

JUNI 2025
SUND OG BÆLT

STRØMNINGSANALYSER, MV. AF FREMSKUDT FÆRGEHAVN VED TÅRS

SAMMENFATTENDE RAPPORT



ADRESSE COWI A/S
Parallelvej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

JUNI 2025
SUND OG BÆLT

STRØMNINGSANALYSE, MV. AF FREMSKUDT FÆRGEHAVN VED TÅRS

SAMMENFATTENDE RAPPORT

PROJEKTNR.

A258774

DOKUMENTNR.

GEN-RAP-02

VERSION

1.0

UDGIVELSESDATO

26 juni 2025

BESKRIVELSE

Sammenfattende rapport

UDARBEJDET

JJU/ADKE/FLJNX/
MSBDX/CNJNX

KONTROLLERET

JJU/ADKE

GODKENDT

JJU

INDHOLD

1	Baggrund	7
2	Indledning	8
3	Resume	10
4	Fremskudt færgehavn	19
4.1	Placering af færgehavn	19
4.2	Orientering af færgehavn	21
4.3	Udformning af færgehavn og adgangsvej	22
4.4	Terminalområde	26
4.5	Bølgeuro i havnebassin	27
4.6	Besejlingsforhold	28
4.7	Nedetid af havnen	29
4.8	Konceptdesign	30
4.9	Forsyninger	33
5	Elfærger og vindmøller	36
5.1	Elfærger	36
5.2	Elektrisk infrastruktur	36
5.3	Placering af vindmøller	37
5.4	Sammenfattende økonomiske overvejelser	38
6	Anlægsomkostninger og mængder	39
6.1	Mængder	39
6.2	Anlægsoverslag	39
6.3	Projektets risici	41
6.4	Vedligeholdelsesomkostninger	41

7	CO ₂ beregninger	42
8	Overordnet evaluering af fremskudt færgehavn	44
9	Hydrografisk modellering	46
9.1	Tidligere anvendt nulløsning	46
9.2	Mekanistisk model	46
9.3	Konceptuel model	62
10	Økologisk modellering	67
10.1	HELCOMs "Core indicators"	67
10.2	Supplerende indikatorer	74
10.3	Sensitivitetstest	83
10.4	Samlet betragtning af økologisk påvirkning	83
11	Yderligere undersøgelser	84
11.1	Metocean data	84
11.2	Koncept design	84
12	Baggrundsdokumenter	86

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 indsejlin-gen til en fremskudt færgehavn ved Tårs".

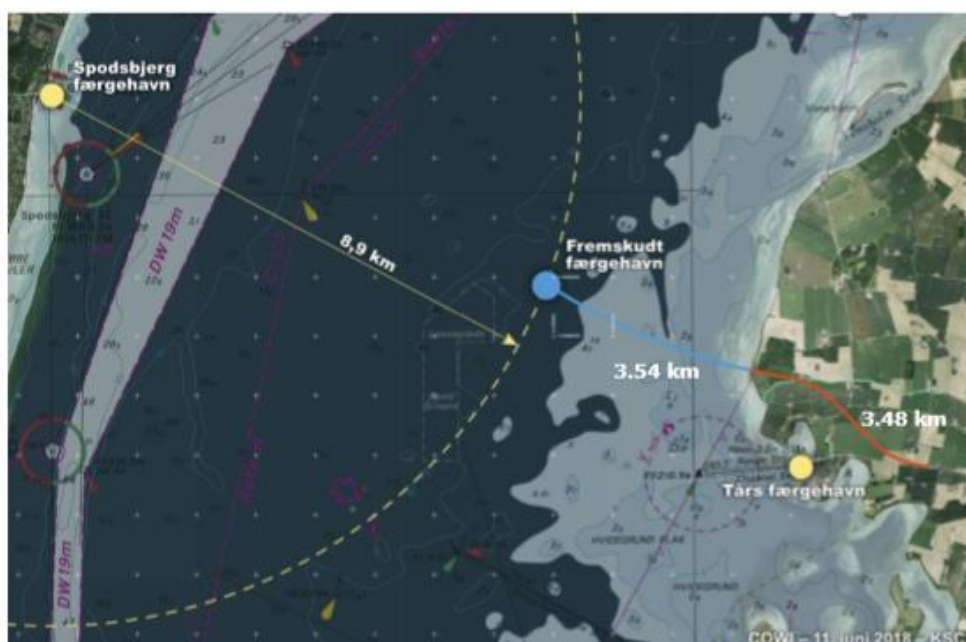
Inden igangsættelsen af nævnte supplerende analyser tiltrådte forligskredsen i et præciseret kommissorium (oktober 2023), at analysearbejdet også skulle om-fatte kumulative virkninger med øvrige infrastrukturprojekter i overgangsområ-det mellem Kattegat og Østersøen samt muligheden for på sigt at etablere vind-møller 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 påvirk-ningen 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 Afgrænsnings-notat (COWI/DHI, 2024A), der danner grundlag for de udførte analyser. En de-taljeret beskrivelse af de hydrografiske og økologiske modelleringer er indeholdt i et Forudsætningsnotat (COWI/DHI, 2024C).

2 Indledning

Den fremskudte færgenhavns 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 (Sund og Bælt, 2018). 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 færgenhavn.
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 færgenhavne 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 besejlingsforhold, 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.

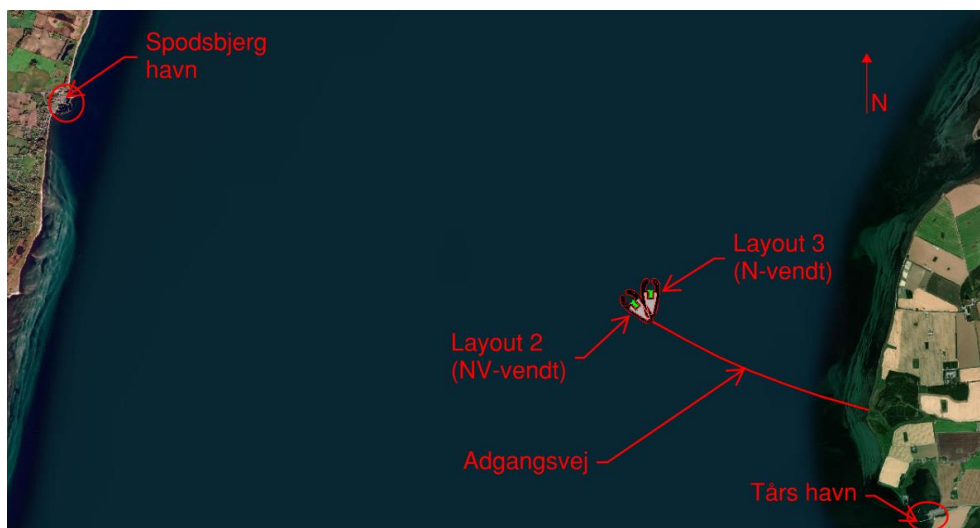
For at bringe planerne om en fremskudt havn ved Tårs videre kræves det, at de hydrografiske og vandmiljømæssige påvirkninger af den fremskudte færgenhavn

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.

3 Resume

Det overordnede formål med den fremskudte havn er at skabe rammerne for at opnå en kortere overfartstid året rundt på overfarten Spodsbjerg-Tårs. Den fremskudte færgeshavn består af en kunstig ø med en havn samt en adgangsvej til land bestående af en kombination af lavbroer og dæmninger, se Figur 3-1.



Figur 3-1 Fremskudt havn bestående af en kunstig ø og en adgangsvej (kombination af dæmninger og broer)

Placering af havn

En havn på en kunstig ø ca. 3,5 km ude i Langelandsbælt er væsentligt mere udsat for vind-, strøm- og bølgeforhold end de eksisterende havne i Spodsbjerg og Tårs. Gennem en iterativ proces er den mest fordelagtige placering, orientering og udformning af den fremskudte havn blevet vurderet. Analyserne har omfattet numeriske modelleringer af påvirkninger på vandgennemstrømningen, bølgeuro i havnen og besejlingsforhold samt konceptdesign af havnekonstruktioner, dæmninger og broer med bestemmelse af tilhørende mængder og anlægsoverslag. En samlet vurdering har givet en placering af havnen ca. 3,5 km fra Lollands kyst.

Overfartstid

Med de to eksisterende dieseldrevne færger vil sejltiden med en typisk servicehastighed være 27 min. Med en havnetid på 15 min. vil den samlede tid for en sejlads være 42 min. (det vil i praksis sige 45 min. mellem afgangene).

Ved elfærger kan servicehastigheden øges og sejltiden nedsættes til 22 min., hvilket betyder, at den samlede tid for en sejlads vil være 37 min. (det vil i praksis sige 40 min. mellem afgangene med to færger).

Med den viste placering af den fremskudte færgeshavn ved Tårs, vil opnåelse af halvtimes drift kræve, at der sejles med tre el- eller dieselfærger.

Halvtimesdrift kan alternativt opnås med den nuværende færgeshavn i Tårs ved at sejle med fire diesel- eller eldrevne færger af samme type som de nuværende færger på Spodsbjerg-Tårs overfarten. Det forventes, at batteridrevne katamaraner med en hastighed mindre end 25 knob kommer på markedet indenfor en

årrække. Ved at indsætte tre katamaranfærger og samtidig foretage en uddybning og udvidelse af den nuværende sejlrende til Tårs, anses det for muligt at opnå en højere servicehastighed på hele færgeruten mellem Tårs og Spodsbjerg, således at halvtimesdrift kan opnås. Om et sådant alternativ kunne være relevant, er dog ikke undersøgt nærmere med hensyn til anlægsomkostninger, miljømæssige forhold, m.v. og om der i fremtiden vil være et trafikalt grundlag til at begrunde halvtimesdrift.

Orientering af havn

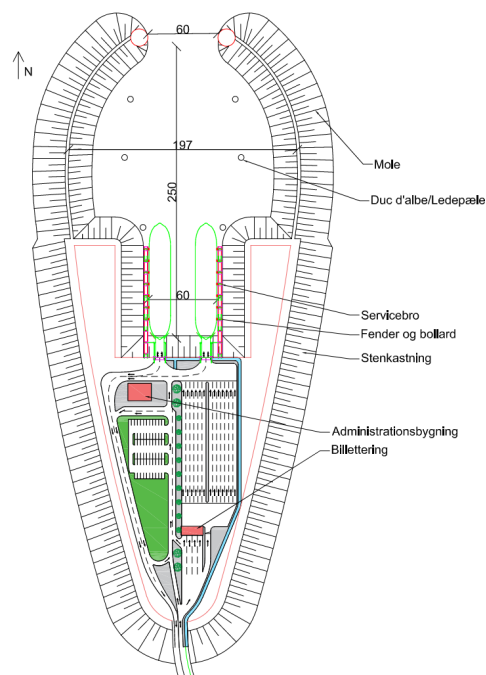
De to mest gunstige orienteringer af den fremskudte færgehavn er mod nordvest (NV, benævnt Layout 2) eller mod nord (N, benævnt Layout 3), se Figur 3-1.

Det anbefales, at den fremskudte havn orienteres mod nord (Layout 3), fordi det giver en lavere påvirkning af vandgennemstrømningen i Langelandsbælt og fordi besejlingsforholdene vil være mere favorable for Layout 3 i forhold til Layout 2 (orienteret mod nordvest). Endvidere udtaler kaptajnen, der har udført manøvreresimuleringerne, at særligt tværstrømmen ved Layout 2 er udfordrende og vil være årsag til høj risiko ved anløb af havnen.

Udformning af havn

Havnens ydre perimeter er ellipseformet og strømlinet for at reducere påvirkningen af vandgennemstrømningen i Langelandsbæltet mest muligt. Et bredere havnebassin giver forbedrede manøvrerforhold ved anløb af havnen under udfordrende vejrforhold samtidig med, at det også reducerer bølgeuroen inde i havnen.

Endvidere er det gjort muligt at anlægge to færgelejer så det mest optimale leje kan vælges afhængigt af vejrforholdene, hvilket giver mulighed for bedre og mere sikre forhold, der vil reducere nedetiden, se Figur 3-2.



Figur 3-2 Skitse af den fremskudte færgehavn, Layout 3 (orienteret mod nord).

Nedetid	Nedetid er primært forårsaget af bølgeuro inde i havnen, hvor bølgerne ved kajen bliver for store til at en sikker drift af færgerne kan foregå. Desuden kan nedetid være forårsaget af besejlingsforhold, hvor det ikke er muligt/forsvarligt at anløbe havnen under udfordrende vejrforhold, f.eks. kraftig vind og strøm, eller lav sigtbarhed pga. tåge og sne. Nedetiden for Layout 3 er mindre end for Layout 2, og forventes at kunne reduceres ved at foretage "full mission" manøvresimuleringer, i en senere fase af projektet, samt etablere et større datagrundlag for særligt strømmen og nærmere analyser af samtidigheden af strøm, vind og bølger. Det skal pointeres, at den fremskudte havn etableres ude i Langelandsbælt, hvor vejrforholdene er værre end for de eksisterende færgehavne, og det derfor kan være nødvendigt at skulle acceptere en større nedetid med den fremskudte havn end med den nuværende havn.
Konceptdesign	Dæmninger, havnemoler og beskyttelsen af den kunstige ø består af traditionelle stenkastningskonstruktioner opbygget af sand og forskellige stenklasser. En mindre servicebro etableres i hver side af det indre havnebassin til anløb af færgerne. Servicebroerne opbygges af betonbjælker understøttet af stålpile og mellem betonbjælkerne monteres prefab-betonplader. I bunden af det indre havnebassin etableres to hydrauliske ro-ro ramper til på- og afkørsel af færgerne, én i hver side af bassinet. Udgangspunktet for adgangsvejen er en løsning med en kombination af to broer med længder på 600 m (fra land ud til en vanddybde på 2 m) og 800 m (fra den fremskudte havn) og en 2100 m dæmning med en samlet længde på ca. 3,5 km mellem fastlandet og den fremskudte havn. Den optimale spændvidde af broerne er vurderet til at være 25 m baseret på mængden af beton. Byggemetoder er vigtige pga. den lave vanddybde i området. Vanddybderne ved den yderste bro betyder, at underbygningen udføres fra havet og den mest sandsynlige metode for overbygningen er fuldfagsmontage fra havet, da det giver fleksibilitet mht. produktionssted for brofagene. Den inderste bro skal udføres på vanddybder mindre end 2 meter. Dette stiller specielle krav til byggemetoden for både underbygning og overbygning. Med udgangspunkt i udførelse af den yderste bro fra havet, er der set på den samme udførelsesmetode for den inderste bro. I den forbindelse er det nødvendigt at uddybe en rende således at pramme kan komme ind på de lavere vanddybder. En alternativ udførelsesmetode er at bygge den inderste bro med udførelse fra land. I den forbindelse vil det først være nødvendigt at bygge en midlertidig dæmning, hvorfra både underbygning og overbygning kan udføres. Et koncept er udarbejdet for fremføring af vand og el til den fremskudte havn samt for, hvordan spildevand og overfladevand håndteres på øen.
Elfærger og vindmøller	Elfærgedrift er meget oplagt til korte indlands færgeruter, da sejlstanden typisk er af størrelsesordenen 10 sømil og farten typisk er 10-15 knob.

Det årlige energibehov til opladning af elfærger i den fremskudte havn ved Tårs vil kunne produceres af tre V117 vindmøller, der er en vindmølle fra Vestas med en rotordiameter på 117 m og en effekt på 3,45 MW. På et overordnet niveau er det undersøgt om vindmøllerne kan opstilles på eller ved den fremskudte færgehavn.

Det vurderes ikke at være en økonomisk rentabel løsning at placere tre landbaserede vindmøller på en væsentlig større ø eller på ekstra dæmninger. Opsætning af tre vindmøller til vands er også økonomisk urentabel, da de totale omkostninger til flydekran skal fordeles over kun tre vindmøller frem for et større antal vindmøller, som normalt er samlet i en havvindmøllepark.

En mere økonomisk løsning vil være enten at aftage strøm direkte fra den nærliggende og eksisterende landbaserede vindmøllepark, Sandby, eller at opstille tre nye vindmøller ifm. denne vindmøllepark, der ligger ca. 1,4 km fra det planlagte landgangspunkt for adgangsvejen. Opstilling af landvindmøller er væsentligt billigere end opstilling af havvindmøller.

Anlægsomkostninger	Det indledende anlægsoverslag er udarbejdet på baggrund af de estimerede mængder, og er udarbejdet i henhold til Ny anlægsbudgettering på Transportministeriets område (2024). Prisoverslag som benævnes det indledende basisoverslag (fase 1 overslag) skal være "det bedste realistiske estimat ud fra den tilgængelige viden" for at estimere projektets udgifter. Til basisoverslaget tillægges der i fase 1 et korrektionstillæg på 50 %.
--------------------	--

Anlægsomkostningerne (inkl. 50% korrektionstillæg) for en fremskudt havn placeret ca. 3,5 km ude fra kysten med en orientering og udformning som beskrevet ovenfor og en adgangsvej med cykelsti ligger på ca. 2,5 mia. kroner. Hvis adgangsvejen etableres uden cykelsti, reduceres anlægsomkostningerne til ca. 2,4 ma. kroner.

CO ₂ beregninger	Beregninger af CO ₂ -emissioner viser mindre variationer for de forskellige scenarier, på grund af forskelle i længderne af betonbroer og dæmning. Scenarier med havnen placeret ca. 3,5 km fra Lollands kyst og med cykelsti giver nogenlunde samme samlede CO ₂ -udledning – ca. 33.000 tons CO ₂ e. Dette er også tilfældet for scenariet med én lang bro selvom det kræver væsentligt større mængder beton og stål, men til gengæld er der ingen stenarbejder ifm. bygning af en dæmning.
-----------------------------	--

Scenariet med den fremskudte havn placeret tættere på kysten og scenariet uden cykelsti, er de mindst CO₂-intensive scenarier med en udledning på henholdsvis 27.000 og 29.800 tons CO₂e. Dette skyldes primært en reduceret mængde af materialer til betonbroer og dæmning bestående af sten.

Overordnet evaluering	En samlet vurdering af seks scenarier er foretaget ved anvendelse af følgende parametre: besejlingsforhold, bølgeuro, overfartstid, nedetid, påvirkning af vandgennemstrømning, lokal påvirkning af miljøforhold, CO ₂ udledning i anlægsfasen og anlægsoverslag.
-----------------------	--

Det mest fordelagtige scenarie for en fremskudt færgehavn ved Tårs er med en adgangsvej bestående af én lang bro efterfulgt af et scenarie med to broer (600 m og 800 m) og en 2100 m lang dæmning med eller uden cykelsti langs adgangsvejen.

Hydrografisk modellering

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

For den fremskudte færgehavn ved Tårs betragtes en udformning med en omtrentlig ellipseformet havn med en nordvestlig orientering (Layout 2).

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.

Beregningerne viser, at påvirkningen fra klimaændringer på hydrografien i Østersøen er betydelig - de ændrede hydrografiske forhold er af en størrelse, der vil kunne måles og dokumenteres i fremtidige monitoreringsprogrammer. En væsentlig hydrografisk ændring er ikke mindst vandtemperaturstigningen.

En sensitivitetstest med den halve øgning af afstrømningen fra klimaændringer viser, at de beregnede saltholdighedsprofiler i år 2100 er meget lig dem, der er beregnet for 2019. Dvs. at en havspejlsstigning på +0,5 m og en afstrømningssøgning på +10% har modsatrettet effekt på saltholdighedsprofilerne og er af samme størrelsesorden. Påføres begge samtidig fås omtrentligt de oprindelige profiler i 2019. Således kan der forekomme klimaændringer med kombinationer af havspejlsstigning og afstrømning, som kun giver en begrænset ændring af saltholdighedsforholdene, samt kombinationer, hvor saltholdigheden stiger. Temperaturen vil dog stadig ændres betydeligt.

Påvirkningen af hydrografien fra forbindelserne er marginal - de ændrede hydrografiske forhold er af en størrelse, der ikke vil kunne måles og dokumenteres i fremtidige monitoreringsprogrammer. Det findes, at påvirkningen fra forbindelserne på de hydrografiske forhold (saltholdighed, temperatur og udveksling), både med og uden klimaændringer, er marginale og med de samme fordelinger af ændringerne (stigninger og fald i saltholdigheden ses i de samme områder og dybder). Påvirkningen fra forbindelserne på de hydrografiske forhold er lidt

større i scenariet med klimaændringer end i scenariet uden klimaændringer, men stadig marginale for begge scenarier. Dette illustrerer, at påvirkningerne fra forbindelserne er robuste i den forstand, at de er nær de samme med og uden klimaændringer.

Lokale påvirkninger

De hydrografiske modelleringer er anvendt til at vurdere påvirkningen af en fremskudt havn ved Tårs med hensyn til risiko for oversvømmelse af lavtliggende kystområder samt sedimentation og erosion ved den fremskudte havn, adgangsvej og langs kysten. Endelig er der foretaget en vurdering af eventuelle effekter på det nærliggende Natura 2000 område.

For de undersøgte udformninger af den fremskudte havn er vandføringsændringen (brutto) lokalt i Langelandsbælt i intervallet fra $-1,21\%$ til $-0,19\%$, og salttransportændringen (brutto) fra $-0,72\%$ til $-0,11\%$ (fortegnet minus angiver, at vandføring og salttransport mindskes). Det vises senere, at disse ændringer kun giver marginale ændringer i den Centrale Østersø.

Aflejring og erosion langs kysten, som følge af de ændrede hydrodynamiske forhold, er vurderet baseret på en analyse af ændringer i strøm, bølger og bundfriktion. Det vurderes, at der kan komme:

- aflejring i læzonerne ved ø og dæmning;
- erosion omkring øen uden for læzonerne og ved broernes åbninger; og
- meget begrænset aflejring langs kysten, undtagen ved broens åbning ved kysten.

Således forventes der kun begrænsede ændringer af aflejnings- og erosionsforholdene langs kysten, og da der ikke forventes erosion, er der ikke behov for kystbeskyttelse.

Omkring øen og i broåbningerne skal der tages specifikt hensyn til erosion ved at inkludere erosionsbeskyttelse i projekteringen af konstruktioner for øen, enderne af dæmningen og lavbroerne.

Påvirkningen fra den fremskudte havn på Nakskov Fjord vurderes på baggrund af udveksling til fjorden, og hvorledes denne ændres. Forskellen mellem udveksling med og uden havn er marginal. Vandførings- og salttransportændring (begge brutto) til Nakskov Fjord er ligeledes marginal: $-0,31\%$ for vandføring og $-0,24\%$ for salttransport, hvilket kun forventes at give anledning til marginale ændringer i Nakskov Fjord.

Ændringer af risikoen for oversvømmelse af lavtliggende områder i nærheden af den fremskudte havn er bestemt ud fra beregninger af de hydrografiske forhold i 2019, som indeholder en kraftig storm. Højvande beregnes med og uden den fremskudte havn, og forskellene med og uden den fremskudte havn sammenlignes og analyseres.

Der er betydelige udsving i vandstanden i lokalområdet med variationer, der spænder fra ca. $-1,0$ m DVR90 til $+1,5$ m DVR90. Langs kysten nord for havnen

kan der forekomme en lokal øgning af vandstanden pga. havnen på +1 cm eller mindre i 2019. Ud fra dette resultat kan det konkluderes, at havnen har en marginal langsigtet effekt på vandstanden og dermed på risikoen for oversvømmelse i de lavtliggende områder i nærheden af havnen.

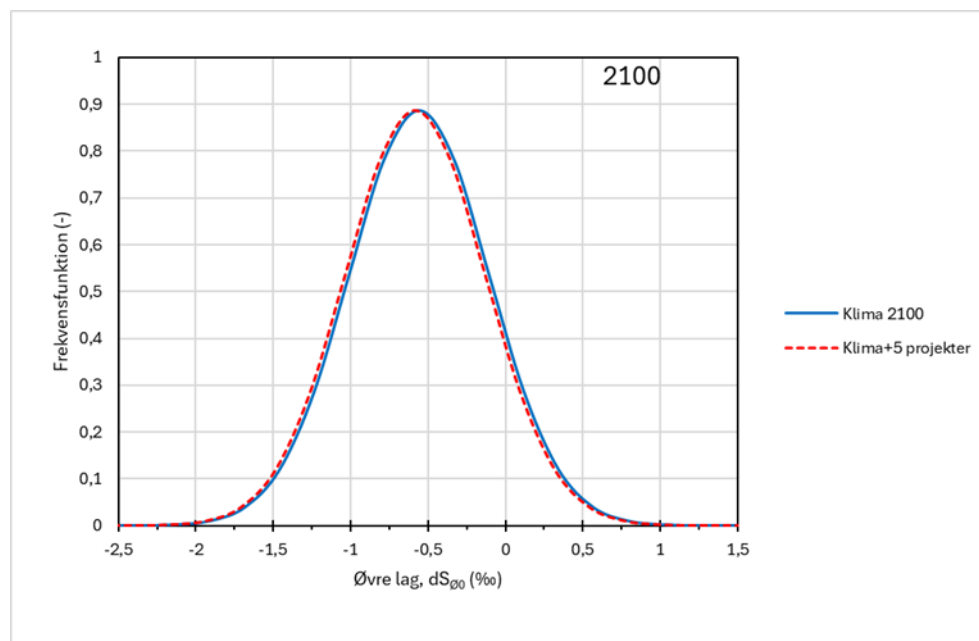
I tilfælde af at adgangsvejen består af én lang lavbro på 3,5 km vil påvirkningen af vandgennemstrømningen være væsentlig mindre end for løsninger med en kombination af broer og dæmning. De lokale påvirkninger i form af aflejnings- og erosionsforhold langs kysten, vandudveksling med Nakskov Fjord og risiko for oversvømmelse af lavtliggende områder vil derfor blive mindre med én lang bro.

Konceptuel model

En konceptuel model af Østersøens hydrografiske forhold er videreudviklet og anvendt til at undersøge påvirkningen af undersøgte infrastrukturprojekter i de indre danske farvande og af klimaændringer. Modellen beskriver Østersøens hydrografiske forhold ved nøgleparametrene saltholdighed, lagdeling, vandføring og opholdstid.

Modelberegningerne med den uafhængige konceptuelle model er udført parallelt med den mekanistiske modellering for at supplere med beregninger af flere klimascenarier og af spredningen af resultaterne.

Effekten på saltholdigheden i det øvre lag i den centrale Østersø fra klimabetingede ændringer er sammenlignet med effekten af klimaændringer plus infrastrukturprojekter, se Figur 3-3. Figuren er gældende for klimascenariescenarie SSP2-4.5 i år 2100.



Figur 3-3 Klimascenarie SSP2-4.5.
Frekvensfunktionen for år 2100 af øvre lags saltholdighed som funktion af de samlede klimaændringer samt som funktion af samlede klimaændringer plus de fem infrastrukturprojekter.

Det ses, at effekten af infrastrukturprojekter er mindre end effekten af klimaændringerne, og at effekten af projekterne således giver en minimal øgning af den i forvejen lille ændring af klimaændringerne. Bredden af klokkeformen indikerer bredden af det forventelige udfaldsrum for saltholdighedsændringerne. Det forventes således, at ændringer, der er lavere end -2 ‰ eller højere end +1 ‰, er særdeles usandsynlige, og at ændringer på omkring -0,5 ‰ er de mest sandsynlige.

Endvidere ses at effekterne af projekterne på -0,023 ‰ er meget små i forhold til det udfaldsrum på ca. 2 ‰, der kan forventes på grund af klimateffekterne (mellem -1,5 ‰ og +0,5 ‰).

Økologisk modellering Med udgangspunkt i de ovenfor beskrevne 3D hydrografiske modelleringer, er der foretaget 3D modelleringer af de økologiske ændringer for 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, næringsstoffer, sigtdybde, ilt, cyanobakterier og torskens reproduktive volumen) påvirkes marginalt ($\pm$) af de undersøgte infrastrukturprojekter, både i et nutidigt og fremtidigt klima. For eksempel bliver torskens reproduktive volumen, marginalt øget af infrastrukturprojekter. 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 lige under haloklinen i Østlige Gotlands Bassin (pga. stigningen i bundlaget i Kattegat).

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 en påvirkning fra temperaturen 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, grundet øget afstrømning fra land, medføre øget pelagisk primærproduktion og forstærke skiftet mod iltfattigere forhold i bundlagene i Østersøen yderligere. De ændrede hydrografiske forhold forårsaget af klimaændringerne er kvantificeret i den parallelle hydrografiske rapportering (COWI/DHI, 2025C).

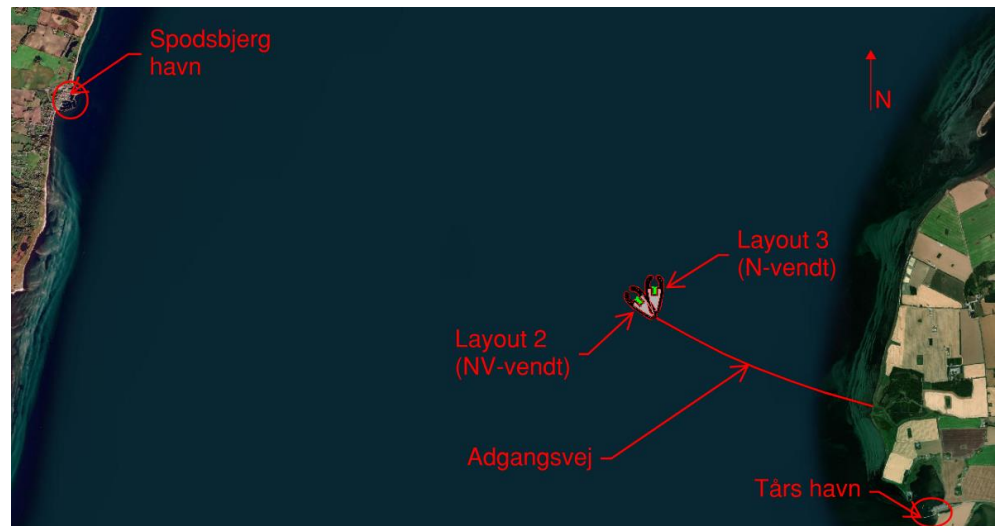
Påvirkningen fra forbindelserne på økologien og miljøforholdene er marginale. De ændrede økologiske forhold fra forbindelserne, som overvejende repræsenteres af meget små positive ændringer, er af en så marginal størrelse, at ændringen ikke forventes at kunne måles og dokumenteres i fremtidige monitoreringsprogrammer.

Overordnet viser 2100-sensitivitetstesten med den halve afstrømning og tilsvarende næringsstofftilførsel en tilsvarende mindre respons på de eutrofierings relaterede indikatorer (klorofyl, næringsstoffer, sigtdybde) sammenlignet med scenariet med forøgelse i afstrømning (og tilførsler) til Østersøen på +19%. Cyanobakterier og ilt i bundvandet viser en marginal respons, da disse indikatorer i højre grad er temperaturfølsomme og temperaturen som nævnt ikke er ændret i sensitivitetstesten.

HELCOMS miljøhandleplan for Østersøen indeholder endnu ikke en strategi for håndtering af klimaændringer og de afledte effekter på miljøforhold i Østersøen, men generelt gælder det, at en øgning i f.eks. klorofylkoncentrationer og næringsstof i Østersøbassinerne, forventeligt skal modvirkes af næringsstofreduktioner, således at politisk vedtagne miljømål opnås.

4 Fremskudt færgehavn

Den fremskudte færgehavn består af en kunstig ø med en havn samt en adgangsvej til land bestående af en kombination af lavbroer og dæmninger, se Figur 4-1.



Figur 4-1 Fremskudt havn bestående af en kunstig ø og en adgangsvej (kombination af dæmninger og broer)

En havn på en kunstig ø ude i Langelandsbælt er væsentligt mere udsat for vind-, strøm- og bølgeforhold end de eksisterende færgehavne i Spødsbjerg og Tårs. Gennem en iterativ proces er den mest fordelagtige placering, orientering og udformning af den fremskudte havn blevet vurderet. Processen er sammenfattet nedenfor kombineret med en overordnet beskrivelse af resultaterne af de foretagne analyser af besejlingsforhold, bølgeuro, servicetid for færger, nedetid, påvirkning af vandgennemstrømning, lokal påvirkning af miljøforhold og anlægsbudgettet.

4.1 Placering af færgehavn

Havnens placering er vurderet med henblik på at minimere påvirkningen af vandgennemstrømningen i Langelandsbæltet og med henblik på at have så kort en adgangsvej ud til havnen som muligt samtidig med at havnen placeres på et område med mindst mulig vanddybde. En samlet vurdering har givet en placering af havnen ca. 3,5 km fra Lollands kyst, svarende til placeringen fra den indledende forundersøgelse fra 2018 (Sund og Bælt, 2018).

Hvis den fremskudte færgehavn rykkes længere ud i Langelandsbæltet, kommer den ud på dybere vand, hvorfor havnen i sig selv vil påvirke vandgennemstrømningen mere, samtidig med at en længere adgangsvej bestående af lavbro/dæmning også vil øge påvirkningen af vandgennemstrømningen. Videre vil det også forøge anlægsomkostningerne væsentligt.

Flyttes den fremskudte havn tættere mod land og ind på lavere vanddybde, giver det en reduktion af den potentielle påvirkning af vandgennemstrømningen

og anlægsomkostningerne. Sejltiden forlænges på grund af en øget sejlængde, men også fordi de eksisterende færger vil være nødt til at sænke servicehastigheden ifm. den reducerede vanddybde langs sejlruten (de eksisterende færger kan ikke sejle med fuld servicehastighed på vanddybder mindre end ca. 8 til 10 m).

4.1.1 Overfartstid

I den indledende forundersøgelse fra 2018 var ønsket at opnå halvtimesdrift. Dette blev opnået ved at placere en fremskudt havn i Langelandsbælt med en afstand på 8,9 km mellem rampe til rampe i de to færgelejer, se Figur 2-1, under følgende indledende antagelser for færgeoverfarten:

- > Sejltid på 22 minutter, inkl. accelerations- og decelerationstid, dvs. en gennemsnitlig sejlhastighed på 13,1 knob (24,3 km/t)
- > Havnetid på 8 minutter (fortøjning, ilandkørsel og ombordkørsel)

En sejltid på 22 min. er efterfølgende fundet ikke at være realistisk med de eksisterende færger drevet af 5 diesel generatorer, da den gennemsnitlige motorbelastning vil være for stor ved en kontinuerlig servicehastighed på 15,4 knob (servicehastigheden er den hastighed, en færge sejler med efter at have accelereret og indtil den starter decelerationen).

Erfaringer fra Spodsbjerg-Tårs og fra andre danske færgehavne viser, at en havnetid på ca. 15 min., som for den nuværende færgerute, er et minimum for havnetiden. Det vurderes derfor ikke at være realistisk at opnå en havnetid på 8 min., og derfor heller ikke realistisk at opnå halvtimesdrift for den fremskudte havn med to færger.

Med de to eksisterende dieseldrevne færger vil sejltiden med en typisk servicehastighed på 11,4 knob være 27 min. for placeringen ca. 3,5 km fra kysten, som vist på Figur 4-1. Ved at fastholde en havnetid på 15 min. vil den samlede tid for en sejlads være 42 min. (det vil i praksis sige 45 min. mellem afgangene).

Ved elfærger kan servicehastigheden øges til 15,4 knob og sejltiden derfor nedsættes til 22 min., hvilket betyder at den samlede tid for en sejlads vil være 37 min. (det vil i praksis sige 40 min. mellem afgangene med to færger).

Med den valgte placering af den fremskudte færgehavn ved Tårs, vil opnåelse af halvtimes drift kræve, at der sejles med tre el- eller dieselfærger.

Halvtimesdrift kan alternativt opnås med den nuværende færgehavn i Tårs ved at sejle med fire diesel- eller eldrevne færger af samme type som de nuværende færger på Spodsbjerg-Tårs overfarten. Det forventes, at batteridrevne katamaraner med en hastighed mindre end 25 knob kommer på markedet indenfor en årrække. Ved at indsætte tre katamaranfærger og samtidig foretage en uddybning og udvidelse af den nuværende sejlrende til Tårs, anses det for muligt at opnå en højere servicehastighed på hele færgeruten mellem Tårs og Spodsbjerg,

således at halvtimesdrift kan opnås. Om et sådant alternativ kunne være relevant, er dog ikke undersøgt nærmere med hensyn til anlægskostninger, miljømæssige forhold, m.v. og om der i fremtiden vil være et trafikalt grundlag til at begrunde halvtimesdrift.

4.2 Orientering af færgehavn

Orienteringen af indsejlingen til den fremskudte havn afhænger af bølger, strøm og vind, da disse har afgørende indflydelse på havnens potentielle nedetid i forbindelse med både bølgeuro inde i havnen og besejlingsforhold for færgerne. Samtidig er påvirkningen af vandgennemstrømningen i Langelandsbæltet også en vigtig faktor.

En række forskellige orienteringer af indsejlingen til havnen har været undersøgt. De to gunstigste orienteringer af den fremskudte færgehavn er mod nordvest (NV, fremover kaldet Layout 2) eller mod nord (N, fremover kaldet Layout 3), se Figur 4-1.

For Layout 2 vil strømmen forstærkes og strømretningen drejes, så den er vinkelret på havnemundingen. Dette vanskeliggør besejlingen af havnen, da tværstrømmen vil prøve at skubbe skibet væk fra havnemundingen. Ved Layout 3 er havnen orienteret mere parallelt med den uforstyrrede strømretning, hvilket er en fordel i forhold til besejlingen, da strømmen enten vil presse skibet ind mod eller væk fra havnemundingen. En kaptajn, der tidligere har sejlet 18 år på færgeruten, har påpeget, at det baseret på de gennemførte manøvreresimuleringer er en fordel at have havnen orienteret mod nord for at få en mindre indfaldsvinkel ift. strømretningen.

Vinden er dominerende fra 210°N til 270°N ved forekomst af vindhastigheder over 12 m/s, som vurderes at være kritiske for besejlingsforholdene. Vindforholdene er mere eller mindre ens for Layout 2 og 3 og er derfor ikke afgørende for orienteringen.

Den dominerende bølgeretning er 210°N med hensyn til både forekomst og bølgehøjder, men bølger fra denne retning er af mindre betydning for bølgeuroen for de to orienteringer af havnen. Bølger fra nord er større end bølger fra NV og derfor viser beregninger, at bølgeuroen er mest kritisk for Layout 3. En kaptajn, der tidligere har sejlet 18 år på færgeruten, har nævnt, at bølgerne generelt er af mindre betydning end vinden og strømmen.

Fordele og ulemper i forbindelse med hhv. besejling af havnen, bølgeuro og påvirkning af vandgennemstrømningen kan opsummeres til:

- Layout 2 er at foretrække i forhold til bølgeuro inde i havnen, idet bølgerne fra nordvest er begrænsede af det korte frie stræk til Langeland, hvilket giver en lille nedetid forårsaget af bølger. Nedetiden vil derimod være væsentligt påvirket af de udfordrende besejlingsforhold. Påvirkningen af vandgennemstrømningen er større end for Layout 3.

- Layout 3 er at foretrække især med henblik på bedre besejlingsforhold og den mindre påvirkning af vandgennemstrømningen i forhold til Layout 2. Bølgeuro inde i havnen og nedetid forårsaget af dette er dog større end for Layout 2.

4.3 Udformning af færgehavn og adgangsvej

Udformningen af færgehavnen tager specielt hensyn til indflydelsen på vandgennemstrømningen, bølgeuro og besejlingsforhold, mens fokus ved udformningen af adgangsvejen, med en kombination af lavbroer og dæmninger, er på påvirkning af vandgennemstrømningen i Langelandsbælt.

4.3.1 Færgehavn

Færgehavnens udformning skal tage hensyn til bl.a. stoppelængde og manøvreforhold inde i havnen, påvirkning af vandgennemstrømningen i Langelandsbælt, bølgeuro inde i havnen og størrelsen af baglandsarealet, som skal benyttes til terminalområde. En skitse af havneudformningen fremgår af Figur 4-2.

Baseret på data om vind og bølger i Langelandsbælt er der gennemført modelleringer af bølgeuro og udført manøvresimuleringer af en erfaren kaptajn, der tidligere gennem 18 år har sejlet på Spodsbjerg-Tårs forbindelsen. Disse resultater og efterfølgende analyser samt resultaterne af de hydrografiske modelleringer er anvendt til at udvikle færgehavnens udformning.

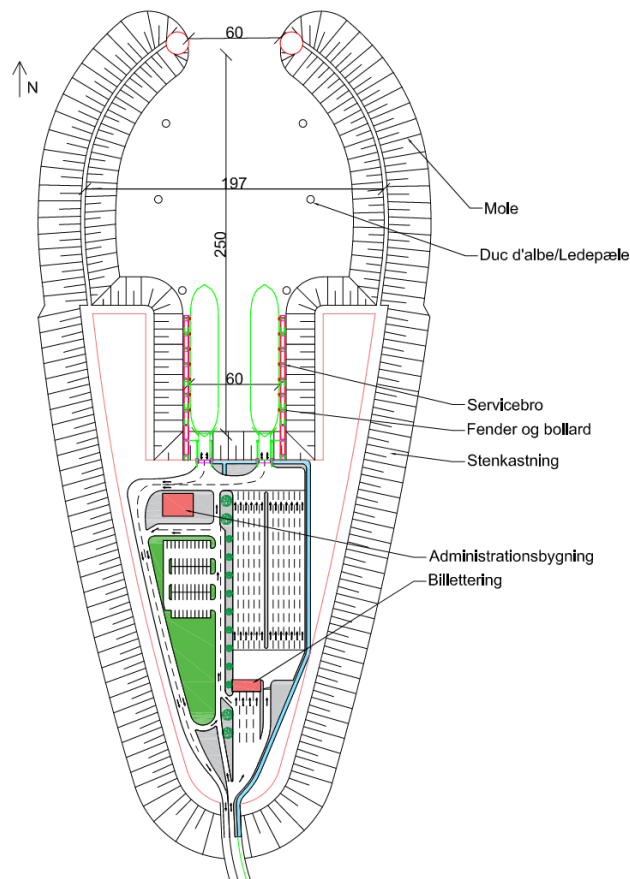
Havnens ydre perimeter er mere ellipseformet og strømlinjet, i forhold til 2018 udformningen, for at reducere påvirkningen af vandgennemstrømningen i Langelandsbæltet mest muligt. Ændringen med et bredere havnebassin giver også forbedrede manøvreforhold ved anløb af havnen under udfordrende vejrforhold, hvor færgerne skal anløbe med en vinkel for at kunne komme ind i havnen og derefter rette op inde i havnen. Det bredere havnebassin reducerer også bølgeuroen inde i havnen, da indkommende bølger diffrakterer mere ud til siderne.

Havnemundingen er 60 m bred, svarende til ca. tre gange færgebredden, som normalt er acceptabelt for anløb af færger. Molehovederne har lodrette sider for at give gode besejlingsforhold. I forhold til 2018 studiet er længden af havnen øget med 50 m for at opnå et længere havnebassin med tilstrækkelig stoppelængde og et større baglandsareal.

Det anbefales at anlægge havnen med to faste færgelejer til daglig brug, se Figur 4-2. Formålet er at gøre besejlingen inde i havnen nemmere og mere sikker, da der frit kan vælges kaj afhængigt af vejrforholdene, hvilket giver en øget fleksibilitet og reduceret nedetid. Dette er af større betydning for en havn, der sejlads mæssigt set er mere udsat for ugunstige vejrforhold, fordi den er placeret ude i Langelandsbælt, end de eksisterende færgehavne i Tårs og Spodsbjerg.

Kaptajnen, som har udført manøvresimuleringerne, har anbefalet, at der etableres ledepæle (duc d'albes) inde i havnen. Ledepælene vil have til formål at beskytte færgerne mod at sejle ud i havnens ydre moler under f.eks. kraftig vind

eller strøm, hvor færgerne anløber havnen med en stor vinkel. Samtidig vil det også give mulighed for, særligt ved kraftig tværvind, at lægge sig op ad ledepælene ved anløb og på vej ud af havnen, og på den måde forbedre besejlingsforholdene.



Figur 4-2 Skitse af den fremskudte færgeshavn, Layout 3 (orienteret mod nord).

4.3.2 Adgangsvej

En ca. 3,5 km lang adgangsvej fra Lolland og ud til den fremskudte havn kan etableres som hhv. en dæmning opbygget af sprængstensmateriale og sand, som en lavbro eller en kombination af dæmning og bro.

Valget af anlægsudformningen af adgangsvejen har indflydelse på flere ting, såsom påvirkning af vandgennemstrømningen, sedimenttransporten ved kysten, besejlingsforholdene og anlægsomkostningerne.

En dæmning på hele strækningen vil helt blokere for den eksisterende sedimenttransport langs kysten, hvilket vil medføre aflejring af sediment ved dæmningslandfæste, samtidig med at det vil have indflydelse på sedimentbudgettet for kysten hhv. nord og syd for dæmningen. En ren dæmning vil også skabe den største påvirkning af vandgennemstrømningen i Langelandsbæltet, hvilket er uønsket på grund af eventuelle indvirkninger på økosystemet lokalt og i Østersøen. En fuldt blokerende dæmning vil samtidig tvinge vandet rundt om havnen og direkte forbi havnemundingen, hvilket vil give komplicerede besejlingsforhold

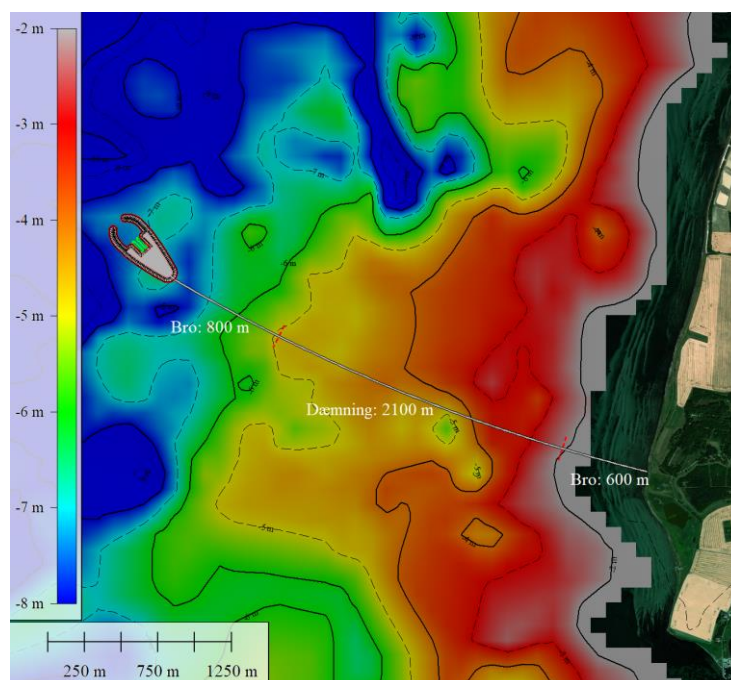
pga. den stærkt forøgede strømhastighed og ændringer af strømretningen lokalt og dermed give en højere nedetid. Det vurderes således ikke muligt/acceptabelt at etablere adgangsvejen som en dæmning på hele strækningen.

Adgangsvejen kan også etableres som en lavbro på hele strækningen, hvilket vil give de bedste forhold med hensyn til påvirkning af vandgennemstrømningen, sedimenttransport ved kysten og besejlingsforhold. En bro funderet på bropiller for hver ca. 25 m vil medføre en lav påvirkning af strømmen.

Udgangspunktet for adgangsvejen er en kombination af to lavbroer og en dæmning. Baseret på modelleringerne af hydrografien anbefales det at etablere en lavbro ud til en vanddybde på ca. 2 m, hvilket vil tillade størstedelen af sedimenttransporten langs kysten at fortsætte som hidtil, da lavbroen vil have minimal påvirkning på vandgennemstrømningen.

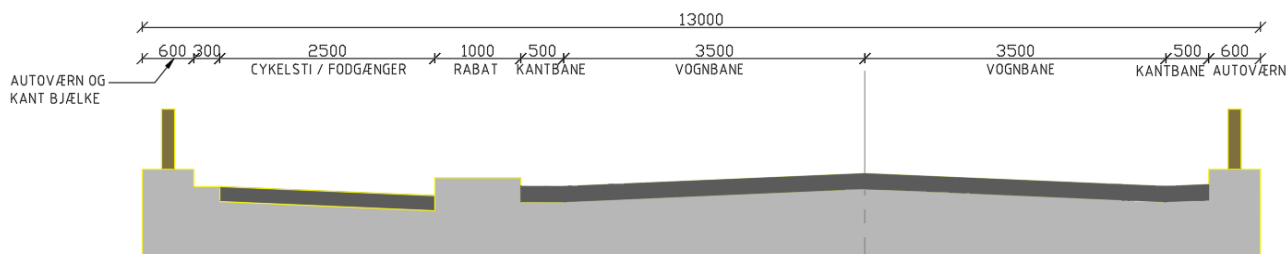
For at påvirke besejlingsforholdene til den fremskudte havn mindst mulig, samtidig med at vandgennemstrømningen på dybere vand bibeholdes så intakt som mulig (det er her langt størstedelen af vandgennemstrømningen sker på de 3,5 km), anbefales det, at der etableres en lavbro fra den fremskudte havn og et stykke ind mod land.

Ud fra en samlet afvejning af adgangsvejens potentielle indflydelse på sedimenttransport ved kysten, vandgennemstrømningen, strømforholdene ved færgehavnen og anlægsøkonomi, forekommer en løsning med en kombination af to broer med længder på 600 m (fra land ud til en vanddybde på 2 m) og 800 m (fra den fremskudte havn) og en 2100 m dæmning med en samlet længde på ca. 3,5 km mellem fastlandet og den fremskudte havn, se Figur 4-3, at være den foretrukne. I en senere fase kan der optimeres på forholdet mellem længde af dæmning og lavbro.



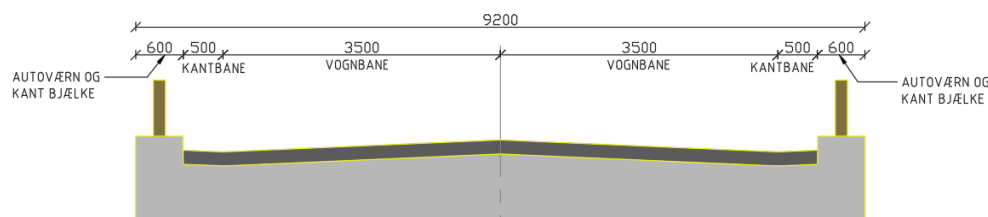
Figur 4-3 Løsning med en kombination af to broer og en dæmning

Adgangsvejen etableres som udgangspunkt med to vognbaner og en kombineret cykelsti/fodgængersti, se Figur 4-4. Det giver en samlet bredde af vejtracéet på 13 m.



Figur 4-4 Lavbro med to vognbaner og en kombineret cykelsti/fodgængersti, samlet bredde er 13 m. Tværsnit set mod øst.

Behovet for en kombineret cykelsti/fodgængersti er endnu uvist og etableringen af en lavbro uden cykelsti kan give en reduktion af anlægsomkostningerne. Derfor kan et alternativ være en lavbro med kun to vognbaner, se Figur 4-5, som giver en samlet bredde af vejtracéet på 9,2 m.



Figur 4-5 Lavbro med to vognbaner og uden kombineret cykelsti/fodgængersti, samlet bredde er ca. 9,2 m.

4.3.3 Tilslutningsvej

Det er også nødvendigt at forbinde adgangsvejen ud til den fremskudte havn med den eksisterende rute 9. Et koncept for tilslutningsvejen og en betragtning af miljøaspekter blev foretaget ifm. undersøgelserne i 2018 (Sund og Bælt, 2018) og er kort beskrevet nedenfor.

Der er af Lolland Kommune udpeget en korridor for etablering af tilslutningsvej, der forventes anlagt i terræn på hele strækningen. Linjeføringen for tilslutningsvejen er markeret med rødt på Figur 2-1.

Tilslutningsvejen er baseret på:

- > 2 kørebaner a 3,5 m, uden midterrabat
- > Kantbane i begge sider a 0,5 m
- > Skillerrabat i en side på 3 m
- > Dobbeltrettet cykelsti i en side på 2,5 m

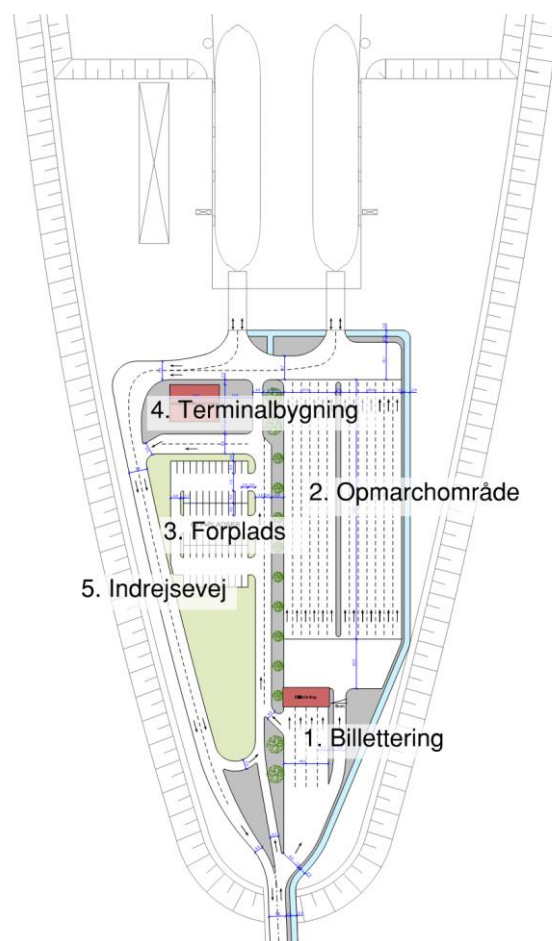
- > Rabat modsat cykelsti 3 m
- > Tilslutningsskråning
- > Skelrabat 1 m

Etablering af forbindelsesvejen vil inddrage arealer både permanent og midlertidigt. Omfanget af arealinddragelse og erstatning skal undersøges og kortlægges nærmere. Det skal også undersøges, om der er behov for arkæologiske forundersøgelser jf. museumsloven. Der er ikke identificeret V1 og V2 områder (forurenede jord) i linjeføringen.

4.4 Terminalområde

Ved etableringen af den fremskudte havn er det vigtigt, at der etableres et vel-fungerende terminalområde, så både kørende, cyklende og fodgængere let og sikkert kan komme om bord på færgen og af færgen. Det nye terminalområde, se Figur 4-6, er indrettet med udgangspunkt i det nuværende terminalområde i Tårs og består af følgende elementer:

- 1 Område til billettering
- 2 Opmarchområde til udrejsende køretøjer
- 3 Forpladsområde med mulighed for parkering og afsætning
- 4 Terminalbygning
- 5 Indrejsevej fra færgelejer



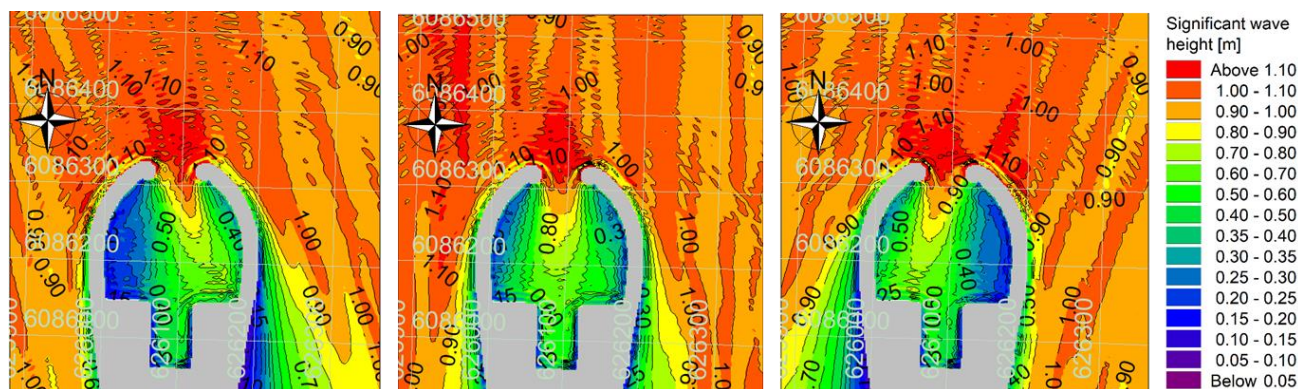
Figur 4-6 Planoversigt over terminalområdet for den fremskudte havn.

4.5 Bølgeuro i havnebassin

En numerisk model, MIKE 21 Boussinesq Waves (BW), blev anvendt til modellering af bølgeuroen i havnen. Havnens udformning optimeres i modellen under hensyntagen til, at der også skal være optimale besejlings- og manøvreforhold.

For begge orienteringer af færgehavnen er der foretaget modellering af bølgeuroen for flere udformninger af havnen. For at opnå tilstrækkelig reduktion af bølgeuroen langs de to færgekajer er reflektionen fra konstruktionerne optimeret i det inderste havnebassin. Løsningen er en stenkastning langs alle tre sider i det inderste bassin, dvs. både langs de to færgekajer samt for enden med færgeramper, se Figur 4-2.

Modellering af hvordan bølgerne forplanter sig ind i havnen er foretaget for alle relevante bølgeretninger. Eksempler på plots af bølgeurokoefficienter for Layout 3 med havneorientering mod nord er vist i Figur 4-7 for de tre mest kritiske bølgeretninger.



Figur 4-7 Bølgeurokoefficienter (forholdet mellem bølger udenfor og inde i havnen) for Layout 3. Bølgeretninger vist er 345, 0 og 15 grader for modelleringer med en peak-periode på $T_p = 3,5$ sec

I den indledende forundersøgelse i 2018 (Sund og Bælt, 2018) har Danske Færger A/S oplyst, at signifikante bølgehøjder op til 0,5 m ved færgelejet er acceptabelt i forhold til at fortsætte driften af færgeruten. Dette erfaringsbaserede kriterie anvendes også i disse analyser.

Ved at kombinere resultaterne for bølgeuro med bølgestatistikken er nedetiden ved de to kajer beregnet. En sammenligning for Layout 2 og 3 fremgår af Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Oversigt over nedetid som følge af bølgeuro for Layout 2 og 3 med stenkastning langs hele den indre havn. Kaj 1 er mod vest og Kaj 2 mod Øst.

Layout	Kaj 1		Kaj 2	
	Nedetid [%]	Nedetid [timer/år]	Nedetid [%]	Nedetid [timer/år]
2	0,05	5-6	0,05	5-6
3	0,40	35	0,35	30

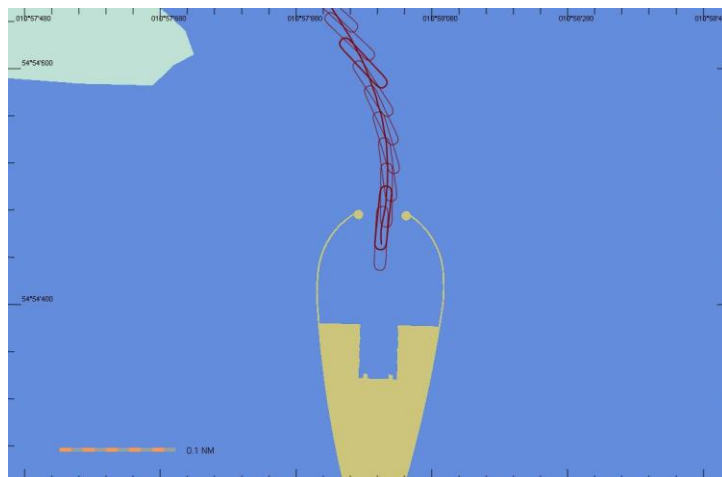
Beregningerne viser væsentlig mindre nedetid forårsaget af bølgeuro for Layout 2 end for Layout 3. Dette er som forventet, idet bølgerne fra nordlige retninger er større og kan forplante sig direkte ind i havnen.

4.6 Besejlingsforhold

De to orienteringer af den fremskudte havn er undersøgt og analyseret ved manøvreresimuleringer udført med SimFlex (2D) udviklet af FORCE Technology. Input til besejlings- og manøvreresimuleringer er strøm fra de hydrografiske simuleringer i Langelandsmodellen samt bølge- og vindforhold fra bølgemodelleringerne. Simuleringerne blev foretaget med en skibsmodel med dimensioner svarende til den eksisterende færge MF Lolland på Spodsbjerg-Tårs færgeoverfarten.

Størstedelen af manøvresimuleringerne blev udført af en erfaren kaptajn fra FORCE Technology, der tidligere gennem 18 år har sejlet på Spodsbjerg-Tårs forbindelsen.

Resultater fra udvalgte simuleringer for havneorientering mod nord er vist i Figur 4-8 og Figur 4-9.



Figur 4-8 Havneorientering mod nord. Vind: 14 m/s fra vest, Strøm: 1,7 m/s mod sydvest, Bølger: 1,6 m fra vest



Figur 4-9 Havneorientering mod nord. Vind: 10 m/s fra nord, Strøm: 1,4 m/s mod sydvest, Bølger: 1,2 m fra nord

Manøvresimuleringerne viser, at havneindsejling mod nord er væsentlig nemmere at besejle end havneindsejling mod nordvest.

4.7 Nedetid af havnen

I forbindelse med vurdering af nedetiden af havnen, dvs. hvor stor en del af tiden færgerne ikke kan benyttes, anvendes følgende kriterie: nedetiden af

Spodsbjerg-Tårs forbindelsen må samlet set ikke overstige ca. 1% af tiden, svarende til aftalen med den nuværende færgeoperatør.

Nedetid er primært forårsaget af dårlige vejrforhold, men også af nedbrud af færgerne. Nedbrud af færgerne på Spodsbjerg-Tårs ruten har historisk været begrænset og behandles derfor ikke nærmere. Alle færger skal fra tid til anden i dok, hvilket i kortere eller længere perioder medfører to-timers drift på den eksisterende færgeoverfart. Vejrforholdene er årsag til to typer nedetid:

- > Bølgeuro inde i havnen, hvor bølgerne ved kajen bliver for store til at en sikker drift af færgerne kan foregå.
- > Besejlingsforhold i forhold til, at det ikke er muligt/forsvarligt at anløbe havnen under udfordrende vejrforhold, f.eks. kraftig vind og strøm, eller lav sigtbarhed pga. tåge og sne.

De to færger på Spodsbjerg-Tårs ruten er forholdsvis stive og er følsomme overfor bølger. Ved bølger fra SV forårsaget af middelvind større end 14 m/s, giver det anledning til at løse genstande skal fastgøres. For bølger forårsaget af middelvind større end 16 m/s, må sejladsen indstilles.

For Layout 2 (NV-vendt havn) er nedetiden fra bølgeuro estimeret til ca. 0,05% og for anløb af havnen estimeret til ca. 2,4%, dvs. den totale estimerede nedetid er væsentlig over 1%. Det vurderes derfor, at med de ugunstige besejlingsforholdene i forhold til strømhastighed og retning, vil der ikke kunne opretholdes stabil drift af færgeruten i forhold til det anvendte kriterie for nedetid.

For Layout 3 (N-vendt havn) er nedetiden fra bølgeuro estimeret til 0,4% og for anløb af havnen estimeret til 1,3%. Den samlede nedetid på 1,7% er over kriteriet på 1%, det vurderes dog, at nedetiden vil kunne reduceres ved mere detaljerede analyser og "full mission" manøvresimuleringer. Dette underbygges af, at kaptajnen, der gennemførte manøvresimuleringerne, påpegede at anløb af Layout 3 generelt var nemmere og mere sikkert end for Layout 2 med den stærke tværstrøm.

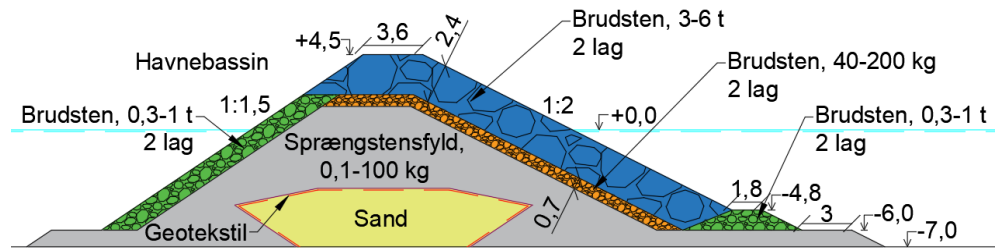
Generelt vurderes det, at nedetiden vil være mindre i sommerhalvåret og størst i vinterhalvåret for både Layout 2 og 3.

4.8 Konceptdesign

Den kunstige ø opbygges af sand, der med stenkastninger beskyttes mod bølger. Baglandsarealet med terminalområde osv. etableres i kote +3,5 m DVR90.

4.8.1 Moler og stenkastninger

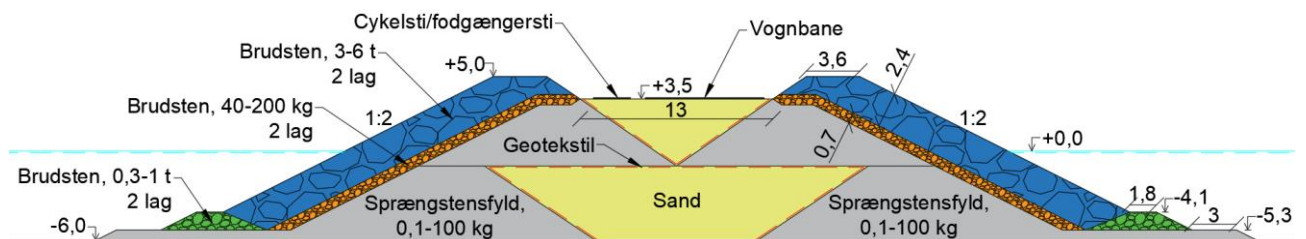
Moler og stenkastninger opbygges af sprængstensfyld og sandfyld beskyttet mod bølger af brudsten. Et typisk tværsnit af den ydre mole fremgår af Figur 4-10.



Figur 4-10 Typisk moletværsnit. Mål i m. Koter i m DVR90.

4.8.2 Dæmning

Dæmningerne opbygges af en kerne bestående af sprængstensfyld og sandfyld, der beskyttes af et filterlag og dæksten for at beskytte mod bølger. Et typisk tværsnit af dæmningen fremgår af Figur 4-11.

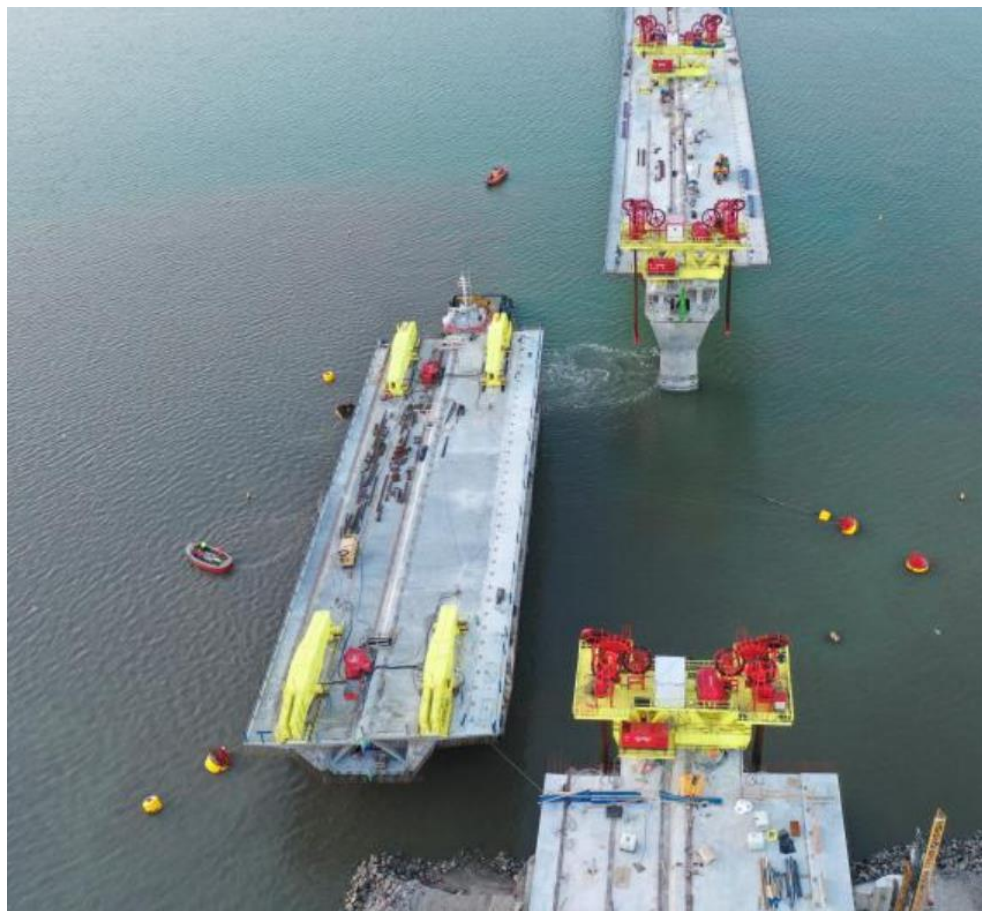


Figur 4-11 Typisk dæmningsprofil på 6 m vanddybde (set mod øst). Mål i m. Koter i m DVR90.

4.8.3 Broer

Indledningsvis er der foretaget analyser af mængden af krævet beton for spændvidder fra 25 til 55 m for en brokonstruktion med cykelsti. Mængden af beton er mindst for en spændvidde på 25 m, der således er anvendt i projektet. Det vil dog være formålstjenligt i en senere fase af projektet at overveje, om der kan være overordnede fordele ved at vælge større spændvidder, f.eks. i forbindelse med valg af byggemetode.

Efterfølgende er der set på mulige byggemetoder pga. den lave vanddybde i området, se Figur 4-3. Den yderste bro med en længde på ca. 800 m, der forbinder adgangsvejen til den kunstige ø, skal udføres på vanddybder større end 5 m. Underbygningen udføres derfor fra havet og den mest sandsynlige metode for overbygningen er fuldfagsmontage fra havet, da det giver fleksibilitet mht. produktionssted for brofagene. Desuden har denne metode ikke en direkte afhængighed af den kystnære bro og dæmning, idet montagen foregår helt og aldeles fra havet. Ved fuldfagsmontage installeres ét fag ad gangen, se eksempel fra Storstrømsbroen i Figur 4-12.



Figur 4-12 Storstrømsbroen, fuldfagsmontage.

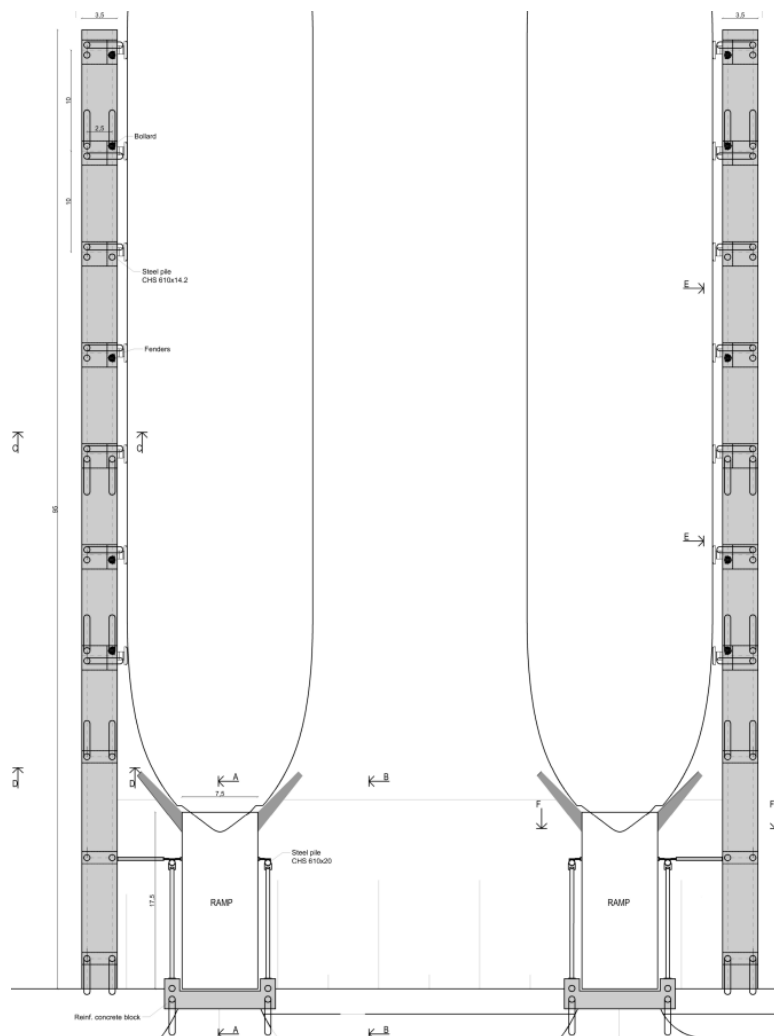
Den inderste bro med en længde på ca. 600 m skal udføres på vanddybder mindre end 2 meter. Dette stiller specielle krav til byggemetoden for både underbygning og overbygning. Med udgangspunkt i udførelsen af den yderste bro fra havet, er der set på den samme udførelsesmetode for den inderste bro. I den forbindelse er det først nødvendigt at uddybe en rende således, at pramme kan komme ind på de lavede vanddybder.

En alternativ udførelsesmetode er at bygge den inderste bro med udførelse fra land. I den situation er det nødvendigt først at bygge en midlertidig dæmning, hvorfra både underbygning og overbygning kan udføres.

4.8.4 Kajanlæg

En mindre servicebro etableres i hver side af det indre havnebassin, se Figur 4-13. Servicebroen opbygges af betonbjælker understøttet af stål-pæle og mellem betonbjælkerne monteres prefab-betonplader. Begge servicebroer er 95 m lange og 3,5 m brede og giver adgang for mindre køretøjer ifm. vedligeholdelse. Fendere placeres for hver 10 m og der placeres 5 pullerter på hver servicebro.

For at opnå tilstrækkelig bølgeabsorption etableres stenkastninger rundt langs hele det indre havnebassin. Stenkastningerne trækkes tilbage fra servicebroen for at holde konstruktionerne adskille.



Figur 4-13 Planoversigt over kajanlægget.

I bunden af det indre havnebassin etableres to hydrauliske ro-ro ramper til på- og afkørsel af færgerne, én i hver side af bassinet. Rampen er i stål med en størrelse på 17,5 x 7,5 m (svarende til den eksisterende rampe i Tårs Havn).

4.9 Forsyninger

Den fremskudte havn har brug for fremføring af vand og el, endvidere er der behov for at kunne håndtere spildevand og overfladevand.

4.9.1 Vandforsyning

Vandforsyning kræver etablering af en ca. 1,6 km ledning på land, fra kysten til et egnet tilslutningspunkt på en eksisterende vandledning fra Sandby Vandværk. Fra kysten til den fremskudte havn etableres yderligere 3,5 km ledning på havbunden. Den samlede ledningslængde bliver således 5,1 km og for at kunne opretholde vandtrykket skal den have en diameter på Ø63.

På landsiden kan ledningen graves ned mellem adgangsvejens ilandføring og tilslutningspunktet. På søterritoriet anbefales det at trække Ø63 ledningen i et

foringsrør (beskyttelsesrør) som lægges på havbunden, idet en føring af ledningen på broen/dæmningen vurderes at være væsentligt dyrere og mere energi-krævende, fordi den skal frostsikres.

4.9.2 Spilde- og overfladevand

Den fremskudte havn vil være årsag til tre kilder af spildevand og overfladevand:

- > Spildevand fra færgets drift
- > Spildevand fra toiletter og diverse afløb i terminalbygningen
- > Overfladevand (regn og udendørs brug af vand)

Spildevand fra færgets drift

Det er vurderet at spildevand fra færgerne vil kunne håndteres af de eksisterende faciliteter i Spodsbjerg havn, der omfatter spildevandsinstallationer for tømning af spildevand til offentlig kloak.

Spildevand fra fremskudt havn

Der etableres toiletter for passagerer og personale i terminalbygningen ved den fremskudte havn samt diverse afløb til bl.a. rengøring. Toiletterne og andre afløb tilkøbes en mindre septiktank, som skal tømmes regelmæssigt af en autoriseret operatør for at undgå overløb eller hygiejneproblemer.

Overfladevand

Baglandsarealet for den fremskudte havn får en høj grad af belægning, der primært vil bestå af overflader som asfalt, beton og belægningssten. Det vil derfor være nødvendigt at etablere et dræningssystem for overfladevand (nedbør, bølgeoverskyl og vand fra udendørs rengøring) for at sikre, at vandet kan ledes bort til Langelandsbælt, så der ikke opstår områder med stillestående vand. Da baglandsarealet benyttes af køretøjer, vil der være risiko for oliespild, hvorfor det vil være nødvendigt at etablere olieudskillere, så eventuelt spildt olie kan adskilles fra overfladevandet, inden det ledes ud i Langelandsbæltet.

4.9.3 Elforsyning

Den fremtidige drift på færgeruten kan forventes at skulle overgå til elfærger, sådan som det er tilfældet på andre færgeruter i Danmark. Elfærger kræver store mængder el til opladning af batterier i begge havne, og derfor kræves fremførsel af 10 kV til den fremskudte havn.

En elforsyning skal etableres ud til den fremskudte havn, og med udgangspunkt i behovet for en samlet effekt på 14 MW, er det nødvendigt at anlægge to kabelsystemer hver især med en effekt på 7 MW for at kunne holde spændingsniveauet på 10 kV. Det er relativt omkostningstungt at anlægge flere kabelsystemer og for at optimere på omkostningerne, er det i stedet vurderet fordelagtigt at transmittere strømmen ud til øen ved en højere spænding på 20 kV, hvorved ét kabelsystem er tilstrækkeligt både på land og til vands.

Det nærmeste opkoblingspunkt til en 10 kV-forbindelse ligger ved Sandby vindmøllepark ca. 1,4 km fra den planlagte ilandføring for adgangsvejen. Det vil være nødvendigt at installere en 10/20 kV transformer ved opkoblingspunktet, for at opnå den forudsatte spænding i systemet. Videre vil det være nødvendigt at installere en 20/10 kV transformer ude på den fremskudte havn for at opnå det ønskede spændingsniveau for de forskellige aftagere på øen.

Fra opkoblingspunktet og ud til adgangsvejens ilandføring forudsættes det, at kablerne etableres under terræn over de ca. 1,4 km. På den fremskudte havn etableres kablerne på samme måde.

Fra adgangsvejens ilandføring og ud til den fremskudte havn etableres 20 kV-forbindelsen på havbunden. Her udlægges kablet først på havbunden fra pram, hvor det trækkes ind på land og ud til havnen. Herefter spules en ca. 2 m dyb rende i havbunden, hvori kablet placeres. Alternativt kan der lægges et trækrør på havbunden, hvorigennem landkabler kan trækkes.

5 Elfærger og vindmøller

Muligheder for introduktion af elfærger på færgeruten mellem Spodsbjerg og en fremskudt færgehavn ved Tårs er blevet undersøgt på et overordnet niveau. Endvidere er det på et overordnet niveau undersøgt, hvad der kræves for at kunne oplade elfærgerne med strøm fra vindmøller opstillet på eller ved den fremskudte færgehavn.

5.1 Elfærger

Elfærgedrift er meget oplagt til korte indlands færgeruter, da sejldistancen typisk er af størrelsesordenen 10 sømil og farten typisk er 10-15 knob. Dette betyder, at den elektriske energimængde batterierne skal oplades med, vil kunne ske via en opladning på 10-15 minutter.

Analyser af krav til elfærger og den elektriske infrastruktur er baseret på en sejl-tid på 22 min. og en samlet ladetid på 8 min., inklusive tilkobling af elkabel til elfærgeren. Endvidere er analyserne baseret på halvtimes drift med i alt 36 daglige opladninger i både Spodsbjerg og Tårs.

Den nødvendige ladeeffekt er beregnet til 11,6 MW og er foretaget for et batteri med en kapacitet på 2.253 kWh, hvilket svarer til en vægt på 18-27 t, afhængig af batterifabrikant, og det anses for en normal størrelse. En ladespænding på 10 kV er anvendt.

5.2 Elektrisk infrastruktur

På Lollands-siden er der adgang til en 10 kV-forbindelse, dels i den eksisterende færgehavn og dels ved den nærliggende Sandby vindmøllepark, der ligger ca. 1,4 km fra det planlagte landgangspunkt for adgangsvejen.

Det årlige energibehov i den fremskudte havn ved Tårs vil være 17.750 MWh. Tre V117 vindmøller med en effekt på 3,45 MW forventes at kunne producere 22.500 MWh og vil altså give et overskud på ca. 4.750 MWh. Det er i vurderingen forudsat, at elektricitet kan importeres fra distributionsnettet, en andel på 5% af det krævede energibehov forventes importeret. Uden import af elektricitet, vil det være meget udfordrende at opnå fuld færgedrift, idet der kan være tidspunkter, hvor der hverken er tilstrækkelig vind eller lagret tilstrækkelig energi i batterierne på havnen, og en forøgelse af batteristørrelsen vil påvirke omkostningerne betydeligt.

Det er muligt at eksportere elektricitet til distributionsnettet, men der skal på forhånd indgås en aftale med elforsyningselskabet om muligheden for at eksportere overskydende elektricitet. Alternativt skal vindmøllerne neddrøles eller lukkes ned i tilfælde af overskydende strøm.

5.3 Placering af vindmøller

Tre placeringer af vindmøller på eller ved den fremskudte havn er analyseret.

5.3.1 Landbaseret på kunstig ø

For at minimere skyggeeffekten mellem vindmøller placeres disse med en mindsteafstand på fem gange rotordiameteren, svarende til 585 m. Med dette krav vil en placering af tre vindmøller på den kunstige ø kræve, at øen udvides med et meget stort ekstra areal, der er mange gange større end arealet krævet for havn med tilhørende landfaciliteter.

En sådan udvidelse af den kunstige ø vil give anledning til en væsentlig forøget påvirkning af strømmen i området og dække et stort areal af havbunden og dermed give en væsentlig påvirkning af havmiljøet. En større ø vil også give anledning til større anlægsomkostninger, og det vurderes derfor, at en stor udvidelse af øen vil være økonomisk urentabel.

5.3.2 Landbaseret ved adgangsvejen

Placeres de tre vindmøller langs adgangsvejen, skal disse etableres i en sikkerhedsafstand på minimum en gange totalhøjden, dvs. ca. 145 m for en V117 vindmølle, iht "Vejledning om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller", januar 2022, Bolig og Planstyrelsen.

Hvis vindmøllerne skal være landbaserede, skal der bygges ekstra dæmninger vinkelret på selve adgangsvejen for at opstille vindmøllerne. Disse tre ekstra dæmninger vil have en betydende indflydelse på strømningerne i området. Endvidere vil ekstra dæmninger være forbundet med ekstra anlægsomkostninger, og det vurderes derfor, at en sådan udvidelse med dæmninger til placering af de tre vindmøller vil være økonomisk urentabel.

5.3.3 Til vands

De tre vindmøller kan placeres til vands på en linje vinkelret på den dominerende vestlige vindretning eller alternativt som en lille offshore vindmøllepark tæt på havnen.

Installation af vindmøllerne vil være en udfordring pga. den forholdsvis lave vanddybde i området og vil kræve en stor flydekran til at løfte de tunge gravitationsfundamenter. En minimumsvanddybde for installation af vindmøller er derfor ca. 6,0 m.

Kravet til minimumsvanddybde for installation af vindmøller betyder, at det ikke er muligt at placere vindmøllerne til havs langs adgangsvejen.

Opstilling af tre vindmøller til vands vil have en minimal påvirkning af vandgenemstrømningen i Langelandsbæltet, da fundamenternes areal der påvirker strømningen er meget lille i forhold til den fremskudte havn med tilhørende adgangsvej.

Det vurderes, at anlægsomkostningerne især til mobilisering/demobilisering og anvendelse af en stor flydekran for at etablere tre vindmøller til vands, gør dette til en økonomisk urentable løsning.

5.4 Sammenfattende økonomiske overvejelser

En væsentlig større ø eller ekstra dæmninger til opstilling af landbaserede vindmøller vil give anledning til meget større anlægsomkostninger, og det vurderes derfor, at disse løsninger vil være økonomisk urentable.

En anden mulighed er at placere de tre vindmøller til vands på en linje vinkelret på den dominerende vestlige vindretning eller alternativt som en lille offshore vindmøllepark tæt på havnen. Opsætning af tre vindmøller er forholdsmæssigt dyrt, da de totale omkostninger til flydekran skal fordeles over kun tre vindmøller frem for et større antal vindmøller, som normalt er samlet i en havvindmøllepark. Løsningen vurderes derfor at være økonomisk urentabel.

En mere økonomisk løsning vil være enten af aftage strøm direkte fra den nærliggende landbaserede vindmøllepark, Sandby, eller opstille tre nye vindmøller ifm. denne vindmøllepark, der ligger ca. 1,4 km fra det planlagte landgangspunkt for adgangsvejen. Opstilling af landvindmøller er væsentligt billigere end opstilling af havvindmøller.

6 Anlægsomkostninger og mængder

Anlægsomkostninger og mængder er estimeret for seks forskellige scenarier, se Tabel 6-1.

Tabel 6-1 Scenarie 1 er basisscenariet. Parametre som ændrer sig for de forskellige scenarier i forhold til basisscenariet, er markeret med **fed**.

Scenarie	Layout ¹	Cykelsti ² (Ja/Nej)	Længde af bro fra havn ³ [m]	Længde af bro fra land ⁴ [m]	Længde af dæmning [m]	Samlet længde af adgangsvej
1 (Basis)	3	Ja	800	600	2.100	3.500
2	3	Nej	800	600	2.100	3.500
3	3	Ja	600	600	2.300	3.500
4	3	Ja	3.500	-	-	3.500
5	3	Ja	450	600	1.575	2.625⁵
6	2	Ja	800	600	2.100	3.500

¹ Layout 2: Havnemundingen er orienteret mod NV. Layout 3: Havnemundingen er orienteret mod N.

² Broer og dæmning etableres med eller uden cykelsti.

³ Længde af broen mellem den fremskudte havn og dæmningen.

⁴ Længde af broen fra land og ud til dæmningen.

⁵ Den fremskudte havn er placeret tættere på land ved en vanddybde på ca. 5-5,5 m.

6.1 Mængder

Mængderne af materialer er estimeret for fem hovedelementer: havnen, dæmning, broer, tilslutningsvej til eksisterende rute 9 og vand- og elforsyning, se (COWI/DHI, 20250).

6.2 Anlægsoverslag

Anlægsoverslaget er udarbejdet på baggrund af de estimerede mængder og er udarbejdet i henhold til Ny anlægsbudgettering på Transportministeriets område (2024). Den fremskudte havn, inklusive adgangsvejen bestående af en kombination af broer/dæmninger, klassificeres som Type 1 projekter (alle baneprojekter og vejprojekter, der krydser over eller under saltvand – f.eks. en fjord). Vejforbindelsen på land, der forbinder adgangsvejen til den eksisterende Rute 9, klassificeres som Type 2 projekter (Vejprojekter på land).

Prisoverslag som benævnes det indledende basisoverslag (fase 1 overslag) skal være "det bedste realistiske estimat ud fra den tilgængelige viden" for at estimere projektets udgifter. Til basisoverslaget tillægges der i fase 1 et korrektionsstillæg på 50 % for type 1 projekter og 40 % for type 2 projekter.

Det indledende anlægsoverslag er opdelt i følgende 3 hovedelementer:

- > Fremskudt færgehavn
- > Dæmning og lavbro
- > Tilslutningsvej på land

De indledende anlægsoverslag for Scenarie 1 til 6, præsenteret i Tabel 6-1, fremgår af Tabel 6-2. De generelle byggeomkostninger indeholder omkostninger til arbejdsplads (10%) og rådgivning (13%) samt bygherreadministration (5%).

Tabel 6-2 Indledende anlægsoverslag for Scenarie 1 til 6 for etableringen af den fremskudte havn Tårs.

HP	INDLEDENDE ANLÆGSOVERSLAG Alle priser er ekskl. moms	Scenarie 1	Scenarie 2	Scenarie 3	Scenarie 4	Scenarie 5	Scenarie 6
		[mio. DKK]	[mio. DKK]	[mio. DKK]	[mio. DKK]	[mio. DKK]	[mio. DKK]
1	Færgehavn	458	458	458	458	382	463
2	Dæmning og lavbro	765	704	774	774	571	765
3	Tilslutningsvej	60	60	60	60	60	60
4	Netto byggeomkostninger/fysik estimat (HP 1 - HP 3)	1.283	1.222	1.292	1.292	1.012	1.288
5	Generelle byggeomkostninger (28%)	359	342	362	362	283	361
6	Basisoverslag total (HP 1 - HP 5)	1.643	1.564	1.653	1.653	1.296	1.649
7	Indledende anlægsoverslag (inkl. 40%/50% korrektionstillæg)*	2.458	2.340	2.474	2.474	1.938	2.467

*Korrektionstillæg på 40% benyttes for tilslutningsvejen og 50% benyttes for øvrige poster.

Det fremgår af Tabel 6-2, at der i hovedsagen ikke er nogen forskel i det indledende anlægsoverslag for Scenarie 1, 3, 4 og 6, idet de samlede omkostninger ligger på ca. 2,5 mia. kroner. Med hensyn til Scenarie 1 og 4 ses det, at overslaget stort set er identisk uanset om adgangsvejen anlægges som en ren lavbro eller som en kombination af lavbroer og dæmning.

Den mindre forskel mellem Scenarie 1 og 2 skyldes, at Scenarie 2 etableres uden cykel/gangsti. Forskellen i overslag skyldes primært den smallere lavbro, da dæmningsomkostningerne mere eller mindre er ens, idet det primært er mængden af det billigere sandfyld, som reduceres for dæmningen.

Rykkes havnen ind på en vanddybde på 5-5,5 m (Scenarie 5), reduceres det indledende anlægsoverslag med ca. 0,5 mia. i forhold til Scenarie 1.

6.3 Projektets risici

Et anlægsprojekt af denne karakter og størrelsesorden vil være behæftet med en række projektrisici som alle kan påvirke projektet med hensyn til kvalitet, tid og økonomi. Nogle projektrisici er indledningsvis forsøgt afdækket, bl.a. ved modellering af påvirkningen af vandgennemstrømningen i Langelandsbælt og strømforholdene ved indsejlingen til den fremskudte havn, udførelse af manøvreresimuleringer for at belyse besejlingsforholdene for forskellige havne layouts og analyser af bølgeuro inde i havnebassinet med henblik på estimering af havnens nedetid.

6.4 Vedligeholdelsesomkostninger

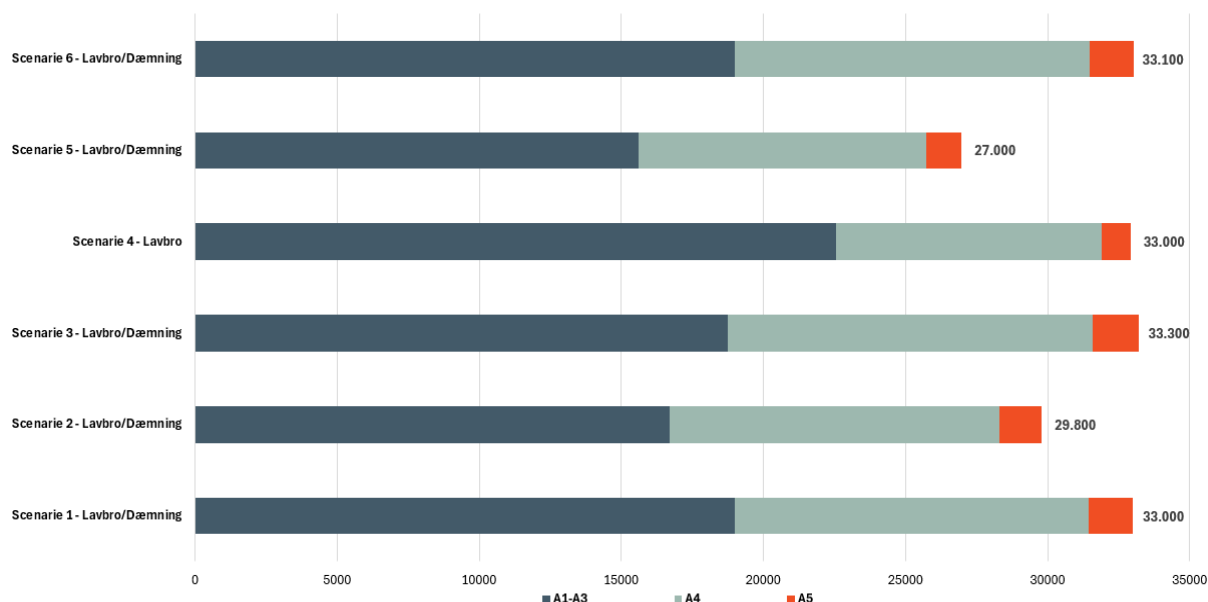
Vedligeholdelsesomkostningerne varierer afhængig af konstruktionstyper. Erfaringsmæssige procentsatser er ca. 0,5% for lavbroer og ca. 2% for moler, dæmninger og havnekonstruktioner.

7 CO₂ beregninger

Beregninger af CO₂ udledningen i forbindelse med anlægsfasen af den fremskudte havn i Tårs er foretaget for de seks scenarier for hvilke også mængder er bestemt, se Kapitel 6.

Beregningerne er baseret på en estimeret klimaeffekt eller Global Warming Potential (GWP), som er et udtryk for udledningen af CO₂ og andre drivhusgasser målt i CO₂-ækvivalenter (CO₂e).

Samlet set viser resultaterne, at de højeste CO₂-emissioner kommer fra fremstillings- og produktionsfasen af materialer (A1-A3) efterfulgt af transportfasen til projektstedet (A4). Det laveste bidrag kommer fra installations- og anlægsfasen (A5). Dette betyder, at CO₂-fodaftrykket primært er drevet af produktion og levering af materialer snarere end det brændstofforbrug, der er forbundet med byggeaktiviteter på stedet. Figur 7-1 opsummerer CO₂-emissionerne på tværs af de seks scenarier, opdelt efter livscyklusfase.



Figur 7-1 Scenarier for fremskudt færgehavn ved Tårs. CO₂-aftryk baseret på livscyklusfaser.

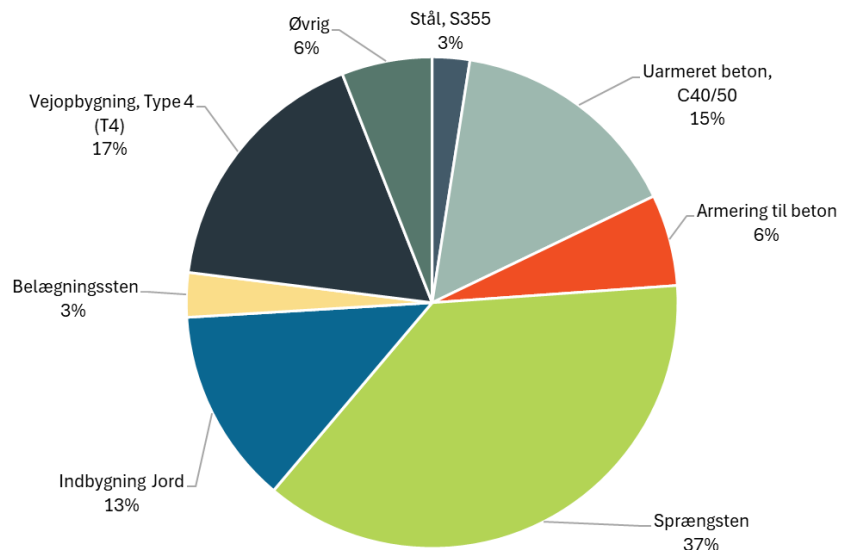
Alle seks scenarier viser relativt ens CO₂-emissioner, da der ikke er væsentlige forskelle i de komponenter der indgår i konstruktionerne og mængden af materialer er stort set ens. Der er dog visse variationer i CO₂-emissionerne på grund af forskelle i længderne af betonbroer og dæmning.

Scenarie 1 (baseline) og 6 har nogenlunde samme samlede CO₂-udledning – ca. 33.000 tons CO₂e, da mængderne af materialer er sammenlignelige. Scenarie 4 giver også en samlet udledning på 33.000 tons CO₂e selvom dette scenarie med én lang bro kræver væsentligt større mængder beton og stål, men til gengæld er der ingen stenarbejder ifm. bygning af en dæmning.

Scenarie 5 med den fremskudte havn placeret tættere på kysten, efterfulgt af scenarie 2 uden cykelsti, er de mindst CO₂-intensive scenarier med en udledning på henholdsvis 27.000 og 29.800 tons CO₂e. Dette skyldes primært en reduceret mængde af materialer for betonbroer og dæmning bestående af sten.

Scenarie 3 med en længere dæmning har den største samlede CO₂-udledning – ca. 33.300 tons CO₂e, da mængden af stenarbejder ifm. dæmningen er større end for de andrescenarier.

Figur 7-2 opsummerer CO₂-aftrykket for forskellige typer af materialer med procentbidrag til de samlede emissioner for basisscenariet (scenarie 1). Ved vurdering af CO₂-fodaftrykket pr. masseenhed udviser stål og beton betydeligt højere påvirkninger sammenlignet med andre materialer som sten og sand. Transport af sten og forbrug af fossile brændstoffer til håndtering af sand er store bidragydere til de samlede emissioner, da der kræves store mængder af disse materialer til opbygning af den fremskudte færgehavn sammenlignet med stål og beton.



Figur 7-2 Byggematerialers CO₂-emissionsbidrag i procent for scenarie 1 (reference-scenarie).

8 Overordnet evaluering af fremskudt færgehavn

Resultaterne af de foretagne analyser af den fremskudte havn er brugt i en afsluttende komparativ vurdering af de seks scenarier præsenteret i Tabel 6-1. Følgende parametre er anvendt i vurderingen: besejlingsforhold, bølgeuro, overfartstid, nedetid, påvirkning af vandgennemstrømning, lokal påvirkning af miljøforhold, CO₂ udledning i anlægsfasen og anlægsoverslag.

En scoring med trafiklysfarver er foretaget for hver af de nævnte parametre for de seks scenarier, se Tabel 8-1.

Tabel 8-1 Scoring af de seks scenarier relativt til hinanden. Grøn = bedre, gul = middel og rød = dårligere.

Parameter	Scenarie 1 - havn mod nord	Scenarie 2 - havn mod nord uden cykelsti	Scenarie 3 - havn mod nord med reduceret længde af bro fra havn	Scenarie 4 - havn mod nord kun bro	Scenarie 5 - havn mod nord tættere på land	Scenarie 6 - havn mod nordvest
Besejlingsforhold						
Bølgeuro						
Overfartstid for færger						
Nedetid						
Påvirkning af vandgennemstrømning						
Lokal påvirkning af miljøforhold						
CO ₂ udledning i anlægsfasen						
Anlægsoverslag						

Scenarie 1 og 2 scorer middel/bedre på alle parametre.

Scenarie 3 har større påvirkning på vandgennemstrømningen og strømningsforholdene omkring havnen, der påvirker besejlingsforholdene.

Scenarie 4 har mindre påvirkning af vandgennemstrømningen og dermed også mindre påvirkning af besejlingsforholdene og de lokale miljøforhold. Klimaaftrykket er sammenligneligt med Scenarie 1, 3 og 6.

Scenarie 5 vil give en længere overfartstid end de andre scenarier, mens det er bedre mht. påvirkning af vandgennemstrømning, klimabelastning og anlægsoverslag.

Scenarie 6 er bedst mht. bølgeuro, men er dårligere mht. besejlingsforhold og den resulterende nedetid, samtidig med at den giver størst påvirkning af vandgennemstrømningen.

En samlet vurdering af de seks scenarier er, at det mest fordelagtige scenarie for en fremskudt færgehavn ved Tårs er Scenarie 4 med én lang bro efterfulgt af Scenarie 1 eller 2 med en havn mod nord hhv. med eller uden cykelsti langs adgangsvejen.

9 Hydrografisk modellering

Modelleringen af hydrografi er foretaget med to fundamentalt forskellige modeltyper:

- > Mekanistisk model
- > Konceptuel model

De mekanistiske modeller er baseret på det mekanistiske modelsystem, benævnt MIKE 3 FM, som igen er baseret på de grundlæggende styrende ligninger og randbetingelser, som for eksempel dybdeforhold. Sådanne modeller er derfor ikke begrænset af en konceptuel forståelse af Østersøen og kan derfor beskrive sammenhænge, der ikke er kendt på forhånd.

Den konceptuelle model er begrænset til at beskrive sammenhænge inden for den forståelse af Østersøen, som er inkluderet i modellen. Den konceptuelle model regner hurtigt og er derfor brugt til at beregne mange forskellige scenarier, herunder at modellere spredningen af resultater.

9.1 Tidligere anvendt nulløsning

Ved nogle tidligere store infrastrukturprojekter, så som Storebælt og Øresund, var kravet, at forbindelserne ikke måtte give anledning til en ændring af vandgennemstrømningen og salttransporten igennem henholdsvis Storebælt og Øresund. På det tidspunkt var det ikke muligt at kvantificere forbindelsernes påvirkning på Østersøen, da de tilgængelige værktøjer (numeriske modeller) var begrænsede ift. dagens værktøjer. Modellerne for Storebælts- og Øresundsforbindelserne dækkede således kun begrænsede geografiske områder og modellerede alene transporten af vand og salt gennem stræderne. For at opfylde det overordnede miljøkrav om ikke at påvirke den Centrale Østersø, blev "nulløsnings" konceptet/metoden udviklet og benyttet. Ideen bag konceptet er, at hvis infrastrukturprojekterne ikke ændrer gennemstrømningsforholdene lokalt i stræderne, da vil de heller ikke ændre forholdene i den Centrale Østersø. At forholdene ikke blev ændret lokalt, blev opnået ved at sikre, at transporten af vand og salt gennem hhv. Storebælt og Øresund ikke blev ændret (nul ændring). Modstanden fra forbindelserne, f.eks. fra bropiller eller rampeanlæg, som kunne mindske transporterne, blev kompenseret ved lokale afgravninger, der opvejede modstanden fra forbindelsen. Afgravningerne blev optimeret, så effekten af afgravning blev størst mulig for at opnå en uændret transport af vand og salt og for at minimere de lokale miljøvirkninger af kompensationsafgravningerne.

9.2 Mekanistisk model

9.2.1 Infrastrukturprojekter og klimaændringer

Formålet med beregningerne med den mekanistiske model 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 henholdsvis klimaændrings samlede påvirkning af hydrografi og miljøforhold i Østersøen.

De 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 anlægslov.
- Østlig Ringvej, som er under miljøkonsekvensvurdering
- Als-Fyn forbindelsen, som er forundersøgt
- Fremskudt færgehavn ved Tårs, hvor der i denne undersøgelse gennemføres supplerende strømningsmæssige 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 overordnet undersøgte klimaændringer er (detaljer for alle undersøgte klimaændringer indeholdes i (COWI/DHI, 2025C):

- En havspejlsstigning 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, og en sensitivitetstest vedrørende fordampning med en øgning på afstrømning på det halve, dvs. +9%

Fokus i projektet er at få de ændringer af de hydrografiske forhold i Østersøen, der skyldes infrastrukturprojekter og klimaændringer, til at fremstå klart.

9.2.2 Havnens udformning og kystbeskyttelse

De hydrografiske forhold i Langelandsbælt er beregnet for 2019 med en 3D numerisk model, der dækker Langelandsbælt. Beregningerne er gennemført uden den fremskudte færgehavn ved Tårs (referencesituationen) og med en række forskellige udformninger af havnen. Havnens udformning og dens påvirkning af kysten er vurderet ved at sammenligne resultaterne med og uden havnen. Typiske udformninger af den fremskudte havn og adgangsvej er vist i Figur 3-1.

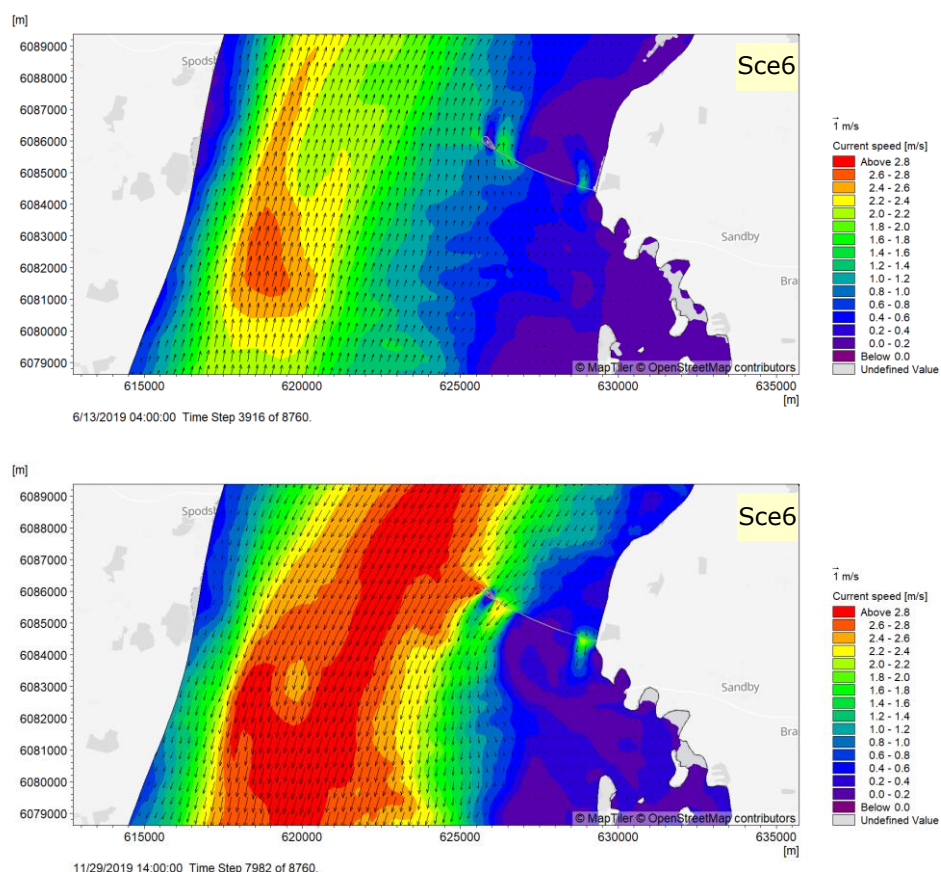
Optimering af den fremskudte havns udformning omfatter placering og orientering af den kunstige ø og af adgangsvejen bestående af lavbroer og dæmning (deres placering, længder og geometri). Disse optimeres i relation til strømningsmodstand men også i forhold til besejlings- og manøvreforhold og bølgeuro i havnen, og under hensyntagen til den fremskudte færgehavns økonomi.

Adskillige udformninger af den fremskudte færgehavn er undersøgt og analyseret. Strømfordelingerne, og ændringerne af disse viser, at havnen påvirker strømfelterne og giver læzoner ved øen og dæmningen samt koncentreret strømning gennem broerne og omkring øen, se Figur 9-1 for udformning 6 (Layout 2). En drejning af øen mod nord (Layout 3) mindsker påvirkningen fra øen og giver mindre strømmodstand.

For de undersøgte udformninger er vandføringsændringen (brutto) i Langelandsbælt i intervallet fra -1,21% til -0,19%, og salttransportændringen (brutto) fra -0,72% til -0,11% (fortegnet minus angiver, at vandføring og salttransport mindskes). Det vises senere, at disse ændringer kun giver marginale ændringer i den Centrale Østersø.

Ændringerne afhænger af de tre dele af havnen (og deres interaktion): den kunstige ø, dæmning og bro. Jo mere øen strømlines og drejes mod nord, desto mindre er påvirkningen fra øen. Tilsvarende, jo kortere dæmningen og jo længere broen er, desto mindre er påvirkningen fra adgangsvejen til øen.

I de efterfølgende analyser anvendes den udformning af den fremskudte havn, der giver den største (numeriske) vandføringsændring af de optimerede udformninger, som forventes at skulle undersøges, hvis det besluttes at gå videre med projektet. Derfor er analyserne udført med udformning 6 (Layout 2). Resultaterne for denne udformning kan efterfølgende benyttes til interpolation for bestemmelse af påvirkning fra andre udformninger.



Figur 9-1 Strømfordeling omkring udformning 6 (Layout 2) ved maksimal nordgående (øverst) og maksimal sydgående strøm (nederst).

Aflejring og erosion langs kysten, som følge af de ændrede hydrodynamiske forhold, er vurderet baseret på en analyse af ændringer i strøm, bølger og bundfriktion for udformning 6 (Layout 2). Det vurderes, at der kan komme:

- aflejringer i læzonerne ved ø og dæmning;

- erosion omkring øen uden for læzonerne og ved broernes åbninger; og
- meget begrænset aflejring langs kysten - undtagen ved broens åbning ved kysten.

Således forventes der kun begrænsede ændringer af aflejnings- og erosionsforholdene langs kysten, og da der ikke forventes erosion, er der ikke behov for kystbeskyttelse.

Omkring øen og i broåbningerne skal der tages specifikt hensyn til erosion ved at inkludere erosionsbeskyttelse i projekteringen af konstruktioner for øen, enderne af dæmningen og lavbroerne.

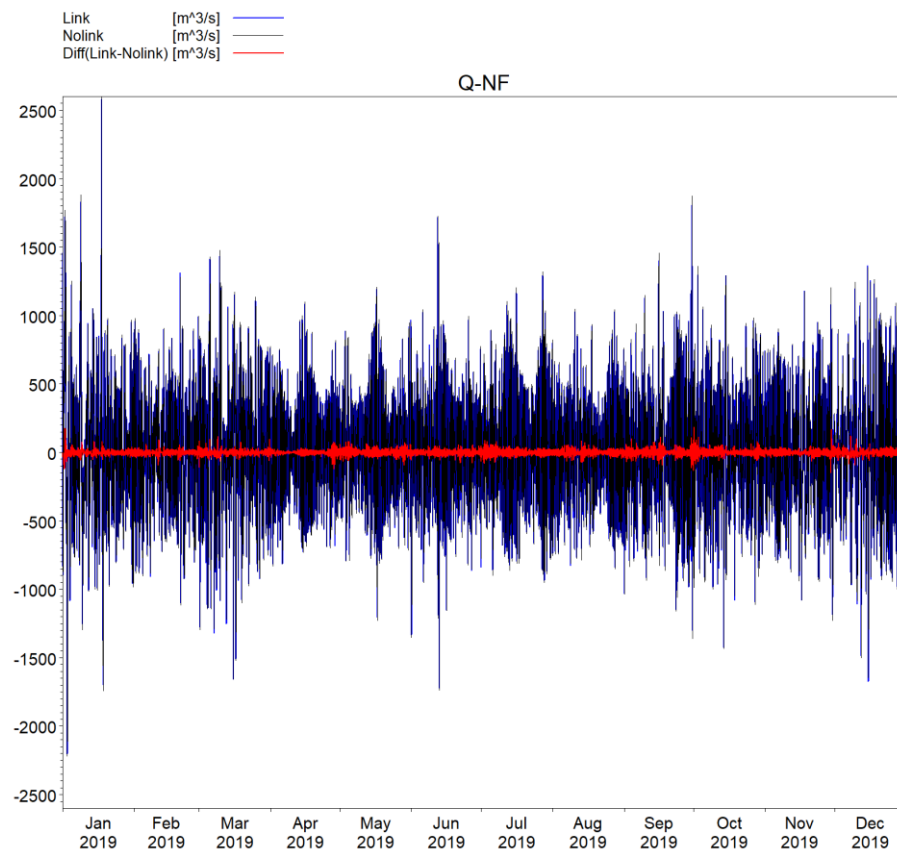
9.2.3 Nakskov Fjord og oversvømmelse

De hydrografiske forhold i Bælthavet er beregnet for 2019 med en 3D numerisk model, der dækker Bælthavet. Beregningerne er gennemført uden den fremskudte færgehavn ved Tårs (referencesituationen) og med udformning 6 (Layout 2) for den fremskudte færgehavn, se Figur 3-1.

En bruttovandføringsændring, som defineret for de andre forbindelser i Bælthavet og Øresund, bestemmes for den fremskudte færgehavn ved Tårs, og derved den potentielle påvirkning af lokale strømforhold og vandudveksling samt transport mellem vandområderne. Dette giver mulighed for en indledende undersøgelse af påvirkningerne i lokalområdet, herunder Natura 2000-området "Nakskov Fjord og Indrefjord".

Påvirkningen fra den fremskudte havn på Nakskov Fjord vurderes på baggrund af udveksling af vand til fjorden, og hvorledes den ændres. I Figur 9-2 vises udvekslingen af vand med og uden havn og ændringen i udvekslingen. Forskellen mellem udveksling med og uden havn er marginal. Dette betyder, at havnen kun har en marginal påvirkning af fjorden.

Vandførings- og salttransportændring (brutto) til Nakskov Fjord er ligeledes marginal: $-0,31\%$ for vandføring og $-0,24\%$ for salttransport, hvilket kun forventes at give anledning til marginale ændringer i Nakskov Fjord.

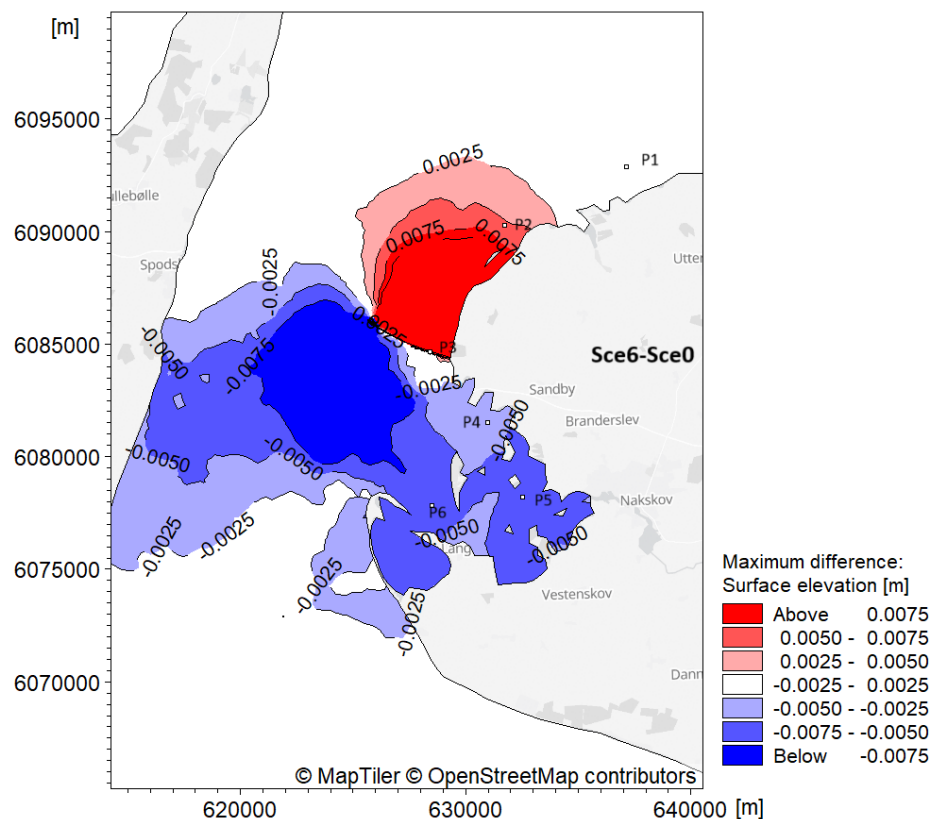
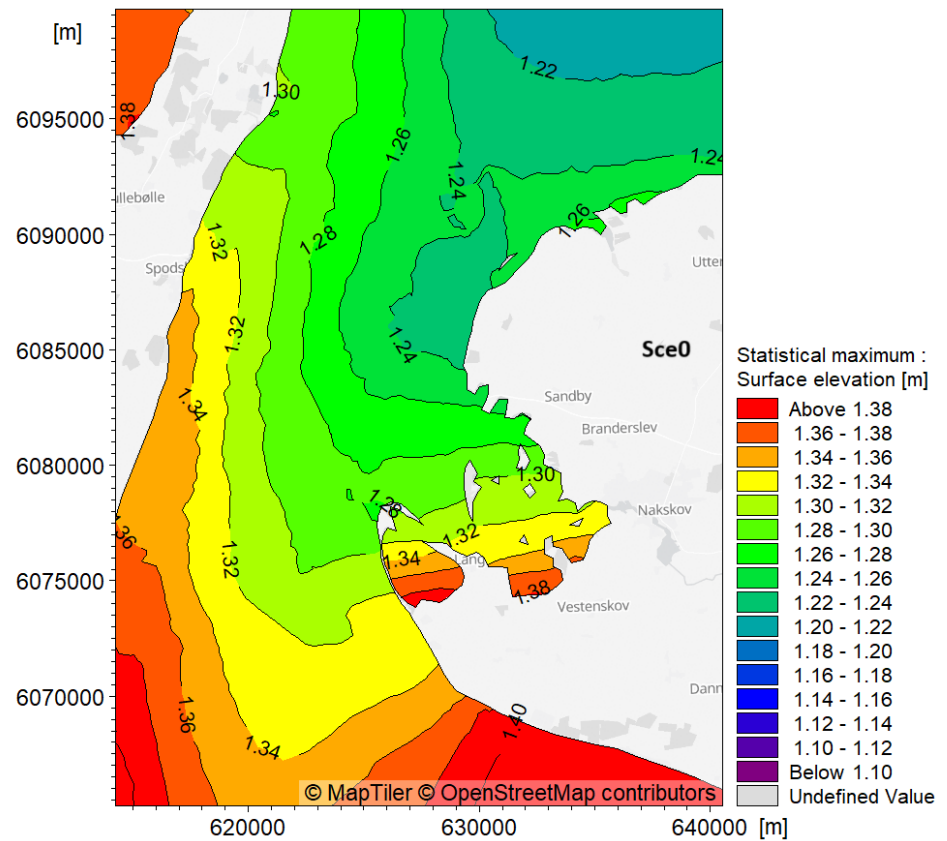


Figur 9-2 Tidsserie af vandføring til Nakskov Fjord med og uden havn og ændringen i vandføringen (gennem munden til fjorden, positiv ind i fjorden).

De betingede ændringer af risikoen for oversvømmelse af lavtliggende områder i nærheden af den fremskudte havn er bestemt ud fra beregninger af de hydrografiske forhold i 2019, som indeholder en kraftig storm. Højvande beregnes med og uden den fremskudte havn. Forskellene med og uden den fremskudte havn sammenlignes og analyseres, og betydningen af den fremskudte havn for en lokal oversvømmelse vurderes.

Der er betydelige udsving i vandstanden i lokalområdet med variationer, der spænder fra ca. $-1,0$ m DVR90 til $+1,5$ m DVR90, se Figur 9-3. Nogle steder langs kysten nord for den fremskudte havn ved Tårs kan der være en lokal øgning af vandstanden pga. havnen på $+1$ cm eller mindre i 2019.

Ud fra dette resultat kan det konkluderes, at den fremskudte havn har en marginal langsigtet effekt på vandstanden og dermed risikoen for oversvømmelse i de lavtliggende områder i nærheden af havnen.



Figur 9-3

Kort med maksimal vandstand uden havn og forskellen med havn. Koter er angivet med reference til DVR90.

9.2.4 Hydrografiske ændringer i 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.

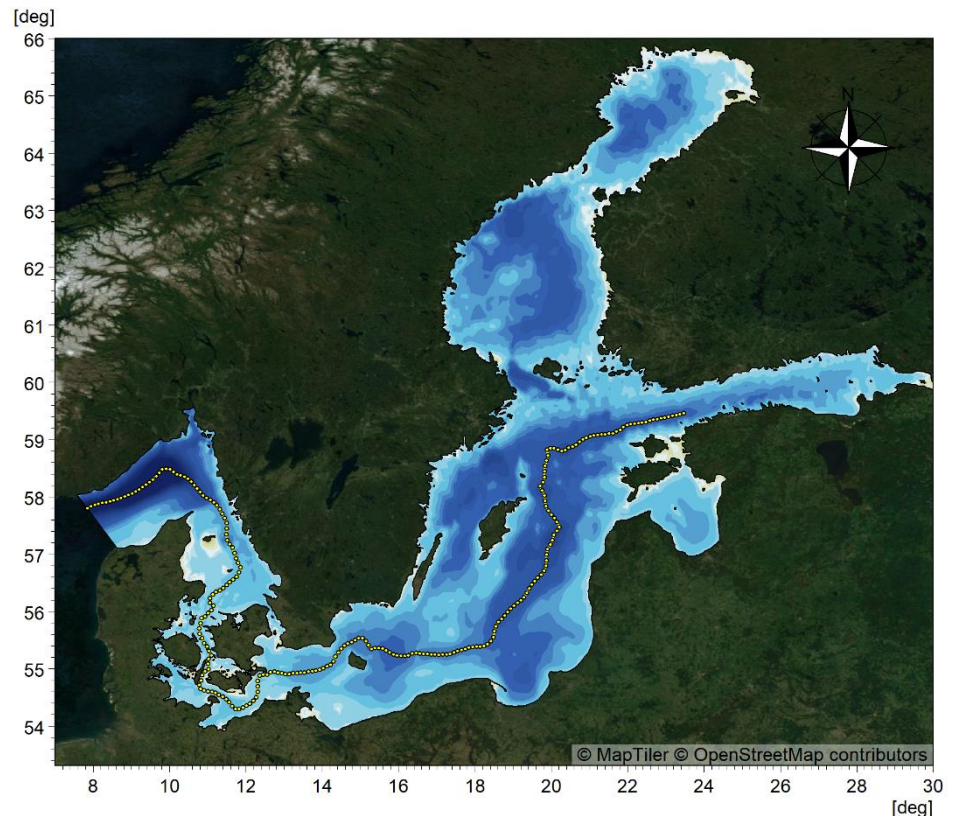
Påvirkningen fra klimaændringer på hydrografien er betydelig - de ændrede hydrografiske forhold er af en størrelse, der vil kunne måles og dokumenteres i fremtidige monitoreringsprogrammer. En væsentlig hydrografisk ændring er ikke mindst vandtemperaturstigningen.

En sensitivitetstest med den halve øgning af afstrømningen fra klimaændringer viser, at de beregnede saltholdighedsprofiler i år 2100 er meget lig dem, der er beregnet for år 2019. Dvs. at en havspejlsstigning på +0,5 m og en afstrømningsøgning på +10% har modsatrettet effekt på saltholdighedsprofilerne og er af samme størrelsesorden. Påføres begge samtidig fås omtrentligt de oprindelige profiler i 2019. Således kan der forekomme klimaændringer med kombinationer af vandstandsstigning og afstrømning, som kun giver en begrænset ændring af saltholdighedsforholdene, samt kombinationer, hvor saltholdigheden stiger. Temperaturen vil dog stadig ændres betydeligt.

Påvirkningen af hydrografien fra forbindelserne er marginal, og de ændrede hydrografiske forhold er af en størrelse, der ikke vil kunne måles og dokumenteres i fremtidige monitoreringsprogrammer.

Det findes, at påvirkningen fra forbindelserne på de hydrografiske forhold (saltholdighed, temperatur og udveksling), både med og uden klimaændringer, er marginale, og med de samme fordelinger af ændringerne (stigninger og fald i saltholdigheden ses i de samme områder og dybder). Ændringerne fra forbindelserne er lidt større i scenariet med klimaændringer end i det uden klimaændringerne, men stadig marginale for begge scenarier. Dette illustrerer, at modelberegningerne af påvirkningerne fra forbindelserne er robuste i den forstand, at de stort set er de samme med og uden klimaændringer.

Fordeling af saltholdighed og temperatur er vist langs transektet markeret på Figur 9-4. Transektet er fra Skagerrak og ind i Østersøen langs de dybere dele.



Figur 9-4 Kort med batymetri og betragtet transekt (prikket linje).

Saltholdighed

En sammenligning af saltholdighedsfordelingerne i 2019 med og uden forbindelser (se fordeling uden forbindelser i Figur 9-5 og ændringerne med forbindelser i Figur 9-6) og i 2100 med og uden forbindelser (se fordeling uden forbindelser i Figur 9-7 og ændringerne med forbindelser i Figur 9-8) viser kun marginale forskelle i disse fordelinger forårsaget af forbindelserne. Klimænderingerne bevirker generelt, at saltholdigheden i Østersøen falder, undtagen i bundlaget i Kattegat, hvor den stiger.

Fordelingerne af saltholdigheden langs transektet er som forventet fra målinger og litteraturen. Gradienterne i overfladesaltholdighederne er mindre i den indre Østersø, end de er i de danske stræder og Kattegat. Skagerrak-fronten ses i overgangen mellem Kattegat og Skagerrak, en saltvandskile, der trænger ind i Kattegat og de danske stræder langs bunden, og fortsætter med en overstrømning over Darss tærsklen, som fortsætter ind i de nedre lag i den indre Østersø.

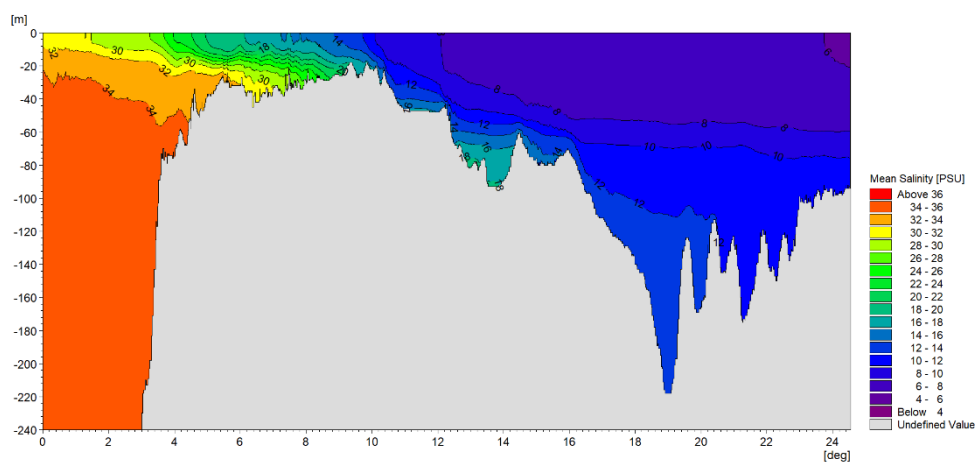
Ændringen i saltholdigheden pga. forbindelserne er vist i Figur 9-6 og Figur 9-8, som begge viser en stigning i Kattegat og Bælthavet (mere mod bunden), marginale sporadiske ændringer i Arkona Bassinet, en dominerende stigning i bundlaget i Bornholmer Bassinet, og en stigning lige under haloklinen i Gotlands Bassinet (pga. stigningen i bundlaget i Kattegat). Der forekommer øvrige sporadiske ændringer, som ikke er beskrevet i den korte oversigt af de væsentlige tendenser. Ændringerne er lidt større i år 2100 end i år 2019.

Stigningen i saltholdighed i bundlaget i Kattegat i 2019-scenariet 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 til 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, fordi der anvendes 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. De øgede saliniteter i nedre lag ($\sim 0,2$ g/kg fra forbindelser og $\sim 0,2$ g/kg fra klimaændringer) er også beregnet i en dedikeret analyse med den konceptuelle model.

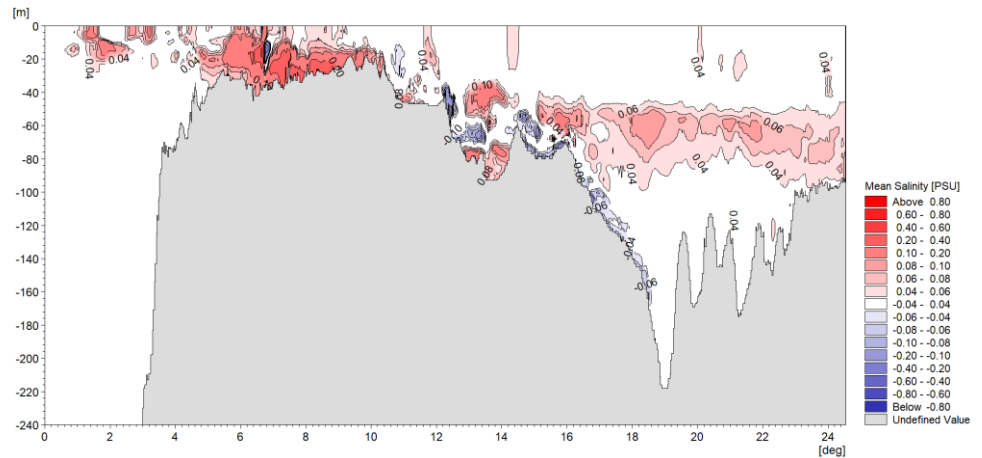
I Kattegat ses et meget lokalt fald i saltholdigheden under haloklinen. Dette skyldes Kattegatforbindelsen, hvor der indgår broløsninger både øst og vest for Samsø, som forårsager en meget lokal nedblanding af vand fra overfladelaget pga. Kattegatforbindelsens turbulensproduktion.

Ændringen i saltholdigheden pga. klimaændringer er vist i Figur 9-9, som viser et fald i saltholdigheden i indre Østersø og i øvre lag i Bælthavet og Kattegat samt en stigning i bundlaget i Kattegat. Faldene skyldes øget nettonedbør og afstrømning. Stigningen i bundlaget i Kattegat skyldes en mindre nedblanding fra øvre til nedre lag, hvilket øger saliniteten i nedre lag.

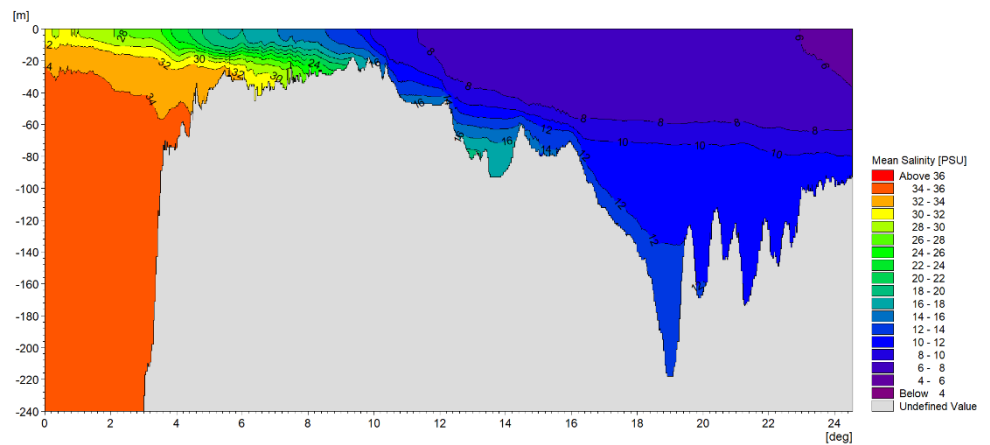
Ændringerne forårsaget af henholdsvis forbindelserne og klimaændringer er af forskellig størrelsesorden, hvor ændringer fra klimaændringer er betydelig større end fra forbindelserne. For den indre Østersø er ændringerne fra forbindelserne små. I Bælthavet giver forbindelserne anledning til en lille øgning af saltholdigheden, mens påvirkningerne fra klimaændringerne fører til en tydelig reduceret saltholdighed.



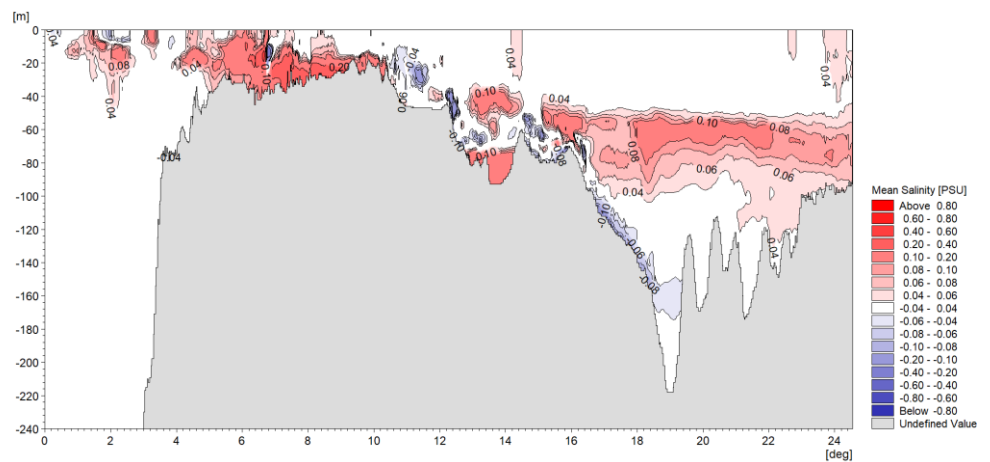
Figur 9-5 Middel saltholdighed langs transekt i 2019 uden forbindelser.



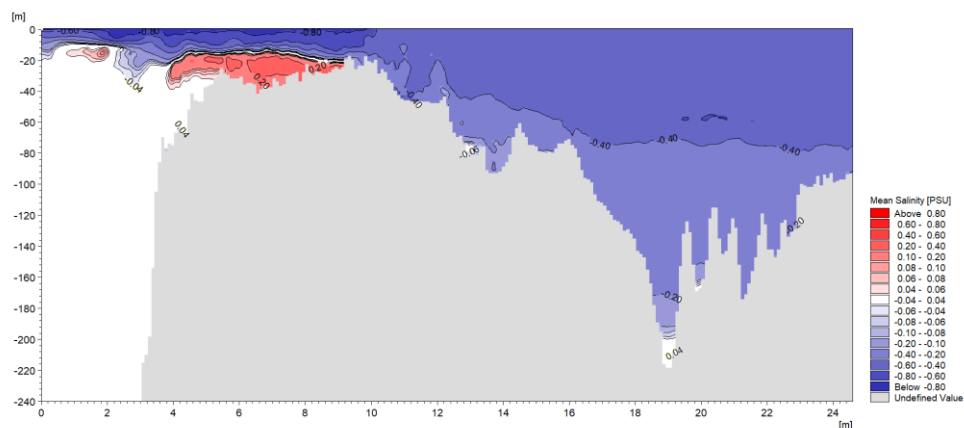
Figur 9-6 Ændring i middel saltholdighed langs transekt i 2019 med og uden forbindelser (positive værdier angiver højere saltholdighed med forbindelser).



Figur 9-7 Middel saltholdighed langs transekt i 2100 uden forbindelser.



Figur 9-8 Ændring i middel saltholdighed langs transekt i 2100 med og uden forbindelser (positive værdier angiver højere saltholdighed med forbindelser).



Figur 9-9 Ændring i middel saltholdighed langs transekt i 2019 uden forbindelser og 2100 uden forbindelser (positive værdier angiver højere saltholdighed med klimaændringer).

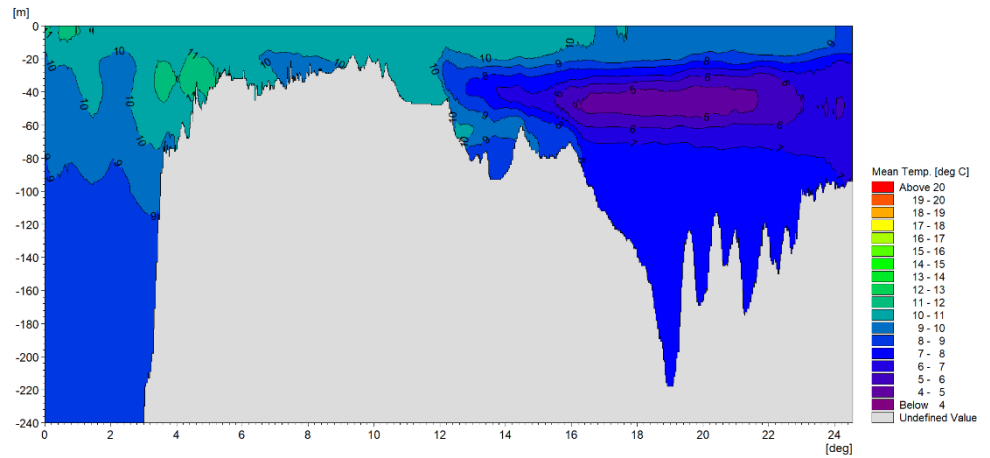
Temperatur

En sammenligning af temperaturfordelingerne i 2019 med og uden forbindelser (se fordeling uden forbindelser i Figur 9-10 og ændringer med forbindelser i Figur 9-11) og i 2100 med og uden forbindelser (se fordeling uden forbindelser i Figur 9-12 og ændringer med forbindelser i Figur 9-13) viser kun marginale forskelle i disse fordelinger forårsaget af forbindelserne. Klimaændringerne får temperaturen til at stige.

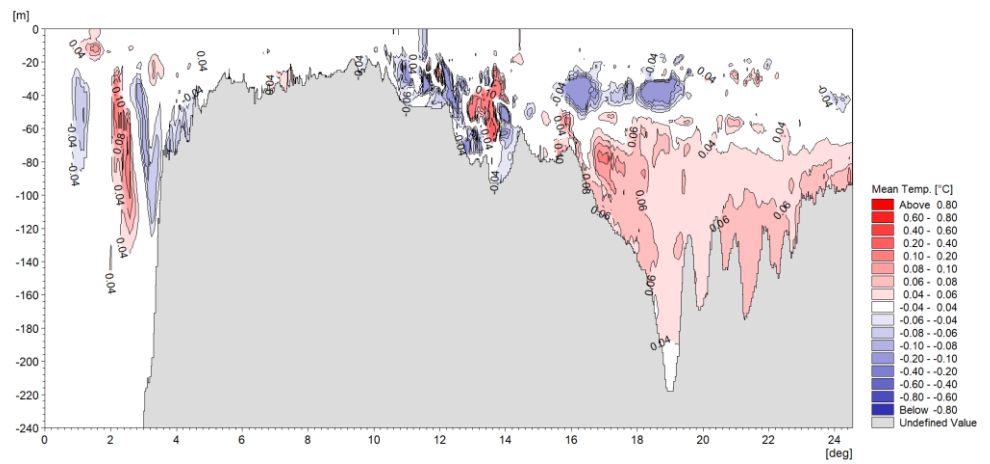
Ændringerne i temperaturen pga. forbindelserne, som ses i Figur 9-11 og Figur 9-13, viser begge en uændret temperatur i Kattegat og Bælthavet, et marginalt fald i nedre lag i Arkona Bassinet, svagt stigende temperatur under haloklinen og svagt faldende temperatur nærmere bunden i Bornholmer Bassinet, samt en marginal stigning i det nedre lag i Gotlands Bassinet.

Ændringen i temperaturen pga. klimaændringer er vist i Figur 9-14, som viser en stigende temperatur i hele transektet og stigende ændringer ind i Østersøen.

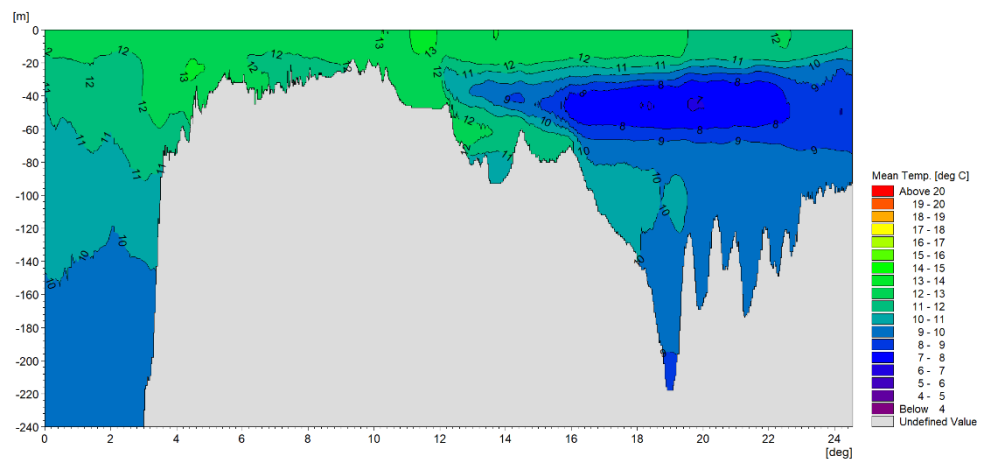
Ændringerne i temperaturen forårsaget af henholdsvis forbindelserne og klimaændringer er meget forskellige og væsentligt større og mere betydningsfulde for klimaændringerne end de marginale ændringer fra forbindelserne.



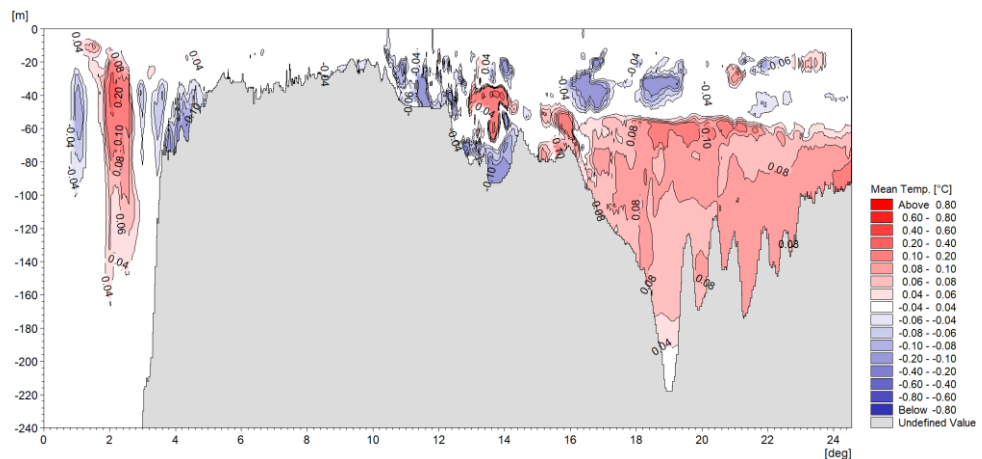
Figur 9-10 Middel temperatur langs transekt i 2019 uden forbindelser.



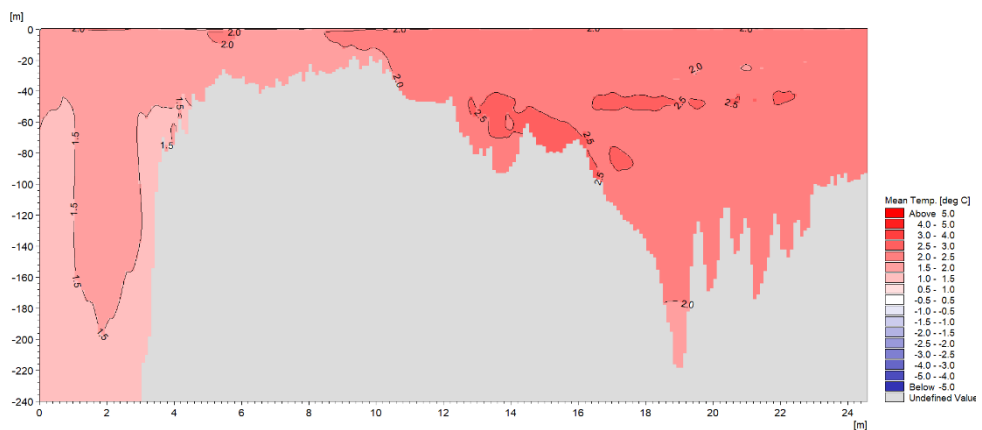
Figur 9-11 Ændring i middel temperatur langs transekt i 2019 med og uden forbindelser (positive værdier angiver højere vandtemperaturer med forbindelser).



Figur 9-12 Middel temperatur langs transekt i 2100 uden forbindelser.



Figur 9-13 Ændring i middel temperatur langs transekt i 2100 med og uden forbindelser (positive værdier angiver højere vandtemperaturer med forbindelser).

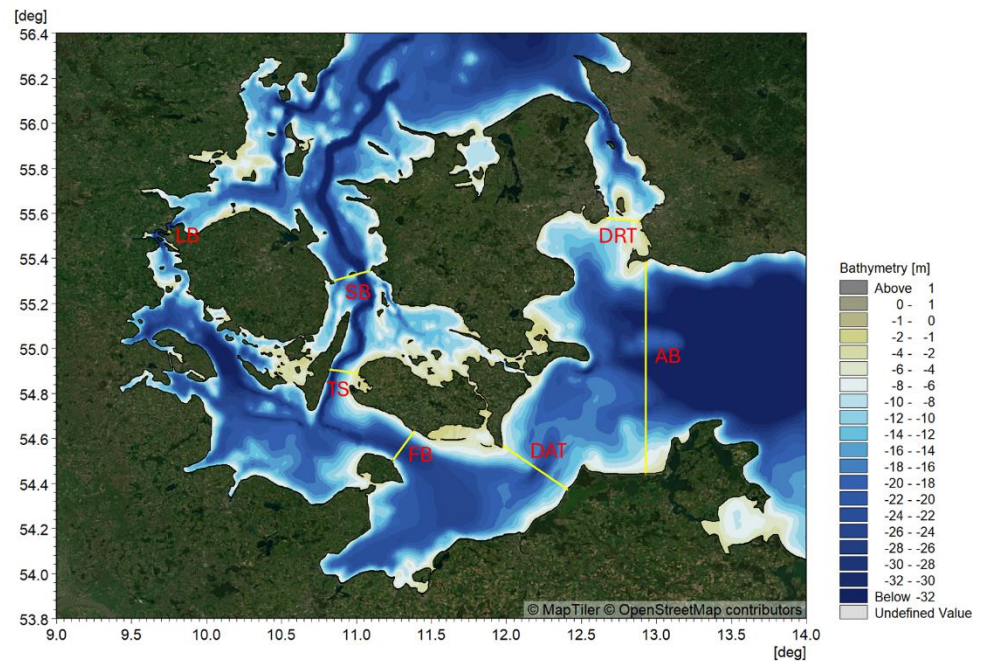


Figur 9-14 Ændring i middel temperatur langs transekt i 2019 uden forbindelser og 2100 uden forbindelser (positive værdier angiver højere temperaturer med klimaændringer).

Vandførings- og salttransportændring

Vandførings- og salttransportændring (begge brutto) er beregnet med de samme formler, som er benyttet for Storebæltsforbindelsen og Øresundsforbindelsen.

De beregnede vandføringsændringer i syv tværsnit (se Figur 9-15) er vist i Tabel 9-1, og de beregnede salttransportændringer er vist i Tabel 9-2.



Figur 9-15 Kort af de Danske Stræder med de syv betragtede tværsnit.

I 2019 og 2100 uden og med forbindelser er der en positiv vandføringsændring i Lillebælt og Øresund (over Drogden tærsklen), se Tabel 9-1. Dette skyldes en omfordeling af vandføringen fra Storebælt til Øresund og Lillebælt.

Det ses også i 2019 og 2100 uden og med forbindelser, at ændringen i bruttovandføringen bliver mindre fra Kattegat til Arkona Bassinet gennem Storebælt, dvs. fra Storebælt og Tårs-Spødsbjerg, til Femern Bælt og Darss tærsklen, til Arkona og samlet Darss- og Drogden tærsklerne.

Det væsentligste mål for ændringen fås samlet ved Darss- og Drogden tærsklerne, som udtrykker forbindelsernes potentielle påvirkning af den indre Østersø, som er det, der har den største interesse. Det viser, i hvilket omfang forbindelserne potentielt kan påvirke miljøet i den indre Østersø.

Ændringen i bruttovandføringen for forbindelserne er således beregnet til $-0,18\%$ og for klimaændringer til $+5,0\%$. Ændringen på $-0,18\%$ fra forbindelserne er inden for det forventede interval baseret på analytiske beregninger (se Ekspertnotat) og er som forventet mindre end den beregnede ændring med lokalmodellen af Bælthavet.

Sammenlignes bruttovandføringsændringerne i Tabel 9-1 med og uden klimaændringer findes det, at påvirkningen fra klimaændringer er langt større og med modsat fortegn end påvirkningen fra forbindelserne. Klimaændringerne åbner de danske stræder op pga. vandstandsstigningen, hvilket fører til større vandføringer.

Tabel 9-1 Vandføringsændring (brutto) i de Danske Stræder (syv tværsnit).

Scenarie	Tværsnit	ΔQ (10^{10} m^3)	Q_{ref} (10^{12} m^3)	Ændring (%)
2019 uden forb. & 2019 med forb	Lillebælt	+0,65	0,36	+1,80
	Drogden T.	+0,28	1,19	+0,24
	Storebælt	-1,83	2,51	-0,73
	Tårs-Spødsbjerg	-1,87	2,40	-0,78
	Femern Bælt	-0,97	2,40	-0,40
	Darss tærsklen	-0,95	2,49	-0,38
	Arkona Basin	-0,54	3,69	-0,15
	Drogden+Darss	-0,63	3,48	-0,18
Scenarie	Tværsnit	ΔQ (10^{10} m^3)	Q_{ref} (10^{12} m^3)	Ændring (%)
2100 uden forb. & 2100 med forb	Lillebælt	+0,62	0,36	+1,71
	Drogden T.	+0,38	1,19	+0,32
	Storebælt	-1,97	2,51	-0,78
	Tårs-Spødsbjerg	-1,96	2,40	-0,82
	Femern Bælt	-1,09	2,40	-0,45
	Darss tærsklen	-1,01	2,49	-0,41
	Arkona Basin	-0,62	3,69	-0,17
	Drogden+Darss	-0,60	3,48	-0,17
Scenarie	Tværsnit	ΔQ (10^{10} m^3)	Q_{ref} (10^{12} m^3)	Ændring (%)
2019 uden forb. & 2100 uden forb.	Lillebælt	+1,46	0,36	+4,03
	Drogden T.	+7,39	1,19	+6,23
	Storebælt	+11,74	2,51	+4,68
	Tårs-Spødsbjerg	+9,67	2,40	+4,03
	Femern Bælt	+10,32	2,40	+4,31
	Darss tærsklen	+10,65	2,49	+4,28
	Arkona Basin	+16,42	3,69	+4,45
	Drogden+Darss	+17,31	3,48	+4,98
Scenarie	Tværsnit	ΔQ (10^{10} m^3)	Q_{ref} (10^{12} m^3)	Ændring (%)
2019 uden forb. & 2100 med forb.	Lillebælt	+2,08	0,36	+5,74
	Drogden T.	+7,78	1,19	+6,56
	Storebælt	+9,77	2,51	+3,89
	Tårs-Spødsbjerg	+7,71	2,40	+3,21
	Femern Bælt	+9,23	2,40	+3,85
	Darss tærsklen	+9,64	2,49	+3,87
	Arkona Basin	+1,58	3,69	+4,28
	Drogden+Darss	+1,67	3,48	+4,81

Bruttosaltransportændringerne i Tabel 9-2 viser også en omfordeling fra Storebælt til Øresund og Lillebælt. Ændringerne er positive i Lillebælt og Øresund (over Drogden tærsklen).

Der ses også i 2019 og 2100 med og uden forbindelser en tendens til, at salttransportændringerne bliver mindre fra Kattegat til Arkona Bassinet gennem Storebælt, men ikke så systematisk som for vandføringsændringerne.

Påvirkningen fra klimaændringer er ikke tilsvarende større end påvirkningerne fra forbindelserne, som det er fundet for vandføringsændringen. Dette skyldes, at nettonedbør og afstrømning ikke bringer salt til Østersøen.

Tabel 9-2 Salttransportændring (brutto) i de Danske Stræder (i de syv tværsnit).

Scenarie	Tværsnit	ΔQ_s (10^{10} kg)	Q_{sref} (10^{12} kg)	Ændring (%)
2019 uden forb. & 2019 med forb.	Lillebælt	+20,60	7,67	+2,69
	Drogden T.	+5,33	14,80	+0,36
	Storebælt	-11,02	47,51	-0,23
	Tårs-Spødsbjerg	-13,29	42,76	-0,31
	Femern Bælt	-1,05	38,68	-0,03
	Darss tærsklen	-0,75	34,25	-0,02
	Arkona Basin	+3,79	38,26	+0,10
	Drogden+Darss	+4,55	46,49	+0,10
Scenarie	Tværsnit	ΔQ_s (10^{10} kg)	Q_{sref} (10^{12} kg)	Ændring (%)
2100 uden forb. & 2100 med forb.	Lillebælt	+18,82	7,67	+2,39
	Drogden T.	+7,66	14,80	+0,52
	Storebælt	-13,74	47,51	-0,29
	Tårs-Spødsbjerg	-15,26	42,76	-0,36
	Femern Bælt	-5,31	38,68	-0,14
	Darss tærsklen	-9,35	34,25	-0,27
	Arkona Basin	-2,01	38,26	-0,05
	Drogden+Darss	-2,47	46,49	-0,05
Scenarie	Tværsnit	ΔQ_s (10^{10} kg)	Q_{sref} (10^{12} kg)	Ændring (%)
2019 uden forb. & 2100 uden forb.	Lillebælt	+16,98	7,67	+2,22
	Drogden T.	+14,45	14,45	+0,98
	Storebælt	+55,41	47,51	+1,17
	Tårs-Spødsbjerg	+16,59	42,76	+0,39
	Femern Bælt	-1,93	38,68	-0,05
	Darss tærsklen	-20,69	34,25	-0,60
	Arkona Basin	-16,14	38,26	-0,42
	Drogden+Darss	-0,43	46,49	-0,01
Scenarie	Tværsnit	ΔQ_s (10^{10} kg)	Q_{sref} (10^{12} kg)	Ændring (%)
2019 uden forb. & 2100 med forb.	Lillebælt	+35,30	7,66	+4,61
	Drogden T.	+22,12	14,79	+1,50
	Storebælt	+41,67	47,51	+0,88
	Tårs-Spødsbjerg	+1,33	42,76	+0,03
	Femern Bælt	-7,24	38,68	-0,19
	Darss tærsklen	-30,05	34,25	-0,88
	Arkona Basin	-18,14	38,25	-0,47
	Drogden+Darss	-2,90	46,48	-0,06

9.2.5 Diskussion

I beregninger og analyser er der medtaget:

- fem infrastrukturprojekter; for hvert projekt er valgt den udformning, der giver den største påvirkning af strømningsforholdene (modstand) af de optimerede udformninger, som er eller forventes at blive undersøgt i det videre arbejde; og
- et median klimascenarie med dette scenarios medianændringer.

De fem infrastrukturprojekter er enten blevet besluttet eller er eller bliver aktuelt undersøgt. Hvis der arbejdes videre med et eller flere af de betragtede infrastrukturprojekter, kan påvirkningen fra projekterne på strømningsforholdene ændres i forhold til det, der er forudsat i de nærværende analyser.

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

Uanset disse mulige afvigelser for udformningen af infrastrukturprojekterne og/eller forudsatte klimaændringer, der er benyttet i de foreliggende analyser, 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 af de hydrografiske forhold vil i henhold til modelberegningerne blive betydelige og vil kunne måles.
- Påvirkningen fra forbindelserne af de hydrografiske forhold vil i henhold til modelberegningerne være marginal og vil ikke kunne måles.
- Påvirkningen fra klimaændringer af de hydrografiske forhold er overordnet set markante.
- Påvirkningen fra forbindelserne af de hydrografiske forhold er marginal også når der medtages klimaændringer i vurderingen.

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. Men påvirkningerne fra infrastrukturprojekterne på hydrografien er fundet at være marginale, og forventes pba. dette projekt ikke i sig selv at stå 'i vejen for langsigtet at opnå eller opretholde en god miljøtilstand i Østersøen'.

9.3 Konceptuel model

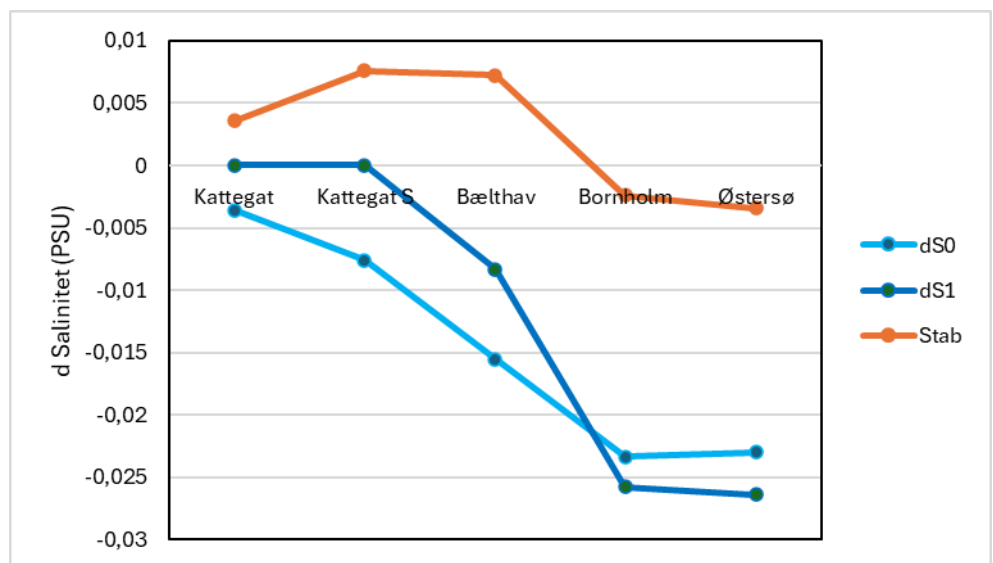
En konceptuel model af Østersøens hydrografiske forhold er videreudviklet og anvendt til at undersøge påvirkningen af undersøgte infrastrukturprojekter i de indre danske farvande og af klimaændringer. Modellen beskriver Østersøens hydrografiske forhold ved nøgleparametrene saltholdighed, lagdeling, vandføring og opholdstid. Den konceptuelle model er udvidet med en væsentlig cirkulationsproces for i højere grad at beskrive de fysiske transportprocesser i den centrale Østersø.

Modelberegningerne med den uafhængige konceptuelle model er udført parallelt med den mekanistiske modellering for at supplere med beregninger af flere klimascenarier og af spredningen af resultaterne.

9.3.1 Projekternes påvirkning

På en langsgående transekt fra Skagerrak til den centrale Østersø er variationerne af ændringer i saltholdighed på grund af de fem undersøgte infrastrukturprojekter illustreret i Figur 9-16. De fem projekter giver samlet en relativ reduktion af bruttogennemstrømningen på 0,0018 (0,18%), dvs. hvis gennemstrømningen før anlæg af projekterne ville være 1, vil den være 0,9982 efter anlæg af projekterne.

Ændringen i saltholdigheden er størst i den centrale Østersø (ud for Gotland), hvor saltholdigheden som følge af infrastrukturprojekterne i Bælthavet reduceres med ca. 0,023 ‰ i øvre lag og med ca. 0,026 ‰ i nedre lag ved et udgangsniveau på 7‰ i øvre lag og 11‰ i nedre lag.



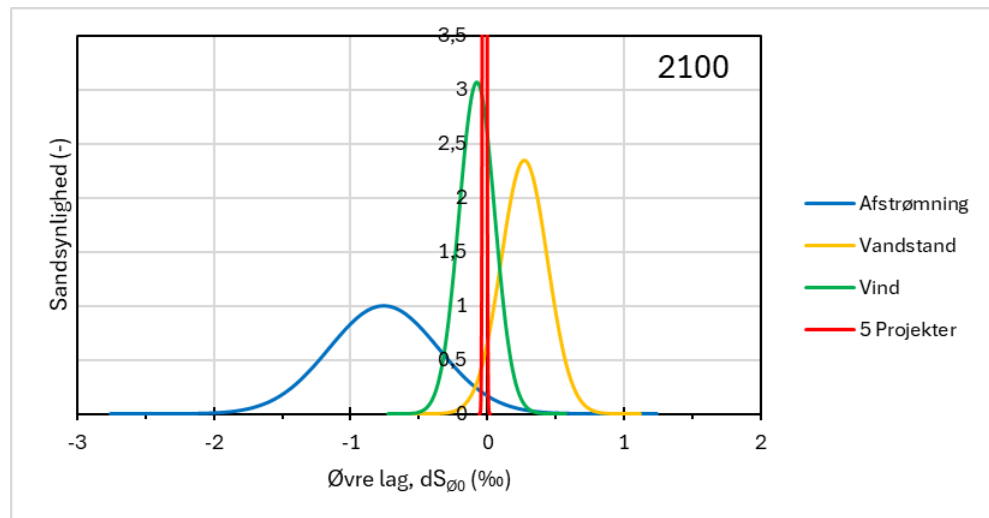
Figur 9-16 Langsgående transekt mellem nordlig Kattegat og den centrale Østersø af infrastrukturprojekternes ændringer af saltholdighed i øvre lag (dS_0), nedre lag (dS_1) og forskellen mellem lagene (Stab), som tages som udtryk for lagdelingens stabilitetsændring.

9.3.2 Påvirkning fra klimaændringer

Betydningen af de forskellige processer på saltholdigheden i den centrale Østersø's overfladesaltholdighed S_{00} er illustreret i Figur 9-17, og viser effekter af ferskvandsafstrømningen (blå), havspejlsstigningen (gul), vinden (grøn) og af de fem projekter (rød) for året 2100.

Ferskvandsafstrømningen (blå) ligger tydeligt til venstre for y-aksen. Det betyder, at denne effekt trækker saltholdigheden relativt stærkt mod ferskere forhold, den mest sandsynlige sænkning af saltholdigheden er omkring 0,8‰. Havspejlsstigningen (gul) ligger derimod på den anden side af y-aksen og vil dermed give anledning til en øgning af saltholdigheden. Den mest sandsynlige stigning er omkring 0,3‰. Effekten af vinden (grøn) ligger tæt på venstre side af y-aksen og vil betyde at den mest sandsynlige saltholdighedsændring er en lille sænkning (-0,05‰).

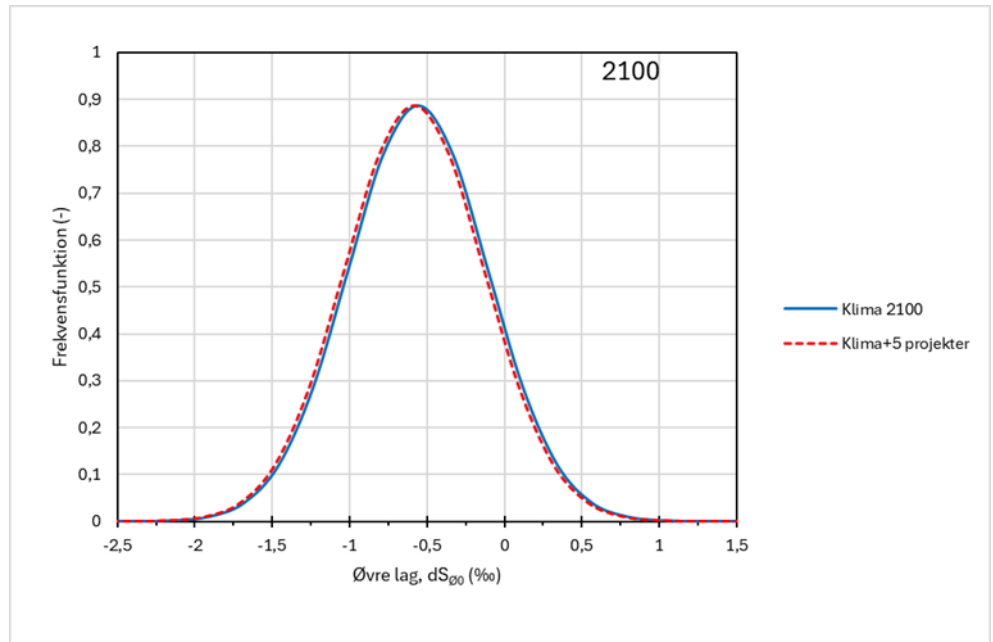
Effekten af infrastrukturprojekterne (rød) ligger tæt på x-aksen og ligeledes på venstre side, dvs. mod ferskere forhold, det mest sandsynlige udfald vil være en sænkning på ca. 0,02‰.



Figur 9-17 Klimascenarie SSP2-4.5.
Frekvensfunktionen for år 2100 af ændringer i øvre lags saltholdighed som funktion af de tre klimaændringer ferskvandsafstrømning, havspejlsstigning og vindhastighed. Derudover er frekvensfunktionen af saltholdigheden vist som funktion af de fem infrastrukturprojekter.

Lægges de klimabetingede ændringer sammen og beregnes deres fælles spredning, kan den klimabetingede effekt sammenlignes med effekten af klimaændringer plus projekter, se Figur 9-18 for klimascenariet SSP2-4.5 i år 2100.

Det ses, at effekten af projekter er meget mindre end effekten af klimaændringerne, og at effekten af projekterne giver en minimal øgning af den beregnede ændring af klimaændringerne. Bredden af klokkeformen indikerer bredden af det forventelige udfaldsrum for saltholdighedsændringerne. Det forventes således, at sandsynligheden for ændringer, der er lavere end -2 ‰ eller højere end +1 ‰, er særdeles usandsynlig, og at ændringer på omkring -0,5 ‰ er det mest sandsynlige. Desuden er der ca. 68% sandsynlighed for, at udfaldet vil ligge indenfor intervallet på $\pm$ én standardafvigelse omkring middelværdien, her svarer det til intervallet mellem ca. -1 ‰ og 0 ‰.

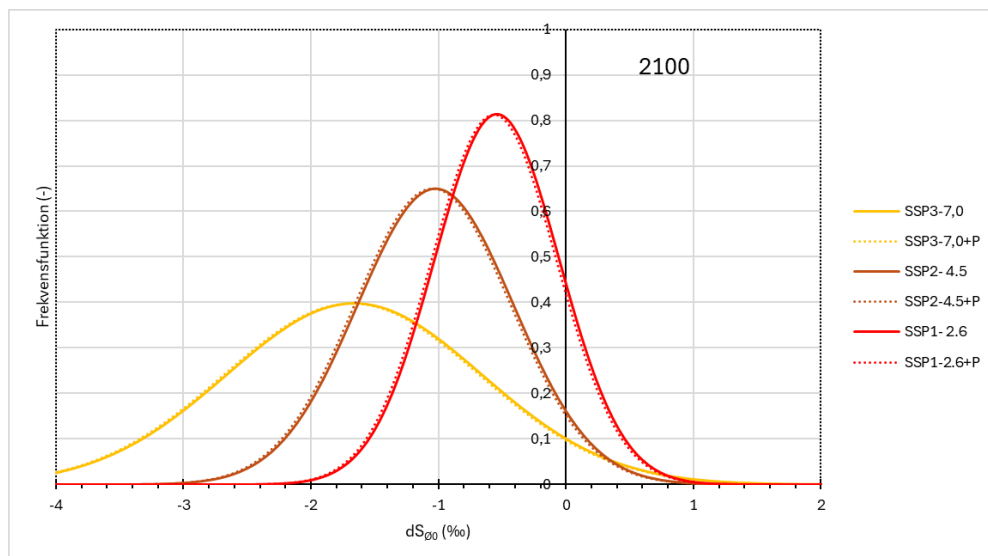


Figur 9-18 *Klimascenarie SSP2-4.5.
Frekvensfunktionen for år 2100 af øvre lags saltholdighed som funktion af de samlede klimaændringer samt som funktion af samlede klimaændringer plus de fem infrastrukturprojekter.*

9.3.3 Klimascenarier

I Figur 9-19 er udfaldsrummet af tre klimascenarier vist for summen af ændringerne af øvre lags saltholdighed i den centrale Østersø for året 2100, med og uden projekter.

Det ses af nedenstående figur, at effekterne af projekterne er meget små i forhold til det udfaldsrum der kan forventes på grund af klimaeffekterne. For de tre klimascenarier ses at frekvensfunktionens klokkeform er lavere og bredere i SSP3-7.0 end i SP2-4.5 og i SSP1-2.6. Klokkeformens bredden er et udtryk for saltholdighedens forventningsinterval, dvs. jo bredere en klokkeform er, jo større er forventningsintervallet for saltholdigheden. Da arealet under klokkeformene skal være lige med 1, aftager klokkeformenes højde med tiltagende bredde.



Figur 9-19 Frekvensfunktion af saltholdighedsændring i øvre lag i den centrale Østersø dS_{00} for de tre undersøgte klimascenarier.
Fuldt optrukken linje: Ændringer uden projekter
Stiplet linje: Ændringer med projekter

10 Økologisk modellering

Modelleringen af hydrografi og økologi er foretaget baseret på det mekanistiske modelsystem, MIKE 3 FM og MIKE ECO Lab, som igen er baseret på de grundlæggende styrende ligninger og randbetingelser, som for eksempel dybdeforhold og økologiske parametre.

Numeriske 3D modelleringer af de økologiske ændringer er udført for at beskrive den kumulative effekt på Østersøen fra den fremskudte færgehavn ved Tårs og andre udvalgte større infrastrukturprojekter, samt klimaændringerne i det valgte klimascenarie. De udvalgte infrastrukturprojekter og klimaændringer er som beskrevet for de hydrografiske modelleringer, se afsnit 9.2.1.

Nærværende analyser er ikke en miljøkonsekvensvurdering af den fremskudte færgehavn ved Tårs, men en undersøgelse af den fremskudte havns og andre udvalgte infrastrukturprojekters og klimaændringers påvirkning af hydrografien og økologien i Østersøen (se projektets Kommissorium). Først efter nærværende analyser vil der blive taget stilling til, om der skal foretages en miljøkonsekvensvurdering (VVM).

Nærværende undersøgelse 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 disse direktiver relateres der til et referencescenarie, hvor de "naturlige niveauer" anvendes som grundlag for fastlæggelse af miljømålene i Østersøhandleaner. De "naturlige niveauer" er baseret på hindcast modelberegninger (cirka år 1900) og historiske data dækkende perioden 1880-1970 (dvs. før de seneste årtiers tiltagende globale opvarmning).

10.1 HELCOMs "Core indicators" (kerne indikatorer)

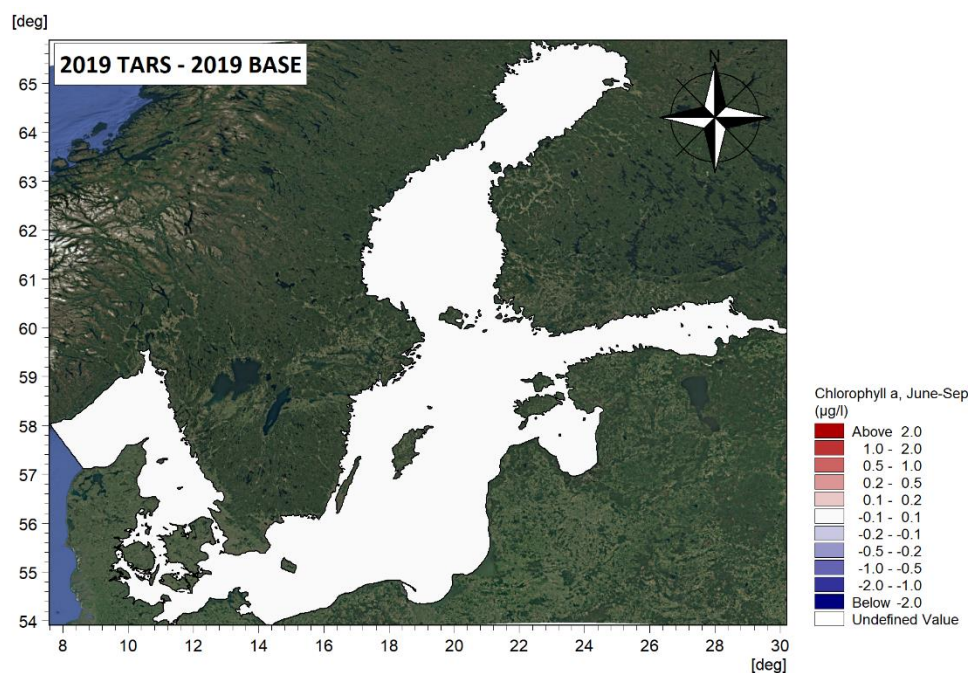
I nedenstående gennemgås de modellerede resultater i henhold til HELCOMs "Core indicators":

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

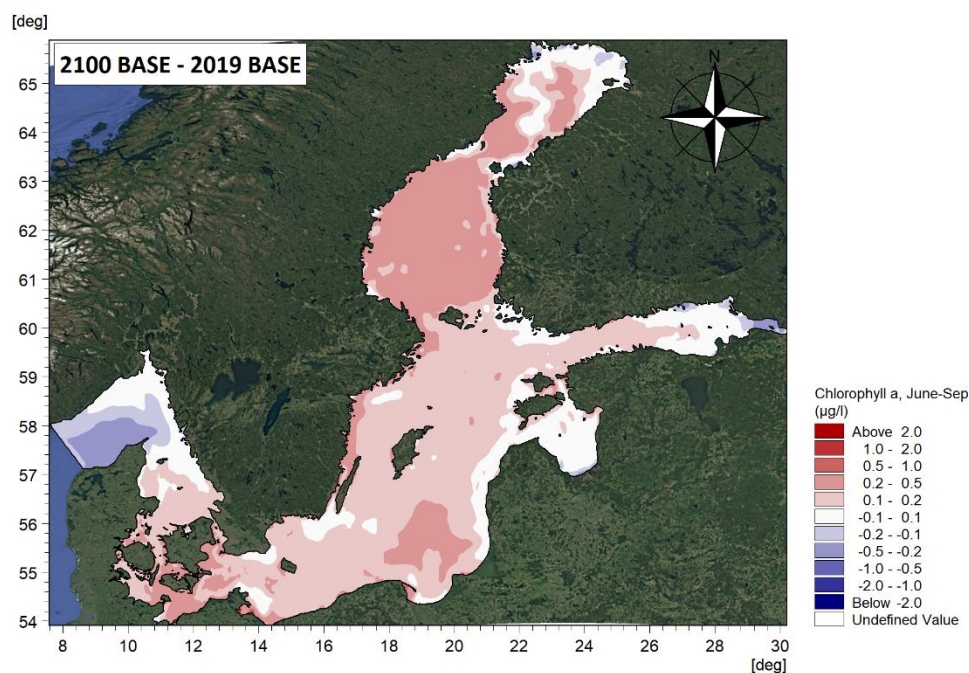
10.1.1 Sommer klorofylkoncentration

Ændringer i sommer klorofylkoncentration er vist i Figur 10-1 (2019 med og uden forbindelser) og Figur 10-2 (2019 og 2100 uden forbindelser).

Der ses ved sammenligning af sommer klorofylkoncentration i 2019 med og uden forbindelser (Figur 10-1), at ændringer i klorofylkoncentrationen pga. forbindelserne er $< \pm 0,1 \mu\text{g/L}$. Ændringen i sommer klorofylkoncentrationen pga. klimaændringer er vist i Figur 10-2, 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 indstrømning fra Nordsøen.



Figur 10-1 Ændring i middel klorofylkoncentration i juni-september 2019 med og uden forbindelser (med forbindelser minus uden forbindelser).



Figur 10-2 Ændring i middel klorofylkoncentration i juni-september 2019 uden forbindelser og 2100 uden forbindelser (2100 minus 2019).

I Tabel 10-1 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 en ændring på -0,01 µg/L pga. forbindelser, og ændringer på +0,031 – +0,192 µg/L pga. klimaændringer på bassinskala.

Tabel 10-1 Ændring i middel sommer klorofylkoncentration (µg/l) i juni-september 2019, samt nuværende og "ny" beregnet statusværdi i parentes for sub-bassinerne "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).

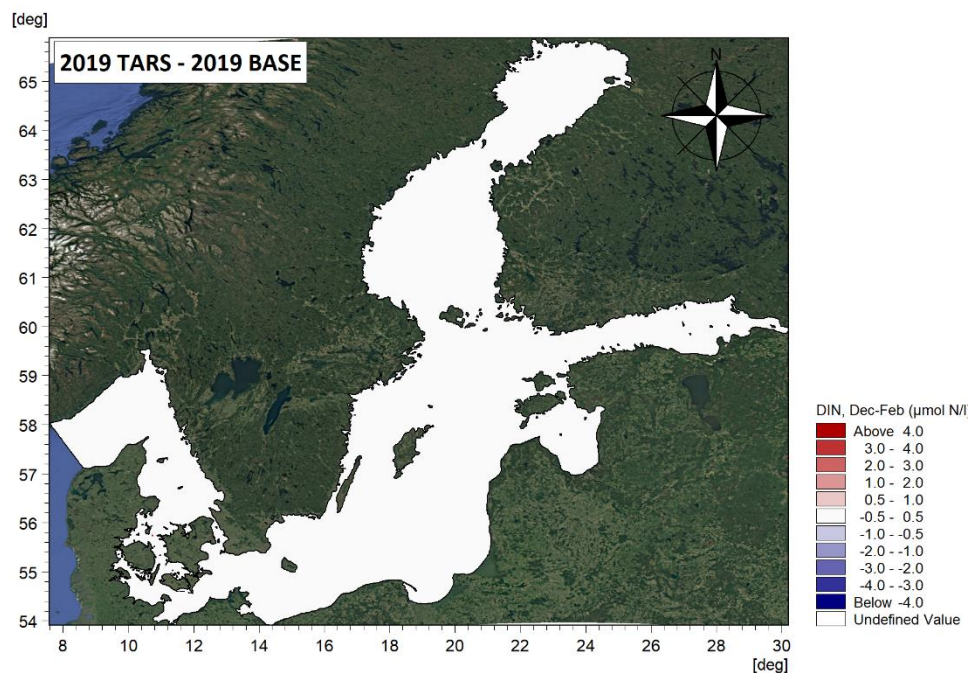
Østersø Model	Kattegat	Arkona Bassinet	Bornholmer Bassinet	Østlige Gotlands Bassin
2019 med forb.	-0,01 (1,39/1,38)	-0,01 (2,29/2,28)	0,00 (2,37/2,37)	-0,01 (2,99/2,98)
2100 uden forb.	+0,08 (1,39/1,47)	+0,19 (2,29/2,48)	+0,14 (2,37/2,51)	+0,16 (2,99/3,15)
2100 med forb.	+0,07 (1,39/1,46)	+0,18 (2,29/2,47)	+0,14 (2,37/2,51)	+0,15 (2,99/3,14)
2100 uden forb. test	+0,04 (1,39/1,43)	+0,13 (2,29/2,42)	+0,09 (2,37/2,46)	+0,12 (2,99/3,11)
2100 med forb. test	+0,03 (1,39/1,42)	+0,13 (2,29/2,42)	+0,09 (2,37/2,46)	+0,11 (2,99/3,10)

10.1.2 Vinter DIN koncentration

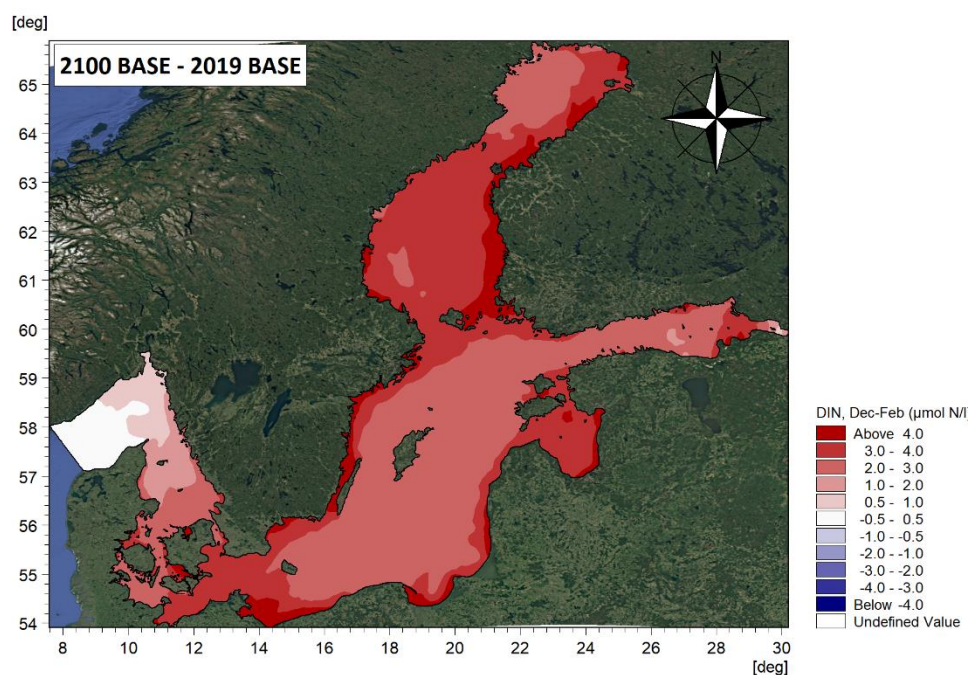
Ændringer i vinter DIN koncentrationen er vist i Figur 10-3 (2019 med og uden forbindelser) og Figur 10-4 (2019 og 2100 uden forbindelser).

Der ses ved sammenligning af vinter DIN koncentrationen i 2019 med og uden forbindelser (Figur 10-3), at ændringer pga. forbindelserne er $< \pm 0,5 \mu\text{mol/L}$.

Ændringen i vinter DIN koncentrationen pga. klimaændringer er vist i Figur 10-4, og viser en øgning i vinter DIN koncentrationen på + 0,5-4,0 µmol/L i hele Østersøen. I Skagerrak ses ingen øgning i vinter DIN koncentrationen pga. øget indstrømning fra Nordsøen.



Figur 10-3 Ændring i middel DIN koncentration i december-februar 2019 med og uden forbindelser (med forbindelser minus uden forbindelser).



Figur 10-4 Ændring i middel DIN koncentration i december-februar 2019 uden forbindelser og 2100 uden forbindelser (2100 minus 2019).

Af Tabel 10-2 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 en ændring på -0,03 – -0,06 pga. forbindelserne, og ændringer på +1,54 – +3,55 $\mu\text{mol/L}$ pga. klimaændringer.

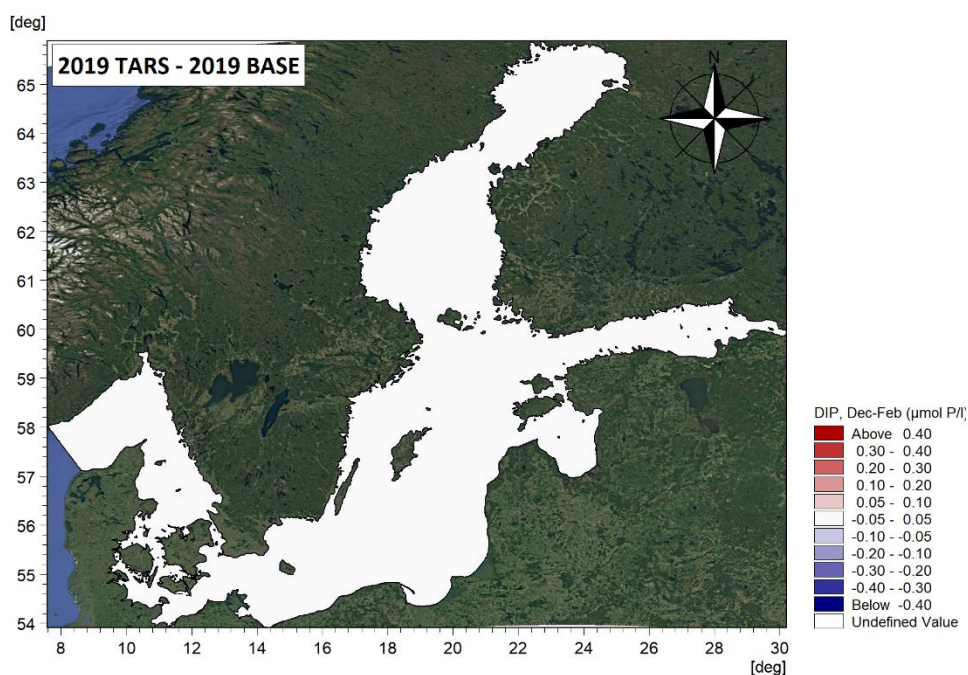
Tabel 10-2 Ændring i middel vinter DIN koncentration ($\mu\text{mol/l}$) i december-februar 2019, samt nuværende og "ny" beregnet statusværdi (i parentes) for sub-bassinerne "Kattegat", "Arkona Bassinet", "Bornholmer Bassinet" og "Østlige Gotlands Bassin" ved 2019 med forb., 2100 uden forb., 2100 med 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.	-0,03 (5,26/5,23)	-0,04 (3,8/3,76)	-0,02 (4,16/4,14)	-0,06 (4,20/4,14)
2100 uden forb.	+2,02 (5,26/7,28)	+3,55 (3,8/7,35)	+3,22 (4,16/7,38)	+2,63 (4,20/6,83)
2100 med forb.	+1,98 (5,26/7,24)	+3,48 (3,8/7,28)	+3,17 (4,16/7,33)	+2,52 (4,20/6,72)
2100 uden forb. test	+1,59 (5,26/6,85)	+3,05 (3,8/6,85)	+2,77 (4,16/6,93)	+2,34 (4,20/6,54)
2100 med forb. test	+1,54 (5,26/6,80)	+2,98 (3,8/6,78)	+2,73 (4,16/6,89)	+2,24 (4,20/6,44)

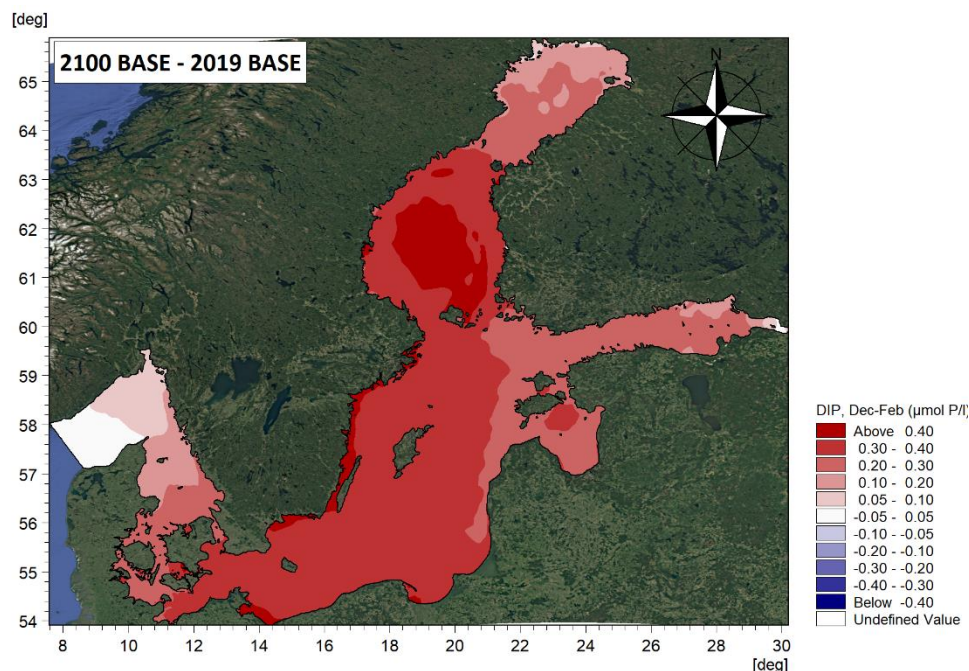
10.1.3 Vinter DIP koncentration

Ændringer i vinter DIP koncentrationen er vist i Figur 10-5 (2019 med og uden forbindelser) og Figur 10-6 (2019 og 2100 uden forbindelser).

Der ses ved sammenligning af vinter DIP koncentrationen i 2019 med og uden forbindelser (Figur 10-5), at ændringer i DIP koncentrationen pga. forbindelserne er $< \pm 0,05 \mu\text{mol/L}$. Ændringen i vinter DIP koncentrationen pga. klimaændringer er vist i Figur 10-6, 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 indstrømning fra Nordsøen.



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



Figur 10-6 Ændring i middel DIP koncentration i december-februar 2019 uden forbindelser og 2100 uden forbindelser (2100 minus 2019).

Af Tabel 10-3 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 en ændring på $< 0,00 \mu\text{mol/L}$ pga. forbindelser, men ændringer på $0,2 - 0,4 \mu\text{mol/L}$ pga. klimaændringer.

Tabel 10-3 Ændring i middel vinter DIP koncentration ($\mu\text{mol/l}$) i december-februar 2019, samt nuværende og "ny" beregnet statusværdi i parentes for sub-bassinerne "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).

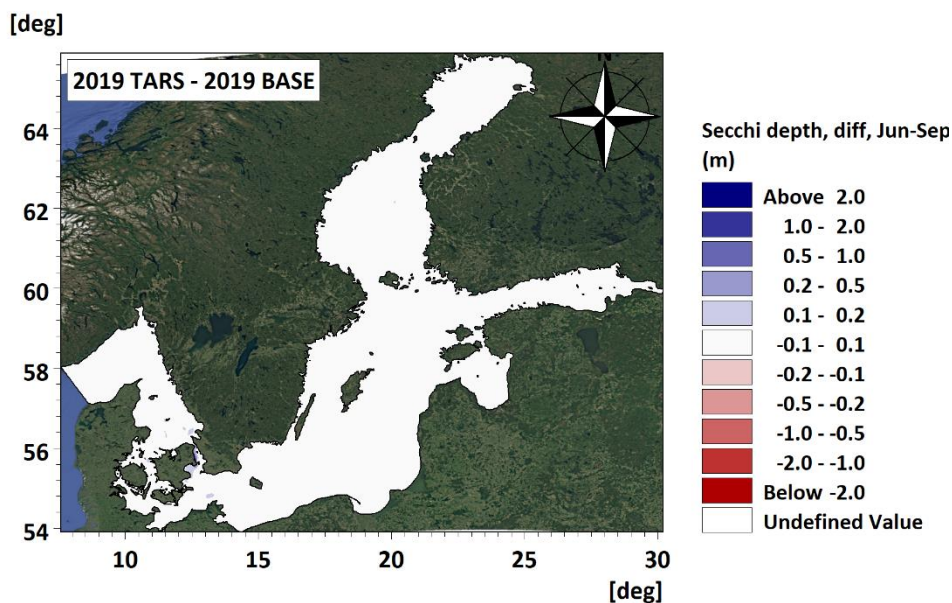
Østersø Model	Kattegat	Arkona Bassinet	Bornholmer Bassinet	Østlige Gotlands Bassin
2019 med forb.	0,00 (0,52/0,52)	0,00 (0,6/0,6)	0,00 (0,71/0,71)	0,00 (0,67/0,67)
2100 uden forb.	+0,19 (0,52/0,71)	+0,36 (0,6/0,96)	+0,36 (0,71/1,07)	+0,33 (0,67/1,00)
2100 med forb.	+0,18 (0,52/0,70)	+0,35 (0,6/0,95)	+0,36 (0,71/1,07)	+0,33 (0,67/1,00)
2100 uden forb. test	+0,17 (0,52/0,69)	+0,34 (0,6/0,94)	+0,35 (0,71/1,06)	+0,32 (0,67/0,99)
2100 med forb. test	+0,17 (0,52/0,69)	+0,33 (0,6/0,93)	+0,34 (0,71/1,05)	+0,32 (0,67/0,99)

10.1.4 Sigtdybde

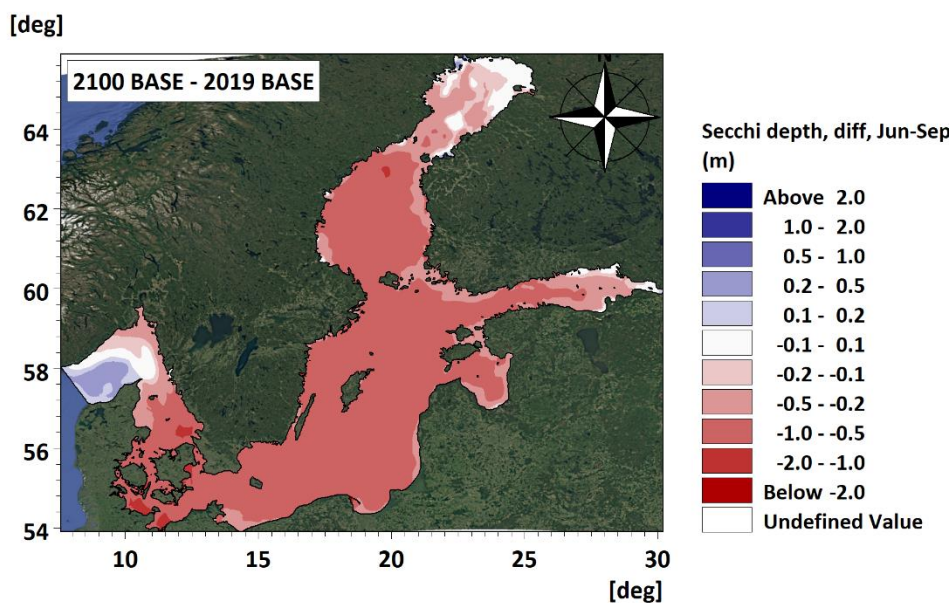
Ændringer i sigtdybde er vist i Figur 10-7 (2019 med og uden forbindelser) og Figur 10-8 (2019 og 2100 uden forbindelser).

Der ses ved sammenligning af sigtddybde i 2019 med og uden forbindelser (Figur 10-7), at ændringer i sigtddybden pga. forbindelserne er generelt $< \pm 0,1$ m, med sporadiske ændringer op til $+0,2$ m i Vestlige Østersø.

Ændringen i sigtddybden pga. klimaændringer er vist i Figur 10-8, og viser et fald i sigtddybde 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 sigtddybde ($+0,1$ - $+0,5$ m), pga. øget vandstand og indstrømning fra Nordsøen.



Figur 10-7 Ændring i middel sigtddybde i juni-september, 2019 med og uden forbindelser (med forbindelser minus uden forbindelser).



Figur 10-8 Ændring i middel sigtddybde i juni-september, 2019 uden forbindelser og 2100 uden forbindelser (2100 minus 2019).

Af Tabel 10-4 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 til -0,8 m pga. klimaændringer.

Tabel 10-4 Ændring i middel sigtdybde (m) i juni-september 2019, samt nuværende og "ny" beregnet statusværdi i parentes for sub-bassinerne "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 (9,1/9,1)	0,0 (6,1/6,1)	0,0 (6,3/6,3)	0,0 (5,7/5,7)
2100 uden forb.	-0,6 (9,1/8,5)	-0,8 (6,1/5,3)	-0,8 (6,3/5,5)	-0,8 (5,7/4,9)
2100 med forb.	-0,6 (9,1/8,5)	-0,8 (6,1/5,3)	-0,7 (6,3/5,6)	-0,8 (5,7/4,9)
2100 uden forb. test	-0,5 (9,1/8,6)	-0,7 (6,1/5,4)	-0,7 (6,3/5,6)	-0,7 (5,7/5,0)
2100 med forb. test	-0,5 (9,1/8,6)	-0,7 (6,1/5,4)	-0,6 (6,3/5,7)	-0,7 (5,7/5,0)

10.2 Supplerende indikatorer

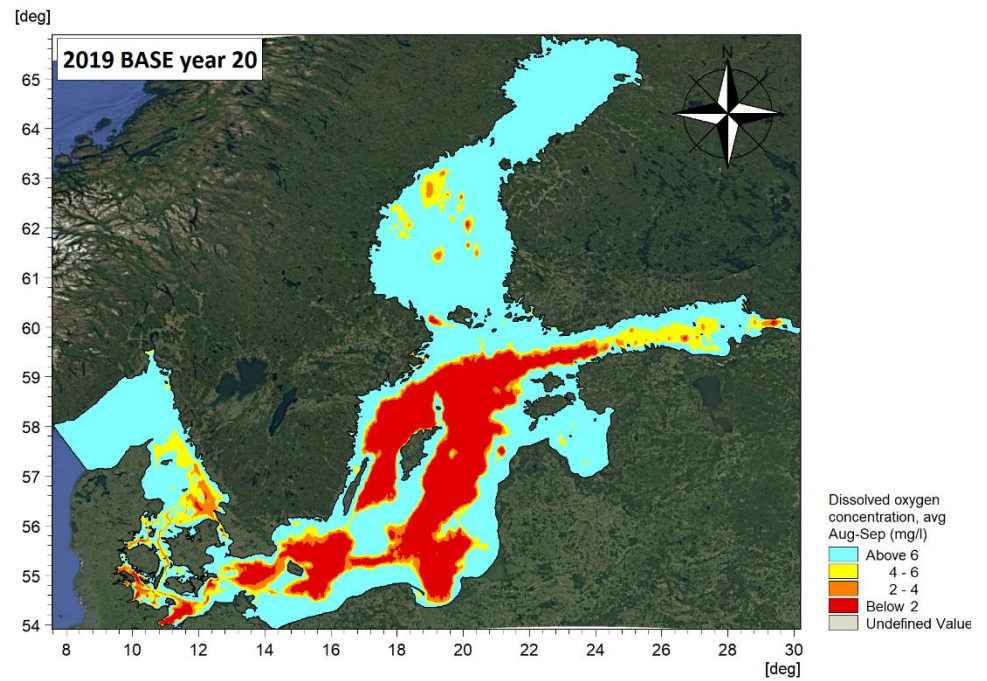
10.2.1 Ilt i bundvandet (iltsvind)

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

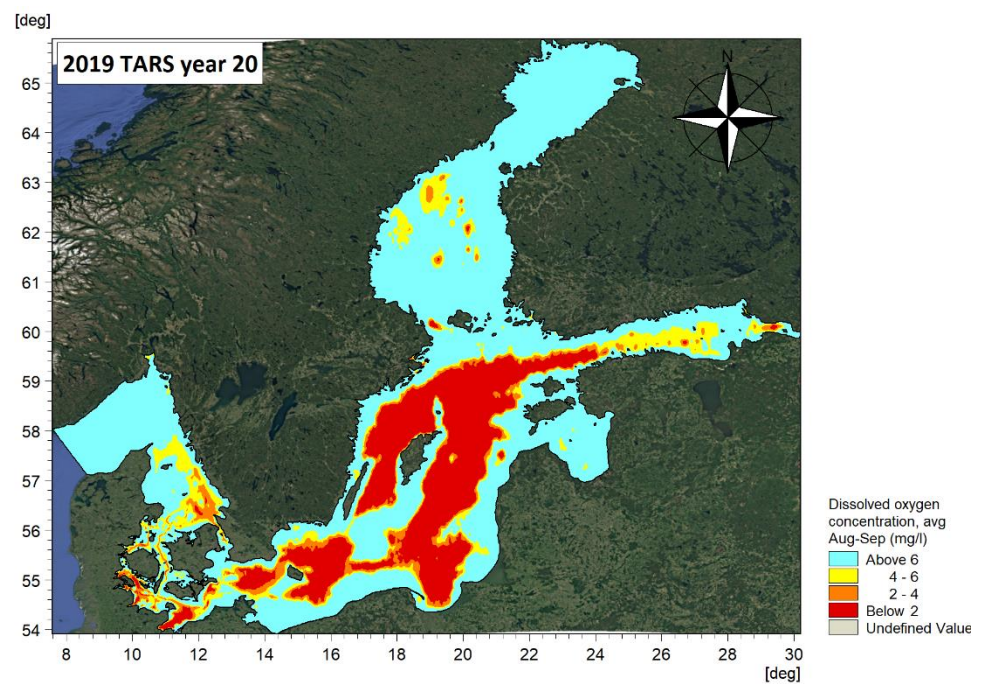
Ilt i bundvandet (iltsvind – august-september) er vist i Figur 10-9 (2019 uden forbindelser), Figur 10-10 (2019 med forbindelser), Figur 10-11 (2100 uden forbindelser) og Figur 10-12 (2100 med forbindelser).

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 < ±1% i områder med ilt i bundvandet på < 6 mg/L, < 4 mg/L og < 2 mg/L (Tabel 10-5, Tabel 10-6, Tabel 10-7 og Tabel 10-8).

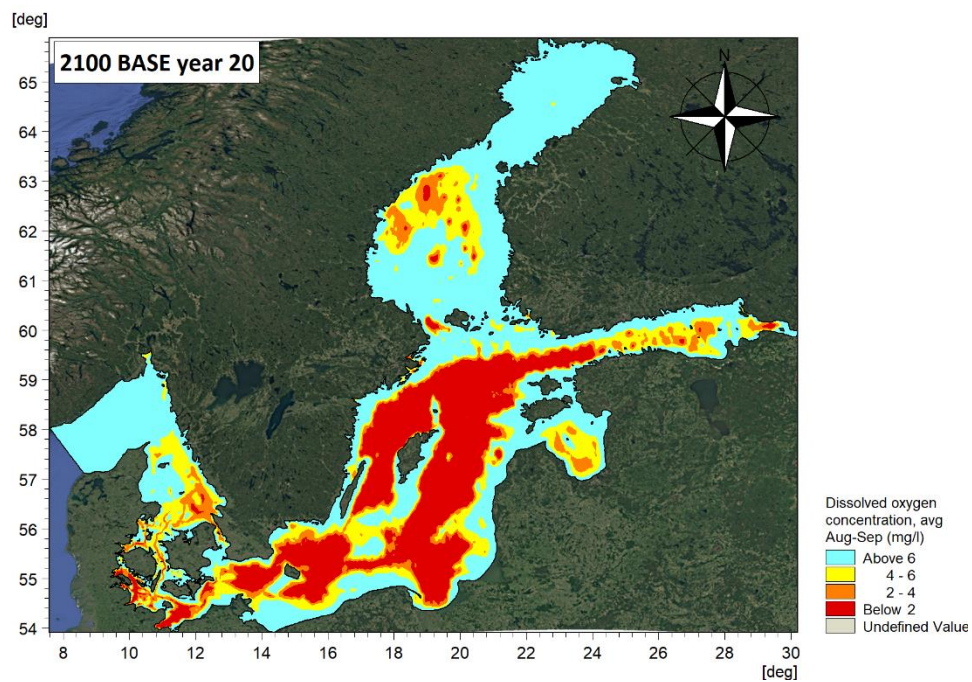
I alle bassiner er ændringen i ilt i bundvandet (iltsvind) pga. klimaændringer markant. I "Kattegat", "Arkona Bassinet", "Bornholmer Bassinet" og "Østlige Gotlands Bassin" medfører klimaændringer således en forøgelse af områder med iltsvind på hhv. 5-18%, 5-28% og 2-9% i områder med ilt i bundvandet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



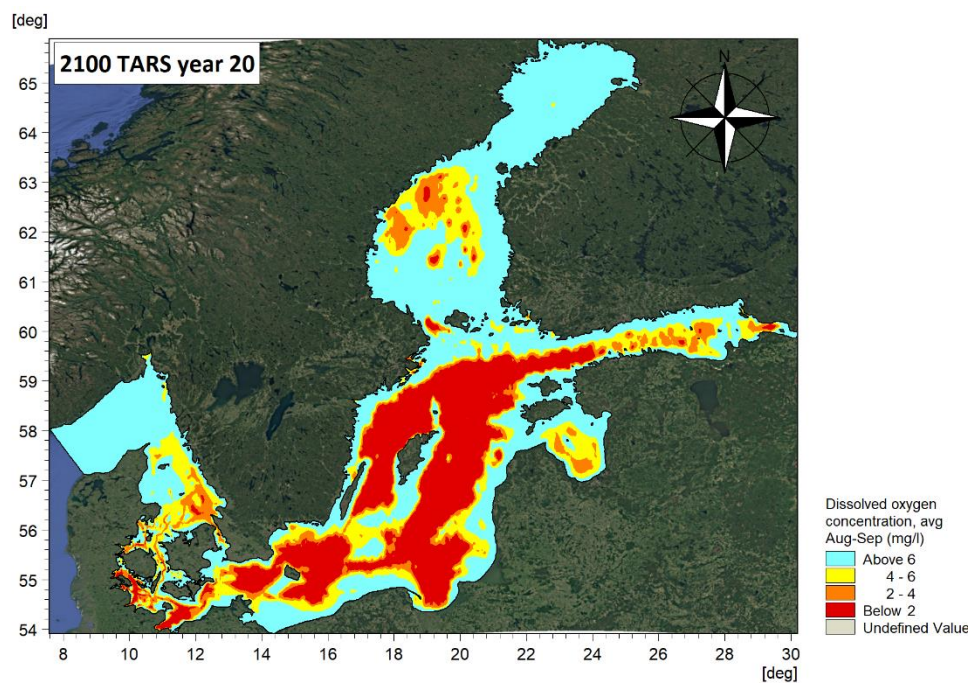
Figur 10-9 Iltsvind i 2019 uden forbindelser.



Figur 10-10 Iltsvind i 2019 med forbindelser.



Figur 10-11 Iltsvind i 2100 uden forbindelser.



Figur 10-12 Iltsvind i 2100 med forbindelser.

Tabel 10-5 *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.*

Østersø Model	Ilt < 6 mg/L (km ²)	Ilt < 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%)

Tabel 10-6 *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.*

Østersø Model	Ilt < 6 mg/L (km ²)	Ilt < 4 mg/L (km ²)	Ilt < 2 mg/L (km ²)
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%)

Tabel 10-7 *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 (< 2 mg/L), ved 2019 og 2100 med og uden forbindelser, opgjort i km² og procent (%) af sub-bassinets samlede areal.*

Østersø Model	Ilt < 6 mg/L (km ²)	Ilt < 4 mg/L (km ²)	Ilt < 2 mg/L (km ²)
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%)

Tabel 10-8 *Maksimal udbredelse af områder i HELCOM sub-bassin "Østlige Gotlands Bassin" 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.*

Østersø Model	Ilt < 6 mg/L (km ²)	Ilt < 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%)

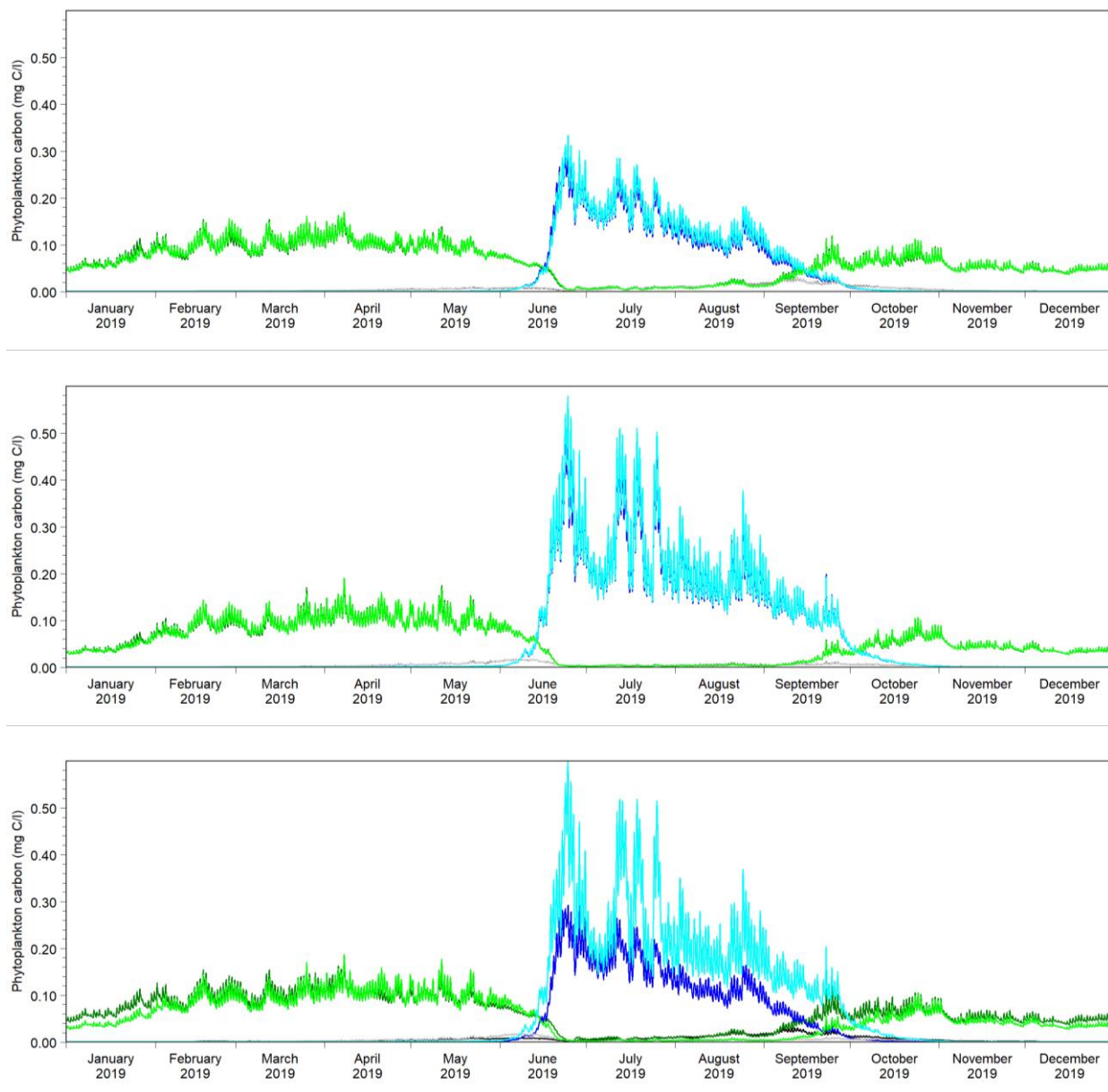
10.2.2 Cyanobakterier

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

Årlig variation og ændringer pga. forbindelserne og klima, i fytoplanktonsamfundet i "Bornholmer Bassinet" for 2019 med og uden forbindelser, 2100 med og uden forbindelser og 2019 og 2100 uden forbindelser er vist i Figur 10-13.

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 $< \pm 1$ dage (Tabel 10-9, Tabel 10-10, Tabel 10-11 og Tabel 10-12).

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.



Figur 10-13 Årlig udvikling og variation i fytoplanktonsamfundet (gC/L) repræsenteret ved flagellater (sort og grå linje), diatomeer (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 10-9 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

Tabel 10-10 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

Tabel 10-11 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

Tabel 10-12 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

10.2.3 Torsk - Det reproduktive volumen

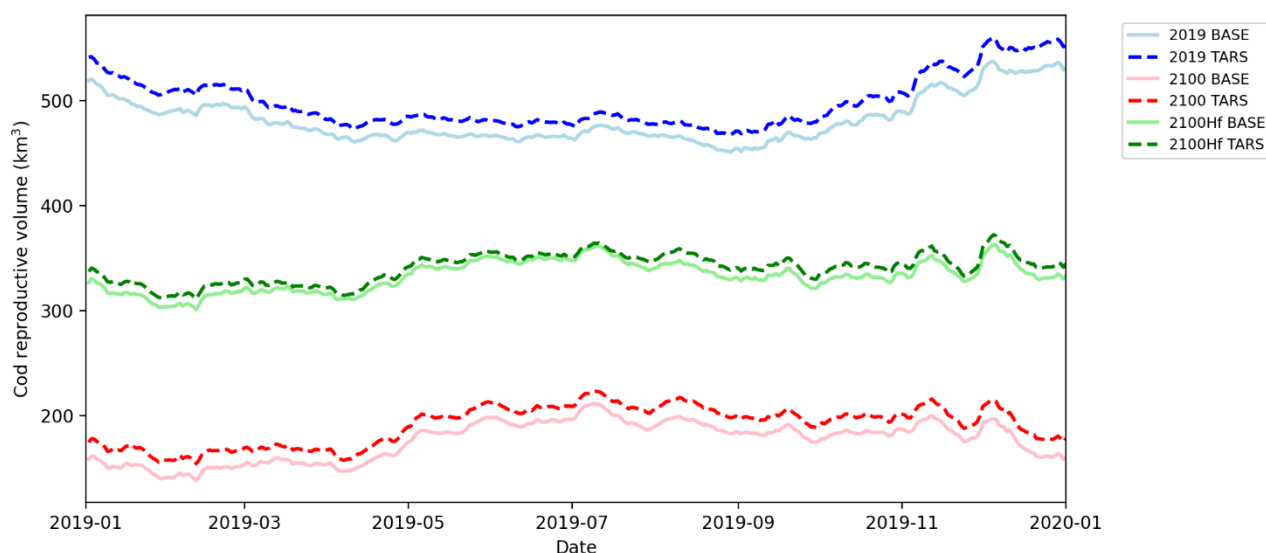
Det reproduktive volumen beregnes som det vandvolumen, hvor ilt koncentrationen > 2 ml/L, temperaturen > 1,5 °C - < 14 °C og saltholdigheden > 11 ‰. Dette volumen bliver i dag brugt som indikator i f.eks ICES og Copernicus.

Årlig variation og ændringer, pga. forbindelserne og klima, i torskens reproduktive volumen i HELCOM sub-bassin "Østlige Gotlands Bassin" for 2019 med og uden forbindelser, 2100 med og uden forbindelser og sensitivitetstest 2100 (benævnt Hf) med og uden forbindelser er vist i Figur 10-14

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 gennemsnitlige årlige ændring af det reproduktive volumen på hhv. 0 km³, 0 km³, +4 km³ og +15-16 km³ (Tabel 10-13, Tabel 10-14, Tabel 10-15 og Tabel 10-16). 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 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.

I alle bassiner er ændringen i det reproduktive volumen pga. klimaændringer markant negative. I "Kattegat", "Arkona", "Bornholmer Bassinet" og "Østlige Gotlands Bassin" medfører klimaændringer således på årsbasis en gennemsnitlig reduktion af det reproduktive volumen på hhv. 16 km³, 8 km³, 59 km³ og 307 km³ (Tabel 10-13, Tabel 10-14, Tabel 10-15 og Tabel 10-16). Den største reduktion af det reproduktive volumen ses i det Østlige Gotlands Bassin.



Figur 10-14 Årlig udvikling i torskens reproduktive volumen i HELCOM sub-bassin "Østlige Gotlands Bassin". 2019 med og uden forbindelser. 2100 med og uden forbindelser og sensitivitets-test 2100 (benævnt Hf) med og uden forbindelser. Graferne angiver km³ af sub-bassins samlede volumen på vanddybder > 20 m (4079.78 km³ i 2019 og 4072.62 km³ i 2100).

Tabel 10-13 Torskens reproduktive volumen i HELCOM sub-bassin "Kattegat", 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.	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

Tabel 10-14 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

Tabel 10-15 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

Tabel 10-16 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

10.3 Sensitivitetstest

Overordnet viser sensitivitetstesten med den halve øgning af afstrømningen fra klimaændringer en intermediær respons på de eutrofierings relaterede 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.

10.4 Samlet betragtning af økologisk påvirkning

Det findes generelt, at de økologiske forhold (klorofyl, næringsstoffer, sigtdybde, ilt, cyanobakterier og torskens reproduktive volumen) påvirkes marginalt ($\pm$) af de undersøgte infrastrukturprojekter, både i et nutidigt og fremtidigt klima. For eksempel bliver torskens reproduktive volumen, marginalt forbedret af infrastrukturprojekter. Klimaændringerne påvirker i udpræget grad havmiljøet i Østersøen og resulterer bl.a. i øget klorofyl og næringsstofkoncentrationer og betydeligt ringere iltforhold.

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 dermed 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 en påvirkning fra temperaturen mod iltfattigere forhold i bundlagene i Østersøen, hvilket bl.a. vil medføre en reduktion i 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 forstærke skiftet mod iltfattigere forhold i bundlagene i Østersøen yderligere.

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.

Overordnet viser 2100-sensitivitetstesten med den halve afstrømning og tilsvarende næringsstofftilførsel en tilsvarende mindre respons på de eutrofierings relaterede 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 højere grad er temperaturfølsomme, og temperaturen er som nævnt ikke ændret i sensitivitetstesten.

11 Yderligere undersøgelser

I forbindelse med projektet er der identificeret nogle yderligere analyser og undersøgelser, der skal udføres i kommende faser af projektet med en fremskudt færgehavn ved Tårs.

11.1 Metocean data

- > Effekten af stormfloden i 1872 på højvandsstatistikken i området omkring en fremskudt færgehavn, da historiske stormfloder ikke er medtaget i Kystdirektoratets analyser.
- > Skal et værre klimascenarie benyttes for lavbroer og dæmninger.
- > Vurdere korrelationen mellem vandstande og signifikante bølgehøjder for højere returperioder, der bruges i design af færgehavnen.
- > Detaljeret strømstatistik for området for vurdering af nedetid.
- > Analyser af samtidigheden af strøm og vind ifm. færgehavnens udformning og vurdering af nedetid.

11.2 Koncept design

- > Optimere på forholdet mellem længde af dæmning og lavbroer.
- > Foretage "full mission" manøvresimuleringer. Inkludere simuleringer med lav sigtbarhed og natsimuleringer.
- > Verificere antallet af baner med billettering på terminalområdet.
- > Detaljerede behov til brugen af servicebroerne.
- > Krav til adgangsvejens kote på dæmningen for at give bilister bedre udsyn over vandet.
- > Topkoten af molerne optimeres med hensyn til bølgetransmission over molerne set i lyset af bølgeuroen i havnen.
- > Er der overordnede fordele ifm. byggemetoden for broerne ved at øge spændvidden.
- > Detaljerede behov for elforsyning til landanlæggene på øen.
- > Kan der modtages strøm fra Sandby vindmøllepark og/eller etableres flere landbaserede vindmøller nær denne.
- > Krav til vandforsyningen for at vurdere nødvendigheden af trykforøger, bakterievæksten osv.

- > Er kapaciteten af spildevandsfaciliteterne i Spodsbjerg tilstrækkelig til at håndtere færgernes behov uden, at det påvirker den eksisterende havnedrift og spildevandsnettet.

12 Baggrundsdokumenter

Undersøgelserne i forbindelse med den fremskudte havn ved Tårs er rapporteret i rapporter og notater, der tilsammen udgør baggrundsdokumenterne for denne sammenfatning. Endvidere er der reference til undersøgelse af en fremskudt færgehavn ved Tårs foretaget af Sund og Bælt i 2018.

- COWI/DHI. (2024A). *Undersøgelse af fremskudt færgehavn ved Tårs. A258774-GEN-TEK-01 Afgrænsningsnotat, Ver. 2.0.*
- COWI/DHI. (2024B). *Påvirkning af Østersøen fra marine anlægsprojekter i Bælthavet og Øresund. A258774-HYD-TEK-01 Ekspertnotat, Ver. 1.0.*
- COWI/DHI. (2024C). *Undersøgelse af fremskudt færgehavn ved Tårs. A258774-HYD-TEK-02 Forudsætningsnotat, Ver. 1.0.*
- COWI/DHI. (2025B). *Analyser af fremskudt færgehavn ved Tårs. A258774-HAV-RAP-03 Konceptdesign af havn og dæmninger.*
- COWI/DHI. (2025C). *Analyser af fremskudt færgehavn ved Tårs. A258774-HYD-RAP-01 Hydrografisk modellering.*
- COWI/DHI. (2025D). *Analyser af fremskudt færgehavn ved Tårs. A258774-HYD-RAP-03 Økosystem modellering.*
- COWI/DHI. (2025E). *Analyser af fremskudt færgehavn ved Tårs. A258774-HYD-TEK-03 Konceptuel model for cirkulation i Østersøen.*
- COWI/DHI. (2025F). *Analyser af fremskudt færgehavn ved Tårs. A258774-HYD-RAP-02 Modellering af cirkulation i Østersøen med konceptuel model.*
- COWI/DHI. (2025G). *Analyses of new island harbour at Tårs. A258774-HAV-RAP-01 Wave transformation and tranquility modelling.*
- COWI/DHI. (2025H). *Analyses of new island harbour at Tårs. A258774-HAV-RAP-02 Maneuvre simulations.*
- COWI/DHI. (2025I). *Analyser af fremskudt færgehavn ved Tårs. A258774-HAV-TEK-01 Elfærger.*
- COWI/DHI. (2025J). *Analyses of new island harbour at Tårs. A258774-HAV-TEK-03 Wind Turbines – electrical infrastructure.*
- COWI/DHI. (2025K). *Analyser af fremskudt færgehavn ved Tårs. A258774-HAV-TEK-05 Alternativer.*
- COWI/DHI. (2025L). *Analyser af fremskudt færgehavn ved Tårs. A258774-HAV-TEK-06 Beregninger af CO₂-udledninger.*
- COWI/DHI. (2025M). *Analyser af fremskudt færgehavn ved Tårs. A258774-HAV-TEK-07 Elfærger og vindmøller.*
- COWI/DHI. (2025N). *Analyser af fremskudt færgehavn ved Tårs. A258774-HAV-TEK-10 Konceptdesign af broer.*
- COWI/DHI. (2025O). *Analyser af fremskudt færgehavn ved Tårs. A258774-HAV-TEK-11 Mængder og anlægsbudget.*
- COWI/DHI. (2025P). *Analyses of new island harbour at Tårs. A258774-HAV-TEK-12 Concept cable calculation.*
- Sund og Bælt. (2018). *Undersøgelse af fremskudt færgehavn ved Tårs.*

Note: Eksterne reviews af hydrografisk modellering, økologisk modellering og afstrømning (disse dokumenter listes når de er færdige)