



Miljøtilstand og presfaktorer i Roskilde Fjord og Isefjorden

Bohr, Emil Hoffmann; Christensen, Jesper Philip Aagaard; Tairova, Zhanna; Timmermann, Karen

Link to article, DOI:

[10.11581/e3fcaaeb-7b5c-477d-bbe4-352809f7b6b1](https://doi.org/10.11581/e3fcaaeb-7b5c-477d-bbe4-352809f7b6b1)

Publication date:

2026

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Bohr, E. H., Christensen, J. P. A., Tairova, Z., & Timmermann, K. (2026). *Miljøtilstand og presfaktorer i Roskilde Fjord og Isefjorden*. DTU Aqua. DTU Aqua-rapport No. 492-2026 <https://doi.org/10.11581/e3fcaaeb-7b5c-477d-bbe4-352809f7b6b1>

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Miljøtilstand og presfaktorer i Roskilde Fjord og Isefjorden

Emil Hoffmann Bohr, Jesper Philip Aagaard Christensen, Zhanna Tairova
og Karen Timmermann (red.)

DTU Aqua-rapport nr. 492-2026



Miljøtilstand og presfaktorer i Roskilde Fjord og Isefjorden

Emil Hoffmann Bohr¹, Jesper Philip Aagaard Christensen²,
Zhanna Tairova² og Karen Timmermann¹(red.)

¹ Danmarks Tekniske Universitet, Institut for Akvatiske Ressourcer, 2800 Kgs. Lyngby

² Aarhus Universitet, Institut for Bioscience, 4000 Roskilde

DTU Aqua-rapport nr. 492-2026

Kolofon

Titel:	Miljøtilstand og presfaktorer i Roskilde Fjord og Isefjorden
Forfattere:	Emil Hoffmann Bohr, Jesper Philip Aagaard Christensen, Zhanna Tairova og Karen Timmermann (red.)
DTU Aqua-rapport nr.:	492-2026
År:	Januar 2026
Reference:	Bohr, E.H., Christensen, J.P.Aa., Tairova, Z. & Timmermann, K. (red.) (2026). Miljøtilstand og presfaktorer i Roskilde Fjord og Isefjorden. DTU Aqua. DTU Aqua-rapport nr. 492-2026. https://doi.org/10.11581/e3fcaaeb-7b5c-477d-bbe4-352809f7b6b1l
Kvalitetssikring:	Forfattergruppen
Forsidefoto:	Ydre del af Roskilde Fjord og Isefjorden. Billede taget fra fly af Satish Pawar, DTU Aqua
Udgivet af:	Institut for Akvatiske Ressourcer, Henrik Dams Allé, 2800 Kgs. Lyngby
Download:	www.aqua.dtu.dk/publikationer
ISSN:	1395-8216
ISBN:	978-87-7481-436-8

DTU Aqua-rapporter er afrapportering fra forskningsprojekter, oversigtsrapporter over faglige emner, redegørelser til myndigheder o.l. Det fremgår af kolofonen, hvem der har kvalitetssikret rapporten.

Forord

I medfør af *Aftale om et Grønt Danmark* ("Trepartsaftalen") blev der nedsat et kystvandråd for Isefjorden og Roskilde Fjord, der er et rådgivende partnerskab, og hvis formål er at bidrage med viden og analyser, der kan understøtte den lokale indsats for sundere kystvand.

Holbæk Kommune har ansvaret og sekretariatsrollen for Kystvandrådet for Isefjorden og Roskilde Fjord. Som led i arbejdet ønsker Kystvandrådet for Isefjorden og Roskilde Fjord at få en kortlægning af den nuværende miljø- og naturtilstand i Isefjorden og Roskilde Fjord og beskrivelse af den historiske udvikling i tilstanden. Endvidere ønskes en kortlægning af de presfaktorer, som potentielt kan påvirke miljø- og naturtilstanden i de to fjorde.

Nærværende rapport ligger i forlængelse af tilsvarende rapporter for Lillebælt og Øresund (Timmermann 2022, 2023), og den belyser miljø- og naturtilstanden ved brug af indikatorer baseret på data fra offentligt tilgængelige kilder og data for eksisterende presfaktorer i fjordene.

Arbejdet med rapporten er finansieret af Kystvandrådet via en bevilling fra Ministeriet for Grøn Trepert og er udført af forskere ved DTU og Aarhus Universitet. Valg af metoder, behandling af data, beskrivelse og præsentation af resultater har udelukkende været forfatternes beslutning og ansvar.

Lyngby, Januar 2026

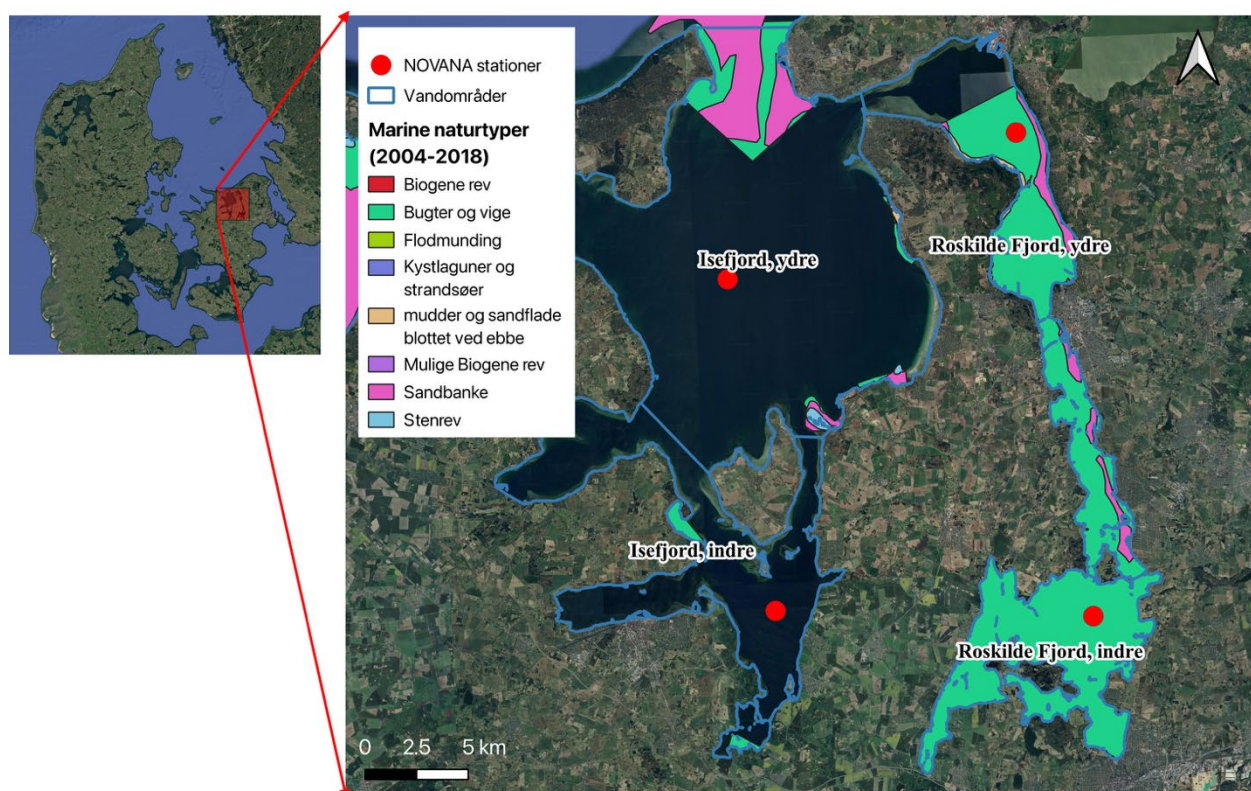
Karen Timmermann
Professor ved DTU Aqua, Sektion for Kystøkologi

Indhold

1.	Området omkring Roskilde Fjord og Isefjorden.....	5
1.1	Sedimentforhold	6
2.	Miljøtilstanden i Roskilde Fjord og Isefjorden.....	7
2.1	Klorofyl a.....	7
2.2	Ålegræs	9
2.3	Bundfauna	11
2.4	Lys på havbunden	12
2.5	Udvalgte fiskearter.....	13
2.6	Udvalgte fuglearter	16
3.	Presfaktorer i Roskilde Fjord og Isefjorden	18
3.1	Eutrofiering – næringsstofforurening	19
3.1.1	Næringsstofkoncentrationer i havvand	19
3.1.2	Næringsstoffbegrænsning af algevækst.....	22
3.2	Iltsvind.....	24
3.3	Klapning.....	27
3.4	Fiskeri med bundsløbende redskaber	28
3.5	Miljøfarlige stoffer	29
3.6	Invasive arter	30
3.7	Klimaforandringer	32
4.	Sammenfatning	35
	Referencer.....	35

1. Området omkring Roskilde Fjord og Isefjorden

Roskilde Fjord og Isefjorden er et sammenhængende fjordsystem på Sjælland (Figur 1.1), med at samlet areal på 430 km². Isefjorden er ca. 35 km lang, med en udmundning til Kattegat på ca. 3 km i bredden. Den gennemsnitlige vanddybde er 5–7 meter, med en maksimal dybde på ca. 17 meter vest for Orø. Saltindholdet ligger mellem 16 ‰ og 22 ‰. Fjorden har flere sidearme og bugter, bl.a. Lammefjorden, Holbæk Fjord, Tempelkrogen og Jægerspris Bugt. Roskilde Fjord er ca. 41 km lang med en udmundning til den nordlige del af Isefjorden på ca. 1 km. Vanddybden er typisk 4–5 meter, men enkelte steder findes dybe huller, som f.eks. Hestehullet med ca. 29 meters dybde. Fjorden har mange små øer, bl.a. Eskilsø, Elleø og Jyllinge Holme, samt den fredede halvø Bolund.



Figur 1.1: Kort over Danmark og de indre danske farvande samt kortudsnit, der viser de fire vandområder i Roskilde Fjord og Isefjorden, de marine naturtyper inden for Natura 2000-områderne, som er udpegningsgrundlag, samt de fire relevante NOVA-stationer.

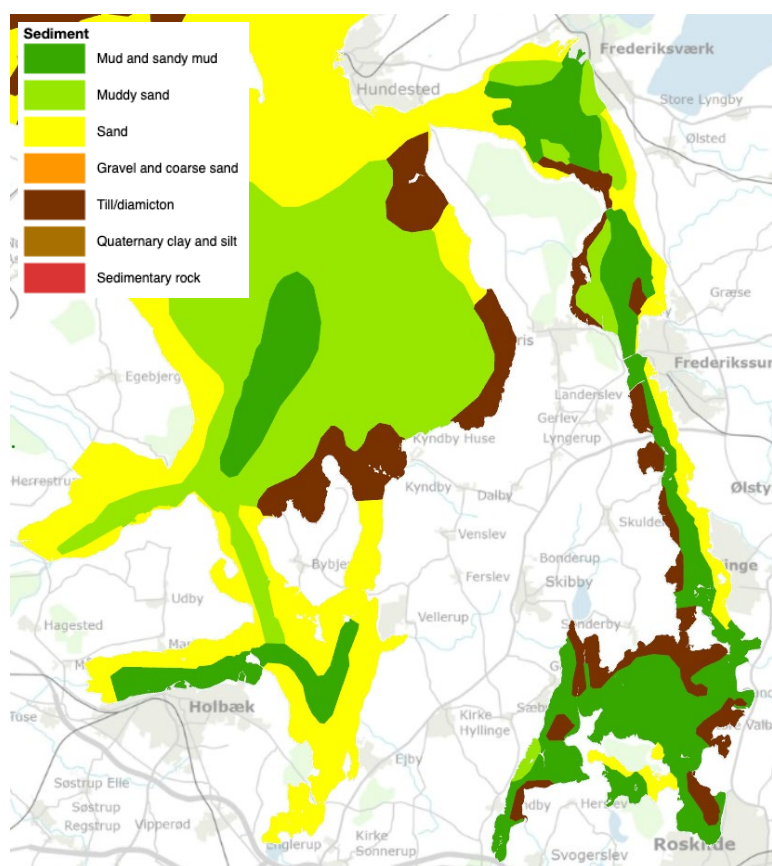
Roskilde og Isefjorden er hver inddelt i to vandområder hhv. indre og ydre Isefjorden samt indre og ydre Roskilde Fjord (Figur 1.1). Data fra disse vandområder anvendes til vurdering af tilstanden for bl.a. ålegræs, makroalger og bundfauna. Vandområderne er dækket af vandrammedirektivet og skal derfor opnå god økologisk tilstand senest i 2027.

Stort set hele Roskilde Fjord er et Natura 2000-område, som indeholder de marine habitattyper "Bugter og Vige" samt "Sandbanker" (Figur 1.1). I Isefjorden er der udpeget en flere mindre N2000-områder og selve udmundningen fra fjordsystemet til Kattegat er udpeget til N2000-område. N2000-områderne er dækket af habitatdirektivets krav om gunstig bevaringsstatus for de

arter og naturtyper, som er udpegningsgrundlag for de enkelte områder. Ydermere er der udpeget fire fuglebeskyttelsesområder i og omkring de to fjorde (Figur 1.1).

1.1 Sedimentforhold

Sedimenterne i Roskilde Fjord og Isefjorden består primært af sand og mudder, dog er flere kyststrækninger dækket med till (moræne), som består af en usorteret blanding af sand, sten og ler (Figur 1.1.1). Generelt ses det at kystområderne i Isefjorden i stor grad er dækket af sandede sedimenter, mens de centrale dele er mere mudrede. Roskilde Fjord er mest domineret af mudret og sandet bund, men har også strækninger med till (Figur 1.1.1).



Figur 1.1.1: Kort over sedimentforholdene for de øverste 0.5 m af bundsedimentet i Roskilde Fjord og Isefjorden. Kortet er taget fra GEUS' hjemmeside.

2. Miljøtilstanden i Roskilde Fjord og Isefjorden

Miljøtilstanden i Roskilde Fjord og Isefjorden vurderes efter de retningslinjer, som udstikkes af EU's vandrammedirektiv. Ifølge vandrammedirektivet skal alle de fire vandområder i fjordsystemet have opnået mindst "god økologisk tilstand" inden 2027. Den gode økologiske tilstand skal vurderes ud fra såkaldte biologiske kvalitetselementer, som i Danmark udgøres af indikatorerne "sommer klorofyl", "Ålegræssets dybdegrænse" og "sammensætningen af bundfauna, (DKI)". Derudover anvendes også andre parametre som vandets klarhed, iltforhold og næringsstofforhold i vurderingen af miljøtilstanden.

Vandrammedirektivets tilstandsvurdering er inddelt i de fem tilstandsklasser: Høj, God, Moderat, Ringe og Dårlig, hvor miljømålet om mindst god tilstand er defineret som "en tilstand der kun i mindre grad afviger fra en tilstand, som er upåvirket af menneskelig aktivitet".

2.1 Klorofyl a

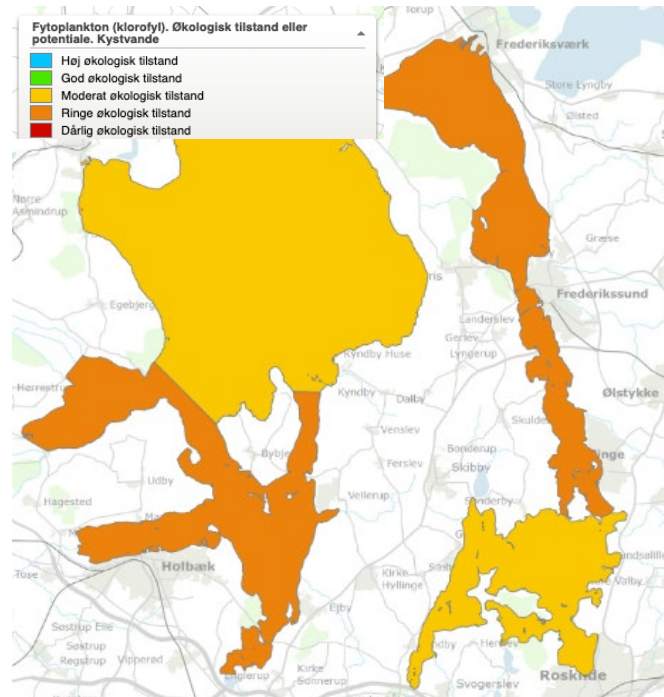
Koncentrationen af klorofyl a i havvand bruges til at vurdere mængden af mikroskopiske alger (planteplankton) i vandsøjlen. Algerne anvender klorofyl a til at lave fotosyntese, som er en forudsætning for algevækst (primærproduktion). Koncentrationen af klorofyl er en ofte anvendt indikator for algekoncentration og den afhænger dels af algevæksten og dels af græsning, sedimentation og anden dødelighed af algerne. Der er ofte en meget tæt sammenhæng mellem næringsstofforhold (eutrofieringsgrad) og klorofyl koncentrationer i havvand, hvilket er en af årsagerne til, at klorofyl a er en af de mest udbredte indikatorer for eutrofiering og miljøtilstand.

Generelt vil det gælde, at jo mere næring der er i vandet, jo højere vil algevæksten og dermed klorofylkoncentrationen være og jo dårligere er miljøtilstanden. Tilsvarende vil lave koncentrationer af et eller flere næringsstoffer hæmme algevæksten og give lavere klorofyl a koncentrationer i vandsøjlen. Klorofyl a koncentrationer har også direkte betydning for havmiljøets tilstand, idet høje klorofyl a koncentrationer giver uklart vand, udskygger bundvegetationen og øger risikoen for iltvind.

I vandrammedirektivet anvendes klorofyl a koncentrationer i perioden maj-sept. som indikator for det biologiske kvalitetselement "Fytoplankton", der er et ud af tre kvalitetselementer, som skal opnå mindst god økologisk tilstand.

I denne analyse er årlige indikatorværdier for klorofyl a beregnet for hvert af de fire vandområder i Roskilde Fjord og Isefjorden baseret på data fra de fire NOVANA-monitoringsstationer i fjordsystemet. Klorofyl-indikatoren beregnes ud fra klorofylmålinger taget i perioden maj-sept. Årlige indikatorværdier er anvendt til tidsserier og tilstandsvurderingen er baseret på gennemsnit af de seneste 6 års indikatorværdier. Beregning af indikatorværdier og grænseværdier mellem VRD tilstandsklasser er baseret på Timmermann et al., 2021.

Tilstandsvurderingen for kvalitetselementet "Fytoplankton" baseret på klorofyl a koncentrationer (Figur 2.1.1) viser, at vandområdet "Roskilde indre" og "Isefjord ydre" har moderat tilstand, hvorimod tilstanden for klorofyl a i "Roskilde ydre" og "Isefjord indre" har ringe tilstand vurderet ud fra Klorofyl a-indikatoren.



Figur 2.1.1: Tilstandsvurdering for kvalitets- elementet "Fytoplankton" baseret på klorofyl a koncentrationer i perioden maj-sept. Farvekategorier henviser til tilstandsklassifikationen i vandrammedirektivet. Miljømålet for alle vandområder er mindst god økologisk tilstand (grøn eller blå). Data til beregninger af indikatorværdier er fra NOVANA-overvågningen og der er anvendt data fra perioden 2017-2022 i beregning af tilstanden. Kortet er fra Miljøgis.

Tidsserier for sommer klorofyl a koncentrationer i de fire vandområder i fjordsystemet viser overordnet set, en relativt stor variation i perioden maj-sept. og også en del år-til-år variation med tendens til de højeste klorofylkoncentrationer i 1990'erne, efterfulgt af et fald (Figur 2.1.2). Særligt i den indre del af Isefjorden er der sket et niveaufald i klorofylkoncentrationer omkring midten af 1990'erne.



Figur 2.1.2: Tidlig udvikling i sommer (maj-sept.) klorofyl koncentration. i perioden 1990-2025 for de fire vandområder i Roskilde Fjord og Isefjorden. Data er fra NOVANA-programmet. Manglende data skyldes, at der ikke laves målinger hvert år i alle vandområder. Det grå bånd repræsenterer variation (95% konfidensgrænser) i klorofyl koncentration indenfor et vandområde. Farvekategorier henviser til tilstandsklassifikationen i vandrammedirektivet. Miljømålet for alle vandområder er mindst god økologisk tilstand (grøn eller blå).

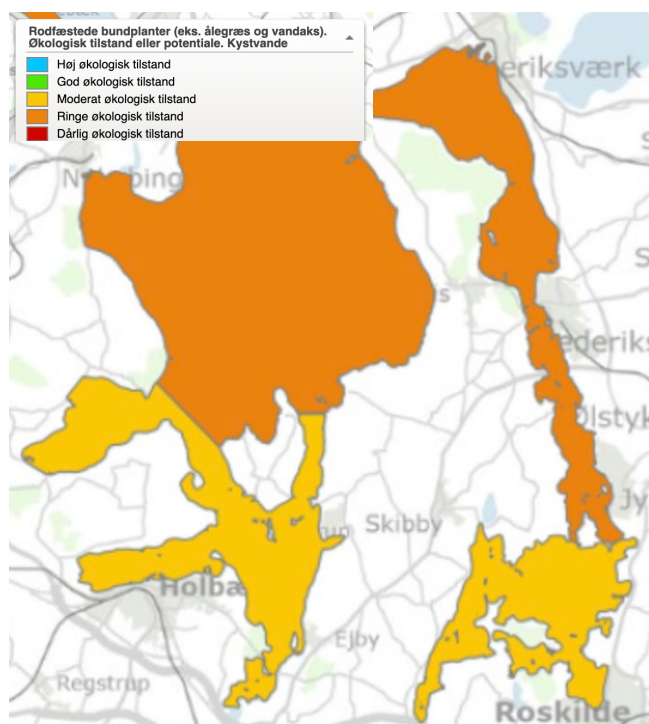
2.2 Ålegræs

Ålegræs er en marin blomsterplante, der vokser på lavt vand langs kyster i tempererede områder. Den danner tætte undervandsenge, der fungerer som vigtige levesteder for fisk, krebsdyr og mange små organismer. Ålegræsengene er en essentiel habitattype i danske kystvande, som udover at understøtte marine fødekæder også bidrager til at stabilisere sedimentet og reducerer erosion, samtidig med at de forbedrer vandkvaliteten ved at binde næringsstoffer. Ålegræs er ikke en alge, men en egentlig plante med rødder, blade og blomster, og den kan danne store sammenhængende områder på sand- eller mudderbund.

Ålegræsset er en vigtig indikator for havmiljøets tilstand. Det vokser på lavt vand og kræver klart vand med lav næringsstofbelastning. Når vandet er rent og lysindtrængningen god, kan ålegræs danne tætte enge, som er levested for mange arter. Hvis ålegræs forsvinder, tyder det ofte på eutrofiering, iltsvind eller forringet vandkvalitet.

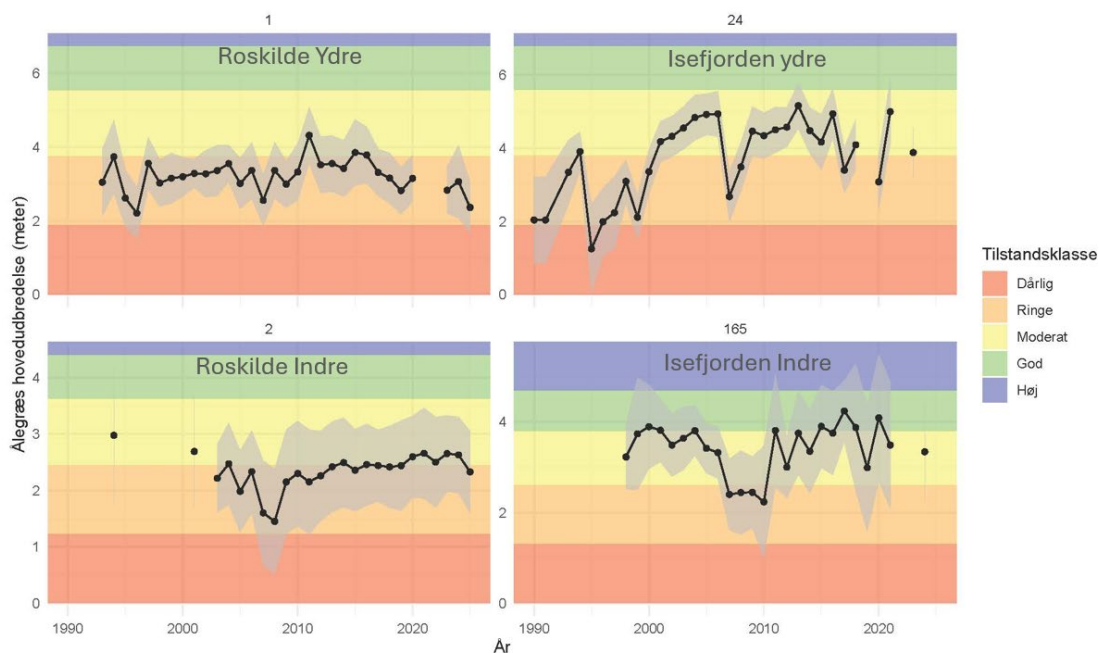
I Danmark anvendes ålegræssets dybdegrænse som indikator for vandrammedirektivets biologiske kvalitetselement "makroalger og blomsterplanter". Dybdegrænsen er defineret som den maksimale vanddybde for hovedudbredelsen af ålegræs (dækningsgrad på 10%). I denne analyse er indikatorværdier for ålegræssets dybdegrænse beregnet for hvert af de fire vandområder i Roskilde-Isefjord systemet ud fra de ålegræstransektorer, som er en del af NOVANA programmet. Årlige indikatorværdier for ålegræssets dybdegrænse er anvendt til både tidsserier og til tilstandsvurderingen, som er baseret på gennemsnit af 6 års indikatorværdier fra 2017-2022. Beregning af indikatorværdier og grænseværdier mellem VRD tilstandsklasser er baseret på Timmermann et al., 2020.

Tilstandsvurderingen baseret på ålegræssets dybdegrænse (Figur 2.2.1) viser, at vandområderne "Roskilde ydre" og "Isefjord ydre" har ringe tilstand vurderet ud fra ålegræs, hvorimod de indre vandområder i begge fjorde har moderat tilstand.



Figur 2.2.1: Tilstandsvurdering baseret på ålegræssets dybdegrænse. Farvekategorierne henviser til tilstandsklassifikationen i vandrammedirektivet. Miljømålet for alle vandområder er mindst god økologisk tilstand (grøn eller blå). Transektdata til beregning af ålegræssets dybdegrænse er fra NOVANA-programmet for perioden 2017-2022. Kortet er fra MiljøGIS.

Tidsserier for ålegræssets dybdegrænse i vandområderne i Roskilde-Isefjords systemet (Figur 2.2.2) viser en relativt stabil dybdeudbredelse for ålegræs igennem hele monitoringsperioden, hvilket er konsistent med resultater for ålegræstransekter i hele Danmark (Riemann et al., 2015). Ålegræs reagerer med stor tidsforsinkelse på forbedringer i f.eks. lysforhold og det kan derfor tage flere år før ålegræsset spreder sig til større dybder selv når lysforholdene er blevet forbedret.

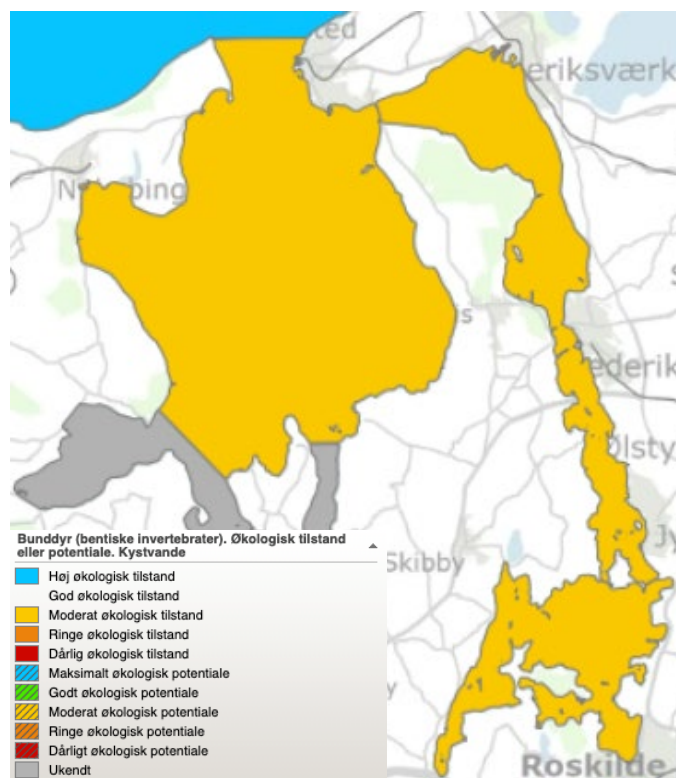


Figur 2.2.2: Tidslig udvikling i ålegræssets dybdegrænse i perioden 1990-2025 for de fire vandområder i Roskilde Fjord og Isefjorden. Data er fra NOVANA-programmet. Ålegræssets dybdegrænse beregnes som gennemsnit af flere transektmålinger i det enkelte vandområde. Manglende data skyldes, at der ikke laves transekt målinger hvert år i alle vandområder. Det grå bånd repræsenterer variation (95% konfidensgrænser) i dybdegrænsen indenfor et vandområde. Farvekategorier henviser til tilstandsklassifikationen i vandrammedirektivet. Miljømålet for alle vandområder er mindst god økologisk tilstand (grøn eller blå).

2.3 Bundfauna

Biodiversiteten af bundfauna, målt ved det danske kvalitetsindeks (DKI) anvendes som indikator for vandrammedirektivets biologiske kvalitetselement "bundfauna". I denne analyse er indikatorværdier for DKI beregnet for det enkelte vandområde i Roskilde og Isefjorden ud fra NOVANA-data. Årlige indikatorværdier er anvendt til tidsserier og tilstandsvurderingen er baseret på gennemsnit af 6 års indikatorværdier i perioden 2014-2019. Beregninger af DKI-værdier er leveret af Miljøstyrelsen (MST).

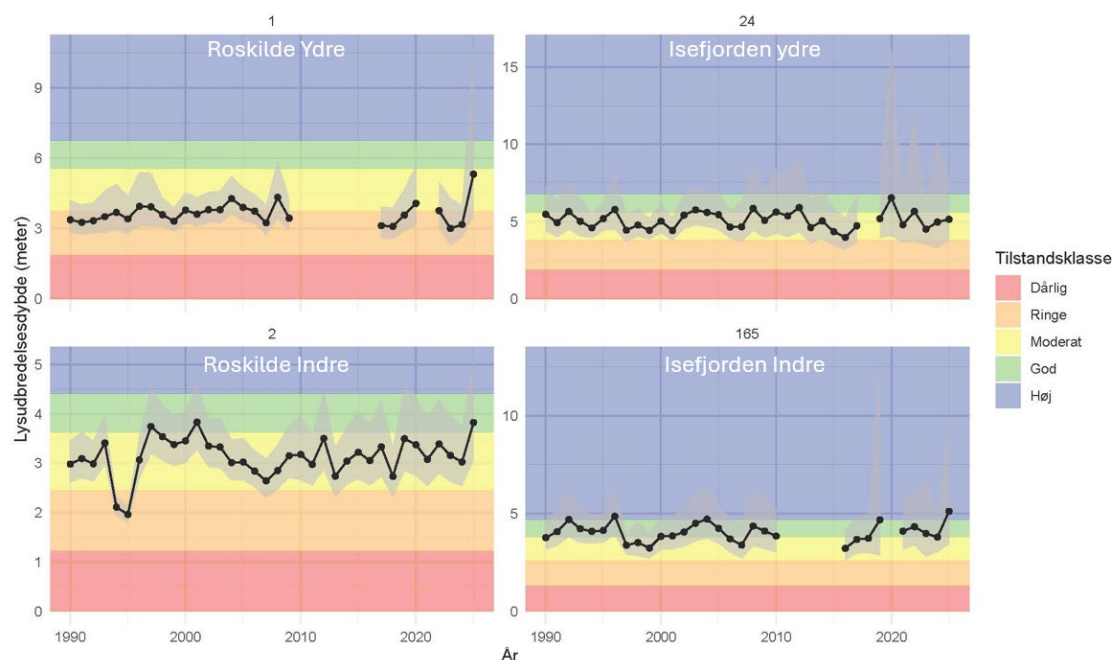
Tilstandsvurderingen baseret på DKI (Figur 2.3.1) viser, at bundfaunaen har moderat status i Roskilde inder og ydre samt Isefjorden ydre, som er de tre vandområder ud af fire, som har tilstrækkelige målinger for bundfauna til at lave en tilstandsvurdering.



Figur 2.3.1: Tilstandsvurdering for biodiversiteten af bunddyr beregnet ud fra det danske kvalitetsindeks (DKI). Farve-kategorierne henviser til tilstandsklassifikationen i vandrammedirektivet. Miljø-målet for alle vandområder i Roskilde og Isefjorden er mindst god økologisk tilstand (grøn eller blå). Beregninger af DKI er leveret af MST og er baseret på bundfauna overvågningsdata fra NOVANA-programmet for perioden 2014-2019. Kortet er fra MiljøGIS.

2.4 Lys på havbunden

Lysforholdene i havet og særligt i kystvande er helt afgørende for havets økosystem. Hvis vandet er tilstrækkeligt klart kan lyset nå havbunden og muliggøre fotosyntese hos bundlevende planter som ålegræs. Ålegræs fungerer som et vigtigt habitat for fisk, krebsdyr og smådyr, og det stabiliserer sedimentet, hvilket mindsker erosion. Når lysindtrængningen reduceres – for eksempel på grund af øget turbiditet eller næringsstofforurening – kan ålegræs og andre bundplanter ikke vokse, hvilket fører til tab af levesteder og påvirker hele økosystemet. Derfor er gode lysforhold en nøgelfaktor for et sundt og stabilt kystøkosystem. Ålegræs kan kun vokse ud til dybder, hvor der er tilstrækkeligt lys og derfor er dybdeudbredelsen af lys en vigtig parameter for den potentielle ålegræsudbredelse og samtidig en vigtig støtteparameter ift. at vurdere tilstanden af havmiljøkvaliteten. Den tidlige udvikling i lysets dybdeudbredelse i Roskilde Fjord og Isefjorden kan ses i figur 2.4.1. Dybdeudbredelsen for lys er her beregnet, som den maksimale vanddybde, hvor der netop er tilstrækkeligt lys på havbunden til at understøtte vækst af ålegræs. Som det ses af figur 2.4.1 er lysforholdene generelt bedre i Isefjorden sammenlignet med Roskilde Fjord, hvilket kan ses af, at lyset når havbunden på større dybder. I alle fire vandområder er lysforholdene dog for dårlige til at ålegræsset kan vokse ud til måldybden.

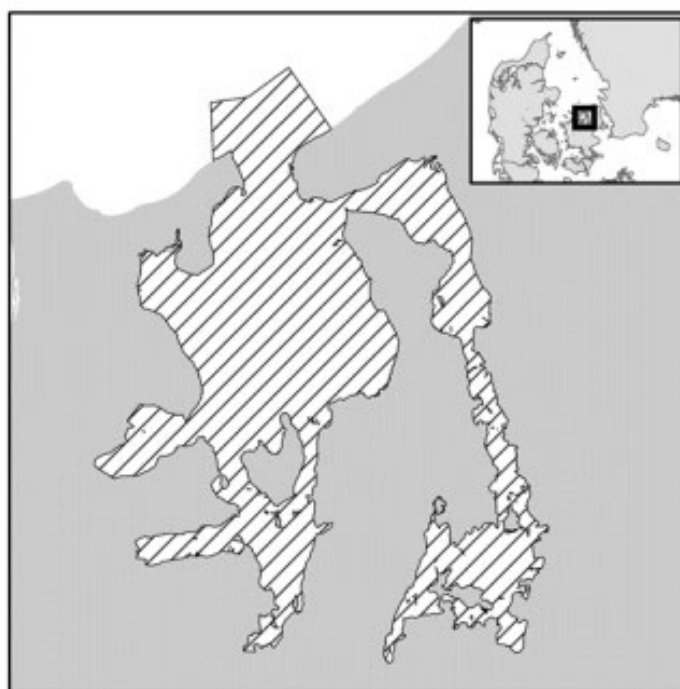


Figur 2.4.1: Tidslig udvikling i lysudbredelsesdybden i perioden 1990-2025 for de fire vandområder i Roskilde Fjord og Isefjorden. Data er fra NOVANA-programmet. Manglende data skyldes, at der ikke laves målinger hvert år i alle vandområder. Det grå bånd repræsenterer variation (95% konfidensgrænser) i lysudbredelsesdybden indenfor et vandområde. Farvekategorier henviser til tilstandsklassifikationen i vandrammedirektivet, som for denne indikator er fastlagt ud fra ålegræssets lyskrav. Miljømålet for alle vandområder er mindst god økologisk tilstand (grøn eller blå).

2.5 Udvalgte fiskearter

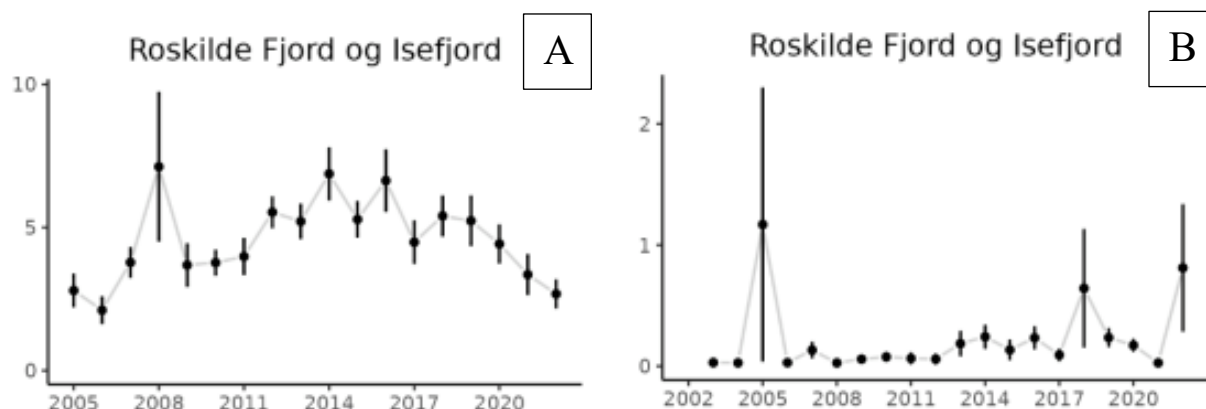
Siden 2005 har en gruppe udvalgte danske fritidsfiskere via nøglefiskerordningen systematisk indberettet deres fangster, som er foretaget med standardiserede net og ruser langs de danske kyster. Ordningen har til formål at registrere fangsterne og dermed tilvejebringe et dokumentationsgrundlag for udviklingen i fiskeforekomster i de kystnære områder over en længere årrække. (Pedersen et al., 2023).

Fangstregistreringer fra Roskilde Fjord og Isefjorden dækker området vist i Figur 2.5.1. Samtlige data og figurer vedrørende nøglefiskerordningen samt de heraf afledte resultater er baseret på Pedersen et al., 2023, hvor ordningen, fiskerimetoderne og de indsamlede datasæt er beskrevet i detaljer. Fangstoplysninger for skrubbe, torsk, rødspætte, ål og ålekvabbe i Roskilde Fjord og Isefjorden, indsamlet gennem fiskeri med net og ruse som led i nøglefiskerordningen, er vist i figurerne 2.5.2, 2.5.3, 2.5.4, 2.5.5 og 2.5.6.

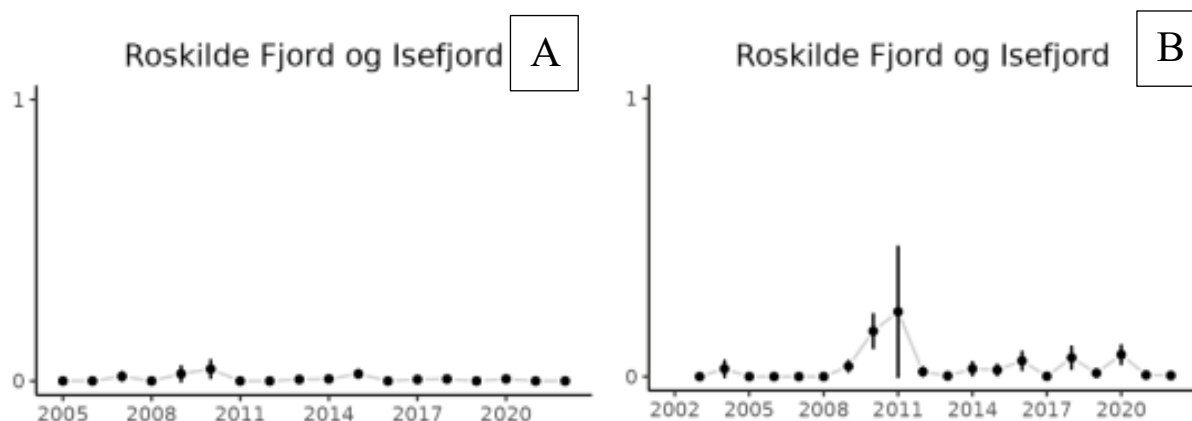


Figur 2.5.1: Kort over området Roskilde Fjord og Isefjord, hvorfra der er fangstregistreringer.

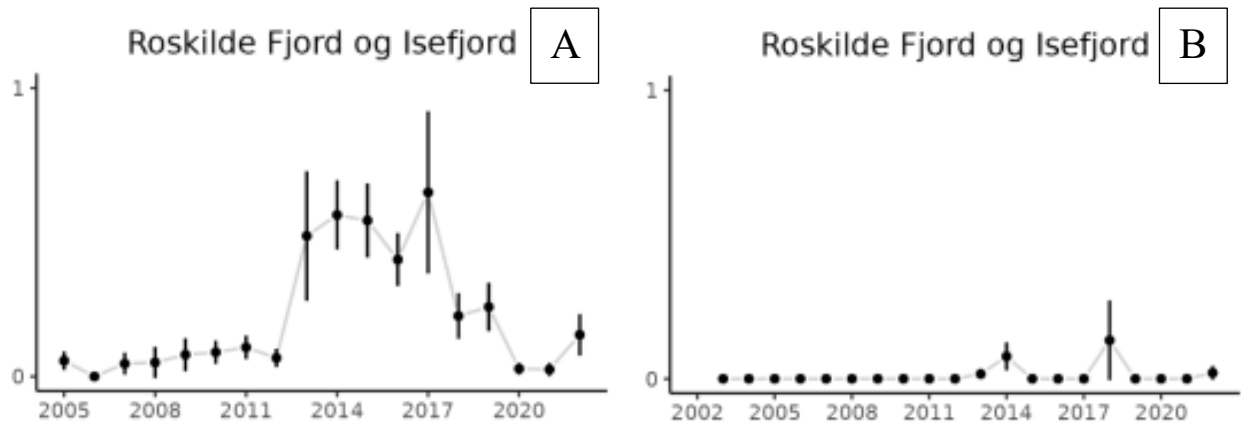
Udviklingstendenser i nøglefiskerdata kan ikke uden videre overføres til større rumlige skalaer, da placeringen af net og ruser ikke nødvendigvis er repræsentativ. Desuden er fangstmængderne gennem hele perioden relativt lave, hvilket sandsynligvis afspejler, at bestandene allerede var reduceret til et lavt niveau inden igangsættelsen af overvågningsprogrammet, og dette medfører, at dataserien er følsom over for (tilfældige) variationer i fangsterne.



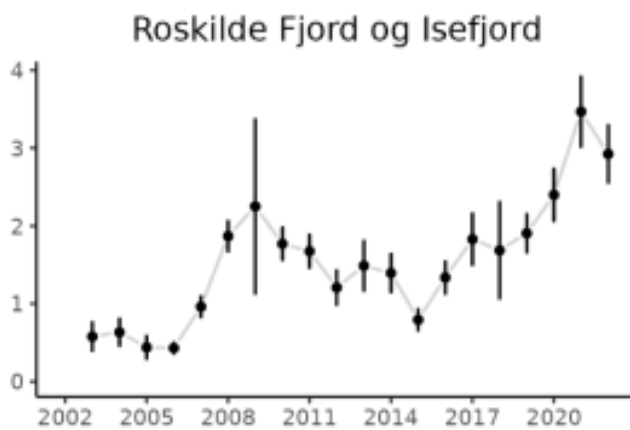
Figur 2.5.2: Det samlede antal skrubber der blev fanget per indsats (A: 12 timer) i garn og (B: 48 timer) i en ruse i perioden maj til august fra 2005-2022. Data er opgjort per år og er angivet med den standardiserede usikkerhed (også kaldet 'standard error'). Vær opmærksom på, at værdien på de lodrette akser er forskellige. Y-aksen er "fangst per indsats". Figurerne og figurteksten er fra Pedersen et al., 2023.



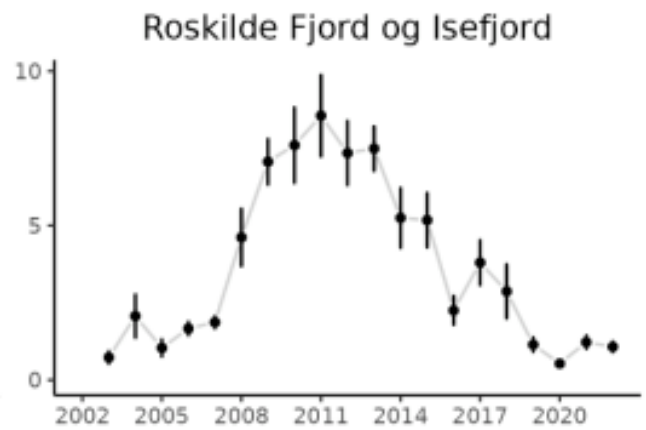
Figur 2.5.3: Det samlede antal af torsk der blev fanget per indsats (A: 12 timer) i garn og (B: 48 timer) i en ruse i perioden maj til august fra 2005-2022. Data er opgjort per år og er angivet med den standardiserede usikkerhed (også kaldet 'standard error'). Vær opmærksom på, at værdien på de lodrette akser er forskellige. Y-aksen er "fangst per indsats". Figurerne og figurteksten er fra Pedersen et al., 2023.



Figur 2.5.4: Antal rødspætter fanget per indsats (A: 12 timer) i garn i perioden maj til august fra 2005-2022 og (B: 48 timer) i en ruse i perioden maj til august fra 2002-2022. Data er opgjort per år og er angivet med den standardiserede usikkerhed (også kaldet 'standard error'). Vær opmærksom på, at værdien på de lodrette akser er forskellige. Y-aksen er "fangst per indsats". Figureerne og figurteksten er fra Pedersen et al., 2023.



Figur 2.5.5: Antal ål fanget per indsats (48 timer) i en ruse i perioden maj til august fra 2002 til 2022. Data er opgjort per år med angivelse af den standardiserede usikkerhed (også kaldet 'standard error'). Vær opmærksom på, at de lodrette akser er forskellige. Y-aksen er "fangst per indsats". Figuren og figurteksten er fra Pedersen et al., 2023.

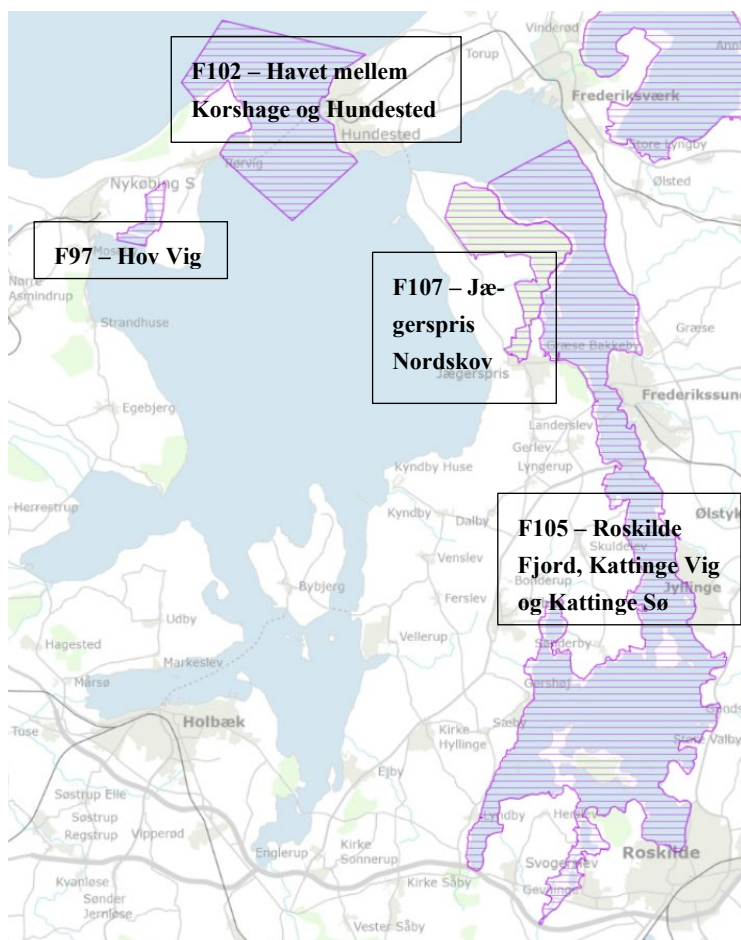


Figur 2.5.6: Antal ålekvarter fanget per indsats (48 timer) i en ruse i perioden maj til august fra 2002 til 2022. Data er opgjort per år og med angivelse af den standardiserede usikkerhed (også kaldet 'standard error'). Vær opmærksom på, at de lodrette akser er forskellige. Y-aksen er "fangst per indsats". Figuren og figurteksten er fra Pedersen et al., 2023.

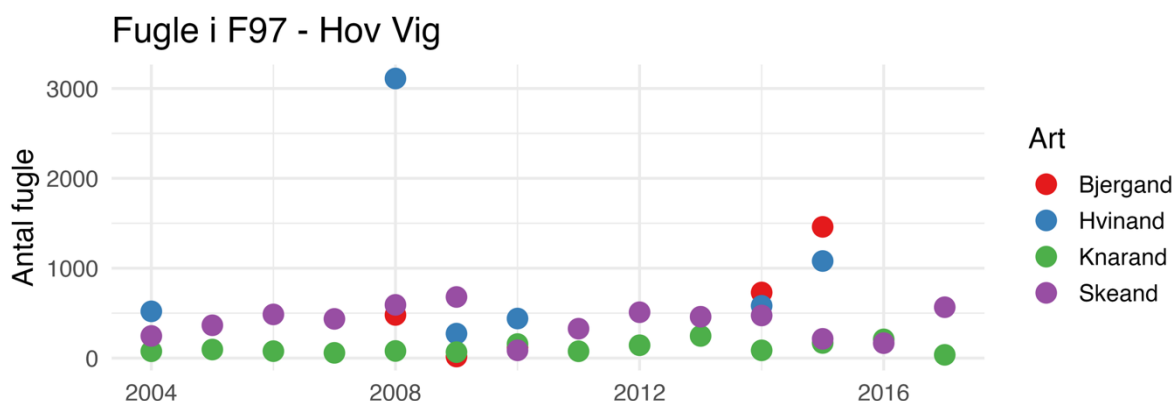
De følgende konklusioner og tendenser er taget fra Nøglefiskerrapporten. Tendensen i de seneste tre år for skrubber i garn har været nedadgående, omend blev der fanget en del større skrubber i ruser i Roskilde Fjord og Isefjorden (Figur 2.5.2; Pedersen et al., 2023). I 2020 blev der kun fanget to torsk, hvilket bevidner om meget få torsk i Roskilde Fjord og Isefjorden (Figur 2.5.3; Pedersen et al., 2023). I Roskilde Fjord og Isefjorden var der i perioden relativt højere fangst per indsats af ål, dog er ålebestanden i den danske farvande generelt reduceret til 1-10% af 1970 bestanden (Figur 2.5.5; Pedersen et al., 2023). Den nedadgående tendens for ålekvarter har resulteret i en fangst per indsats på omkring en, hvilket bevidner om få ålekvarter (Figur 2.5.6; Pedersen et al., 2023).

2.6 Udvalgte fuglearter

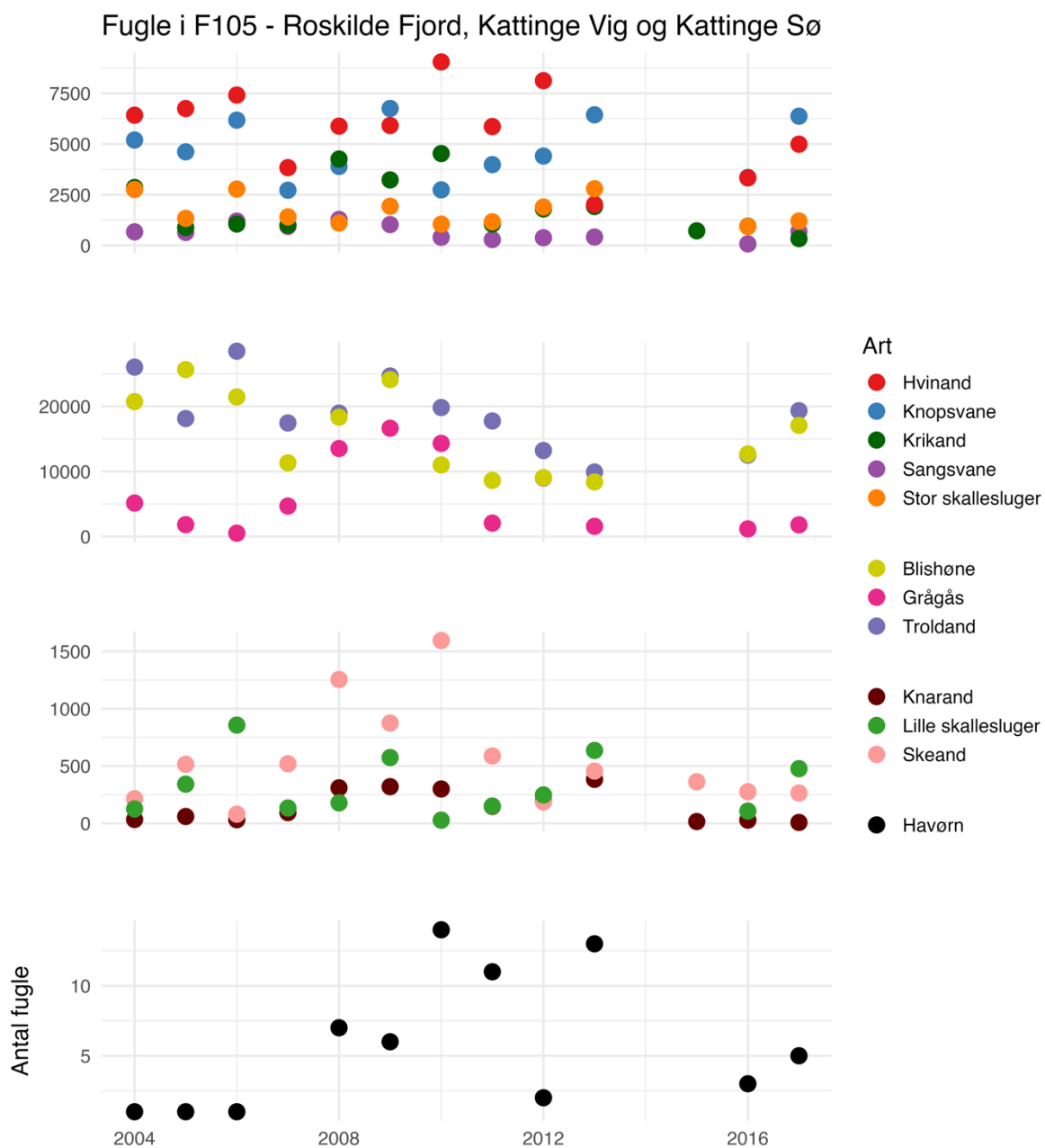
Der findes fire fuglebeskyttelsesområder i og omkring Roskilde Fjord og Isefjorden. Disse er udgjort af F97 – Hov Vig, F102 – Havet mellem Korsbage og Hundested, F105 – Roskilde Fjord, Kattinge Vig og Kattinge Sø samt F107 – Jægerspris Nordskov (Figur 2.6.1). Forekomsten af træk-kende vandfuglearter i de pågæl-dende fuglebeskyttelsesområder overvåges som led i NOVANA-pro-grammet, og de tilhørende data er rapporteret i Clausen et al. (2019), hvor overvågningsmetoderne og den efterfølgende databehandling er be-skrevet i detaljer. I alt udgør 28 arter udpegningsgrundlaget på fuglebe-skyttelsesområderne, hvoraf 16 blev overvåget i perioden 2004-2017 (Clausen et al., 2019). Her ses den tidlige udvikling for arterne bjergand, hvinand, knarand, skeand, havørn, lille skallesluger, blishøne, grågås, trolldand, knopsvane, krikand, sang-svane og stor skallesluger (Figur 2.6.2 og 2.6.3). Disse arter er inklude-ret i denne rapport da de a) er på ud-pegninggrundlaget for et eller flere af fuglebeskyttelsesområderne, b) overstiger international eller national 1%-bestandkriteriet og c) er rapporteret i Clausen et al., 2019. Der er ingen visuel tydelig udviklingstendens hos nogen af arterne. Den eneste fugl med en signifikant tidlig æn-dring i bestanden, i dette tilfælde et fald, er trolldanden.



Figur 2.6.1: Fuglebeskyttelsesområder i og omkring Roskilde Fjord og Isefjorden. Kortet er hentet fra MiljøGIS.



Figur 2.6.2: Tidlig udvikling i udvalgte fuglearter i fuglebeskyttelsesområde 97, Hov Vig, fra perio-den 2004 til 2017. Data er fra Clausen et al., 2019.



Figur 2.6.3: Tidlig udvikling i udvalgte fuglearter i fuglebeskyttelsesområde 105, Roskilde Fjord, Kattinge Vig og Kattinge Sø, fra perioden 2004 til 2017. Data er fra Clausen et al., 2019.

3. Presfaktorer i Roskilde Fjord og Isefjorden

Dette kapitel omhandler en række udvalgte presfaktorer, som har eller potentielt kan have negativ indflydelse på miljø- og naturtilstanden i Roskilde Fjord og Isefjorden. De udvalgte presfaktorer er ikke en udtømmende liste. Begrebet presfaktor er defineret på flere måder, og i denne sammenhæng anvendes den definition, der benyttes i EU's havmiljødirektiver (Vandrammedirektivet og Havstrategidirektivet), hvor presfaktorer forstås som menneskeskabte (antropogene) påvirkninger, der har en negativ effekt på havmiljøet (Anon 2003; Miljøministeriet 2019).

Sammenhænge mellem aktiviteter og miljøeffekter er internationalt beskrevet gennem DPSIR-rammen (Driver–Pressure–State–Impact–Response), hvor aktiviteter (driver) giver anledning til påvirkninger (pressure), som ændrer den økologiske tilstand (state), hvilket medfører uønskede effekter (impact), der nødvendiggør en forvaltningsmæssig indsats (response) (Oesterwind et al., 2016). Aktiviteterne kan både være landbaserede, herunder eksempelvis landbrug og industri, og vandbaserede såsom skibstrafik og råstofindvinding.

Som udgangspunkt kræves der en dokumenteret årsagssammenhæng mellem en menneskeskabt påvirkning og en eller flere indikatorer for miljøtilstanden, før en påvirkning betragtes som en presfaktor. I henhold til forsigtighedsprincippet kan der dog i visse tilfælde inddrages potentielle presfaktorer, eksempelvis mikroplast, selv om negative effekter ved naturtro koncentrationer endnu ikke er endeligt dokumenteret. I nærværende rapport fokuseres der udelukkende på presfaktorer, som har en dokumenteret effekt på miljø- og naturtilstanden, og som er til stede i Roskilde Fjord og Isefjorden.

Presfaktorerne i denne rapport inkluderer:

- Eutrofiering
- Iltsvind
- Klapning
- Fiskeri med bundsløbende redskaber
- Miljøfarlige stoffer
- Invasive arter
- Klimaforandringer

De ovennævnte presfaktorer er udvalgt, fordi de vurderes at kunne have en potentiel indvirkning på forekomst, udbredelse og kvalitet af væsentlige marine habitater og arter i Roskilde Fjord og Isefjorden. For disse presfaktorer er de underliggende påvirkningsmekanismer veldokumenterede i den internationale litteratur, men for flere af dem er effekterne endnu ikke undersøgt specifikt på skalaen for Roskilde Fjord og Isefjorden, ligesom ikke alle presfaktorer forekommer i begge områder.

Der eksisterer desuden en række andre presfaktorer, som direkte eller indirekte kan påvirke enkelte arter eller grupper af organismer.

Presfaktorer, der ikke er inkluderet i denne rapport, men som findes i Roskilde og/eller Isefjorden omfatter bl.a

- Motoriseret sejlads
- Andet fiskeri end fiskeri med bundsløbende redskaber
- Fysiske konstruktioner, som trafikbroer, havneanlæg og badebroer

- Landindvinding/inddæmning
- Historisk indvinding af østersskaller
- Historisk sten-fiskeri
- Hav- og strandjagt

Ud over menneskeskabte påvirkninger findes der en række naturlige forhold, som i visse sammenhænge kan opfattes som presfaktorer for bestemte organismer, artsgrupper eller habitater. Eksempelvis kan prædatorer opfattes som en form for "pres" på deres byttedyr. Tilsvarende kan ubalancer i fødenet, som kan resultere i dominans af enkelte (hjemmehørende) arter opfattes som en presfaktor. I denne rapport betragtes naturlige processer, herunder rovdyr–byttedyr-interaktioner, dog ikke som egentlige presfaktorer.

3.1 Eutrofiering – næringsstofforurening

Eutrofiering opstår, når der tilføres for mange næringsstoffer – især kvælstof og fosfor – til havet. Overskuddet af næringsstoffer fremmer væksten af planktonalger, hvilket gør vandet uklart og reducerer lysindtrængningen. Det fører til tilbagegang af ålegræs og andre bundplanter. Når algerne dør og nedbrydes, forbruges ilt, hvilket kan skabe iltvind og dræbe bunddyr og fisk. Eutrofiering er derfor en af de største trusler mod vandkvaliteten, de bundnære habitater og biodiversiteten i danske kystområder.

Eutrofieringseffekter er dokumenteret for både søer og kystnære farvande i det meste af verden. Siden sidst i 1980'erne er der i Danmark sket en markant reduktion i tilførslen af næringsstoffer til vandmiljøet (oligotrofiering). En forbedring og udbygning af rensningen af spildevand fra byer og industri resulterede i et relativt hurtigt og stort fald i tilførslen af fosfor fra land til hav. I midten af 1990'erne begyndte også tilførslen af kvælstof at blive mindre, hovedsageligt som følge af en række tiltag inden for landbruget. Dette har bevirket en betydelig reduktion af koncentrationen af fosfor og kvælstof i havmiljøet. Den mindske tilførsel af næringsstoffer har medført målbare forbedringer for nogle miljøparametre som f.eks. mindre klorofyl *a* og flere makroalger, mens andre parametre som f.eks. ålegræs ikke tydeligt har responderet på reduktionerne endnu (Riemann et al., 2015). Dette skyldes sandsynligvis, at der er en forsinkelse i økosystemets respons og at der kan være "tipping points" hvor miljøtilstanden responderer ikke-lineært på ændringer i presfaktoren. Det kan også skyldes, at nogle af miljøindikatorerne (f.eks. ålegræs), kræver endnu lavere næringsstofniveau for at muliggøre genetablering. Endelig kan der også være andre presfaktorer, som fastholder visse økosystemkomponenter i en dårlig tilstand.

3.1.1 Næringsstofkoncentrationer i havvand

Koncentrationer af næringsstoffer i vandsøjlen er i vandrammedirektivet karakteriseret som fysisk-kemiske kvalitetselementer, og værdierne for disse parametre skal være på et niveau, så de understøtter opnåelse af god økologisk tilstand, vurderet ud fra de biologiske kvalitetselementer. Hvis koncentrationen af næringsstoffer understøtter opnåelse af god økologisk tilstand, benævnes tilstanden "god" og ellers er benævnelsen "ikke-god". Grænsen mellem "god" og "ikke-god" tilstand for næringsstofferne, er beregnet ud fra de næringsstoffølørsler (målbelastning), som giver god økologisk tilstand i henhold til Vandrammedirektivet. Metode til beregning af målbelastninger til de enkelte vandområder findes i Erichsen et al., 2020. Ved at anvende relationer mellem næringsstoffølørsler og næringsstofkoncentrationer i havvandet, kan man etablere en kobling mellem målbelastninger og tilhørende næringsstofkoncentrationer, som fungerer som

grænseværdier for næringsstoffer. Metoden til fastlæggelse af grænseværdier for næringsstoffer (TN, TP, DIN og DIP) er beskrevet i Christensen et al., 2024.

I vandområderne i Roskilde Fjord og Isefjorden er næringsstofniveauerne udtrykt ved årskoncentrationer af total kvælstof (TN) og total fosfor (TP) samt vinter-koncentrationer af opløst uorganisk kvælstof (DIN) og opløst uorganisk fosfor (DIP) så høje, at de ikke understøtter opnåelse af god økologisk tilstand.

Den tidlige udvikling i næringsstofkoncentrationer i vandområderne i Roskilde Fjord og Isefjorden ses i Figur 3.1.1.1 for fosfor og 3.1.1.2 for kvælstof. Der er sket et fald i næringsstofkoncentrationerne i alle vandområder siden 1990. Dette fald er tydeligst for koncentrationen af fosfor (både TP og DIP), som i alle vandområder er faldet kraftigt fra 1990, men stagneret fra omkring midten af 1990'erne. I Roskilde Fjord er fosforkoncentrationerne stagneret på et niveau, som er for højt til at understøtte god økologisk tilstand, hvorimod fosforkoncentrationerne i Isefjorden understøtter opnåelse af god økologisk tilstand (Figur 3.1.1.1).



Figur 3.1.1.1: Tidslig udvikling i koncentrationen af TP (øverst) og DIP (nederst) i de fire vandområder i Roskilde Fjord og Isefjorden. Grøn betyder, at næringsstofkoncentrationen understøtter opnåelse af god økologisk tilstand, hvorimod Rød indikerer at koncentrationen er for høj til at understøtte opnåelse af god økologisk tilstand. Næringsstofkoncentrationer i havvand er en støtteparameter i vandrammedirektivet, som kan anvendes til at "nedgradere" tilstandsklassifikationen baseret på de biologiske kvalitetselementer "fytoplankton", "bundvegetation" og "bundfauna".

Kvælstofkoncentrationen i alle fire vandområder er faldet siden starten af 1990'erne, men langsomt og mindre udtalt end fosforkoncentrationerne (Figur 3.1.1.2). Faldet er dog aftaget de seneste årtier og kvælstofkoncentrationerne i alle fire vandområder er stagneret på et niveau, som er for højt til at understøtte opnåelse af god økologisk tilstand.



Figur 3.1.1.2: Tidlig udvikling i koncentrationen af TN (øverst) og DIN (nederst) i de fire vandområder i Roskilde Fjord og Isefjorden. Grøn betyder, at kvælstofkoncentrationen understøtter opnåelse af god økologisk tilstand, hvorimod Rød indikerer at koncentrationen er for høj til at understøtte opnåelse af god økologisk tilstand. Næringsstofkoncentrationer i havvand betragtes som en støtteparameter i vandrammedirektivet, som kan anvendes til at "nedgradere" tilstandsklassifikationen baseret på de biologiske kvalitetselementer "fytoplankton", "bundvegetation" og "bundfauna".

3.1.2 Næringsstofbegrænsning af algevækst

Algers vækstrate har afgørende betydning for marine økosystemers miljøtilstand. Generelt vil en høj vækstrate resultere i økosystemer, som viser de klassiske tegn på eutrofiering, som uklart vand, høje klorofylkoncentrationer, udskygning og begroning af bundplanter samt iltvind. Tilgængeligheden af uorganisk kvælstof (DIN) og fosfor (DIP), som er essentielle næringsstoffer for fytoplankton, er afgørende for algevæksten i vækstperioden (Malone et al. 1996; Berger et al. 2006). Begrænsning af disse næringsstoffer kan have stor betydning for den økologiske tilstand i fjordene og er derfor et vigtigt fokusområde i forvaltningen af kystnære vandområder.

Generelt vil algevæksten være mest følsom overfor ændringer i det mest begrænsende næringsstof, hvorimod ændringer i et næringsstof, som ikke er begrænsende, kun vil have minimal eller ingen effekt på algevæksten.

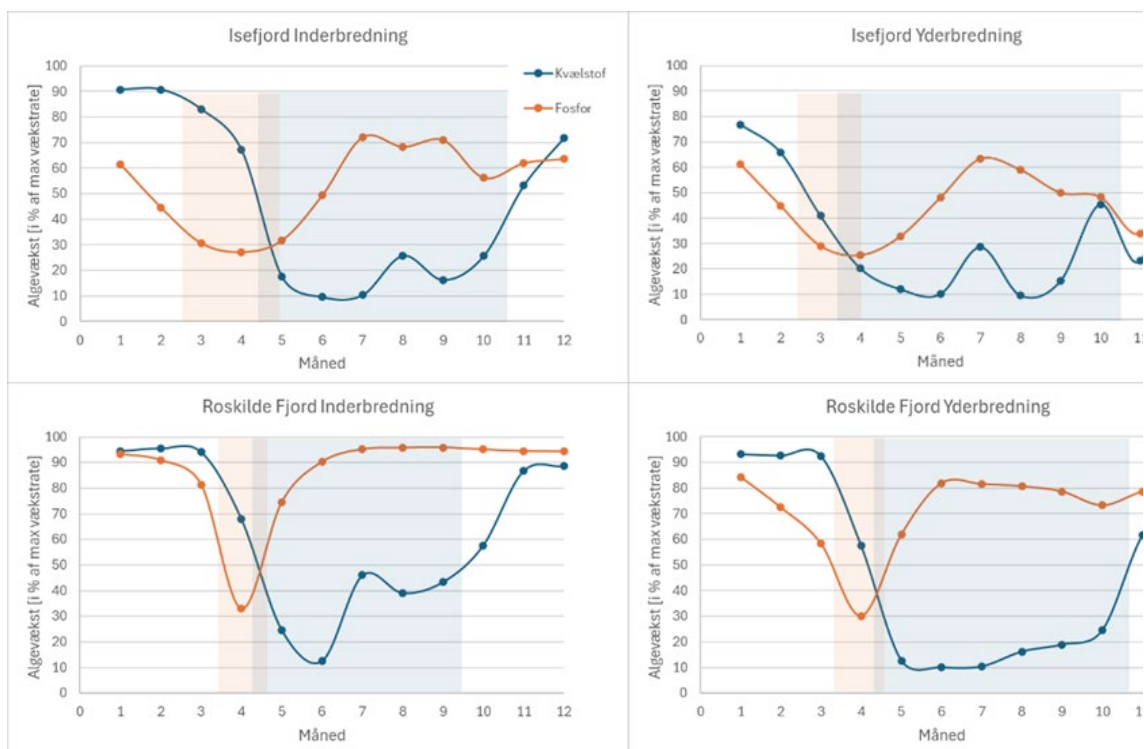
Koncentrationer af opløst uorganisk kvælstof (DIN) og fosfor (DIP) er den fraktion, som kan optages af fytoplankton og som er nødvendig for deres vækst. Ved at vurdere udviklingen i koncentrationer af DIN og DIP i løbet af året kan man få et indblik i hvad der potentielt styrer algevæksten i forskellige perioder af året.

Den potentielle algevækst (V) beregnes ud fra Michaelis-Menten ligningen som:

$$V = \frac{V_{\max} [S]}{K_m + [S]}$$

, hvor $V_{\max}$ er algernes maksimale vækstrate, $[S]$ er næringsstoffekoncentrationen i vandet, og K_m er halvmætningskonstanten, som angiver den næringsstoffekoncentration, hvor vækstraten er halvdelen af $V_{\max}$. Ligningen er, ligesom den matematisk enslydende Monod ligning, ofte anvendt til estimering af algers vækstrate. Størrelsen af K_m er et udtryk for, hvornår algernes vækst bliver begrænset af manglen på næringsstof. Der er forskel på, hvor effektivt de forskellige fytoplankton arter kan udnytte tilgængelige næringsstoffekressourcer, og dermed på hvor de bliver næringsstoffebegrænsede, ligesom visse arter kan optage et mindre lager af næringsstoffer (Pedersen & Borum 1996). Typiske K_m værdi for fosfat ligger på 0,1-0,5 μM DIP og for kvælstof ligger de typiske værdier omkring 0,5-5 μM DIN (Fisher et al. 1992; Cloern 1999, Eppley et al., 1969)

Til analyse af den potentielle næringsstoffebegrænsning har vi anvendt en K_m værdi på 0,2 μM P for fosfor og en K_m værdi på 3 μM N for kvælstof. Begge K_m værdier ligger indenfor det observerede spænd og vurderes dækkende for beskrivelse af algers næringsstoffeffinitet i eutrofe kystvande.



Figur 3.1.2.1: Potentiel algevækst beregnet ud fra hhv. tilgængelighed af kvælstof (blå) og fosfor (rød). Lav algevækst indikerer begrænsning af enten kvælstof og/eller fosfor. Vækstperiode med overvejende kvælstof-begrænsning er markeret med blå baggrund. Vækstperiode med overvejende fosforbegrænsning er markeret med orange baggrund. Ændringer i det mest begrænsende næringsstof forventes at medføre ændring i alge-vækst, hvorimod ændringer i næringsstof, som ikke er begrænsende forventes at medføre minimal/ingen ændring i algevækst.

Resultaterne for de fire vandområder i Roskilde Fjord og Isefjorden ses af Figur 3.1.2.1, som overordnet viser, at algernes potentielle vækstrate primært er begrænset af fosfor i forårsperioden, hvorimod kvælstof er det mest begrænsende næringsstof om sommeren og efteråret. Der er imidlertid forskel på både periodelængde og niveau af fosforbegrænsningen i de fire bassiner. Roskilde Fjord er kun fosforbegrænset i en kort periode omkring april, hvor vækstraten er på ca. 30% af den maksimale vækstrate. Resten af året er der stort set ingen vækstbegrænsning pga. fosfor i Roskilde Fjord, idet den potentielle vækstkurve baseret på fosfor er tæt på max. vækst (> 70% af max vækstrate). Isefjorden er mere fosforbegrænset end Roskilde Fjord, idet forårsperioden, hvor fosfor er det mest begrænsende næringsstof er længere (ca. 2-3 måneder) og i resten er vækstperioden ligger den potentielle vækst baseret på fosfor på ca. 30-70% af maksimal vækst.

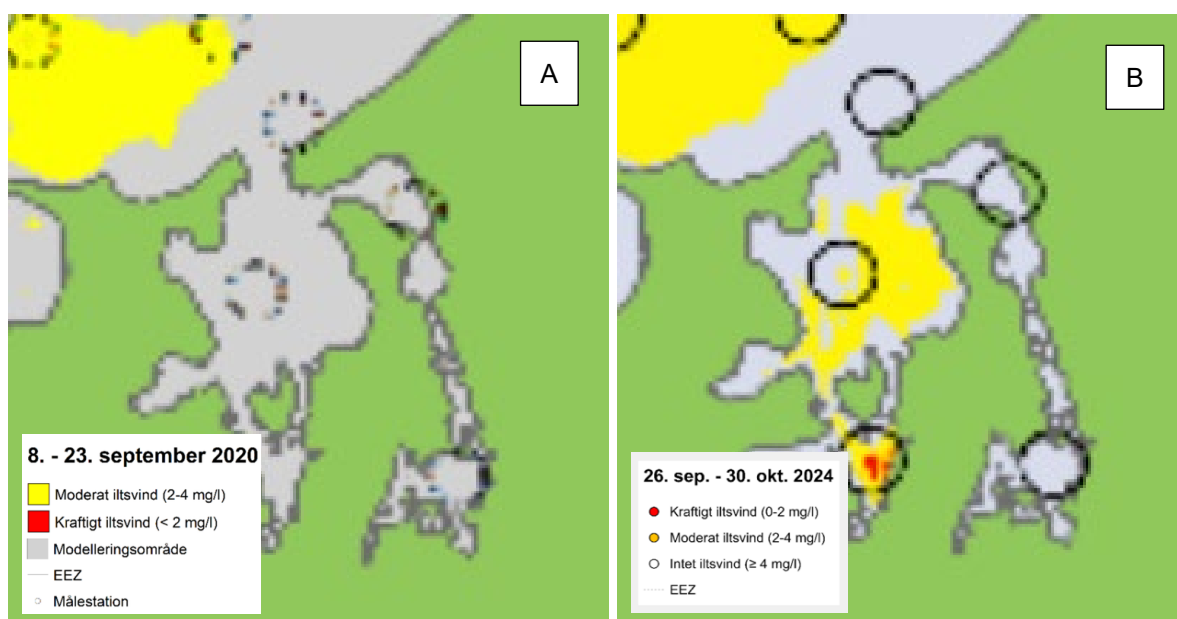
I både Isefjorden og Roskilde Fjord er kvælstof det mest begrænsende næringsstof fra maj-oktober og det er derfor kvælstof som primært vil være styrende for algevæksten i hovedparten af vækstsæsonen i de to fjorde. I begge fjorde begrænses den potentielle vækst til ca. 10-30% af den maksimale vækst pga. kvælstof. I Roskilde inderfjord er kvælstofbegrænsningen dog lidt mindre sammenlignet med de tre andre bassiner.

3.2 Iltsvind

Iltsvind opstår, når iltforbruget i bundvandet overstiger tilførslen af ilt. Forbruget skyldes dels bundlevende organisms respiration, dels det iltkrævende nedbrydningsarbejde af organisk

materiale i sedimentet. Omfanget af iltforbruget bestemmes især af mængden og nedbrydeligheden af det organiske stof samt af temperaturen. Ved eutrofiering øges tilførslen af letomsætteligt organisk materiale, hvilket medfører, at udledning af næringsstoffer fra land kan forstærke både udbredelsen og hyppigheden af iltsvind.

I dansk sammenhæng defineres iltsvind som iltkoncentrationer i vandet under 4 mg l^{-1} , mens koncentrationer under 2 mg l^{-1} betegnes som kraftigt iltsvind. Intervallet mellem 2 og 4 mg l^{-1} karakteriseres som moderat iltsvind.

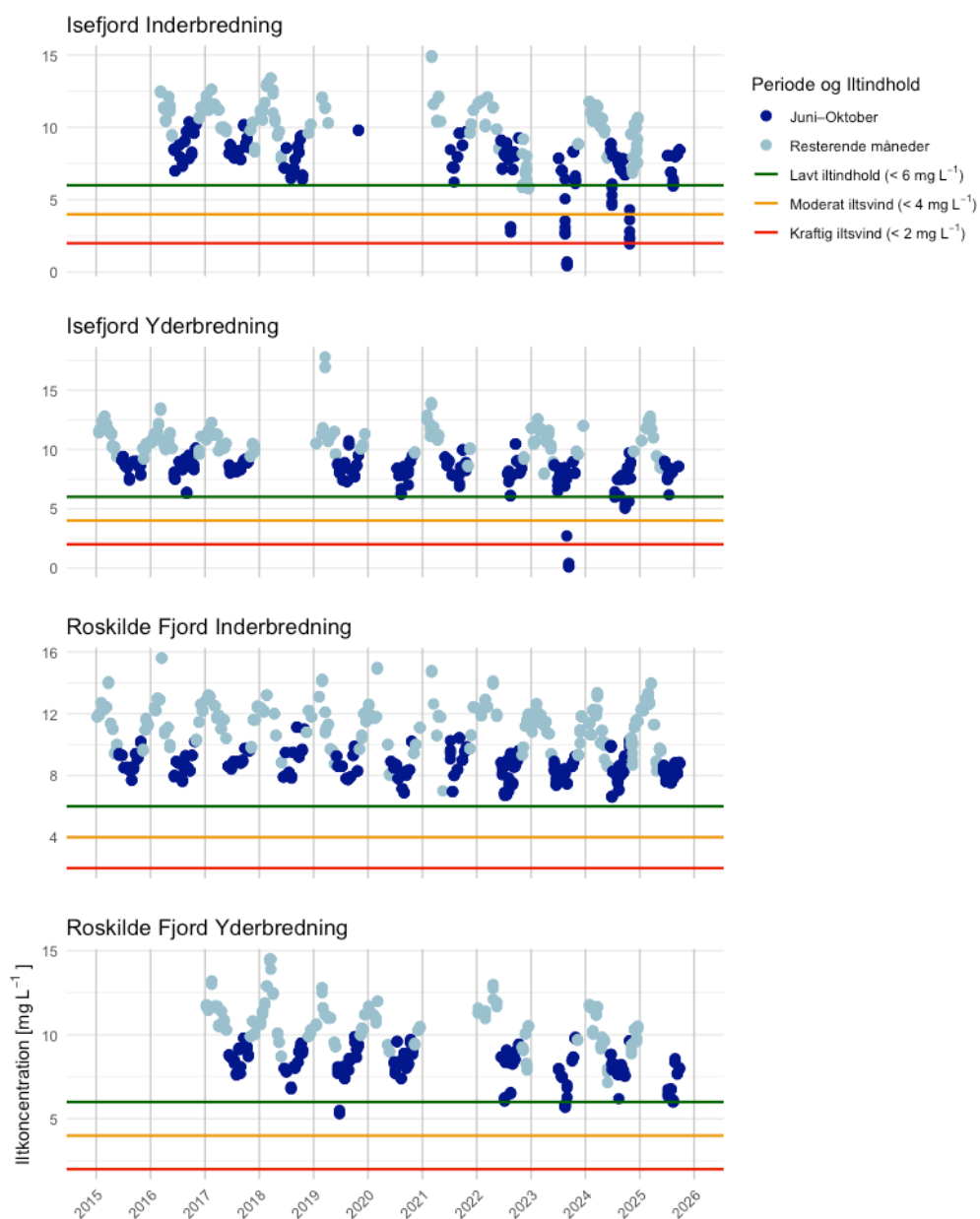


Figur 3.2.1: Modelleret arealudbredelse af iltsvind midt i september i Roskilde Fjord og Isefjorden i 2020 og 2024. Iltsvindets udbredelse er typisk størst i september. Bemærk: (A) er fra september måned, mens (B) er fra oktober måned. Figureerne er fra DCE's iltsvindsrapporter.

Iltkoncentrationen i bundvandet er afgørende for levevilkårene for bundplanter, bunddyr og bundlevende fisk. Særligt larvestadier hos visse bunddyr og fisk samt voksne individer af følsomme arter påvirkes allerede ved relativt lave iltniveauer ($4\text{--}6 \text{ mg l}^{-1}$), selv når koncentrationen fortsat ligger over tærsklen for egentligt iltsvind (Vaquer-Sunyer & Duarte, 2008). Ved moderat iltsvind ($2\text{--}4 \text{ mg l}^{-1}$) vil mange fisk og mere mobile bunddyr forlade de berørte områder, mens længere perioder med kraftigt iltsvind ($< 2 \text{ mg l}^{-1}$) medfører dødelighed blandt bunddyrene. Kraftigt iltsvind kan opstå akut, hvis vind- og strømforhold medfører transport af iltfattigt vandmasser fra ét område til et andet, hvorved fisk og mobile bunddyr kan blive indespærret i vand med lavt iltindhold. Efter episoder med kraftigt og langvarigt iltsvind kan der gå mange år, før bundfaunasamfundet igen har opnået en normal aldersstruktur, artssammensætning og individtæthed. Sammenlignet med andre danske havområder, herunder Limfjorden og Lillebæltsregionen, er Roskilde Fjord og Isefjorden generelt mindre hårdt påvirket af iltsvind, idet kraftige iltsvindsepisoder kun sjældent forekommer.

Roskilde Fjord og Isefjorden har historisk set ikke været hårdt ramt af iltsvind (se f.eks. Figur 3.2.1.A) og ville i en upåvirket tilstand formentligt aldrig opleve iltsvind på betydende arealer. Der er for nyligt målt moderat iltsvind ($2\text{--}4 \text{ mg l}^{-1}$) i den ydre del af Isefjorden (Figur 3.2.1.B).

Desuden er der i nyere tid registeret perioder med kraftigt iltvind i den inderste del af Isefjorden, som der fremgår af Figur 3.2.1.B samt 3.2.2. Disse perioder er dog relativt korte, og i den efterfølgende måned blev der ikke målt iltvind.



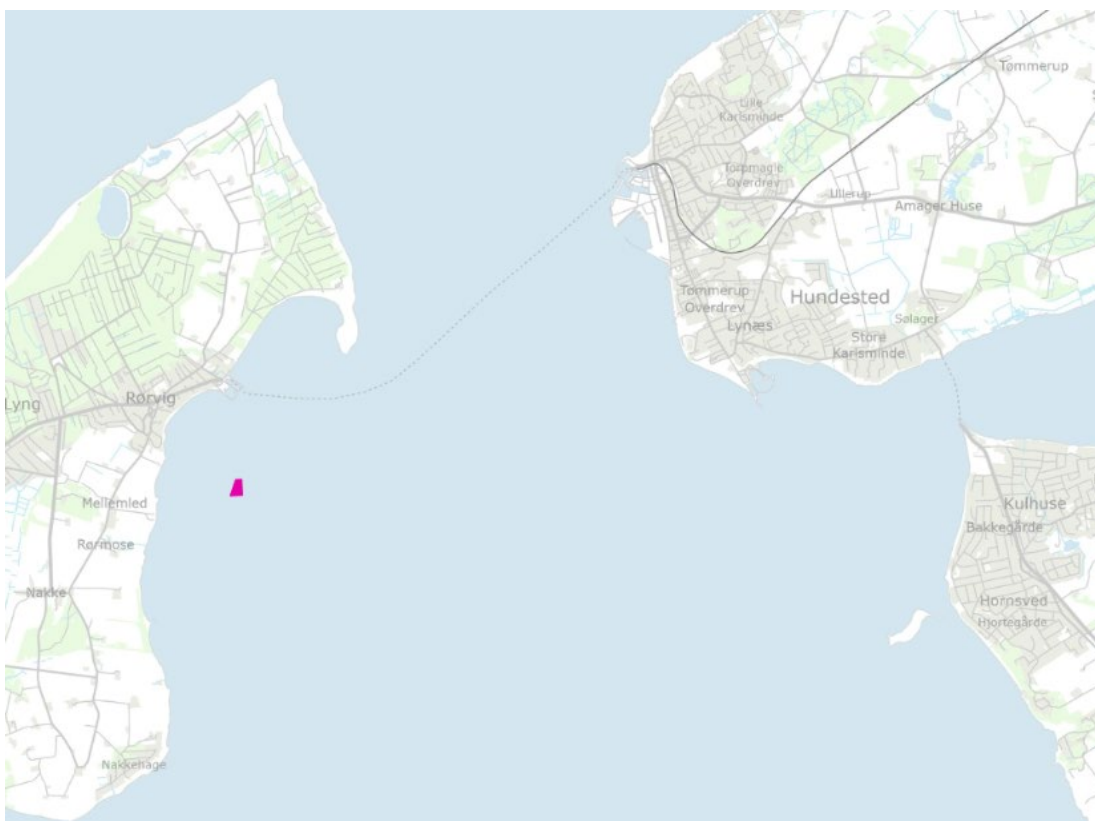
Figur 3.2.2: Tidslig udvikling i iltkoncentrationen i bundvandet (0-0.5 m over sedimentet) i A) Isefjord Inder-bredning, B) Isefjord Yderbredning, C) Roskilde Fjord Inderbredning og D) Roskilde Fjord Yderbredning. Figuren er baseret på tilgængelige data fra 2015-2025 fra DCEs overfladevandsdatabase ODA.

3.3 Klapning

Ved klapning bortskaffes oprenset sediment fra havne, anlægsarbejder og sejlrender ved deponering på et afgrænset havområde (klapplads). Processen foregår typisk ved, at materialet transporteres med specialskibe til klappladsen, hvorefter skibets bundluger åbnes, så sedimentet frigives og bundfældes på havbunden. Selve deponeringen og den efterfølgende spredning af materialet har en negativ effekt på de planter og dyr, der lever i det berørte område, og hvis det aflejrede lag er tilstrækkeligt tykt, kan det medføre fuldstændig tab af liv lokalt.

Det deponerede materiale kan desuden bidrage til øget belastning med næringsstoffer og miljøfarlige stoffer. Afhængigt af mængde, kvalitet og sammensætning af det klappede materiale samt klapområdets udstrækning og de lokale fysiske, kemiske og biologiske forhold, kan der gå mange år, før der igen etableres plantesamfund og bundfauna med normal aldersstruktur, artsammensætning og individtæthed.

Der findes én aktiv klapplads i Roskilde Fjord og Isefjorden ved navn Avesand klapplads (Figur 3.3.1). Klappladsen udgør ca. 2 ha og har ID nr. K_024_01. Desuden fandtes der en klapplads i den centrale del af Roskilde Fjord ved navn Kølholm klapplads, men den er for nyligt nedlagt. Klappladsen udgjorde ca. 3 ha og havde nr. ID K_001_01.



Figur 3.3.1: Kort over det område i den nordlige del af Isefjorden hvor klapning finder sted. Kortet er fra MiljøGIS.

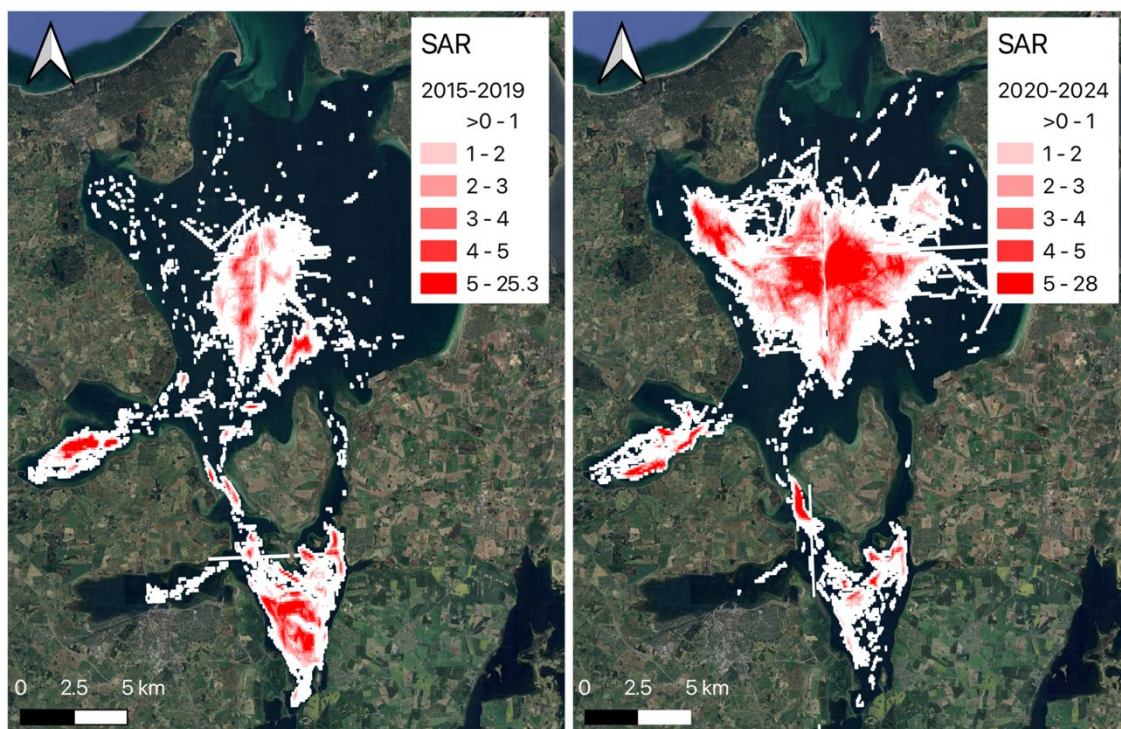
3.4 Fiskeri med bundsløbende redskaber

Fiskeri med bundsløbende redskaber påvirker havbunden og de tilknyttede levesteder for organismer, der lever i og på sedimentet. Den direkte, fysiske kontakt mellem redskab og havbund kan medføre, at bundfauna, makroalger og ålegræs fjernes eller beskadiges, ligesom sedimentets struktur kan blive ændret. Derudover kan der opstå indirekte effekter, herunder ændringer i biokemiske processer, som følge af omrøring af sedimentet og forstyrrelse af organismers ventiler og bioturbation.

De vigtigste former for bundsløbende fiskeri omfatter bundtrawl, bomtrawl, snurrevot og anvendelse af muslingeskrabere, og den konkrete påvirkning af havbunden afhænger i høj grad af den anvendte redskabstype og intensiteten af fiskeriet. I Isefjorden foregår der et relativt omfattende fiskeri med bundsløbende redskaber, primært udgjort af muslingeskrab.

Intensiteten af muslingeskrab, SAR (Swept Area Ratio), i Isefjorden er vist på Figur 3.4.1. I periode 2015-2019 blev 18,35 km² af Isefjorden påvirket mindst en gang (SAR>1), svarende til 6% af fjorden. I perioden 2020-2024 steg dette tal til 36,75 km² svarende til 12% af fjorden.

I periode 2015-2019 havde 61.72 km² af Isefjorden en SAR værdi på over nul, svarende til 20% af fjorden. I perioden 2020-2024 steg dette tal til 91.58 km² svarende til 30% af fjorden.



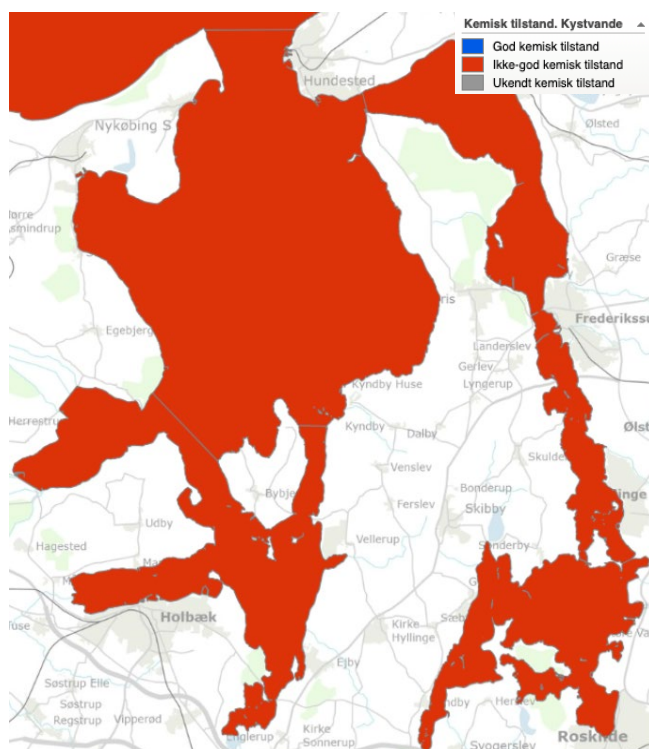
Figur 3.4.1: Muslingeskrab i Isefjorden angivet som SAR (Swept Area Ratio) i perioderne 2015-2019 og 2020-2024 beregnet af DTU Aqua.

3.5 Miljøfarlige stoffer

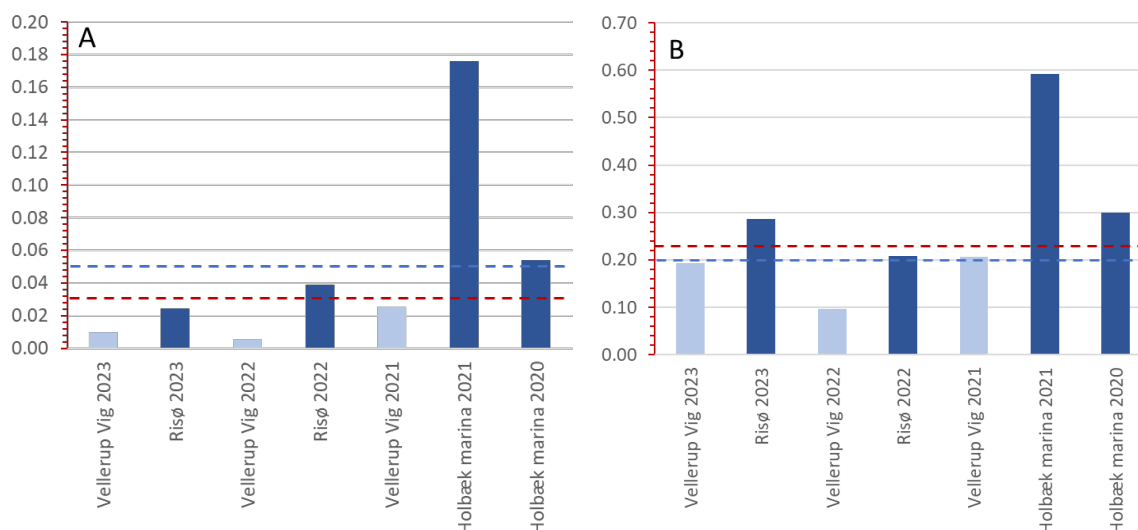
Den seneste tilstandsvurdering fra Miljøstyrelsen viser, at både Roskilde Fjord og Isefjorden er klassificeret som værende i ikke-god kemisk tilstand (Figur 3.5.1). For begge vandområder er målsætningen at opnå god kemisk tilstand, hvilket indebærer, at koncentrationerne af miljøfarlige stoffer skal ligge under de fastsatte miljøkvalitetskriterier (MKK) for fisk, muslinger og sediment.

Biologiske indikatorer kan anvendes til at vurdere økosystemets tilstand og identificere effekter relateret til eksponering af dyr og planter for miljøfarlige stoffer. Forhøjede forekomster af misdannede embryoner fungerer som en vigtig biologisk indikator for populationsniveau-effekter som følge af samlet eksponering for forurenende stoffer i havsedimenter. Dette afspejler den reproduktive succes og dermed populations sundhed, vedvarende eksistens og stabilitet (HELCOM, 2023).

Forekomster af misdannede embryoner/æg fra Roskilde Fjord og Isefjorden i perioden 2020-2023 er præsenteret i Figur 3.5.2.



Figur 3.5.1: Tilstandsvurdering for kemisk tilstand. Farve-kategorierne henviser til tilstandsklassifikationen i vandrammedirektivet. Miljømålet for alle vandområder i Roskilde og Isefjorden er mindst god kemisk tilstand (blå). Kortet er fra MiljøGIS.



Figur 3.5.2: Gennemsnitlig andel af misdannede embryoner med beskadigede membraner samt udifferentierede embryoner (A). Andel af hunner med mere end ét misdannet embryo (B). Andelen er beregnet ved at dividere summen af alle hunner med mere end ét misdannet embryo-med det samlede antal af gravide hunner per station. Vellerup Vig (lyseblå søjler) er referencestationen. Rød linje: tærskelværdi fastlagt i en dansk undersøgelse (Tairova et al., 2024). Blå linje: tærskelværdi fra HELCOMs indikatorrapport (HELCOM, 2018).

Resultaterne viser en højere andel af både misdannede embryoner/æg og andelen af hunner med mere end ét misdannet embryo hos amfipoder fra stationer, der anses for at være påvirkede, dvs. Risø og Holbæk Marina, sammenlignet med referencestationen, Vellerup Vig (Figur 3.5.2).

Reproduktive forstyrrelser er en af HELCOM's anbefalede indikatorer til overvågning af biologiske effekter af miljøfarlige stoffer. Denne undersøgelse viser, at udviklingsforstyrrelser hos *Gammarus*-arter udgør en følsom parameter til påvisning af sub-letale toksiske effekter i kystnære farvande. I modsætning til visse andre biologiske indikatorer integrerer denne indikator sub-letale responser med effekter på populationsniveau, hvilket øger dens økologiske relevans.

Antallet af påvirkede amfipoder overskrider grænseværdierne ("secondary threshold values" ifølge HELCOM) fastsat i Tairova et al., 2024 og HELCOM 2018 ved flere målestationer, hvilket stemmer overens med kemiske tilstandsindikatorer, der viser, at Roskilde Fjord og Isefjorden ikke er i god kemisk tilstand. Dette er i overensstemmelse med miljøstyrelsens tilstandsvurdering (Figur 3.6.1). Et overblik over de vandområdespecifikke stoffer der forhindrer opnåelsen af god kemisk tilstand samt antallet af miljøkvalitetskrav (MKK), der er undersøgt findes i Tabel 3.5.1.

Tabel 3.5.1: Tabellen er baseret på data fra Miljøstyrelsens tilstandsvurdering i forbindelse med genbesøget af vandområdeplanerne 2021–2027.

EU Vandområde ID	Vandområde Navn	Navn prioriterede MFS som giver anledning til manglende opfyldelse	Antal MKK kontrolleret
DKCOAST1	Roskilde Fjord, ydre	Antracen ¹ , BDE ² (sum), Benzo(a)pyrene ¹ , Bly ³ , Cadmium ³ , Kviksølv ³ , Nikkel ³ , Nonylphenoler ⁴ , Tributyltin ⁵	17
DKCOAST2	Roskilde Fjord, indre	Cadmium ³ , Kviksølv ³	14
DKCOAST24	Isefjord, ydre	Benz(a)pyren ¹ , Bly, Cadmium ³ , Kviksølv ³ , Nikkel ³	17
DKCOAST165	Isefjord, indre	BDE ² (sum), Benz(a)pyren ¹ , Bly ³ , Cadmium ³ , Kviksølv ³ , Nikkel ³ , Tributyltin ⁵	16

¹ stofferne tilhører gruppen af PAH'er, der er organiske forbindelser, som findes i f.eks olie. ² Brommerede flammehæmmere, som findes i materialer, hvor der er behov for at nedsætte brandrisiko ³ Tungmetaller, som findes i mange produkttyper⁴Nonylphenoler bruges til produktion af overfladeaktive stoffer, som pesticider, rengøringsmidler og plastfremstilling⁵ TBT er en organotinforbindelse, som anvendes f.eks til antibegroningsmiddel på både (nu forbudt).

3.6 Invasive arter

Invasive arter defineres som arter, der ikke er hjemmehørende og som har en skadelig eller uønsket effekt. Ydermere skal arten kunne reproducere og sprede sig, for at kunne blive kategoriseret som invasiv (Strandberg et al., 2023). Antallet af ikke-hjemmehørende arter i Danmark overstiger 2000, og af de 77 registrerede invasive arter i Danmark er omkring 15 arter marine. Disse omfatter bl.a. amerikansk knivmusling (*Ensis americanus*), amerikansk ribbegøple (*Mnemiopsis leidyi*), sargassotang (*Sargassum muticum*), sortmundet kutling (*Neogobius melanostomus*), stillehavsøsters (*Crassostrea gigas*, Figur 3.6.1), asiatisk strandkrabbe (*Hemigrapsus sanguineus*, Figur 3.6.2) og pensel-klippekrabbe (*Hemigrapsus takanoi*, Figur 3.6.3).

De tre sidstnævnte arter er alle registreret i Roskilde Fjord og/eller i Isefjorden. Strandberg og kollegaer (2023) vurderer ikke-hjemmehørende arter på en skala, som inkluderer spredningspotentiale, levestedets bevarings- og naturværdi, påvirkningen på hjemmehørende arter, påvirkning på økosystemfunktioner, økonomiske effekter og sundhedseffekter, hvor disse parametre vurderes fra 0 (ingen påvirkning) til 3 (høj påvirkning). Asiatisk strandkrabbe og Pensel-klippekrabbe har en samlet score på 11, hvor stillehavsøsteren scorer 16, ud af de maks. 18 mulige point. Der er på nuværende tidspunkt ikke nogen arter der scorer 18, men kæmpe-bjørneklo scorer 17 og indtager dermed førstepladsen. Den sortmundet kutling er registreret i bælthavene og i Øresund, men endnu ikke registreret inden i Roskilde Fjord og Isefjorden. Den sortmundet kutling scorer 14 på denne skala.

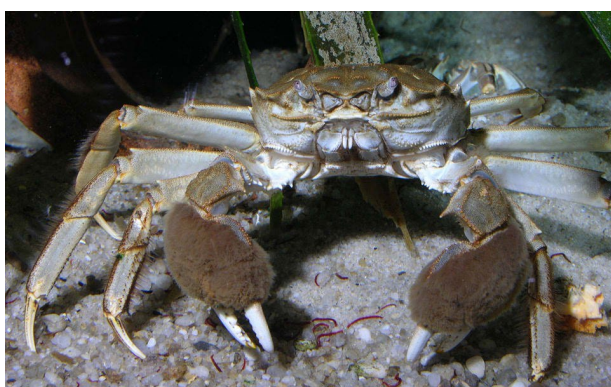
Antallet af ikke-hjemmehørende marine arter i danske farvande er relativt stort, og undersøgelser har vist, at antallet er steget fra 21 arter i begyndelsen af 1980'erne til 85 arter i 2014 (Stæhr et al., 2016). Invasive arter overvåges ikke systematisk i danske farvande, men der forekommer enkelte registreringer fra forskellige områder. Det betyder, at der ikke foreligger et tilstrækkeligt datagrundlag til at vurdere forekomst og udbredelse af marine invasive arter i Roskilde Fjord og Isefjorden, ligesom det ikke er muligt at fastslå deres potentielle skadevirkning.



Figur 3.6.1: Stillehavsøsters. Foto: Dansk Skaldyrcenter E-learning.



Figur 3.6.2: Asiatisk strandkrabbe. Foto: Matz Berggren, Göteborgs Universitet.



Figur 3.6.3: Pensel-klippekrabbe. Foto: Biopix, Nationalpark Vadehavet.

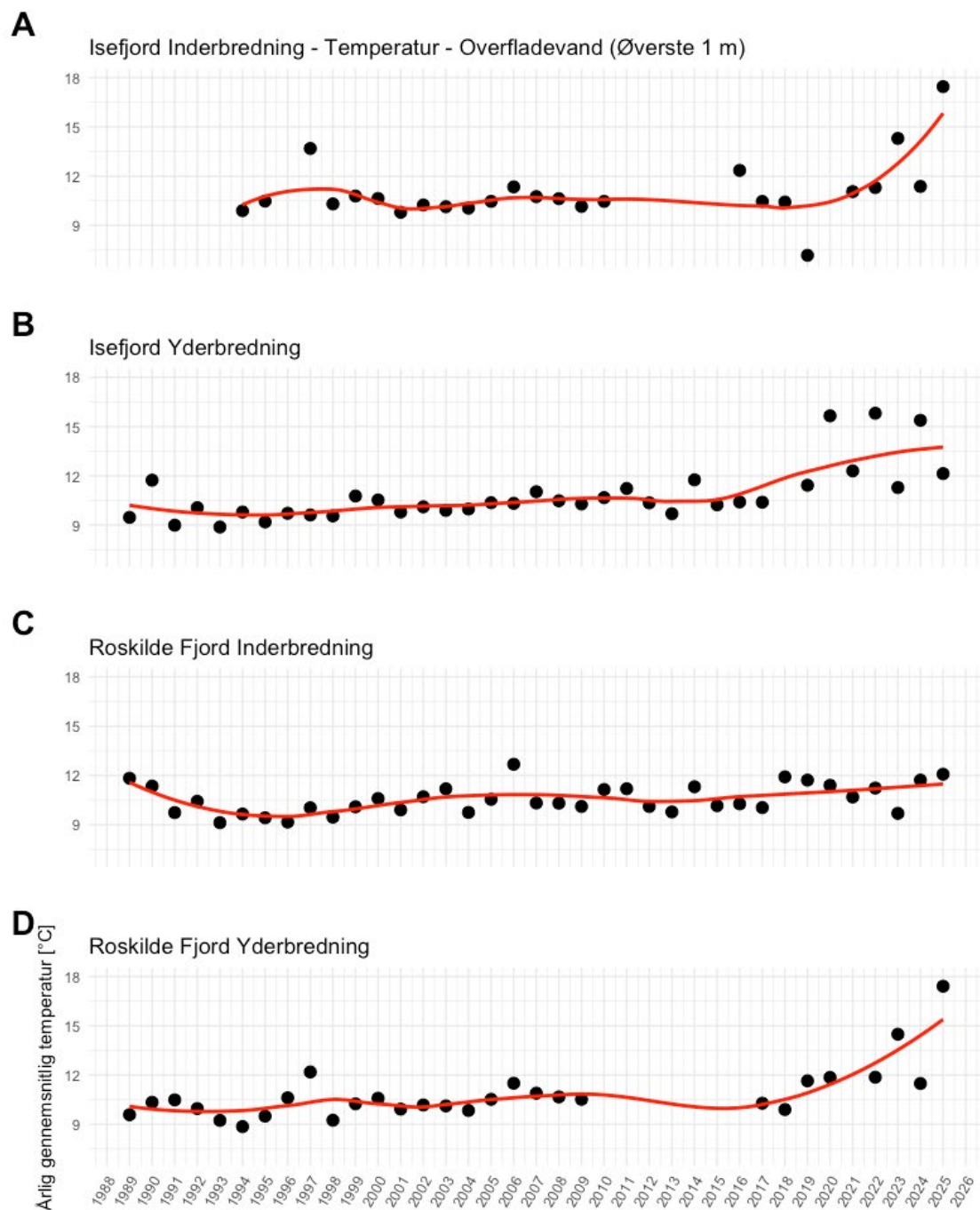
3.7 Klimaforandringer

Den globale opvarmning forventes at medføre ændringer i blandt andet vandtemperatur, vandstand, strømforhold, lagdeling og opblanding, ferskvandstilførsel samt udvaskning af næringsstoffer. Disse ændringer kan få betydelige konsekvenser for de fysiske og kemiske forhold samt for vandmiljø og natur i Lillebælt. Flere rapporter har sammenfattet de potentielle effekter af klimaændringer på danske farvande, herunder Hansen og Bendtsen (2006) samt Jensen et al. (2015).

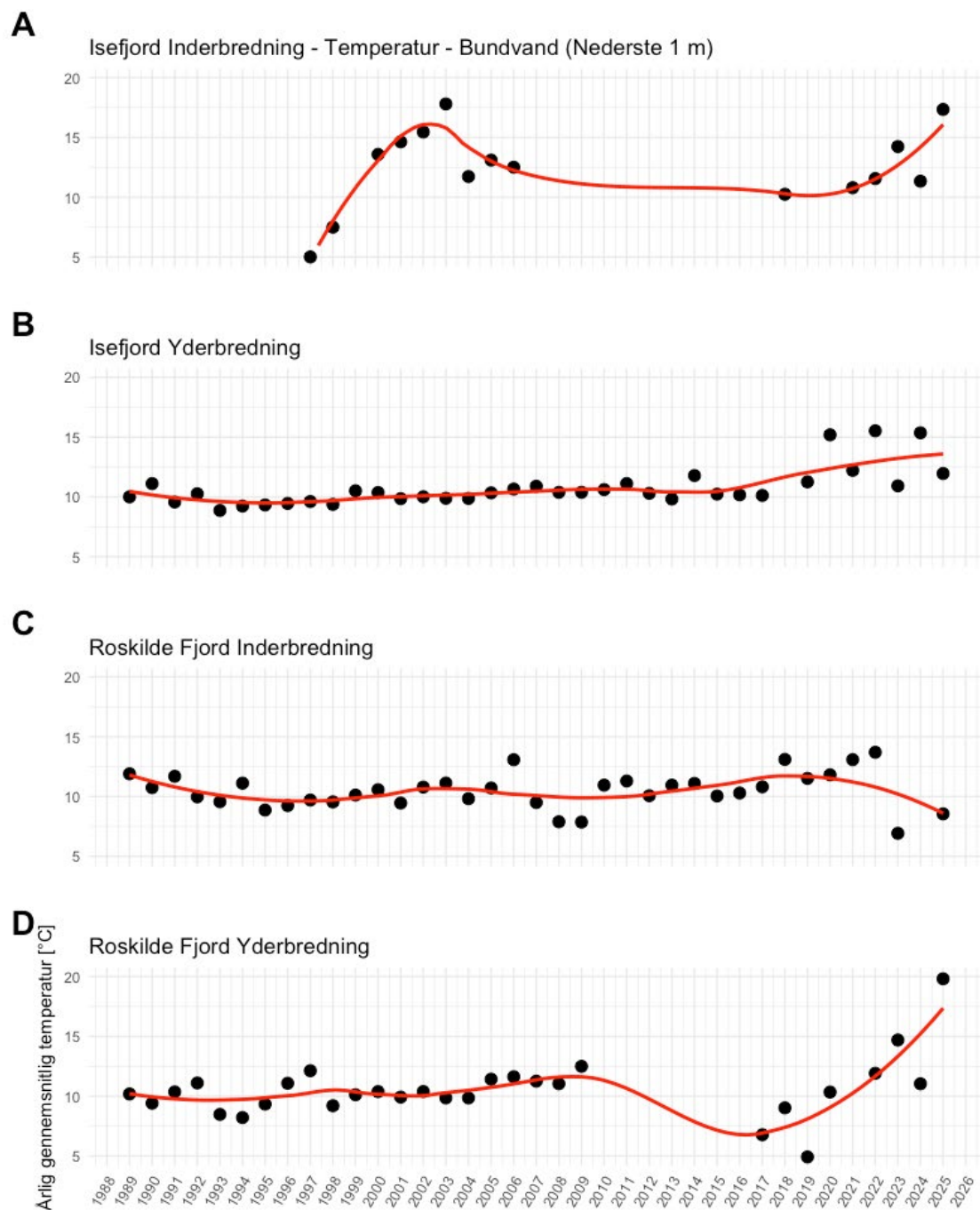
I denne rapport præsenteres data for vandtemperatur, som er en af de parametre, hvor virkningerne af den globale opvarmning allerede er begyndt at kunne påvises, samt fremskrivninger af havniveauændringer, der allerede i dag udgør en risiko for kystområder og samfundsøkonomiske værdier.

Stigende vandtemperaturer påvirker både de fysiske og biogeokemiske processer i havet og har betydning for de marine arters fysiologiske tilpasningsevne. Især forventes højere temperaturer at bidrage til mere udbredt og langvarigt iltsvind, dels fordi varmt vand har en lavere iltoptagelighed, dels fordi iltforbrugende processer forløber hurtigere ved forhøjede temperaturer.

I Danmark er der samlet set registreret en stigning i havtemperaturen på knap 2 °C over de seneste cirka 40 år (Hansen og Høgslund (red.), 2021). For flere af målestationerne i Roskilde Fjord og Isefjorden kan der observeres temperaturstigninger over de seneste 30 år (Figur 3.7.1 og 3.7.2). På grund af den store variation fra år til år fremstår udviklingstendensen dog mindre tydelig i de lokale dataserier end i landsdækkende, sammenlagte datasæt.



Figur 3.7.1: Tidslig udvikling i overfladevandet (øverste 1 meter) i A) Isefjord Inderbredning, B) Isefjord Yderbredning, C) Roskilde Fjord Inderbredning, og D) Roskilde Fjord Yderbredning. Figuren er baseret på tilgængelige data fra 1989-2025 fra DCEs overfladevandsdatabase ODA.



Figur 3.7.2: Tidslig udvikling i bundvandet (nederste 1 meter) i A) Isefjord Inderbredning, B) Isefjord Yderbredning, C) Roskilde Fjord Inderbredning, og D) Roskilde Fjord Yderbredning. Figuren er baseret på tilgængelige data fra 1989-2025 fra DCEs overfladevandsdatabase ODA.

4. Sammenfatning

Miljø- og naturtilstanden i Roskilde Fjord og Isefjorden lever ikke op til vandrammedirektivets krav om god økologisk tilstand og ej heller til habitatdirektivets krav om gunstig bevaringsstatus. Tilstanden i de fire vandområder i fjordene vurderet ud fra klorofyl, ålegræs og bunddyr er moderat eller ringe, og kvælstofkoncentrationerne er fortsat for høje til at understøtte opnåelse af god økologisk tilstand. Den tidlige udvikling i næringsstoffer og klorofyl viser, at der er sket forbedringer siden 1990, men at den positive udvikling er stagneret på et fortsat for højt niveau det seneste årti. Det bevirker bl.a., at klorofylkoncentrationerne er for høje og at der ikke er tilstrækkeligt lys på havbunden til at understøtte vækst af ålegræs. Ålegræs kan derfor kun vokse på lavt vand og ikke nå måldybden.

Forekomsten af 16 trækkende vandfuglearter, som er på udpegningsgrundlaget og som overvåges som led i NOVANA overvågningen viser, at bestandene i Roskilde fjord og Isefjorden er fluktuerende og uden indikationer på fremgang. For troldanden er der et signifikant fald i perioden 2004-2016. Fangstdata fra Nøglefiskerordningen viser ligeledes en fluktuerende udvikling for fangst af fisk i kystzonen siden 2002, dog med stigende tendens for fangst af ål. Fangstdata for skrubber, ålekvabber og rødspætter indikerer lavere fangst de seneste 3-5 år sammenlignet med årene før.

Eutrofiering er en udfordring for miljøtilstanden i begge fjorde og derudover er der i Isefjorden andre presfaktorer som iltsvind og fiskeri med bundslæbende redskaber, der påvirker store områder, hvilket medfører tab af habitater og forringelse af miljø- og naturkvaliteten. Alle vandområder i Roskilde Fjord og Isefjorden er påvirket af eutrofiering, der er medvirkende årsag til iltsvind og som i begge fjorde bl.a. resulterer i for høje klorofylkoncentrationer og vand som er for uklart til at understøtte vækst af ålegræs på tilstrækkelig dybde. Der er et omfattende fiskeri efter muslinger med bundslæbende redskaber i Isefjorden, hvilket bidrager til forstyrrelse af havbunden. Reduktion af presfaktorerne er en nødvendig betingelse for at opnå god økologisk tilstand i de fire vandområder i Roskilde Fjord og Isefjorden samt opnå gunstig bevaringsstatus for de udpegede habitat typer. Men selv med en reduktion i presfaktorerne vil det ad naturlig vej tage lang tid (dekader), at få genskabt tabte habitater og øge miljø- og naturkvaliteten, idet der er betragtelige tidsforsinkelser i økosystemernes respons. Klimaforandringer, herunder stigende temperaturer, forventes at forværre iltsvind og modvirke forbedringer.

Referencer

Anon. 2003. Common implementation strategy for the Water Framework Strategy (2000/60/EC). Guidance Document No 3. Analysis of pressures and impacts. European Communities ISBN 92-894-5123-8

Berger SA, Diehl S, Kunz TJ, Albrecht D, Oucible AM and Ritzer S (2006). "Light supply, plankton biomass, and seston stoichiometry in a gradient of lake mixing depths." *Limnology and Oceanography* 51(4): 1898-1905

Christensen, J.P.A., Timmermann, K., Erichsen, A. & Larsen, T.C. 2024. Tilvejebringelse af hydromorfologiske og fysisk-kemiske kvalitetselementer for danske kystvande. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 48 s. - Videnskabelig rapport nr. 612

Clausen, P., Petersen, I.K., Bregnballe, T., & Nielsen, R.D. (2019). Trækfuglebestande i de danske fuglebeskyttelsesområder, 2004 til 2017. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 308 s. - Teknisk rapport nr. 148 <http://dce2.au.dk/pub/TR148.pdf>

Cloern, J. E. (1999). "The relative importance of light and nutrient limitation of phytoplankton growth: a simple index of coastal ecosystem sensitivity to nutrient enrichment." *Aquatic Ecology* 33(1): 3-15.

Eppley, R.W.; Rogers, J.N.; McCarthy, J.J. HALF-SATURATION CONSTANTS FOR UPTAKE OF NITRATE AND AMMONIUM BY MARINE PHYTOPLANKTON¹. *Limnol. Oceanogr.* 1969, 14, 912–920, <https://doi.org/10.4319/lo.1969.14.6.0912>

Erichsen AC, Birkeland M, Timmermann K, Christensen J & Markager S (2020). Application of the Danish EPA's Marine Model Complex and Development of a Method Applicable for the River Basin Management Plans 2021-2027. Conceptual Method for Estimating Maximum Allowable Inputs. Technical report. DHI.

Fisher TR, Peele ER, Ammerman JW and Harding LW (1992). "NUTRIENT LIMITATION OF PHYTOPLANKTON IN CHESAPEAKE BAY." *Marine Ecology Progress Series* 82(1): 51-63.

Hansen, J.L.S. & Bendtsen, J. (2006): Klimabetingede effekter på marine økosystemer. Danmarks Miljøundersøgelser. 50 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 598. <http://www.dmu.dk/Pub/FR598.pdf>

Hansen, J.W., Høgslund, S., Bruhn, A., Carstensen, J., Dahl, K., Galatius, A., Göke, C., Hansen, J.L.S., Krause-Jensen, D., Kyhn, L.A., Larsen, M.M., Markager, S., Mohn, C., Petersen, I.K., Strand, J., Stæhr, P.A., Sveegaard, S., Tairova, Z., Teilmann, J. & Tougaard, J. (2021). Marine områder 2020: NOVANA. Miljøtilstand og presfaktorer i Lillebælt 51 Aarhus: DCE-Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. 192 s. <http://dce2.au.dk/pub/SR475.pdf>.

HELCOM (2018). Reproductive disorders: malformed embryos of amphipods. HELCOM supplementary indicator report.

HELCOM (2023). Reproductive disorders: malformed embryos of amphipods. HELCOM supplementary indicator report. Online. September 1st, 2025, <https://indicators.helcom.fi/indicator/reproductive-disorders/>.

Jensen, P.N., Hansen, J.W., Jeppesen, E., Wiberg-Larsen, P., Hansen, J.L.S., Jakobsen, H.H., Stæhr, P. & Dahl, K. (2015). Klimaforandringernes betydning for vandområder – med fokus på de biologiske kvalitetselementer. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 106 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 146 <http://dce2.au.dk/pub/SR146.pdf>

Malone, T. C., et al. (1996). "Scales of nutrient-limited phytoplankton productivity in Chesapeake Bay." *Estuaries* 19(2): 371-385.

Miljøministeriet. (2019). Danmarks Havstrategi II Første del God miljøtilstand Basisanalyse Miljømål. Udgiver: Miljøministeriet, April 2019. ISBN: 978-87-93593-73-2

Oesterwind, D., Rau, R. & Zaiko, A. (2016). Drivers and pressures – Untangling the terms commonly used in marine science and policy. *Journal of Environmental Management* 181: 8-15.

Pedersen, E.M., Schiønning, M.K., Kokkalis, A., van Deurs, M., Pedersen, M.I., Brown, E.J., Olsen, J. & Støttrup, J.G. (2023). Registrering af fangster med standardredskaber i de danske kystområder. Nøglefiskerrapport for 2020-2022. DTU Aqua-rapport nr. 428-2023. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 150 pp. + bilag. ISBN: 978-87-7481-361-3

Pedersen, M. F. & Borum, J. (1996). "Nutrient control of algal growth in estuarine waters. Nutrient limitation and the importance of nitrogen requirements and nitrogen storage among phytoplankton and species of macroalgae." *Marine Ecology Progress Series* 142(1-3): 261-272.

Strandberg, B., Andersen, P., Bruhn, A., Buur, H., Carl, H., Elmeros, M., Fox, A., Holmstrup, M., Kjær, C., Kristensen, H.V., Slotsbo, S., Strandberg, M.T. & Wiberg-Larsen, P. (2023). Konsensus omkring vurdering af ikke-hjemmehørende arter i Danmark I. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 48 s. - Teknisk rapport nr. 271

Stæhr P.A., Jakobsen H.H., Hansen J.L.S., Andersen P., Storr-Paulsen M., Christensen J., Lundsteen S., Göke C. & Carausu M.-C. (2016). Trends in records and contribution of nonindigenous species (NIS) to biotic communities in Danish marine waters. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 44 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 179.

Tairova Z.M., Christensen J.P.A. & Strand J. (2024). Reproductive disorders in amphipods as indicators of effects of hazardous substances in Danish waters. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, Scientific note no. 2024|10.

Timmermann, K., Christensen, J., Sveegaard, S., Hansen, F., Teilmann, J., Larsen, M.M., Jepsen, N. & Hansen, J.W. Miljøtilstand og presfaktorer i Lillebælt. DTU Aqua-rapport nr. 404-2022. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 52 pp

Timmermann, K., Christensen, J., Galatius, A., Sveegaard, S., Pawar, S., Larsen, M.M., Cöke C. & Hansen, J.W. (2023). Miljøtilstand og presfaktorer i Øresund. DTU Aqua-rapport nr. 430-2023. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 50 pp

Vaquer-Sunyer, R., & Duarte, C.M. (2008). Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. PNAS 105 (40) 15452-15457 <https://doi.org/10.1073/pnas.0803833105>

Danmarks
Tekniske
Universitet

DTU Aqua
Henrik Dams Allé
2800 Kongens Lyngby

www.aqua.dtu.dk