vurdering. Beregning af tiltag (næringsstofreduktioner) der kan udligne effekt på miljøindikatorniveau	<p>Det planlagte analysearbejde omfatter modellering og kvalitativ vurdering af, om de betragtede infrastrukturprojekter, gør det vanskeligere eller nemmere, at opnå miljømålene i de forskellige dele af Østersøen.</p> <p>Nævnte beregning ligger således uden for rammerne af det planlagte analysearbejde.</p> <p>Hvis en konkret vurdering af et infrastrukturprojekt konkluderer, at projektet gør det vanskeligere at nå miljømålene i dele af Østersøen, vil en beregning af næringsstofækvivalenter/næringsstofreduktioner, der kan udligne effekter på miljøindikatorniveau, betragtes som relevant for vurderingen.</p>

3	Side 4, figur 2	Figur 2: Oversigt over de 19 bassiner i Østersøen, som er forvaltningsenheder i Østersøhandleplanen. Arkona og Bornholms bassinet, som her er i fokus, er markeret med cirkel.	Fokusområdet i Østersøen er først og fremmest Gotland Bassinet og derudover også Bornholmer Bassinet.
4	Side 6	Østersøtorsk	De reproduktive forhold og det samlede reproduktive volumen for torsken i Østersøen er naturligt dynamiske og foranderlige over tid, hvilket påvirker torskens observerede reproduktive adfærd i Østersøen. Med dette in mente vil det planlagte analysearbejde for udvalgte dele af Østersøen foretage beregninger af nævnte indikator for torskens reproduktive volumen ud fra de foreslåede kemiske og fysiske parametre.
5	Side 7	Sammenligningskriterier: <i>Det foreslås derfor, at ændringer i en eller flere vandkvalitetsindikatorer, som følge af en øget blokerings effekt transformeres til en reduktion i udledningen af næringsstoffer fra landende omkring den centrale Østersø.</i>	Der henvises til rådgivers svar på reviewers bemærkning ID 2.
6	Side 8	Oversigt over indikatorer og sammenligningskriterier Tabel 2: Oversigt over foreslåede indikatorer til miljøeffektvurdering samt metoder til at udligne en evt effekt på indikatorerne. Modelberegninger kan anvendes til kvantificering af næringsstofreduktioner, som udligner en blokerings effekt for den enkelte miljøindikator	Der henvises til rådgivers svar på reviewers bemærkning ID 2.

Bilag D Økologisk modellering, Resultater/Vurderinger

- › Fagligt review med kommentarer i rapporten (24. april 2025)
- › Rådgivers svar

SUND OG BÆLT

UNDERSØGELSE AF FREMSKUDT FÆRGEHAVN VED TÅRS

ØKOLOGISK MODELLERING

ADRESSE COWI A/S
Parallelvej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00
FAX +45 56 40 99 99
WWW cowi.dk

INDHOLD

1	Sammenfatning	3
1.1	Baggrund	3
1.2	Økologisk påvirkning af Østersøen	4
2	Indledning	65
2.1	Formål	65
2.2	Indhold og baggrund	65
3	Økologisk model	87
3.1	Indledning	87
3.2	Modellen	98
3.3	Infrastrukturprojekter	1110
3.4	Parametrisering i den regionale model	1311
3.5	Klimaændringer	1311
4	Forudsætninger og konsekvenser	2120
4.1	Introduktion	2120
4.2	Infrastrukturprojekter	2120
4.3	Klimaændringer	2321
4.4	Sensitivitetstest	2421
4.5	År 2019	2421
4.6	Vurdering af resultater	2726
5	Økologisk påvirkning af Østersøen	3029
5.1	Baggrund	3029
5.2	Helcoms "Core indicators"	3130
5.3	Supplerende indikatorer	4948
5.4	Sensitivitetstest	6661

PROJEKTNR. DOKUMENTNR.
A258774 HYD-RAP-03

VERSION	UDGIVELSESDATO	BESKRIVELSE	UDARBEJDET	KONTROLLERET	GODKENDT
0.1	28 mar. 2025	Økologisk modellering	MBI/FLJ/RMC	AER/NGR	JJU

5.5	Samlet betragtning af økologisk påvirkning	6665
6	Diskussion	6766
6.1	Infrastrukturprojekter og klimaændring	6766
6.2	Opholdstid og miljøforhold i Østersøen og forsinkelse i signal	6867
6.3	Miljømål for Østersøen	6968
7	Referenceliste	7069

BILAG

Bilag A	Begrænsende faktorer for torskens reproduktive volumen
---------	---

1 Sammenfatning

1.1 Baggrund

Projektet "Undersøgelse af fremskudt færgehavn ved Tårs" udføres for Sund og Bælt af COWI, DHI og Force Technology.

Formålet med projektet er at undersøge udformningen af den fremskudte havn og dens hydrografiske påvirkning lokalt i Langelandsbælt og i Bælthavet, samt den fremskudte havns og andre udvalgte infrastrukturprojekters og klimaændringers samlede påvirkning af hydrografen og økologien i Østersøen.

Denne rapport fokuserer på de kumulerede effekter af udvalgte infrastrukturprojekter for Østersøens havmiljø i et nuværende (repræsenteret ved år 2019) og fremtidigt (år 2080-2100) klima. Endvidere belyses miljøeffekter af klimaforandringer uden nye infrastrukturprojekter.

De udvalgte infrastrukturprojekter, der er inkluderet i denne undersøgelse, er:

- Stormflodssikring af hovedstaden (SH), hvor det væsentligste bidrag er fra Lynetteholm, som er miljøvurderet og vedtaget ved anlægsløb. Perimeteren for Lynetteholm planlægges færdig i 2026
- Østlig Ringvej, som er under miljøvurdering
- Als-Fyn forbindelsen, som forundersøges
- Fremskudt færgehavn ved Tårs, hvor der gennemføres supplerende hydrografiske analyser
- Kattegatforbindelsen, som har gennemgået en indledende forundersøgelse

Klimascenariet, der undersøges, er SSP2-4.5 i perioden 2081-2100 (benævnes og betragtes som 2100). De overordnede undersøgte klimaændringer er (detaljer for alle undersøgte klimaændringer indeholdes i rapporten):

- En vandstandsstigning på +0,5 m i Skagerrak
- En vandtemperaturstigning på +1,5°C i Skagerrak
- En middel nedbørsstigning på +11% i Østersøområdet
- En middel afstrømningsøgning på +19% til Østersøen
- En middel afstrømningskorrigeret næringsstofftilførsel på +19% til Østersøen.

Til belysning af effekter af infrastrukturprojekter og klimaændringer på havmiljøet i Østersøen er der udført fire model scenarier med MIKE 3D regionale Østersømodel:

Udover modelscenarier udføres også sensitivitetstest til belysning af ...

Fokus i studiet er således at få de økologiske ændringer, der skyldes infrastrukturprojekter og klimaændringer, til at fremstå klart.

Commented [KT1]: Her er formål med projektet beskrevet, men ikke formålet med denne rapport. Har forsøgt at præcisere formål med rapporten nedenfor (altså som jeg synes formålet bør være 😊).

Commented [KT2]: Afstrømningskorrigeret ift. nuv. afstrømning? Dvs både øget konc. og øget afstrømning? Det giver en betragtelig øget load i fremtidsscenarioet eller har jeg misforstået?

Commented [MB3R2]: Nej. Nutids koncentration og øget afstrømning

Commented [KT4]: Nævn kort scenarierne anvendt i rapporten

Commented [KT5]: Result af sensitivitetstests nævnes under sammenfatningens resultat afsnit og derfor bør de også kort nævnes her.

Ændringer af de økologiske forhold i Østersøen, der skyldes de undersøgte infrastrukturprojekter og klimaændringer, er vist og beskrevet i denne rapport baseret på simuleringer med en 3D numerisk model af hele Østersøen og Skagerrak.

~~Både infrastrukturprojekter og klimaforandringer medfører i sig selv betragtes ændringerne af de hydrografiske forhold, som kan påvirke de økologiske forhold i Østersøen. I denne rapport fokuseres alene på de økologiske effekter af de hydrografiske ændringer og ikke de hydrografiske ændringer i sig selv, ikke som af afgørende betydning. Derimod betragtes det som afgørende, hvorledes disse ændringer påvirker miljøet i Østersøen. For eksempel vil en stigning af vandtemperaturen bevirke et mindre iltindhold og et hurtigere forbrug af ilt i havvandet, og altså et skift mod iltfattigere forhold i bundlagene i Østersøen. Det afgørende for Østersøen er således de mere iltfattige forhold og ikke temperaturstigningen i sig selv. Derfor vurderes de hydrografiske ændringer ikke at have afgørende betydning for vurderingen af påvirkningen på Østersøen i sig selv. De hydrografiske ændringer beskrives i en parallel rapport, der omhandler hydrografen i Østersøen (Sund & Bælt, 2025A).~~

1.2 Økologisk påvirkning af Østersøen

Den regionale 3D numeriske model af Østersøen og Skagerrak anvendes til at beskrive den kumulative effekt på Østersøen fra den fremskudte færgehavn ved Tårs og andre udvalgte større infrastrukturprojekter, samt klimaændringerne i det valgte klimascenarie.

~~Det findes, at de økologiske forhold (klorofyl og næringsstoffer) ikke påvirkes af de undersøgte infrastrukturprojekter, hverken i et nutidigt eller fremtidigt klima. Torskens reproduktive volumen ser ud til at blive marginalt forbedret af infrastrukturprojekter. Klimaændringerne påvirker i udpræget grad havmiljøet i Østersøen og resulterer bla i øget klorofyl og næringsstofkoncentrationer og væsentligt ringere iltforhold.~~

~~Det findes, at de økologiske forhold (klorofyl, næringsstoffer, sigtdybde, ilt, cyanobakterier og torskens reproduktive volumen) i Østersøen overordnet set påvirkes betydeligt mere af de undersøgte klimaændringer end af de undersøgte infrastrukturprojekter.~~

Påvirkningen fra klimaændringer på økologien er betydelig - de ændrede økologiske forhold er af en størrelse, der vil kunne måles og dokumenteres i fremtidige monitoreringsprogrammer. De ændrede økologiske og hydrografiske forhold forårsaget af klimaændringerne forventes at have en betydelig påvirkning på miljøet i Østersøen. En væsentlig hydrografisk ændring er vandtemperaturstigningen, som vil bevirke et mindre iltindhold og et hurtigere forbrug af ilt i havvandet, altså et skift mod iltfattigere forhold i bundlagene i Østersøen, hvilket bl.a. vil medføre en reduktion i torskens reproduktive volumen. Endvidere vil vandtemperaturstigningen medføre øget dominans af cyanobakterier i Østersøens fytoplankton samfund, hvilket vil facilitere øget fiksering af atmosfærisk kvælstof. Dette vil, i samspil med en potentiel øgning i næringsstofftilførsler, medføre øget pelagisk primærproduktion og forstærke skiftet mod iltfattigere forhold i bundlagene i Østersøen yderligere. De ændrede hydrografiske forhold

Commented [KT6]: Jeg forstod ikke helt det med at hydrografiske ændringer i sig selv er uvigtige/uden afgørende betydning. Hydrografiske ændringer er tæt koblet til ændringer i miljø/økologi, som er det vi er interesseret i 😊 Har forsøgt med omformulering.

Commented [KT7]: Forbedring i RPV pga infrastruktur underer mig. Det bør nok undersøges/underbygges.

Commented [KT8]: Det er ikke biologisk eller juridisk meningsfuldt, at relativere nutidig påvirkning fra infrastruktur med effekt af fremtidige klimaforandringer. Kom gerne med et argument for relevans af sammenligningen. Har forsøgt med alternativ formulering ovenfor.

forårsaget af klimaændringerne er kvantificeret i den parallelle hydrografiske rapportering (Sund & Bælt, 2025A).

Påvirkningen fra forbindelserne på økologien og miljøforholdene er marginale. De ændrede økologiske forhold fra forbindelserne, som overvejende repræsenteres af meget små positive ændringer, er af en så marginal størrelse, at ændringen ikke forventes at kunne måles og dokumenteres i fremtidige monitoreringsprogrammer. Øgning i f.eks. klorofylkoncentrationer og næringsstof i Østersøbassiner, skal forventeligt kompenseres af næringsstoffreduktioner, således at politisk vedtagne miljømål opnås.

Overordnet viser 2100-sensitivitetstesten med den halve afstrømning og tilsvarende næringsstofftilførsel en intermedieær respons på de eutrofieringsrelaterede indikatorer (klorofyl, næringsstoffer, sigtdybde) sammenlignet med scenariet med forøgelse i afstrømning (og tilførsler) til Østersøen på +19%. Cyanobakterier og ilt i bundvandet viser dog en svagere respons, da disse indikatorer i højre grad er temperaturfølsomme, og temperaturen som nævnt ikke er ændret i sensitivitetstesten. Miljøhandleplanen for Østersøen indeholder endnu ikke en strategi for håndtering af klimaændringer og de afledte effekter for miljøforhold i Østersøen.

Commented [KT9]: beskriv gerne retning af ændringer (højere/lavere) og evt hvor. Dernæst at de vurderes som "marginale" (hvilket er en subjektiv vurdering, med mindre man har en objektiv og relevant vurderingsskala). Monitoringsprogrammer er ikke super et relevant vurderingskriterie idet mulighed for at detektere effekt og ændringer over år afhænger af målefrequens, tæthed og antal år. Såfremt der måles i flere år, kan (små) trends detekteres, selv med store år-til-år variationer.

Commented [KT10R9]: Miljømål og handlepligt i Østersøhandleplan er den mest relevante skala at vurdere miljøeffekter på (har indført lille afsnit om dette)

Commented [KT11]: Skriv kort om sensitivitetstest ved scenariebeskrivelsen i forrige afsnit (afsnit 1.1), så læseren ikke overraskes.

Commented [KT12]: Men effekter må gå i hver sin retning, da der er tale om hhv. reduktion (på 50%) og øget (2*19%) N og P load? Beskriv retning af ændringer.

Commented [MB13R12]: Se forklaring på analysen ovenfor

2 Indledning

2.1 Formål

Projektet "Undersøgelse af fremskudt færgehavn ved Tårs" udføres for Sund og Bælt af COWI, DHI og Force.

Formålet med projektet/studiet er at undersøge udformningen af den fremskudte havn og dens hydrografiske påvirkning lokalt i Langelandsbælt og i Bælthavet, samt af den fremskudte havn og andre udvalgte infrastrukturprojekters og klimaændringers samlede påvirkning af hydrografen og økologien i Østersøen.

Denne rapport fokuserer på de kumulerede effekter af udvalgte infrastrukturprojekter for Østersøens havmiljø i et nuværende (repræsenteret ved år 2019) og fremtidigt (år 2080-2100) klima. Endvidere belyses miljøeffekter af klimaforandringer uden nye infrastrukturprojekter.

Fokus i studiet er således, at få ændringerne forårsaget af infrastrukturprojekter og klimaændringer på Østersøniveau til at fremstå klart; og dermed ikke at beskrive økologien i Østersøen gennem mange år.

2.2 Indhold og baggrund

Denne rapport beskriver:

- Opsætningen af den økologiske model benyttet til studiet, herunder randbetingelser og hvorledes disse ændres pga. betragtede forbindelser, klimaændringer, og valgte scenarier; og
- Giver dernæst en præsentation og analyse af de økologiske resultater, hvor fokus ikke mindst er på, hvorledes de økologiske forhold i Østersøen ændres af forbindelser og klimaændringer.

Der er i projektet skrevet flere notater, som danner baggrund for denne rapport:

1. Ekspertnotat, som giver en detaljeret beskrivelse af de hydrografiske og økologiske forhold i Østersøen, og som på baggrund af eksisterende viden vurderer den forventede påvirkning af planlagte forbindelser og klimaændringer på Østersøen (Sund & Bælt, 2024C).
2. Afgrænsningsnotat, som beskriver analyserne, der skal gennemføres i studiet, herunder hvilke økologiske forhold der skal belyses (Sund & Bælt, 2024D).
3. Forudsætningsnotat, som analyserer og beskriver de forbindelser der skal betragtes og de forventede klimaændringer (Sund & Bælt, 2024E).

Det er forsøgt at skrive denne rapport kort uden at gentage den fulde baggrundsinformation i disse tre notater, men stadig at give netop tilstrækkelig information til, at rapporten kan læses selvstændigt.

De udvalgte infrastrukturprojekter, der er inkluderet i denne undersøgelse, er:

Commented [KT14]: Her beskrives formål med det samlede projekt og ikke formålet med denne rapport/studie? Har forsøgt med formulering af formål med dette studie/rapport.

Commented [KT15]: Menes samlede påvirkning af infrastruktur + klima? Eller påvirkning fra hhv infrastruktur og klima?

Commented [MB16R15]: begge

- Stormflodssikring af hovedstaden (SH), hvor det væsentligste bidrag er fra Lynetteholm
- Østlig Ringvej
- Als-Fyn forbindelsen
- Fremskudt færgehavn ved Tårs
- Kattegatforbindelsen

Klimascenariet, der betragtes, er SSP2-4.5 i perioden 2081-2100 (benævnes og betragtes som 2100).

Til vurdering af påvirkningen fra infrastrukturprojekter og klimaændringer på Østersøen betragtes og sammenholdes fire scenarier:

- Referencescenarie ("år 2019 uden forbindelser"), dvs. uden den fremskudte havn og de udvalgte større infrastrukturprojekter og uden klimaændringer
- Scenarie ("år 2019 med forbindelser"), dvs. med den fremskudte havn og de udvalgte større infrastrukturprojekter og uden klimaændringer
- Scenarie ("år 2100 uden forbindelser"), dvs. uden den fremskudte havn og de udvalgte større infrastrukturprojekter og med klimaændringer
- Scenarie ("år 2100 med forbindelser"), dvs. med den fremskudte havn og de udvalgte større infrastrukturprojekter og med klimaændringer.

De udførte beregninger og analyser er i rapporten præsenteret understøttet af figurer og analyser.

I studiet benyttes der også en videreudviklet konceptuel model, som beskriver middelforholdene for hydrografien (saltholdighed i øvre og nedre lag og skillefladens dybde) i Østersøen. Den konceptuelle model og resultaterne fra den er præsenteret i Sund & Bælt (2024F og 2025A). Den konceptuelle model benyttes til at beregne de hydrografiske ændringer i Østersøen for flere klimascenarier og med usikkerhedsintervaller, og giver således uafhængige supplerende beregninger af de hydrografiske ændringer forårsaget af de betragtede infrastrukturprojekter og klimaændringer. Denne model og resultater fra den er ikke berørt i detaljer i denne rapport.

Commented [KT17]: Beskrivelse af scenarier kan med fordel også indgå i sammenfatningen. Har angivet forslag til hvor det kan indsættes.

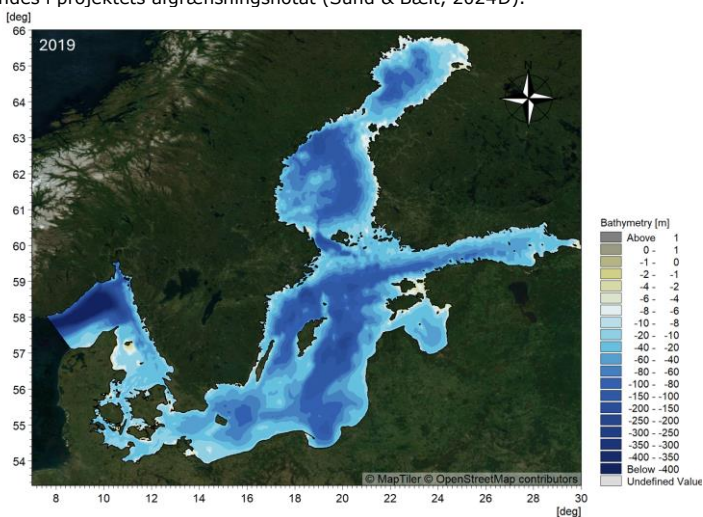
3 Økologisk model

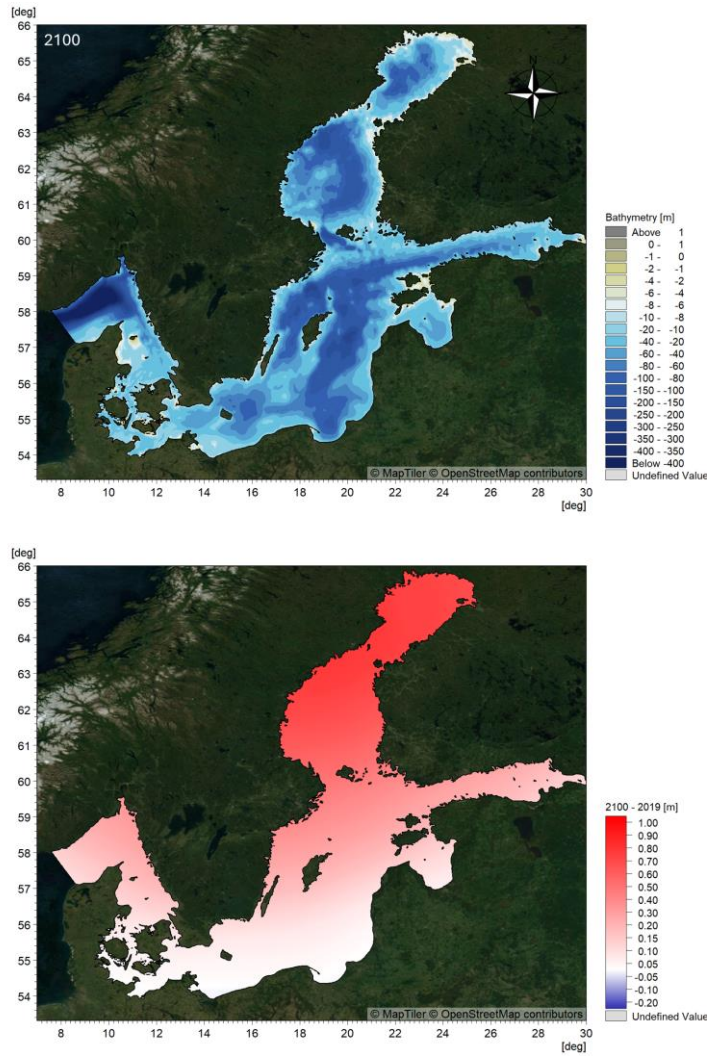
3.1 Indledning

En hydrografisk og en økologisk regional model er sat op og dækker Østersøen:

- Regional model, se [Figur 3-1](#) [Figur 3-1](#).
Den benyttes til vurdering af:
 - Strømningsmodstand fra infrastrukturprojekter
 - Klimaeffekter
 - Miljøforhold i Østersøen

En mere detaljeret beskrivelse af, hvad modellen benyttes til at vurdere, kan findes i projektets afgrænsningsnotat (Sund & Bælt, 2024D).





Figur 3-1 Østersøens område og batymetri. Øverst: 2019, midten: 2100 med land/havbundshævninger og nederst: Forskel i batymetri mellem 2100 og 2019.

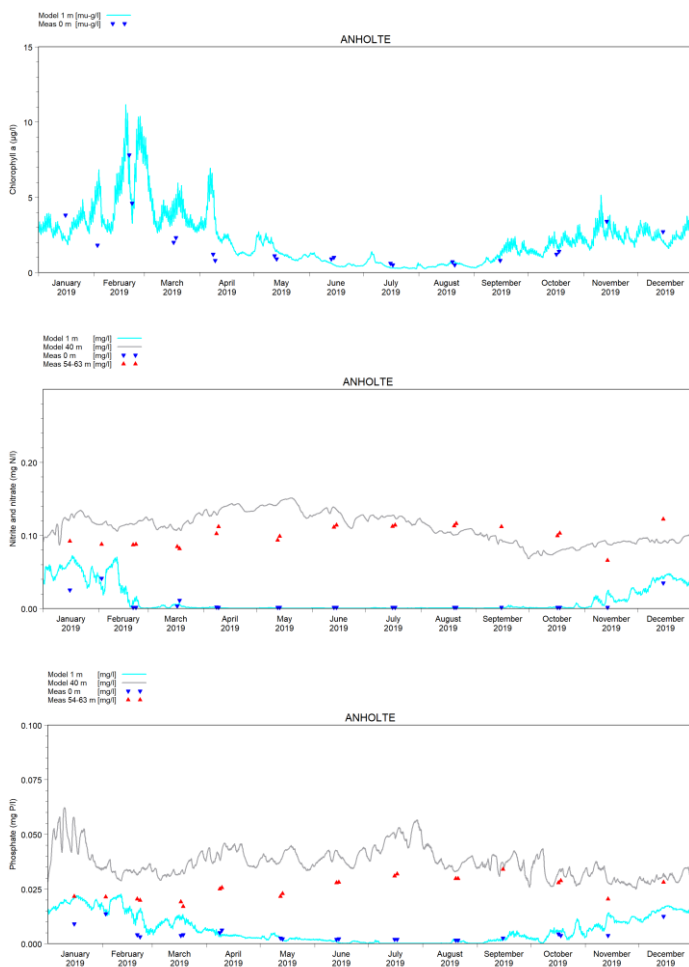
Udvalgte detaljer omkring opsætningen beskrives i det følgende.

3.2 Modellen

Den regionale model er en eksisterende model (ofte benævnt DKBS-modellen, se DHI 2020a) sat op i MIKE modelsystemet, der køres operationelt på DHI.

Commented [KT18]: Det ville være godt med lidt mere modelinfo, fx rumlig opløsning, væsentligste processer/variable -både fysik og øko. Og en reference til opsætningen.

Modellen er kalibreret og valideret. En sammenligning af målt og beregnet klorofyl, NOx og fosfat ved Anholt i 2019 er vist i Figur 3-2.



Figur 3-2 Sammenligning af målt (fra NOVANA målinger) og beregnet klorofyl, NOx og fosfat i overflade- og bundvand med DKBS-modellen ved Anholt.

3.2.1 Randbetingelser

DKBS modellen har én åben grænse mod Nordsøen (se Figur 3-1). Grænselinjen starter ved Tregde i Norge og slutter ved Hanstholm i Danmark. De biogeokemiske data til randbetingelserne er udtrykt fra DHI's operationelle Nordsømodel (UKNS2-HD28 modellen) og omfatter alle modellens tilstandsvariable bl.a. klorofyl, uorganiske næringsstoffer (DIN og DIP) og ilt.

Commented [KT19]: Hvordan valideret og hvor kan man se valideringsfig. og stat?

Commented [KT20R19]: Typisk har validering fokus på sæson variation, hvorimod respons til ændret forcering (fx klima) eller ændret modstand sjældent (kan) valideres. Det har betydning for hvor bombastisk man tør konkludere og bør nævnes som forbehold i diskussionen.

Dokumentation af randbetingelser for den biogeokemiske modeludvikling er givet i DHI (2020b).

3.2.2 Simuleringsperioder

Til simuleringerne af den regionale model benyttes år 2019, hvilket gentages cyklisk med de drivende kræfter (vandstand, meteorologi, afstrømning og næringsstofftilførsler), indtil en nær-stationær situation udvikles. De drivende kræfter (vandstand, meteorologi, afstrømning og næringsstofftilførsler) i år 2019 ændres pga. klimapåvirkninger til at repræsentere år 2100, og år 2100 gentages ligeledes cyklisk indtil en nær-stationær situation udvikles. Klimaændringerne er de forventede klimaændringer i år 2100 (se afsnit 3.5), og er dermed en mærkbar klimaændring. Modellen køres således for et antal gentagelser af år 2019 med og uden infrastruktur forbindelser og med og uden klimaændringer, og indtil en nær-stationær situation udvikles. Da det kun drejer sig om cyklisk brug af 'et repræsentativt år' er der ikke nogen mellem-årige påvirkninger, og infrastruktur forbindelsernes påvirkning kan derved identificeres i resultaterne.

Commented [KT21]: Fint at køre repræsentativt år, men nævn evt "ulemper" i form af at MBI ikke adresseres

3.3 Infrastrukturprojekter

3.3.1 Betragtede infrastrukturprojekter

De undersøgte infrastrukturprojekter, der er inkluderet i denne undersøgelse er (Sund & Bælt, 2024D):

- Stormflodssikring af hovedstaden (SH), hvor det væsentligste bidrag er fra Lynetteholm, som er miljøvurderet og vedtaget ved anlægslov. Perimeteren for Lynetteholm planlægges færdig i 2026
- Østlig Ringvej, som er under miljøvurdering
- Als-Fyn forbindelsen, som er forundersøgt
- Fremskudt færgehavn ved Tårs, hvor der gennemføres supplerende hydrografiske analyser
- Kattegatforbindelsen, som har gennemgået en indledende forundersøgelse

3.3.2 Modstande

Disse projektideer er udviklet i forskellig grad og rummer en række alternative løsninger, hvorfor deres påvirkning af vandgennemstrømningen kendes med forskellig præcision og usikkerhed. En oversigt er præsenteret i Tabel 3-1 (fra Sund & Bælt, 2024C) baseret på de udvalgte anlægsvarianter.

Commented [KT22]: Kan I beskrive hvordan øget modstand er parametriseret i regional model?

Commented [KT23]: Beskriv her hhv. "Ændring lokalt" og "Ændring overgangsområde"

Tabel 3-1 *Oversigt over infrastrukturprojekternes omtrentlige påvirkning af vandgennemstrømningen i det lokale stræde og i det samlede overgangsområde. Lokale påvirkninger er udtrykt fra 1: (By & Havn, 2020), 2: (DHI & COWI, 2024), 3: (Sund & Bælt, 2024B), 4: (Sund & Bælt, 2018), og 5: (Sund & Bælt, 2022).*

Infrastruktur	Ændring lokalt (%)	Ændring overgangs-område (%)
SH / Lynetteholm ¹	-0,25	-0,07
Østlig Ringvej ²	0	0
Als-Fyn forbindelsen ³	-0,04	0,00
Fremskudt havn Tårs ⁴	-0,31 - -0,14	-0,20 - -0,09
Kattegatforbindelsen ⁵	-0,3 - -0,0	-0,22 - -0,00
Sum	NA	-0,49 - -0,16

Det bemærkes at strømingsændringerne for de forskellige projekter er simuleret med et modelområde, der er mindre end hele det stræde, projekterne ligger i. Derfor er de simulerede strømingsændringer lidt for store og ligger dermed "på den sikre side".

De lokale ændringer kan ikke sammenlignes eller adderes, men det kan ændringerne i overgangsområdet. Den samlede ændring af de undersøgte infrastrukturprojekter i overgangsområdet er således estimeret til +0,16 - +0,49%.

3.3.3 Valg af udformninger for forbindelserne

I beregningerne benyttes for hver forbindelse den udformning, der giver den største modstand for gennemstrømningen ud af de udformninger, der stadig er med i overvejelserne for den pågældende forbindelse.

De to forbindelser med de største maksimale ændringer af vandgennemstrømninger i overgangsområdet er:

- Kattegatforbindelsen
- Fremskudt færgehavn ved Tårs

For Kattegatforbindelsen er den betragtede løsning:

- KKV-2.1 Højbro/lavbro
- KKØ-4.3 Sænketunnel/lavbro, omfattende nordligt rev og kunstig ø

For fremskudt færgehavn ved Tårs er det scenarie 6, som er vist i [Figur 3-3](#):

- Omtrentlig ellipseformet havn med en nordvestlig orientering.
- 800 m bro yderst ved havnen.
- 600 m bro inderst ved kysten.
- 2100 m dæmning mellem de to broer.
- 3 bropiller med en diameter på 0,8 m på tværs af broerne hver 25 m langs broen.

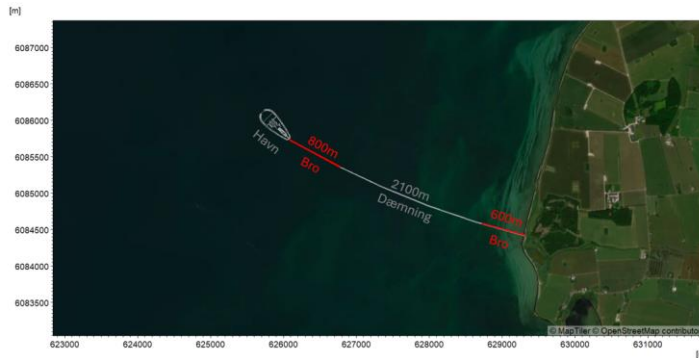
Commented [KT24]: Er ændring angivet i % af årlig nettogennemstrømning? Angiv, hvordan ændring er opgjort.

Commented [KT25]: beskriv hhv. lokal og overgangs-område (hvilken skala refereres til). Tabel skal være selvforklarende og ikke kræve læsning i andre rapporter.

Commented [KT26]: Er det den %-vise ændring der overføres fra lille model domæne til større? Henvi-gerne til beskrivelse af hvordan I "overfører" ændrin-ger fra et modelområde til et andet.

Her ville nested modelopsætning være genial 😊

Udformninger af fremskudt færgehavn ved Tårs med mindre modstand kan vurderes ved en 'interpolation' pba. deres mindre modstand, og giver mindre påvirkning af forholdene i Østersøen.



Figur 3-3 Skitse af scenarie 6 for fremskudt færgehavn ved Tårs.

3.4 Parameterisering i den regionale model

Detaljeret geometrisk beskrivelse er fremskaffet for de betragtede forbindelser, og fire af disse er implementeret direkte i den regionale model (Østlig Ringvej er ignoreret, da dens modstand er vurderet til at være ubetydelig):

- Lynetteholm
- Als-Fyn forbindelsen
- Fremskudt færgehavn ved Tårs
- Kattegatforbindelsen

Commented [KT27]: Kan man kort beskrive hvordan infrastruktur er implementeret i den regionale model? Der er noget med rumlig skala, som gør det lidt indviklet?

3.5 Klimaændringer

3.5.1 Scenarie

Klimascenariet, der betragtes i de numeriske beregninger, er (se Sund & Bælt, 2024E):

- SSP2-4.5

SSP2-4.5 kan opsummeres således:

- SSP2-: Medium scenarie, dvs. i betydningen medium udfordringer for afbødning og tilpasning.
- -4.5: Strålingspåvirkning i år 2100 og reduktionsindsats ligger begge centralt blandt SSP klimascenarierne.

SSP2-4.5 befinder sig således midt i et større muligt udfaldsrum. Forskellige klimascenarier er undersøgt med den konceptuelle model Sund & Bælt (2024F og 2025A).

3.5.2 Periode

En periode er udvalgt til brug i de numeriske beregninger:

- 2081-2100 som benævnes og betragtes som 2100

Ændringerne i Østersøens hydrografi, økologi og miljø vil øges langsomt over tid (opholdstiden i Østersøen er mange år) og vil være udviklet og størst i denne periode. Således fås de største signaler at sammenligne.

Reference tidspunktet/perioden for de betragtede klimaændringer er 1995-2014 (2005).

Der er klimaændringer fra referencetidspunktet i 2005 og frem til 2019. Af denne årsag er de betragtede klimaændringerne lineært interpoleret mellem 2005 og 2030, og benyttet til at nulstille klimaændringerne i 2019. Dermed er 2019 det nye referencetidspunkt. De bestemte klimaændringer skal således påføres forholdene i 2019.

3.5.3 Tidslig repræsentation

Ændringerne opløses i tid per måned. Årsvariationen i ændringerne beskrives således, og kan være betragtelig.

3.5.4 Parametre

Meteorologiske, hydrologiske og hydrografiske parametre der betragtes er:

1. havvandspejl og landhævning
2. vandtemperatur
3. vind
4. lufttemperatur
5. nedbør
6. fordampning
7. Afstrømning (herunder næringsstofførsler)

Disse parametre (undtagen landhævning) ændres direkte eller indirekte af klimaændringerne, hvor de fleste af parametrene stiger eller øges på grund af klimaændringerne.

Andre påvirkninger, så som mindre havis, forsuring af havene, tørkeperioder og skovbrande, og korte ekstremhændelser, er ikke medtaget, idet de ikke forventes at have en afgørende indflydelse på Østersøen hydrografiske og økologiske forhold.

3.5.5 Nedhentede data

IPCC's seneste resultater for lufttemperatur, nedbør og fordampning fra de globale klimamodeller (Global Climate Models (GCMs)) er nedhentet.

De nedhentede data er processeret og outputtet er ensembler af klimafaktorer (Climate Change Factors (CCF)) for nedbør og absolutte faktorer for lufttemperatur.

I denne forbindelse opdeles Østersøen og opland i seks områder, som følger Østersøens opdeling i forskellige havområder og tilhørende afstrømningsområder, se [Figur 3-4](#) [Figur 3-4](#).



Figur 3-4 Kort som viser inddelingen af Østersøen i 6 områder: 1 Botniske Bugt, 2 Botniske Hav, 3 Finske Bugt, 4 Riga Bugten, 5 Centrale Østersø, og 6 Bælterne, Kattegat og Skagerrak.

Parametrenes ændringer bestemmes for hvert af disse delområder, hvor der skelnes mellem land og vand. Således er der for eksempel for område 2 resultater for to landområder og et vandområde.

3.5.6 Benyttede klimaændringer

Havvandstand og vandtemperatur

Vandstands- og vandtemperaturstigningen fra 2019 til 2100 lægges til modelranden i Skagerrak i den regionale model i 2019. Dvs. at vandstanden på randen gennem 2019 løftes med en konstant vandstandsstigning og ligeledes at vandtemperaturen over randen øges med en konstant temperaturstigning.

Den benyttede øgning i vandstand og vandtemperatur fra 2019 til 2100 er (Sund & Bælt, 2024E):

- +0,481 m

Commented [KT28]: Der findes flere måder at opdele Østersøen på. Det lyder somom der her er brugt en specifik opdeling baseret på ?? (nævn gerne hvilken eller angiv at dette er én ud af flere opdelingsmåder)

- +1,5°C

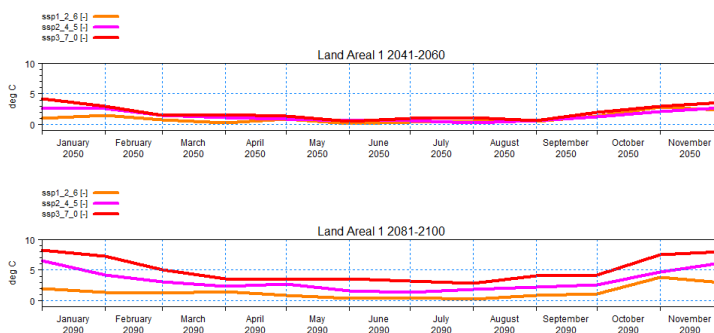
Landhævning lægges til batymetrien (med fortegn), der benyttes i år 2100 beregningerne (detaljer kan findes i Sund & Bælt, 2024E). Effekten er størst i den nordlige Østersø.

Vind, lufttemperatur og nedbør

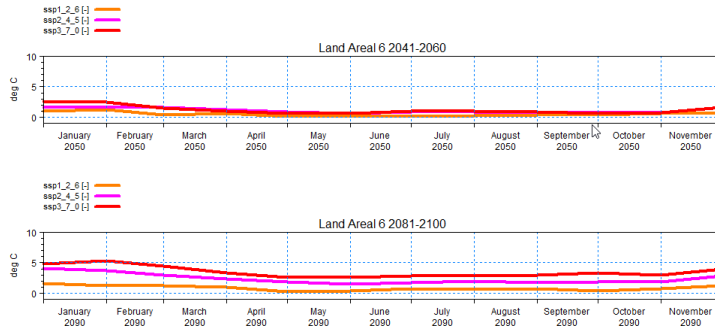
Ændring i lufttemperatur og nedbør påføres lufttemperatur- og nedbørfelterne benyttet i den regionale model i 2019 (Sund & Bælt, 2024E). Øgningen i lufttemperatur tillægges lufttemperaturen i de 6 områder vist i Figur 3-4, og tilsvarende multipliceres en nedbørsændringsfaktor på nedbørfelterne i 2019.

Der forventes kun en ganske begrænset formindskelse af vindens middel hastighed, og derfor er det valgt at se bort fra vindændringer.

Analyserne af lufttemperaturen viser, at klimaændringerne giver den største øgning i lufttemperaturen i den nordlige del af Østersø området. Figur 3-5 og Figur 3-6 viser forskellen mellem det nordlige landområde (område 1) og landområdet, der indeholder Danmark (område 6). Det er specielt i efterår- og vintermånederne, at forskellen er udtalt.

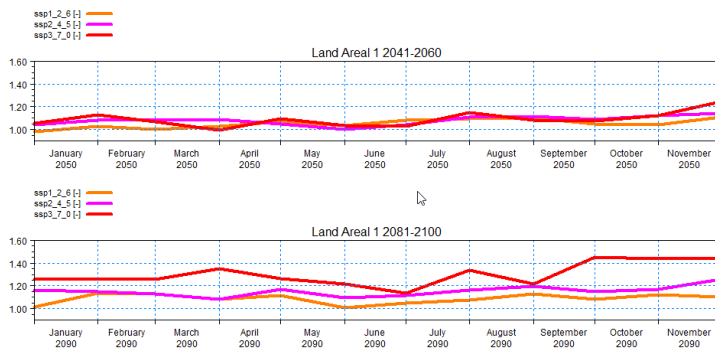


Figur 3-5 Øgning i lufttemperatur i område 1.

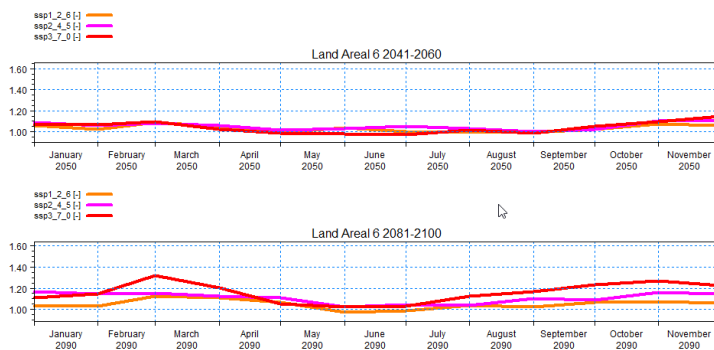


Figur 3-6 Øgning i lufttemperatur i område 6, som inkluderer Danmark.

Klimafaktorerne for nedbør er bestemt for områderne vist i Figur 3-4 og opdelt i land og vand. Der er begrænset forskel mellem land og vand, inden for de enkelte områder. I Figur 3-7 og Figur 3-8 vises klimafaktorerne for land for områderne 1 og 6. Det er specielt for det høje klimascenarie, at der er forskelle.



Figur 3-7 Klimafaktorer for nedbør over land for område 1.



Figur 3-8 Klimafaktorer for nedbør over land for område 6, som inkluderer Danmark.

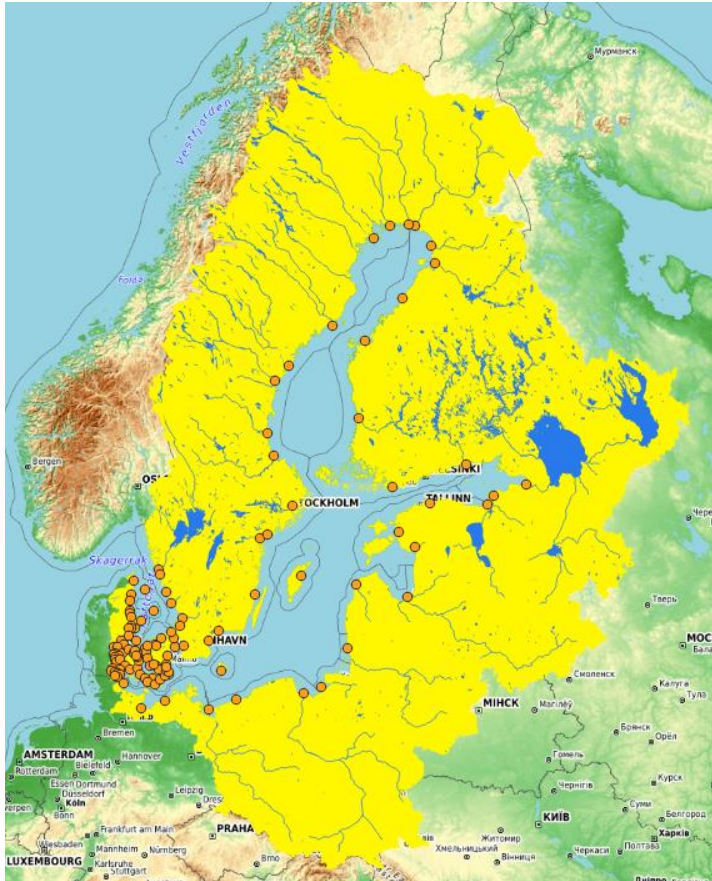
Fordampning fra vand beregnes med den regionale hydrografiske model af Østersøen og fra land med en Globale Hydrologisk Model, se det følgende afsnit.

Data for fordampning fra klimamodellerne benyttes således ikke, idet de er vurderet at være usikre.

Ferskvandstilstrømning

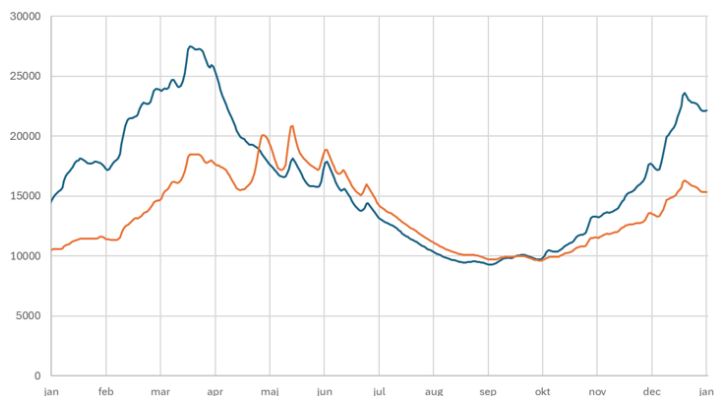
DHI's Globale Hydrologiske Model (Murray et al, 2023) er benyttet til at beregne den øgede afstrømning til Østersøen i 2019 ud fra information om lufttemperatur og nedbør (Sund & Bælt, 2024E). Afstrømningen beregnes også i år 2100 med den øgede lufttemperatur og nedbør.

Afstrømningen fordeles på 73 tilstrømningspunkter omkring Danmark og 46 tilstrømningspunkter omkring den indre Østersø og vestkysten af Sverige, se [Figur 3-9](#). Det store antal punkter omkring Danmark er fra de modeller DHI har og benytter. Det er ikke for de foretagne analyser væsentligt at have så mange punkter omkring Danmark.



Figur 3-9 Østersøens afstrømningsområde (det gule område) og tilstrømningspunkter til Østersøen langs kysten (orange punkter).

Ved at skalere lufttemperatur og nedbør med de fundne klimaændringer beregner den Globale Hydrologiske Model afstrømning for det valgte klimascenarie. I [Figur 3-10](#) er afstrømningen til Østersøen vist for både år 2019 og år 2100 (SSP2-4.5).



Figur 3-10 Afstrømning (m^3/s) til Østersøen for år 2019 (rød kurve) og 2100 (SSP2-4.5) (blå kurve).

Afstrømningen stiger pga. klimaændringer, og den årlige fordeling ændres, dvs. at den stiger i den kolde periode. I Tabel 3-2 er de gennemsnitlige ændringer for afstrømning, nedbør og potentiel fordampning vist.

Tabel 3-2 Ændring i afstrømning pga. klimaændringer.

Gennemsnit	Afstrømning [m^3/s]	Nedbør [mm]	Potent. fordampning [mm]
2019	13.788	710	601
2100	16.368	790	649
Forskel [%]	+18,7%	+11,3%	+8%

Næringsstofftilførsler og atmosfærisk deposition

Fremtidige næringsstofftilførsler er afhængige af en række faktorer, fx klimarelaterede ændringer i temperatur og nedbør og arealanvendelse, ikke mindst landbrugspraksis, herunder potentiel øgning af skovarealer, udtagning af lavbunds-jorde og implementering af vådområder. Dertil kommer at landbrugspraksis som sådan forventes at være anderledes om 50-100 år sammenlignet med i dag. På EU plan er der stort politisk fokus på at reducere både landbaserede næringsstofftilførsler og den atmosfæriske deposition. Imidlertid er der stor usikkerhed om implementeringen af de vedtagne aftaler og dermed hvornår og i hvilket omfang effekterne kan forventes. I dette studie er der derfor ikke udviklet scenarier, der forholder sig til politiske tiltag, som påvirker fx landbrugspraksis. Af afsnit om Ferskvandstilstrømning fremgår, at afstrømningen stiger som funktion af klimaændringerne, samt at den årlige fordeling også ændres, så afstrømningen hovedsageligt stiger i vintermånederne. Ved at anvende tidsserier for de enkelte vandløb/floder/elve med uændrede nutids klimatiske månedskoncentrationer af næringsstoffer, tages der højde for de ændrede tilstrømninger, under antagelse af, at koncentrationer i de respektive oplande ikke ændres markant. Denne tilgang giver øget tilførsel med øget afstrømning uden at introducere antagelser vedrørende specifikke dynamikker og arealanvendelser i oplandene og

Commented [KT29]: I beskrivelse af scenarier står at afstrømningskorrigeret N,P øges med 19%?

understøttes desuden af korrelationer mellem afstrømning og næringsstofftilførsler til Østersøen.

For at udjævne år-år variationer i næringsstofftilførsler anvendes kildespecifikke tidsvarierende tilførsler baseret på gennemsnit for perioden 2017-2021 (5 år).

Atmosfærisk kvælstofdeposition

Sammenhænge mellem ændret klima (herunder ændrede nedbørsmønstre) og atmosfærisk kvælstofdeposition er komplekse, og der er ikke noget entydigt svar på om ændret nedbør vil give ændret atmosfærisk kvælstofdeposition. Til eksempel er oxideringen af NO og NO₂ stærkt afhængig af OH radikaler, der kræver sollys (som der må formodes at være mindre af i forbindelse med regnvejre). Helt generelt vil atmosfærekemien være ændret ved ændret klima, fx ligevægten mellem NH₃ og HNO₃ \leftrightarrow NH₄NO₃, som er stærk temperaturafhængig, og derved bestemmende for om N er på gas- eller partikel / aerosol form. Den atmosfæriske kvælstofdeposition holdes derfor uændret ift. reference året 2019 i nærværende analyse.

Commented [KT30]: Er det korrekt at oxidationsproces kræver OH og sollys?

4 Forudsætninger og konsekvenser

4.1 Introduktion

I Forudsætningsnotatet (Sund & Bælt, 2024E) er baggrunden for valgte forudsætninger givet i detaljer, herunder for de betragtede infrastrukturprojekter og det valgte klimascenarie.

På baggrund af efterfølgende drøftelser af projektet og drøftelser med de eksterne reviewere fremhæves udvalgte forudsætninger og deres konsekvenser i dette kapitel.

4.2 Infrastrukturprojekter

I projektet inddrages 5 infrastrukturprojekter, se afsnit 3.3.1.

Østlig Ringvej: nuværende løsning indeholder en rampe ved Prøvestenen og en rampe ved Københavns Lufthavn, se [Figur 4-1](#) ~~Figur 4-1~~:

- Begge ramper er placeret i et område med svag strøm, og i læ af henholdsvis Prøvestenen og Københavns Lufthavn.
- Derudover er begge ramper delvist strømlinjet.

Derfor antages vandføringsreduktionen fra Østlig Ringvej at være ubetydelig (DHI & COWI, 2024).

Det bemærkes, at pga. rampernes udformning kan vandføringsreduktionen vise sig at være negativ.

Ramperne kan ændres, men ikke i en grad, der forventes at ændre den meget begrænsede påvirkning. Vandføringsreduktionen for Østlig Ringvej projektet beregnes på et senere tidspunkt i projektet.

Københavns Nordhavn er ikke nævnt i Forudsætningsnotatet (Sund & Bælt, 2024E).

I projektet betragtes kun undersøgte fremtidige projekter, hvilket Københavns Nordhavn falder uden for, da havnen er bygget. Den ses i den nordlige del af området på [Figur 4-1](#) ~~Figur 4-1~~.

Det kan nævnes, at havnens strømningsmodstand i en tidligere rapport (KK & KDI, 2009) er vurderet at være lille og uden betydning for gennemstrømningen i Øresund, dvs. at vandføringsreduktionen er meget lille.



Figur 4-1 Kort der viser omrids af Østlig Ringvejs to ramper (til venstre for rød pil). Projektet er stadig på et tidligt stade i planlægningen, og ramperne kan blive ændret.

4.3 Klimaændringer

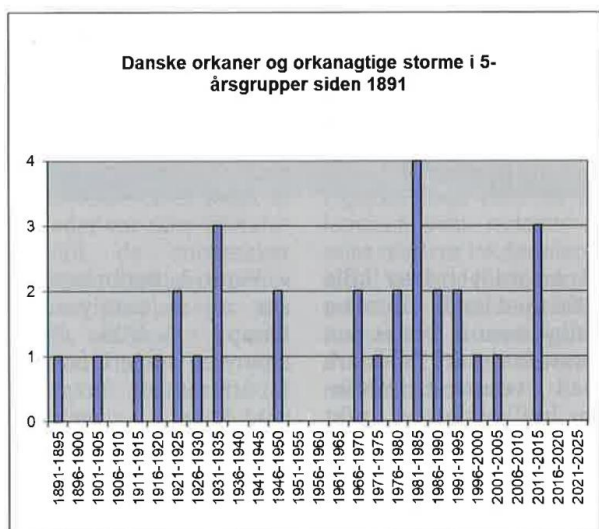
Det undersøgte klimascenarie er SSP2-4.5, som er et medium-scenarie, i år 2100.

Den forventede ændring i middel vinden er lille og negativ, se Forudsætningsnotatet (Sund & Bælt, 2024E), og ændringer i vinden antages at være nul i beregningerne for det fremtidige klimascenarie (må ikke forstås således, at vindændringer ignoreres, de er blot små). Derfor benyttes vindfelterne for år 2019 uændret i scenariet med klimaændringer.

Ekstreme hændelser og ændringer er ikke specifikt undersøgt i projektet, da det er ændringer på en længere tidsskala, som undersøges.

Uanset dette kan det overvejes, om storme over Nordsøen og Østersøen bliver kraftigere. Hyppigere og kraftigere storme kan påvirke indstrømning til Østersøen og dermed udskiftningen af de dybere vandmasser i indre Østersø.

Det er der dog ikke klart belæg for at antage, se for eksempel Cappelen (2024), som skriver, at "Blæsevejr i Danmark viser variationer, men generelt ingen ændring". Af [Figur 4-2](#) ses det, at storme fordeler sig i grupper (det samme er også observeret for store indstrømninger og isvintre). Således er der få storme i perioden fra 1936 til 1966 (klimavariationer er variationer på en 30-års tidsskala), og en tendens til færre store storme fra 2006 og frem. Det vides ikke, hvor længe denne nuværende periode med tendens til færre storme vil være.



Figur 4-2 Antallet af danske storme og deres tidlige fordeling fra 1891 til september 2024 (fra Cappelen, 2024).

4.4 Sensitivitetstest

En sensitivitetstest er udført med alle de bestemte klimaændringer i år 2100, men hvor afstrømningen fra land kun er øget med det halve af den beregnede øgning i afstrømning. Forøgelsen i afstrømning til Østersøen er bestemt til +19%, se [Tabel 3-2](#) [Tabel 3-2](#), og den er således i sensitivitetstesten kun +9,5%.

Nedbørens øgning pga. klimaændringer er ikke halveret. Sensitivitetstestens fokus er den beregnede fordampning over land og dens betydning for afstrømningen, og derfor er det kun afstrømningen, og derved også tilførslerne med N og P, som mindskes i sensitivitetstesten.

4.5 År 2019

4.5.1 Det mest repræsentative år

Det er valgt at benytte 2019 som et repræsentativt år i beregningerne.

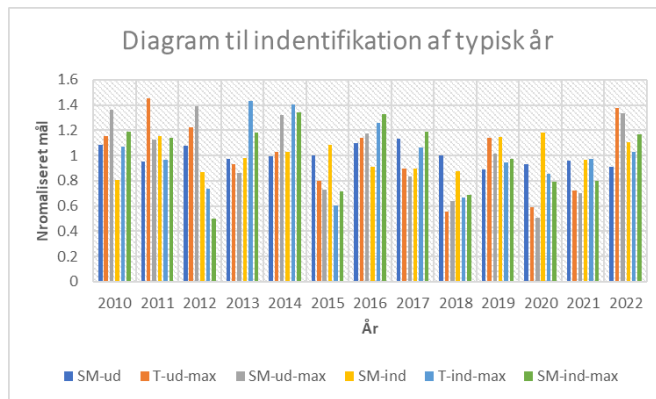
I Sund & Bælt (2024A) er de 13 år fra 2010 til 2023 analyseret for at bestemme det mest repræsentative år.

Analysen af strømningsforhold er baseret på vandstandsmålinger fra Viken og Skanør. Det er vist i flere studier, at sådanne vandstande (i eller ved sydlige Kattegat og Arkona Bassinet) bestemmer transporten gennem Storebælt, Øresund og Lillebælt, se for eksempel Jacobsen (1980) og Jacobsen et al. (2010).

Hydrografiske strømningsforhold, der er benyttet til at karakteriserer årene, se [Figur 4-3](#) [Figur 4-3](#):

- Varigheder af kraftigste ind- og udstrømningshændelser
- Volumen for kraftigste ind- og udstrømningshændelser
- Varigheden af perioderne med ind- og udstrømning i et år

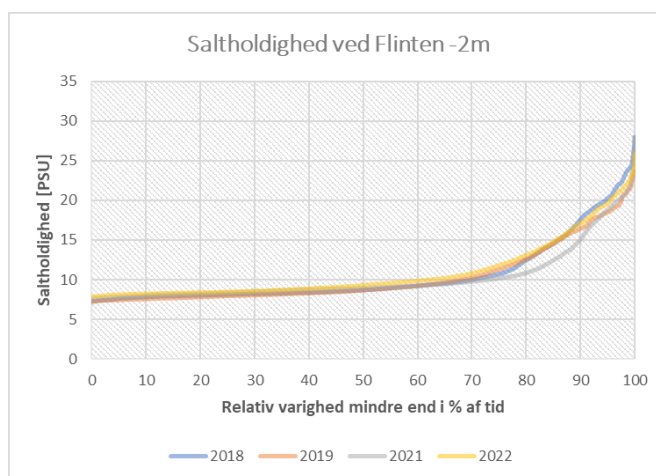
En integration af målene viser, at 2019 er det mest repræsentative år.



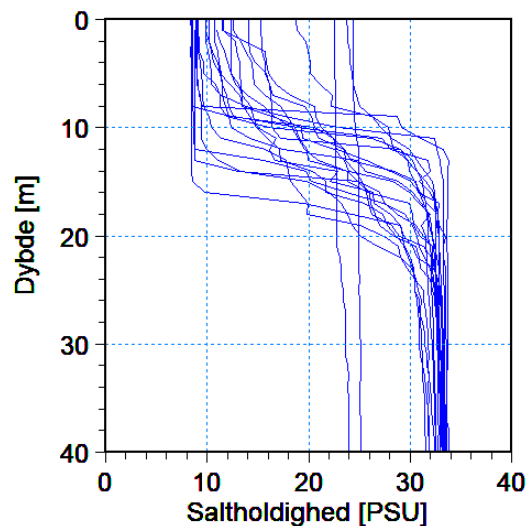
Figur 4-3 De 6 normaliserede mål i de enkelte år (fra Sund & Bælt, 2024A).

Derudover vurderes saltholdighedsvariationen i Øresund, hvilket også viser, at 2019 er et repræsentativt år, se [Figur 4-4](#) [Figur 4-4](#).

Saltholdighedsprofilerne fra Hven Sydøst viser også, at der er en kraftig vindhændelse i 2019, som opblander vandmasserne, se [Figur 4-5](#) [Figur 4-5](#).



Figur 4-4 Angivelse af varigheder i % af tid af året, hvor saltholdigheden i kote -2m ikke overstiger et givet niveau (fra Sund & Bælt, 2024A).



Figur 4-5 Målte saltholdighedsprofiler ved Hven Sydøst i 2019 (fra Sund & Bælt, 2024A).

I Sund & Bælt (2024A) drages følgende konklusion:

- De udførte analyser viser med al tydelighed, at der kan være større år til år forskelle på de kraftigste ind- og udstrømningshændelser, men at disse forskelle skrumper betragteligt, når man sammenligner de kumulerede styrkemål opgjort for hele året.

Endelig indeholder 2019 også betydeligt højvande, se [Tabel 4-1](#) [Tabel 4-1](#).

Tabel 4-1 Målte ekstreme vandstande ved Bagenkop Havn i perioden fra 1. juni 1976 til 1. januar 2024 (fra KDI, 2024).

Nummer	Dato	Trendfri (cm)	Målt (cm)
1	20-10-2023	178	186
2	05-01-2017	164	170
3	02-01-2019	163	170
4	30-11-1988	155	155
5	04-01-1978	153	153
6	28-11-1989	145	145
7	21-02-1993	144	145
8	18-10-1991	137	137
9	08-02-1983	134	134
10	29-03-2020	133	140
11	06-01-2012	133	138
12	28-11-1983	132	132
13	02-11-1988	131	131
14	30-01-2022	130	138
15	07-12-1989	130	130
16	03-02-1983	129	129
17	28-08-1989	125	125
18	11-12-1979	124	124

19	14-12-1988	124	124
20	20-12-1988	124	124
21	25-12-1988	124	124
22	05-04-1989	119	119
23	22-03-2008	119	123
24	15-11-1989	118	118
25	31-12-1977	114	114
26	15-10-2009	114	119
27	26-12-1976	114	113
28	12-02-2011	113	118
29	14-10-2020	113	120
30	20-01-2022	112	120
31	03-01-1995	112	113
32	07-11-1995	112	113
33	09-01-2019	111	118
34	29-10-2018	110	117
35	25-12-1977	109	109
36	25-09-1983	109	109
37	09-01-2010	109	114
38	29-11-2010	109	114
39	14-01-2012	109	114
40	08-04-1995	108	109

På denne baggrund er år 2019 vurderet at være et tilstrækkeligt repræsentativt år, og benyttes i beregningerne i denne opgave.

4.5.2 Cyklisk gentagelse

Året 2019 gentages i beregningerne, både for beregningerne af år 2019 og for beregningerne af år 2100, som er år 2019 med klimaændringer.

Beregninger med år 2019 og med år 2100 gentages i begge tilfælde 20 gange for at opnå, at resultaterne ikke ændres meget fra gentagelse til gentagelse.

Resultaterne er påvirket af dette på to forskellige måder:

- De økologiske og miljømæssige karakteristika af år 2019
- Gentagelsen af år 2019 (eller år 2100)

Selvom år 2019 er et repræsentativt år, kan det ikke beskrive alle de variationer, der dækkes af mange efterfølgende år. Dette kan påvirke saltholdigheden og iltforholdene i bundlaget i Østersøen og mere, jo dybere i bundlaget forholdene betragtes. I bundlaget udskiftes de øvre dele semikontinuert, mens de nedre lag udskiftes med længere mellemrum (der kan være op til flere års mellemrum). Således påvirkes de allernederste lag mest, men disse har også de mindste volumener og mindste horisontale udbredelser. I de sidste adskillige år har der været færre storme (se [Figur 4-2](#)) og kun få store indstrømninger til den indre Østersø, og således er betydningen aftaget. Alt i alt vurderes det derfor, at året 2019 er det bedste valg til at vise de hydrografiske og økologiske ændringer, som forårsages af infrastrukturprojekterne.

Gentagelsen af år 2019 gør, at de hydrografiske, økologiske og miljømæssige ændringer fra infrastrukturprojekter udvikles fuldt ud (og at de kan identificeres

meget klart). Dette tager 20 gentagelser eller 20 år. I scenarier med klimaændringer burde forholdene ændres kontinuert (og dermed også i 2019, hvor der også er klimaændringer, men det er mindre betydningsfuldt, da gradienterne for ændringerne er mere flade / langsommere). Dvs. at en sådan 'balance' af økologien mht. klimaændringer og infrastrukturprojekter ikke vil udvikles fuldt ud, men halte bagefter. Således vil forholdene i år 2100, hverken være i balance med hensyn til klimaændringerne eller påvirkningen af infrastrukturprojekter (men i mindre grad for infrastrukturprojekterne). På denne måde er de økologiske og miljømæssige påvirkninger fra både klimaændringer og infrastrukturprojekter svagt overvurderet i beregningerne pga. de 20 gentagelser. Det vurderes at være tilfredsstillende, da det er påvirkningen fra klimaændringer og infrastrukturprojekter, som ønskes at bestemt og en svagt overvurderet økologisk og miljømæssig ændring er acceptabelt (ikke mindst i betragtning af de involverede usikkerheder). Forsigtigt anslået svarer overvurderingen til omkring 10 års forskydning.

4.6 Vurdering af resultater

Nærværende analyser er ikke en miljøkonsekvensvurdering af den fremskudte færgehavn ved Tårs, men en undersøgelse af projektets påvirkning af vandgenemstrømningen i de danske stræder, samt de særlige strømforhold ved indsejlingen til et fremskudt færgeleje (se projektets Kommissorium). Først efter nærværende analyser vil der blive taget stilling til, om der skal foretages en miljøkonsekvensvurdering (VVM).

Nærværende analyser er derfor ikke bundet af de samme formelle krav, som gælder for en miljøkonsekvensvurdering. Uanset dette er arbejdet tydeligt inspireret af både Havstrategidirektivet og Vandrammedirektivet, se Forudsætningsnotatet (Sund & Bælt, 2024E), afsnit 6.

I Østersøhandleplanen (Baltic Sea Action Plan - HELCOM, 2021) betragtes Østersøen integreret og holistisk, dvs. at hele Østersøens økosystem betragtes med dets tilstand og påvirkninger (og igen med henvisning til en referencetilstand). Dette er i god tråd med moderne kystzoneforvaltning og en grundlæggende del af den metode, der benyttes i "Integrated Coastal Zone Management" (ICZM). I nærværende arbejde benyttes også en integreret og holistisk betragtning i den forstand, at hele Østersøen betragtes, inklusive påvirkninger fra både infrastrukturprojekter og klimaændringer.

I kapitel 5 beskrives ændringerne af de økologiske forhold, der er forårsaget af de undersøgte infrastrukturprojekter og klimaændringer. I sig selv betragtes ændringerne af de hydrografiske forhold ikke at have afgørende betydning. Det betragtes som afgørende, hvorledes ændringerne påvirker miljøet i Østersøen. For eksempel vil en stigning af vandtemperaturen bevirke et mindre iltindhold og et hurtigere forbrug af ilten i havvandet, og altså et skift mod iltfattigere forhold i bundlagene i Østersøen. De hydrografiske ændringer i Østersøen beskrives i en parallel rapport (Sund & Bælt, 2025A).

Kriterier for valg af indikatorer

Valget af indikatorer til vurdering af påvirkning af økologi og miljøforhold er baseret på følgende kriterier:

Commented [KT31]: Her indikeres fokus på (lokal) hydrologi? Foreslår revidering med fokus på økologi på Østersøskala.

- Økologisk relevans: Indikatoren skal kunne relateres til økosystemets struktur og funktion
- Videnskabeligt dokumenteret: Indikatoren skal dokumenterbart variere forudsigeligt, som følge af ændringer i miljøtilstand og/eller ændringer i en eller flere presfaktorer
- Kvantificerbar: Indikatoren skal kunne kvantificeres ved brug af økologiske modeller, hvilket muliggør scenariekørsler.

I dette projekt er der alene fokus på åbne havområder i Østersøen, hvorfor indikatorer for kystnære og lavvandede områder ikke medtages (fx ålegræs/bundplanter).

Helcom core-indicators

Vandkvaliteten i de åbne dele af Østersøen er forvaltet via Østersøhandleplanen (HELCOM), som landene omkring Østersøen har tilsluttet sig.

I Østersøhandleplanen opereres med såkaldte "core indicators" for vandkvalitet, som Østersølandene også skal tilslutte sig, før de bliver gældende. For at sikre international forståelse for – og accept af – undersøgelsen anvendes derfor, samme indikatorer og miljømål som i Østersøhandleplanen. Herved sikres også, at indikatorerne er økologisk relevante og videnskabeligt dokumenterede og accepterede.

HELCOM's "core indicators" som anvendes til vurdering af status for vandkvalitet i Østersøen og som anvendes til undersøgelse af effekter af klimaændringer og infrastrukturprojekter udgøres af:

- Sommer (juni-sept) klorofylkoncentration (fytoplankton)
- vinter (dec - feb) DIN (opløst uorganisk kvælstof) koncentration
- vinter (dec - feb) DIP (opløst uorganisk fosfor) koncentration
- sigtdybde (vandets klarhed og gennemtrængelighed for sollys)
- Iltgæld (kun for bassiner med permanent lagdeling), defineret som den manglende ilt relativt til fuld mætning.

HELCOM opererer med yderligere "core indicators", fx TN, TP og bundfauna, som her udelades, da de er delvist overlappende med andre "core indicators" eller ikke umiddelbart kan kvantificeres af en økologisk model.

Hver "core indicator" har fastlagte målkriterier og der er indsatsplaner til regulering af særligt kvælstof og fosforudledninger, som skal lede til målopfyldelse.

De overordnede miljømål for vandkvaliteten i Østersøhandleplanen er:

- Næringsstoffkoncentrationer tæt på naturlige niveauer

- Klart vand
- Naturlig niveau for algeopblomstringer
- Naturlige ilt-niveauer

De "naturlige niveauer" anvendt som grundlag for fastlæggelse af miljømålene i Østersøhandleplaner er baseret på hindcast (ca år 1900) modelberegninger og historiske data dækkende perioden 1880-1970. Dvs de "naturlige niveauer" i Østersøhandleplanen reflekterer en situation, hvor menneskabte klimaændringerne ikke er slået igennem i havmiljøet og uden påvirkning af vandgennemstrømningen fra infrastrukturprojekter i de danske farvande.

Grænseværdierne, der adskiller målopfyldelse fra ikke-målopfyldelse for centrale "core indicators" i den centrale Østersø fremgår af [Tabel 4-2](#).

Da der kun er bassin specifikt miljømål og status for iltgæld i Bornholmer Bassinet anvendes denne "core indikator" ikke direkte, men iltforhold vurderes i stedet ud fra ilt i bundvandet (iltsvind) iht. gældende standarder for iltsvind på 4-6 mg/L, moderat iltsvind (2-4 mg/L) og kraftigt iltsvind (< 2 mg/L).

Tabel 4-2 Miljømål og statusværdier for centrale "core indicators" i den centrale Østersø HELCOM (2023).

Indikator	Kattegat		Arkona bassinet		Bornholms bassinet		Østlige Gotlands Bassin	
	Miljømål/Status	Miljømål/Status	Miljømål/Status	Miljømål/Status	Miljømål/Status	Miljømål/Status	Miljømål/Status	
Klorofyl (ug/L)	1,50	1,39	1,8	2,29	1,55	2,37	1,90	2,99
DIN (umol/L)	5,00	5,26	2,9	3,8	1,8	4,16	2,60	4,20
DIP (umol/L)	0,49	0,52	0,36	0,6	0,28	0,71	0,29	0,67
Sigtdybde (m)	7,6	9,1	7,2	6,1	7,1	6,3	7,6	5,7
Iltgæld (mg/L)	-	-	-	-	6,37	8,43	8,66*	13,29*

* Consists of Gdansk Basin (SEA-008), Eastern Gotland Basin (SEA-009), Western Gotland Basin (SEA010), Northern Baltic Proper (SEA-012) and Gulf of Finland Western (SEA-013A) open sea assessment units.

Supplerende indikatorer

Cyanobakterier

Udover de udvalgte HELCOM core-indicators, suppleres med en indikator for cyanobakterie opblomstringer. Cyanobakterier har afgørende betydning for vandkvaliteten og næringsstoffdynamikken i de centrale og sydlige dele af Østersøen (Carstensen et al., 2019). Cyanobakterie opblomstringer i Østersøen er primært styret af fosfor-overskud, og er derudover afhængig af lav saltholdighed, samt varme og stille vejrforhold. Det kan ikke udelukkes at ændret vand- og salttransport til Østersøen potentielt kan påvirke frekvens og/eller omfang af cyanobakterieopblomstringer, og derfor kan en indikator for cyanobakterier inkluderes i effektvurderinger.

Østersøtorsken

Østersøtorsken er på et historisk lavt niveau pga multiple presfaktorer (fiskeri, miljøforhold, predation, parasitter osv). En af de parametre, som dokumenterbart har indflydelse på rekruttering af torsk, er torskens reproduktive volumen

(MacKenzie et al., 1996; Heikinheimo, 2008; Plikshs et al., 2015). Det reproduktive volumen beregnes som det vandvolumen, hvor ilt koncentrationen > 2 ml/L, temperaturen $> 1,5$ °C - < 14 °C og saltholdigheden > 11 ‰. Dette volumen bliver i dag brugt som indikator i f.eks ICES og Copernicus.

5 Økologisk påvirkning af Østersøen

5.1 Baggrund

Den regionale model af Østersøen benyttes til vurdering af hvorledes Østersøen påvirkes af (se evt. Afgrænsningsnotatet (Sund & Bælt, 2024D), afsnit 3.10, 3.11 og 3.12):

- Strømningsmodstand fra infrastrukturprojekter (se estimeret modstand fra dem i afsnit 3.3)
- Klimaændringer (se antaget klimaændringer i afsnit 4.3)

Den regionale model anvendes til at beskrive den kumulative effekt af den fremskudte færgehavn ved Tårs og andre større infrastrukturprojekter, der er blevet undersøgt (Lynetteholmen) eller aktuelt bliver undersøgt (Østlig Ringvej, Kattegatforbindelse og en fast forbindelse mellem Als og Fyn samt stormflodssikring af hovedstaden).

Det valgte klimascenarie kombineres ligeledes med modstanden fra den fremskudte færgehavn ved Tårs og andre større infrastrukturer, der er blevet eller aktuelt bliver undersøgt.

5.2 HELCOM "Core indicators"

I nedenstående gennemgås de modellerede resultater i henhold til Helcoms "Core indicators":

- Sommer (juni-sept) klorofylkoncentration (fytoplankton)
- vinter (dec - feb) DIN (opløst uorganisk kvælstof) koncentration
- vinter (dec - feb) DIP (opløst uorganisk fosfor) koncentration
- sigtddybe (vandets klarhed og gennemtrængelighed for sollys)

5.2.1 Sommer klorofylkoncentration

Sommer klorofylkoncentration er vist i [Figur 5-1](#) (2019 uden forbindelser), [Figur 5-2](#) (2019 med forbindelser), [Figur 5-4](#) (2100 uden forbindelser) og [Figur 5-5](#) (2100 med forbindelser), og ændringer i sommer klorofylkoncentration i [Figur 5-3](#) (2019 med og uden forbindelser), [Figur 5-6](#) (2100 med og uden forbindelser) og [Figur 5-7](#) (2019 og 2100 uden forbindelser).

Commented [KT32]: Foreslår at farveskala på alle differensplot laves så man kan se en evt ændring. Informativt at kunne se retning og placering af evt ændring -også selvom ændring er for lille til at være økologisk betydende. Og hvis der ikke er en ændring, så undrer vi os 😊 Endvidere bør farvekoder for "undefined value" være meget forskellig fra farvekoder brugt i skala.

Commented [MB33R32]: Kort opdaeret

Der ses ved sammenligning af sommer klorofylkoncentration i 2019 med og uden forbindelser (Figur 5-1 og Figur 5-2) og sammenligning af sommer klorofylkoncentration i 2100 med og uden forbindelser (Figur 5-4 og Figur 5-5), ingen ændringer i klorofylkoncentrationen pga forbindelserne.

Ændringen i sommer klorofylkoncentrationen i nutidigt klima pga. forbindelserne er vist i Figur 5-3 og i et fremtidigt klima er ændringerne pga forbindelserne vist i Figur 5-6. I både nuværende og fremtidigt klima er ændringer i sommer klorofylkoncentration $\leq \pm 0,1 \mu\text{g/L}$ + sommer klorofylkoncentrationen pga. forbindelserne.

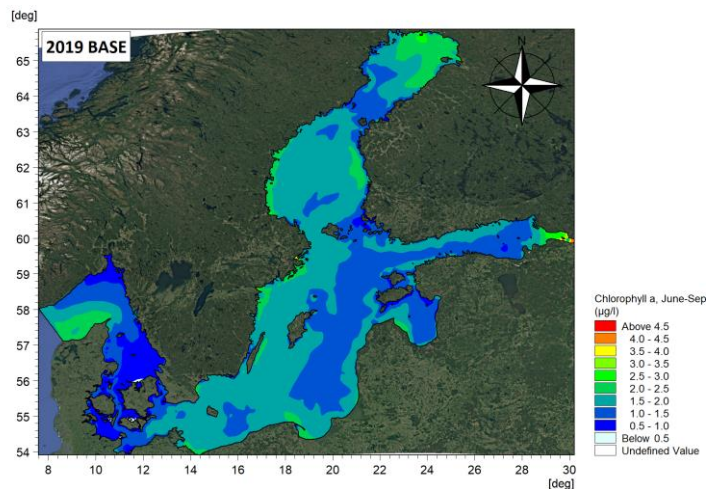
Ændringen i sommer klorofylkoncentrationen pga. klimaændringer er vist i Figur 5-7 og viser en øgning i sommer klorofylkoncentrationen på + 0,1-0,5 $\mu\text{g/L}$ i hele Østersøen. I Skagerrak ses en reduktion i sommer klorofylkoncentrationen (- 0,1-0,5 $\mu\text{g/L}$), pga. øget vandstand og inflow fra Nordsøen.

Af

Tabel 5-1

Tabel 5-1 ses ændring i middel sommer klorofylkoncentration i juni-september 2019, opgjort for sub-bassinerne "Kattegat", "Arkona Bassinet", "Bornholmer Bassinet" og "Østlige Gotlands Bassin" pga. forbindelser og klimaændringer, i forhold til 2019 uden forbindelser. Der ses ingen ændring pga. forbindelser, men ændringer på 0,1 – 0,2 $\mu\text{g/l}$ pga. klimaændringer på basinskala.

Ændringerne i sommer klorofylkoncentrationer skyldes øget temperatur samt øget afstrømning og tilhørende N og P tilførsler ved klimascenarierne (jf. afsnit 3.5) og den derved øgede pelagiske primærproduktion.



Figur 5-1 Middel klorofylkoncentration i juni-september 2019 uden forbindelser.

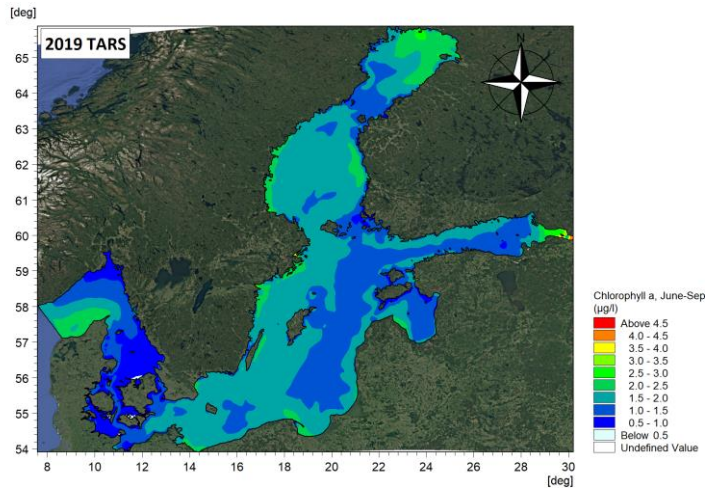
Commented [KT34]: Forskel kan ikke registreres ved absolutte resultatkort - kræver differenskort og relevant farveskala

Commented [MB35R34]: Tekst tilpasset således at ændringen adresseres

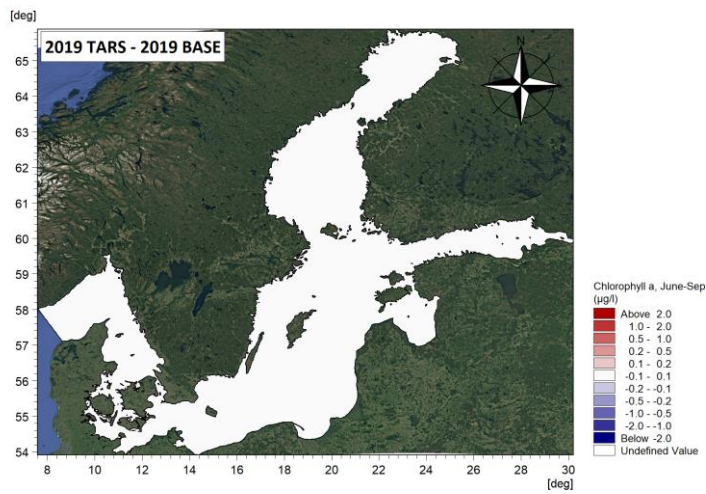
Commented [KT36]: Ligner ændringer =0 også tæt ved ny infrastruktur. Undrer det os ikke? Er der 0 ændring i fysikken?

Commented [KT37R36]: Foreslår mindre skala f.eks]-0,1,0,1[med 0,01 interval. Interessant at kende retningen (højere el. lavere kloro konc) i en evt ændring. Og hvis ændring = 0 bør der være en forklaring i fysikken.

Formatted: Body Text



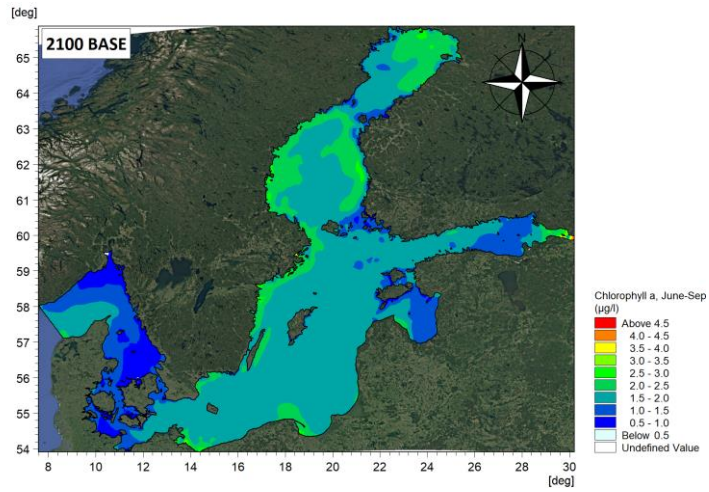
Figur 5-2 Middel klorofylkoncentration i juni-september i 2019 med forbindelser.



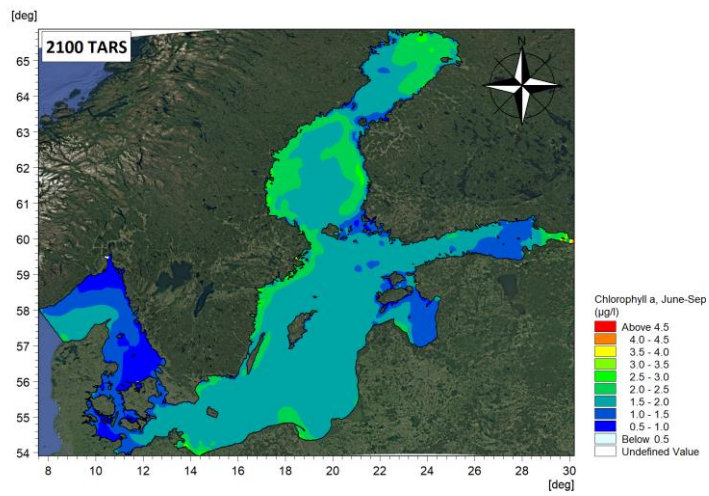
Figur 5-3 Ændring i middel klorofylkoncentration i juni-september 2019 med og uden forbindelser (med forbindelser minus uden forbindelser).

Commented [KT38]: Foreslår ændret farveskala, så ændringer synliggøres f.x]-0,1;0,1[samt forskellig farvekode omkring 0 og "undefined value"

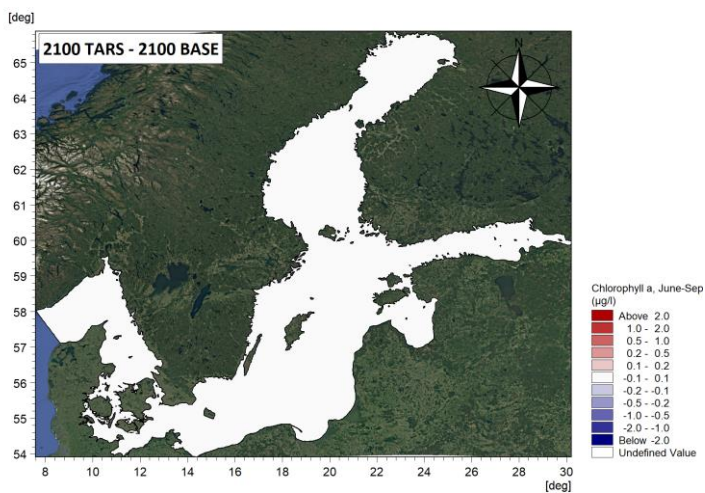
Commented [KT39R38]: Hvis ændring=0 undrer vi os 😊



Figur 5-4 Middel klorofylkoncentration i juni-september i 2100 uden forbindelser.

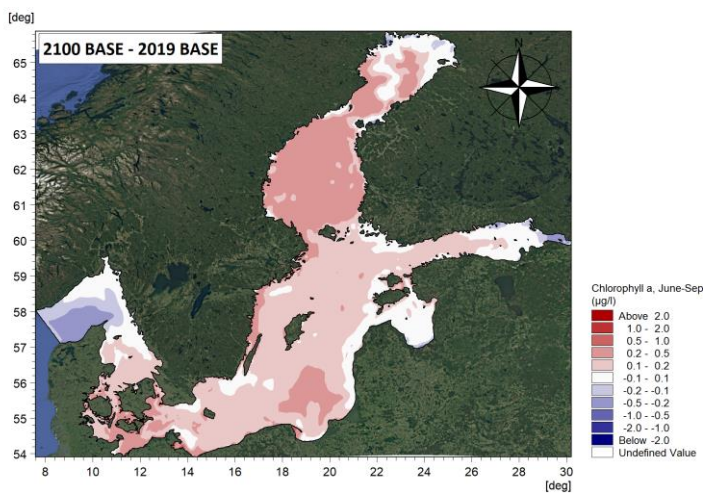


Figur 5-5 Middel klorofylkoncentration i juni-september i 2100 med forbindelser.



Figur 5-6 Ændring i middel klorofylkoncentration i juni-september 2100 med og uden forbindelser (med forbindelser minus uden forbindelser).

Commented [KT40]: Foreslår skala, så ændringer synliggøres f.x]-0,1;0,1[samt forskellig farvekode omkring 0 og "undefined value"



Figur 5-7 Ændring i middel klorofylkoncentration i juni-september 2019 uden forbindelser og 2100 uden forbindelser (2100 minus 2019).

Commented [KT41]: Farvekode for intervallet -0,1 - 0,1 og "undefined" bør være forskellig

Tabel 5-1 Ændring i middel sommer klorofylkoncentration ($\mu\text{g/l}$) i juni-september 2019 i sub-bassin "Kattegat", "Arkona Bassinet", "Bornholmer Bassinet" og "Østlige Gotlands Bassin" ved 2019 med forb., 2100 uden forb., 2100 med forb., 2100 uden forb. test* og 2100 med forb. test, i forhold til 2019 uden forbindelser (+ angiver øgning i klorofylkoncentration).

Østersø Model	Kattegat	Arkona Bassinet	Bornholmer Bassinet	Østlige Gotlands Bassin
---------------	----------	-----------------	---------------------	-------------------------

2019 med forb.	0,0	0,0	0,0	0,0
2100 uden forb.	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2
2100 med forb.	+0,1	+0,2	+0,1	+0,1
2100 uden forb. test	+0,0	+0,1	+0,1	+0,1
2100 med forb. test	+0,0	+0,1	+0,1	+0,1

*test refererer til sensitivitetstesten beskrevet i afsnit 4.4.

5.2.2 Vinter DIN koncentration

Vinter DIN koncentrationen er vist i [Figur 5-8](#) (2019 uden forbindelser), [Figur 5-9](#) (2019 med forbindelser), [Figur 5-11](#) (2100 uden forbindelser) og [Figur 5-12](#) (2100 med forbindelser), og ændringer i vinter DIN koncentrationen i [Figur 5-10](#) (2019 med og uden forbindelser), [Figur 5-13](#) (2100 med og uden forbindelser) og [Figur 5-14](#) (2019 og 2100 uden forbindelser).

~~Der ses ved sammenligning af vinter DIN koncentrationen i 2019 med og uden forbindelser (Figur 5-8 og Figur 5-9) og sammenligning af vinter DIN koncentrationen i 2100 med og uden forbindelser (Figur 5-11 og Figur 5-12), ingen ændringer i DIN koncentrationen pga. forbindelserne. Klimaændringerne øger vinter DIN koncentrationen.~~

De rummelige forskelle i vinter DIN koncentrationen er som forventet fra målinger og litteraturen.

Ændringen i vinter DIN koncentrationen pga. forbindelserne er vist i [Figur 5-10](#) og [Figur 5-13](#). Der er ingen ændring $> \pm 0,5 \mu\text{mol/L}$ i vinter DIN koncentrationen pga. forbindelserne.

Ændringen i vinter DIN koncentrationen pga. klimaændringer er vist i [Figur 5-14](#), og viser en øgning i vinter DIN koncentrationen på $+0,5-4,0 \mu\text{mol/L}$ i hele Østersøen. I Skagerrak ses ingen øgning i vinter DIN koncentrationen pga. øget inflow fra Nordsøen.

Af [Tabel 5-2](#) ses ændring i middel vinter DIN koncentration ($\mu\text{mol/L}$) i december-februar 2019, opgjort for sub-bassinerne "Kattegat", "Arkona Bassinet", "Bornholmer Bassinet" og "Østlige Gotlands Bassin" pga. forbindelser og klimaændringer, i forhold til 2019 uden forbindelser. Der ses ingen ændring pga. forbindelser, men ændringer på $+1,5 - 3,5 \mu\text{mol/L}$ pga. klimaændringer.

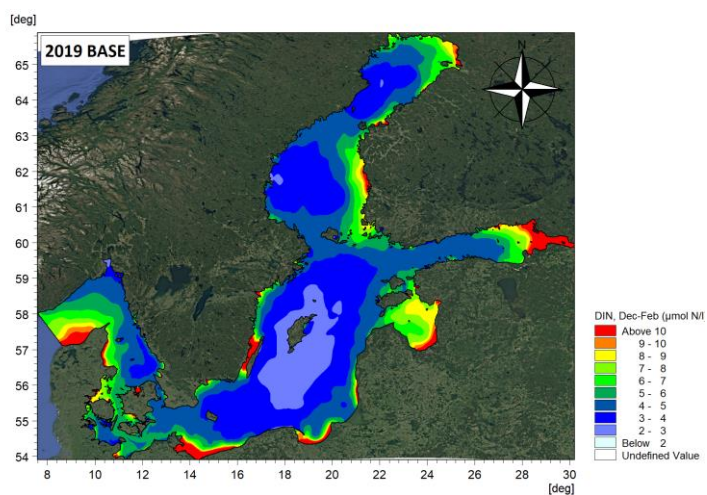
Ændringerne i vinter DIN koncentrationer skyldes hovedsageligt øget afstrømning og N tilførsler ved klimascenarierne (jf. afsnit 3.5).

Commented [KT42]: Man kan ikke se ændringer via absolutte resultatplots

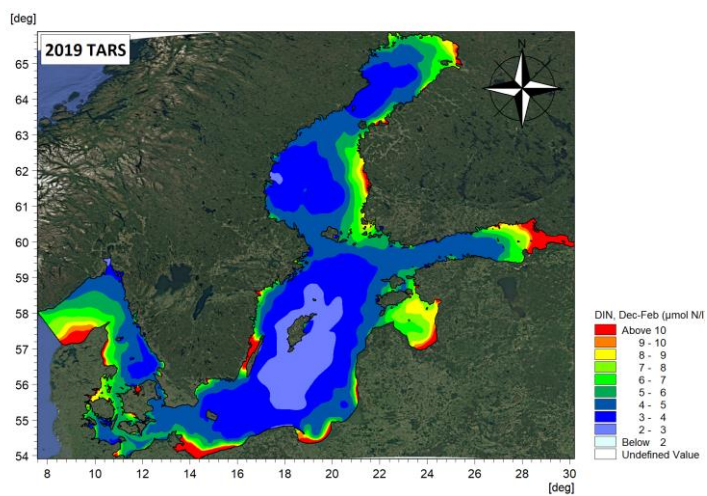
Commented [KT43]: Hvilken litteratur? Hvilke forventninger?

Commented [KT44R43]: Henvises til klima og/eller forbindelser?

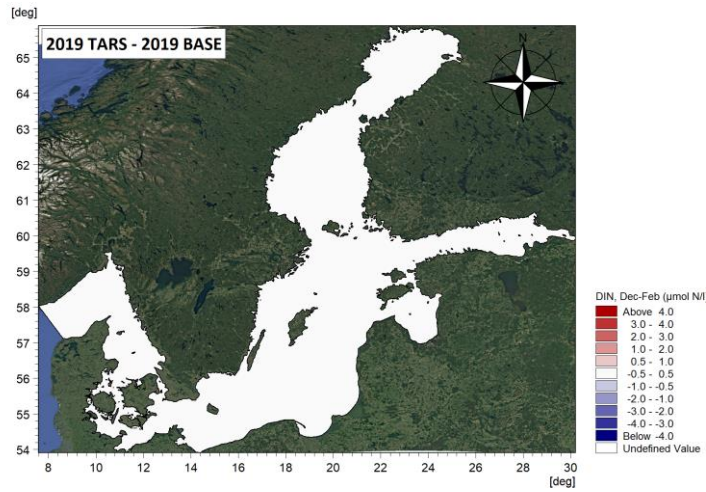
Commented [KT45]: Foreslår ændret skala fx]-0,5-0,5[og interval på 0,05



Figur 5-8 Middel DIN koncentration i december-februar 2019 uden forbindelser.

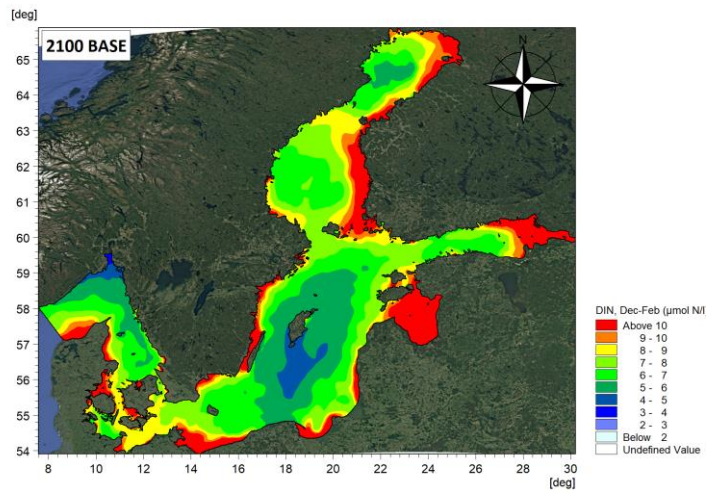


Figur 5-9 Middel DIN koncentration i december-februar 2019 med forbindelser.

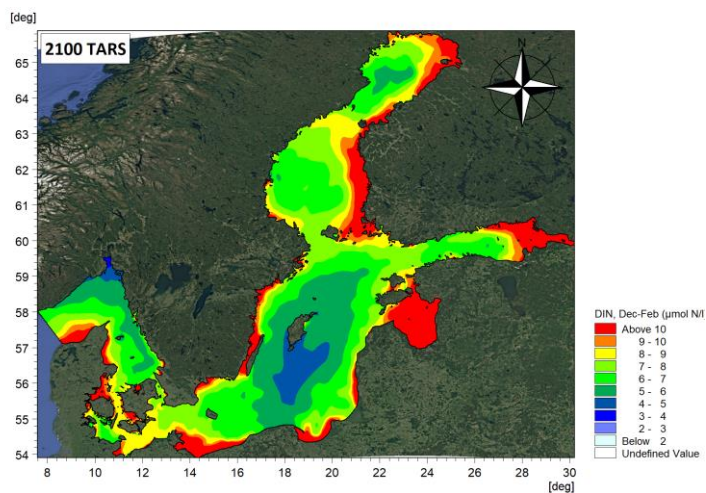


Figur 5-10 Ændring i middel DIN koncentration i december-februar 2019 med og uden forbindelser (med forbindelser minus uden forbindelser).

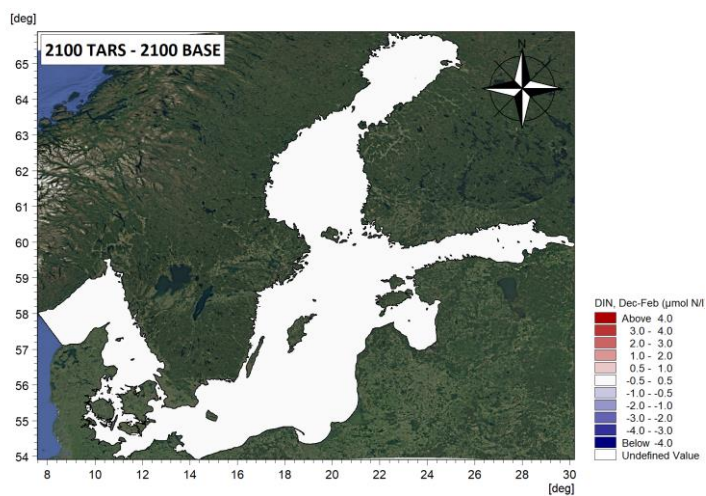
Commented [KT46]: Foreslår farveskala fra]-0,5; 0,5[samt ændring af farvekode for ca 0 og "undefined value"



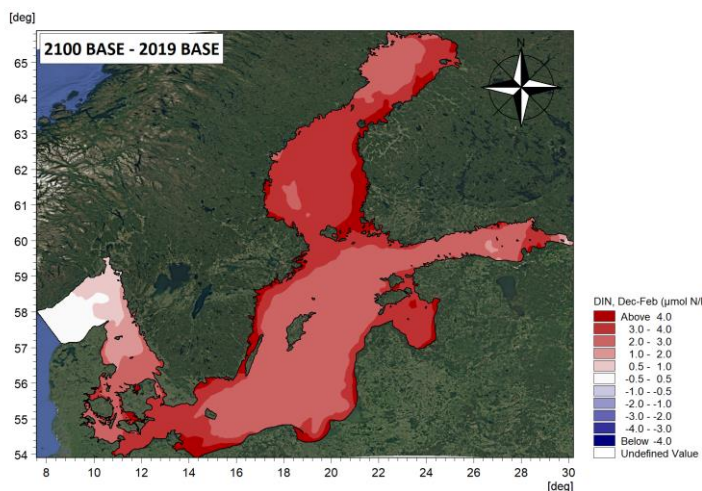
Figur 5-11 Middel DIN koncentration i december-februar 2100 uden forbindelser.



Figur 5-12 Middel DIN koncentration i december-februar 2100 med forbindelser.



Figur 5-13 Ændring i middel DIN koncentration i december-februar 2100 med og uden forbindelser (med forbindelser minus uden forbindelser).



Figur 5-14 Ændring i middel DIN koncentration i december-februar 2019 uden forbindelser og 2100 uden forbindelser (2100 minus 2019).

Tabel 5-2 Ændring i middel vinter DIN koncentration (µmol/l) i december-februar 2019 i sub-bassin "Kattegat", "Arkona Bassinet", "Bornholmer Bassinet" og "Østlige Gotlands Bassin" ved 2019 med forb., 2100 uden forb., 2100 med forb., 2100 uden forb. test og 2100 med forb. test, i forhold til 2019 uden forbindelser (+ angiver øgning i DIN koncentration).

Østersø Model	Kattegat	Arkona Bassinet	Bornholmer Bassinet	Østlige Gotlands Bassin
2019 med forb.	0,0	0,0	0,0	0,0
2100 uden forb.	+2,0	+3,5	+3,2	+2,6
2100 med forb.	+2,0	+3,5	+3,2	+2,5
2100 uden forb. test	+1,6	+3,0	+2,8	+2,3
2100 med forb. test	+1,5	+3,0	+2,7	+2,2

5.2.3 Vinter DIP koncentration

Vinter DIP koncentrationen er vist i [Figur 5-15](#) (2019 uden forbindelser), [Figur 5-16](#) (2019 med forbindelser), [Figur 5-18](#) (2100 uden forbindelser) og [Figur 5-19](#) (2100 med forbindelser), og ændringer i vinter DIP koncentrationen i [Figur 5-17](#) (2019 med og uden forbindelser), [Figur 5-20](#) (2100 med og uden forbindelser) og [Figur 5-21](#) (2019 og 2100 uden forbindelser).

Der ses ved sammenligning af vinter DIP koncentrationen i 2019 med og uden forbindelser (Figur 5-15 og Figur 5-16) og sammenligning af vinter DIP koncentrationen i 2100 med og uden forbindelser (Figur 5-11 og Figur 5-12), ingen ændringer i DIP koncentrationen pga forbindelserne. Klimaændringerne øger vinter DIP koncentrationen.

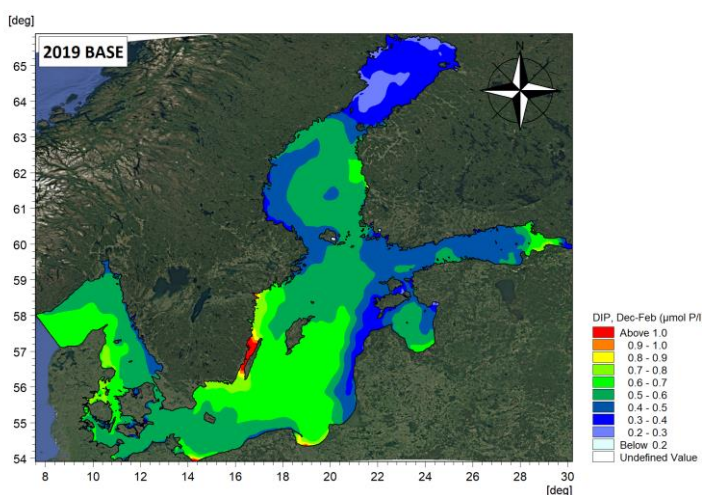
De rummelige forskelle i vinter DIP koncentrationen er som forventet fra målinger og litteraturen.

Ændringen i vinter DIP koncentrationen pga. forbindelserne er vist i Figur 5-17 og Figur 5-20. Der er ingen ændring $> \pm 0,05 \mu\text{mol/L}$ i vinter DIP koncentrationen pga. forbindelserne.

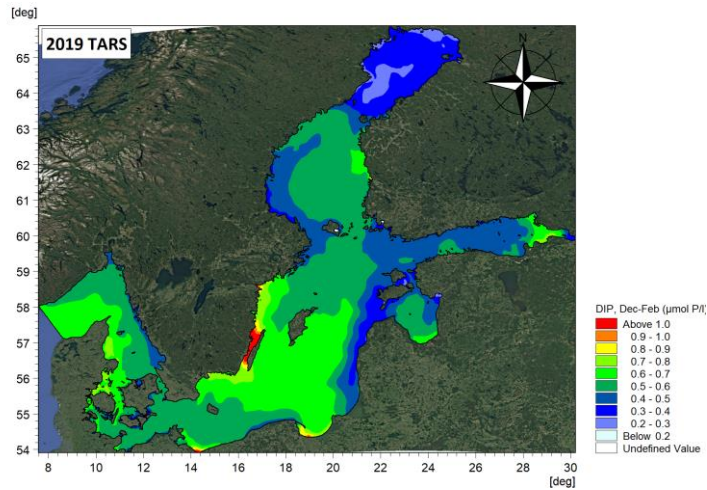
Ændringen i vinter DIP koncentrationen pga. klimaændringer er vist i Figur 5-21, og viser en øgning i vinter DIP koncentrationen på $+ 0,05 - 0,4 \mu\text{mol/L}$ i hele Østersøen. I Skagerrak ses ingen øgning i vinter DIP koncentrationen pga. øget inflow fra Nordsøen.

Af Tabel 5-3 ses ændring i middel vinter DIP koncentration ($\mu\text{mol/L}$) i december-februar 2019, opgjort for sub-bassinerne "Kattegat", "Arkona Bassinet", "Bornholmer Bassinet" og "Østlige Gotlands Bassin" pga. forbindelser og klimaændringer, i forhold til 2019 uden forbindelser. Der ses ingen ændring pga. forbindelser, men ændringer på $0,2 - 0,4 \mu\text{mol/L}$ pga. klimaændringer.

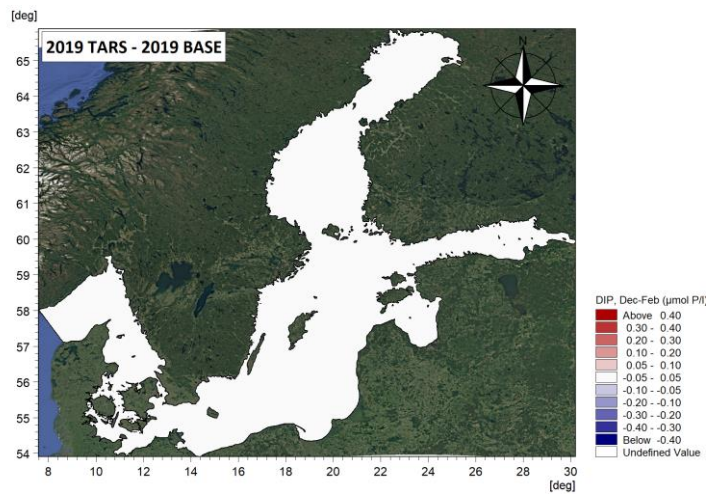
Ændringerne i vinter DIP koncentrationer skyldes overvejende øget afstrømning og P tilførsler ved klimascenarierne (jf. afsnit 3.5).



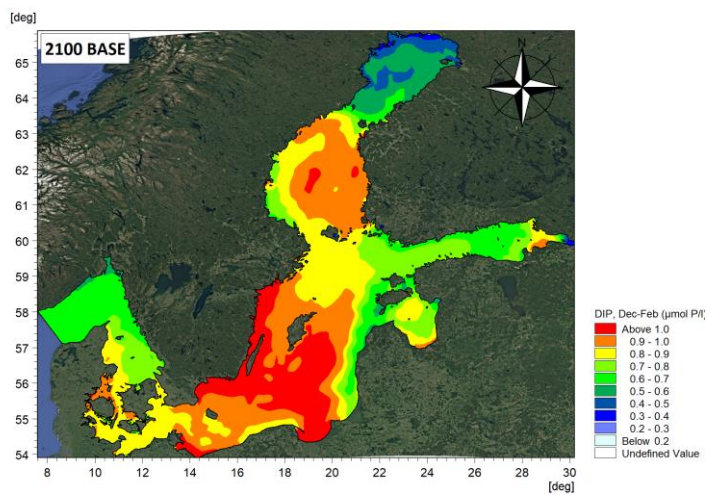
Figur 5-15 Middel DIP koncentration i december-februar 2019 uden forbindelser.



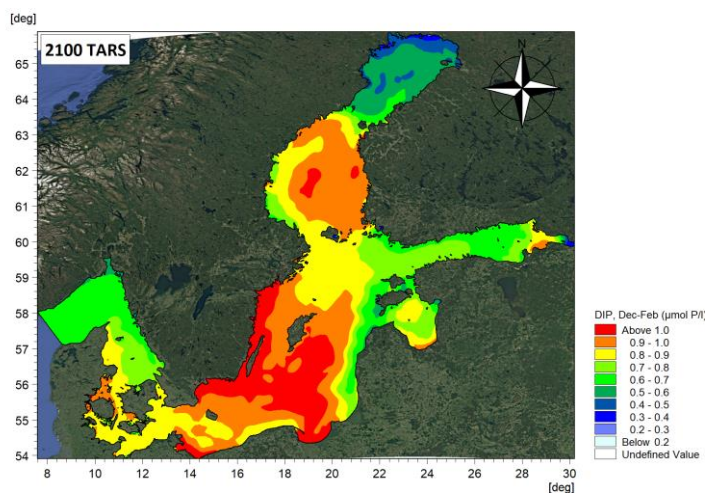
Figur 5-16 Middel DIP koncentration i december-februar 2019 med forbindelser.



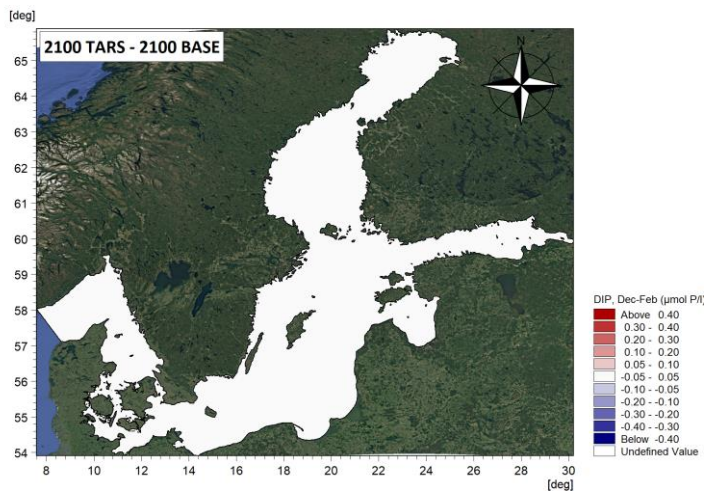
Figur 5-17 Ændring i middel DIP koncentration i december-februar 2019 med og uden forbindelser (med forbindelser minus uden forbindelser).



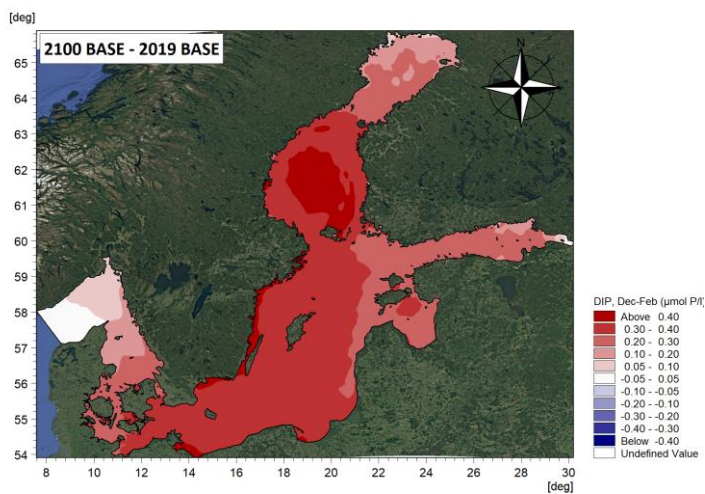
Figur 5-18 Middelt DIP koncentration i december-februar 2100 uden forbindelser.



Figur 5-19 Middelt DIP koncentration i december-februar 2100 med forbindelser.



Figur 5-20 Ændring i middel DIP koncentration i december-februar 2100 med og uden forbindelser (med forbindelser minus uden forbindelser).



Figur 5-21 Ændring i middel DIP koncentration i december-februar 2019 uden forbindelser og 2100 uden forbindelser (2100 minus 2019).

Tablet 5-3 Ændring i middel vinter DIP koncentration ($\mu\text{mol/l}$) i december-februar 2019 i sub-bassin "Kattegat", "Arkona Bassinet", "Bornholmer Bassinet" og "Østlige Gotlands Bassin" ved 2019 med forb., 2100 uden forb., 2100 med forb., 2100 uden forb. test og 2100 med forb. test, i forhold til 2019 uden forbindelser (+ angiver øgning i DIN koncentration).

Østersø Model	Kattegat	Arkona Bassinet	Bornholmer Bassinet	Østlige Gotlands Bassin
2019 med forb.	0,0	0,0	0,0	0,0
2100 uden forb.	+0,2	+0,4	+0,4	+0,3
2100 med forb.	+0,2	+0,4	+0,4	+0,3
2100 uden forb. test	+0,2	+0,3	+0,3	+0,3
2100 med forb. test	+0,2	+0,3	+0,3	+0,3

5.2.4 Sigtdybde

Sigtdybde er vist i [Figur 5-22](#) (2019 uden forbindelser), [Figur 5-23](#) (2019 med forbindelser), [Figur 5-25](#) (2100 uden forbindelser) og [Figur 5-26](#) (2100 med forbindelser), og ændringer i sigtdybde i [Figur 5-24](#) (2019 med og uden forbindelser), [Figur 5-27](#) (2100 med og uden forbindelser) og [Figur 5-28](#) (2019 og 2100 uden forbindelser).

Der ses ved sammenligning af sigtdybde i 2019 med og uden forbindelser ([Figur 5-22](#) og [Figur 5-23](#)) og sammenligning af sigtdybde i 2100 med og uden forbindelser ([Figur 5-25](#) og [Figur 5-26](#)) kun begrænsede ændringer pga forbindelserne.

De rummelige forskelle i sigtdybde er som forventet fra målinger og litteraturen, med lavere sigtdybde i kystnære områder, der øges mod de åbne havområder.

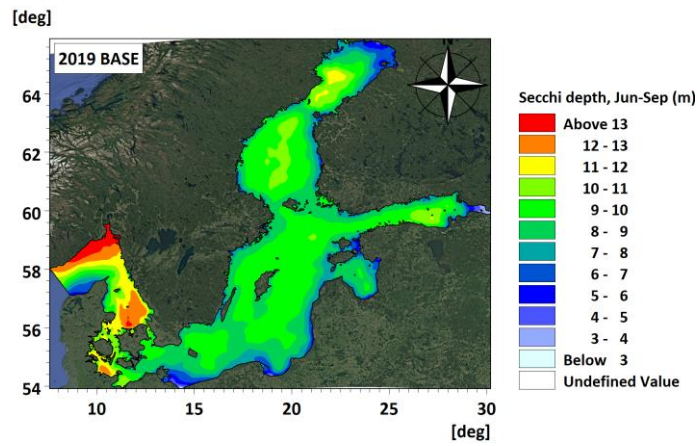
Ændringen i sigtdybde pga. forbindelserne er vist i [Figur 5-24](#) og [Figur 5-27](#). I Vestlige Østersø ses en meget begrænset øgning i sigtdybden (+0,1-0,2 m). I resten af Østersøen øst for Arkona Bassinet er der ingen ændring i sigtdybden pga. forbindelserne.

Ændringen i sigtdybden pga. klimaændringer er vist i [Figur 5-28](#), og viser et fald i sigtdybde i indre Østersø (-0,5 - -1,0 m), og et lidt større sporadisk fald i Bælthavet (-1,0 - -2,0 m). I Skagerrak ses en øgning i sigtdybde (+0,1 - +0,5 m), pga. øget vandstand og inflow fra Nordsøen.

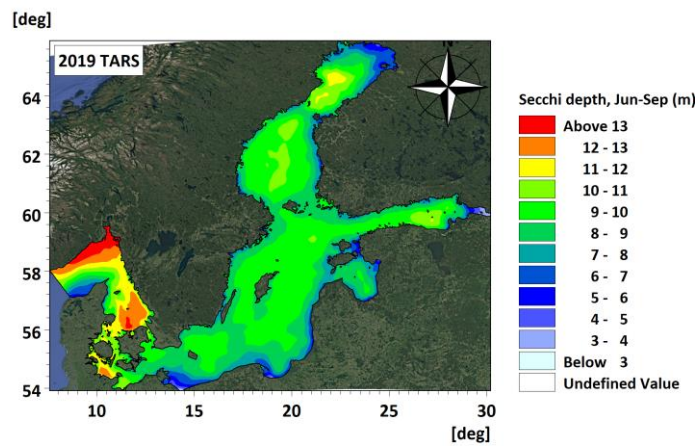
Af [Tabel 5-4](#) ses ændring i middel sigtdybde i juni-september 2019, opgjort for sub-bassinerne "Kattegat", "Arkona Bassinet", "Bornholmer Bassinet" og "Østlige Gotlands Bassin" pga. forbindelser og klimaændringer i forhold til 2019 uden forbindelser. Der ses ingen ændring pga. forbindelser, men ændringer på -0,5 - -0,8 m pga. klimaændringer.

Ændringerne i sigtdybde skyldes overvejende øget afstrømning samt N og P tilførsler og temperatur ved klimascenariene (jf. afsnit 3.5) og den derved øgede pelagiske primærproduktion samt øget tilførsel af partikulært og opløst organisk kulstof, der tilsammen giver øget lyssvækkelse i vandsøjlen.

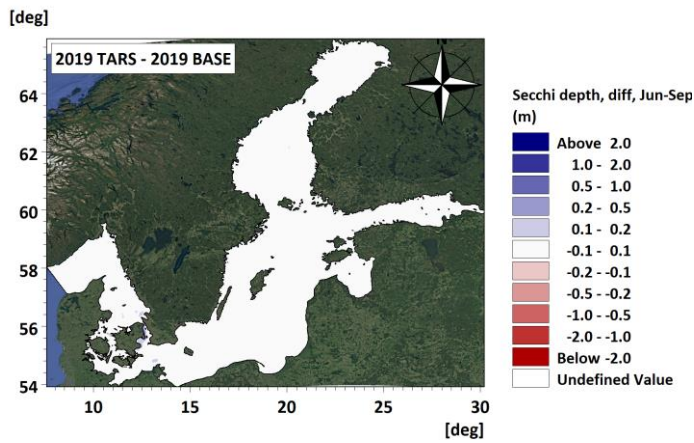
Ændringen i sigtdybde forårsaget af henholdsvis forbindelserne og klimaændringer er modsatrettet og ændringerne er en størrelsesorden større for klimaændringerne end for forbindelserne.



Figur 5-22 Middel sigtddybe i juni-september 2019 uden forbindelser.

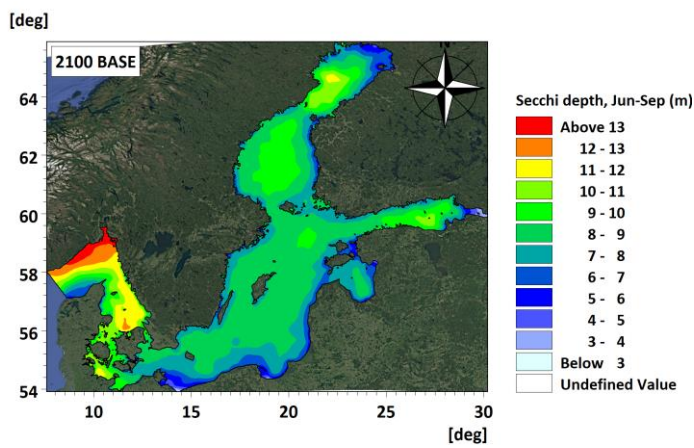


Figur 5-23 Middel sigtddybe i juni-september i 2019 med forbindelser.

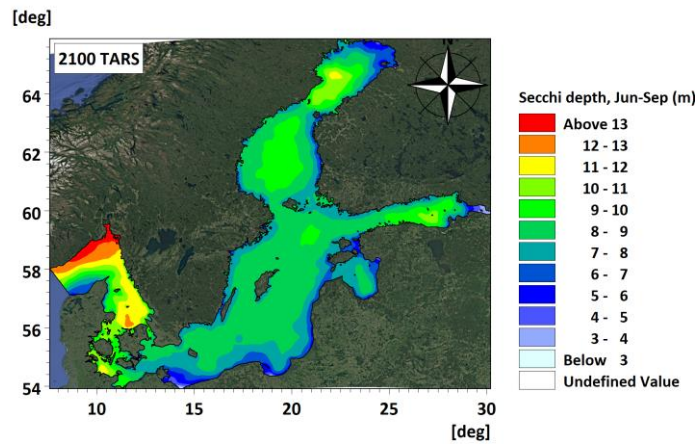


Figur 5-24 Ændring i middel sigtddybe i juni-september, 2019 med og uden forbindelser (med forbindelser minus uden forbindelser).

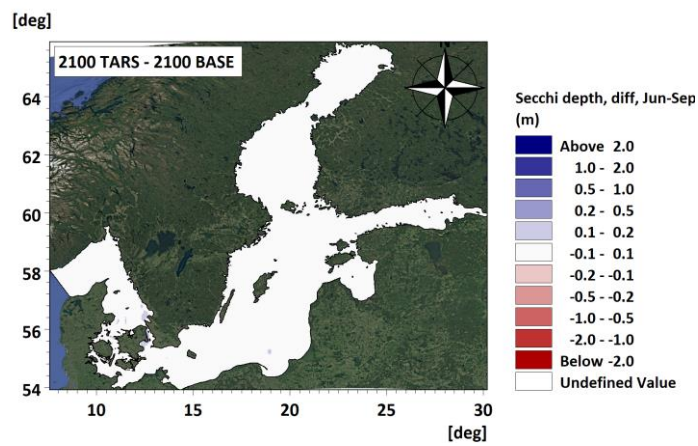
Commented [KT47]: Foreslår farveskala på]-0,1;0,1[samt forskel på farvekode for ca 0 og "undefined value"



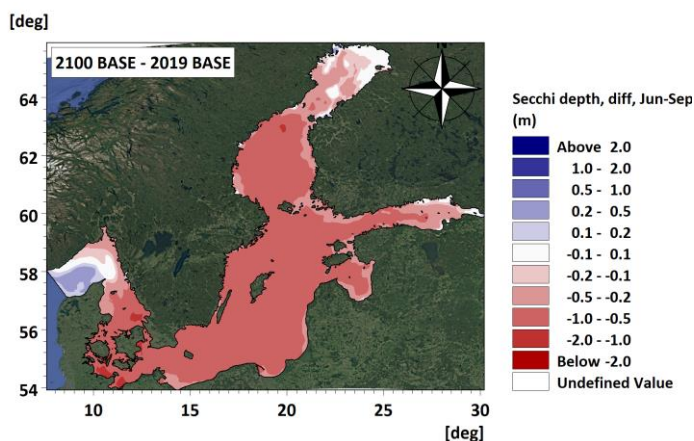
Figur 5-25 Middel sigtddybe i juni-september i 2100 uden forbindelser.



Figur 5-26 Middel sigtdybde i juni-september i 2100 med forbindelser.



Figur 5-27 Ændring i middel sigtdybde i juni-september 2100 med og uden forbindelser (med forbindelser minus uden forbindelser).



Figur 5-28 Ændring i middel sigtdybde i juni-september, 2019 uden forbindelser og 2100 uden forbindelser (2100 minus 2019).

Tabel 5-4 Ændring i middel sigtdybde (m) i juni-september 2019 i sub-bassin "Kattegat", "Arkona Bassinet", "Bornholmer Bassinet" og "Østlige Gotlands Bassin" ved 2019 med forb., 2100 uden forb., 2100 med forb., 2100 uden forb. test og 2100 med forb. test i forhold til 2019 uden forbindelser (- angiver reduktion i sigtdybde).

Østersø Model	Kattegat	Arkona Bassinet	Bornholmer Bassinet	Østlige Gotlands Bassin
2019 med forb.	0,0	0,0	0,0	0,0
2100 uden forb.	-0,6	-0,8	-0,8	-0,8
2100 med forb.	-0,6	-0,8	-0,7	-0,8
2100 uden forb. test	-0,5	-0,7	-0,7	-0,7
2100 med forb. test	-0,5	-0,7	-0,6	-0,7

5.3 Supplerende indikatorer

5.3.1 Ilt i bundvandet (iltsvind)

Iltforhold er vurderet iht. gældende standarder for iltsvind på: lavt iltindhold (4-6 mg/L), moderat iltsvind (2-4 mg/L) og kraftigt iltsvind (< 2 mg/L).

Modelleret ilt i bundvandet (iltsvind) er overordnet set som forventet fra målinger og litteraturen, se for eksempel Hansen, J.W. & Rytter, D. (2024) med udbredt ilt i bundvandet på 4-6 mg/L, moderat iltsvind (2-4 mg/L) og kraftigt iltsvind (< 2 mg/L), i alle dybere områder af Østersøen.

Ilt i bundvandet (iltsvind – august-september) er vist i [Figur 5-29](#) (2019 uden forbindelser), [Figur 5-30](#) (2019 med forbindelser), [Figur 5-31](#) (2100 uden forbindelser) og [Figur 5-32](#) (2100 med forbindelser).

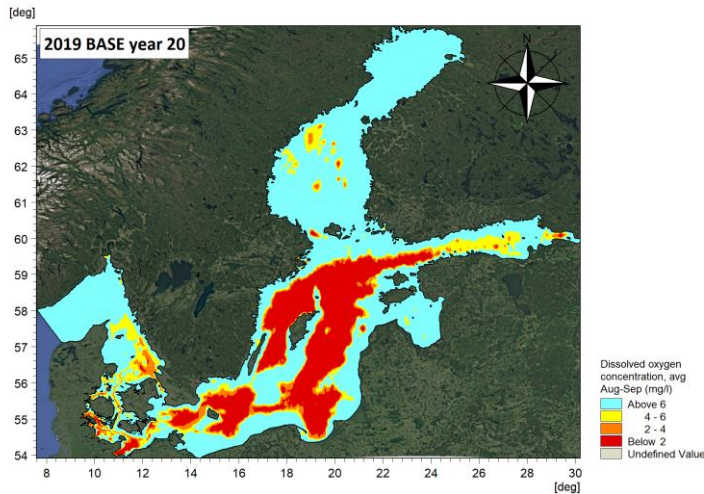
Commented [KT48]: Ændringer i ilt er svære at tolke... Undrer mig over %-angivelser. De summerer til >100%? Gætter på grænser er medtalt flere gange? For at lette tolkning foreslår jeg følgende inddeling [6; 4], [4,2] og [2,0] og at % angives ift totale areal af subbassin og ikke areal i subbassin med iltsvind (da det kan ændres mellem scenarier)

Årlig variation, og ændringer pga. forbindelserne og klima, i iltforhold i bundvandet i HELCOM sub-bassin "Kattegat", "Arkona", "Bornholmer Bassinet" og "Østlige Gotlands Bassin" for 2019 med og uden forbindelser, 2100 med og uden forbindelser og 2019 og 2100 uden forbindelser er vist i [Figur 5-33](#), [Figur 5-34](#), [Figur 5-35](#) og [Figur 5-36](#).

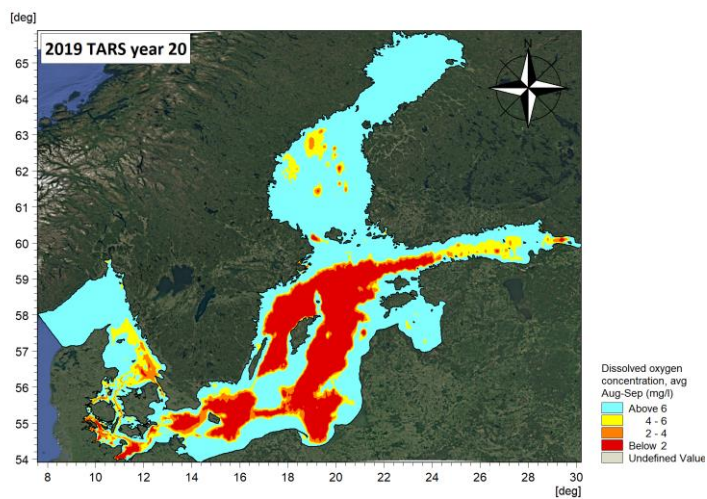
I alle bassiner er ændringen i ilt i bundvandet (iltsvind) pga. forbindelserne marginal, både under 2019 og 2100 forhold. I "Kattegat", "Arkona Bassinet", "Bornholmer Bassinet" og "Østlige Gotlands Bassin" medfører forbindelserne således en ændring på $< \pm 1\%$ i områder med ilt i bundvandet på 4-6 mg/L, moderat iltsvind (2-4 mg/L) og kraftigt iltsvind (< 2 mg/L) ([Tabel 5-5](#), [Tabel 5-6](#), [Tabel 5-7](#) og [Tabel 5-8](#)).

I alle bassiner er ændringen i ilt i bundvandet (iltsvind) pga. klimaændringer markant. I "Kattegat", "Arkona Bassinet", "Bornholmer Bassinet" og "Østlige Gotlands Bassin" medfører klimaændringer således en forøgelse på hhv. 5-18%, 5-28% og 2-9% i områder med ilt i bundvandet på 4-6 mg/L, moderat iltsvind (2-4 mg/L) og kraftigt iltsvind (< 2 mg/L). De største forøgelser af områder med iltsvind ses i Arkona Bassinet.

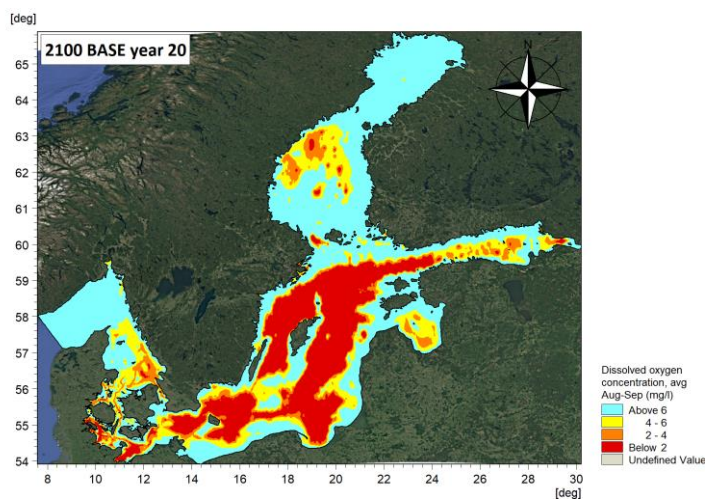
Ændringerne i ilt i bundvandet (iltsvind) skyldes primært øget vandtemperatur der resulterer i lavere iltmætning og øget bakteriel aktivitet ved remineralisering af organisk materiale, hvilket medfører øget iltforbrug, samt øget pelagisk primærproduktion.



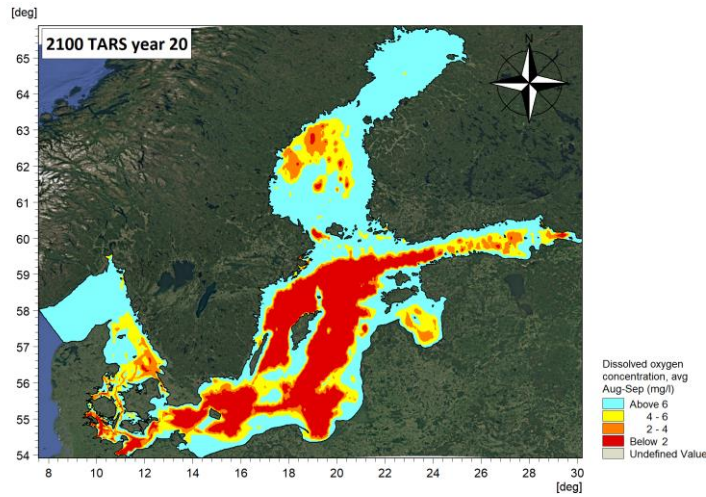
Figur 5-29 Iltsvind i 2019 uden forbindelser.



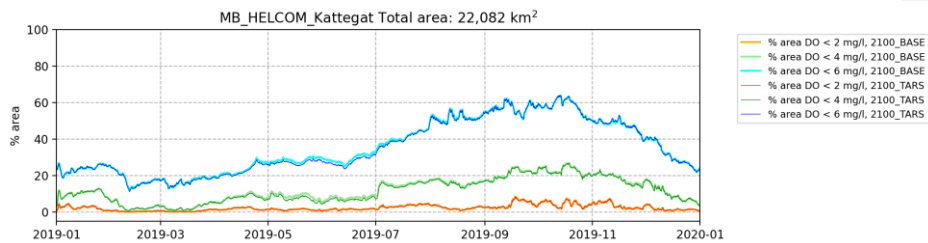
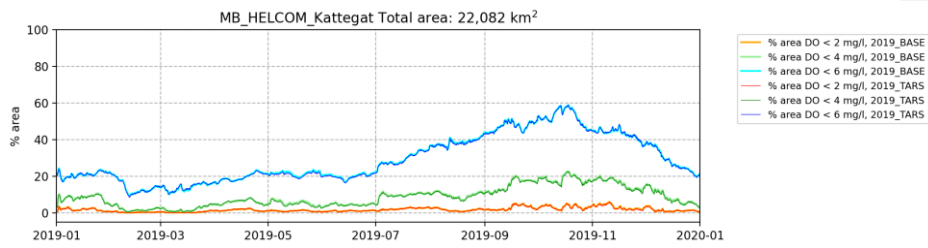
Figur 5-30 Iltsvind i 2019 med forbindelser.

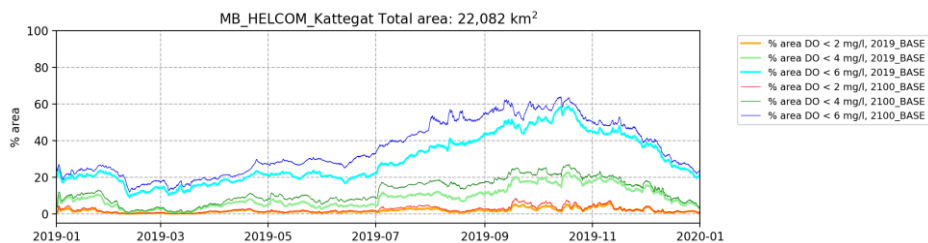


Figur 5-31 Iltsvind i 2100 uden forbindelser.



Figur 5-32 Iltsvind i 2100 med forbindelser.

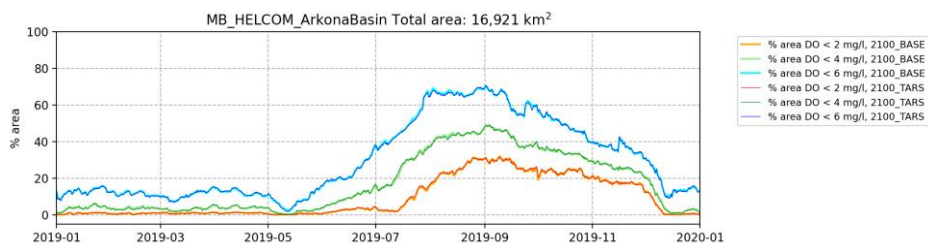
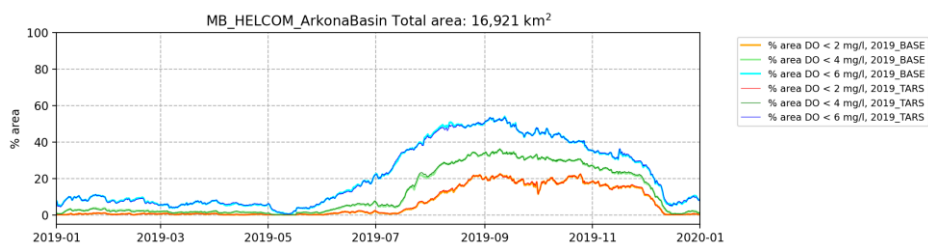


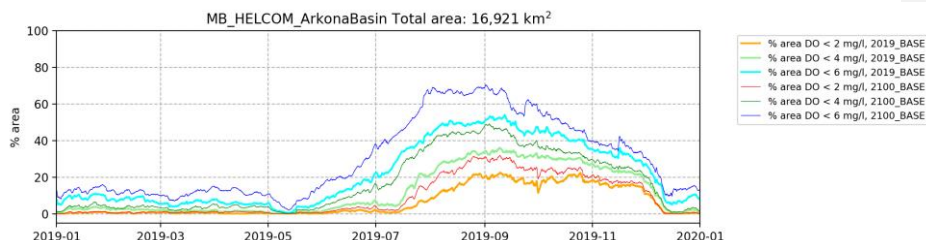


Figur 5-33 Årlig udvikling i iltvind i HELCOM sub-bassin "Kattegat". Øverst: 2019 med og uden forbindelser. Midten: 2100 med og uden forbindelser. Nederst: 2019 og 2100 uden forbindelser. Graferne angiver procent (%) af sub-bassinets samlede areal med iltvind.

Tabel 5-5 Maksimal udbredelse af områder i HELCOM sub-bassin "Kattegat" med ilt i bundvandet på 4-6 mg/L, moderat iltvind (2-4 mg/L) og kraftigt iltvind (< 2 mg/L), ved 2019 og 2100 med og uden forbindelser opgjort i km² og procent (%) af sub-bassinets samlede areal med iltvind.

Østersø Model	Ilt 4-6 mg/L (km ²)	Ilt 2-4 mg/L (km ²)	Ilt < 2 mg/L (km ²)
2019 uden forb.	12.975 (59%)	4.998 (23%)	1.321 (6%)
2019 med forb.	12.966 (59%)	4.921 (22%)	1.285 (6%)
2100 uden forb.	14.107 (64%)	5.928 (27%)	1.864 (8%)
2100 med forb.	14.084 (64%)	5.885 (27%)	1.820 (8%)
2100 uden forb. test	14.031 (64%)	5.845 (26%)	1.757 (8%)
2100 med forb. test	14.021 (63%)	5.794 (26%)	1.732 (8%)

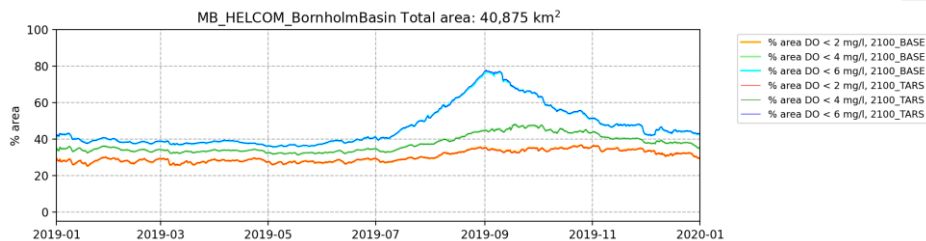
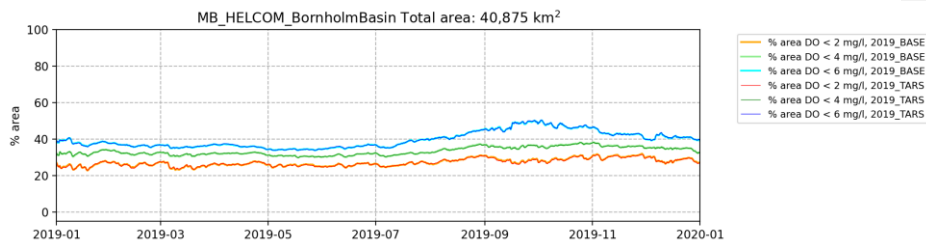


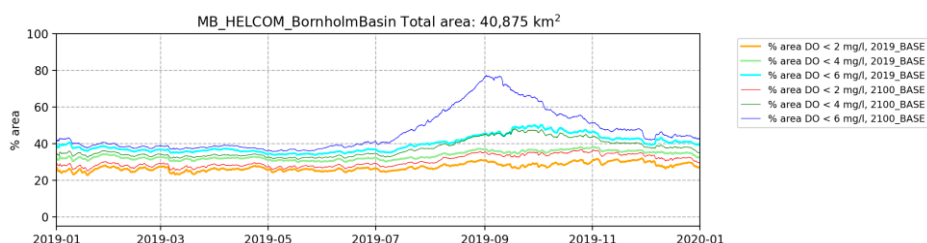


Figur 5-34 Årlig udvikling i iltvind i HELCOM sub-bassin "Arkona Bassinet". Øverst: 2019 med og uden forbindelser. Midten: 2100 med og uden forbindelser. Nederst: 2019 og 2100 uden forbindelser. Graferne angiver procent (%) af sub-bassinets samlede areal med iltvind.

Tabel 5-6 Maksimal udbredelse af områder i HELCOM sub-bassin "Arkona Bassinet" med ilt i bundvandet på 4-6 mg/L, moderat iltvind (2-4 mg/L) og kraftigt iltvind (< 2 mg/L), ved 2019 og 2100 med og uden forbindelser opgjort i km² og procent (%) af sub-bassinets samlede areal med iltvind.

Østersø Model	Ilt 4-6 mg/L (km²)	Ilt 2-4 mg/L (km²)	Ilt < 2 mg/L (km²)
2019 uden forb.	9.144 (54%)	6.106 (36%)	3.808 (23%)
2019 med forb.	9.051 (53%)	6.134 (36%)	3.820 (23%)
2100 uden forb.	11.916 (70%)	8.293 (49%)	5.396 (32%)
2100 med forb.	11.945 (71%)	8.288 (49%)	5.351 (32%)
2100 uden forb. test	11.745 (69%)	8.058 (48%)	5.231 (31%)
2100 med forb. test	11.773 (70%)	8.062 (48%)	5.203 (31%)

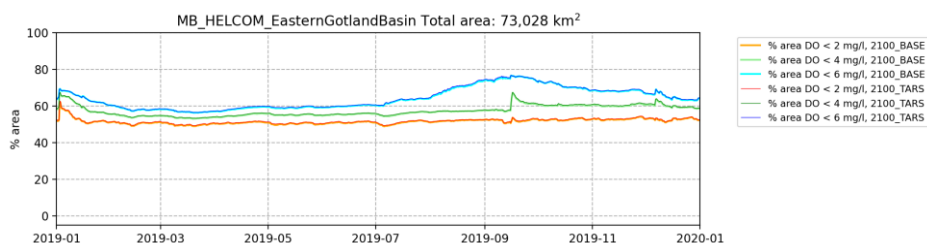
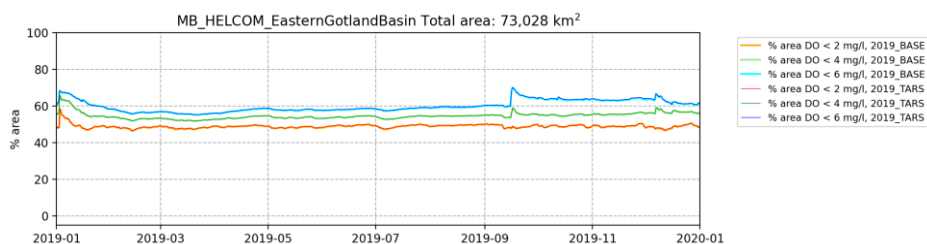


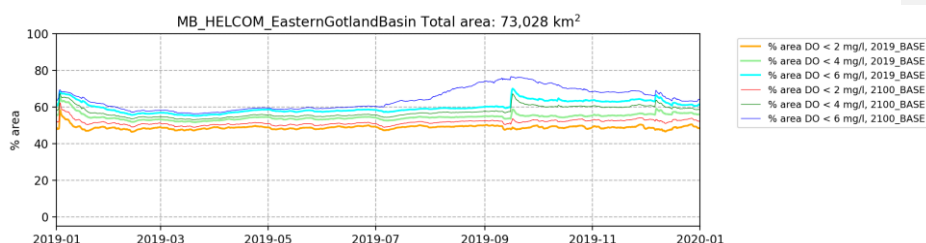


Figur 5-35 Årlig udvikling i iltvind i bundvandet i HELCOM sub-bassin "Bornholmer Bassinet". Øverst: 2019 med og uden forbindelser. Midten: 2100 med og uden forbindelser. Nederst: 2019 og 2100 uden forbindelser. Graferne angiver procent (%) af sub-bassinets samlede areal med iltvind.

Tabel 5-7 Maksimal udbredelse af områder i HELCOM sub-bassin "Bornholmer Bassinet" med ilt i bundvandet på 4-6 mg/L, moderat iltvind (2-4 mg/L) og kraftigt iltvind (<math>< 2 \text{ mg/L}</math>), ved 2019 og 2100 med og uden forbindelser opgjort i km² og procent (%) af sub-bassinets samlede areal med iltvind.

Østersø Model	Ilt 4-6 mg/L (km²)	Ilt 2-4 mg/L (km²)	Ilt <math>< 2 \text{ mg/L}</math> (km²)
2019 uden forb.	20.516 (50%)	15.605 (38%)	13.032 (32%)
2019 med forb.	20.597 (50%)	15.586 (38%)	12.856 (31%)
2100 uden forb.	31.586 (77%)	19.632 (48%)	14.998 (37%)
2100 med forb.	31.805 (78%)	19.624 (48%)	14.967 (37%)
2100 uden forb. test	31.071 (76%)	19.181 (47%)	14.758 (36%)
2100 med forb. test	31.138 (76%)	19.092 (47%)	14.680 (36%)





Figur 5-36 Årlig udvikling i iltsvind i HELCOM sub-bassin "Østlige Gotlands Bassin". Øverst: 2019 med og uden forbindelser. Midten: 2100 med og uden forbindelser. Nederst: 2019 og 2100 uden forbindelser. Graferne angiver procent (%) af sub-bassinets samlede areal med iltsvind.

Tabel 5-8 Maksimal udbredelse af områder i HELCOM sub-bassin "Østlige Gotlands Bassin" med ilt i bundvandet på 4-6 mg/L, moderat iltsvind (2-4 mg/L) og kraftigt iltsvind (< 2 mg/L), ved 2019 og 2100 med og uden forbindelser opgjort i km² og procent (%) af sub-bassinets samlede areal med iltsvind.

Østersø Model	Ilt 4-6 mg/L (km ²)	Ilt 2-4 mg/L (km ²)	Ilt < 2 mg/L (km ²)
2019 uden forb.	51.090 (70%)	47.836 (66%)	42.473 (58%)
2019 med forb.	51.171 (70%)	47.865 (66%)	42.670 (58%)
2100 uden forb.	55.895 (77%)	49.082 (67%)	45.390 (62%)
2100 med forb.	55.998 (77%)	49.201 (67%)	45.693 (63%)
2100 uden forb. test	55.731 (76%)	49.047 (67%)	45.315 (62%)
2100 med forb. test	55.806 (76%)	49.090 (67%)	45.565 (62%)

5.3.2 Cyanobakterier

Årlig variation og ændringer i fytoplanktonsamfundet er vurderet iht. perioden med dominans af cyanobakterier.

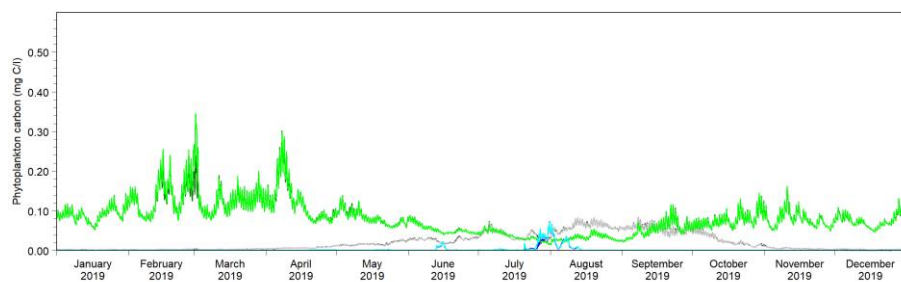
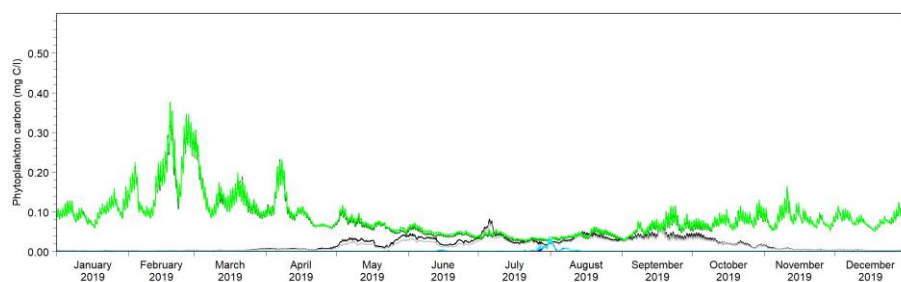
Perioden for dominans af cyanobakterier er overordnet set som forventet fra målinger og litteraturen, se for eksempel Wåhlstrøm et al., 2024, med dominans i Arkona Bassinet, Bornholmer Bassinet og Østlige Gotlands Bassin i sommermånederne (juni-august) og fravær af cyanobakterie dominans i Kattegat pga. højere saltholdighed.

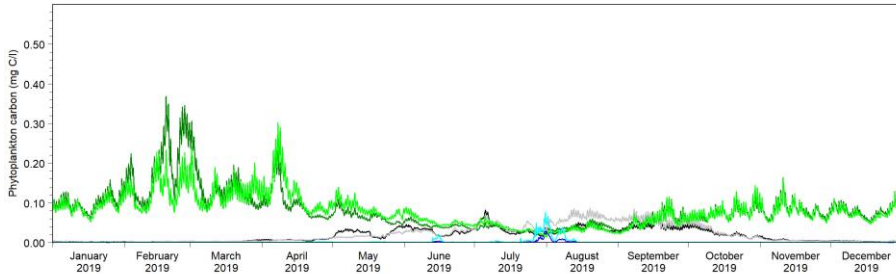
Årlig variation og ændringer pga. forbindelserne og klima, i fytoplankton-samfundet i HELCOM sub-bassin "Kattegat", "Arkona", "Bornholmer Bassinet" og "Østlige Gotlands Bassin" for 2019 med og uden forbindelser, 2100 med og uden forbindelser og 2019 og 2100 uden forbindelser er vist i [Figur 5-37](#)[Figur 5-37](#), [Figur 5-38](#)[Figur 5-38](#), [Figur 5-39](#)[Figur 5-39](#) og [Figur 5-40](#)[Figur 5-40](#).

I alle bassiner er ændringen i perioden med dominans af cyanobakterier pga. forbindelserne marginal, både under 2019 og 2100 forhold. I "Kattegat", "Arkona", "Bornholmer Bassinet" og "Østlige Gotlands Bassin" medfører forbindelserne således en ændring i perioden med dominans af cyanobakterier på < ±1 dage ([Tabel 5-9](#)[Tabel 5-9](#), [Tabel 5-10](#)[Tabel 5-10](#), [Tabel 5-11](#)[Tabel 5-11](#) og [Tabel 5-12](#)[Tabel 5-12](#)).

I "Arkona Bassinet", "Bornholmer Bassinet" og "Østlige Gotlands Bassin" er ændringen i perioden med dominans af cyanobakterier pga. klimaændringer markant. Her medfører klimaændringer således en forøgelse i perioden med dominans af cyanobakterier på hhv. 14-17 dage, 24-25 dage og 22 dage. Det bemærkes endvidere at klimaændringer medfører en øgning i koncentration af cyanobakteriekulstof fra maksimale værdier på omkring 0,25 mgC/L til 0,50 mgC/L og derved omkring en fordobling af den pelagiske cyanobakterie C pulje.

Ændringer i perioden med dominans af cyanobakterier skyldes primært ændringer i perioden med fosfor-overskud, øget vandtemperatur og reduceret saltholdighed i overfladevandet.



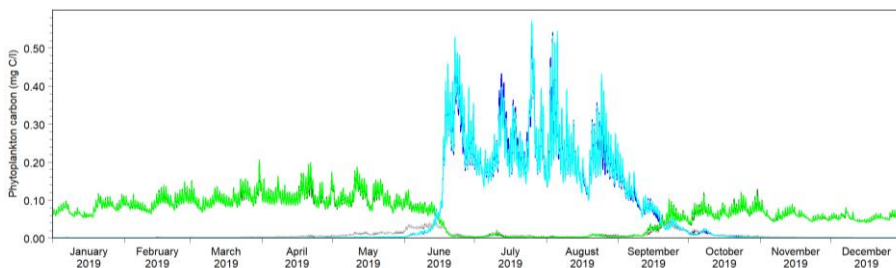
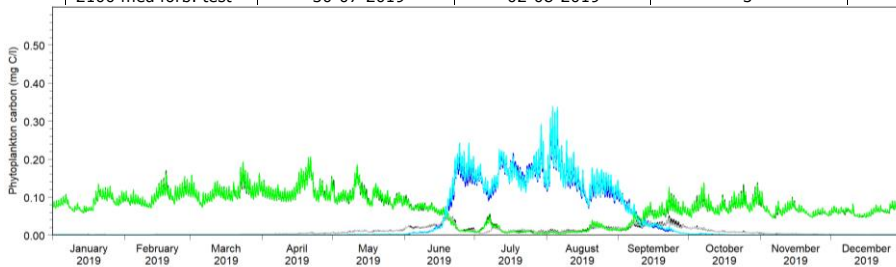


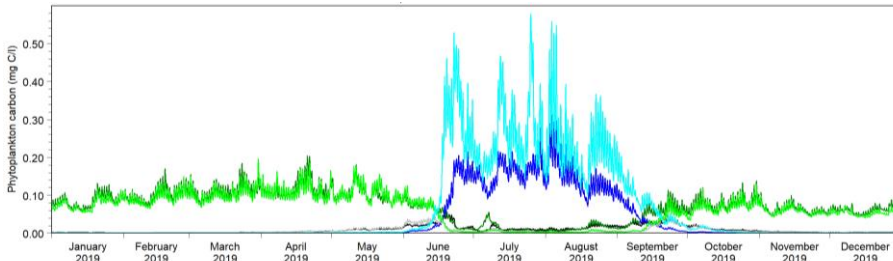
Figur 5-37 Årlig udvikling og variation i fytoplanktonsamfundet (gC/L) repræsenteret ved flagellater (sort og grå linje), diatomer (mørkegrøn og lysegrøn linje) og cyanobakterier (mørkeblå og lyseblå linjer) i HELCOM sub-bassin "Kattegat". Øverst: 2019 med og uden forbindelser. Midten: 2100 med og uden forbindelser. Nederst: 2019 og 2100 uden forbindelser.

Commented [KT49]: Kan det vises som differensplot?

Tabel 5-9 Start dato, slut dato og varighed af perioden med cyanobakterie dominans i HELCOM sub-bassin "Kattegat", ved 2019 og 2100 med og uden forbindelser.

Østersø Model	Start dato	Slut dato	Varighed (dage)
2019 uden forb.	-	-	0
2019 med forb.	-	-	0
2100 uden forb.	30-07-2019	02-08-2019	3
2100 med forb.	30-07-2019	02-08-2019	3
2100 uden forb. test	30-07-2019	02-08-2019	3
2100 med forb. test	30-07-2019	02-08-2019	3



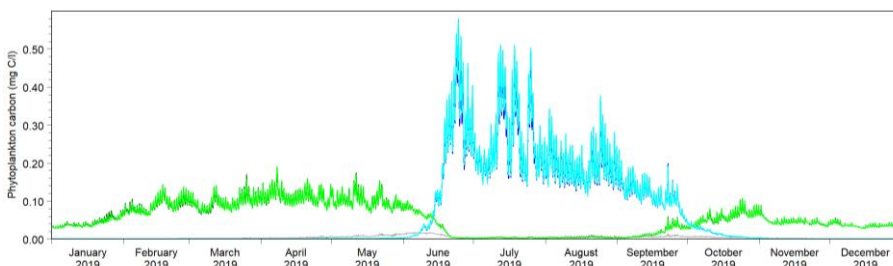
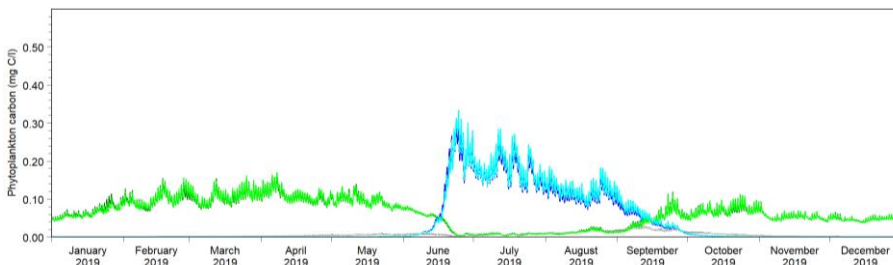


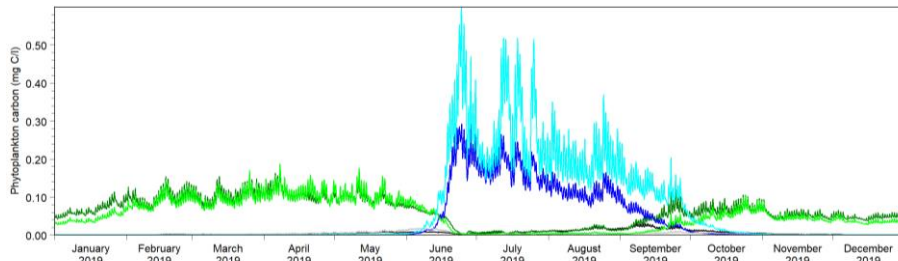
Figur 5-38 Årlig udvikling og variation i fytoplanktonsamfundet (gC/L) repræsenteret ved flagellater (sort og grå linje), diatomer (mørkegrøn og lysegrøn linje) og cyanobakterier (mørkeblå og lyseblå linjer) i HELCOM sub-bassin "Arkona Bassinet". Øverst: 2019 med og uden forbindelser. Midten: 2100 med og uden forbindelser. Nederst: 2019 og 2100 uden forbindelser.

Commented [KT50]: Kan det vises som differensplot?

Table 5-10 Start dato, slut dato og varighed af perioden med cyanobakterie dominans i HELCOM sub-bassin "Arkona Bassinet", ved 2019 og 2100 med og uden forbindelser.

Østersø Model	Start dato	Slut dato	Varighed (dage)
2019 uden forb.	19-06-2019	09-09-2019	82
2019 med forb.	19-06-2019	06-09-2019	79
2100 uden forb.	15-06-2019	19-09-2019	96
2100 med forb.	15-06-2019	19-09-2019	96
2100 uden forb. test	16-06-2019	17-09-2019	93
2100 med forb. test	16-06-2019	18-09-2019	94

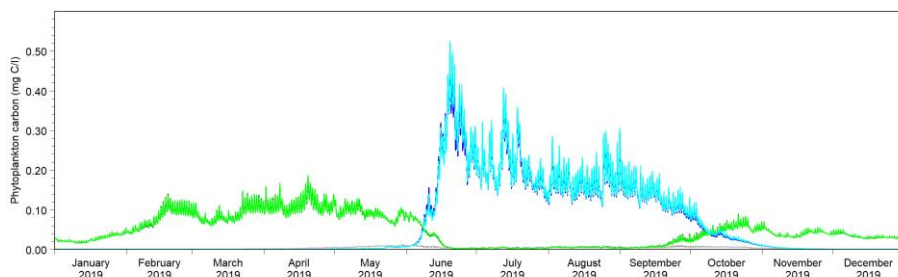
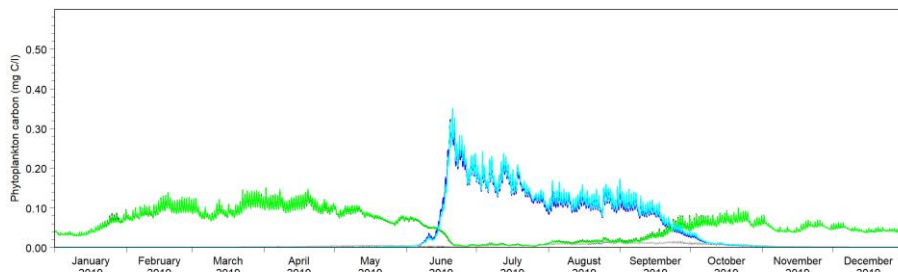


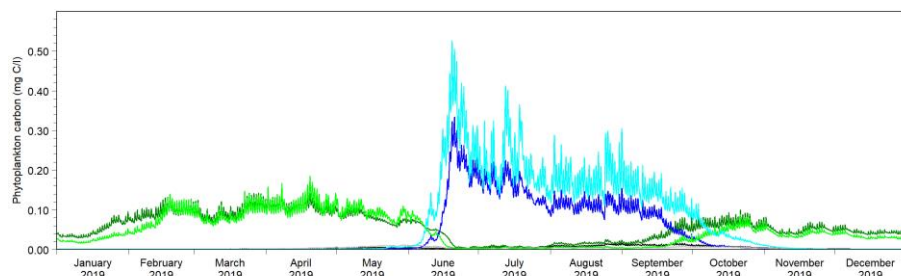


Figur 5-39 Årlig udvikling og variation i fytoplanktonsamfundet (gC/L) repræsenteret ved flagellater (sort og grå linje), diatomer (mørkegrøn og lysegrøn linje) og cyanobakterier (mørkeblå og lyseblå linjer) i HELCOM sub-bassin "Bornholmer Bassinet". Øverst: 2019 med og uden forbindelser. Midten: 2100 med og uden forbindelser. Nederst: 2019 og 2100 uden forbindelser.

Tabel 5-11 Start dato, slut dato og varighed af perioden med cyanobakterie dominans i HELCOM sub-bassin "Bornholmer Bassinet", ved 2019 og 2100 med og uden forbindelser.

Østersø Model	Start dato	Slut dato	Varighed (dage)
2019 uden forb.	15-06-2019	11-09-2019	88
2019 med forb.	15-06-2019	11-09-2019	88
2100 uden forb.	13-06-2019	03-10-2019	112
2100 med forb.	12-06-2019	03-10-2019	113
2100 uden forb. test	13-06-2019	29-09-2019	108
2100 med forb. test	13-06-2019	29-09-2019	108





Figur 5-40 Årlig udvikling og variation i fytoplanktonsamfundet (gC/L) repræsenteret ved flagellater (sort og grå linje), diatomer (mørkegrøn og lysegrøn linje) og cyanobakterier (mørkeblå og lyseblå linjer) i HELCOM sub-bassin "Østlige Gotlands Bassin". Øverst: 2019 med og uden forbindelser. Midten: 2100 med og uden forbindelser. Nederst: 2019 og 2100 uden forbindelser.

Tabel 5-12 Start dato, slut dato og varighed af perioden med cyanobakterie dominans i HELCOM sub-bassin "Østlige Gotlands Bassin", ved 2019 og 2100 med og uden forbindelser.

Østersø Model	Start dato	Slut dato	Varighed (dage)
2019 uden forb.	13-06-2019	22-09-2019	101
2019 med forb.	13-06-2019	22-09-2019	101
2100 uden forb.	07-06-2019	08-10-2019	123
2100 med forb.	07-06-2019	08-10-2019	123
2100 uden forb. test	07-06-2019	05-10-2019	120
2100 med forb. test	07-06-2019	05-10-2019	120

5.3.3 Torsk - Det reproduktive volumen

Det reproduktive volumen beregnes som det vandvolumen, hvor ilt koncentrationen > 2 ml/L, temperaturen $> 1,5$ °C - < 14 °C og saltholdigheden > 11 ‰. Dette volumen bliver i dag brugt som indikator i f.eks ICES og Copernicus.

Årlig variation og ændringer, pga. forbindelserne og klima, i torskens reproduktive volumen i HELCOM sub-bassin "Kattegat", "Arkona", "Bornholmer Bassinet" og "Østlige Gotlands Bassin" for 2019 med og uden forbindelser, 2100 med og uden forbindelser og 2019 og 2100 uden forbindelser er vist i [Figur 5-41](#)[Figur 5-42](#), [Figur 5-42](#), [Figur 5-43](#)[Figur 5-43](#) og [Figur 5-44](#)[Figur 5-44](#).

I alle bassiner er den gennemsnitlige årlige ændring i det reproduktive volumen pga. forbindelserne positive eller neutral, både under 2019 og 2100 forhold. I "Kattegat", "Arkona", "Bornholmer Bassinet" og "Østlige Gotlands Bassin" medfører forbindelserne således en gennemsnitlig årlig ændring af det reproduktive volumen på hhv. 0 km³, 0 km³, $+4$ km³ og $+6$ - $+15$ km³ ([Tabel 5-13](#)[Tabel 5-13](#), [Tabel 5-14](#)[Tabel 5-14](#), [Tabel 5-15](#)[Tabel 5-15](#) og [Tabel 5-16](#)[Tabel 5-16](#)).

I alle bassiner er ændringen i det reproduktive volumen pga. klimænderinger markant negative. I "Kattegat", "Arkona", "Bornholmer Bassinet" og "Østlige

Commented [KT51]: Torsk gyder vinter og pre-sommer (alt efter art). Effekt af klima størst udenfor gydeperiode, men synes ikke det er vigtigt og årsbetragtninger er fint (og konservativt)

Commented [KT52]: Er det forventeligt? Ville umiddelbart tro der kom (lidt) mindre salt og ilt ind i Østersøen, ved øget blokering og dermed lidt mindre RPV? Bør nok kommenteres/understøttes af litteratur.

Commented [KT53R52]: Er der en "underlighed" i den hydrodynamiske model?

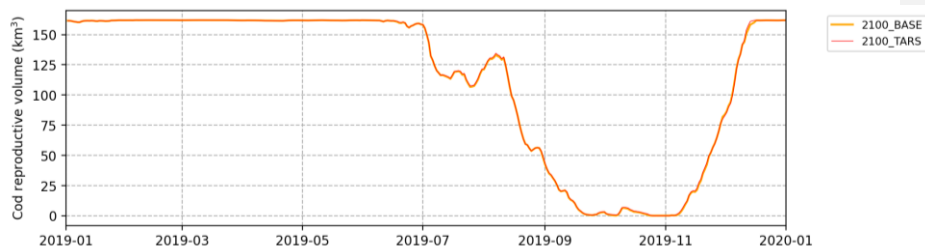
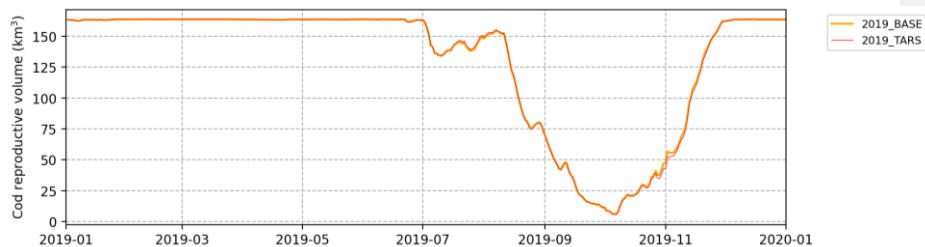
Commented [KT54]: Kan ikke genfinde de 15 km³?

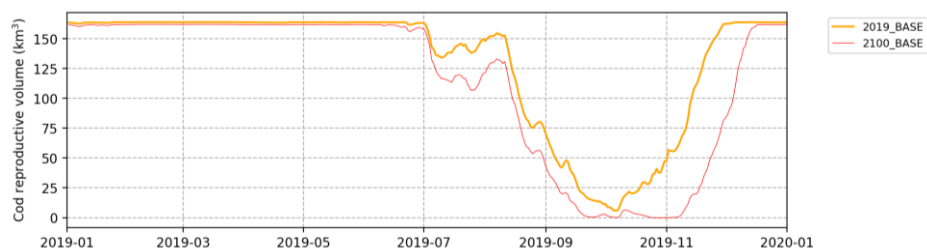
Commented [MB55R54]: rettet

Gotlands Bassin" medfører klimaændringer således en årlig gennemsnitlig reduktion af det reproduktive volumen på hhv. 16 km³, 8 km³, 59 km³ og 307 km³ (Tabel 5-13, Tabel 5-14, Tabel 5-15 og Tabel 5-16). Den største reduktion af det reproduktive volumen ses i det Østlige Gotlands Bassin.

Ændringerne i det reproduktive volumen skyldes primært ændringer i iltforhold (hhv. større og mindre områder med < 2 ml/L pga. klimaændringer og forbindelser, jf. afsnit 5.3.1 og Tabel 5-5, Tabel 5-6, Tabel 5-7 og Tabel 5-8) og øget temperatur pga. klimaændringer (for samlet overblik over betydningen af de begrænsende faktorer for torskens reproduktive volumen, se Bilag A). Det skal bemærkes at det totale vandvolumen på vanddybder > 20 m, er lavere i 2100 pga. land/havbundshævninger sammenlignet med 2019.

Commented [KT56]: Kan ændring i volumen med dybder > 20m kvantificeres? Henvi evt til figur 3-1.



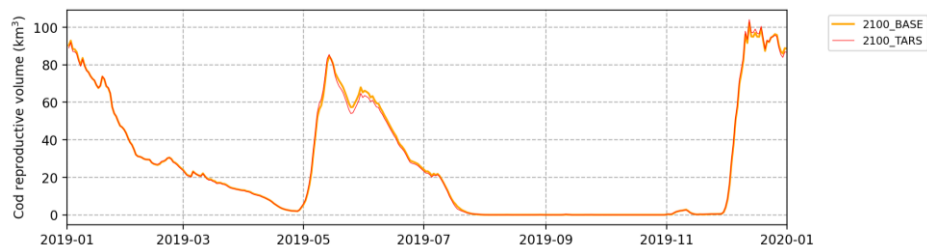
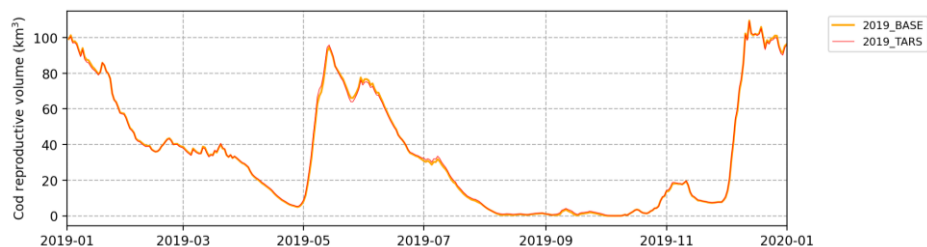


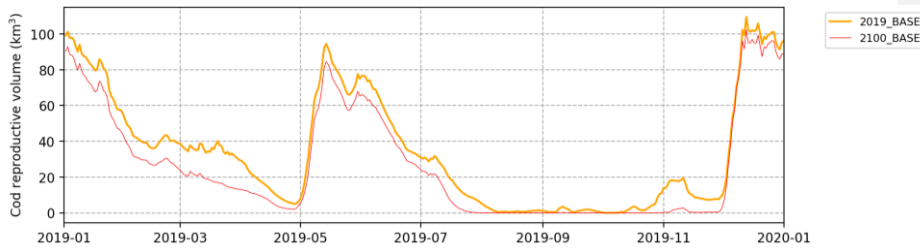
Figur 5-41 Årlig udvikling i torskens reproduktive volumen i HELCOM sub-bassin "Kattegat". Øverst: 2019 med og uden forbindelser. Midten: 2100 med og uden forbindelser. Nederst: 2019 og 2100 uden forbindelser. Graferne angiver km^3 af sub-bassinets samlede volumen på vanddybder > 20 m (163.81 km^3 i 2019 og 161.99 km^3 i 2100).

Commented [KT57]: Adskil forskellige scenarier med forskellige farver. Nu har 2100_base og 2100_tårs samme farve, hvilket besværliggør tolkning.

Tabel 5-13 Torskens reproduktive volumen i HELCOM sub-bassin "Kattegat", ved 2019 og 2100 med og uden forbindelser opgjort i km^3 af sub-bassinets samlede volumen på vanddybder > 20 m.

Østersø Model	Reproduktivt volumen (km^3), gns	Reproduktivt volumen (km^3), max	Reproduktivt volumen (km^3), min
2019 uden forb.	130	164	6
2019 med forb.	130	164	5
2100 uden forb.	114	162	0
2100 med forb.	114	162	0
2100 uden forb. test	114	162	0
2100 med forb. test	114	162	0

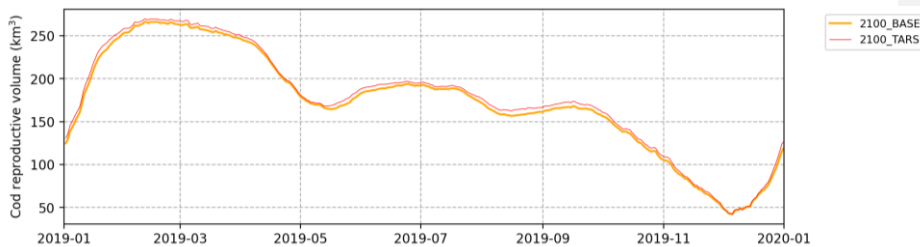
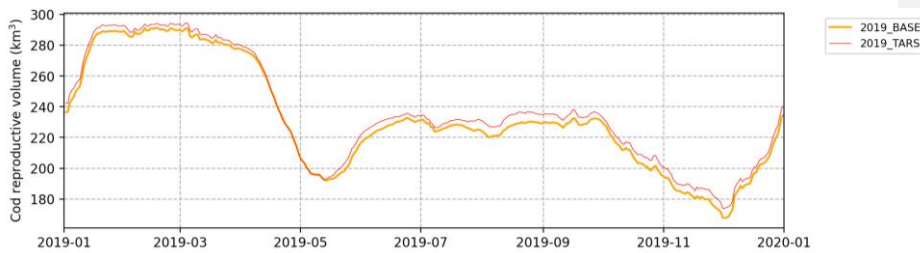


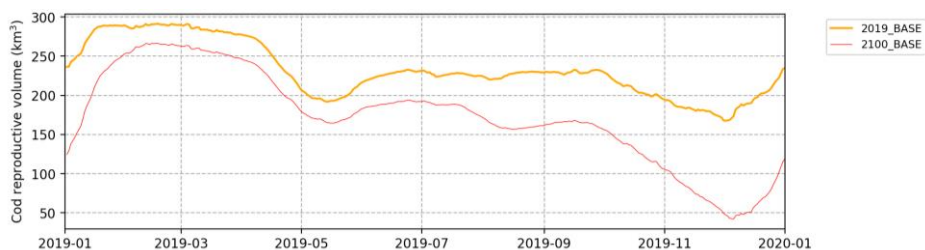


Figur 5-42 Årlig udvikling i torskens reproduktive volumen i HELCOM sub-bassin "Arkona Bassinet". Øverst: 2019 med og uden forbindelser. Midten: 2100 med og uden forbindelser. Nederst: 2019 og 2100 uden forbindelser. Graferne angiver km³ af sub-bassinets samlede volumen på vanddybder > 20 m (142.71 km³ i 2019 og 142.33 km³ i 2100).

Tabel 5-14 Torskens reproduktive volumen i HELCOM sub-bassin "Arkona Bassinet", ved 2019 og 2100 med og uden forbindelser opgjort i km³ af sub-bassinets samlede volumen på vanddybder > 20m.

Østersø Model	Reproduktivt volumen (km ³), gns	Reproduktivt volumen (km ³), max	Reproduktivt volumen (km ³), min
2019 uden forb.	34	109	0
2019 med forb.	34	109	0
2100 uden forb.	26	102	0
2100 med forb.	26	104	0
2100 uden forb. test	30	107	0
2100 med forb. test	30	108	0

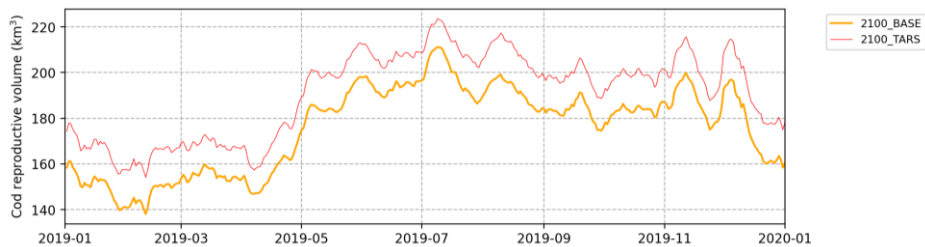


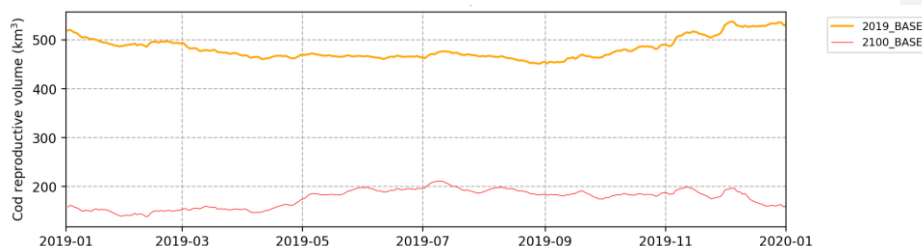


Figur 5-43 Årlig udvikling i torskens reproduktive volumen i HELCOM sub-bassin "Bornholmer Bassinet". Øverst: 2019 med og uden forbindelser. Midten: 2100 med og uden forbindelser. Nederst: 2019 og 2100 uden forbindelser. Graferne angiver km³ af sub-bassinets samlede volumen på vanddybder > 20 m (1023.42 km³ i 2019 og 1021.59 km³ i 2100).

Tabel 5-15 Torskens reproduktive volumen i HELCOM sub-bassin "Bornholmer Bassinet", ved 2019 og 2100 med og uden forbindelser opgjort i km³ af sub-bassinets samlede volumen på vanddybder > 20m.

Østersø Model	Reproduktivt volumen (km ³), gns	Reproduktivt volumen (km ³), max	Reproduktivt volumen (km ³), min
2019 uden forb.	232	291	168
2019 med forb.	236	295	174
2100 uden forb.	173	266	42
2100 med forb.	177	270	42
2100 uden forb. test	195	284	56
2100 med forb. test	199	286	59





Figur 5-44 Årlig udvikling i torskens reproduktive volumen i HELCOM sub-bassin "Østlige Gotlands Bassin". Øverst: 2019 med og uden forbindelser. Midten: 2100 med og uden forbindelser. Nederst: 2019 og 2100 uden forbindelser. Graferne angiver km³ af sub-bassinets samlede volumen på vanddybder > 20 m (4079.78 km³ i 2019 og 4072.62 km³ i 2100).

Tabel 5-16 Torskens reproduktive volumen i HELCOM sub-bassin "Østlige Gotlands Bassin", ved 2019 og 2100 med og uden forbindelser opgjort i km³ af sub-bassinets samlede volumen på vanddybder > 20m.

Østersø Model	Reproduktivt volumen (km ³), gns	Reproduktivt volumen (km ³), max	Reproduktivt volumen (km ³), min
2019 uden forb.	482	538	451
2019 med forb.	498	560	468
2100 uden forb.	176	211	138
2100 med forb.	191	224	154
2100 uden forb. test	333	363	301
2100 med forb. test	341	372	311

5.4 Sensitivitetstest

En sensitivitetstest er udført med alle de bestemte klimaaendringer, men hvor afstrømningen fra land kun er øget med det halve af den beregnede øgning i afstrømning. Forøgelsen i afstrømning til Østersøen er bestemt til +19%, se [Tabel 3-2](#) Tabel 3-2, og den er således i sensitivitetstesten kun +9,5%.

Nedbørens øgning pga. klimaaendringer er ikke halveret. Sensitivitetstestens fokus er den beregnede fordampning over land og dens betydning for afstrømningen, og derfor er det kun afstrømningen, og derved også tilførslerne af N og P, som mindskes i sensitivitetstesten.

For hydrografien, viser sensitivitetstesten at de beregnede saltholdighedsprofiler i sensitivitetstesten er tæt på de profiler, der er beregnet i 2019. Dvs. at en vandstandsstigning på +0,5 m og en afstrømningsøgning på +10% har modsatrettet effekt på saltholdighedsprofilerne og er af samme størrelsesorden. Påføres begge samtidigt beregnes omtrentligt de samme oprindelige profiler i 2019.

Commented [KT58]: Afsnit bør rykkes frem til "metode" beskrivelse. Så kan man også bedre forstå tabeller.

Commented [MB59R58]: Nej 😊

Sensitivitetstesten skal således primært ses i relation til halvering af tilførsler med næringsstoffer ift. økologi og miljøforhold. Resultater af sensitivitetstesten fremgår i

[Tabel 5-1](#)

[Tabel 5-1](#) - [Tabel 5-16](#) og omfatter analysen af HELCOM's "core indicators" og supplerende indikatorer.

Overordnet viser sensitivitetstesten en intermediaær respons på de eutrofieringsrelaterede indikatorer, sammenlignet med scenariet med forøgelse i afstrømning (og tilførsler) til Østersøen på +19%. Cyanobakterier og ilt i bundvandet viser dog en svagere respons, da disse indikatorer i højre grad er temperaturfølsomme og temperaturen som nævnt ikke er ændret i sensitivitetstesten.

5.5 Samlet betragtning af økologisk påvirkning

Det findes generelt, at:

Påvirkningen fra klimaændringer på de økologiske forhold (klorofyl, næringsstoffer, sigtddybde, ilt, cyanobakterier og torskens reproduktive volumen) i Østersøen er overordnet set betydeligt større end påvirkningen fra infrastrukturforbindelserne.

Påvirkningen fra klimaændringer på økologien er betydelig. De ændrede økologiske forhold er af en størrelse, der vil kunne måles og dokumenteres i fremtidige monitoreringsprogrammer. Disse ændrede økologiske og hydrografiske forhold forårsaget af klimaændringerne forventes dermed at have en betydelig påvirkning på miljøet i Østersøen. En væsentlig hydrografisk ændring er vandtemperaturstigningen, som vil bevirke et mindre iltindhold (se [Figur 5-45](#)) og et hurtigere forbrug af ilten i havvandet, altså et skift mod iltfattigere forhold i bundlagene i Østersøen, hvilket bl.a. vil medføre en reduktion i den akkumulerede indikator torskens reproduktive volumen.

Endvidere vil vandtemperaturstigningen og øget fosfor-overskud medføre øget dominans af cyanobakterier i Østersøens fytoplankton samfund, hvilket vil facilitere øget fiksering af atmosfærisk kvælstof. Dette vil, i samspil med en potentiel øgning i næringsstofftilførsler, medføre øget pelagisk primærproduktion og forstærket skiftet mod iltfattigere forhold i bundlagene i Østersøen yderligere.

De ændrede hydrografiske forhold forårsaget af klimaændringerne er kvantificeret i den parallelle hydrografiske rapportering (Sund & Bælt, 2025A).

Formatted: Body Text

Commented [KT60]: Dette afsnit er del af en diskussion? Foreslår følgende struktur til diskussion, som lægger sig om ad formål med undersøgelsen:

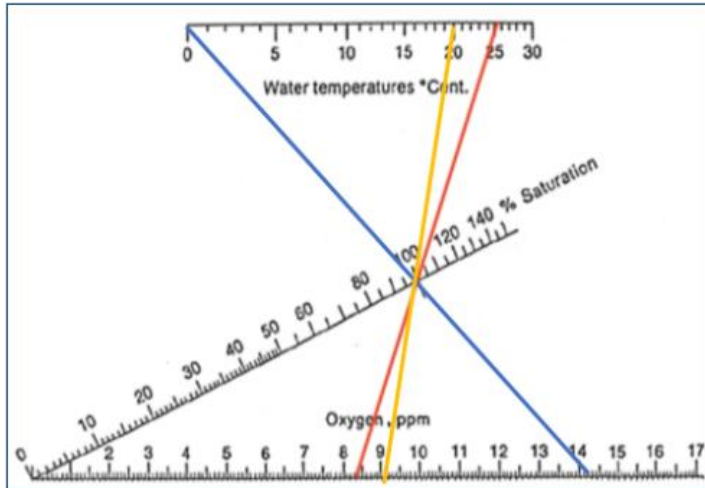
Påvirkning pga infrastruktur i nutidigt klima
Påvirkning pga klima
Påvirkning af infrastruktur i fremtidigt klima

Adresser limitations herunder

- *model opløsning
- *model validering
- *brug af repræsentativt år (og derfor ikke fokus på MBI)
- *model "underlighederne", med højere salt og ilt med øget blokering

Konklusion: infrastruktur har ingen betydning for undersøgte indikatorer, hverken nu eller i fremtidigt klima. Forbehold for limitations.

Commented [KT61]: Virker mærkeligt at sammenligne effekter af infrastrukturprojekter med klimaforandringer. Beskriv gerne økologisk og/eller miljøjuridisk argument som gør sammenligning fagligt meningsfuld. Alternativt bør formulering ændres.



Figur 5-4546 Statisk metode til bestemmelse af iltkoncentration ved forskellige temperaturer og mætningsgrader. Sammenhæng mellem 100% mætning og temperaturer på 0°C, 20°C og 25°C er vist.

Overordnet viser 2100-sensitivitetstesten en intermedieær respons på de eutrofi-relaterede indikatorer (klorofyl, næringsstoffer, sigtdybde) sammenlignet med scenariet med forøgelse i afstrømning (og tilhørende tilførsler) til Østersøen på +19%. Cyanobaktier og ilt i bundvandet viser dog en svagere respons, da disse indikatorer i højre grad er temperaturfølsomme, og temperaturen som nævnt ikke er ændret i sensitivitetstesten.

Påvirkningen fra forbindelserne på økologien og miljøforholdene er marginale. De ændrede økologiske forhold fra forbindelserne, som overvejende repræsenteres af meget små positive ændringer, er af en så marginal størrelse, at ændringen ikke forventes at kunne måles og dokumenteres i fremtidige monitoreringsprogrammer.

Commented [KT62]: Lille ændring, men underligt den går i retning af større RPV

6 Diskussion

6.1 Infrastrukturprojekter og klimaændring

I beregninger og analyser er der benyttet:

- Fem infrastrukturprojekter (forbindelser); for hvert projekt er valgt en udformning, der giver den største modstand af de optimerede udformninger, som forventes at blive undersøgt i det videre arbejde; og
- Et median klimascenarie med dette scenaries median ændringer.

Alle fem infrastrukturprojekter er blevet eller aktuelt bliver undersøgt, men der er ikke truffet beslutning om gennemførelse. Hvis der arbejdes videre med et

eller flere af de betragtede infrastrukturprojekter, kan strømningssmodstanden ændres i forhold til dem anvendt i de foreliggende analyser.

Ligeledes vil de betragtede klimaændringer i de foreliggende analyser sandsynligvis afvige fra dem, der udvikles i fremtiden.

Uanset disse mulige afvigelser for infrastrukturprojekter og klimaændringer benyttet i dette arbejde, så forventes den overordnede konklusion fra dette arbejde ikke at ændres:

- En optimering af infrastrukturprojekterne kan, og vil sandsynligvis, mindske deres modstand på gennemstrømningerne.
- Der er allerede tydelige tegn på klimaændringer.

Og således forbliver den overordnede konklusion:

- Påvirkningen fra klimaændringer på de økologiske og miljømæssige forhold er overordnet betydeligt større end påvirkningen fra forbindelserne.
- Påvirkningen fra klimaændringer på økologien er betydelig og vil kunne måles.
- Påvirkningen fra forbindelserne på økologien og miljøforholdene er marginale og forventes ikke at kunne måles.

6.2 Opholdstid og miljøforhold i Østersøen og forsinkelse i signal

På grund af den lange opholdstid i Østersøen, i runde tal 5 - 30 år, vil påvirkningen fra klimaændringer på de hydrografiske forhold være forsinket. Groft sagt, så vil klimaændringernes påvirkning af hydrografien først være fuldt udviklet med en forsinkelse på 5 - 30 år. For økologien forventes denne forsinkelse at være meget længere, og det er tvivlsomt om det overhovedet giver mening at forsøge at sætte tal på hvornår klimaændringernes påvirkning af økologien vil være fuldt udviklet.

Denne tidsforsinkelse er i en vis udstrækning fjernet ved at gentage beregningen af 2019 og 2100 tyve gange (svarende til 20 år under samme vejrforhold). Således er det beregnede hydrografiske og økologiske signal i 2100 uden hele denne forsinkelse (og variationer fra år til år, som vil 'drukne' signalet).

De benyttede klimaændringer er opgjort for perioden 1981 til 2100, dvs. tidligt før 2100, og derfor antages de fundne resultater for økologien samlet omtrentligt at repræsenterer forholdene i 2100.

Således vil denne forsinkelse heller ikke samlet set ændre den overordnede konklusion.

6.3 Miljømål for Østersøen

Østersøhandleplanen, er HELCOMs strategiske program for foranstaltninger og handlinger for at opnå en god økologisk tilstand i Østersøen (Baltic Sea Action Plan - HELCOM, 2021).

I Østersøhandleplanen betragtes Østersøen integreret og holistisk, dvs. at hele Østersøens økosystem betragtes med dets tilstand og påvirkninger (og igen med henvisning til en referencetilstand). Dette er i god tråd med moderne kystzoneforvaltning og en grundlæggende del af den metode, der benyttes i "Integrated Coastal Zone Management" (ICZM). I nærværende arbejde benyttes også en integreret og holistisk betragtning i den forstand, at hele Østersøen betragtes, inklusive påvirkninger fra både infrastrukturprojekter og klimaændringer.

Østersøhandleplanen opdelt i fire segmenter med specifikke mål:

- Biodiversitet, med dets mål om et "Østersøens økosystem er sundt og modstandsdygtigt",
- Eutrofiering, med dets mål om et "Østersøen upåvirket af eutrofiering"
- Farlige stoffer og affald med dets mål om et "Østersøen upåvirket af farlige stoffer og affald", og
- Havbaserede aktiviteter, med dets mål om "Miljømæssigt bæredygtige havbaserede aktiviteter".

Hvert af de fire segmenter er struktureret omkring de opdaterede HELCOM økologiske og forvaltningsmål og indeholder konkrete tiltag og handlinger, der skal implementeres senest i 2030.

I Østersøhandleplanen opereres med såkaldte "core indicators" for vandkvalitet. Hver "core indicator" har fastlagte målkriterier og der er indsatsplaner til regulering af særligt kvælstof og fosforudledninger, som skal lede til målopfyldelse.

Hvis statusværdien for en indikator forringes, betyder dette, at der skal laves flere forvaltningsmæssige tiltag (i praksis større næringsstoffreduktioner), så miljømålet opnås. Det er uklart om miljømålene i fremtiden justeres, som følge af klimaændringer, ligesom det er uklart om miljømålene ville kunne ændres, hvis de hydrografiske forhold ændres. Dette ville i så fald kræve en politisk beslutning af landende omkring Østersøen.

7 Referenceliste

By & Havn, 2020: Anlæg af Lynetteholm. VVM – Teknisk Baggrundsrapport nr. 1. Hydrauliske undersøgelser. Udarbejdet for Udviklingselskabet By og Havn I/S af DHI.

Cappelen, J., 2024: Hvordan opførte vejret sig egentlig i 2023 – set i klimatisk perspektiv? Vejret 177, side 1 – 21.

Carstensen, J., Conley, DJ., Almroth-Rosell, E., Asmala, E., Bonsdorff, E., Fleming-Lehtinen, V., Gustafsson, BG., Gustafsson, C., Heiskanen, AS.,

Janas, U., Norkko, A., Slomp, C., Villnas, A., Voss, M., Zilius, M., 2019. Factors regulating the coastal nutrient filter in the Baltic Sea. *Ambio* 2020, 49:1194–1210 <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01282-y>.

DHI, 2020a: Development of Mechanistic Models: Mechanistic Model for the Inner Danish Waters. Technical documentation on biogeochemical model. DHI technical report (project no. 11822245)

DHI, 2020b. Development of Mechanistic Models. Short Technical Description of the Biogeochemical Models Input Data. DHI technical report (project no. 11822245)

DHI & COWI, 2024: Ingeniørvurdering af layout.

Hansen, J.W. & Rytter, D. 2024. Iltsvind i danske farvande 29. august – 25. september 2024. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 23 s. Rådgivningsnotat nr. 2024|53

Heikinheimo, O. 2008. Average salinity as an index for environmental forcing on cod recruitment in the Baltic Sea. *Boreal Environmental Research* 13: 457–464.

HELCOM 2023. Chlorophyll-a. HELCOM core indicator report. Online. [Date Viewed], [Web link]. ISSN 2343-2543

HELCOM 2023. Dissolved inorganic nitrogen (DIN). HELCOM core indicator report. Online. [Date Viewed], [Web link]. ISSN 2343-2543.

HELCOM 2023. Dissolved inorganic phosphorus (DIP). HELCOM core indicator report. Online. [Date Viewed], [Web link]. ISSN 2343-2543.

HELCOM 2023. Oxygen debt. HELCOM core indicator report. Online. [Date Viewed], [Web link]. ISSN 2343-2543.

HELCOM 2023. Water clarity. HELCOM core indicator report. Online. [Date Viewed], [Web link]. ISSN 2343-2543.

Jacobsen, T.S., 1980: The Belt Project. Sea water exchange of the Baltic. Measurements and methods. The National Agency of Environmental Protection, Denmark. ISBN 87-503-3532-4.

Jakobsen, Fl., I.S. Hansen, N.-E.O. Hansen & F. Østrup-Rasmussen, 2010: Flow resistance in the Great Belt, the biggest strait between the North Sea and The Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 87, 325-332.

KDI, 2024: Højvandsstatistikker 2024. Udarbejdet af Kystdirektoratet, Miljøministeriet i juli 2024 og revideret 5. november 2024.

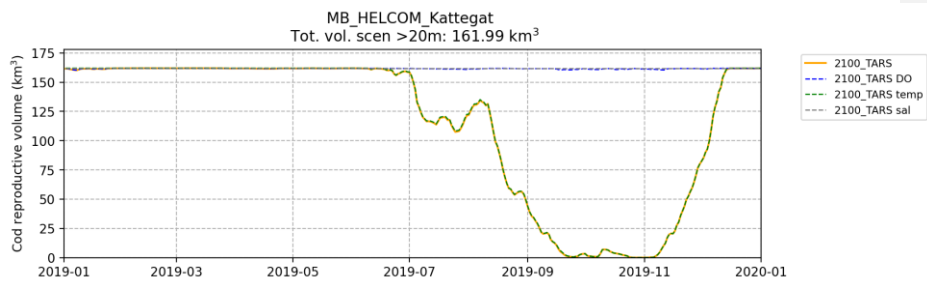
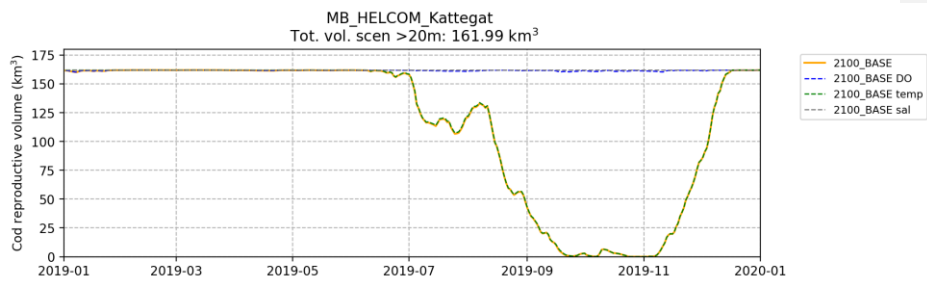
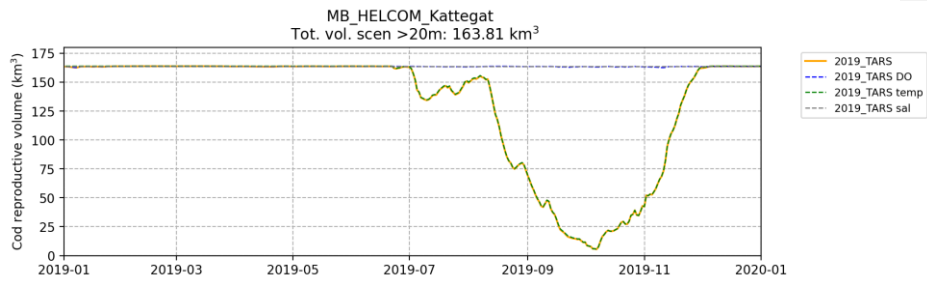
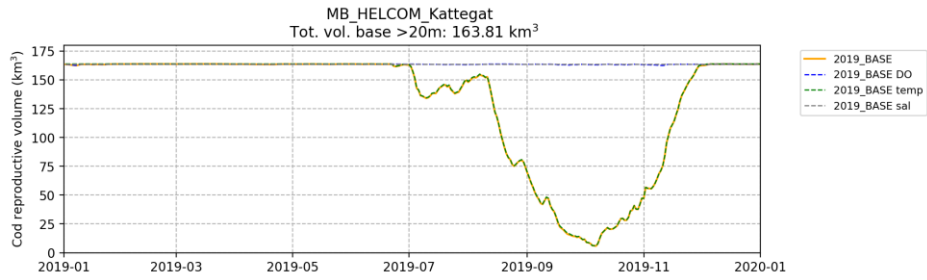
KK & KDI, 2009: Udvidelse af Københavns Nordhavn og ny krydstogstterminal, VVM – Teknisk baggrundsrapport nr. 3, Marine

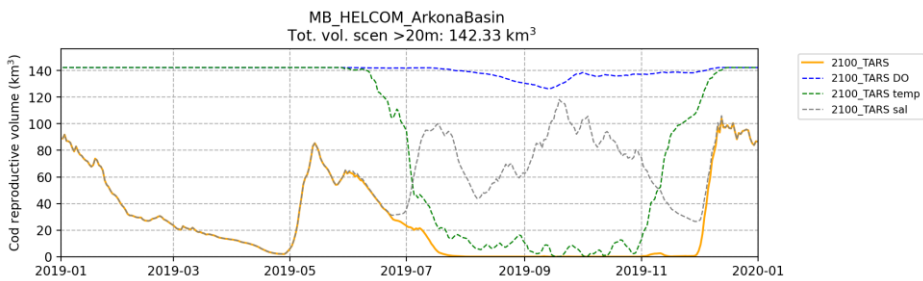
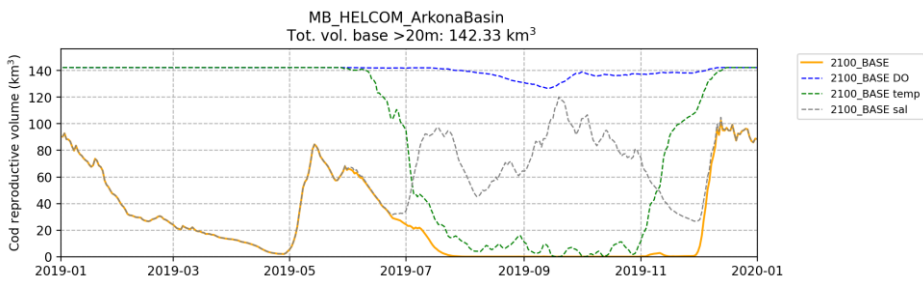
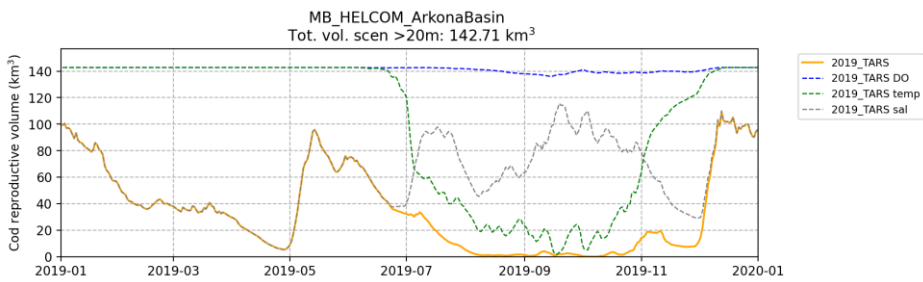
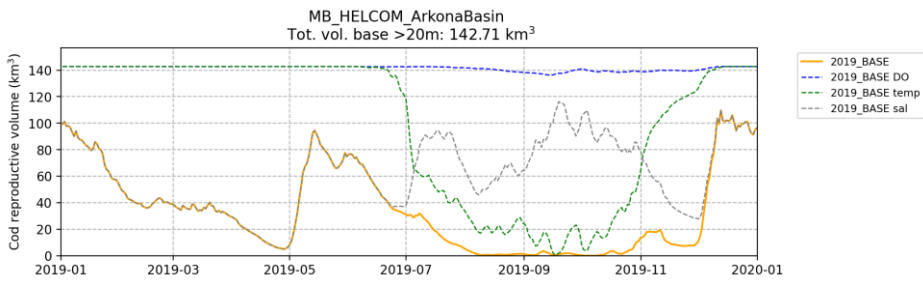
- miljøkonsekvensvurderinger, marts 2009. Udarbejdet for Københavns Kommune og Kystdirektoratet af DHI.
- Mackenzie, B., John, St. M., Wieland, K. 1996. Eastern Baltic cod: perspectives from existing data on processes affecting growth and survival of eggs and larvae. *Mar Ecol Prog Ser.* Vol. 134: 265-281.
- Maljutenko, I., Raudsepp, U., Lagemaa, P.. 2023. PRODUCT USER MANUAL. Baltic Sea Cod Reproductive volume BALTIC_OMI_HEALTH_codt_volume. Issue 3.0. 2023/09/01
- Murray, A.M., G.H. Jørgensen, P.N. Godiksen, J. Anthonj & H. Madsen, 2023: DHI-GHM: Real-time and forecasted hydrology for the entire planet. *Journal of Hydrology*, 620, Part A,.
- Plikshs, M, Hinrichsen, HH., Elferts, D., Sics, I., Kornilovs, G., Køster, FW. 2015. Reproduction of baltic cod, *Gadus morhua* (actinopterygii: gadiformes: gadidae), in the gotland basin: causes of annual variability. *Acta ichthyologica et piscatoria* (2015) 45 (3): 247-258
- Sund & Bælt, 2018: Undersøgelse af fremskudt færgehavn ved Tårs. Udarbejdet for Sund & Bælt Holding A/S af COWI.
- Sund & Bælt, 2022: Forundersøgelse af en Kattegatforbindelse, kyst-kyst. Miljøundersøgelser - vej. Udarbejdet for Sund & Bælt Holding A/S af Rambøll.
- Sund & Bælt, 2024A: Hydrografi, kyst og vandkvalitet. Modellering af forholdene i Øresund og i nærområde af Østlig Ringvej. Fastlæggelse af designperiode for Østlig Ringvej. Udarbejdet for Sund & Bælt Holding A/S af COWI og DHI.
- Sund & Bælt, 2024B: Hydrografisk undersøgelse af Als-Fyn forbindelsen. Beregning af gennemstrømningsmindskelsen for en bro- og for en bro-ø-tunnel løsning. Udarbejdet for Sund & Bælt Holding A/S af DHI.
- Sund & Bælt, 2024C: Undersøgelse af fremskudt færgehavn ved Tårs. Ekspertnotat. Udarbejdet for Sund & Bælt Holding A/S af COWI og DHI.
- Sund & Bælt, 2024D: Undersøgelse af fremskudt færgehavn ved Tårs. Afgrænsningsnotat. Udarbejdet for Sund & Bælt Holding A/S af COWI og DHI.
- Sund & Bælt, 2024E: Undersøgelse af fremskudt færgehavn ved Tårs. Forudsætningsnotat. Udarbejdet for Sund & Bælt Holding A/S af COWI og DHI.
- Sund & Bælt, 2024F: Undersøgelse af fremskudt færgehavn ved Tårs. Konceptuel model for cirkulation i Østersøen. Udarbejdet for Sund & Bælt Holding A/S af COWI og DHI.
- Sund & Bælt, 2025A: Undersøgelse af fremskudt færgehavn ved Tårs. Effekter fra infrastrukturprojekter og klimaændringer på den central Østersø

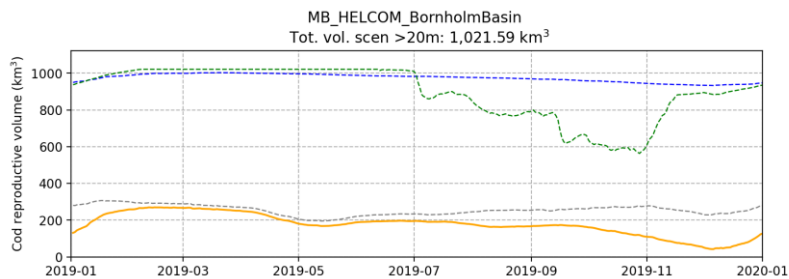
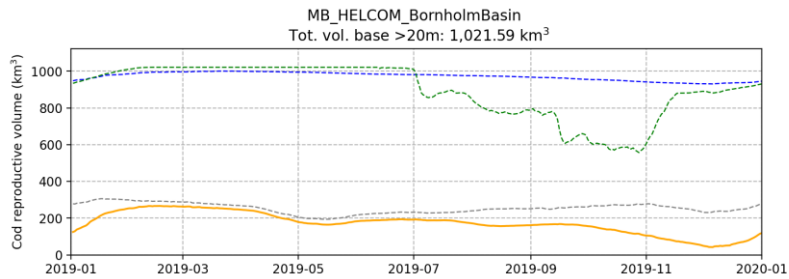
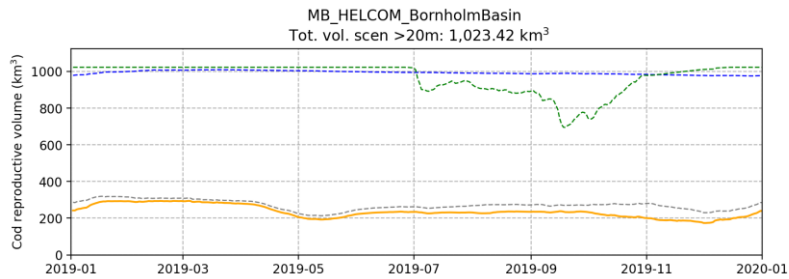
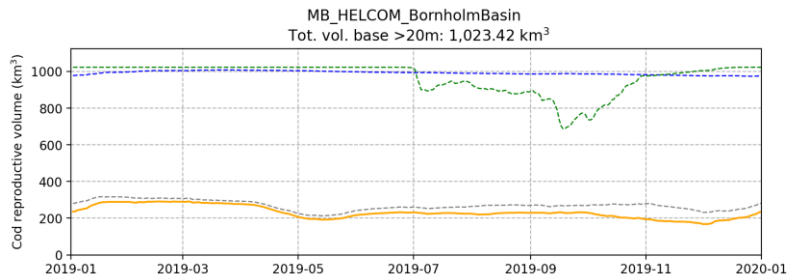
(findes kun som kladde). Udarbejdet for Sund & Bælt Holding A/S af COWI og DHI.

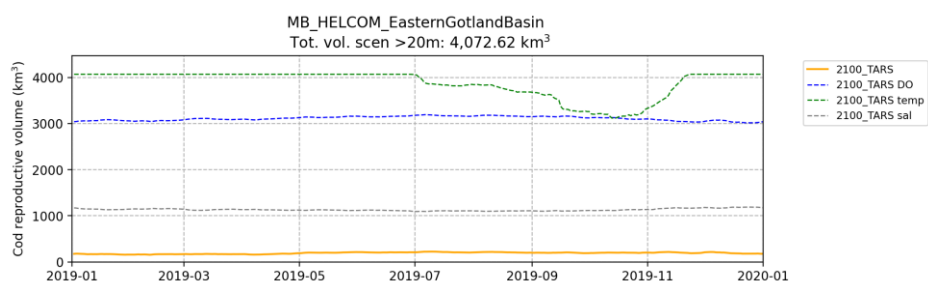
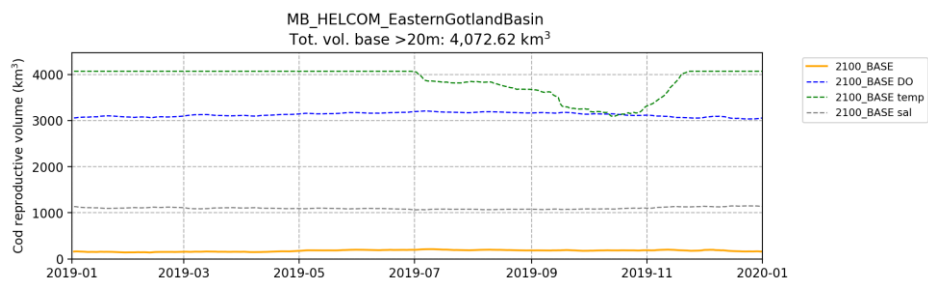
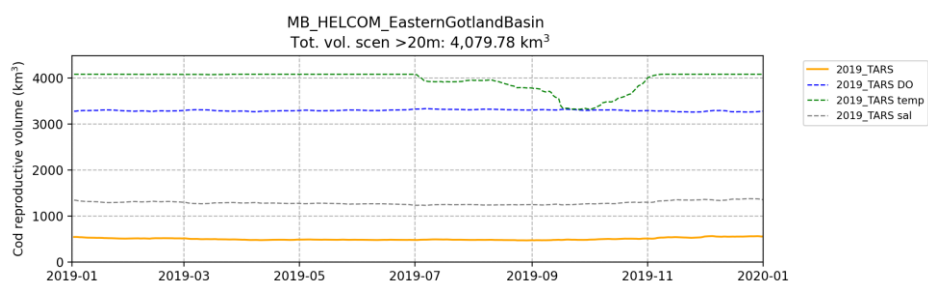
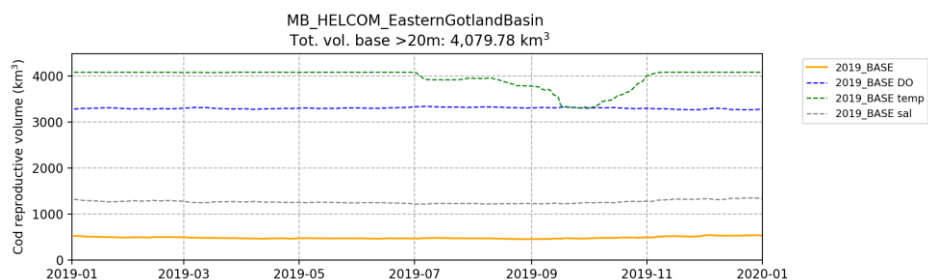
Wåhlstrøm, I., Almroth-Rosell, E., Edman, M., Olofsson, M., Eilola, K., Fleming, V., Grøger, M., Arneborg, L., Meier, M. 2024. Increased nutrient retention and cyanobacterial blooms in a future coastal zone. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Volume 301, June 2024, 108728.

Bilag A Begrænsende faktorer for torskens reproduktive volumen









Rådgivers kommentarer til "Reviewrapport 2 Tårs" af Karen Timmermann, 2025.04.24

"A258774-HYD-RAP-03 Økologisk modellering_Ver0.2_KT"

ID	Reference (A258774-HYD-RAP-03 Økologisk modellering_Ver0.2_KT)	Reviewers bemærkninger	Rådgivers svar
1	s. 3, afsnit 1.1	Her er formål med projektet beskrevet, men ikke formålet med denne rapport. Har forsøgt at præcisere formål med rapporten nedenfor.	Præcisering medtaget med mindre justering.
2	s. 3, afsnit 1.1	Afstrømningskorrigeret ift. nuv. afstrømning? Dvs både øget konc. og øget afstrømning? Det giver en betragtelig øget load i fremtidsscenariet eller har jeg misforstået?	Modelleringer er udført med nutids nærringsstofkoncentration og øget afstrømning på 19% (2100). Præcisering tilføjet.
3	s. 3, afsnit 1.1	Result af sensitivitetstests nævnes under sammenfatningens resultat afsnit og derfor bør de også kort nævnes her.	Følgende tilføjet: Udover modelscenarierne udføres også sensitivitetstest, med alle de bestemte klimaændringer i år 2100, men hvor afstrømningen fra land kun er øget med det halve af den beregnede øgning i afstrømning (+9,5%).
4	s. 4, afsnit 1.1	Jeg forstod ikke helt det med, at hydrografiske ændringer i sig selv er uvigtige/uden afgørende betydning. Hydrografiske ændringer er tæt koblet til ændringer i miljø/økologi, som er det vi er interesseret i.	Tekst redigeret som foreslået med mindre justeringer.

5	s.4, afsnit 1.2	Forbedring i RPV pga infrastruktur undrer mig. Det bør nok undersøges/underbygges.	Forbedring i RPV pga. infrastruktur, er underbygget i afsnit 5.3.3 Torsk det reproduktive volumen: Den positive ændring af det reproduktive volumen i Bornholmer Bassinet” og ”Østlige Gotlands Bassin”, skyldes en stigning i saltholdighed i bundlaget i ”Bornholmer Bassinet”, og en stigning under haloklinen i ”Østlige Gotlands Bassin”, pga. stigning i bundlaget i Kattegat. Stigningen i bundlaget i Kattegat skyldes en øget opblanding fra nedre til øvre lag forårsaget af forbindelserne, som bevirker en større turbulensproduktion i øvre lag. Den øgede opblanding giver en større kompenserende indstrømning i nedre lag fra Skagerrak, og dermed stiger saltholdigheden i nedre lag. Dette medfører, at saltholdigheden af det indstrømmende saltvand i bundlagene i Østersøen stiger lidt, hvilket ses at resultere i en øget saltholdighed under haloklinen i Gotlands Bassinet.
6	s. 4, afsnit 1.2	Det er ikke biologisk eller juridisk meningsfuldt, at relativere nutidig påvirkning fra infrastruktur med effekt af fremtidige klimaforandringer. Kom gerne med et argument for relevans af sammenligningen. Har forsøgt med alternativ formulering ovenfor	Tekst delvist redigeret som foreslået. Det er dog vigtigt at huske at projektet ikke er en miljøkonsekvensvurdering af den fremskudte færgehavn ved Tårs. Undersøgelsen er derfor ikke bundet af de samme formelle krav, som gælder for en miljøkonsekvensvurdering.
7	s. 5, afsnit 1.2	Beskriv gerne retning af ændringer (højere/lavere) og evt hvor. Dernæst at de vurderes som ”marginale” (hvilket er en subjektiv vurdering, med mindre man har en objektiv og relevant vurderingsskala). Monitoringsprogrammer er ikke et super relevant vurderingskriterie idet mulighed for at detektere effekt og ændringer over år	Projektets formål er præciseret med følgende tekst: Projektet er ikke en miljøkonsekvensvurdering af den fremskudte færgehavn ved Tårs. Først efter nærværende projekt vil der blive taget stilling til, om der skal foretages en miljøkonsekvensvurdering. Undersøgelsen er derfor ikke bundet af de samme formelle krav, som gælder for en miljøkonsekvensvurdering. Uanset dette er arbejdet

		afhænger af målefrekvens, tæthed og antal år. Såfremt der måles i flere år, kan (små) trends detekteres, selv med store år-til-år variationer.	inspireret af både Havstrategidirektivet og Vandrammedirektivet.
8	s. 5, afsnit 1.2	Forslag til tilføjelse: Øgning i f.eks klorofylkoncentrationer og næringsstof i Østersøbassiner, skal forventeligt kompenseres af næringsstofreduktioner, således at politisk vedtagne miljømål opnås.	Tekst tilføjet som afsluttende perspektivering til sidst i afsnit 1.2.
9	s. 5, afsnit 1.2	Miljømål og handlepligt i Østersøhandleplan er den mest relevante skala at vurdere miljøeffekter på (har indført lille afsnit om dette)	Tekst redigeret som foreslået
10	s. 6, afsnit 1.2	Her beskrives formål med det samlede projekt og ikke formålet med denne rapport/studie? Har forsøgt med formulering af formål med dette studie/rapport.	Præcisering medtaget med mindre justering.
11	s. 9, afsnit 3.2	Det ville være godt med lidt mere modelinfo, fx rumlig opløsning, væsentligste processer/variable -både fysik og øko. Og en reference til opsætningen.	Følgende tilføjet: Modellens horisontale net primært af trekantede elementer i varierende størrelser, men der er også anvendt firkantede elementer til at opløse specifikke dybe kanaler i Bælthavet. Den horisontale opløsning varierer gradvist fra 500-1000 m i Bælthavets kystområder til 4-6 km i Østersøområdet. I det vertikale net er vandsøjlen opløst i 10 sigma-lag ned til -10 m niveau og op til 233 z-lag under -10 m niveau. Fra niveau -10 m til -220 m (Gotlandsdybet) er lagtykkelsen 1 m, og mellem 220 m og 610 m (bunden af Skagerrak) øges lagtykkelsen gradvist fra 5 m til 20 m.

			De vigtigste komponenter og processer, der bestemmer havmiljøets tilstand og responsen i økosystemet, er inkluderet i den økologiske model. De er baseret på eksterne faktorer (meteorologi og næringsstofftilførsler). Modellen beskriver omsætningen af organisk materiale og næringsstoffer (opløst uorganisk kvælstof, fosfat og silikat), både i den pelagiske (vandsøjle) og den bentiske fase (havbund eller sediment). Den pelagiske fase omfatter planteplankton og næringsstoffer, og den bentiske del dækker sedimentpuljer af næringsstoffer og udvekslingen af næringsstoffer mellem sediment- og vandfasen.
12	s. 10, afsnit 3.2	Hvordan valideret og hvor kan man se valideringsfig. og stat?	Reference tilføjet
13	s. 10, afsnit 3.2	Typisk har validering fokus på sæson variation, hvorimod respons til ændret forcering (fx klima) eller ændret modstand sjældent (kan) valideres. Det har betydning for hvor bombastisk man tør konkludere og bør nævnes som forbehold i diskussionen.	Usikkerheder og spredning er vurderet i den konceptuelle model af Østersøen. Følgende er tilføjet: Påvirkningen fra klimaændringer på hydrografien og økologien er behæftet med stor spredning, især på grund af spredningerne for klimaændringerne. Den tilsvarende spredning på infrastrukturprojekternes påvirkninger er væsentlig mindre og overskygges af klimaændringernes spredning. Anvendelse af 3 statistiske test viser at prognoser for de hydrauliske forhold i år 2100 i høj grad er ensartet, hvad enten infrastrukturprojekterne inddrages i beregningerne eller ikke. Prognosen er domineret af klimaændringernes spredninger.
14	s. 11, afsnit 3.2.2	Fint at køre repræsentativt år, men nævn evt "ulemper" i form af at MBI ikke adresseres	Tekst tilføjet:

			<p>Som en general note bemærkes det, at hydrografien i Østersøen varierer på både kort og lang tidsskala, herunder vandføring, salttransport, og lagdeling. I de sidste omkring 25 år har der for eksempel været færre kraftige indstrømninger (Major Baltic Inflow, MBI) pga. af mildere atmosfæriske forhold og vejrsystemer. Dette giver en langperiodisk variation af alle de parametre der betragtes i dette arbejde, for eksempel vandføring, salttransport, og lagdeling.</p>
15	s. 11, afsnit 3.3.2	Kan I beskrive hvordan øget modstand er parametriseret i regional model?	<p>Tekst tilføjet: Projekterne, og de associerede strømningsændringer, er efterfølgende indbygget i den regionale model, som faste strukturer.</p>
16	s. 11, afsnit 3.3.2	Beskriv her hhv. "Ændring lokalt" og "Ændring overgangsområde"	<p>Tekst til tabel 3.1 præciseret: Oversigt over infrastrukturprojekternes omtrentlige påvirkning af vandgennemstrømningen i det lokale stræde (Øresund, Lillebælt, Storebælt og Femernbælt) og i det samlede overgangsområde (Bælthavet og Øresund). Lokale påvirkninger er udtrukket fra 1: (By & Havn, 2020), 2: (DHI & COWI, 2024), 3: (Sund & Bælt, 2024B), 4: (Sund & Bælt, 2018), og 5: (Sund & Bælt, 2022).</p>
17	s. 11, afsnit 3.3.2 (tabel 3.1)	Er ændring angivet i % af årlig nettogennemstrømning? Angiv, hvordan ændring er opgjort.	<p>Tilføjet tekst til tabel 3.1: Ændringen er opgjort som ændring i strømmodstand på minimum årlig skala.</p>
18	s. 11, afsnit 3.3.2 (tabel 3.1)	Beskriv hhv. lokal og overgangsområde (hvilken skala refereres til). Tabel skal være selvforklarende og ikke kræve læsning i andre rapporter.	<p>Se svar på 16 og 17</p>

19	s. 11, afsnit 3.3.2	Er det den %-vise ændring der overføres fra lille model domæne til større? Henvi gerne til beskrivelse af hvordan I "overfører" ændringer fra et modeldomæne til et andet. Her ville nested modelopsætning være genial	Tekst tilføjet: Projekterne, og de associerede strømningsændringer, er efterfølgende indbygget i den regionale model, som faste strukturer.
20	s. 12, afsnit 3.4	Kan man kort beskrive hvordan infrastruktur er implementeret i den regionale model? Der er noget med rumlig skala, som gør det lidt indviklet?	Tekst tilføjet: Projekterne, og de associerede strømningsændringer, er efterfølgende indbygget i den regionale model, som faste strukturer.
21	s. 15, afsnit 3.5.5	Der findes flere måder at opdele Østersøen på. Det lyder som om der her er brugt en specifik opdeling baseret på ?? (nævn gerne hvilken eller angiv at dette er én ud af flere opdelingsmåder)	Reference tilføjet: Baltic sea environment proceedings no. 16. Water balance of the Baltic sea. A regional cooperation project of the Baltic sea states. International summary report. Baltic marine environment protection commission- Helsinki commission - June 1986.
22	s. 19, afsnit 3.5.6 (Næringsstofftilførsler og atmosfærisk deposition)	Forslag til tilføjelse: På EU plan er der stort politisk fokus på at reducere både landbaserede næringsstofftilførsler og den atmosfæriske deposition. Imidlertid er der stor usikkerhed om implementeringen af de vedtagne aftaler og dermed hvornår og i hvilket omfang effekterne kan forventes.	Tilføjet
23	s. 19, afsnit 3.5.6 (Næringsstofftilførsler og atmosfærisk deposition)	I beskrivelse af scenarier står at afstrømningskorrigeret N,P øges med 19%?	Se forklaring i rapporten
24	s. 20 , afsnit 3.5.6 (Næringsstofftilførsler og atmosfærisk deposition)	Er det korrekt at oxideringsproces kræver OH og sollys?	Iht. DCE

25	s. 28, afsnit 4.6	Her indikeres fokus på (lokal) hydrologi? Foreslår revidering med fokus på økologi på Østersøskala.	Følgende tilføjet: En undersøgelse af den fremskudte havn og andre udvalgte infrastrukturprojekters og klimaændringers påvirkning af hydrografien og økologien i Østersøen
26	s. 31, kapitel 5	Foreslår at farveskala på alle differensplot laves så man kan se en evt ændring. Informativt at kunne se retning og placering af evt ændring -også selvom ændring er for lille til at være økologisk betydende. Og hvis der ikke er en ændring, så undrer vi os. Endvidere bør farvekode for "undefined value" være meget forskellig fra farvekoder brugt i skala.	Figureernes farveskala tilpasset og diskuteret. Modellen viser den forventede respons, men ændringerne er ikke økologisk betydende, hvorfor det i samråd med reviewer er besluttet at bibeholde de oprindelige farveskalaer.
27	s. 32, afsnit 5.2.1	Forskel kan ikke registreres ved absolutte resultat kort - kræver differens kort og relevant farveskala	Figureernes farveskala tilpasset og diskuteret. Modellen viser den forventede respons, men ændringerne er ikke økologisk betydende, hvorfor det i samråd med reviewer er besluttet at bibeholde de oprindelige farveskalaer.
28	s. 33, afsnit 5.2.1 (figur 5.3)	Foreslår ændret farveskala, så ændringer synliggøres f.x]-0,1;0,1[samt forskellig farvekode omkring 0 og "undefined value"	Figureernes farveskala tilpasset og diskuteret. Modellen viser den forventede respons, men ændringerne er ikke økologisk betydende, hvorfor det i samråd med reviewer er besluttet at bibeholde de oprindelige farveskalaer.
29	s. 36, afsnit 5.2.2	Man kan ikke se ændringer via absolutte resultatplots	Figureernes farveskala tilpasset og diskuteret. Modellen viser den forventede respons, men ændringerne er ikke økologisk betydende, hvorfor det i samråd med reviewer er besluttet at bibeholde de oprindelige farveskalaer.
30	s. 36, afsnit 5.2.2	Hvilken litteratur? Hvilke forventninger?	Sætning slettet
31	s. 36-38 , afsnit 5.2.2 (figur 5.10, 5.13 og 5.14)	Foreslår ændret skala fx]-0,5-0,5[og interval på 0,05	Figureernes farveskala tilpasset og diskuteret. Modellen viser den forventede respons, men ændringerne er ikke økologisk betydende, hvorfor det i

			Samråd med reviewer er besluttet at bibeholde de oprindelige farveskalaer.
32	s. 47, afsnit 5.2.4 (figur 5.2.4)	Foreslår farveskala på]-0,1;0,1[samt forskel på farvekode for ca 0 og "undefined value"	Figurenes farveskala tilpasset og diskuteret. Modellen viser den forventede respons, men ændringerne er ikke økologisk betydende, hvorfor det i samråd med reviewer er besluttet at bibeholde de oprindelige farveskalaer.
33	s. 49, afsnit 5.3.1	Ændringer i ilt er svære at tolke... Undrer mig over %-angivelser. De summerer til >100%? Gætter på grænser er medtalt flere gange? For at lette tolkning foreslår jeg følgende inddeling [6; 4[, [4,2[og [2,0] og at % angives ift totale areal af subbassin og ikke areal i subbassin med iltsvind (da det kan ændres mellem scenarier)	Tekst præciseret. Det er % af bassinets areal og ikke bassinets samlede areal med iltsvind. Tekst rettet. Grænser er medtalt flere gange da det er < 6 mg/L, < 4 mg/L og < 2 mg/L og ikke 4-6 mg/L, 2-4 mg/L < 2 mg/L. Tekst rettet.
34	s. 58-61, afsnit 5.3.2 (kommentar til figur 5.37-5.40)	Kan det vises som differensplot?	Differensplot ikke tilføjet, da den tidlige ændring er væsentlig, hvilket kun kan illustreres med tidsserier.
35	s. 62, afsnit 5.3.3 (kommentar til Årlig variation og ændringer)	Torsk gyder vinter og pre-sommer (alt efter art). Effekt af klima størst udenfor gydeperiode, men synes ikke det er vigtigt og årsbetragtninger er fint (og konservativt)	Årsbetragtninger er valgt, da gydeperioden ændrer sig og vil ændre sig yderligere med klimaet
36	s. 62, afsnit 5.3.3. (kommentar til at "den gennemsnitlige årlige ændring i det reproduktive volumen pga. forbindelserne er positive eller neutral	Er det forventeligt? Ville umiddelbart tro der kom (lidt) mindre salt og ilt ind i Østersøen, ved øget blokering og dermed lidt mindre RPV? Bør nok kommenteres/understøttes af litteratur.	Se svar til punkt 5
37	s. 63, afsnit 5.3.3 (vedr. ændring i volumen med	Kan ændring i volumen med dybder > 20m kvantificeres? Henvis evt til figur 3-1.	Tilføjet

	dybder > 20m fra 2019 til 2100)		
38	s. 63, figur 5.41-5.44	Adskil forskellige scenarier med forskellige farver. Nu har 2100_base og 2100_tårs samme farve, hvilket besværliggør tolkning.	Tilføjet
39	s. 64, afsnit 5.4 (sensitivitetstest)	Afsnit bør rykkes frem til "metode" beskrivelse. Så kan man også bedre forstå tabeller.	Fremgår allerede af 4.4 Sensitivitetstest
40	s. 67, afsnit 5.5 (Samlet betragtning af økologisk påvirkning)	Foreslår følgende struktur til diskussion, som lægger sig om ad formål med undersøgelsen: Påvirkning pga infrastruktur i nutidigt klima Påvirkning pga klima Påvirkning af infrastruktur i fremtidigt klima Adresser limitations herunder *model opløsning *model validering *brug af repræsentativt år (og derfor ikke fokus på MBI) *model "underlighederne", med højere salt og ilt med øget blokering Konklusion: infrastruktur har ingen betydning for undersøgte indikatorer, hverken nu eller i fremtidigt klima. Forbehold for limitations.	Diskussionens struktur og indhold er søgt tilpasset forslagene.
41	s. 67: Kommentar til: Påvirkningen fra klimaændringer på de økologiske forhold (klorofyl, næringsstoffer, sigtdybde, ilt, cyanobakterier og torskens reproduktive volumen) i Østersøen er overordnet set betydeligt større end	Virker mærkeligt at sammenligne effekter af infrastrukturprojekter med klimaforandringer. Beskriv gerne økologisk og/eller miljøjuridisk argument som gør sammenligning fagligt meningsfuld. Alternativt bør formulering ændres.	Tekst redigeret som i afsnit 1.2

	påvirkningen fra infrastrukturforbindelserne.		
42	s. 68, afsnit 5.5	Lille ændring, men underligt den går i retning af større RPV	Se svar til kommentar 5