

Forudsætninger for et godt havmiljø

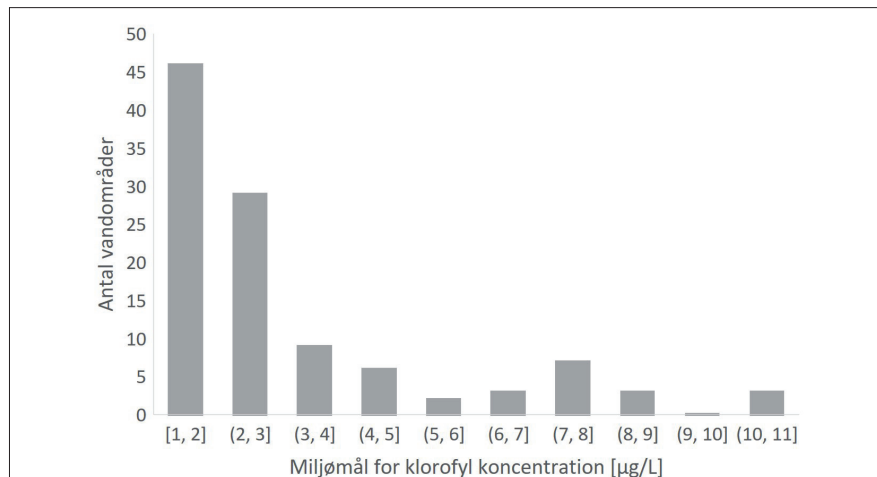
De politiske forhandlinger om vandområdeplanerne (VOP) er i fuld gang. Vandområdeplanerne skal sikre god økologisk tilstand i alle danske kystvande og dermed sikre, at Danmark overholder EU's Vandrammedirektiv. Vandområdeplanerne er baseret på forbedrede modeller og den nyeste viden om de enkelte vandområders tilstand og deres respons på næringsstoffertilførsler. Her giver vi en oversigt over det faglige grundlag for arbejdet og de anbefalede reduktioner i næringsstoffertilførsler, som er forudsætningen for, at danske kystvande kan opnå god økologisk tilstand.

KAREN TIMMERMANN, ANDERS CHR. ERICHSEN, JESPER CHRISTENSEN, MADS BIRKELAND, TRINE CECILIE LARSEN, SOPHIA ELISABETH BARDRAM NIELSEN, NISHA SHETTY & STIIG MARKAGER

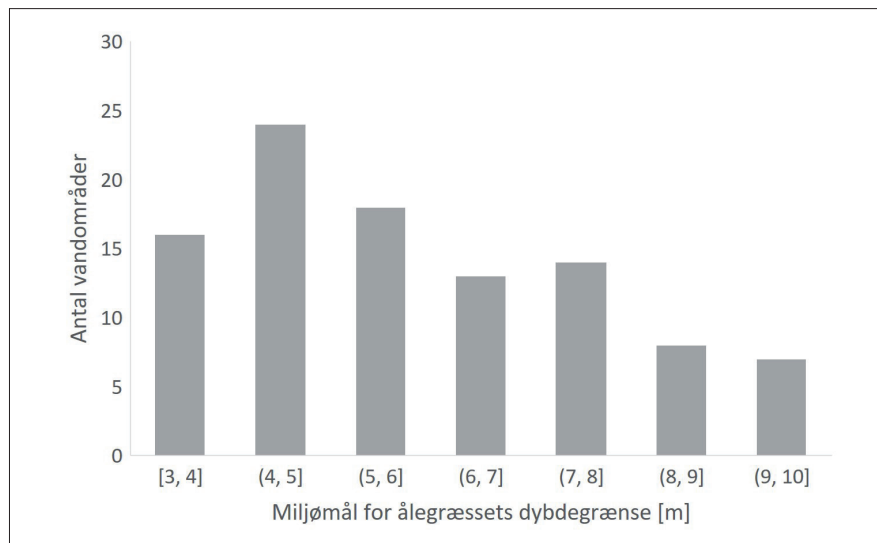
Indledning

EU's Vandrammedirektiv (VRD) dikterer, at alle kystvande skal opnå mindst god økologisk tilstand. VOP er implementeringen af direktivet i Danmark, og har de sidste 20 år været helt centrale for forvaltningen af de danske kystvande. Fra 2. til 3. generations VOP har vi arbejdet intenst med at forbedre det faglige grundlag. Forbedringerne har primært adresseret de anbefalinger, som var resultatet af en international evaluering og inkluderer bl.a. videreudvikling af modelværktøjer, der øger viden om sammenhænge mellem især næringsstoffertilførsler og den økologiske tilstand i det enkelte kystvandsområde. Modellerne gør det muligt at beregne indsatsbehov for næringsstoffertilførsler, der kan understøtte god økologisk tilstand i kyst- og fjordområderne og i de nye 3. generations modeller har vi adskilt betydningen af kvælstof og fosfor, inkluderet betydningen af andre landes næringsstofudledninger for danske kystvande og undersøgt effekten af den interne omsætning af næringsstoffer – en såkaldt system effekt.

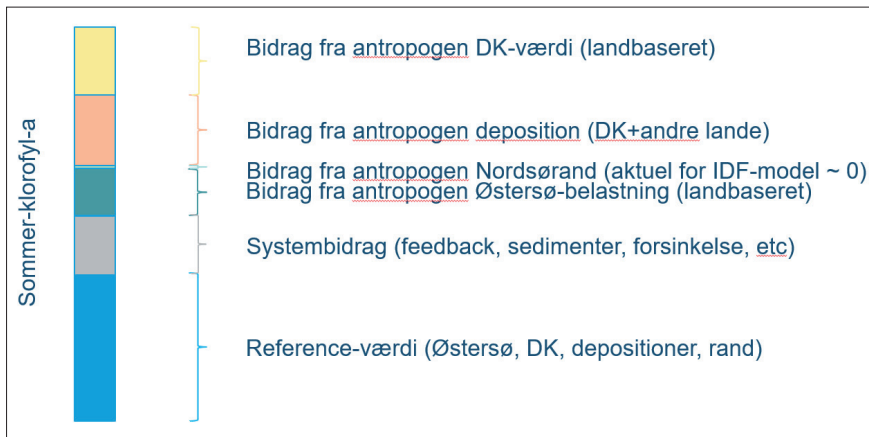
Modelværktøjerne omfatter mekanistiske og Bayesianske (statistiske) modeller, som tilsammen dækker næsten alle de marine



Figur 1a Histogram med miljømål (dvs. grænsen mellem god og moderet tilstand i VRD) for sommer klorofyl koncentrationer (klorofyl indikator)



Figur 1b Histogram med miljømål (dvs. grænsen mellem god og moderet tilstand i VRD) for ålegræssets dybdegrænse (ålegræs indikator).



Figur 2: Illustration af de bidrag, som påvirker miljøtilstanden i et givet område og som indgår i beregningerne. Den relative fordeling af de forskellige bidrag varierer mellem vandområder.

vandområder, der administreres i henhold til VRD. Det seneste år har vi indarbejdet ny viden om de enkelte vandområders fysiske og hydromorfologiske karakteristika, så som vanddybde, opholdstid og salinitet samt en forbedret vandområdeinddeling og en mere præcis fastlæggelse af referencetilstand og dermed miljømål for de biologiske indikatorer, som er definerende for god økologisk tilstand i det enkelte vandområde.

De nye modeller og deres anvendelse er beskrevet i rapportserien "Application of the Danish EPA's Marine Model Complex and Development of a Method Applicable for the River Basin Management Plans 2021-2027". I denne artikel præsenterer vi de overordnede koncepter og resultater.

God økologisk tilstand

Klassifikation af økologisk tilstand bygger i VRD på anvendelse af tre biologiske kvalitets-elementer: Fytoplankton, bundvegetation og bundfauna (se artikel 1 i Vand & Jord nr. 3 2021). Hvert kvalitetselement beskrives med en eller flere indikatorer, og på nuværende tidspunkt er der i Danmark foretaget interkalibrering af én indikator for hvert kvalitetselement. De udviklede modelværktøjer fokuserer på sommerklorofyl, som er indikator for biomassen af fytoplankton, samt lysmængden på havbunden, som en proxy-indikator for ålegræssets dybdegrænse, der adresserer kvalitetselementet bundvegetation. Indikatoren for det tredje kvalitetselement, bundfauna, bygger på artssammensætning af bunddyr, men den kan vi endnu ikke håndtere i modellerne.

Ifølge VRD skal hver indikator opnå "god økologisk tilstand", defineret som en svag afvigelse fra en situation, hvor indikatoren er (næsten) upåvirket af menneskelig aktivitet. Dette kaldes referenceværdien. Det er selvsagt vanskeligt at fastlægge referenceværdier, og dermed miljømål, for f.eks. klorofyl og åle-

græs, da der i Danmark ikke findes vandområder, som er upåvirkede af menneskelig aktivitet. Heldigvis findes der et unikt og omfattende historisk datamateriale for udbredelsen af ålegræs, som kan bruges til at estimere en reference dybdeudbredelse. For klorofyl har vi anvendt modelberegninger, som simulerer klorofylkoncentrationer i en situation, hvor næringsstofftilførslerne er tæt på baggrundsniveau. Egentlig kræver VRD kun fastlæggelse af referenceværdier og miljømål for grupper af vandområder med (næsten) samme fysiske og hydromorfologiske karakteristika, men med de forbedrede modeller har det været muligt at fastlægge vandområdespecifikke referenceværdier og miljømål for både ålegræs og klorofyl. Resultaterne (Fig 1) viser store variationer i miljømål, hvilket også afspejler den store forskellighed, der er på danske vandområder.

Nye vandplansmodeller

Modellerne, som er udviklet til brug for vandforvaltningen, er optimeret til at kunne kvantificere sammenhængen mellem næringsstofftilførsler i form af både kvælstof (N) og fosfor (P) og den økologiske tilstand, af det enkelte vandområde. Vi har anvendt både mekanistiske modeller, som er forbedret på en lang

række punkter, og statistiske modeller baseret på Bayesiansk statistik. De mekanistiske modeller simulerer hvordan økosystemerne fungerer ved hjælp af et formelapparat, der beskriver de enkelte processer i økosystemet, og hvorledes økosystemet reagerer på ydre forhold som næringsstofftilførslen. Med modellerne kan man beregne tilstand, interaktioner og udvikling for en lang række miljøvariable – herunder klorofyl- og ilt-koncentrationer samt lyssvækkelse. Næringsstofftilførslerne i modellerne omfatter tilførsler fra både land og atmosfære og både danske og udenlandske kilder indgår. Modellerne beregner også stofudveksling med omkringliggende marine vandområder. De mekanistiske modeller er opsat for perioden 2002-2016 og valideret med data fra det nationale overvågningsprogram. De mekanistiske modellerne dækker 107 ud af de 109 danske kystvandsområder.

De statistiske modeller anvender Bayesiansk statistik, hvor man indbygger viden om systemet i modellerne og ud fra data bestemmer ikke blot centralværdier for modelparametre, men også deres sandsynlighedsfordeling. Overordnet beskriver modellerne år-til-år variationer i miljøtilstand (klorofyl og lys på bunden) ud fra variationen i næringsstofftilførsler fra dansk opland, klimatiske forhold og fysisk-kemiske forhold. Modellerne er opstillet ved brug af data fra de kystnære monitoringsstationer i det nationale overvågningsprogram, hvor der findes relativt lange (>15 år) måletidsserier, hvilket er en forudsætning for, at resultaterne bliver tilstrækkeligt robuste. I udviklingen af modellerne er der brugt data fra perioden 1990-2018. 46 af de 109 vandområder er dækket af Bayesianske modeller.

Ny metode til beregning af indsatsbehov og målbelastning

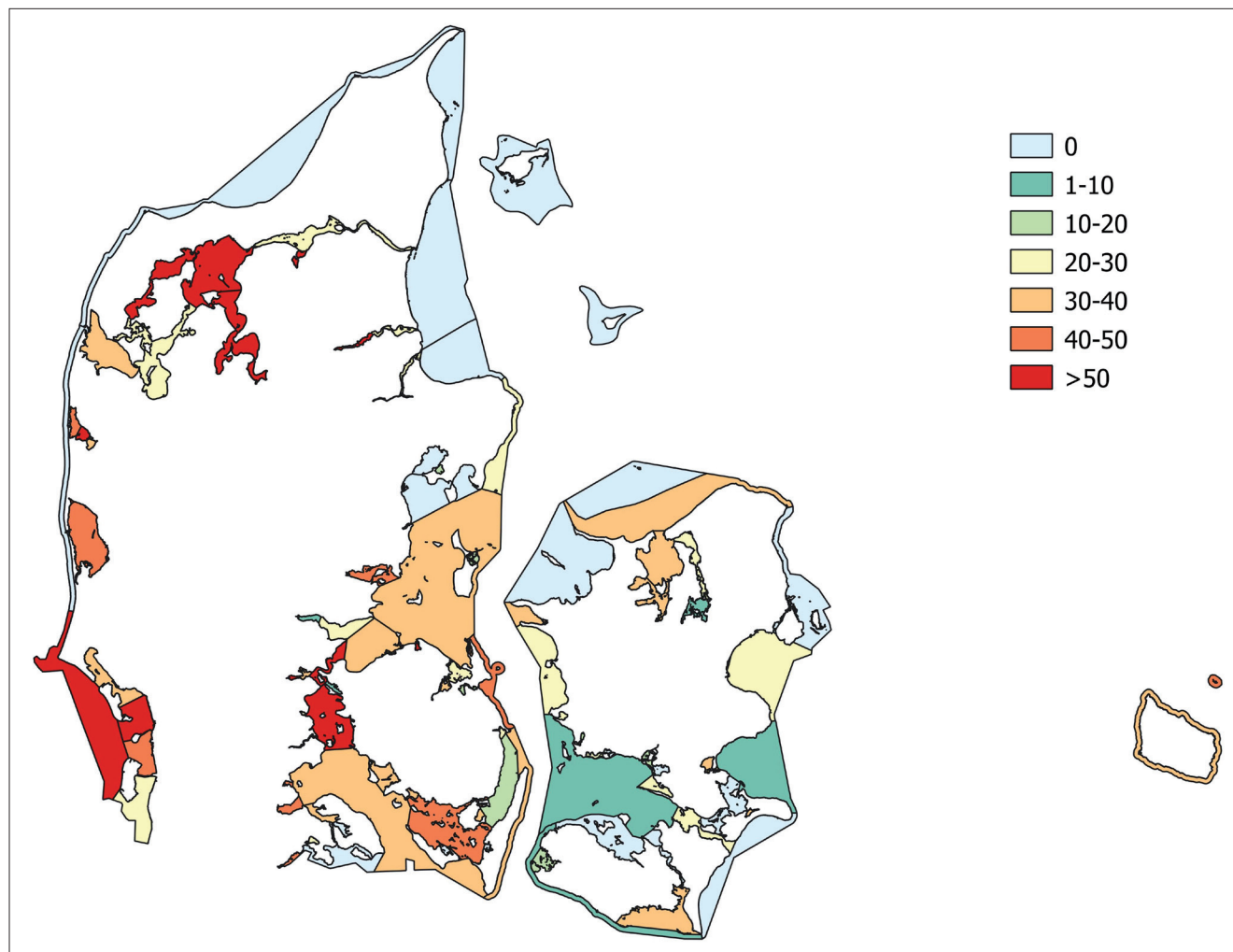
Metoden til beregning af indsatsbehov og målbelastning for det enkelte vandområde tager udgangspunkt i vandområdets nuværende miljøtilstand (2014-2018). Dernæst beregnes referenceværdier og de afledte

Boks 1: Ligningssystem som beskriver sammenhæng mellem og nuværende miljøtilstand og nuværende næringsstofftilførsler (øverst) og sammenhæng mellem miljømål (target) og målbelastning (LoadMAI,DK) under antagelse om den fremtidige udvikling i andre kilder.

α_n angiver sammenhængen mellem indikatoren og den n'te påvirkning, som er kvantificeret ved brug af modeller.

$$\text{Chlorophyll-a}_{\text{status}} = \text{Chlorophyll-a}_{\text{Reference}} + \text{System contribution} + \alpha_{\text{Others}} \times \text{Load}_{\text{status others}} + \alpha_{\text{Atmoss}} \times \text{Load}_{\text{Status Atmoss}} + \alpha_{\text{DK}} \times \text{Load}_{\text{Status, DK}}$$

$$\text{Chlorophyll-a}_{\text{target}} = \text{Chlorophyll-a}_{\text{Reference}} + \text{System contribution} + \alpha_{\text{Others}} \times \text{Load}_{\text{future others}} + \alpha_{\text{Atmoss}} \times \text{Load}_{\text{future Atmoss}} + \alpha_{\text{DK}} \times \text{Load}_{\text{MAI, DK}}$$



Figur 3: Reduktionsbehov i kvælstoftilførsler til danske kystvandområder. Reduktionsbehovet er angivet i % af den nuværende (2014-2018) kvælstoftilførsel til det enkelte vandområde og er baseret på forudsætninger om, at andre lande reducerer deres udledninger iht. Østersøhandleplan og RBMP2015-2021 samt at den atmosfæriske kvælstofdeposition er reduceret iht. NEC direktivet.

værdi for miljømål. Ud fra sammenhængen mellem tilførsler fra dansk land – som er det som umiddelbart kan forvaltes og indgår i VOP - og miljøtilstand kan man nu beregne måltilførslen. I beregningerne tages der hensyn til de puljer af næringsstoffer som allerede findes særligt i havbunden (også kaldet interne tilførsler). Tilførsler af næringsstoffer fra atmosfæren og tilstødende havområder indgår også i beregningerne. På figur 2 ses en illustration af de forhold som bestemmer den nuværende miljøtilstand i et vilkårligt vandområde. Den relative fordeling af de forskellige bidrag vil naturligvis variere mellem vandområder og en væsentlig del af det forbedrede grundlag består i, at modellerne nu kan kvantificere de enkelte bidrags betydning for miljøtilstanden.

Da vi nu kan kvantificere de enkelte bidrags betydning for miljøtilstanden kan vi fastlægge et ligningssystem for den nuværende tilstand i det enkelte vandområde (øverst i boks 1). Ved en mindre omformulering kan ligningssystemet bruges til at bestemme den maksimale næringsstofftilførsel (MAI) fra dansk opland,

som vil understøtte miljømålet, givet antagelser om den fremtidige udvikling i andre kilder dvs. atmosfære og udlandet (nederst i boks 1).

De skitserede beregninger udføres for hvert vandområde, for hver indikator og med begge modeltyper. Den samlede målbelastning (MAI – maximum allowable input) til det enkelte vandområde fås ved at tage gennemsnit af MAI for hver indikatorer og modeltyper.

Målbelastninger og indsatsbehov

For at kunne beregne MAI og dermed indsatsbehov for dansk opland, er det nødvendigt at lave nogle antagelser om den fremtidige udvikling i næringsstofftilførsler fra andre lande og fra atmosfæren (se ligningssystem). I standardscenariet er det antaget, at udledninger fra andre lande er reduceret til de niveauer, som er vedtaget i hhv. Østersøhandleplanen (BSAP) og andre landes vandområdeplaner (RBMP2015-2021). Endvidere er det antaget, at NEC direktivet, som regulerer den atmosfæriske N-deposition er blevet fuldt implementeret. I standardscenariet er

ligeledes antaget, at fosfor udledningerne fra dansk opland er uændrede ift. udledningerne i 2014-2018. Dette scenarie danner udgangspunkt for Miljøministeriets videre arbejde med 3. generations vandområdeplaner og minder om forudsætningerne for 2. generations vandområdeplaner. Resultaterne viser, at hvis forudsætningerne i grundscenariet opfyldes, så kan god økologisk tilstand opnås, hvis kvælstofudledningerne for hele Danmark reduceres fra de nuværende 58.100 tons N/år (2014-2018 tal) til 36.600 tons N/år.

Som det ses af figur 3 er der store variationer i det nødvendige reduktionsbehov mellem de forskellige vandområder og tilhørende oplande. Vandområder, som er meget påvirkede af eutrofiering, typisk indelukkede fjorde med langsom vandudskiftning f.eks. de indre dele af Limfjorden og Mariager fjord, har høje indsatsbehov, hvorimod de mere åbne og gennemstrømmede vandområder generelt har indsatsbehov på 0-30 %.

I standardscenariet, kommer en del af de åbne vandområder i god økologisk tilstand uden yderligere dansk indsats. Vandområder

uden et indsatsbehov er dog ikke nødvendigvis i god tilstand i dag (se artikel 1 i Vand & Jord nr. 3 2021), men forventes at komme det alene pga. forudsætningerne om, at andre lande reducerer deres tilførsler. En markant undtagelse herfra er farvandet omkring Bornholm og Christians ø, som kun kan opnå god økologisk tilstand, hvis Østersø-landene reducerer deres udledninger mere end de pt. har forpligtiget sig til. Fjordene og de mere lukkede vandområder er primært påvirket af danske udledninger af næringsstoffer og her vil de fleste områder opnå god økologisk tilstand med den beregnede måltilførsel fra standardscenariet, dvs. uden yderligere fosforreduktioner. For en lille håndfuld vandområder f.eks. Halkær bredning i Limfjorden, er fosforreduktioner dog også nødvendige, hvis vandområdet skal opnå god økologisk tilstand.

Scenarier

Miljøtilstanden i danske kystvande afhænger, ud over tilførsler af N og P fra dansk opland også af tilførslerne fra andre lande og fra atmosfæren. For at belyse betydningen af N og P tilførsler fra andre lande for MAI har vi udført en række scenarier, med forskellige antagelser vedrørende den mulige udvikling i næringsstofftilførsler. Vi har dog ikke lavet en vurdering af, hvad den mest sandsynlige udvikling er.

Derudover har vi testet betydningen af reducere fosfor fra dansk opland med hhv. 10%, 20% 30% og 50% samt testet de metodemæssige valg vi har foretaget for, at kunne beregne en kvælstof målbelastning fra dansk opland, som under givne forudsætninger, vil understøtte god økologisk tilstand.

Overordnet viste resultaterne, at ift. den

nuværende udledning på 58.100 tons N/år skal udledningerne reduceres mellem ca. 16.000 tons N/år og 28.500 tons N/år alt efter udviklingen i andre landes udledninger og om Danmark også reducerer fosforudledningerne.

Afslutning

Danske kystvande har endnu ikke opnået god økologisk tilstand, som forudsat i VRD. Forudsætningen for, at den gode miljøtilstand kan opnås er, at tilførslen af næringsstoffer fra dansk opland og andre kilder reduceres ift. det niveau vi har i dag. Vi har med et forbedret modelgrundlag beregnet hvad der skal til, før danske vandområder kan opnå god økologisk tilstand. Beregningerne viser, at hvis forudsætningerne i standardscenariet opfyldes og uden yderligere danske fosforreduktioner, så er den samlede måltilførsel for kvælstof fra dansk opland på 36.600 tons N/år, hvilket svarer til en reduktion på ca. 36% af det nuværende niveau. Der er imidlertid store variationer i indsatsbehovet mellem de enkelte vandområder og dermed de enkelte oplande. Mange, især åbne vandområder, forventes at nå i mål uden yderligere danske reduktioner, under den forudsætning, at andre lande reducerer deres udledninger. Flere af de mere lukkede vandområder har derimod indsatsbehov på over 50% før de kan opnå god økologisk tilstand.

Siden 2. generations af Vandområdeplaner I har vi arbejdet på at forbedret modelgrundlaget til beregning af måltilførsler. I dette arbejde har vi inkluderet anbefalingerne fra det internationale evalueringspanel. Det har resulteret i forbedrede statistiske og mekanistiske modeller, som gør det muligt ret præcist,

at tage højde for det enkelte vandområdes karakteristika. De forbedrede modeller muliggør også en kvantificering af betydningen af tilførsler fra andre lande. Desuden kan vi nu beregne betydningen af ændringer i fosfortilførsler fra dansk opland. Kan vi med de nye måltilførsler, og tilhørende forudsætninger om andre landes tilførsler, så forvente, at opnå god økologisk tilstand i alle vandområder i år 2027? Næppe, især fordi vi forventer en væsentlig tidsforsinkelse fra reduktioner i næringsstofftilførslerne, og til den gode økologiske tilstand indfinder sig. Men antagelig vil en række fjorde og marine område komme i mål, og flere vil være tæt på. De beregnede målbelastninger er således en forudsætning for, at der over tid kan opnås god miljøtilstand i danske kystvande.

Referencer

Application of the Danish EPA's Marine Model Complex and Development of a Method Applicable for the River Basin Management Plans 2021-2027 (Rapport serie)

KAREN TIMMERMANN er professor ved sektion for kystøkologi, DTU Aqua

ANDERS CHR. ERICHSEN er afdelingsleder ved DHI

JESPER CHRISTENSEN er specialkonsulent ved Aarhus Universitet, Institut for Bioscience

MADS BIRKELAND biolog og projektleder ved DHI

TRINE CECILIE LARSEN er projektleder ved DHI

SOPHIA ELISABETH BARDAM NIELSEN er projektingeniør ved DHI

NISHA SHETTY er Postdoc ved Aarhus Universitet, Institut for Bioscience

STIG MÅRKAGER er professor ved Aarhus Universitet, Institut for Bioscience