

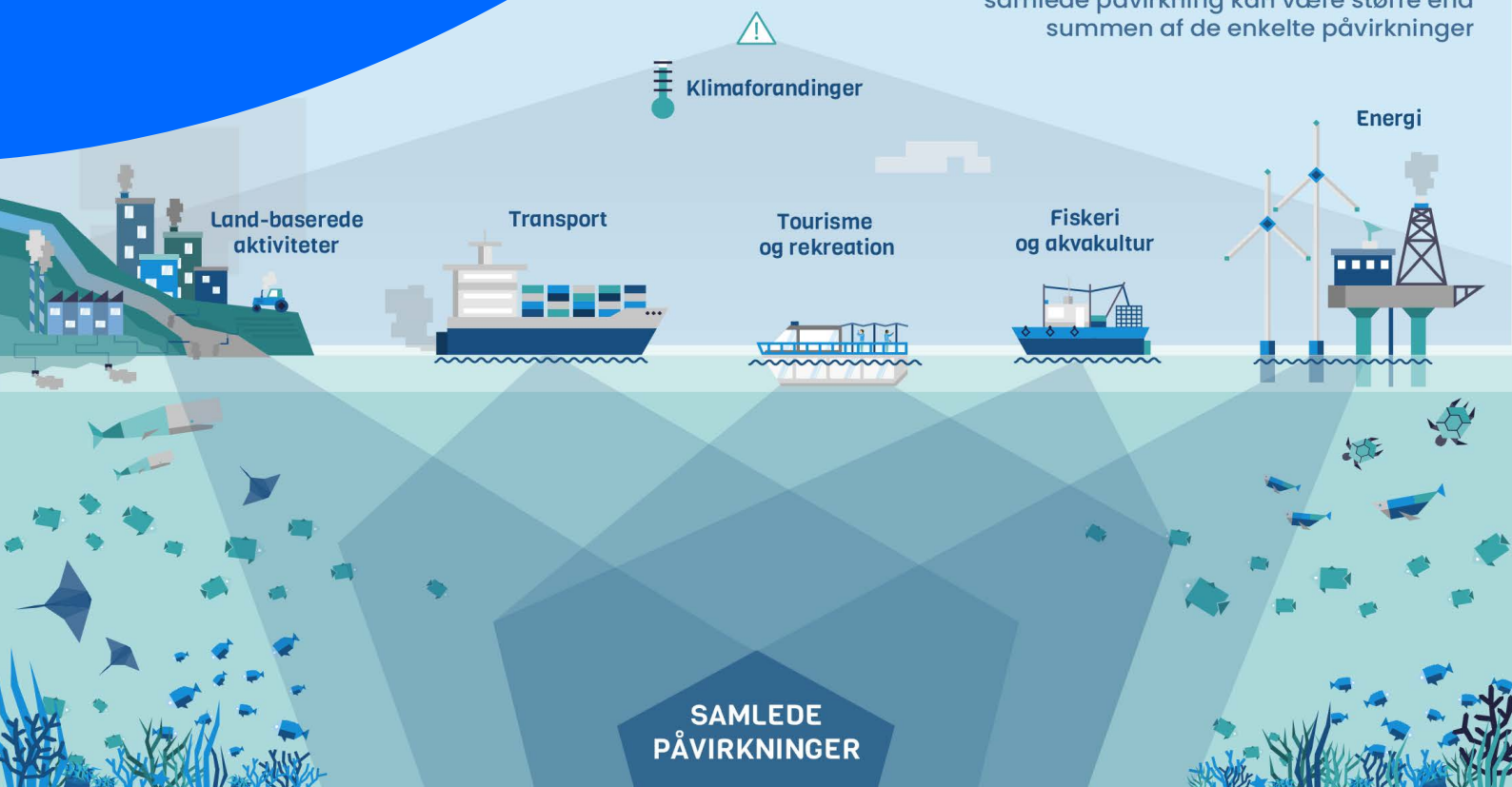
7926-2024

Samlede påvirkninger i de danske farvande

SAMLEDE PÅVIRKNINGER

Menneskelige aktiviteter påvirker
havet omkring Danmark og
økosystemernes naturlige balance

Forskellige aktiviteter kan virke i forening så den samlede påvirkning kan være større end summen af de enkelte påvirkninger



Miljøtilstand og resiliens

Forståelse for og vurdering af de samlede påvirkninger
er vigtigt for beskyttelsen af havmiljøet

Rapport

Løbenummer: 7926-2024

ISBN 978-82-577-7662-6
NIVA-rapport
ISSN 1894-7948

Denne rapport er kvalitetssikret iht. NIVAs kvalitetssystem og godkendt af:

Jesper H. Andersen
Projektleder/ Hovedforfatter

Kirstine Thiemer
Kvalitetssikrer

© Norsk institutt for vannforskning.
Publikationen kan citeres mod kildeangivelse

www.niva-danmark.dk

NIVA Danmark

Titel

Samlede påvirkninger i de danske farvande

Sider

22 + bilag

Dato

08.01.2024

Forfattere

Jesper H. Andersen
E. Therese Harvey
Ciaran J. Murray
Simon A. Özkan

Fagområde

Marinbiologi

Distribution

Åben

Klient

Miljøministeriet

Kontaktperson hos klient

Ane-Marie L. Eskildsen

Udgivet af NIVA

230209

Sammendrag

Denne rapport gør rede for de samlede påvirkninger af de marine økosystemer i de danske farvande. Rapporten er baseret på eksisterende og kvalitetssikrede datasæt og anvender en metodik, som anvendes i forsknings- og udviklingsprojekter og af bl.a. Østersøkonventionen (HELCOM) og Det Europæiske Miljøagentur (EEA). Ud over en kortlægning af de rumlige variationer i de samlede påvirkninger, er der gjort rede for hvilke presfaktorer, som er dominerende og hvilke økosystemer, som er under mest pres. Desuden indeholder rapporten en foreløbig vurdering af, hvor tre grupper af presfaktorer (klassiske, nye og klima) forventes at udvikle sig fremadrettet. Rapporten udgør således et bidrag til det nationale arbejde med gennemførelsen af EU's Havstrategidirektiv, specielt udarbejdelse af Basisanalyse III.

Emneord: Danmark, Havstrategi, Basisanalyse, Kumulative påvirkninger

Keywords: Denmark, Marine Strategy, Initial Assessment, Cumulative effects

Indholdsfortegnelse

Forord	4
1 Introduktion	5
2 Materialer og metoder	6
3 Resultater	8
4 Diskussion	16
5 Konklusioner	19
6 Referencer	20
7 Bilag	23

Illustration på forsiden:

Et billede siger mere end 1000 ord. Illustrationen af samlet (kumulativ) påvirkning på forsiden af denne rapport stammer fra infographic udviklet i regi af GES4SEAS-projektet og som venligst er modificeret af Miguel C. Leal fra Science Crunchers i Portugal. GES4SEAS er et Horizon Europa-projekt, den fulde titel er 'Achieving Good Environmental Status for Maintaining Ecosystem Services by Assessing Integrated Impacts of Cumulative Pressures' (Grant Agreement 101059877).

© GES4SEAS



Forord

Denne rapport beskriver de samlede påvirkninger af multiple menneskelige aktiviteter på de marine økosystemer i de danske farvande.

Analyserne er baseret på et unikt datasæt for 1) presfaktorer, 2) økosystemkomponenter og 3) følsomhedsvægte, som oprindeligt er sammenstillet i regi af ØKOMAR-projektet, der var igangsat og finansieret af VELUX-fonden i 2018-2021.

Ud over at være baseret på ovennævnte data, har rapporten også forholdt sig til den senest publicerede videnskabelige litteratur samt til de seneste rapporter om havmiljøets tilstand i Østersøen og Nordsøen fra hhv. HELCOM og OSPAR. Analyser og konklusioner er således funderet på det bedst mulige faglige grundlag for vurdering af potentielt kumulative effekter af menneskelige aktiviteter på økosystemer i de danske farvande. Videre, tager rapporten udgangspunkt i den struktur og den tekst, som blev udarbejdet i forbindelse med Basisanalysen udarbejdet under den danske Havstrategi II i 2019.

En følgegruppe bestående af Ane-Marie L. Eskildsen og Emilie Kallenbach fra Miljøministeriets Departements enhed for Vild natur og Biodiversitet samt Ciaran Murray og undertegnede har løbende fulgt og drøftet fremdriften i projektet.

En særlig tak rettes til Miljøministeriet for igangsættelse af projektet. Desuden takkes Paula Ramon for udarbejdelse af Figur 1 og Andy Stock, for udarbejdelsen af figuren i Bilag 7.

København, 8. januar 2024

Jesper H. Andersen

Forskningschef og projektleder
NIVA Danmark

1 Introduktion

Det danske havmiljø er, og har været, under pres i mange år, det er velkendt og veldokumenteret (Miljø- og Energiministeriet, 1995; Naturstyrelsen, 2012; Miljøstyrelsen, 2015; Miljø- og Fødevareministeriet, 2020). Dette faktum har resulteret i betydelige nationale indsatser for at reducere påvirkningerne fra menneskelige aktiviteter, både havbaserede aktiviteter, fx fiskeri og skibsfart, og landbaserede påvirkninger, fx tilførsler af forurenende stoffer, herunder næringsstoffer og miljøgifte (se bl.a. Miljø- og Energiministeriet, 1999 og Miljø- og Fødevareministeriet, 2020).

En vigtig driver for arbejdet med beskyttelse af de danske havområder er EU's Havstrategidirektiv og gennemførelsen af dette i dansk lovgivning (EU, 2008; Anon., 2016). Direktivets overordnede formål er at sikre en god miljøtilstand i alle europæiske havområder. Direktivet stiller krav om udarbejdelse af tilstandsvurderinger, de såkaldte basisanalyser, opstilling af miljømål for 11 emner (deskriptorer) samt udarbejdelse af indsatsplaner og overvågningsprogrammer (se fx Miljø- og Fødevareministeriet, 2019).

I forbindelse med udarbejdelse af Basisanalyserne skal det ifølge direktivet gøres rede for de menneskelige påvirkninger på havet og effekterne heraf, herunder at der anvendes en økosystembaseret tilgang. En økosystembaseret tilgang betyder i praksis, at der skal anvendes information om alle relevante menneskelige påvirkninger samt de fysiske, kemiske og biologiske forhold i havet omkring Danmark.

Tidligere Basisanalyser fra 2012 og 2019 (Naturstyrelsen, 2012; Miljø- og Fødevareministeriet, 2019) indeholder databaserede analyser af de potentielt samlede påvirkninger af et bredt udsnit af menneskelige aktiviteter.

I denne rapport er der anvendt den stort set samme metodik som i de to tidligere basisanalyser. Datagrundlaget er dog væsentligt forbedret og den rumlige opløsning højere, så den nu er 500 x 500 meter. Det er dog ikke muligt at direkte sammenligne resultaterne i denne rapport med de to tidligere kortlægninger i Basisanalyse I og Basisanalyse II grundet forskellige data for presfaktorer og økosystemkomponenter (**Tabel 1**).

Tabel 1: Oversigt over antallet af datalag anvendt i beskrivelserne af samlede påvirkninger i Basisanalyse I, II og III. Data fra HELCOM (2012), Andersen & Stock (2014), Andersen et al. (2020) og Andersen et al. (2020).

	Basisanalyse I – 2012		Basisanalyse II – 2019	Basisanalyse III – 2024
Datalag m.v.	HOLAS I	HARMONY	Danmark – RALAHA	Danmark – ØKOMAR
Presfaktorer	52	33	35	42
Økosystemkomponenter	14	28	47	52
Følsomhedsvægte*	714	891	1.598	2.184
Effektdistancer	9**	24***	10	16
Rumlig opløsning	5 x 5 km	1 x 1 km	1 x 1 km	500 x 500 m

* Teoretisk beregning, ** se Korpinen et al. (2010), ***se tabel 9 i Andersen & Stock (2013).

Analyserne er gennemført i to skridt. I første skridt har fokus været på data, modelopsætning og -kørsel med det formål at kortlægge den rumlige variation i intensiteten af de samlede påvirkninger i de danske farvande. I skridt to er der, med udgangspunkt i resultaterne for kortlægningen, gennemført en række analyser, bl.a. med fokus på rangordning af presfaktorer og økosystemkomponenter, herunder forskelle mellem de danske havområder (Nordsøen/Skagerrak, Kattegat, danske dele af Østersøen), samt på at illustrere, hvordan den relative betydning af 'klassiske' presfaktorer, 'nye' presfaktorer og klimapåvirkninger fremadrettet vil ændre sig.

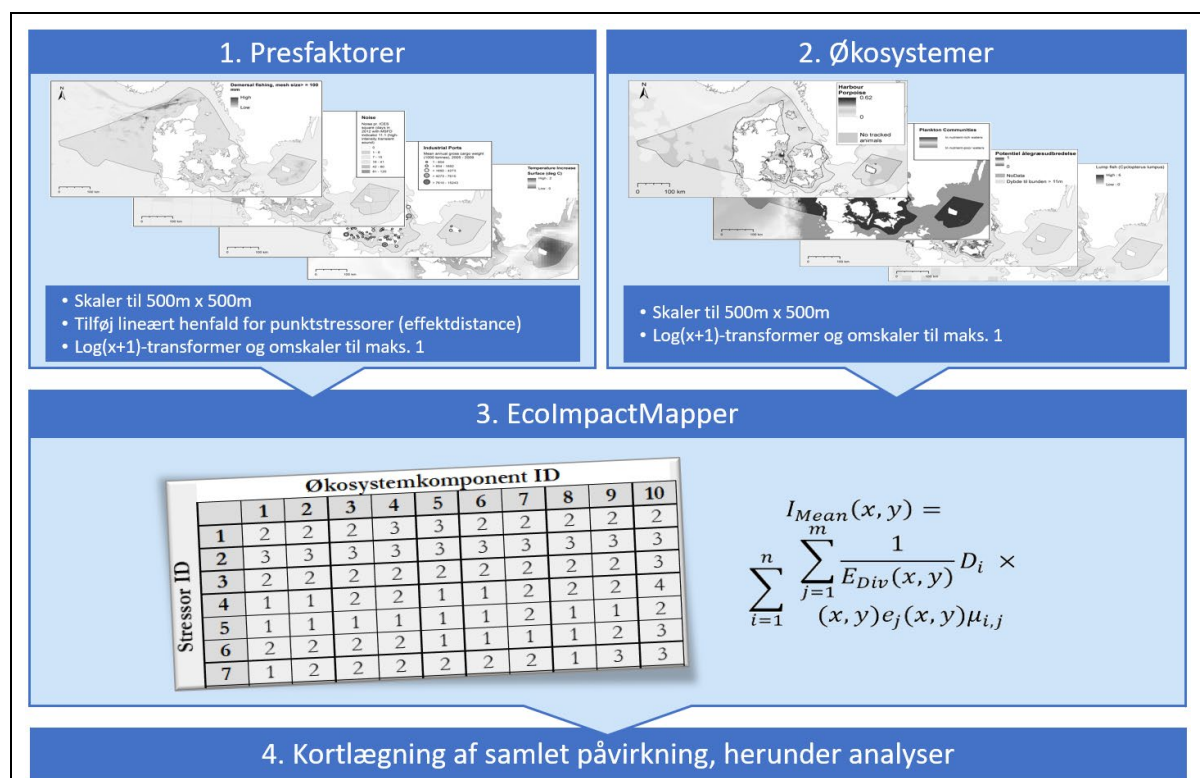
2 Materialer og metoder

For at kunne kortlægge og efterfølgende analysere de samlede påvirkninger af en bred vifte af menneskelige aktiviteter i de danske farvande, anvendes en metode, som kræver fire typer af information:

1. data om den rumlige fordeling af presfaktorer, herunder deres intensitet,
2. data om den rumlige udbredelse af økologisk relevante økosystemkomponenter,
3. følsomhedsvægte (benævnt '*sensitivity weights*' på engelsk), som anvendes til at kombinere og vægte hver enkelt presfaktor med en enkelt økosystemkomponent, og
4. for de presfaktorer som er punktkilder, anvendes såkaldte effektdistancer for hvor langt væk en punktkilde potentielt kan have en effekt.

Den anvendte metode er oprindeligt udviklet af Halpern *et al.* (2008) og har dels været anvendt af HELCOM (2010, 2018, 2023) og i de to tidligere nationale Basisanalyser under Havstrategidirektivet (Naturstyrelsen 2012, Miljø- og Fødevarerministeriet 2019), og dels udviklet sig til en noget nærmest europæisk standard (Korpinen & Andersen, 2016; Reker *et al.*, 2020).

Analyserne gennemføres trinvis som illustreret nedenfor (**Figur 1**) og nærmere beskrevet i **Bilag 1**.



Figur 1: Skitse af hvordan det samlede pres bliver beregnet. Baseret på Riemann *et al.* (2019).

De data som ligger til grund for denne rapport stammer oprindeligt fra ØKOMAR-projektet, som var finansieret af VELUX-fonden, og i perioden 2018-2021 gennemført af et partnerskab bestående af NIVA Danmark (ledelse), Institut for Ecoscience på Aarhus Universitet (ECOS), Institut for Akvatiske Ressourcer på Danmarks Tekniske Universitet (DTU Aqua), De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) og Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning på Københavns Universitet (IGN). For yderligere oplysninger om ØKOMAR-projektet henvises til:

- Andersen, J.H., J. Bendtsen, K.J. Hammer, E.T. Harvey, S.W. Knudsen, C. Murray, J. Carstensen, I.K. Petersen, J. Tougaard, S. Sveegaard, K. Edelvang, J. Egekvist, J. Olsen, M. Vinther, Z. Al-Hamdani, J.B. Jensen, J.O. Leth, B.C. Kaae, A.S. Olafsson, W. McClintock, C. Burt & D. Yocum (2020a): ECOMAR: A data-driven framework for ecosystem-based Maritime Spatial Planning in Danish marine waters. Results and conclusions from a development and demonstration project. NIVA Denmark report, 83 pp. <https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/2725462>
- Andersen, J.H., K.J. Hammer, E.T. Harvey, S.W. Knudsen, C. Murray, J. Carstensen, I.K. Petersen, S. Sveegaard, J. Tougaard, K. Edelvang, J. Egekvist, J. Olsen, M. Vinther, Z. Al-Hamdani, J.B. Jensen, J.O. Leth, B.C. Kaae & A.S. Olafsson (2020b): Supplementary material to ECOMAR: A data-driven framework for ecosystem-based Maritime Spatial Planning in Danish marine waters. NIVA Denmark report, 216 pp. <https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/2678968>
- Andersen, J.H., Z. Al-Hamdani, J. Carstensen, K. Edelvang, K.J. Hammer, E.T. Harvey, B.C. Kaae, J. Leth, W. McClintock, C.J. Murray, A.S. Olafsson, J. Olsen, S. Sveegaard & J. Tougaard (2023): Are European Blue economy ambitions in conflict with European environmental visions? AMBIO. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-023-01896-3>

For analyserne i de danske farvande, er der i denne rapport, anvendt data som repræsenterer 42 presfaktorer (se **Bilag 2**). Hvad angår økosystemkomponenter, er de repræsenteret med data for 52 individuelle komponenter (se **Bilag 3**). Data for følsomhedsvægte og effektdistancer fremgår af hhv. **Bilag 4** og **5**. Det skal bemærkes at presfaktorerne og økosystemkomponenterne, som udgangspunkt er repræsentative for perioden 2016-2020.

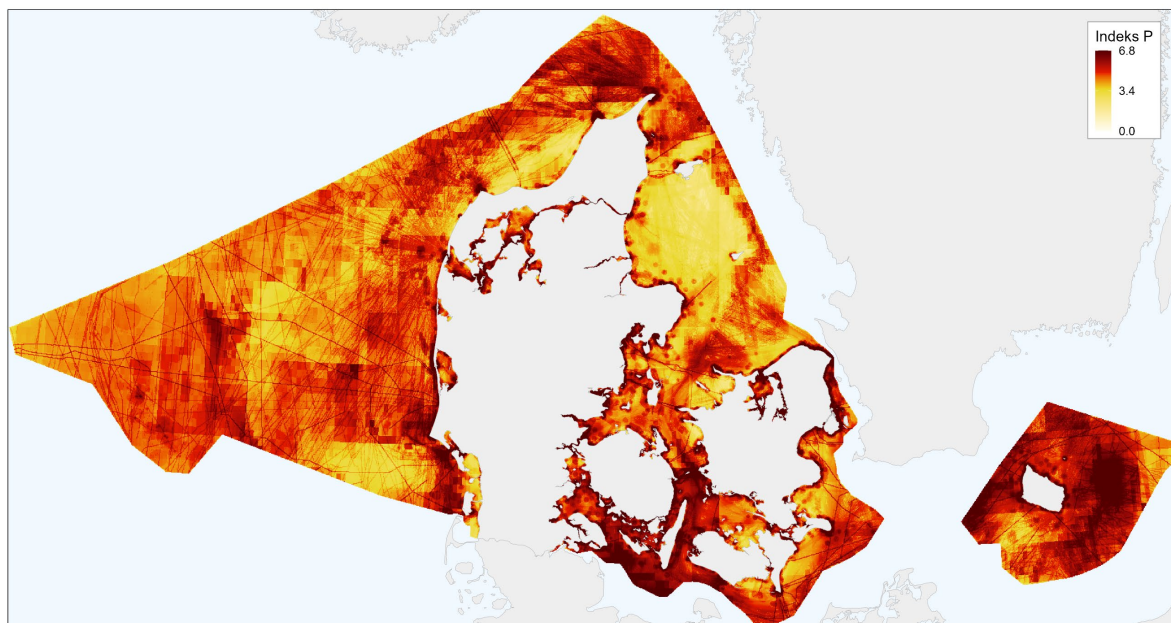
Kortlægningen af den samlede påvirkning er gennemført med en R-kode identisk med EcolImpactMapper (Stock, 2016), et software anvendt i flere projekter, bl.a. Basisanalyse II, og som beregner de samlede påvirkninger i henhold til metoden udviklet af Halpern et al. (2008). Den anvendte metode er i detaljer beskrevet i **Bilag 1**.

De 42 presfaktorer dækker følgende 13 grupper: 1) Marin akvakultur (saltvandsbaseret fiskeopdræt), 2) klimaforandringer, 3) industri og infrastruktur, 4) marint affald, 5) støj og energi, 6) ikke-hjemmehørende arter, 7) fysisk forstyrrelse og tab, 8) miljøfarlige stoffer, 9) næringsstoffer, 10) kommercielt fiskeri, 11) lystfiskeri og jagt, 12) skibsfart og transport og 13) rekreation og turisme. En detaljeret oversigt over denne gruppering findes i **Bilag 2**. En analyse af, hvordan disse 13 grupper påvirker specifikke økosystemgrupper kan findes i Andersen et al. (2020b).

De 52 økosystemkomponenter dækker følgende 7 grupper: 1) pelagiale habitater, 2) benthiske habitater, 3) kommercielle fiskearter, 4) krebsdyr, 5) særligt følsomme fiskearter, 6) havfugle og 7) marine pattedyr. En detaljeret oversigt over grupperingen, herunder undergrupper, findes i **Bilag 3**.

3 Resultater

Resultaterne af den indledende kortlægning er præsenteret i de følgende tre figurer: 1) et kort der viser antallet af presfaktorer fordelt over de danske farvande (**Figur 2**), 2) et kort der viser antallet af økosystemkomponenter fordelt over de danske farvande (**Figur 3**), og 3) et kort med angivelse af intensiteten for de potentielle kumulative påvirkninger i de danske farvande (**Figur 4**).



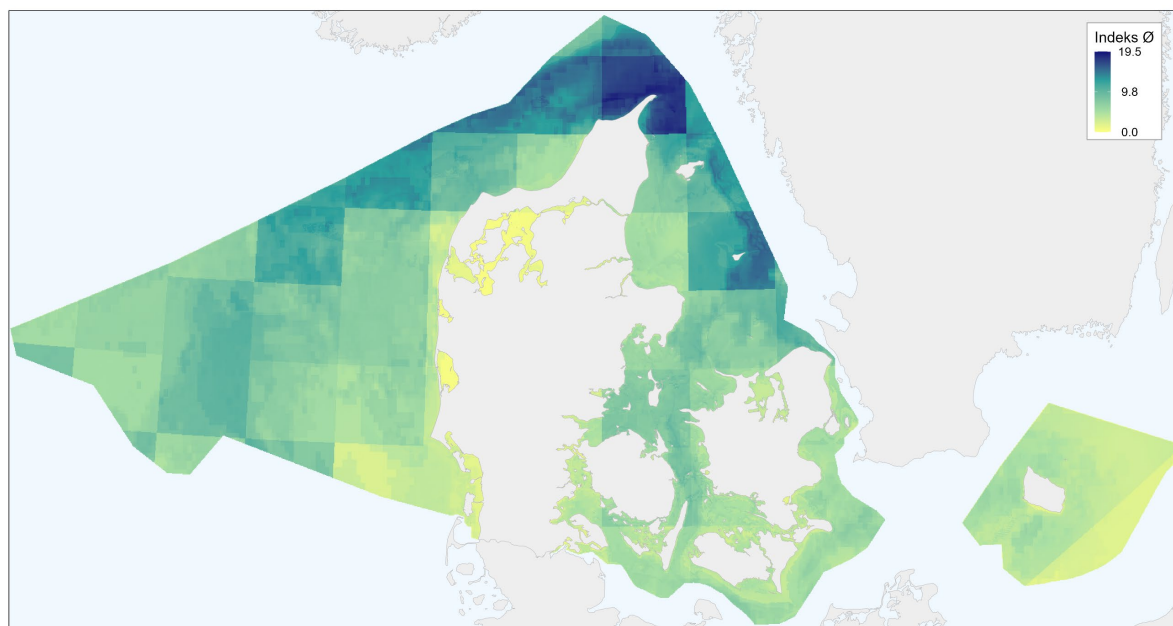
Figur 2: Presfaktorindeks med klima. Et tilsvarende kort, hvor klima ikke er inddraget, findes i Bilag 6.

Kortet med presfaktorer, vist ovenfor i **Figur 2**, viser summen af de normaliserede intensiteter af presfaktorer og deres rumlige fordeling. Mørke farver indikerer mange presfaktorer og lysere farver indikerer en lavere forekomst af presfaktorer. Den normaliserede og beregnede intensitet af presfaktorerne går fra under 1,0, i områder med mindst påvirkning, til 6,8 i områder med højest påvirkning. Områder helt uden nogen form for påvirkning findes ikke i de danske farvande. Områder med lave værdier kan findes i de centrale dele af Kattegat mellem Læsø og Anholt, sydvest for Bornholm og i visse kystvande, bl.a. Hjelm Bugt, Jammerbugt og Sejerø Bugt. Høje presfaktor-tal findes i de fleste kystvande, fx i nærheden af havne, kystvande hvortil der udledes spildevand, områder med mange fragtskibe og i indsejlingerne til flere af de store fjorde (bl.a. Limfjorden, Ringkøbing Fjord og Isefjorden). Stort set alle kystvande med relativt store oplande med landbrugsdrift har høje værdier for det samlede pres, det samme gælder for gennemstrømningsfarvande som Lillebælt, dele af Storebælt og Øresund.

Et tilsvarende kort for økosystemkomponenter viser deres rumlige variation, hvor områder med mange komponenter er markeret med mørk signatur og områder med få er markeret med lys signatur (**Figur 3**). Områderne med høje værdier er karakteriseret ved en forekomst af mange forskellige arter, habitater og samfund og ligger især i de nordlige dele af Nordsøen, Skagerrak og Kattegat. Områder med lave værdier findes i de danske dele af Østersøen, særligt omkring Bornholm og i kystområderne i de sydlige dele Lillebælt, Storebælt og Øresund.

Der er igennem de danske farvande en salinitetsgradient med høje saltkoncentrationer i Nordsøen og Skagerrak og lave koncentrationer i Østersøen. Færrest antal økosystemkomponenter findes i de områder med lav saltkoncentration og de højeste i fronten mellem Skagerrak og Kattegat, mest udtalt

omkring Grenen ved Skagen. Bemærk venligst, at visse datalag er aggregeret på en overordnet skala, fx fisk, som er opgjort i såkaldte ICES Grids - det er derfor, at man kan se de store firkanter, fx i **Figur 3**.



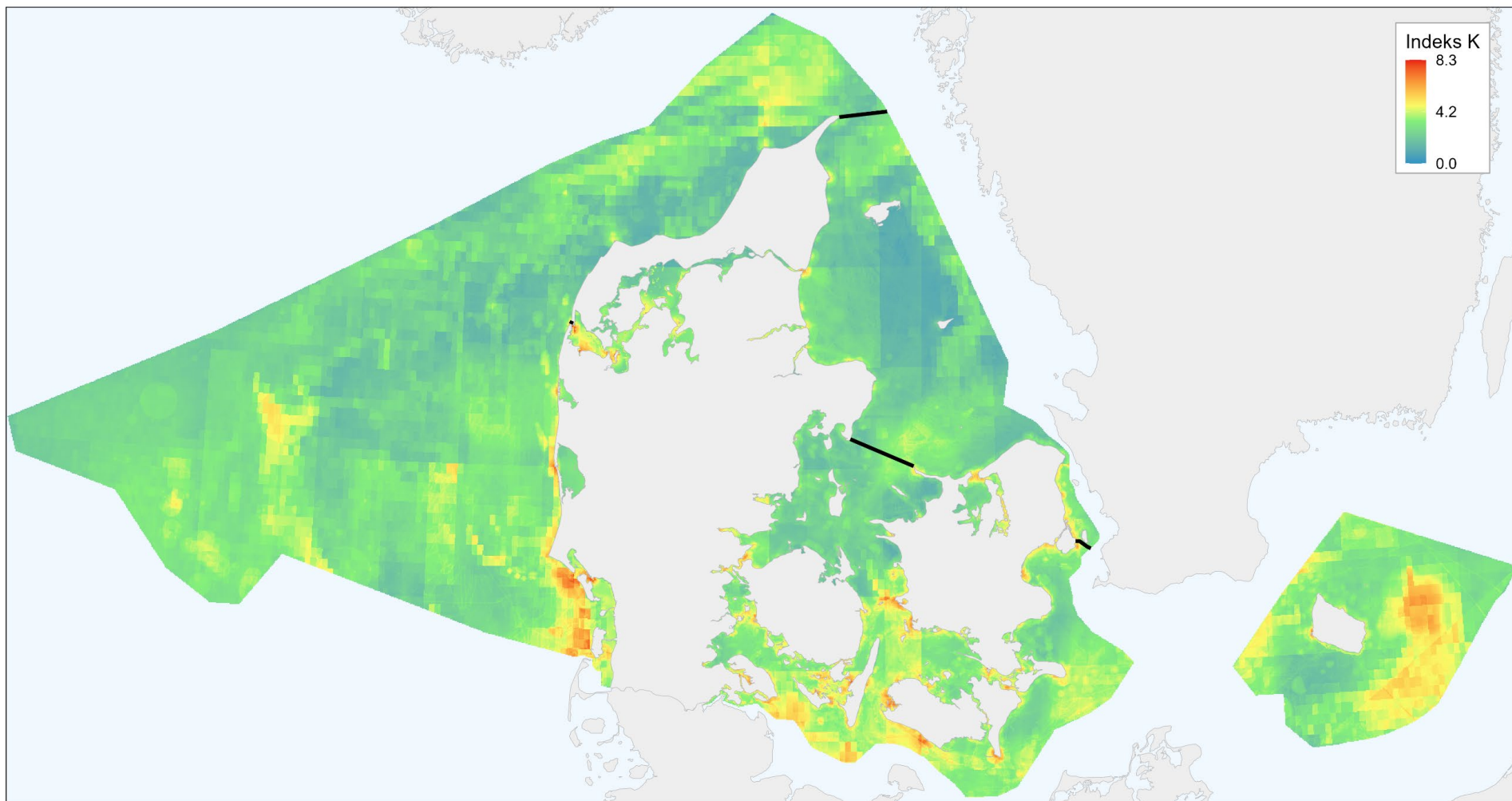
Figur 3: Økosystemindeks med klima. Et tilsvarende kort, hvor klima ikke er inddraget, findes i Bilag 6.

Det måske vigtigste produkt er et kort over de estimerede samlede effekter af menneskelige aktiviteter (**Figur 4**), hvor man kan se intensitet og rumlig variation. Her viser røde områder høje indekssværdier (større påvirkning), mens blå områder viser relativt lave indekssværdier (mindre påvirkning). Høje indekssværdier skyldes som udgangspunkt et stort sammenfald mellem presfaktorer og økosystemkomponenter. Indekset i **Figur 4** kan ses som et resultat for perioden 2016-2020, men danner også grundlag for yderligere analyser samt udgøre en baseline for scenarier.

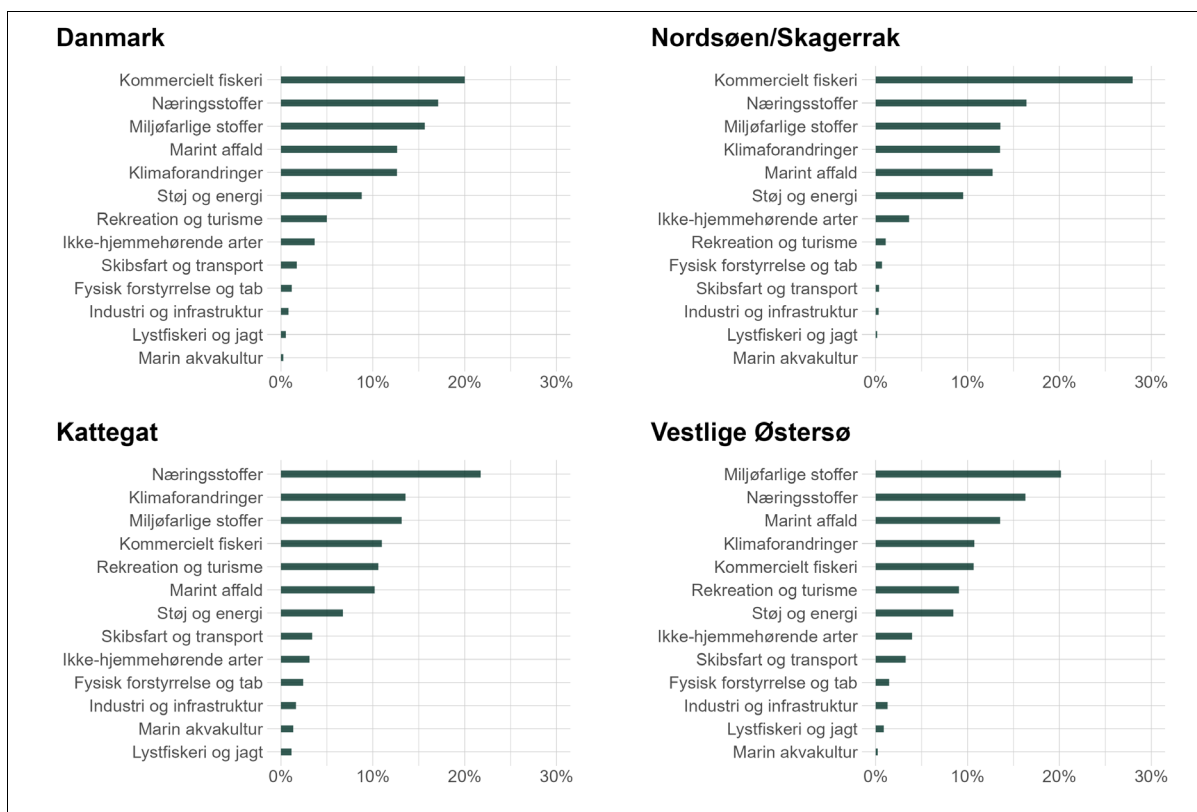
Åbne farvande med høje værdier for det samlede pres findes i dele af Nordsøen, i de nordlige dele af Skagerrak, i dele af Storebælt og Femern Bælt, i Øresund og øst for Bornholm. Åbne farvande med lavt samlet pres findes i visse dele af Nordsøen, i de sydvestlige dele af Skagerrak, i de centrale dele af Kattegat og sydvest for Bornholm.

I kystvandene findes nogle af de områder med højest pres, bl.a. i de fleste fjorde og lukkede områder, og i store dele af Lillebælt, Storebælt, Femern Bælt og Øresund. Det høje pres skyldes først og fremmest udledninger fra land. Kystvande med lave værdier for det samlede pres er bl.a. Jammer Bugt, Tannis Bugt, Sejerø Bugt, Musholm Bugt, nord for Sjælland, syd for Læsø og omkring Anholt (**Figur 4**).

Med udgangspunkt i de estimerede samlede påvirkninger (**Figur 4**) er det muligt at gruppere og rangordne de forskellige presfaktorer i forhold til effekterne af presfaktorerne på havet. Denne rangordning er for det samlede danske havareal, samt specifikt for Nordsøen/Skagerrak, Kattegat og de vestlige dele af Østersøen. For det samlede danske havareal (**Figur 5**) viser resultatet af rangordningen af de 13 grupper, at følgende fem grupper er dominerende: 1) kommercielt fiskeri, 2) næringsstoffer, 3) miljøfarlige stoffer, 4) marint affald og 5) klimaforandringer. Dernæst følger 6) støj og energi, 7) rekreation og turisme, 8) ikke-hjemmehørende arter, 9) skibsfart og transport, 10) fysisk forstyrrelse og tab, 11) industri og infrastruktur, 12) lystfiskeri og jagt og 13) marin akvakultur. Denne rangering er foretaget for det samlede areal, og selv om enkelte presfaktor måske er rangeret lavt, kan de lokalt have stor betydning – eksempler herpå er bl.a. ikke-hjemmehørende arter, havbrug, klappning og råstofindvinding.



Figur 4: CIA-indeks med klima. Et tilsvarende kort, hvor klima ikke er inddraget, findes i Bilag 6.

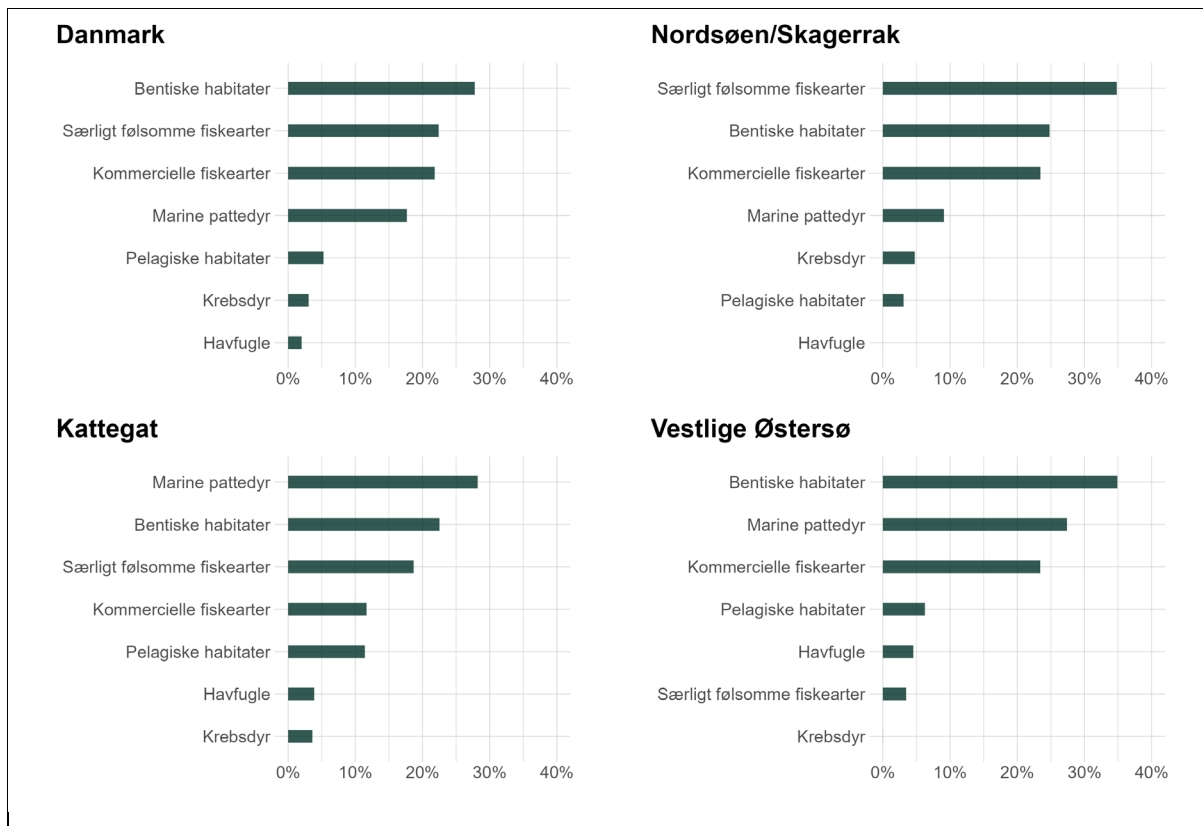


Figur 5: Presfaktorgrupper rangordnet efter deres bidrag til den samlede påvirkning i de danske farvande (med klima) på nationalt og regionalt plan. Tilsvarende rangordninger uden klima findes i Bilag 6.

For Nordsøen/Skagerrak (**Figur 5**) er resultatet af rangordningen af 12 grupper (bemærk der ikke er akvakultur i dette område) følgende: De tre væsentligste presfaktorer er 1) kommercielt fiskeri, 2) næringsstoffer (primært kystnært) og 3) miljøfarlige stoffer, herunder oliespild. Dernæst følger 4) klimaforandringer, 5) marint affald, herunder spøgelsesnet, 6) støj og energi, 7) ikke-hjemmehørende arter, 8) rekreation og turisme, primært kystnært, 9) fysisk forstyrrelse og tab, 10) skibsfart og transport og 11) lystfiskeri og jagt. For Kattegat er resultatet af rangordningen af de 13 grupper følgende: De tre væsentligste presfaktorer er 1) næringsstoffer, primært i kystområder, 2) klimaforandringer og 3) miljøfarlige stoffer. Dernæst følger 4) kommercielt fiskeri, 5) rekreation og turisme, 6) marint affald, 7) støj og energi, 8) skibsfart og transport, 9) ikke-hjemmehørende arter, 10) fysisk forstyrrelse og tab, 11) industri og infrastruktur, 12) marin akvakultur og 13) lystfiskeri og jagt. For de vestlige dele af Østersøen (**Figur 5**) er resultatet af rangordningen af de 13 grupper følgende: De tre væsentligste presfaktorer er 1) miljøfarlige stoffer, 2) næringsstoffer og 3) marint affald. Dernæst følger 4) klimaforandringer, 5) kommercielt fiskeri, 6) rekreation og turisme, 7) støj og energi, 8) ikke-hjemmehørende arter, 9) skibsfart og transport, 10) fysisk forstyrrelse og tab, 11) industri og akvakultur, 12) lystfiskeri og jagt og 13) marin akvakultur.

På samme måde som presfaktorerne er rangordnet, er det muligt at rangere økosystemkomponenterne og herved få en indikation af hvilke komponenter, som er mest påvirkede, dels i de danske farvande, og dels i de tre regionale områder (**Figur 6**). På nationalt plan er rangordningen af de syv økosystemkomponentgrupper følgende: 1) bentiske habitater, herunder sten- og boblerev 2) særligt følsomme fiskearter, 3) kommercielle fiskearter, 4) marine pattedyr, 5) pelagiske habitater, 6) krebsdyr og 7) havfugle. For Nordsøen/Skagerrak er rangordningen af økosystemkomponenterne følgende: 1) særligt følsomme fiskearter, 2) bentiske habitater, 3) kommercielle fiskearter, 4) marine pattedyr, 5) krebsdyr, 6) pelagiske habitater og 7) havfugle. For Kattegat er rangordningen af økosystemkomponenterne følgende: 1) marine pattedyr, 2) bentiske habitater, 3) særligt følsomme

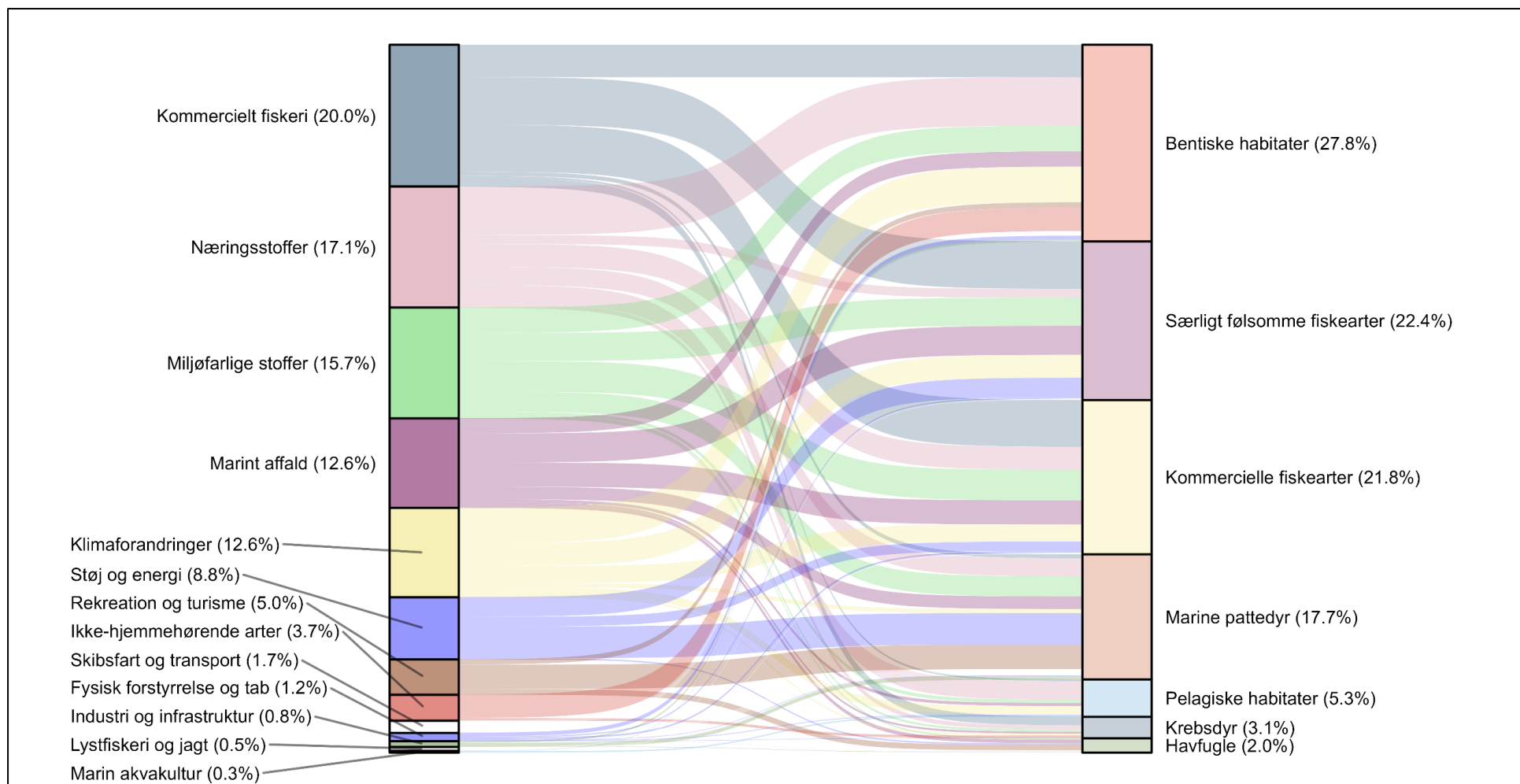
fiskearter, 4) kommercielle fiskearter, 5) pelagiske habitater, 6) havfugle og 7) krebsdyr. For de vestlige dele af Østersøen (**Figur 6**) er rangordningen af økosystemkomponenterne følgende: 1) bentiske habitater, 2) marine pattedyr, 3) kommercielle fiskearter, 4) pelagiske habitater, 5) havfugle, 6) særligt følsomme fiskearter og 7) krebsdyr.



Figur 6: Økosystemkomponentgrupper rangordnede efter deres andel af den samlede estimerede påvirkning i de danske farvande (med klima) på nationalt og regionalt plan. Tilsvarende rangordninger uden klima findes i Bilag 6.

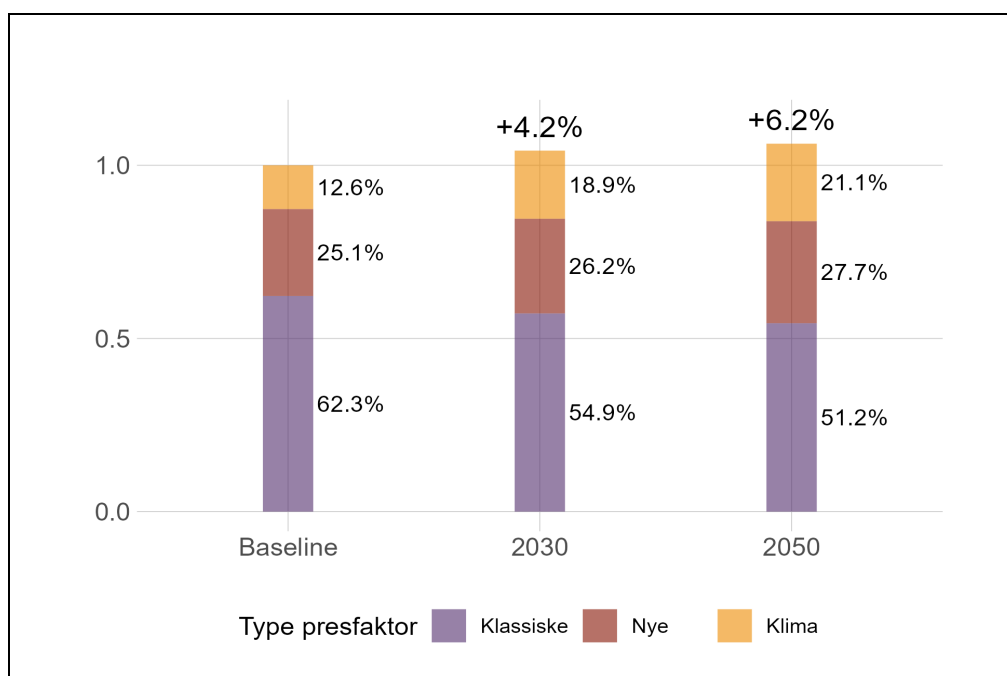
Den her rapporterede vurdering af det samlede pres i de danske farvande er på mange måder sammenlignelig med hvad HELCOM har gennemført for hele Østersøen. Metodikken er den samme, den væsentligst forskel er alene de anvendte datalag, hvor der ikke er et 1:1-match mellem data for både presfaktorer og økosystemkomponenter. At gå ind i en nærmere analyse af forskellene ligger uden for rammerne af nærværende rapport. Det skal dog understreges, at det er HELCOM's fortjeneste at man i Danmark er klædt på til at kunne gennemføre nationale analyser af det samlede pres i de danske havområder.

Fordelingen af bidrag til det samlede pres i de danske havområder fra de 13 grupper af presfaktorer og 7 grupper af økosystemkomponenter er illustreret i **Figur 7**. Søjlen til venstre viser de relative bidrag fra de 13 grupper. Det ses at kommercielt fiskeri er den gruppe med det største bidrag (20,0%) til den samlede beregnede effekt. Søjlen til højere viser fordelingen af effekt mellem økosystemkomponentgrupper. Her ses det at bentiske habitater er den gruppe med største andel af samlet effekt (27,8%). Tykkelserne af forbindelserne mellem presfaktorgrupperne og økosystemkomponentgrupperne er proportionelle med den effekt der kommer fra den specifikke kombination af presfaktorgruppe og økosystemkomponentgruppe. Selvom der er mindre bidrag fra interaktion med andre økosystemkomponenter, kan man se at hovedparten af den beregnede effekt relateret til kommercielt fiskeri kommer fra dens interaktion med tre økosystemkomponentgrupper: bentiske habitater, særligt følsomme fiskearter og kommercielle fiskearter. Dette ses af de tykke forbindelser fra kommercielt fiskeri til økosystemkomponentgrupperne.



Figur 7: Interaktion mellem presfaktorer og økosystemkomponenter. Søjlerne viser fordelingen af den samlede beregnet effekt for presfaktorgrupper (venstre) og for økosystemkomponenter (højre). Kurvernes bredde er proportionelle med den samlede effekt mellem presfaktorer og økosystemkomponenter i de pågældende grupper. Fx effekter på Bentiske habitater udgør det største bidrag til den samlede beregnet effekt for Næringsstoffer.

Opgørelsen af det samlede pres på de danske farvande er i en anden sammenhæng anvendt som en baseline og et grundlag for opstilling af scenarier for 2030 og 2050. En omfattende gennemgang af national lovgivning, strategier og politik og handlingsplanerne i de to regionale havkonventioner (HELCOM for Østersøen og OSPAR for Nordsøen) er lagt til grund for fremskrivninger af de enkelte presfaktorer (se Andersen *et al.*, 2023). Resultatet af denne analyse var overraskende nok, at det samlede pres stiger med 4,2% frem mod 2030 og med 6,2% frem mod 2050. I forbindelse med nærværende Basisanalyse er der gennemført en enkel opfølgende analyse, hvor presfaktorerne er grupperet i 1) 'klassiske' presfaktorer, 2) 'nye' presfaktorer og 3) klimarelaterede presfaktorer. Med 'klassiske' presfaktorer mener vi her; næringsstoffer, miljøfarlige stoffer, fiskeri, fysisk modifikation, sejlads, råstofindvinding, etc., 'nye' presfaktorer er; ikke-hjemmehørende arter, marint affald og støj og klimarelaterede presfaktorer er; temperaturanomali og vandstandsstigning. Baggrunden for denne analyse er en formodning om at de 'klassiske' presfaktorer vil falde samtidigt med at 'nye' pres-faktorer og klimaforandringer vil fylde mere fremadrettet (se Våhlstrøm *et al.* (2023) for baggrund). Resultaterne, som på et senere tidspunkt vil blive præsenteret og publiceret videnskabeligt, fremgår af **Figur 8** – først derefter, altså efter arbejdet er fagfællebedømt, kan resultaterne betragtes som endelige.

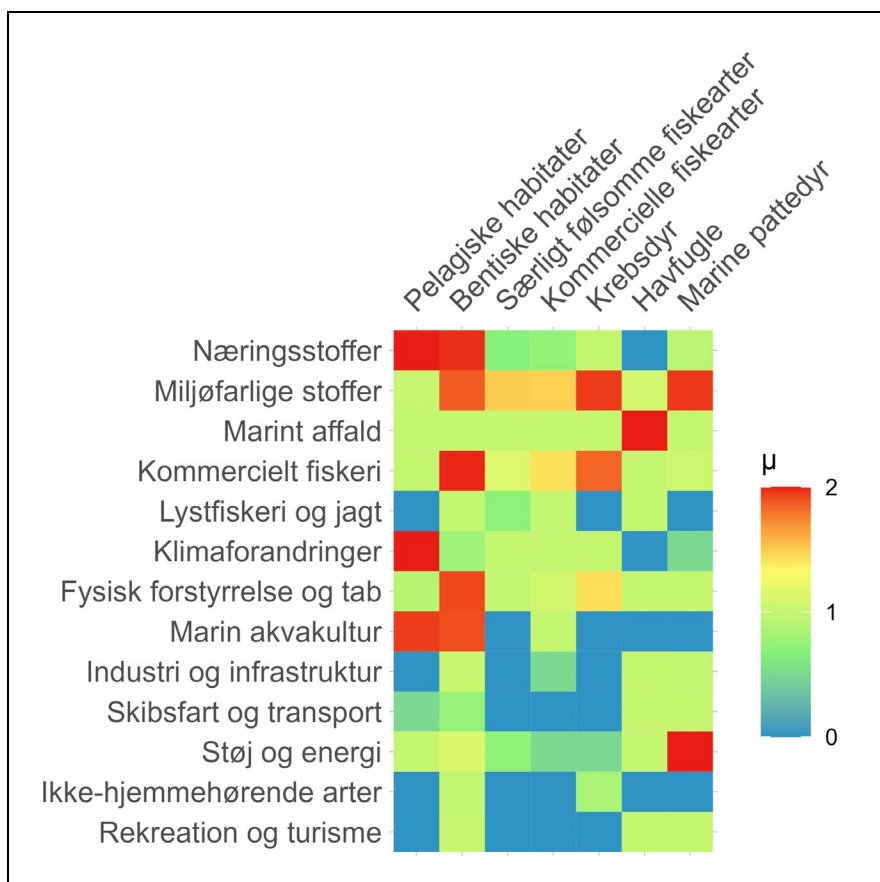


Figur 8: Forventet udvikling i den relative betydning af tre overordnede grupper af presfaktor: 1) klassiske presfaktorer (næringsstoffer, miljøfarlige stoffer, fiskeri, fysisk modifikation, sejlads, råstofindvinding, etc.), 2) 'nye' presfaktorer (ikke-hjemmehørende arter, marint affald og støj) og 3) presfaktorer relateret til klimaforandringer (temperaturanomali og vandstandsstigning). Højden af kolonnerne indikerer summen af den samlede beregnede effekt af presfaktorerne relativ til Baseline scenariet (indeks = 1.0). Summen af procentvis bidrag til den samlede effekt i hvert scenarie er dog altid 100%.

Antagelsen om at de 'klassiske' presfaktorer er for nedadgående blev jævnfør **Figur 8** bekræftet. Den relative betydning af 'klassiske' presfaktorer er på nuværende tidspunkt 62,3% og den forventes reduceret til 54,9% af det samlede pres i 2030 og 51,2% i 2050. De såkaldt 'nye' presfaktorer, bl.a. støj, marint affald og ikke-hjemmehørende arter m.v., udgør på nuværende tidspunkt 25,1% af det samlede pres og forventes at stige til 26,2% i 2030 og 27,7% i 2050. Klimarelaterede presfaktorer,

temperaturanomali og vandstandsstigning, udgør 12,6% af det samlede pres, og forventes at stige til mindst 18,9% i 2030 og 21,1% i 2050.

Det samlede effektindeks er et resultat af, at både de kortlagte presfaktorer finder sted sammen med økosystemkomponenter, og at de involverede økosystemkomponenter er følsomme over for presfaktorerne. Denne følsomhed repræsenteres i beregningerne af en følsomhedsvægt, μ . Følsomheden af økosystemkomponentgrupper over for grupper af presfaktorer fremgår af **Figur 9**. Indenfor grupperne kan følsomheden variere, fx den følsomhedsvægt der vises for kombinationen af presfaktorgruppen 'kommercielt fiskeri' og gruppen særligt følsomme fiskearter er en middelværdi for flere kombinationer af enkelte fiskeri-relaterede presfaktorer og fiskearter. Én bestemt fiskeart kan være (blevet vurderet af eksperterne til at være) mere følsom over en specifik type fiskeri end en anden art. De viste middelværdier er vægtet indenfor grupperne, sådan at følsomhedsvægte for kombinationer af presfaktorer og økosystemkomponenter der opstår oftere vægtes højere.



Figur 9: Justerede* gennemsnitsværdier af følsomhedsvægt (μ) for hver kombination af presfaktorgruppe og økosystemkomponentgruppe. Inden for hver af disse gruppekombinationer er der flere kombinationer af presfaktor (P) og økosystemkomponent (ØK), som har hver deres egen følsomhedsværdi. *De følsomhedsværdier for enkelte P/ØK-kombinationer der opstår oftere, vægtes højere når gennemsnittet beregnes på gruppeniveau.

4 Diskussion

Den anvendte metode er oprindeligt udviklet af Halpern et al. (2008), dens styrker og begrænsninger er velkendte (Halpern & Fujita, 2013) og den har været anvendt på globalt, kontinentalt, regionale såvel som nationale niveauer (Korpinen & Andersen, 2016). I Danmark har metoden været anvendt i alle tre Basisanalyser, tidligere i Basisanalyse I og II og med denne rapport også Basisanalyse III.

Sammenlignet med Basisanalyse II er antallet af presfaktorer ikke blot øget fra 35 til 42, kvaliteten af mange af datasættene er forbedret væsentligt. Alle de presfaktorer, der skal indgå i henhold til Havstrategidirektivet er således med i analyserne. Det vurderes, at dette datasæt er state-of-the-art sammenlignet med tidligere analyser og er sammenligneligt med, hvad der fx lægges til grund for HELCOM's og Det Europæiske Miljøagenturs seneste analyser.

De anvendte datasæt for økosystemkomponenter dækker overordnet alle vigtige komponenter, herunder pelagiske habitater, bentiske habitater, fisk, fugle og marine pattedyr. For visse komponenter er den rumlige dækning ikke optimal, fx for højere trofiske niveauer, som følge af enkelt dele af NOVANA-overvågningen ikke er landsdækkende. Fremadrettet kan en øget anvendelse af modeller, fx Species Distribution Modelling (SDM) være en løsning.

Følsomhedsvægte og effektdistancer er taget direkte fra ØKOMAR-projektet og har været publiceret dels i rapportform (Andersen *et al.*, 2020a) og dels i en videnskabelig artikel der er peer reviewet (Andersen *et al.*, 2023). Følsomhedsvægtende er tilvejebragt gennem besvarelse af et spørgeskema, som indeholder alle kombinationer af presfaktorer og økosystemkomponenter. Effektdistancer er alene fastsat for punktkilder/-påvirkninger og ligeledes tilvejebragt gennem spørgeskemaet. Metodemæssigt er der ingen ændringer i forhold til Basisanalyse I og II.

På national plan er resultatet af rangordningen af presfaktorer i de 13 grupper, at følgende fem grupper er dominerende: 1) kommercielt fiskeri, 2) næringsstoffer, 3) miljøfarlige stoffer, 4) marint affald og 5) klimaforandringer. Som nævnt er rangeringen foretaget for det samlede areal – det skal dog bemærkes at den enkelte presfaktor, selv om den måske er lavt rangeret på nationalt plan, kan have stor lokal eller regional betydning, fx havbrug og klapning. I Basisanalyse II var de fem dominerende grupper: 1) næringsstoffer, 2) ikke-hjemmehørende arter, 3) miljøfarlige stoffer, 4) støj og energi og 5) fiskeri. Klimaforandringer var ikke med, så det er relevant at nævnte gruppen rangeret som nummer 6, nemlig marint affald. At gå ind i en nærmere analyse af forskellene ligger uden for rammerne af nærværende rapport.

Rangordningen af økosystemkomponenter er interessant af flere grunde, først og fremmest fordi den giver et billede af hvilke organismer og habitater, der er mest påvirket af menneskelige aktiviteter, men også på grund af nogle markante regionale forskelle. At de bentiske habitater, herunder sten- og boblerev, viser sig som en af de mest påvirkede økosystemkomponenter er egentlig ikke overraskende, idet de er under pres fra både udledninger af næringsstoffer og påvirkning af bundslæbende fiskeriredskaber. Tilsvarende er det ikke overraskende, at særligt følsomme fiskearter og kommercielle fiskearter ligeledes falder ud som værende meget påvirkede økosystemkomponenter, hvilket er en konsekvens af fiskeri og bifangst. At marine pattedyr ligger relativt højt er ligeledes ikke overraskende, det skyldes bl.a. støj og forstyrrelse. Derimod kan det undre af havfugle ligger lavt, her er en del af forklaring dog at datagrundlaget for rangeringen nok ikke er optimalt, fx hvad angår overvågningen af havfugle. Hvad regionale forskelle angår skal følgende fremhæves: 1) For Nordsøen/Skagerrak er særligt følsomme fiskearter mest påvirkede og havfugle mindst påvirkede, 2) for Kattegat er det marine pattedyr som kommer ud som mest påvirkede, 3) for de vestlige dele af Østersøen er marine pattedyr

også under højt pres (nummer 2 efter bentiske habitater), mens særligt følsomme fiskearter og krebsdyr er mindst påvirket. Disse forskelle vurderes at skyldes forskellige rumlige udbredelse for økosystemkomponenterne og i nogle tilfælde at datagrundlaget i visse områder reelt ikke er landsdækkende, fx for havfugle. I Basisanalyse II blev der ikke gennemført en rangering af økosystemkomponenterne, hvorfor en direkte sammenligning ikke er mulig.

De gennemførte analyser for så vidt angår klimapåvirkninger skal betragtes for foreløbige, da de datalag, som repræsenterer klimapåvirkninger, er begrænset til temperaturanomalier og vandstandsstigninger. Der er behov for en bredere tilgang, fx bør andre klimarelaterede påvirkninger inddrages, det være sig forsurening, vandstandsstigninger, ændrede eksponeringsforhold m.v.

Det Europæiske Miljøagentur (EEA) har for nylig publiceret en såkaldt briefing på klimaforandringerens betydning for de marine økosystemer, som delvis er baseret på samme metode som anvendt i opgørelserne af de samlede påvirkninger i danske farvande. Her er der anvendt i alt 12 datalag for klimapåvirkning (se Reker *et al.*, 2023) og det vurderes at klimapåvirkningernes relative betydning alt andet lige vil øges, når et bedre datagrundlag anvendes (jf. Våhlström *et al.*, 2022). Det kan derfor overvejes at igangsætte et opfølgende pilotprojekt, der med udgangspunkt i eksisterende data (fx fra EEA) og/eller tilgængelige modellerede data (fx fra COPERNICUS), dels kan give en bedre viden og dels give et beslutningsgrundlag for hvordan klimaforandringer fremadrettet kan eller bør adresseres i forbindelse med vurderinger af det samlede pres.

En direkte sammenligning af opgørelserne af de samlede påvirkninger af de danske farvande i Basisanalyse I, II og III er som nævnt desværre ikke mulig. Det skyldes primært forskelle i de datalag for presfaktorer og økosystemkomponenter, der er anvendt, men også forskellige koordinatsystemer og rumlig opløsning. Som illustreret i **Bilag 7** er der ikke et en-til-en match i de anvendte datalag.

Fremadrettet kan der være et behov for at dokumentere udviklingen i det samlede pres på økosystemerne i de danske farvande. På nuværende tidspunkt er det kun muligt for de enkelte datalag for presfaktorer. Ønskes en samlet vurdering, er det en forudsætning, at der dels udvikles en hierarkisk struktur i forhold til både presfaktorer og økosystemkomponenter, dels foretages en form for normalisering (ud fra min.- og maks.-værdier). Disse forhold, og mange andre, af relevans for forbedrede værktøjer til kortlægning og analyse af samlede og potentielt kumulative påvirkninger, er det overordnede emne for et stort Horizon Europe-projekt ved navn GES4SEAS (fuld titel: 'Achieving Good Environmental Status for Maintaining Ecosystem Services by Assessing Integrated Impacts of Cumulative Pressures 2022-2026'; se www.GES4SEAS.eu). NIVA leder en central arbejdsopgave i GES4SEAS, og det kan allerede på nuværende tidspunkt konstateres, at projektet vil resultere i en række metodeforbedringer, som vil kunne styrke fremtidige Basisanalyser, regionale assessment-rapporter (fx i regi af HELCOM og OSPAR, se HELCOM, 2023 og OSPAR, 2023) og pan-europæiske tematiske assessment-rapporter (fx for Det Europæiske Miljøagentur (EEA; se Reker *et al.*, 2020)). Ligeledes forventes det fremadrettet, at man ikke kun er begrænset til at kortlægge og analysere det samlede pres på økosystemkomponenterne, men også på såkaldte 'økosystemtjenester' som er en betegnelse for de tjenester og goder, som mennesker får fra naturen, fx fødevarer og naturressourcer samt naturoplevelser og mental sundhed (se Gundersen *et al.* (2016) - og for et eksempel på en vurdering af det samlede pres henvises til Piet *et al.* (submitted)).

Afslutningsvis vil vi påpege, at det ikke kun er i Havstrategidirektivet at det samlede pres på det danske havmiljø skal vurderes. Tilsvarende vurderinger finder sted i regi af Vandrammedirektivet (for kystvande) og Havplandirektivet (for hele den eksklusive økonomiske zone). Der er et stort overlap i de data som skal anvendes under disse tre direktiver og det bør fremadrettet tilstræbes, at disse tre processer kobles

sammen. Derved forventes der at kunne opnå en række synergier, herunder fx en mere effektivt udnyttes af de forhåndenværende ressourcer.

Endelig skal vi påpege, at vi, i forbindelse med udarbejdelse af denne rapport, har noteret os, at der gennemføres omfattende overvågningsaktiviteter i relation til visse typer af udledninger af forurenende stoffer, det atmosfæriske nedfald og en bred vifte af fysisk, kemiske og biologiske parametre i de danske farvande, primært via NOVANA-programmet (Svendsen *et al.*, 2005; Miljøstyrelsen, 2023). På trods af at Havstrategidirektivet og Vandrammedirektivet også har fokus på den menneskelige påvirkning af natur- og miljøforholdene i havet omkring Danmark – og at Havplandirektivet også skal tage de samlede påvirkninger i betragtning – bliver der ikke gennemført en planlagt, koordineret og harmoniseret overvågning eller indsamling af data for alle de relevante presfaktorer (se fx Havstrategidirektivets Bilag 3, **Tabel 2**). Det anbefales, at der blive igangsat en systematisk og løbende indsamling af relevante datasæt, så kommende Basisanalyser ikke skal startes nærmest forfra og samtidigt kunne være fuldt koordineret med det tilsvarende arbejde i HELCOM og OSPAR.

5 Konklusioner

De gennemførte analyser af de menneskelige aktiviteter og påvirkninger i de danske farvande og deres potentielt kumulative effekter er baseret på en særdeles veldokumenteret metode og et, i international sammenhæng, stærkt og bredt datasæt. Analyserne er således forankret i datasæt for presfaktorer og økosystemkomponenter fra ØKOMAR-projektet. Førstnævnte datatype dækker alle de presfaktorer, som er relevante for Havstrategidirektivet, mens sidstnævnte datatype dækker fra plankton over bundlevende dyr og planter til fisk, havfugle og marine pattedyr.

Graden af påvirkning varierer meget mellem de forskellige havområder. De samlede effekter er generelt højest i fjordene og i de kystvande, hvortil der er knyttet oplande med mange landbrugsaktiviteter, og i de åbne farvande, hvor der enten sejler mange skibe, herunder fiskerbåde, eller er aktiviteter relateret til olie-/gasproduktion. Et lavere samlet pres finder man fx i de åbne farvande, hvor der ikke er aktiviteter relateret til fiskeri eller sejlads.

Rangordning af de potentielt kumulative effekter af menneskelige påvirkninger indikerer at fiskeri og næringsstoffer er de væsentligste påvirkningsfaktorer, med en geografisk 'forskydning' således at påvirkningerne fra fiskeriet er dominerende i åbne farvande og næringsstoffer i de kystnære farvande.

For forståelsen af de gennemførte analyser, er det afgørende at tage i betragtning, at der ikke er et 1:1-forhold mellem de samlede påvirkninger og miljøtilstande i åbne farvande og den økologiske tilstand i kystvande. Forvaltningen af de danske havområder kan således ikke baseres på en beregning af summen af påvirkninger/effekter og en generel reduktion af dette 'tryk', men på viden om interaktioner mellem de forskellige påvirkninger og økosystemkomponenter.

Samlet set viser den gennemførte kortlægning og analyserne at:

1. forurening (næringsstoffer, miljøfarlige stoffer, marint affald), fiskeri og klimapåvirkninger på nationalt plan er de tre dominerende påvirkningsfaktorer,
2. aktiviteter, der ikke er dominerende på nationalt plan eller regionalt plan, godt kan have store lokale eller stedspecifikke effekter,
3. at der er store geografiske variationer, herunder områder hvor presset fra menneskelige aktiviteter er relativt lavt (fx Jammer Bugt, Tannis Bugt, Sejerø Bugt, nord for Sjælland, syd for Læsø og omkring Anholt) og
4. at der ikke er en samlet national strategi for opgørelse af menneskelige påvirkninger (pres) på tværs af Havstrategidirektivet, Vandrammedirektivet og Havplandirektivet.

Fremadrettet foreslås det at koordineringen mellem basisanalyser i hhv. Havstrategidirektivet og Vandrammedirektivet styrkes, og i videst muligt omfang baserer sig på de samme data og også kobles til den nationale opgørelse af samlede påvirkninger i regi af Havplandirektivet. Det er vurderet at der vil være både synergier og effektiviseringsgevinster hvis dette forslag kan gennemføres som et delprogram under NOVANA-programmet, eventuelt med egne tekniske anvisninger og eget fagdatacenter.

6 Referencer

- Andersen, J.H. & A. Stock (eds.), S. Heinänen, M. Mannerla & M. Vinther (2013): Human uses, pressures and impacts in the eastern North Sea. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy. Technical Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 18. 134 pp. <http://www2.dmu.dk/Pub/TR18.pdf>
- Andersen, J.H., Z. Al-Hamdani, E.T. Harvey, E. Kallenbach, C. Murray & A. Stock (2020): Relative impacts of multiple human stressors in estuaries and coastal waters in the North Sea–Baltic Sea transition zone. *Science of The Total Environment* 704: 135316. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719353082>
- Andersen, J.H., J. Bendtsen, K.J. Hammer, E.T. Harvey, S.W. Knudsen, C. Murray, J. Carstensen, I.K. Petersen, J. Tougaard, S. Sveegaard, K. Edelvang, J. Egekvist, J. Olsen, M. Vinther, Z. Al-Hamdani, J.B. Jensen, J.O. Leth, B.C. Kaae, A.S. Olafsson, W. McClintock, C. Burt & D. Yocum (2020a): ECOMAR: A data-driven framework for ecosystem-based Maritime Spatial Planning in Danish marine waters. Results and conclusions from a development and demonstration project. NIVA Denmark report, 83 pp. <https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/2725462>
- Andersen, J.H., K.J. Hammer, E.T. Harvey, S.W. Knudsen, C. Murray, J. Carstensen, I.K. Petersen, S. Sveegaard, J. Tougaard, K. Edelvang, J. Egekvist, J. Olsen, M. Vinther, Z. Al-Hamdani, J.B. Jensen, J.O. Leth, B.C. Kaae & A.S. Olafsson (2020b): Supplementary material to ECOMAR: A data-driven framework for ecosystem-based Maritime Spatial Planning in Danish marine waters. NIVA Denmark report, 216 pp. <https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/handle/11250/2678968>
- Andersen, J.H., Z. Al-Hamdani, J. Carstensen, K. Edelvang, K.J. Hammer, E.T. Harvey, B.C. Kaae, J. Leth, W. McClintock, C.J. Murray, A.S. Olafsson, J. Olsen, S. Sveegaard & J. Tougaard (2023): Are European Blue economy ambitions in conflict with European environmental visions? *AMBIO*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-023-01896-3>
- Anon. (2008): Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive). *Official Journal of the European Communities* L 164/19-40. <https://eurlex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0056&from=EN>
- Anon. (2016): Lov om maritim fysisk planlægning. <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2016/615>
- Gundersen, H, T. Bryan, W. Chen (NIVA), F.E. Moy, A.N. Sandman, G. Sundblad, S. Schneider, J.H. Andersen, S. Langaas & M.G. Walday (2016): Ecosystem Services in the Coastal Zone of the Nordic Countries. Tema Nord Report, 108 pp. <https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1067839/FULLTEXT01.pdf>
- Halpern, B.S., S. Walbridge, K.A. Selkoe, C.V. Kappel, F. Micheli, C. D'Agrosa, J.F. Bruno, K.S. Casey, C. Ebert, H.E. Fox, R. Fujita, D. Heinemann, H.S. Lenihan, E.M.P. Madin, M.T. Perry, E.R. Selig, M. Spalding, R., Steneck & R. Watson (2008): A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems. *Science* 319: 948–952. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1149345>
- Halpern, B.S. & R. Fujita (2013): Assumptions, challenges, and future directions in cumulative impact analysis. *Ecosphere* 4: 131. <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/ES13-00181.1>
- HELCOM (2010): Ecosystem Health of the Baltic Sea. HELCOM Initial Holistic Assessment 2003-2007. Baltic Sea Environmental Proceedings 122. Helsinki Commission. 63 pp. <http://www.helcom.fi/stc/files/Publications/Proceedings/bsep122.pdf>

HELCOM (2023): State of the Baltic Sea. Third HELCOM holistic assessment 2016-2021. Baltic Sea Environment Proceedings n°194. <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2023/10/State-of-the-Baltic-Sea-2023.pdf>

Korpinen, S., L. Meski, J.H. Andersen & M. Laamanen (2010): Towards a tool for quantifying anthropogenic pressures and potential impacts on the Baltic Sea marine environment. A background document on the method, data and testing of the Baltic Sea Pressure and Impact indices. Baltic Sea Environmental Proceedings No. 125. 73 pp. <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/BSEP125.pdf>

Korpinen, S., L. Meski, J.H. Andersen & M. Laamanen (2012): Human pressures and their potential impact on the Baltic Sea ecosystem. Ecological Indicators 15: 105-114. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X11003104>

Korpinen, S. & J.H. Andersen (2016): A global review of cumulative pressure and effects assessments in marine environments. Frontiers in Marine Science. <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2016.00153/full>

Korpinen, S., L. Laamanen, L. Bergström, M. Nurmi, J.H. Andersen, J. Haapaniemi, E.T. Harvey, C.J. Murray, M. Peterlin, E. Kallenbach, K. Klansnic, U. Stein, L. Tunesi, D. Vaughan & J. Reker (2021): Combined effects of human pressures on European marine ecosystems. AMBIO 50:1325–1336. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-020-01482-x>

Miljø- og Energiministeriet (1995): Natur- og miljøpolitisk redegørelse 1995. Miljø- og Energiministeriet, København. 573 pp.

Miljø- og Fødevarerministeriet (2019): Danmarks Havstrategi II. Første del. God miljøtilstand. Basisanalyse. Miljømål. ISBN: 978-87-93593-73-2. 309 pp. https://mfvm.dk/fileadmin/user_upload/MFVM/Natur/Havstrategi/HSII_foerste_del_-_endelig_udgave.pdf

Miljø- og Fødevarerministeriet (2020): Natur- og Miljøpolitisk redegørelse. Miljø- og Fødevarerministeriet, København. ISBN: 978-87-7120-117-8, 23 pp. https://mim.dk/media/216713/20_natur-og_miljoepolitisk_redegoerelse_nmr_.pdf

Miljøstyrelsen (2015): Grøn Velfærdspolitik. Natur- og Miljøpolitisk redegørelse 2015. Miljøstyrelsen, København. ISBN: 978-87-93352-00-1, 56 pp. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2015/04/978-87-93352-00-1.pdf>

Miljøstyrelsen (2023): NOVANA. Det nationale overvågningsprogram for vandmiljø og natur 2023-27. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2023/09/978-87-7038-556-5.pdf>

Naturstyrelsen (2012): Danmarks Havstrategi. Basisanalyse. 146 pp. <https://naturstyrelsen.dk/media/nst/attachments/basisanalysen.pdf>

OSPAR (2023): QSR 2023 Synthesis Report. Link: <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/quality-status-reports/qsr-2023/synthesis-report/>

Piet, G.J. et al. (submitted): A Cumulative Impact Assessment on the North Sea capacity to supply Ecosystem Services. Under revision.

R Core Team (2023): R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org>

Reker, J., E.R. Gelabert, K. Abhold, S. Korpinen, C. Murray, M. Peterlin, D. Vaughan & J.H. Andersen (2020): Marine Messages II. Navigating the course towards clean, healthy and productive seas through

implementation of an ecosystem-based approach. EEA report, 77 pp. <https://www.eea.europa.eu/publications/marine-messages-2>

Reker, J., J.H. Andersen, T. Harvey, C. Murray, H.-M. Füssel, M. Butenschön, A. Fontan, R. Lecci, T. Lovato, P. Ramon Ocampo, A. Borja & S. Korpinen (2023): How climate change impacts marine life. EEA Briefing. DOI: 10.2800/05880; <https://www.eea.europa.eu/publications/how-climate-change-impacts>

Riemann, B. (Ed.), Z. Al-Hamdani, A.S. Olafsson, B. Hasler, B.C. Kaae, C.J. Murray, C. Göke, E. Kallenbach, H.J. Olesen, J. Nabe-Nielsen, J. Tougaard, J.H. Andersen, J. Egekvist, J.O. Leth, K. Dahl, M. Christoffersen, M. Zandersen, M. Termansen, S. Sveegaard & E.T. Harvey (2019): Maritim arealplanlægning i Øresundsregionen. Scenarier for udvikling af erhvervs-, samfunds- og miljømæssige forhold. Miljøbiblioteket, Aarhus Universitetsforlag. 174 pp. ISBN 978 87 7184 887 8.

Stock, A. (2016): Open Source Software for Mapping Human Impacts on Marine Ecosystems with an Additive Model. J. Open Res. Softw. 4:7. <https://openresearchsoftware.metajnl.com/articles/10.5334/jors.88>

Svendsen, L.M., L. van der Bijl, S. Boutrup & B. Norup (2005): NOVANA. Det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen. Programbeskrivelse - del 2. Faglig rapport fra Danmarks Miljøundersøgelser. 128 pp. https://www2.dmu.dk/1_viden/2_publicationer/3_fagrappporter/rappporter/fr508.pdf

Uusitalo, L., H. Blanchet, J.H. Andersen, O. Beauchard, T. Berg, S. Bianchelli, A. Cantafaro, J. Carstensen, L. Carugati, S. Cochrane, R. Danovaro, A.-S. Heiskanen, V. Karvinen, S. Moncheva, C. Murray, João M. Neto, H. Nygård, M. Panttazi, N. Papadopoulou, N. Simboura, G. Srébaliené, M.C. Uyarra & A. Borja (2016): Indicator-based assessment of marine biodiversity – lessons learned from 10 case studies across the European seas. *Frontiers in Marine Science*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2016.00159/full>

Uusitalo, L., S. Korpinen, **J.H. Andersen**, S. Niiranen, S. Valanko, A.-S. Heiskanen & M. Dickey-Collas (2016): Exploring methods for predicting multiple pressures on ecosystem recovery: a case study on marine eutrophication and fisheries. *Continental Shelf Research* 121:48-60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2015.11.002>

Wahlström, I., L. Hammar, D. Hume, J. Pålsson, E. Almroth-Rosell, C. Dieterich, L. Arneborg, M. Gröger, M. Mattsson, L. Zillén Snowball, G. Kågesten, O. Törnqvist, E. Breviere, S.-E. Brunnabend, P.R. Jonsson (2022): Projected climate change impact on a coastal sea—As significant as all current pressures combined. *Global Change Biology* 28(17): 5310-5319. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/gcb.16312>

7 Bilag

Denne rapport indeholder følgende syv bilag:

- Bilag 1: Detaljeret metodebeskrivelse.
- Bilag 2: Liste over presfaktorer og gruppering.
- Bilag 3: Liste over økosystemkomponenter og gruppering.
- Bilag 4: Følsomhedsvægte.
- Bilag 5: Effektdistancer.
- Bilag 6: Supplerende figurer.
- Bilag 7: Overlap af datalag i BAI, BAII og BAIII.

Yderligere oplysninger om de anvendte data m.v. kan findes i Andersen *et al.* (2020b).

BILAG 1: Detaljeret metodebeskrivelse

Metoden til beregning af kumulative effekter følger den beskrevet af Halpern *et al.* (2008). Metodikken er etableret og anerkendt som et værktøj til kortlægning og analyser af menneskelige påvirkninger på marine økosystemer. Alle beregninger er udført i programmeringssproget R (R Core Team, 2023), som er gratis og bredt anvendt. Den udviklede R-kode implementerer de samme beregninger som i programmet EcolmpactMapper (Stock, 2016) og giver identiske resultater. Dette program er open-source og har implementeret de additive og gennemsnits-modeller og beregningsmetodik beskrevet af Halpern *et al.* (2008).

For at udføre beregningerne og køre modellen behøves tre forskellige datatyper:

- D_i den rumlige fordeling af presfaktorer. Alle presfaktorer er $\log(x+1)$ -transformeret og normaliseret til værdier mellem 0 og 1.
- e_j den rumlige fordeling af økosystemkomponenter. Alle økosystemkomponenter er $\log(x+1)$ -transformeret og normaliseret til værdier mellem 0 og 1.
- $\mu_{i,j}$ følsomhedsvægt dvs. en numerisk repræsentation af følsomheden af en økosystemkomponent j på en presfaktor i . Presfaktorer med en punktfordeling (fx. havne) med en effektdistance (baseret på ekspertvurderinger) var desuden præ-processeret ved at tilføje effektdistancen (km) angivet i Bilag 5.

Alle presfaktor- og økosystemkomponenter er kortlagt på det samme regulære gittersystem (raster) hvor hver gittercelle var 500 m x 500 m.

Normalisering

Ved at log-transformere og normalisere til værdier mellem 0 og 1 muliggør man sammenligning af data af forskellig karakter. Uden denne databehandling umuliggøres sammenligning af fx et datalag for skibsfartsintensitet med værdier mellem 1 og 14287 med et datalag for udbredelse af iltsvind med værdierne 0 og 1 (tilstede/ikke-tilstede). Ulemperne ved denne metode er imidlertid at alle datalag antages at have samme betydning. Dvs. i det tilstedeværelsen af iltsvind udgør samme pres som skibsfartsintensitet på 14287 både pr. år.

Effektberregning

Baseret på disse data, beregner Halpern *et al.*'s (2008) model det samlede additive kumulative effektindeks, I_{Sum} , for hver gittercelle (x,y) for n presfaktorer og m økosystemkomponenter:

$$I_{Sum}(x, y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m D_i(x, y) e_j(x, y) \mu_{i,j} \quad (\text{Eq. 1})$$

Denne analyse anvender den gennemsnitlige effektindeks, I_{Mean} , som bliver beregnet på en lignende måde som det additive kumulative effektindeks, men hvor I_{Mean} er beregnet som effektindekset normaliseret til den såkaldte "økosystem diversitetsindekset" eller "indeks Ø" E_{Div} :

$$E_{Div}(x, y) = \sum_{j=1}^m e_j(x, y) \quad (\text{Eq. 2})$$

$$I_{Mean}(x, y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{1}{E_{Div}(x, y)} D_i(x, y) e_j(x, y) \mu_{i,j} \quad (\text{Eq. 3})$$

Økosystem diversitetsindekset E_{Div} og presfaktorindekset, ”P indeks”, D, kvantificerer de samlede ”mængder” eller antal af hhv. økosystemkomponenter og presfaktorer. De blev beregnet som angivet i Stock & Micheli (2016).

Foruden et kumulativt effektindeks, blev bidraget fra hver presfaktor til det totale kumulative effektindeks beregnet. Bidraget fra hver presfaktor blev brugt til at rangordne presfaktorerne.

Følsomhedsvægt og effektdistancer

Som beskrevet ovenfor behøver programmet to rumlige datalag for at beregne den kumulative påvirkning i hver gittercelle: 1) presfaktorlag og 2) økosystemkomponentlag. Disse to datalag kombineres gennem presfaktor- og økosystemkomponent-specifikke følsomhedsvægte. Følsomhedsvægten repræsenterer sensitiviteten for en økosystemkomponent på en specifik presfaktor (Halpern *et al.*, 2007; Teck *et al.*, 2010).

Vi lavede derfor en matrix bestående af 52 presfaktorer og 52 økosystemkomponentlag og bad 18 eksperter vurdere sensitiviteten for hver kombination af presfaktor og økosystemkomponent (1=meget lav eller ingen, 2=lav, 3=moderat, 4=høj, 5=meget høj). Medianen af alle følsomheds-score blev beregnet til en følsomhedsvægt for hver kombination af presfaktorer og økosystemkomponenter. Foruden at vurdere sensitiviteten blev eksperterne bedt om at estimere effektdistancen for hver presfaktor dvs. den maksimale distance fra hvor en presfaktor forekommer til hvor den potentielt kan have en effekt (lokalt (< 1 km); > 1 km; > 5 km; > 10 km; > 25 km; og > 50 km).

Rangordning af presfaktorer

Rangordningen af presfaktorer var baseret på bidraget fra hver presfaktor til den totale kumulative påvirkning i hver enkelt gittercelle. Således kan påvirkningen fra de forskellige presfaktorer analyseres for de samlede danske havområder, for regioner og for specifikke områder. I dette studie er rangordningen lavet for hele Danmark og for tre regioner (danske dele af Nordsøen, Kattegat og vestlige Østersø). Rangordningen af presfaktorer viser deres effekt på økosystemkomponenterne i forhold til den samlede påvirkning fra samtlige presfaktorer. Rangordningen er baseret på analyse af potentielle kumulative effekter fra EcolmpactMapper.

BILAG 2: Liste over presfaktorer og grupper (42 datalag)

Næringsstoffer

Kvælstof vinter koncentrationer

Fosfor vinter koncentrationer

Miljøfarlige stoffer

Miljøfarlige stoffer

Bortskaffet kemisk ammunition

Oliespild

Marint affald

Marint affald

Kommercielt fiskeri

Fiskeri, langline

Fiskeri, pelagisk

Fiskeri, gællenet

Fiskeri, bundslæbende redskaber, finmaskede

Fiskeri, bundslæbende redskaber, grovmaskede

Skrab efter mustlinger

Fiskeri, slæb på havbunden (SAR surface)

Fiskeri, slæb under/i havbunden (SAR subsurface)

Lystfiskeri og jagt

Lystfiskeri

Jagt og regulering af fugle

Klimaforandringer

Havtemperaturstigning

Havniveaustigning

Fysisk forstyrrelse og tab

Klappladser

Uddybning i havne og skibsrunder

Råstofindvinding (i produktion)

Broer og kystkonstruktioner

Kystbeskyttelse og bølgebrydere m.v.

Marin akvakultur

Akvakultur: fiskeopdræt

Akvakultur: skaldyrsopdræt

Industri og infrastruktur

Undersøiske kabler

Offshore olie- og gasinstallationer

Olie- og gasledninger

Havvindmøller

Fyrtårne

Militære områder

Skibsfart og transport

Havneområder: industrielle

Skibsfart

Støj og energi

Energiproduktion

Impulsstøj

Kontinuerlig støj

Ikke-hjemmehørende arter

Ikke-hjemmehørende arter

Rekreation og turisme

Havne og marinaer: rekreative

Rekreationsområder ved kysten

Ikke-motoriserede vandfartøjer

Fritidssejlsads

Fritidsdykning

BILAG 3: Liste over økosystemkomponenter og grupper (52 datalag)

Pelagiske habitater

Produktivt overfladevand
Iltsvind

Bentiske habitater

Infralittoral grus
Infralittoral klipper og biogene rev
Infralittoral blandede sedimenter
Infralittoral mudder
Infralittoral sand og mudret sand
Circalittoral grus
Circalittoral klipper og biogene rev
Circalittoral blandede sedimenter
Circalittoral mudder
Circalittoral sand og mudret sand
Bathyale sedimenter
Stenrev natura 2000
Ålegras udbredelse

Følsomme fiskearter

Bruskfisk (*Chondrichthyes*)*

Gråhaj, *Galeorhinus galeus*
Skade, *Dipturus spp.*
Stjernehaj, *Mustelus spp.*
Storplettet rokke, *Raja montagui*
Tærbe, *Amblyraja radiata*
Sømrøkke, *Raja clavata*

Benfisk (*Osteichthyes*)*

Havkat, *Anarchichas lupus*
Helleflynderen, *Hippoglossus hippoglossus*
Skælbrosme, *Phycis blennoides*
Lange, *Molva molva*
Havtaske, *Lophius piscatorius*
Havmus, *Chimaera monstrosa*

Kommercielle fiskearter

Pelagiske fiskearter*

Sild, *Clupea harengus*
Makrel, *Scomber scombrus*
Sperling, *Trisopterus esmarki*
Sej, *Pollachius virens*
Brisling, *Sprattus sprattus*

Bentiske fiskearter*

Rødspætte, *Pleuronectes platessa*
Søtunge, *Solea solea*
Torsk, *Gadus morhua*
Kuller, *Melanogrammus aeglefinus*
Kulmule, *Merluccius merluccius*
Tobis, *Ammodytes spp.*
Pigvar, *Psetta maxima*

Krebsdyr

Hestereje, *Crangon crangon*
Jomfruhummer, *Nephrops norvegicus*
Dybavsreje, *Pandalus borealis*

Havfugle

Alkefugl, *Alcidae*
Sortand, *Melanitta nigra*
Edderfugl, *Somateria mollissima*
Mallemuk, *Fulmar spp.*
Toppet skallesluger, *Mergus serrator*
Rød-halset/Sort-halset lommer, *Gavia spp.*
Havlit, *Clangula hyemalis*

Marine pattedyr

Gråsæl, *Halichoerus grypus*
Spættet sæl, *Phoca vitulina*
Marsvin, *Phocoena phocoena*

* Undergrupper for fiskearter er kun til information. Resultatopgørelser er lavet på gruppeniveau.

BILAG 5: Effektdistancer

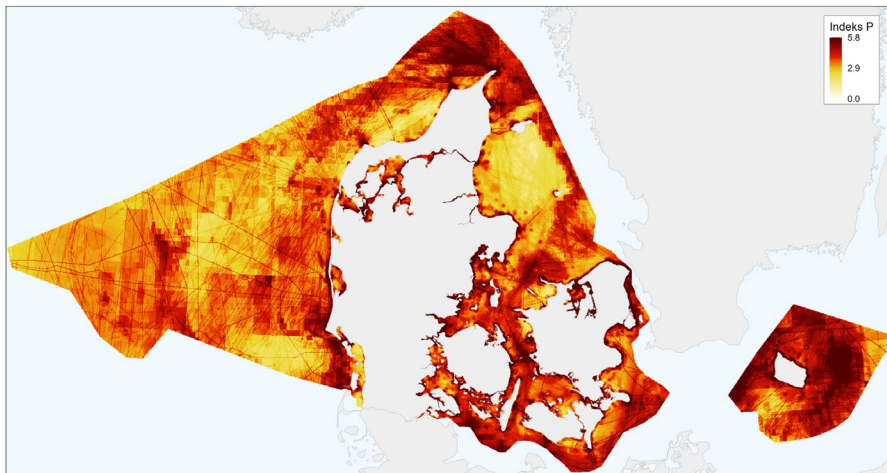
Tabel der viser median, gennemsnit, maksimum og minimumsværdier (i km) for de estimerede effektafstande, der anvendes i kortlægningen og analyserne.

Standardafvigelse (km) præsenteres også sammen med antallet af svar (n).

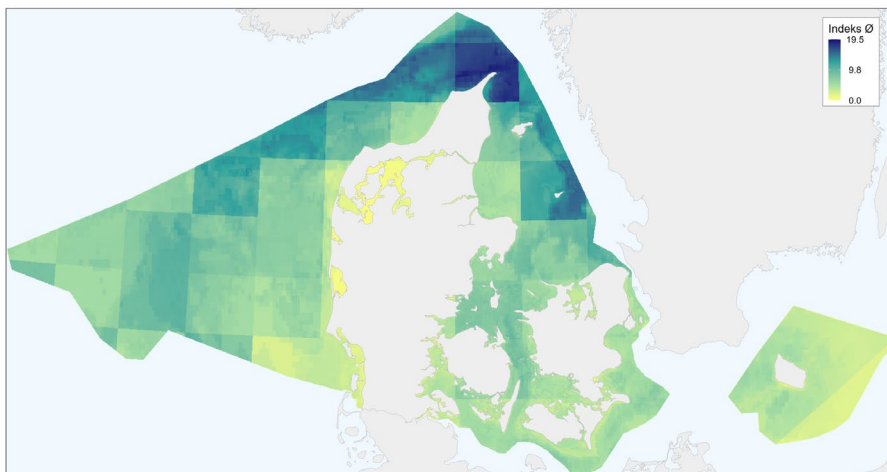
Punktkilder	Median	Gns.	Maks.	Min.	SD	n
Bortskaffet kemisk ammunition	5	11,6	50	0	18,1	19
Akvakultur: fisk- og skaldyrsfarme	5	10	50	0	7,0	20
Undersøiske kabler	0	0,10	1	0	0,37	20
Offshore olie- og gasinstallationer	1	3,5	25	0	5,77	20
Olie- og gasledninger	0	0,2	1	0	0,47	20
Varme- og kraftværker	1	3,1	10	0	3,67	14
Klappladser	5	8,9	50	0	12,9	20
Uddybning i havne og skibsrunder	5	6,4	50	0	12,7	14
Råstofindvinding (i produktion)	1	5,1	50	0	10,9	20
Havvindmøller	1	4,3	50	0	10,0	20
Broer og kystkonstruktioner	1	3,2	25	0	7,5	20
Kystbeskyttelse og bølgebrydere m.v.	1	3	25	0	6,8	14
Fyrtårne	0	5,4	50	0	13,2	14
Havneområder: industrielle	5	10,1	50	0	14,0	14
Havne og marinaer: rekreative	3	5,6	50	0	10,9	20
Skrab efter muslinger	1	1,2	10	0	2,6	18

BILAG 6: Supplerende figurer

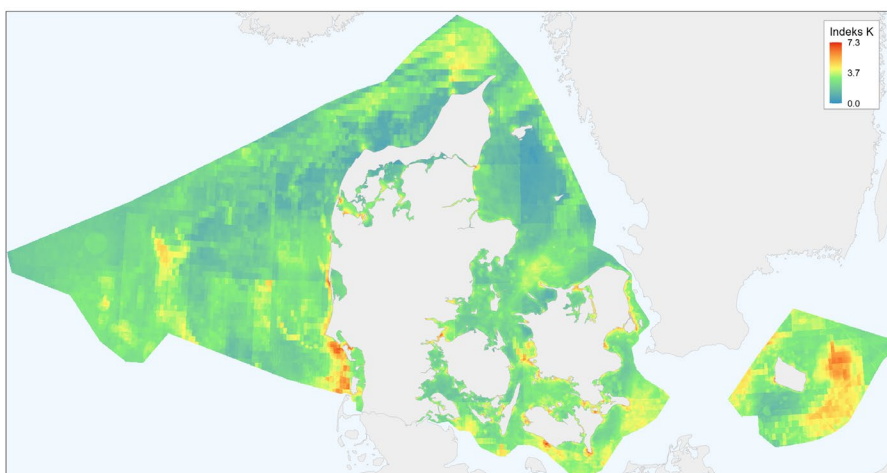
Som det fremgår andetsteds, er der udarbejdet supplerende figurer - disse er indeholdt i dette bilag.



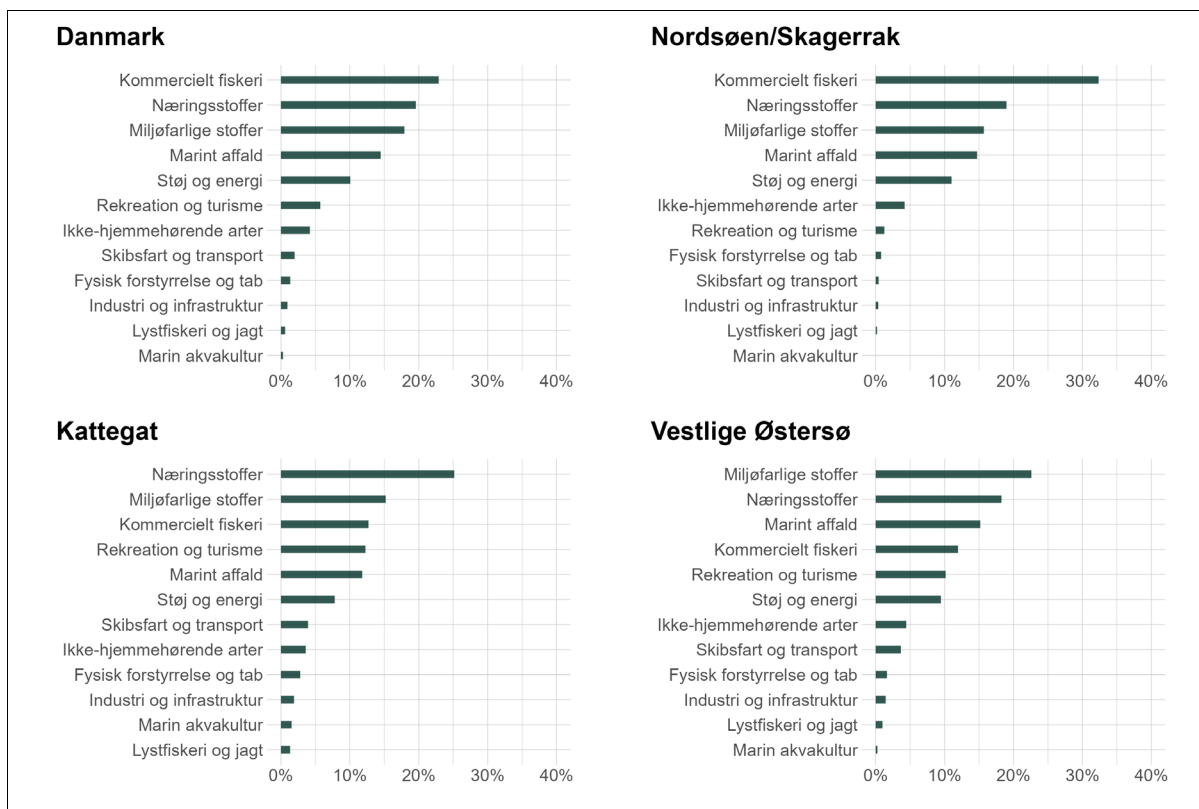
Figur B6.1: Presfaktorindeks uden klima.



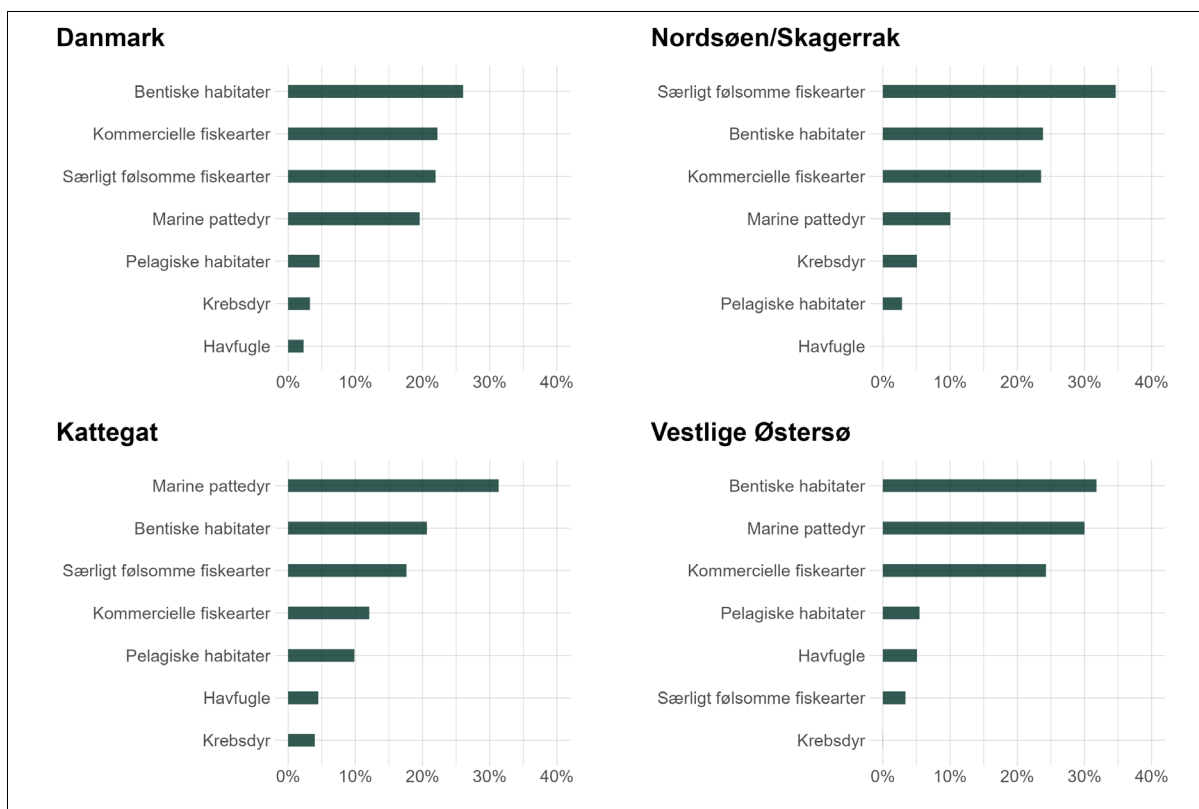
Figur B6.2: Økosystemindeks uden klima.



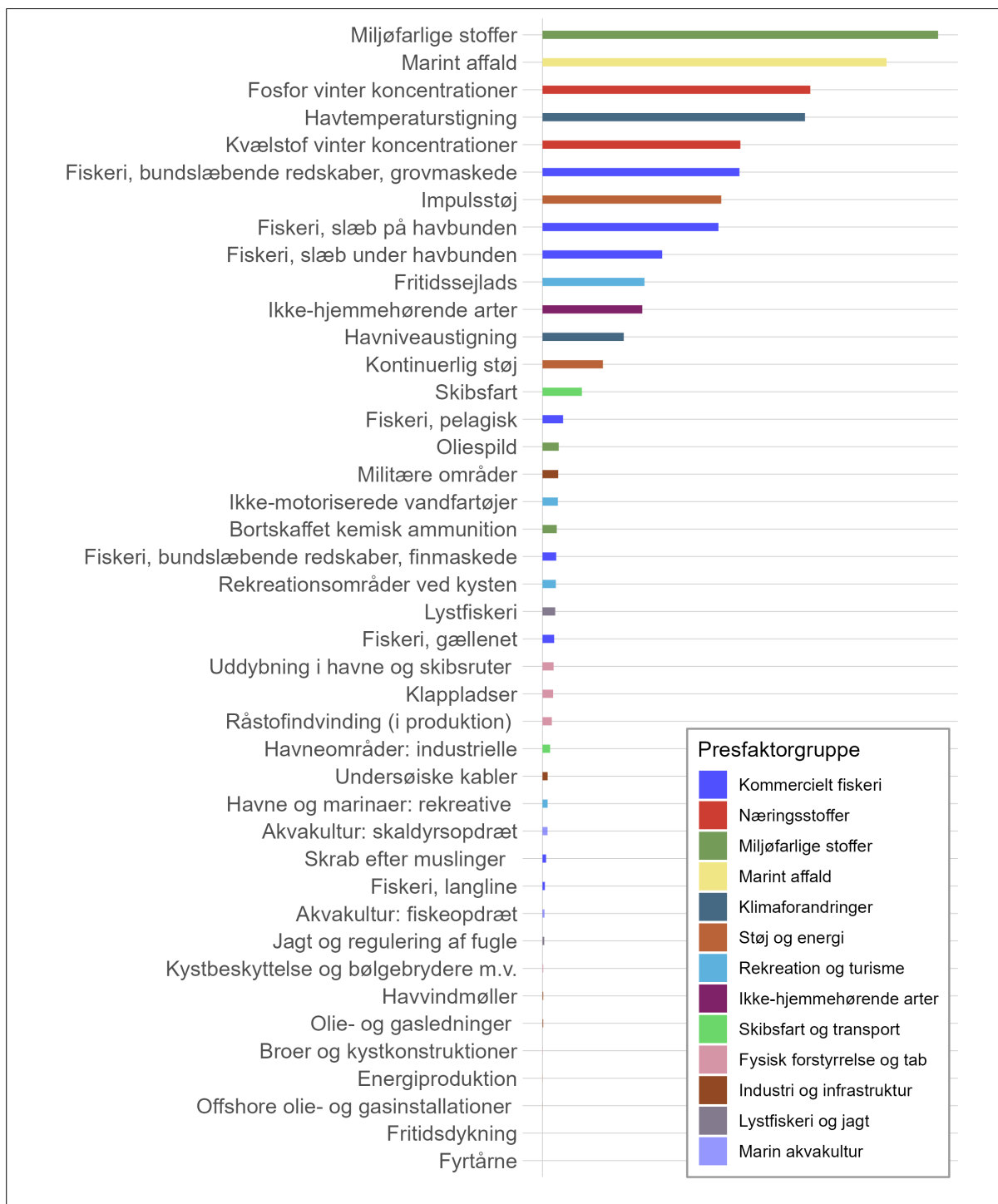
Figur B6.3: CIA-indeks uden klima



Figur B6.4: Rangordning af presfaktorenes beregnede påvirkning (grupperer) i de danske farvande uden klima.



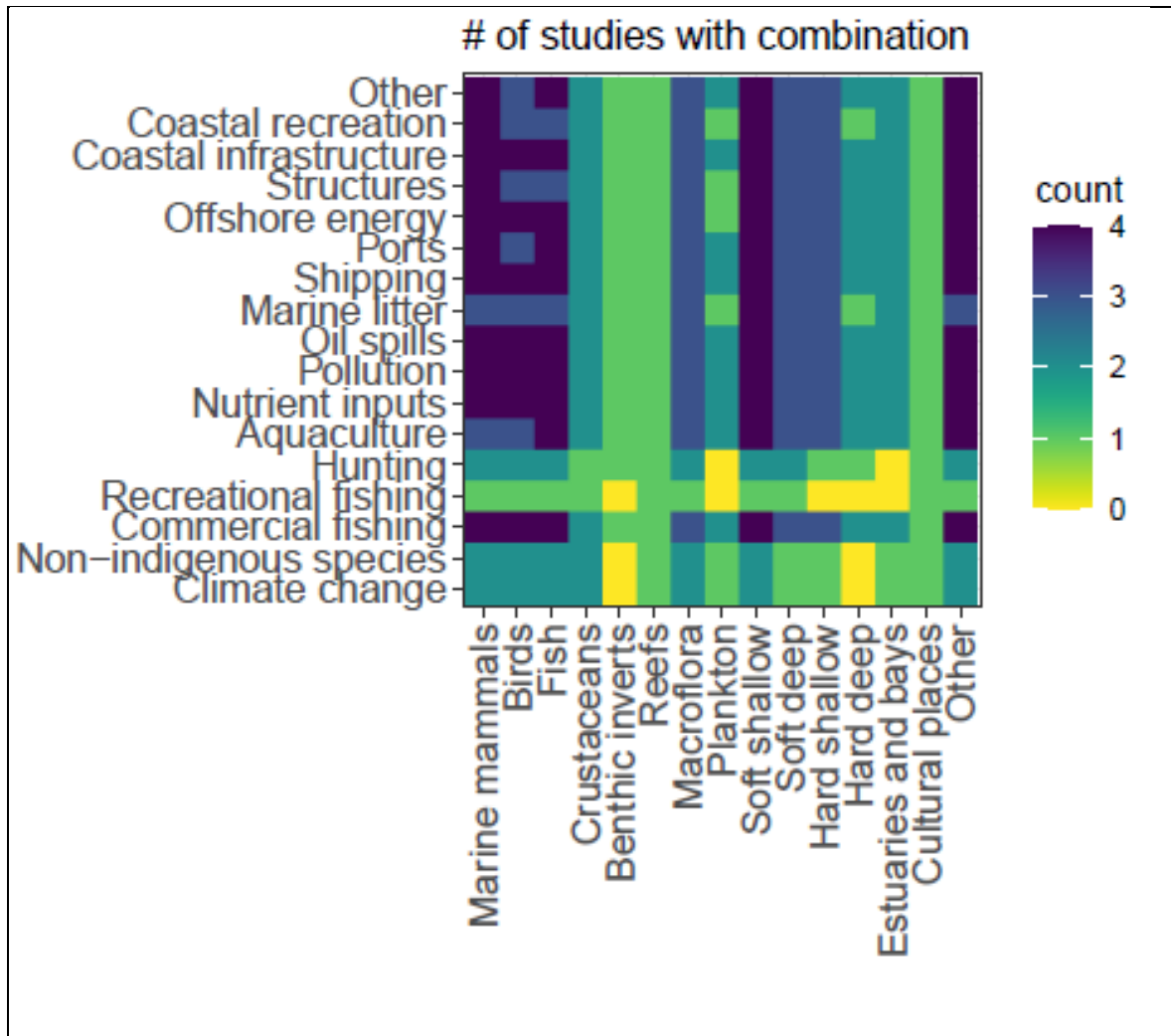
Figur B6.5: Rangordning af økosystemkomponenter (grupperer) i de danske farvande uden klima.



Figur B6.6: Rangordning af de enkelte presfaktors beregnede påvirkning i de danske farvande.

Bilag 7: Overlap af datalag i BAI, BAII og BAIII

Illustration af overlappet af datalag i kortlægningen og analyserne i Basisanalyse I, II og III baseret på grupperede datalag fra HOLAS I-, HARMONY-, RALAHA- og ØKOMAR-projekterne (ikke tidligere publicerede resultater).



Rent vand – det er klart

NIVA Danmark er en dansk afdeling under Norsk institutt for vannforskning (NIVA), som er Norges viktigste miljøforskningsinstitut for vandfaglige spørgsmål, og som arbejder med et bredt spektrum af miljø-, klima- og ressourcespørgsmål. Hos NIVA Danmark, som blev etableret i 2014, er forskning, engagement og uafhængighed i vores DNA. Vores primære fokus er anvendelsesorienteret forskning i akvatiske økosystemer, først og fremmest vandløb, søer, kystvande og åbne havområder. Nøgleområder for os er biodiversitet, eutrofiering, miljøfarlige stoffer i bredeste forstand og økosystemernes sundhedstilstand, herunder effekterne af forskellige menneskelige aktiviteter indvirkning på økosystemerne, samt løsninger på de udfordringer vandmiljøet har.