

Anvendelse af NOVANA-data i økologisk netværksmodel (ENA) – foreløbige resultater af et pilotstudie under indikatoren FW-9 i havstrategidirektivets deskriptor 4 ”Havets fødenet”

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 26 oktober 2022 | 70



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Kategori: Rådgivningsnotat

Titel: Anvendelse af NOVANA-data i økologisk netværksmodel (ENA)

Undertitel: Foreløbige resultater af et pilotstudie under indikatoren FW-9 i havstrategidirektivets deskriptor 4 "Havets fødenet"

Forfattere: Hans Henrik Jakobsen; Jørgen L.S: Hansen
Institution

Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience

Faglig kommentering: Peter Henriksen
Kvalitetssikring, DCE: Anja Skjoldborg Hansen
Sproglig kvalitetssikring: Anne Mette Poulsen

Ekstern kommentering: Miljøstyrelsen. Kommentarerne findes her:
http://dce2.au.dk/pub/komm/N2022_3_komm.pdf

Rekvirent: Ingen ekstern finansiering

Bedes citeret: Jakobsen, Hans H & Hansen & Jørgen, L.S. 2022. Anvendelse af NOVANA-data i økologisk netværksmodel (ENA) – foreløbige resultater af et pilotstudie under indikatoren FW-9 i havstrategidirektivets deskriptor 4 "Havets fødenet". Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, xx s. - Fagligt notat nr. 2022 | xx
https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2022/N2022_xx.pdf

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Sideantal: 17

Indhold

Forord	4
1 Introduktion	5
2 Dataindsamling, -formatering og -mangler	7
2.1 Dataindsamling og -formatering	7
2.2 Identificerede problemer med datamangler, - tilgængelighed og kvalitetssikring	10
2.3 Sammenligning mellem svenske planktondata og bundfaunadata og tilsvarende data fra de nærmeste danske målestationer i Kattegat og Bælthavet	11
2.4 Generelle begrænsninger i de danske NOVANA-dataserier i forhold til at understøtte økologisk netværksmodellering.	13
3 Netværksmodelleringens anvendelighed i forhold til indikatorudvikling og til at beskrive fødekædestrukturen ud fra det danske NOVANA-program.	14
4 Konklusion	15
5 Litteratur	17

Forord

Dette notat beskriver DCE's (Aarhus Universitet) arbejde med udvikling og afprøvning af ENA-modellen (Økologisk Netværks Analyse) til at understøtte indikatorudviklingen under havstrategidirektivets deskriptor 4 "Havets fødenet". Projektet rummer to aktiviteter, som dels er 1) deltagelse i OSPAR-arbejdsgrupper og -møder inden for rammerne af QSR23 ("Quality Status Report 2023") og dels 2) deltagelse i et pilotstudie, der afprøver ENA-modellen som indikator (FW9) under havstrategiens deskriptor 4 ("food webs").

Grundet forsinkelser i projektkonsortiet og problemer med kvalitetssikring af inputdata blev projektet ikke færdiggjort inden for den aftalte projektperiode. Det blev derfor aftalt, at der blev udfærdiget et kort notat, der beskriver status for arbejdet pr. 1 juni 2022 for følgende seks punkter:

1. Modellens muligheder i danske farvande i forhold til deltagelse i afrapporteringer af pilotstudiet sammen med indikatorlead til OSPAR.
2. Resultaterne af pilotstudiet i det østlige Kattegat.
3. Sammenligning af disse resultater med den deskriptive analyse af fødekædestrukturen i den østlige og vestlige del af Kattegat.
4. Udpegning af datamangler og begrænsninger i danske NOVANA data-serier
5. Diskussion af ENA-modellens generelle anvendelighed i forhold til at beskrive fødekædestrukturen ud fra det danske NOVANA-program.
6. Inddragelse af projektets samlede resultater i, hvordan overvågningsforpligtigheden ifm. deskriptor 4 fremadrettet dækkes (konkret overvågning samt efterfølgende modelarbejde) mhp. tilstandsvurderinger og fortsat indikatorudvikling.

Udviklingen af modellen sker i samarbejde med Sverige og Tyskland, hvor den tyske partner står for modeludviklingen, mens DCE's og den svenske partners opgave er at tilvejebringe og formatere inputdata fra udvalgte trofiske niveauer i et pilotområde i Kattegat. DCE's datalevering består af NOVANA-data, mens den svenske partner leverer fiskedata. Projektarbejdet har været udfordret af vanskeligheder med at fremskaffe NOVANA-data, hvilket skyldes, at der i samme periode er ved at ske en revidering og opdatering af NOVANA-planktondata. Herudover er der opstået forsinkelser på tværs af OSPAR "Food webs"-gruppen. Den reviderede arbejdsplan i regi af OSPAR strækker sig ud over dette projekts løbetid, der i den oprindelige aftale med MST var 31/12/2021. Efter aftale med MST blev leveringen forlænget til sommeren 2022 for så vidt muligt at medtage arbejdet, der forgår i OSPAR. Dette notat opsummerer derfor status for DCE's deltagelse og leverancer til OSPAR-arbejdsgruppen i løbet af projektet og vurderer muligheden for at anvende ENA-modellering på tværs af NOVANA-programmet, dvs. afrapporterer, så vidt det er muligt d.d., på de stillede spørgsmål ovenfor. Den endelige afrapportering af projektet vil ske til QSR23 og bliver dermed en del af MSFD-rapporteringen. Efter afslutningen af dette projekt vil det videre arbejde med indikatorudviklingen frem mod QSR23-rapporteringen ske i regi af projektet NEA-PANACEA.

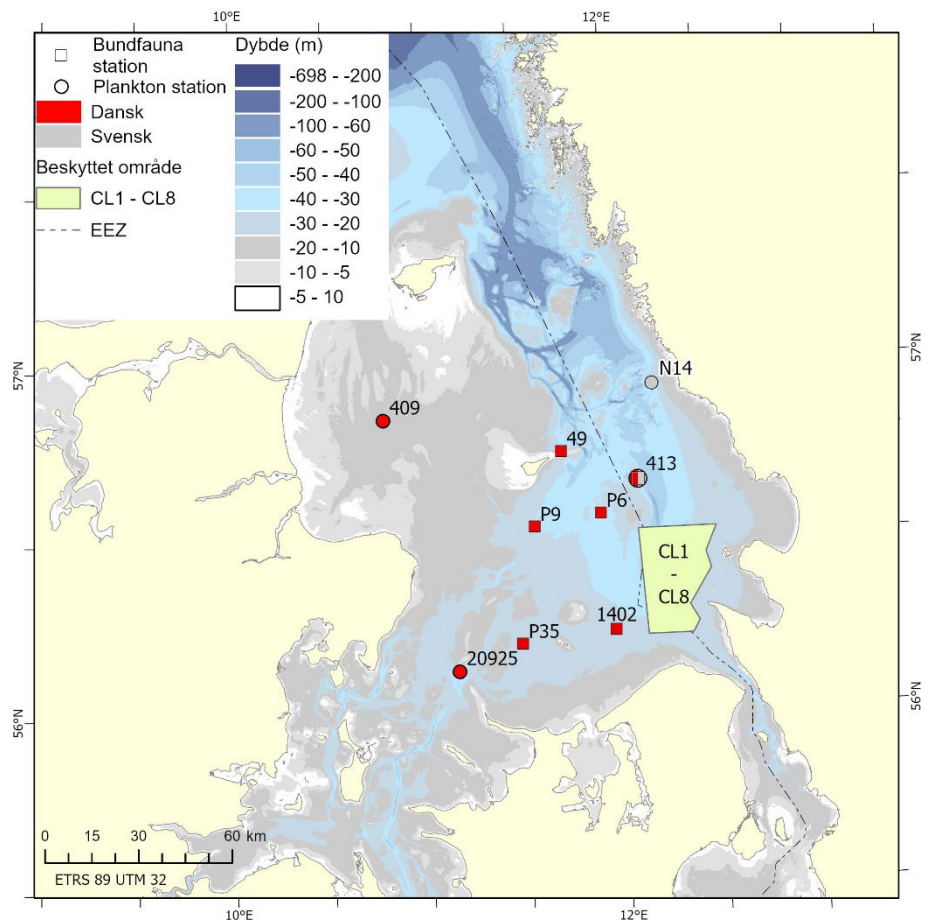
1 Introduktion

Havstrategidirektivet rummer i alt 11 deskriptorer, som hver især giver forskellige perspektiver på tilstanden af marine økosystemer og levesteder. Deskriptor 4 ("food webs") beskriver tilstanden af havets fødenet med en række indikatorer, som er under udvikling. Heriblandt er der foreslået en indikator (FW9), der baserer sig på økologisk netværksanalyse (ENA, Ecological Network Analysis), hvor fødenettets struktur analyseres ud fra input af biomasser fra økosystemets forskellige funktionelle elementer. Interaktionen mellem de forskellige funktionelle grupper analyseres herefter ud fra procesrater fundet i primærlitteraturen. Netværksanalysen forudsætter principielt, at der findes sammenhørende værdier i tid og rum for alle de elementer, der er vigtige i det økosystem, som modelleres. Input af de enkelte variabler er således normaliseret til areal og har typisk enheden gram kulstof per kvadratmeter, beregnet som et vægtet årgennemsnit. Det danske NOVANA-program omfatter, i lighed med tidligere danske overvågningsprogrammer, mange forskellige parametre, som dækker de fleste led i det marine fødenet. For flere af de målte parametre, og især dem, der bliver målt i vandsøjlen, er der både tidsligt og rumligt overlap i målingerne, hvilket er en stor fordel i forhold til at implementere økologiske netværksanalyser. NOVANA-programmet rummer imidlertid ikke data for de kommercielle fiskearter, som spiller en stor rolle i det marine fødenet. Det er således nødvendigt at supplere med andre datakilder for at leve op til EU-kommissionens faglige anbefalinger (EU 2017), så ENA-modellering (FW9-indikatoren) kan inkludere elementer fra både toppen og bunden af de marine fødenet.

Ud over de indbyggede problemer knyttet til de relevante parametre er det endvidere nødvendigt, at data overlapper i tid og rum. Dertil er det vigtigt, at målingerne har en frekvens, der dækker sæsonvariationer og matcher de økosystemprocesser, som den pågældende parameter dækker (ICES 2021). Eksempelvis har fytoplankton korte generationstider og stor sæsonvariation, mens f.eks. de benthiske filtratorer, der lever af fytoplankton, har flerårige livscyklusser.

Derfor er det nødvendigt, at data for både zoo- og fytoplanktons biomasse har en god sæsonmæssig dækning for at beskrive fødegrundlaget for filtratorerne i en økologisk netværksmodel. En anden udfordring er den rummelige afgrænsning af området, som modelleres. På baggrund af den publicerede litteratur fremgår det, at ENA-modellen har været testet/anvendt på en række forskellige økosystemer (de la Vega *m.fl.*, 2018, Fath *m.fl.*, 2019). I forhold til anvendelsen af modellen i større sammenhængende arealer, hvor der samtidigt er kraftige økologiske gradienter, kan det være problematisk at afgrænse områder, hvor økosystemet ikke har en homogen struktur. Det gælder i særlig grad de indre danske farvande, hvor saltgradienten mellem Nordsøen og Østersøen driver kraftige gradienter i både økosystemets struktur og funktion, ligesom de biologiske samfund ændrer deres sammensætning langs denne gradient.

Figur 1.1. Kort over undersøgelsesområdet. Det beskyttede modelområde er markeret med lys grøn. Den stiplede linje viser EMZ (territorialadskillelsen mellem DK og SE). Stationerne markeret CL1 til CL8 inden for den grønne polygon er alle bundfaunastationer.



Som pilotområde til test af ENA-modellen er der udvalgt et beskyttet område i det sydlige Kattegat, hvor der i en årrække har været trawlforbud (se figur 1, grøn polygon). Området ligger for hovedparten i svensk farvand. Fødekædestrukturen i dette område sammenlignes i modeltesten med de omkringliggende områder i det sydlige Kattegat, hvor inputdata kommer både fra det danske og svenske overvågningsprogram. Hypotesen (H1) er, at områderne har forskellig fødekædestruktur grundet trawlforbuddet, der har været gældende siden 2009. Som kontrolområde er valgt de omkringliggende områder med samme habitattype i det sydlige Kattegat, omfattende overvågningsstationer i både dansk og svensk farvand (figur 1). Det omkringliggende område har været jævnlige besøgt med bundskrabende redskaber i den tiårige periode for pilotstudiet (2010-2018) (Sköld m.fl. 2018) samt regelmæssigt besøgt i forbindelse med NOVANA-programmet.

2 Dataindsamling, -formatering og -mangler

2.1 Dataindsamling og -formatering

Den første fase af projektet bestod i at undersøge, 1) hvilke trofiske niveauer og økosystemelementer der er dækket af NOVANA-programmet og tilsvarende svenske overvågningsprogrammer, og 2) at indsamle data og formater disse til relevante dataformater, der kan beskrive de pelagiske og de benthiske økosystemer i de to områder.

NOVANA-programmet omfatter følgende vandkemiske og biologiske parametre i de indre danske farvande: organiske og uorganiske næringsstoffer (TN, DIN, DIP, TP), primærproduktion (kulstof 14-målinger), parametre relateret til fytoplanktonbiomasse (biovolumen, kulstofindhold og klorofyl), mikro- og mesozooplankton (antal, biomasse, udviklingsstadium og artssammensætning), bundfauna (antal, biomasse og artssammensætning), havpattedyr (marsvin, spættet sæl, og gråsæl) og havfugle (havdykænder). Makrofytter er ikke relevante i pilot- og referenceområdet dels pga. vanddybden (>20 m for de fleste stationer) og dels, fordi det hårde bundsubstrat udgør en lille andel af det samlede areal. De enkelte parametre er indsamlet og analyseret efter gældende tekniske anvisninger¹.

Svenske data hentes fra SharkWeb². Hvis intet andet er angivet, er svenske data oparbejdet efter de fælles anvisninger, der eksisterer inden for HELCOM-området (HELCOM 2022). Svenske PP-data (primærproduktion) kompileret som daglig areal produktion. Indsamlingen af danske og svenske overvågningsparametre har generelt samme metodegrundlag og følger HELCOM combine-manualen³. For danske fytoplanktondata er der forskelle, som vurderes til at være minimale (Jakobsen 2019).

Primærproduktion er beskrevet med svenske data fra stationerne 413 og N14, som er leveret til ENA-modellen. At modelleringen kun baserer sig på svenske data skyldes, at de nærmeste danske målestationer ligger forholdsvis langt uden for pilotområdet (station 20925 ved Gniben og station 409 i Ålborg Bugt). De svenske målinger af primærproduktion er omregnet til årgennemsnit efter forudgående sæson- og stationsvægtning (figur 2A, 2B).

Fytoplanktonbiomassen i modelområdet er beskrevet dels med klorofyldata fra de svenske stationer 413 og N14 (figur 2C, 2D) og dels med tællinger i mikroskop, hvor kulstofindholdet er beregnet ud fra cellevolumen (figur 2E, 2F).

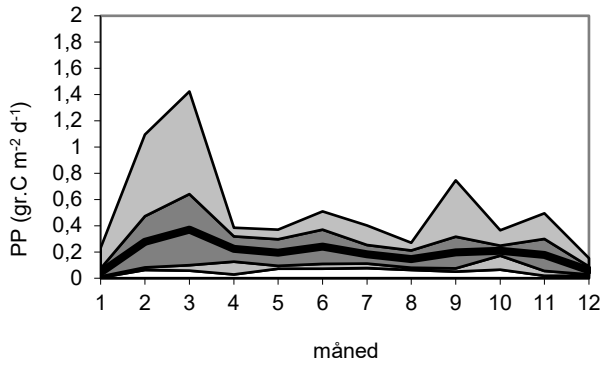
Zooplanktonbiomassen (figur 2G, 2H) er ligeledes hentet fra stationerne 413 og N14, hvor biomassen er bestemt med metoden angivet af Dansk Standard (CEN 2019).

¹ <https://ecos.au.dk/forskningraadgivning/fagdatacentre/marint-fagdatacenter/gaeldende-tekniske-anvisninger>

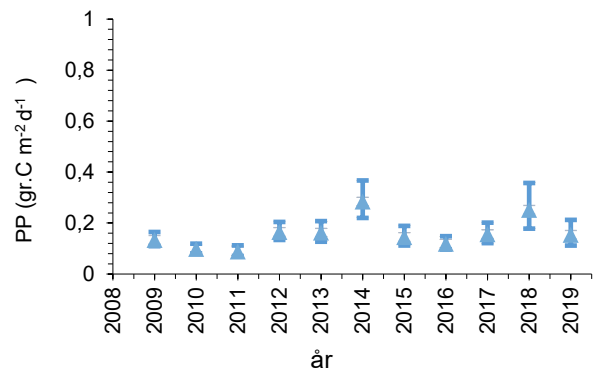
² <https://www.smhi.se/data/oceanografi/datavardskap-oceanografi-och-marinbiologi/sharkweb>

³ https://helcom.fi/post_type_publ/manual-for-marine-monitoring-in-the-combine-programme-of-helcom/

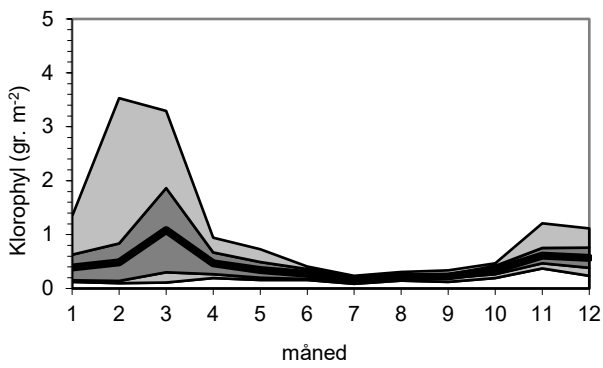
(A)



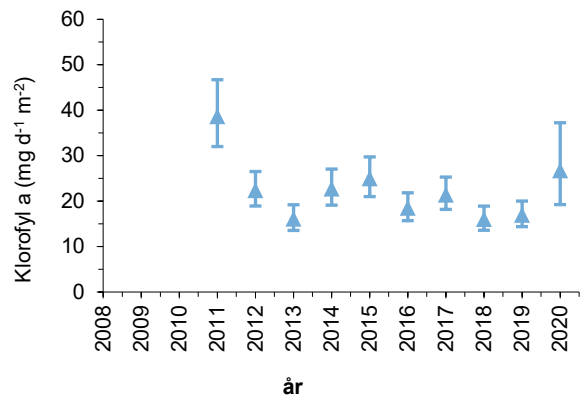
(B)



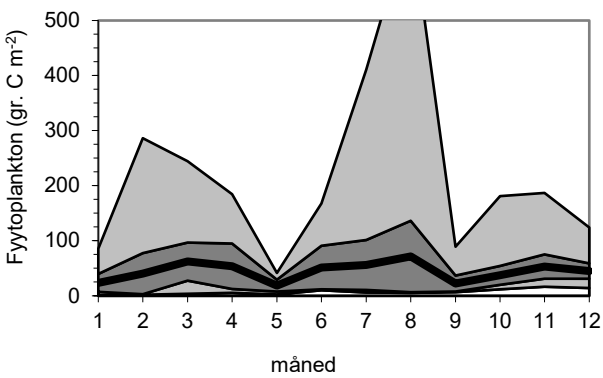
(C)



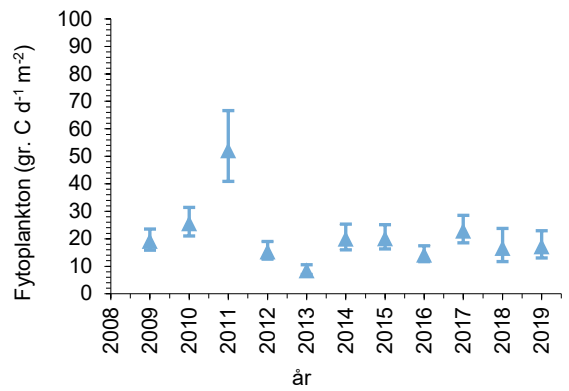
(D)



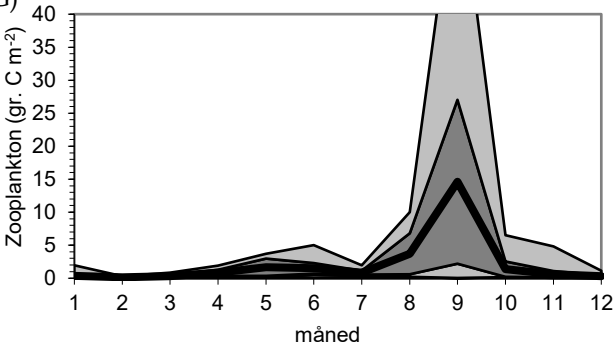
(E)



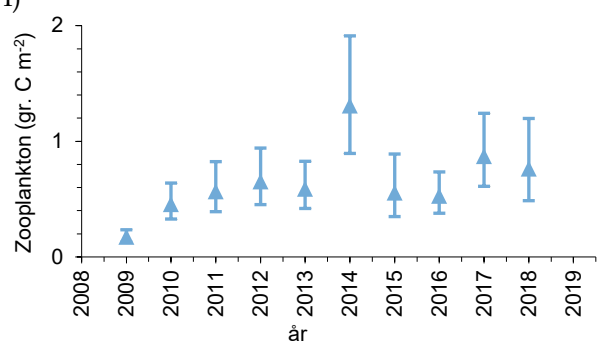
(F)



(G)



(H)



Figur 2. Svenske data anvendt i ENA-modellen. (A) Månedlig primærproduktion, (B) gennemsnitlig årlig primærproduktion for perioden 2009–2019, (C) månedlig klorofylkoncentration, (D) gennemsnitlig årlig klorofylkoncentration for perioden 2011–2020, (E) månedlig fytoplanktonbiomasse, (F) gennemsnitlig årlig fytoplanktonbiomasse for perioden 2009–2019, (G) månedlig zooplanktonbiomasse, (H) årgennemsnit af zooplanktonbiomasse for perioden 2009–2018. Månedlige værdier (venstre kolonne) er angivet som gennemsnit af daglige værdier (fed sort linje), afgrænset af variationen for periodens gennemsnit med minimum- og maksimumværdier (lysegrå afgrænsning) samt nedre og øvre kvartil (mørkegrå afgrænsning). Data i figur C til H er beregnet for en vandsøjledybde på 15 meter. Årlige gennemsnit, højre kolonne, er angivet med standardafvigelse.

Bundfaunadata består af tre dataserier fra 1) dansk farvand, som inkluderer NOVANA-stationer (1402, 413 (synonym "Anholt E"), P6, P9, P11, P35 og 49, figur 1) med indsamlinger i årene 2010, 2011, 2013, 2015 og 2018, 2) svenske overvågningsstationer (Anholt E, N10, N12, N14, PP1, PP2 og PP3, figur 1) prøvetaget i 2009, 2010, 2011, 2014, 2017 og 2018. Disse to datasæt repræsenterer områder, der er trawlet i dansk og svensk farvand. 3) Otte stationer inden for det lukkede område er ligeledes prøvetaget i årene 2009, 2010, 2011, 2014, 2017 og 2018 (stationerne CL1, CL2, CL3, CL4, CL5, CL6, CL7, CL8, figur 1). De svenske stationer er prøvetaget med Smith-McIntyre grab (0,1 m²), mens de danske er prøvetaget med Haps (0,0143 m²).

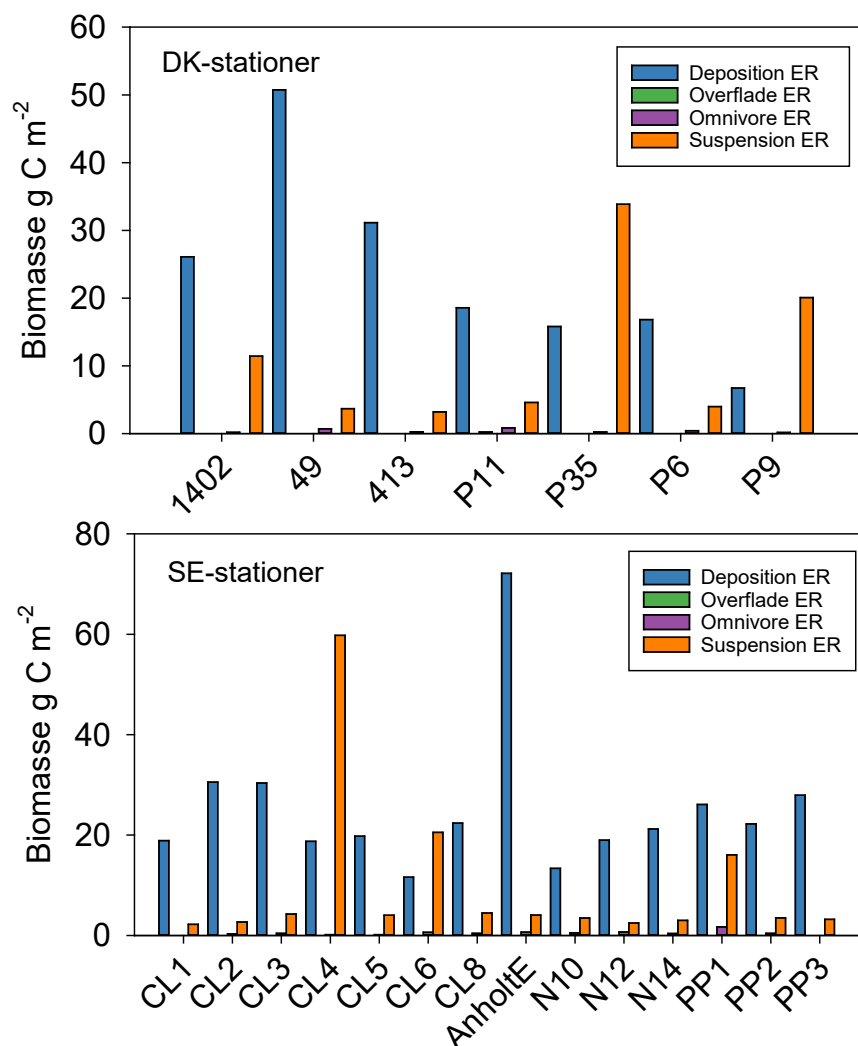
Tabel 1 viser en samlet oversigt over de kompilerede komponenter, der indgår i de endelige økologiske netværksmodelleringer. Alle data er transformeret til artsspecifikke tætheder (m⁻²) og askefri tørvægt (ASFW) på baggrund af litteraturværdier. Den askefrie tørvægt er yderligere omregnet til kulstof under antagelse af, at kulstofandelen svarer til 52,1 % af den askefrie tørvægt (Brey *m.fl.*, 2010). Endvidere er bundfaunasamfundet opdelt i fire funktionelle ernæringsgrupper: depositionsernæring, overflade-depositionsernæring, omnivorer og suspensionsernæring (filtratorer) forud for ENA-modelleringen af fødenettet (figur 3). Opdelingen af bundfaunaen omfatter ikke en samlet gruppe af rovdyr, idet bunddyrs prædation på andre bunddyr er inkluderet for arterne enkeltvist baseret på litteraturværdier.

Tabel 1. Oversigt over kompilerede data fra Danmark og Sverige til ENA-modellen.
PRIMARY PRODUCER
PRIMARY PRODUCTION
ZOOPLANKTON
BENTHIC DEPOSIT FEEDER
BENTHIC SUSPENSION FEEDER
BENTHIC INTERFACE FEEDER
BENTHIC INVERTEBRATE OMNIVORES
PELAGIC FEEDING FISH
BENTHIC FEEDING FISH
BENTHIC AND FISH FEEDING FISH
PISCIVOROUS FEEDING FISH
DETRITUS POOL

Fiskefaunaen opdeles i fire ernæringsgrupper (pelagisk fouragerende fisk, bentisk fouragerende fisk, bentisk og pelagisk fouragerende fisk og piscivore fisk). Disse data stammer fra ICES og leveres fra svensk side og er ikke inkluderet i denne rapportering.

Havfugle og havpattedyr Inden for projektets rammer har det ikke været muligt at anvende og formatere NOVANA-data for havfugle og havpattedyr til ENA-modellen.

Figur 3. Data for bundlevende organismer anvendt i ENA-modellen inddelt i funktionelle grupper. DK-stationer er indsamlet uden for det beskyttede område, og SE-stationer er indsamlet inden for det beskyttede område (se figur 1).



2.2 Identificerede problemer med datamangler, -tilgængelighed og kvalitetssikring

Som beskrevet omfatter dataleverancerne ikke havpattedyr og havfugle, da de eksisterende dataformater kræver en del formatering for at kunne indgå i ENA-modellen. Dette har ikke været muligt at imødekomme. For zoo- og fytoplanktonbiomasse i ENA-modellen er der kun anvendt svenske data pga. manglende repræsentativitet af prøvetagningslokaliteterne, hvor det danske NOVANA-program ikke har prøvetagning i den dybe østlige del af Kattegat. For primærproduktionsmålingerne er det også kun svenske data, der er anvendt, fordi der ikke er nogen danske målestationer i nærheden. Primærproduktionen beregnes anderledes i Sverige end i Danmark, idet springlagets (sub-surface) klorofylmaksimum sandsynligvis er underestimeret i de svenske data, da prøverne kun integreres over de øverste 10 m. Dette tages der højde for i de danske primærproduktionsmålinger, hvor der er set et stigende bidrag

til den samlede primærproduktion fra de dybereliggende vandlag (Lyngsgaard *m.fl.*, 2014).

2.3 Sammenligning mellem svenske planktondata og bundfaunadata og tilsvarende data fra de nærmeste danske målestationer i Kattegat og Bælthavet

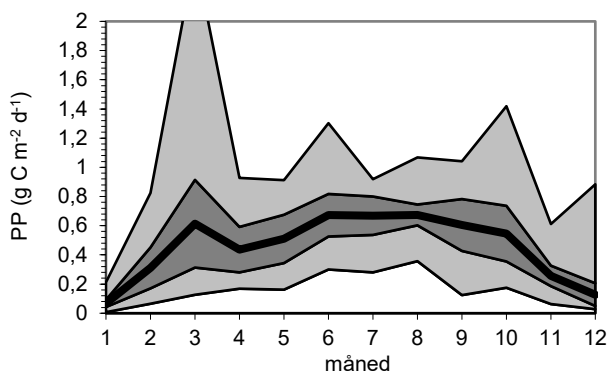
Vi har sammenlagt økosystemet i den østlige og vestlige del af Kattegat, da der er rimelig god datadækning, når svenske og danske data sammenlægges. Det østlige Kattegat adskiller sig på en række punkter fra resten af Kattegat og bælteerne pga. vanddybde, hydrografi og produktionsforhold. Når det gælder bundfaunaen, er der ikke væsentlige forskelle i den samlede tæthed og vådvægt mellem pilotområdet (danske og svenske data) og det øvrige Kattegat. Der er dog en væsentlig forskel i sammensætningen af faunaen, hvor det vestlige Kattegat i højere grad er domineret af lavvandsfauna, herunder flere muslinger, pga. den tættere kobling mellem pelagialet og benthos (se dybdekurverne i figur 1). Hvorvidt den askefrie tørvægt af bundfaunaen i det vestlige Kattegat er sammenlignelig med pilotområdet, er dog usikkert. Den askefrie tørvægt måles ikke direkte i det danske overvågningsprogram, og den askefrie tørvægt må derfor beregnes ud fra omregningsfaktorer fra vådvægt til askefri tørvægt, og netop for de forskellige arter og størrelsesgrupper af muslinger er denne omregning usikker pga. skallernes store og forskellige bidrag til askevægten. En sammenligning mellem primærproduktion og zooplanktonbiomasse viser, at der er en bemærkelsesværdig forskel mellem svenske og danske primærproduktionsdata (figur 2A,B, E,F og 4A,B,E,F). Denne forskel skyldes formodentligt, at danske NOVANA-primærproduktionsmålinger foretages i to dybder og derfor medtager bidraget fra den dybere del af vandsøjlen fotosyntese (Lyngsgaard *m.fl.*, 2014). Svenske data er indsamlet i de øverste 10 meter. Det betyder, at hvis vandsøjlen er lagdelt, vil primærproduktionen i den øverste del af vandsøjlen være meget lav pga. næringssaltbegrænsning.

Periodegennemsnittet for fytoplanktonbiomasse (tabel 2) for Kattegat øst forekommer umiddelbart højt, men ved sammenligning mellem figur 2F og figur 4F er det tydeligt, at Kattegat øst har nogle ganske høje værdier i perioden 2009-2011, som ikke findes i Kattegat vest. Det samme gør sig gældende for klorofylværdierne, som er ganske høje i begyndelsen af perioden i Kattegat øst, hvorimod de er stabile i hele periode i Kattegat vest. Klorofylværdierne er ganske ens og har et årgennemsnit i størrelsesordenen 0,3-0,4 g m⁻².

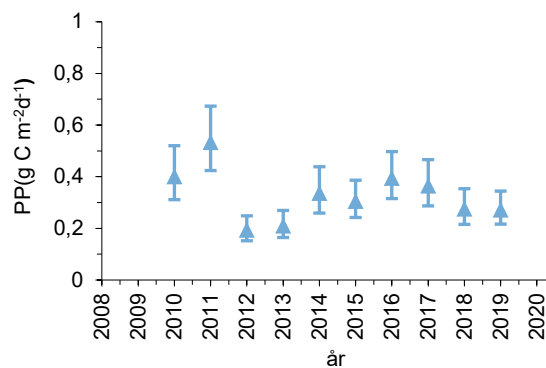
Tabel 2. Sammenligning mellem Kattegat øst og vest for de væsentligste elementer, som AU har bidraget med til ENA-modellen. Der indgår ikke kulstofværdier for bundfauna, da forskelle i omregningen mellem askefri tørvægt og kulstof ikke kan beregnes pga. forskelle i faunasammensætningen mellem Kattegat øst og vest.

Område	Årlige primærproduktion (g C m ⁻² år ⁻¹)	Fytoplanktonbiomasse (g C m ⁻²)	Zooplanktonbiomasse (g C m ⁻²)	Klorofyl konc. (g C m ⁻²)
Kattegat øst	54	21	0,63	0,34
Kattegat vest	175	13		0,41

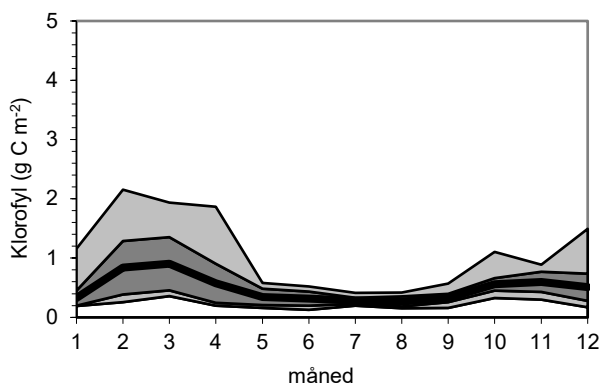
A)



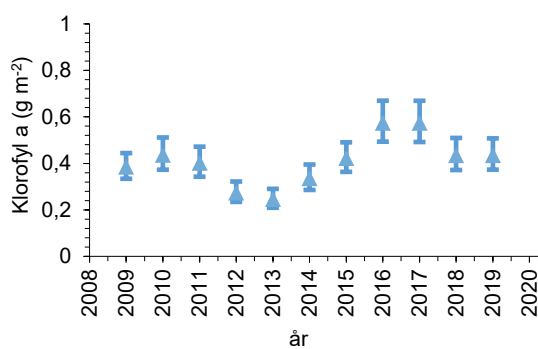
(B)



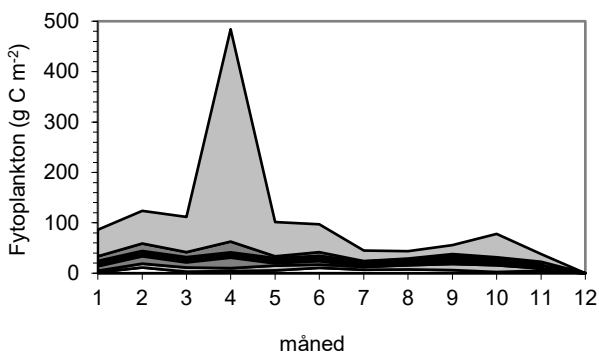
(C)



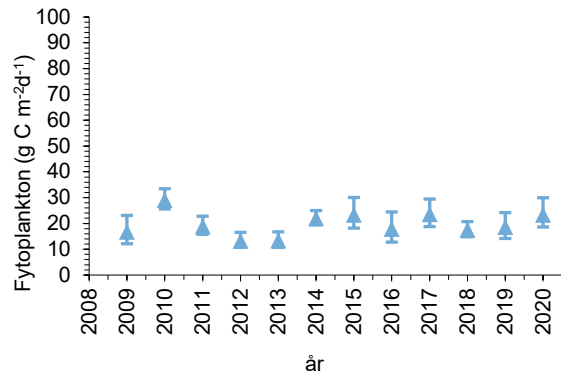
(D)



(E)



(F)



Figur 4. Danske NOVANA-stationer (409 og 20925) for perioden 2009-2019. (A) Månedlig primærproduktion, (B) årgennemsnit af primærproduktion, (C) månedlig klorofylkoncentration, (D) årgennemsnit af klorofylkoncentration for perioden 2010-2009-2019, (E) månedlig fytoplanktonbiomasse, (F) årgennemsnit af fytoplanktonbiomasse for perioden 2009-2019. Data i figur A-F er beregnet over en vandsøjle på 15 meter. Månedlige daglige værdier (venstre kolonne) er angivet som gennemsnit (fed sort linje), der er afgrænset af variationen for periodens gennemsnit med minimum- og maksimumværdier (lysegrå afgrænsning), samt nedre og øvre kvartil (mørkegrå afgrænsning). Årlige gennemsnit, højre kolonne, er angivet med standardafvigelse.

Månedssuccessionen i klorofyl i Kattegat øst og vest viser et typisk mønster med en markant forårsopblomstring, der er svagt forskudt mod det senere forår i Kattegat øst (figur 2C og figur 4C), hvilket formodentligt er drevet af koldt overfladevand fra Østersøen langs med Sveriges vestkyst.

2.4 Generelle begrænsninger i de danske NOVANA-dataserier i forhold til at understøtte økologisk netværksmodellering

Da de endelige kørsler af ENA-modellen samt tilhørende sensitivitetstests endnu ikke foreligger, er der ikke modelresultater, der direkte kan tilbagekobles til måleparametre, datadækning og kvalitet. Det er dog klart, at datadækningen af den danske del af det østlige Kattegat i perioden 2009-2018 er ringe, hvis ikke svenske data inddrages. Derudover er der en udpræget mangel på pelagiske data fra Kattegats centrale dele. Det betyder, at ved modelleringen med danske data vil resultatet alene være repræsentativt for de lavvandede områder i vest, hvor NOVANA-programmet har god datadækning (stationer i figur 1 og datasyntese i figur 4). Det vil formodentligt fremadrettet være muligt også at inkludere data for havpattedyr og fugle samt at korrigere for forskelle i sammensætning af den benthiske fauna mellem øst og vest.

3 Netværksmodelleringens anvendelighed i forhold til indikatorudvikling og til at beskrive fødekædestrukturen ud fra det danske NOVANA-program

Havets fødekæder er et nyt element i overvågningen, som er introduceret med havstrategidirektivet. Denne deskriptor er et centralt element i den økosystembaserede forvaltning, og indikatorerne for denne deskriptor skal beskrive økosystemets tilstand ud fra fødenettets struktur og funktion. Det kræver, at der findes repræsentative data fra alle niveauer i fødenettet og fra alle væsentlige funktionelle organismegrupper i økosystemet. Deskriptor 4 (havets fødenet) har således et meget større fokus på "top-down"-processer og -kontrol end NOVANA-programmets klassiske parametre, der historisk har haft fokus på "bottom-up"-processer og måleparametre, der har indflydelse på havmiljøet som f.eks. koncentrationer af næringssalte, ilt, planktonbiomasse, bundfauna og sedimentprocesser. NOVANA-programmet inkluderer havpattedyr og havfugle, mens de kommercielle fiskearter, som er det element i de marine fødekæder, der påvirkes mest af mennesker, ikke er inkluderet. NOVANA-programmet mangler således væsentlige parametre og mangler, som beskrevet ovenfor, repræsentativitet for nogle af de parametre, der bliver målt. Dermed vil NOVANA-programmet ikke kunne stå alene, hvis der skal foretages en analyse af hele fødenettets struktur, og der vil skulle indhentes yderligere data fra eksempelvis ICES som i nærværende analyse.

I tilrettelæggelsen af dette pilotstudie er det forsøgt at tage højde for de manglende elementer ved at vælge både et område, der er lukket for trawlfiskeri, og et større kontrolområde i det omkringliggende område i Kattegat. Da det er de samme parametre, der indgår i modelleringen i begge områder, vil det være muligt at studere relative forskelle i fødenettets struktur mellem de to områder. Det lukkede område blev oprindeligt lukket for trawling i 2009 for at beskytte torskebestanden. Det betyder, at der kan være forskelle mellem de to områders fødekædestruktur, både pga. en ændret torskebestand og pga. trawlfiskeriets påvirkning af havbunden. Torsk påvirker biomassen af bunddyr negativt, trawlfiskeri påvirker både torsk og bundfaunaen negativt (Sköld *m.fl.*, 2018). Dette er et typisk eksempel på en trofisk kaskade (Frank *m.fl.*, 2005), hvor der kan være antagonistiske effekter på økosystemet. En hypotese kan være, at der i det lukkede område vil være en højere artsrigdom og tæthed af bunddyr sammenlignet med kontrolområdet. Men fiskeristoppet kan medføre en øget torskebestand, som har en negativ effekt på bundfaunaens tæthed, fordi bundfaunaen er føde for torsk, som muligvis kan kompensere for effekten af fraværet af trawling. Hvor en sådan trofisk kaskadeeffekt ikke nødvendigvis kan afsløres ved at sammenligne en parameter alene (bundfauna) inde i og uden for det lukkede område, er hypotesen, at dette vil kunne analyseres med en økologisk netværksanalyse, fordi denne tager højde for flere led i kaskadeeffekten samtidigt.

4 Konklusion

Dette statusnotat beskriver leverancer og arbejdet, som DCE har deltaget i i forbindelse med udviklingen af FW9-indikatoren under havstrategiens deskriptor 4 "Foodwebs". Indikatorudviklingen var ikke afsluttet, da dette projekt blev afsluttet. Under projektet har DCE leveret nedenstående data og produkter og identificeret følgende udfordringer i forbindelse med sammenstillingen af data.

1. DCE har leveret data for forskellige trofiske niveauer i et pilotområde i Kattegat til OSPAR-arbejdsgruppen, der er ansvarlig for test af ENA-modelleringen. Dette inkluderer også udvikling af hypoteser og kompilering af data.
2. Den endelige kørsel af ENA-modellen er forsinket, og kun præliminære data var tilgængelige ved afslutningen af dette statusnotat. De foreløbige modelleringsoutput er ikke valideret og diskuteret i arbejdsgruppen og egner sig derfor ikke til offentliggørelse. Det endelige resultat offentliggøres i OSPAR's QSRs template Indicator Assessment (forventes senest ved udgangen af 2022).
3. Deskriptive analyser af trofiske relationer/processer kunne ikke inddrages pga. mangel på kvalitetssikrede data (DK zooplanktondata) og mangel på data i det rigtige format (DK havpattedyrdata og fugledata). Dermed er det meget få trofiske processer, der kan beskrives. Ved projektets start var det vores forventning, at der som minimum ville være følgende data for den pelagiske fødekæde: næringsstoffer-fytoplankton-zooplankton-fisk og for den bentiske fødekæde: organisk input-bundfauna-fisk.
4. Dette notat peger på, at der for Kattegat er rimelig god datadækning i NOVANA, når det gælder zoobenthos og de pelagiske parametre (fytoplankton, zooplankton, klorofyl og primærproduktion) i den vestlige del. I den østlige del af Kattegat findes der kun tilgængelige svenske pelagiske data i den periode, som pilotstudiet dækker. Tidligere fandtes der en god tidsserie på station 413 (øst for Anholt). NOVANA-programmet har data for benthos fra det østlige Kattegat, som sammen med de svenske data giver en ret god datadækning. En del af de svenske data på zoobenthos er ikke overvågningsdata og er dermed ikke alment tilgængelige, og de er kun stillet til rådighed til ENA projektet. NOVANA-programmet indeholder ikke fiskedata, hvilket besværliggør sammenstilling af data for de forskellige trofiske niveauer; dette kunne eventuelt løses ved at spejle relevante fiskedata fra ICES i samme database som de øvrige NOVANA-data. NOVANA-programmets fugle- og havpattedyrdata har et andet format, og det har ikke været muligt at undersøge datadækningen i relation til fødenetmodellering.
5. Projektet havde også til formål at vurdere, hvorvidt det valgte testområde var velegnet til at undersøge ENA-modellens potentiale. Den endelige modelkørsel vil formodentlig kunne bidrage til en holistisk beskrivelse af ændringer i økosystemfunktion og -services, som ikke kan beskrives ud fra overvågningsparametre enkeltvis. Valget af testområde gør det også muligt at undersøge effekten af trawling på fødekædestruktur ud fra et såkaldt BACI-design (**B**efore **A**fter **C**ontrol **I**mpact). I arbejdet med ENA modellen i OSPAR QSR23-sammenhæng, hvori NOVANA-dataene indgår,

peger ikke-publicerede præliminære resultater på kvalitative forskelle og dermed på, at ENA-modellen er i stand til at visualisere en effekt af menneskelig aktivitet (trawlfiskeri) på fødenettes struktur i det undersøgte område.

6. ENA-modellen, som DCE har leveret data og input til, sammenligner områder, der ikke er trawlet gennem en årrække, med det omkringliggende område, der er trawlet. Hvis det endelige modelresultat identificerer en påvirkning af trawling, er det i princippet muligt at opdele dataserier i perioder, eksempelvis før og efter ophør af trawlfiskeri. Det vil ligeledes være muligt at sammenligne sådanne kvalitative ændringer med andre områder, der har været udsat for forskellige grader af trawling. Dybdeforholdene er varierende i Kattegat med heraf følgende forskelle i sammensætningen af zoobenthos. For at opnå en arealdækning af større farvandsområder som Kattegat vil det være nødvendigt at opdele modelleringen i forhold til udbredelsesmønstre af biotoper for nøglearter og funktionelle organismegrupper. Dette kunne f.eks. være en opdeling af Kattegat i forhold til vanddybden, således at områder, der er hhv. lavere og dybere end haloklindybden på ca. 15 meter, behandles separat for nogle parametre (f.eks. plankton, zoobenthos og fugle), mens f.eks. fisk og havpattedyr kan være repræsenteret med de samme data, hvis de opholder sig i samme område.

5 Litteratur

Brey T, Muller-Wiegmann C, Zittier ZMC, Hagen W (2010) Body composition in aquatic organisms - A global data bank of relationships between mass, elemental composition and energy content. *Journal of Sea Research* 64:334-340

CEN (2019) Water quality - Guidance on analysis of mesozooplankton from marine and brackish waters. European committee for standardization

de la Vega C, Schuckel U, Horn S, Kroncke I, Asmus R, Asmus H (2018) How to include ecological network analysis results in management? A case study of three tidal basins of the Wadden Sea, south-eastern North Sea. *Ocean & Coastal Management* 163:401-416

EU (2017) KOMMISSIONENS AFGØRELSE (EU) 2017/848 af 17. maj 2017 om fastlæggelse af kriterier og metodiske standarder for god miljøtilstand i havområder samt specifikationer og standardmetoder for overvågning og vurdering og om ophævelse af afgørelse 2010/477/EU. Book L 125/43

Fath BD, Asmus H, Asmus R, Baird D, Borrett SR, de Jonge VN, Ludovisi A, Niquil N, Scharler UM, Schuckel U, Wolff M (2019) Ecological network analysis metrics: The need for an entire ecosystem approach in management and policy. *Ocean & Coastal Management* 174:1-14

Frank KT, Petrie B, Choi JS, Leggett WC (2005) Trophic cascades in a formerly cod-dominated ecosystem. *Science* 308:1621-1623

HELCOM (2022) Manual for marine monitoring combine programme of HELCOM.

ICES (2021) EU request for a Technical Service on MSFD Article 8 guidance on undertaking assessments for Descriptor 3 (commercially exploited fish and shellfish) and Descriptor 4 (marine foodwebs). ICES. ICES, Copenhagen

Jakobsen HH (2019) Levering af danske fytoplanktondata fra STOQ/ODA til ICES. Aarhus Universitet, Aarhus

Lyngsgaard MM, Markager S, Richardson K (2014) Changes in the vertical distribution of primary production in response to land-based nitrogen loading. *Limnol Oceanogr* 59:1679-1690

Sköld M, Goransson P, Jonsson P, Bastardie F, Blomqvist M, Agrenius S, Hiddink JG, Nilsson HC, Bartolino V (2018) Effects of chronic bottom trawling on soft-seafloor macrofauna in the Kattegat. *Marine Ecology Progress Series* 586:41-55