



Energistyrelsen



Fisk

Baggrundsnotat

Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

T: +45 3392 6700

E: ens@ens.dk

www.ens.dk



Miljøovervågning som grundlag for en strategisk og bæredygtig udbygning af havvind i Danmark

Danmark står over for en markant udvidelse af kapaciteten inden for havvindenergi. Som led i den grønne omstilling og målet om klimaneutralitet, planlægges det at etablere en række nye og langt større havvindmølleparker, end tidligere set. Denne udbygning indebærer væsentlige miljømæssige overvejelser, som skal håndteres med omtanke og på et oplyst grundlag.

Energistyrelsen har derfor anmodet NIRAS A/S om at udvikle omfattende og fagligt funderede overvågningsprogrammer for en række centrale miljøparametre. Disse programmer skal bidrage til at skabe et solidt vidensgrundlag og danne et fagligt fundament for fremtidige vurderinger af miljøpåvirkninger fra havvindmølleparker.

Forslag til overvågningsprogram for de udvalgte miljøemner er beskrevet i "datablade" for hvert emne og der er til hvert emne et uddybende "baggrundsnotat". Databladene indeholder konkrete forslag til overvågningsprogrammer, herunder detaljer om antal prøvetagninger, frekvenser og metoder for indsamling af data. Et overvågningsprogram vil altid skulle tilpasses det enkelte projekt, hvorfor de konkrete programmer ikke nødvendigvis følger den fulde metodik i databladene.

Databladene vil løbende og efter behov blive revideret og de nyeste versioner vil være at finde på Energistrelsens hjemmeside.

Produkt: Fisk - Baggrundsnotat

Udgiver: Energistyrelsen

Billeder og illustrationer: NIRAS A/S

Dato: september 2025

Version: 1.0



1. Generel introduktion til fagemnet	4
1.1 Statistik	5
2. Metoder	6
2.1 Effektovervågning undersøgelser	7
2.1.1 Forberedelse inden monitorering	12
2.1.1.1 Metadata	13
2.1.2 Udstyr og fremgangsmåde ved monitorering	13
2.1.2.1 eDNA-prøver	13
2.1.2.2 Garnundersøgelser	13
2.2 Referencestationer/områder	15
2.3 Konstruktionsfase	18
2.4 Driftsfase	19
2.4.1 Elektromagnetiske felter i driftsfasen	21
2.5 NOVANA og eksisterende data	22
2.6 Data og analysemetoder	23
2.7 Udstyr og laboratoriekraav	25
2.8 Kraav til indberetning til relevante myndigheder og offentlige fagdatabaser	25
3. Referencer	26



1. Generel introduktion til fagemnet

Fiskesamfundene i et givent område kan påvirkes på en række måder i forbindelse med anlæg og drift af havvindmølleparker. I forbindelse med anlægsfasen, kan fisk bortskræmmes af eksempelvis anlægsstøj, suspenderet sediment og forstyrrelse af havbunden. Når parken er anlagt, vil projektområdet have fået tilført hårdt bundsubstrat fra eksempelvis vindmøllefundamenter og erosionsbeskyttelsen omkring dem, hvilket kan påvirke hvilke arter, der forekommer i området efter parken er anlagt. Der kan samtidig opstå indirekte påvirkninger af fiskesamfundet, når parken er anlagt, eksempelvis fra udelukkelse af fiskeri med bundslæbende redskaber i projektområdet mm.

Fiskesamfundet i et projektområde kan derfor opleve en påvirkning af sammensætningen af arter, tætheden og størrelsen af individer samt påvirkning af voksne individer, æg og larver under gydning. For at overvåge dette, er der sammensat et forslag til et overvågningsprogram, som kombinerer fiskeri med garn og analyse af eDNA-forekomster i vandprøver. Der anvendes nordisk-norm garn som indeholder mange forskellige maskestørrelser, og som derfor fisker på et bredt spektrum af arter og individstørrelser, og der optages vandprøver til eDNA ca. 1-2 meter over bunden. De to metoder supplerer hinanden godt og ved at kombinere dem, kan der erfaringsmæssigt opnås et godt indblik i sammensætningen af arter, tætheden af individer samt størrelsen af individer.

Fiskebestande svinger naturligt i størrelse og i deres tidslige og rummelige fordeling. For at kunne dokumentere påvirkningen af et vindmølleprojekt er det derfor nødvendigt at udføre undersøgelserne i et givent projektområde på forskellige tidspunkter kombineret med udviklingen i et nærliggende referenceområde, der udgør sammenligningsgrundlag. Et fiskesamfunds karakteristika kan variere meget selv indenfor korte afstande, og det er derfor nødvendigt at gennemgå eksempelvis habitat- og substrattyper, dybder, saltholdigheder og lignende i og omkring projektområdet for at sikre, at udvælgelse af undersøgelsesstationer er repræsentativt for projektområdet, og at der udvælges lignende stationer i et referenceområde, der minder om projektområdet. Da fiskesamfundet samtidig kan ændre sig markant i løbet af sæsonen, afhængig af hvornår fiskene samles i eller forlader et område for at gyde, bør der gennemføres undersøgelser i foråret (omkring det formodede gydningstidspunkt for mange fiskearter) og efteråret (hvor juvenile fisk har fået en størrelse hvor de kan fanges, og sæsonmæssige ændringer i fordeling af fisk samtidig formodes at være målbart).

For at få et tilstrækkeligt datagrundlag, er det vurderet, at der skal gennemføres fiskeundersøgelser på et antal stationer i projektområdet og i referenceområdet afhængigt af antal habitattyper, der skal undersøges (Tabel 2.1). Undersøgelserne opstartes, og der foretages to års undersøgelser, inden vindmøllerne etableres. Når vindmøllerne er etableret, foretages fiskeundersøgelser 1, 3 og 5 år efter møllerne er etableret. Begrundelsen for at vælge at gennemføre fiskeundersøgelser 1, 3 og 5 år efter vindmøllerne etableres, er, at der er en stærk formodning om, at potentielle ændringer af fiskebestande ved etablering af vindmøllerne vil være størst og mest målbart i de første år efter vindmøllerne etableres, og at der sandsynligvis vil etableres en ligevægt i fiskesamfundet som følge af påvirkninger fra mølleparken efter 5 år. Yderligere begrundelse med at undersøge effekterne i løbet af de første 5 år er, at jo længere tid der går efter etablering af mølleparken, jo mere usikkert bliver det, om en eventuel effekt kan tilskrives en direkte eller indirekte effekt af mølleparkens etablering, da faktorer som potentielle ændringer i fiskeripraksis, samt ændringer i andre



miljøfaktorer såsom stigende gennemsnitsvandtemperatur mm. også vil spille en større rolle på fiskebestanden i området.

For at indfange sæsonvariationer, foretages der undersøgelser i både foråret og efteråret de pågældende år. Der foretages således i alt 10 undersøgelser (1 april-15 maj og 1 september-15 oktober i to år før samt i 1, 3 og 5 år efter etablering) med et antal stationer i projektområdet og referenceområdet, afhængigt af antal habitattyper og arealet på projektområdet.

Et undersøgelsesprogram beløber sig således til mellem 15-39 stationer i projektområdet og 5-13 stationer i referenceområde fordelt over fem kampagner og en 7-årig periode. Det er estimeret at stationerne inden for projektområdet og i referenceområdet grupperes, så hver af de fem kampagner kan afvikles over 2-4 døgn med godt vejr.

1.1 Statistik

For at sikre effektovervågningens evne til at påvise/afvise potentielle signifikante effekter, er det vigtigt at kortlægge den naturlige variation i det kommende påvirkede system. Identifikation af potentielle effekter under etablering og drift af havvindmølleparker betragtes som menneskelige effekter og bør opfattes som ændringer ud over naturlige variationer.

For at adskille den menneskeskabte effekt fra den naturlige variation kræves specielt designede statistiske analyser og dataindsamling. Referenceområder, der repræsenterer fluktuationer i den naturlige tilstand, kan bruges til at påvise ændringer, der overstiger naturlige variationer. Disse referenceområder bør afspejle forholdene i det undersøgte område før etablering af havvindmølleparken påbegyndes, samt naturlige ændringer efter havvindmølleparken er etableret og i drift.

Metoden, kendt som 'Before-After-Control-Impact' (BACI) design, er den mest anvendte til at identificere menneskeskabte ændringer og effekter ved anlægsprojekter. I dette design sammenlignes resultaterne før og efter havvindmøllepark-implementering i både reference- (Control) og påvirkningsområdet (Impact). Formålet er at sammenligne ændringer over tid inden for hvert område og derefter mellem påvirknings- og referenceområdet for at fastslå, om observerede effekter skyldes implementeringen af havvindmølleparken eller andre faktorer.

Statistisk analyse af BACI-data involverer typisk 'Two-Way ANOVA' eller lignende modeller, der udmærker sig til analyse af interaktionseffekter. Disse modeller undersøger de primære effekter af de uafhængige grupper (Before vs. After og Control vs. Impact), samt deres interaktionseffekter på den målte responsvariabel. I tilfælde af en signifikant interaktionseffekt påvises en ændring, der overstiger den naturlige variation. ANOVA stiller krav til at den undersøgte responsvariabel følger en normalfordeling (parametrisk analyse), hvilket ofte er svært at opnå i naturlige systemer. For statistisk modellering af resultater fra fiskeundersøgelser, anbefales det derfor at benytte Generalized Linear Modelling (GLM). GLM er en alsidig og fleksibel version af ANOVA, der tillader analyse af responsvariabler med non-parametrisk fordeling og inklusion af randomiseringseffekter for at håndtere uønskede korrelationer (autokorrelation og multikollinearitet).



For at sikre at indsamlede data kan danne grundlag for robuste statistiske resultater, skal indsamlingen have en tilstrækkelig stikprøvestørrelse. Minimumsestimater for stikprøvestørrelsen beregnes matematisk ved hjælp af en power-analyse. Denne analyse tager hensyn til faktorer som statistisk pålidelighed (power), signifikansniveau og effektstørrelse for at bestemme den nødvendige stikprøvestørrelse til at påvise den ønskede effekt. Effektstørrelse er et mål for, hvor store forskelle der forsøges påvist i undersøgelsen.

2. Metoder

Fiskesamfund er dynamiske over tid og sted, og påvirkes af en lang række miljøvariable som habitattyper og hydrografiske forhold samt menneskelige forhold som fiskeri, forurening og fysiske ændringer i havmiljøet (Wootton, 1991); (Walters & Martell, 2004). Fisk kan være meget selektive i deres valg af niche i nogle perioder og være afhængige af at kunne vandre frit gennem andre områder i forbindelse med eksempelvis gydevandring i andre perioder (Secor, 2015).

Ved montering af havvindmølleparker, ændres forholdene i havmiljøet lokalt, således at fiskesamfundene kan påvirkes. Påvirkningen kan opstå ved, at havbunden midlertidigt forstyrres, fx når der nedlægges elkabler, pælenedrammes, og at havbundshabitater erstattes, når der tilføres hårde substrater i form af vindmøllefundamenter og erosionsbeskyttelse. Samtidig vil havbunden og projektområdet forstyrres mindre, når fiskeri med bundsløbende redskaber i høj grad udelukkes fra projektområdet. Nærværende datablade omhandler effektmonitoringen af fiskesamfundet i projektområder før og efter havvindmølleparkerne opføres.

Det er observeret flere steder, at tilførsel af hårdt bundsubstrat kan medføre, at forekomsten af fisk øges i nærheden af det hårde bundsubstrat (Svendsen et al., 2020); (Svendsen et al., 2022); (Buyse et al., 2023). Lukning af et projektområde for fiskeri, kan samtidig være positivt for fiskesamfundet i området, både direkte fordi færre fisk fanges, og indirekte fordi fødetilgængeligheden ved havbunden kan øges, når fiskeri med bl.a. bundsløbende redskaber ophører (Johnson et al., 2015); (Collie et al., 2016). Omvendt kan støj fra turbinerne, elektromagnetiske felter fra strømførende kabler og ændrede forekomster af rovdyr muligvis forstyrre fiskene eller ændre deres fordeling i området. Det fremføres også i nogle regi, at havvindmølleparker kan tiltrække og agere som et "springbræt" for spredning af ikke-hjemmehørende og eventuelt invasive arter (DCE, 2024). Effekten af havvindmølleparker på fiskesamfundet i projektområder for havvindmølleparker er dog overordnet set mindre velkendt.

Historisk har monitoring af fiskesamfund i Danmark og vores nabolande primært fundet sted med passive fiskeredskaber som garn og ruser (DCE, 2022); (Ådjers et al., 2006) eller på store skala med aktive fiskerimetoder som bundtrawl (ICES, 2022) (Thomassen et al., 2024). Fordelene ved disse metoder er, at de giver mulighed for at inspicere og måle de fisk, der fanges, samt at det bliver muligt at kvantificere tætheder af forskellige arter. Til gengæld kan de have svært ved at fange sjældne individer eller fiskearter, som af den ene eller anden årsag er gode til at undgå enten garn eller bundtrawl. I nærværende datablade, hvor effektmonitoringen skal finde sted indenfor havvindmølleparkerne, vil monitoring baseres på brugen af garn, og ikke bundtrawl. Dels fordi garn kan bruges på alle slags havbundshabitater i modsætning til bundtrawl, som ikke er en brugbar metode på blandet bund- og hårbundshabitater på grund af potentielle skader til udstyret, og dels fordi der i danske farvande er forbud mod brug af bundsløbende redskaber (fx bundtrawl)



i en 200 meter bred restriktionszone langs med og på hver side af kabler som følge af kabelbekendtgørelsen (BEK nr 939 af 27/11/1992).

Indsamling og analyse af forekomst af eDNA (metabarcoding) fra fisk er også inkluderet i monitoringsdesignet. Ved denne metode registreres fiskearter indirekte ved, at eDNA, der udskilles fra dyrene til vandmiljøet, registreres i vandprøver. eDNA som metode kommer med sine egne styrker og svagheder. Det er et stærkt redskab til at supplere øvrige fiskemetoder og dokumentere forekomster af arter som er sjældne eller gode til at undgå fiskeredskaber, og det kan give et indblik i relative forekomster af arter i området (Thomsen et al., 2016); (Veron et al., 2023). Metoden giver til gengæld ikke data på tætheder og individstørrelser eller information om præcis hvor individerne, der udskilte det registrerede DNA, befandt sig eller hvornår på døgnet de benyttede projektområdet (eDNA'et kan være ført dertil med strømmen).

Garn og eDNA har derfor hver sine styrker og svagheder. Ved at kombinere dem til effektmonitoring, opnås et solidt indblik i sammensætningen af arter, individstørrelser og tætheder i projekt- samt referenceområdet. Nærværende datablade baserer sig derfor på et setup, hvor der både gennemføres garnundersøgelser og udtages eDNA-prøver fra de samme stationer.

2.1 Effektovervågning undersøgelser

Baselinedata til effektundersøgelser af fisk indsamles i minimum to år i både april/maj og september/oktober på mellem 15-39 stationer i projektområdet og mellem 10-13 stationer i referenceområde, afhængig af antallet af overordnede habitattyper og projektområdets størrelse (areal). Der sikres, at der er undersøgt mindst 3 stationer for hver af de overordnede habitattyper; Blødbund (mudder, fine sand og sand), blandet bund (blanding af sand, grus og spredt sten) og Hårdbund (blandet bund med mere end 25% større sten) inden etablering af vindmølleparken påbegyndes (Tabel 2.1). Stationerne, der monitoreres i projektområdet og tilsvarende referenceområde, skal være så ensartede som muligt i forhold til habitattyper og dybdeforhold.



Tabel 2.1. Antal garnstationer i projekt-og referenceområder og deres placering ift. havvindmøllefundamenterne baseret på projektområder <100 km² (øverst) og projektområder >100 km² (nederst). *Stationer nærmest havvindmøllefundamenterne placeres så tæt på fundamenternes erosionsbeskyttelse som det er sikkerhedsmæssigt og praktisk muligt - som tommelfingerregel cirka 10 meters afstand. Garnene må ikke placeres direkte på de substrater, der udgør erosionsbeskyttelsen.

Projektområdet < 100 km ²	Tæt på havvind- møllefundamenternes erosionsbeskyttelse*	300 meter	600 meter	Reference stationer	Total
1 Habitattype	5	5	5	5	20
2 Habitattyper					
Dominerende habitattype	4	4	4	4	16
Habitattype 2	3	3	3	3	12
Total	7	7	7	7	28
3 Habitattyper					
Dominerende habitattype	4	4	4	4	16
Habitattype 2	3	3	3	3	12
Habitattype 3	3	3	3	3	12
Total	10	10	10	10	40

Projektområdet > 100 km ²	Tæt på havvind- møllefundamenternes erosionsbeskyttelse*	300 meter	600 meter	Reference stationer	Total
1 Habitattype	7	7	7	7	28
2 Habitattyper					
Dominerende habitattype	5	5	5	5	20
Habitattype 2	4	4	4	4	16
Total	9	9	9	9	36
3 Habitattyper					
Dominerende habitattype	5	5	5	5	20
Habitattype 2	4	4	4	4	16
Habitattype 3	4	4	4	4	16
Total	13	13	13	13	52



Ligeledes tages der mellem 12-36 eDNA-prøver til monitoring i projektområdet, afhængig af forekomsten af de 3 overordnede habitattyper; Blødbund (mudder, fine sand og sand), blandet bund (blanding af sand, grus og spredt sten) og Hårdbund (blandet bund med mere end 25% større sten), hvor der som minimum er prøver fra 3 serier af stationer, samt referencestationer i hver af de overordnede habitattyper, (se Tabel 2.2).

*Tabel 2.2. Antal eDNA-prøvestationer i projektområdet og deres placering ift. havvindmøllefundamenterne. *Stationer nærmest havvindmøllefundamenterne placeres så tæt på fundamenternes erosionsbeskyttelse som det er sikkerhedsmæssigt og praktisk muligt - som tommelfingerregel cirka 10 meters afstand. Garnene må ikke placeres direkte på de substrater, der udgør erosionsbeskyttelsen.*

Projektområdet	Tæt på havvind- møllefundamenternes erosionsbeskyttelse*	300 meter	600 meter	Reference stationer	Total
1 Habitattype	3	3	3	3	12
2 Habitattyper					
Dominerende habitattype	3	3	3	3	12
Habitattype 2	3	3	3	3	12
Total	6	6	6	6	24
3 Habitattyper					
Dominerende habitattype	3	3	3	3	12
Habitattype 2	3	3	3	3	12
Habitattype 3	3	3	3	3	12
Total	9	9	9	9	36

For flere detaljer om udvælgelse af referencestationer, se afsnit 2.2.

Der monitoreres i to år inden vindmøllerne etableres, da der kan være år til år-varationer i fiskesamfundene. Der monitoreres både i foråret (april/maj) og tidlig efteråret september/oktober begge år, da der kan være sæsonvarationer i fiskenes opholdsområder afhængig af fx gydevandringer. Da der skal monitoreres på stationer i både referenceområdet og projektområdet i to år og i to sæsoner hvert år, bliver der således tale om i alt mindst 128 monitoringspunkter, der udgør baseline for fiskesamfundene.

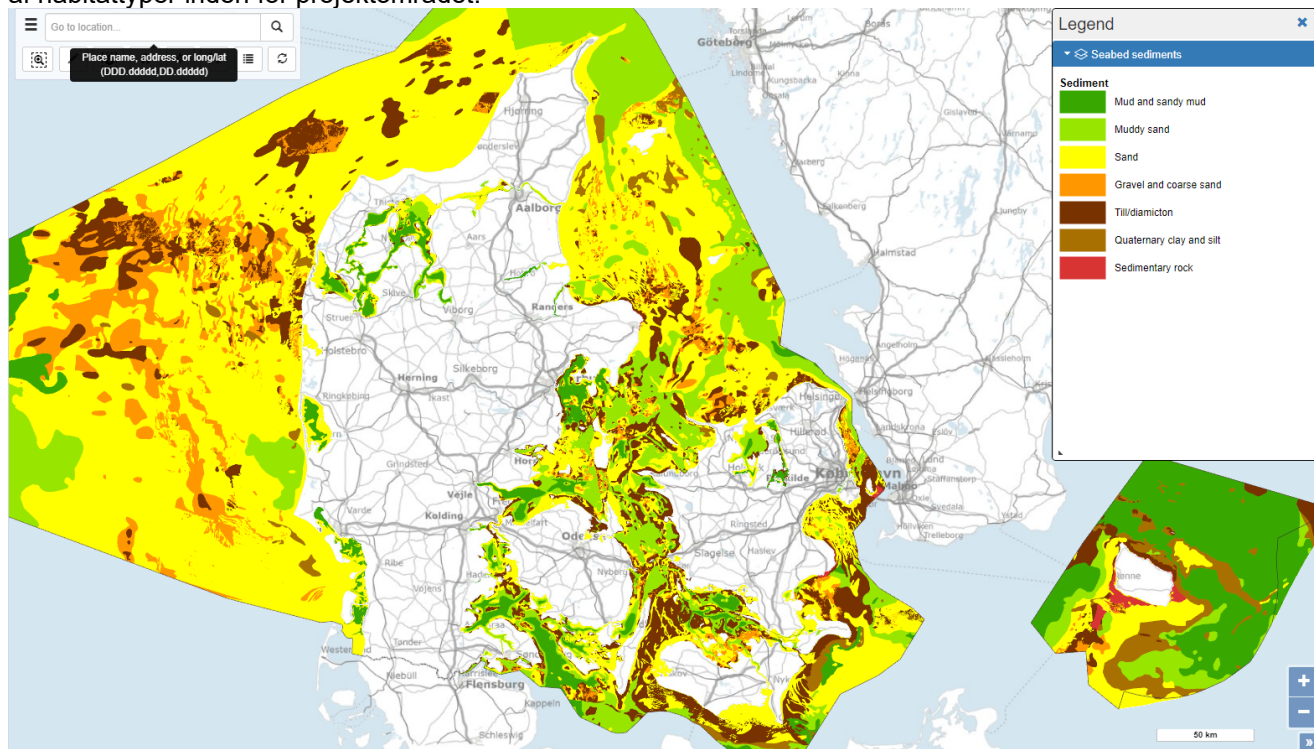
De stationer, der vælges i projektområdet under baselineundersøgelserne, kan ikke nødvendigvis være de samme, som stationerne, der anvendes under driftsfasen, medmindre møllernes præcise placeringer er kendt, når baselineundersøgelserne opstartes. Såfremt møllernes præcise placering er kendt, bør der



anvendes de samme stationer i baseline og driftsfasen. Se da afsnit 2.4 om udvælgelse af stationer i driftsfasen, da monitoringen i driftsfasen er koblet til afstanden til møllefundamentene.

Såfremt mølleplaceringerne kendes, skal monitoringspunkterne placeres efter afstand til møllefundamenter, som gennemgået i afsnit 2.4. I fald mølleplaceringerne ikke kendes, bør stationer, der monitoreres i projektområdet, indfange de forhold, der gør sig gældende i området. Fisk har forskellige levevis og kan overordnet set inddeles traditionelt efter, om de lever i de frie vandmasser (pelagiske fiskearter), eller om de er knyttet til havbunden, (demersale fiskearter). Da fordelingen af pelagiske fiskearter er stokastisk, klumpet fordelt og er mere styret af strømforhold og vandtemperatur, vil monitoring af fiskesamfund beskrevet i disse datablade fokusere på fiskearter, der er tilknyttet havbunden eller opholder sig nær bunden og ofte foretrækker bestemte habitattyper. Processen med udvælgelse af stationer bør i så fald tage hensyn til 3 overordnede habitat- og substrattyper der er egnede levesteder for fisk. Udvælgelsen bør også tage hensyn til dybdeforhold i projektområdet, således at undersøgelserne bliver repræsentative for projektområdet.

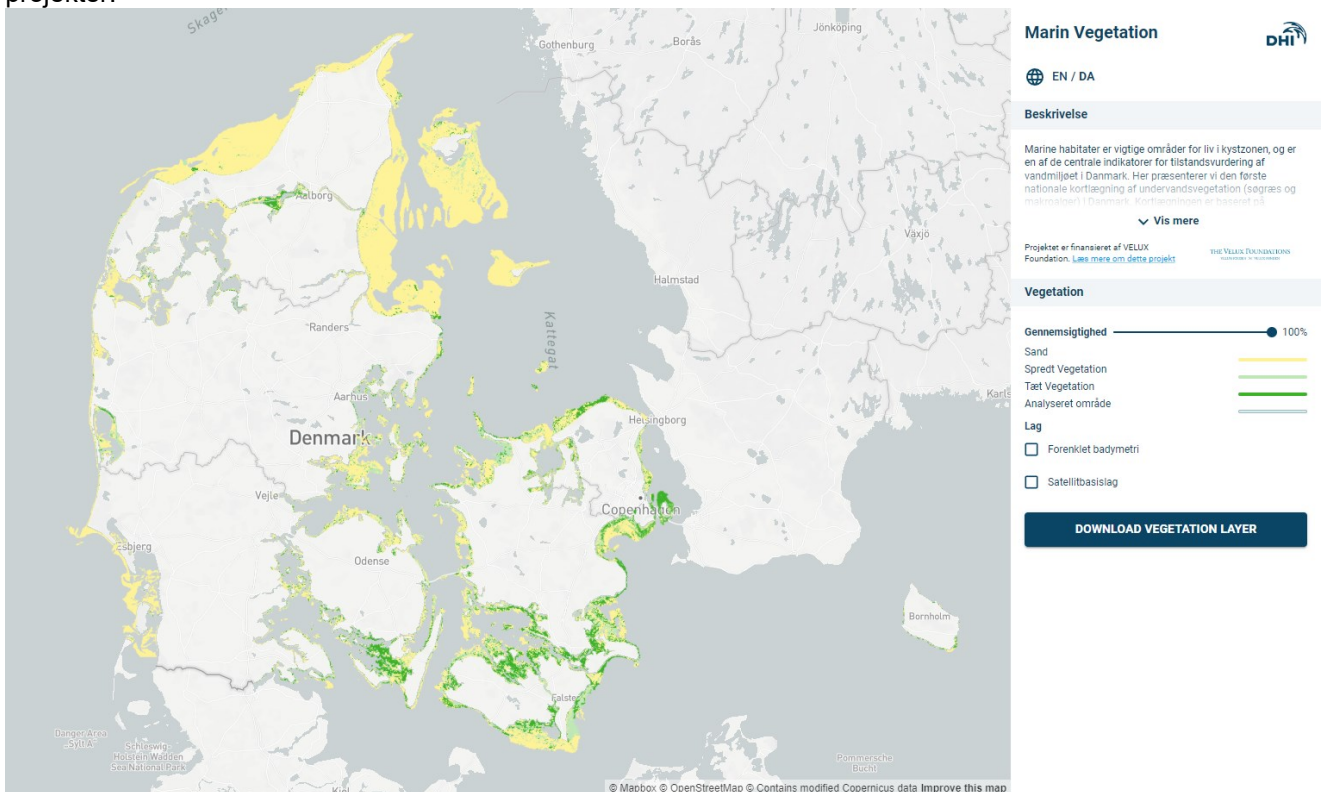
Det er ikke givet, at et projekt har gennemført detaljeret kortlægning af habitat- og substrattyper i et projektområde, når baselinestudierne påbegyndes. Det er samtidig ikke givet, at projektet vil bekoste en detaljeret kortlægning udenfor projektområdet for at finde ensartede referenceområder. Såfremt projektet ikke ligger inde med detaljerede kortlægningsdata, bør udpegnig af stationer i projektområdet og referenceområdet derfor foretages med udgangspunkt i GEUS' marine råstofdatabase Marta (GEUS, 2024), se Figur 2.1 eller anvende resultaterne fra udbuddets forundersøgelelsesprogram. Her fremgår en grov oversigt over forekomsten af habitattyper i danske farvande der passer til 3 overordnede habitattyper: Blødbund (mud, muddy sand og sand) / Blandet bund (gravel og coarse sand) / Hårdbund (till – quaternary clay - sedimentary rock) som diverse fiskearter er tilknyttet. Monitoringspunkterne bør udvælges, så de repræsenterer fordeling af habitattyper inden for projektområdet.





Figur 2.1. Udklip fra GEUS' marine råstofdatabase Marta, hvor en overordnet kortlægning af marine substrattyper er tilgængelig.

Der kan i nogle tilfælde også suppleres med kortlægningsdata fra DHI's kortlægning af makrofytdække i danske farvande (DHI, 2018). Dette produkt dækker dybder ned til 4-10 meters dybde (afhængig af vandets klarhed), baseret på satellitbilleder fra 2018 (se Figur 2.2.). Dette er primært relevant ved meget kystnære projekter.



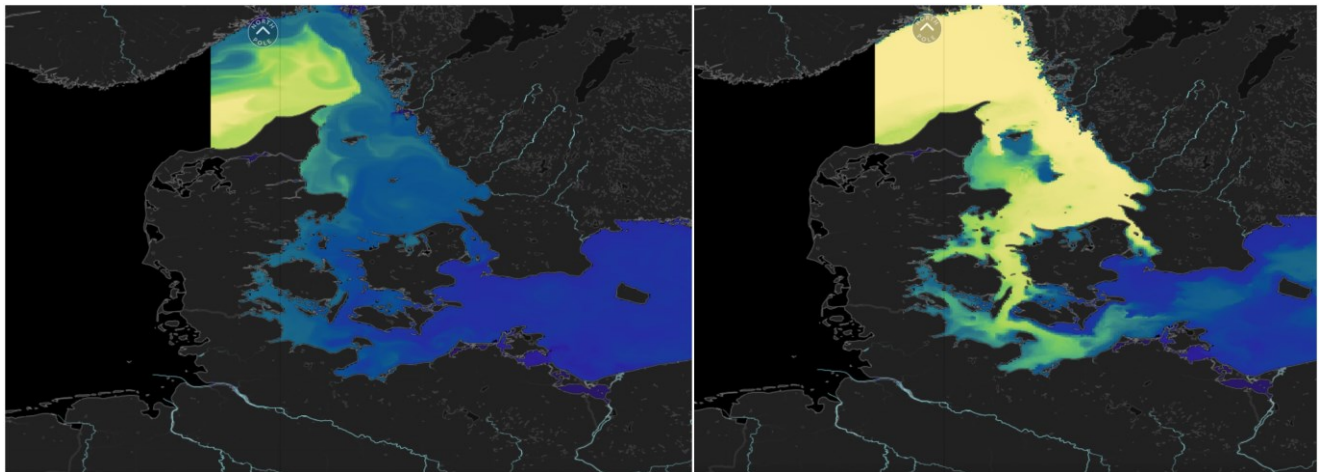
Figur 2.2. Marin vegetation, kortlagt af DHI på baggrund af satellitbilleder fra 2018. Da metoden er afhængig af sigtddybden, er der kortlagt ud til dybder på 4-10 meter, og således primært kystnært. Fra (DHI, 2018).

Fiskenes opholdsområder kan også påvirkes væsentligt af fx dybde, saltholdighed, strømforhold, temperatur og afstand til kysten. Der bør således udvælges monitoringspunkter, der tilgodeser den variation af disse forhold, der kan forekomme inden for projektområdet.

De danske farvande er komplekse, da de ligger i et område med en markant salinitetsgradient mellem Østersøen og Nordsøen. Saltholdigheden har markant indflydelse på hvilke fiskearter, der opholder sig i et område (HELCOM, 2018). Derfor bør disse parametre også tænkes ind i udvælgelsen af stationer i projekt- og referenceområdet med fælles habitattyper, således at stationer inden for projektområdet og referenceområdet minder så meget om hinanden som muligt. Her kan der tilgås detaljerede dybdedata fra DHI's kortlægning (DHI, 2024) og som ekstra oplysning modellerede temperaturer, strømforhold og saltholdigheder fra EU's Copernicus Marine Service i produktet Baltic Sea Physics Analysis and Forecast (Copernicus, 2024) eller udbuddets forundersøgelelsesprogram. Det pågældende produkt dækker kun



Østersøen og en del af Skagerrak (se Figur 2.3), men dækker derved også det område, hvor de hydrografiske forhold ændrer sig markant indenfor relativt kort afstand. Ved gennemgang af data, bør man være opmærksom på, at flere af datapunkterne er daglige modellerede resultater, og der bør inspiceres et antal datapunkter inden udvælgelsen finder sted.



Figur 2.3. Salinitet i overfladevandet (venstre) og ved bunden (højre) modelleret af Copernicus for en given dag. Fra (Copernicus, 2024).

2.1.1 Forberedelse inden monitoring

Så snart positionerne for overvågningsstationerne kendes, meldes disse ind til Landbrugs- og Fiskeristyrelsen:

Landbrugs- og Fiskeristyrelsen
Nyropsgade 30
1780 København V
Tlf.: 72 18 56 00
E-mail: mail@fiskeristyrelsen.dk

Her angives fiskeriets tids- og stedmæssige placering, dets metode samt en behørig begrundelse herfor.

Ansøgning om forsøgsfiskeri efter § 109 skal indgives flere uger inden fiskeriets begyndelse, og kan indgives her: <https://lfst.dk/erhvervsfiskeri/tilladelser/forsoegsfiskeri/teknisk-forsoegsfiskeri-i-saltvand>

Bemærk at der kan være flere ugers behandlingstid, og at manglende rettidig tilladelse har opsættende virkning på fiskeriets igangsættelse.

Det anbefales samtidig, at lokale fiskere adviseres om monitoringsfiskeriet.



Udstyr (primært garn) kan have en lang bestillingstid, og bør bestilles minimum to måneder inden planlagt monitoringsstart. Der indgås aftale med et relevant laboratorium til analyse af eDNA-prøver. Laboratoriet skal have de relevante kompetencer og udstyr til analyse af eDNA.

2.1.1.1 Metadata

En række observationer og datapunkter såsom position, dato og tid skal noteres for hvert punkt, der monitoreres. Bilag 1 er tiltænkt som skabelon til notering af metadata. Bilag 1 printes inden monitoring eller medbringes digitalt til løbende indskrivning. I begge tilfælde skal backup eller sikkerhedskopiering indtænkes løbende, for eksempel ved fotografering undervejs på feltarbejde.

2.1.2 Udstyr og fremgangsmåde ved monitoring

Der anvendes en kombination af garn og eDNA-prøvetagning på monitoringspunkter i hver af de overordnede habitatyper tilstede i projektområdet. Der anvendes bundstående gællenet (nordisk norm-garn) af samme type som i den tekniske anvisning for NOVANA undersøgelser (DCE, 2022), dog modificeret hvor der suppleres med to ekstra paneler med to større maskestørrelser, 68 og 85 mm, og der udtages en 4,5 liter vandprøve fra en vanddybde på 1-2 meter over havbunden med en vandhenter.

2.1.2.1 eDNA-prøver

eDNA-prøver udtages med vandhenter ved hver station. Det er vigtigt, at vandprøven udtages hurtigt efter ankomst til lokaliteten og inden, at der sættes garn i vandet, så kontaminering af vandet undgås. Vandprøven bør være minimum 1,5 L og helst cirka 4,5 L til at have nok til tre separate replikater. For at undgå at hvirvle bunden op, udtages prøven fra en dybde på 1-2 meter over havbunden. Der må under ingen omstændigheder udtages vandprøver tættere end en meter fra bunden. Dette er for at undgå eventuel forurening af prøven med gammel DNA fra havbunden.

Selve flowet omkring prøvetagningen og behandlingen af prøverne foretages i overensstemmelse med den tekniske anvisning for eDNA-prøvetagning i marine miljøer (Knudsen et al., 2020).

2.1.2.2 Garnundersøgelser

Med hensyn til garnundersøgelse, kan det stærk anbefales, at der søges rådgivning/oplysning om specifikke bundforhold, samt strømforhold mm. i forhold til sætning og røgtning af garn fra fiskere, der har erfaring med garnfiskeri i og omkring projektområdet.

Hvis der skal anvendes pingere for at reducere risikoen for bifangst af marsvin, skal dette koordineres med overvågning af marine pattedyr.

Garnundersøgelserne gennemføres ved, at der ved hver station sættes 2 sammenhængende Ny-Nordisk-Norm garn (modificeret 12+2, så 14 paneltyper i alt per garn) i forlængelse af hinanden, se Tabel 2.3. Der skal være mindst 2 meters afstand i overgangen mellem hvert garn for at undgå påvirkning af fangst mellem de sammenhængende garn.

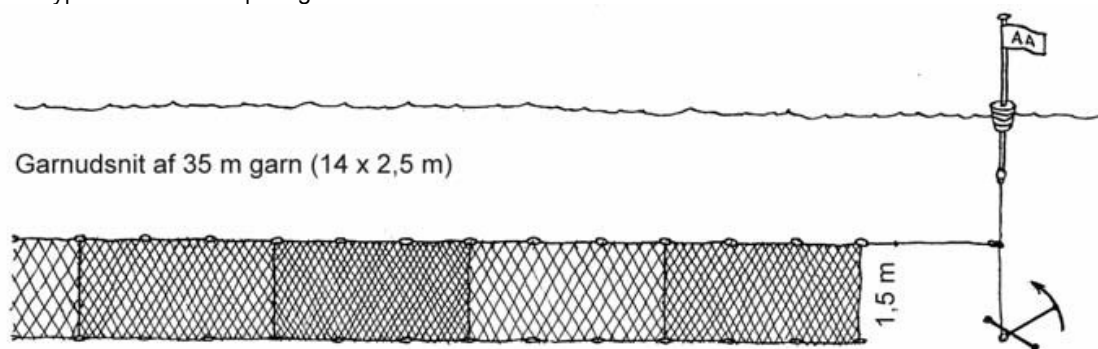
Tabel 2.3. Maskestørrelsesfordeling (knude til knude) og linediameter i NY-NORDISK-Norm gællegarn.

Maske nr.	Maskestørrelse (mm)	Linediameter (mm)
1	85	0,35



2	68	0,28
3	43	0,2
4	19,5	0,15
5	6,25	0,1
6	10	0,13
7	55	0,23
8	8	0,1
9	12,5	0,13
10	24	0,16
11	15,5	0,15
12	5	0,1
13	35	0,2
14	29	0,16

Garntypen er illustreret på Figur 2.4.



Figur 2.4. Illustration af Ny-Nordisk-Norm gællegarn. (Tegning: © Aqua-Bio/Lars Anker Angantyr).

Garnene sættes på bunden, efter der er udtaget eDNA-prøver og røgtes senest 24 timer senere. Garnene skal stå i minimum 12 timer, og de skal stå hen over en nat. Placeringen markeres på overfladen med en vage eller tilsvarende, med tydelig angivelse af kontaktinformation på udstyret. Det er vigtigt, at garnene får lov at stå natten over og røgtes om morgenen, så krabber og lignende ikke æder for stor en del af fangsten.

Når garnene er hentet, lægges de direkte på is med fangsten i dem, da det kan være praktisk vanskeligt at pille garn og opmåle fangster på havet. Det er vigtigt, at der er medbragt rigeligt med is til at tildække garn og fangster grundigt, og det kan være en fordel at bruge isoleret container (fx isoleret fiskekar) eller andre former for større beholdere til at placere og opbevare is og garn med fangsten i.

Efter ankomst til havn/land pilles garnene og fiskene måles og vejes, så hurtigt som det er praktisk muligt. Der er vedlagt et skema som Bilag 1 til notering af data. Når garnene pilles, er det vigtigt, at fiskene sorteres efter hvilket garn og station, de blev fanget i. Dette noteres i feltskemaet (Bilag 1).



For hver fisk registreres totallængde (fra snude- til halespids) afrundet til nærmeste hele centimeter, hvorefter fiskene vejes og deres vægt noteres i nærmeste hele gram. Hvis fisk beskadiges i forbindelse med rensning af garn, skal de sammenhørende dele holdes sammen og en tilnærmet længde skønnes og angives. Hvis der undtagelsesvis er fisk, som er umulige at måle eller skønne et længdemål på, kasseres disse, og fisken eller delene af fisken indgår *ikke* i data. Den totale vægt af hver art per station beregnes.

Når hele fangsten er registreret, målt og vejlet, kan længde, vægt, kondition, tæthed (fangster af en given art per tidsenhed), biomasse og lignende beregnes.

Resultaterne indgår i den statistiske efterbehandling (se afsnit 2.6).

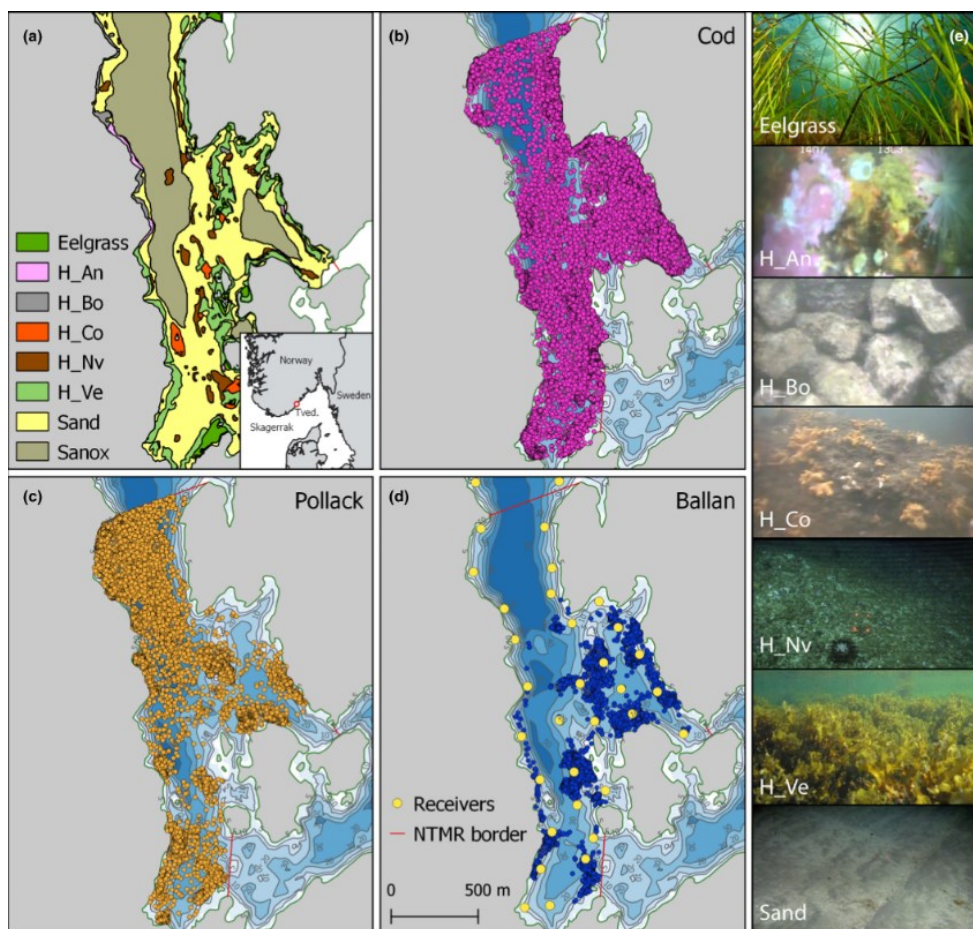
2.2 Referencestationer/områder

Fiskebestande fluktuerer naturligt, og påvirkes samtidig af fiskeriet og andre menneskelige faktorer. En eventuel trend i forekomster af fisk i et projektområde, kan derfor være et resultat af udefrakommende faktorer, som ikke har noget med projektområdet og aktiviteterne i dette at gøre. Det er derfor nødvendigt at udlægge referencestationer uden for projektområdet, hvori der monitoreres på samme vis som inden for projektområdet, så generelle trends og den naturlige variation kan beskrives.

Der bør udlægges referencestationer, så antallet svarer til antallet af stationer og de habitattyper der er tilstede i projektområdet og i forhold til størrelsen/arealet af projektområdet (Tabel 2.1). Referencestationerne bør behandles på samme måde som stationerne i projektområdet, det vil sige der anvendes samme udstyr, der befiskes på samme tidspunkter, der udtages eDNA-prøver, og stationerne tilstræbes opsat med samme afstand mellem sig, så prøvetagningen og dens resultater bliver så sammenlignelig som muligt.

Så snart der er fastlagt referencestationer, bør disse fastholdes gennem hele overvågningsforløbet. Dette er dog kun muligt, hvis baselineundersøgelserne er gennemført med viden om vindmøllernes fremtidige placering, således at der kan fastholdes de samme stationer i projekt- og referenceområde gennem hele forløbet. Såfremt stationerne i projektområdet er fastlagt uden kendskab til vindmølleplaceringer, og derfor ændres når der går fra baseline til monitoring af driftsfasen, bør referencestationerne også ændres, så disse spejler forholdene på de monitorerede stationer i projektområdet så godt som muligt.

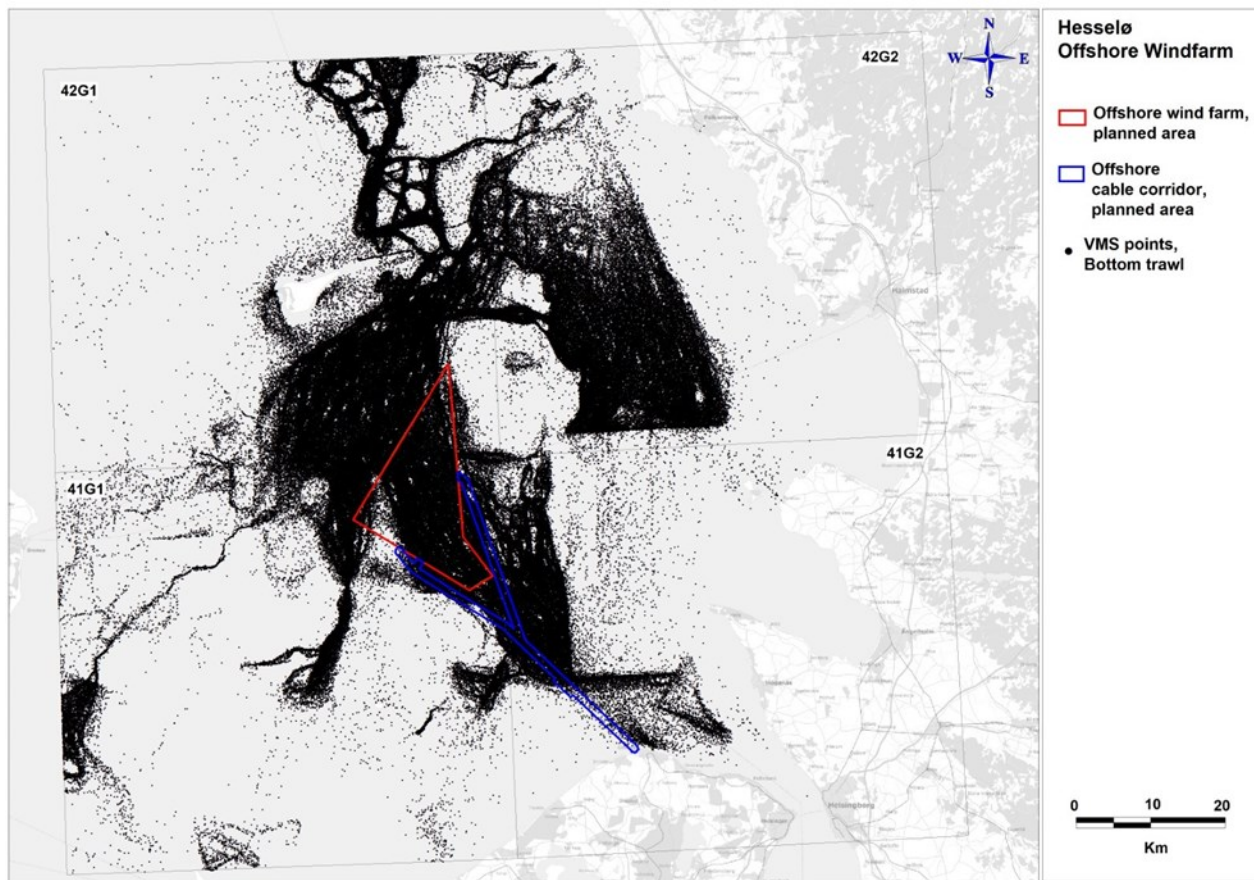
Identifikation og udvælgelse af referencestationer kan være en delikat proces, da lokale forekomster af habitat- og bundsubstrattyper kan have stor betydning for, hvilke fiskearter der findes, samt i hvilke tætheder de forekommer. Dette er tydeliggjort i undersøgelser fra den norske skagerrakkyst, hvor opholdsområder for sej, torsk og berggylte er sammenlignet med bundens habitattyper (Freitas et al., 2015); (Freitas et al., 2021). Her viste alle arter en signifikant præference for ophold i områder med vegetationsdækkede hårde bundsubstrater (se Figur 2.5), mens især sej og i mindre grad torsk også kunne findes i områder med blødbund. Selvom en art som torsk kan vandre flere hundrede kilometer i danske farvandsområder i forbindelse med gydning, kan den individuelle fisk således være relativt stedfast og opholde sig indenfor få hundrede meter i dele af sit voksenliv udenfor gydevandringene (André et al., 2016); (Kristensen et al., 2021).



Figur 2.5. Opholdsområder for elektronisk mærkede torsk (panel b), sej (panel c) og berggylte (panel d) i områder med forskellige bundsubstrattyper (panel a) i en norsk skagerrakfjord. Fra (Freitas et al., 2021).

I nærværende undersøgelsesprogram skal referencestationerne fungere som validering i forhold til eventuelle trends i fiskebestandene. Det er derfor vigtigt, at der udvælges områder med omtrent samme habitat- og bundsubstrattyper som de områder, der monitoreres inden for projektområdet, således at områderne tiltrækker de samme fiskearter i omtrent samme omfang. Her anvendes datakilderne beskrevet i afsnit 2.1 til at udvælge referencestationer, der minder om stationerne i projektområdet i så høj grad, som det er muligt.

Fiskeri med især bundslæbende redskaber kan udgøre en markant påvirkning af fiskesamfundet i et givent område. Påvirkningen kan være både direkte ved at især større individer fjernes af fiskeriet, men også indirekte ved at sammensætningen og forekomsten af fødeemner på havbunden ændres (Johnson et al., 2015); (Collie et al., 2016) (Hansen, J.L.S. og Blomqvist, M., 2018). Der kan være stor lokal variation i udbredelsen af fiskeri med bundslæbende redskaber, selv indenfor få kilometers afstand, se Figur 2.6. I forbindelse med udvælgelse af referenceområde, bør VMS-data for fiskeri med bundslæbende redskaber derfor indhentes fra Landbrugs- og Fiskeristyrelsen, således at det kan sikres, at referenceområdet har omtrent samme belastning fra denne type fiskeri, som projektområdet inden store dele af projektområdet eventuelt forbydes fiskeri med bundslæbende redskaber.



Figur 2.6. Oversigt over bundtrawl i Kattegat, baseret på VMS-registreringer fra fiskesfartøjerne. De store lokale variationer i forekomst og intensitet af denne fiskeritype fremgår tydeligt. Kortet er fra den tekniske rapport om fiskeri for Hesselø Havmøllepark (Energinet, 2022).

Afstanden fra projektområdet til referenceområdet, bør være minimum 10 km. Det er udfordrende at fastsætte en evidensbaseret minimumsafstand, da en række forhold omkring fiskesamfundets respons på etablering af en havvindmøllepark ikke er kendt, fx:

- Hvor langt væk fiskene flygter som følge af projektets anlægselementer (primært støj og suspension af sediment), og i hvilken grad fiskene returnerer til projektområdet efterfølgende.
- Etablering af hårde bundsubstrattyper kan tiltrække et stort antal fisk (se fx (Svendsen et al., 2020)), men det er ikke kendt, hvor langt udefra de tiltrukne fisk kommer fra.

Såfremt der skræmmes fisk fra projektområdet ud i referenceområdet under anlægsfasen, og denne effekt ikke reverserer sig selv ved, at fiskene vandrer tilbage, vil der således opstå en skævvridning af de observerede udviklinger i fiskesamfundene. Omvendt vil der, såfremt projektområdets tilførte hårde bundsubstrater tiltrækker fisk udefra, opstå en skævvridning i modsat retning. Begge effekter er for så vidt relevante for parkens påvirkning af fiskesamfundene, men da størrelsen af effekterne ikke er kendt, bliver de problematiske, da det ønskes, at referenceområdet netop er en reference, hvor projektet ikke påvirker fiskesamfundene.



Ovenstående forhold taler for at vælge en relativt høj afstand mellem reference- og projektområdet. Ved nedramning af monopæle, ses eksempelvis erfaringsmæssigt støjniveauer, som kan påføre sårbare medlemmer af fiskesamfundene midlertidige høreskader ud til afstande på flere kilometer. Bliver afstanden mellem projekt- og referenceområde for stor, risikeres det omvendt, at eventuelle forskelle i udviklingen i projekt- og referenceområdet kan tilskrives andre udefrakommende faktorer. Det bør således tilstræbes, at referenceområdet ligger omtrent 10 km fra projektområdet, og ikke væsentligt mere i de indre farvande, hvor forholdene hurtigt kan ændre sig. I eksempelvis Nordsøen, hvor forholdene er mere homogene, bør afstanden også være minimum 10 km, men hvis nødvendigt kan en større afstand på eksempelvis 20 km være acceptabelt.

I forbindelse med fastsætning af referenceområde, bør det samtidig undersøges, hvorvidt der er andre projekter planlagt, som kan give kumulative effekter under overvågningsforløbets løbetid. Det er eksempelvis ikke ønskværdigt at udlægge et referenceområde, hvis der anlægges et nyt havvindsprojekt umiddelbart op ad dette mens overvågningsforløbet foretages.

Overordnet set, bør udvælgelsen af referencestationer ske efter følgende rangerede prioritering:

1. Substrat- og habitattyper bør være omtrent identiske med stationerne i projektområdet.
2. Dybde skal være omtrent identiske med stationerne i projektområdet.
3. Fiskerimønstret med bundsløbende redskaber bør være omtrent identisk med stationerne i projektområdet (inden parken bliver anlagt).
4. Afstanden til kysten bør være omtrent identisk med stationerne i projektområdet.
5. Referenceområdet bør ligge, så der ikke opstår kumulation med eksempelvis fremtidige havvindmølleparker i det.
6. Afstanden til selve projektområdet bør være omtrent 10 km, men kan være mere hvis nødvendigt for at opfylde ovenstående punkter.

2.3 Konstruktionsfase

Konstruktionsfasen for havvindmølleparker er forbundet med en række direkte og indirekte påvirkninger på fiskesamfundet i projektområdet. Der er i miljøvurderingsøjemed primært fokus på påvirkninger fra støj, der kan komme fra fx anlægsfartøjer og nedramning af fundamenter, samt påvirkninger fra sediment, der suspenderes under nedramning af fundamenter og nedlægning af strømførende kabler i havbunden. Der kan også opstå indirekte påvirkninger på fiskesamfundet fra ændrede fiskerimønstre i det kommercielle og rekreative fiskeri samt fra ændrede forekomster af rovdyr som havpattedyr og fugle, der skræmmes under anlægsarbejderne. Endelig kan fiskesamfundene påvirkes indirekte af den påvirkning af habitater i projektområdet der finder sted, når der etableres fundamenter og graves i havbunden.

Fælles for påvirkningerne på fiskesamfundene under anlægsfasen af havvindmølleprojekter er, at de for hovedpartens vedkommende, er meget stedspecifikke, midlertidige og reversible når anlægsfasen er overstået. Fisk, der bortskræmmes af anlægsstøj eller suspenderet sediment, kan eksempelvis hurtigt vende



tilbage og rekolonisere området, når påvirkningerne er overstået. Påvirkningerne har samtidig en dynamisk karakter, som afhænger af timingen i anlægsfasens elementer, sæsonen og vejrforholdene på anlægstidspunktet, valg af anlægsmetoder osv. Det er derfor kompliceret at opstille en standardiseret metode til overvågning af anlægsfasens påvirkning på fiskesamfundene uden også at opstille en række komplekse krav til monteringsforløbet og -metoderne. Da anlægsfasens påvirkninger samtidig generelt er midlertidige, og eventuelle længerevarende negative effekter vil kunne indfanges af monitoreringen efter anlægsfasen, vurderes det således som værende uhensigtsmæssigt at pålægge standardiseret monitorering af fiskesamfundene under anlægsfasen.

Der er en række forhold omkring bortskræmning af fisk i forbindelse med støj og suspension af sediment, som det generelt vil være relevant at opnå bedre viden om. Dette foreslås gennemført i andet regi, eksempelvis i mere målrettede forskningsprojekter.

2.4 Driftsfase

Når mølleparken er sat i drift, gennemføres monitorering af fiskesamfundene med garn og eDNA (se afsnit 2.1.2.1 og 2.1.2.2) 1, 3 og 5 år efter idriftsættelsen på positioner i hhv. projekt- og referenceområdet med mindst 3 stationer i hver habitattype (blødbund, blandet bund og hårbund (>25 % dækning med sten) observeret i mølleområdet (se Tabel 2.1). Ved alle tre år, gennemføres monitorering mellem 1. april-15. maj og 1 september-15. oktober, således at seks kampagner gennemføres i alt. Placeringen af stationer i driftsfasen er afstandsafhængig af de hårde bundsubstrater omkring de nye havvindmøllefundamenter, hvilket gennemgås i det følgende afsnit.

Fiskesamfundet må generelt forventes at respondere hurtigt på vindmølleparkens tilstedeværelse. Eksempelvis ses hurtigt (efter et år) en effekt på forekomsten af torsk efter tilførsel af hårdt bundsubstrat i de indre farvande (Svendsen et al., 2020). Samtidig må det forventes, at eventuelle ubalancer i forekomster af fisk, der kan være opstået ved eksempelvis bortskræmning eller tab af individer som følge af reduceret fitness efter potentielle skader fra anlægsstøj, vil retableres relativt hurtigt efter anlægsfasens afslutning. En stor del af effekten på fiskesamfundet må således forventes at kunne observeres ved monitoringskampagnerne et og tre år efter anlægsfasens afslutning.

Kolonisering og succession af organismer på de hårde bundsubstrater og retablering af havbundens organismer efter mindre fiskeri med bundslæbende redskaber kan dog tage op til flere år (Dahl et al., 2003); (Hiddink et al., 2017); (Svendsen et al., 2022). Dette kan påvirke fødekæderne i området og potentielt medføre en længerevarende effekt på fiskesamfundet. Samtidig kan en eventuel ændring i størrelsesfordelingen af fiskene efter ændring af fiskerimønstrene i området også tage længere tid om at indtræde. Der gennemføres derfor monitorering 5 år efter vindmølleparkens anlægsfase for at få et fuldt billede af vindmølleparkens effekt på fiskesamfundet.

En stor del af havvindmølleparkens længerevarende effekt på fiskesamfundet må forventes at ske i tilknytning til tilførslen af hårdt bundsubstrat (primært omkring vindmøllefundamenterne), som en række fiskearter kan tiltrækkes af (Freitas et al., 2021); (Svendsen et al., 2022); (Buyse et al., 2023). Det er derfor væsentligt, at der monitoreres tæt ved de nytillførte, hårde bundsubstrater. Omvendt giver det et skævt billede af udviklingen i projektområdet, hvis der kun monitoreres tæt ved vindmøllefundamenterne, da udviklingen her ikke er

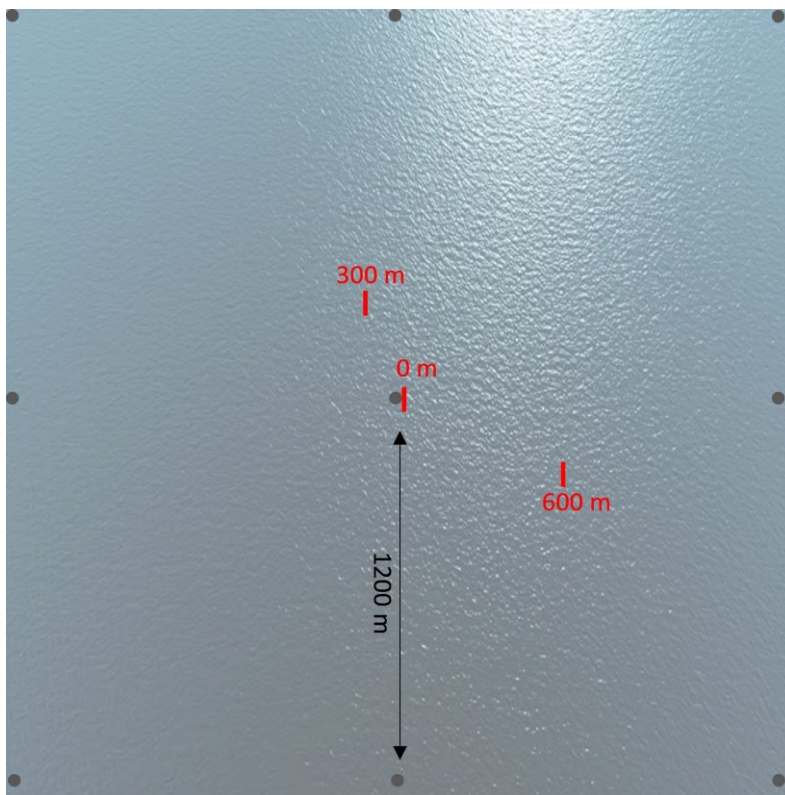


repræsentativ for den udvikling, der kan være fundet sted længere fra vindmøllefundamenterne. Man kan eksempelvis forestille sig en situation, hvor bundlevende fisk trækker ind mod fundamenterne, således at tæthederne længere fra fundamenterne falder, i hvert fald i en periode til, der er opstået balance i de nye habitater. Samtidig kan en eventuel udvikling i fiskesamfundet længere fra fundamenterne også finde sted som følge af ophøret af bundtrawling og de effekter dette har på de bundlevende organismer (Johnson et al., 2015); (Collie et al., 2016); (Hiddink et al., 2017). En sådan udvikling er også væsentlig at kunne indfange af monitoringen, og monitoringsstationerne skal derfor fordeles i tre afstandsintervaller til havvindmøllefundamenterne. Afstanden er afhængig af afstanden mellem vindmøllerne. I det følgende tages udgangspunkt i en vindmøllepark med en afstand på 1200 meter mellem hver vindmølle.

Ved hver station sættes to sammenkoblet biologiske oversigtsgarn i forlængelse af hinanden ved hver havvindmølle og referencestation. Der skal være mindst to meters afstand i overgangen mellem hvert af de to oversigtsgarn, således at enderne af garnene ikke påvirker hinandens fangster. Såfremt der er flere forskellige bundsubstrattyper (habitattyper) og væsentlige variationer i dybderne i projektområdet, skal der så vidt muligt monitoreres ved møller, der indfanger denne variation efter de dominerende habitattyper og andre habitattyper i henhold til forskrifter i **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** (se afsnit 2.1.2 for detalje). Dette skal forstås sådan, at hvis eksempelvis, at der er to habitattyper i et projektområde, hvor 60 procent af havbunden er karakteriseret ved en habitatype såsom blødbund, så skal fire stationer (projektområde <100 km²) eller 5 stationer (projektområde >100 km²) placeres ved møller i områder med blød bund. Tilsvarende skal der tilstræbes en fordeling af stationerne, der omtrent repræsenterer de dybdeforhold, der er gældende i projektområdet. Såfremt der er konflikt mellem opfyldelse af disse to forhold, skal repræsentativ fordeling af bundsubstrattyper prioriteres højere end dybdefordeling.

Stationer nærmest havvindmøllefundamenterne placeres så tæt på fundamenternes erosionsbeskyttelse, som det er sikkerhedsmæssigt og praktisk muligt. Garnene må ikke stå inde på selve de substrater, der udgør erosionsbeskyttelsen.

De næste stationer placeres i en afstand af cirka 300 meter fra de stationer der blev placeret umiddelbart ved møllefundamentet, mens de næste stationer placeres cirka 600 meter fra stationerne ved møllefundamenterne. Se Figur 2.7 for et eksempel. Monitoringsstationerne fordeles som udgangspunkt spredt omkring en given mølle for at undgå autokorrelation, men dog stadig med afstande på cirka 300 og 600 m ind til stationen ved havvindmøllefundamentet.



Figur 2.7. Eksempel på afstande mellem garn-monitoringsstationer (røde streger) i en havvindmøllepark med 1200 meters afstand mellem møllerne (grå prikker). Her er der sat monitoringsstationer 0, 300 og 600 meter fra den midterste mølle.

I en park med 1200 meters afstand mellem møllerne, justeres afstanden mellem stationerne til cirka 300 meter, så der er stationer i cirka 0, 300 og 600 meters afstand fra vindmøllerne.

Placeringen af stationerne skal tage hensyn til fordelingen af habitattyper og vanddybder i projektområdet, således at den variation, der forekommer i projektområdet, indfanges ved, at der er mindst 3 stationer ved hver habitattype: blødbund, blandet bund og hårbund. Dette kan være komplekst med et afstandskrav til vindmøllerne. Såfremt det er nødvendigt for at indfange variationen i projektområdet, kan der derfor laves mindre justeringer på afstandene til vindmøllerne.

2.4.1 Elektromagnetiske felter i driftsfasen

Elektromagnetiske felter fra en havvindmølleparks strømførende kabler kan påvirke fødesøgnings- og vandringsadfærd hos fisk. In situ undersøgelser af elektromagnetiske felters påvirkning på fiskesamfundet i projektområdet er dog komplekst at opstille og gennemføre som egentlig effektmonitoring, og dette anbefales derfor gjort i målrettede forskningsprojekter. Der redegøres for denne anbefaling i det følgende.

Når havvindmølleparken er i drift, føres elektriciteten fra de enkelte møller gennem inter-array kabler, der typisk samles til et eller flere større kabler, der sender strømmen til land via eksportkabler. Strømførende



kabler genererer både et elektrisk felt og et elektromagnetisk felt. Mens det elektriske felt absorberes af kabelkappen, og således ikke påvirker omgivelserne, absorberes kablets elektromagnetiske felt ikke af kabelkappen og sedimentet. Da kablets elektromagnetiske felt ikke absorberes af kabelkappe og sediment, kan feltet registreres af dyrene i havet, når de bevæger sig gennem feltet (BV & Waardenburg, 2016). Styrken af kablets elektromagnetiske felt afgøres primært af strømstyrken i kablet, samt af kabeltypen, hvor jævnstrømskabler typisk genererer et kraftigere felt end vekselstrømskabler. Vekselstrømskabler skaber typisk et elektromagnetisk felt, der er svagere end jordens magnetfelt, der er på cirka 50 μT i Danmark (NOAA, 2020). Styrken af det elektromagnetiske felt falder hurtigt med afstanden til kablet. Ved kablerne fra Nysted havvindmøllepark, hvor kablerne var begravet en meter under havoverfladen, blev der målt en elektromagnetisk feltstyrke fra kablerne på 5 μT , eller cirka 10 % af jordens magnetfeltstyrke ved havbunden over kablerne (Hvidt et al., 2004). For det væsentligt kraftigere SwePol jævnstrømskabel mellem Polen og Sverige, er der observeret feltstyrker på 200 μT en meter fra kablet, således niveauet der overstiger jordens magnetfeltstyrke (Westerberg & Lagenfelt, 2008). I praksis ligger feltstyrken fra kabler fra nuværende havvindmølleparker typisk på op til 14 μT ved maksdrift med mulighed for kraftigere felter efterhånden som havvindmølleparkerne bliver større (Witteveen+Bos, 2022).

Det elektromagnetiske felt kan primært forstyrre bruskfisks jagtadfærd samt vandringsadfærden hos fisk som laks og ål, der navigerer ved hjælp af geomagnetiske input, når de migrerer gennem åbne havområder (Kalmijn, 1978); (Bergström & Bergström, 2013). De fleste havvindmølleparkens inter-array- og eksportkabler vil blive begravet mellem 1-1,5 meter i havbunden, hvilket begrænser de elektromagnetiske felter på havbundens overflade over kablet til få meter (Offshore Wind Facts, 2024). Hermed, vil det område lige omkring kablerne hvor fx bruskfisk potentielt kan påvirkes, være meget lille, og den adfærdsændring de måtte udvise kan være meget svær at adskille fra øvrig adfærd. Det er derfor meget vanskeligt at dokumentere en effekt i praksis, og det vil formentlig kræve et målrettet forskningsprojekt at identificere forskellige adfærdstyper hos fiskene og siden dokumentere en ændring i nærheden af kablet. For vandrefisk som ål og laks, der kan få forstyrret deres navigation af et elektromagnetisk felt, har der tidligere været gennemført en række målrettede undersøgelser af påvirkningen. Her finder nogle undersøgelser ingen effekt (Armstrong et al., 2015); (Orpwood et al., 2015), mens andre har fundet en lille effekt, som dog kunne skyldes, at det konkrete kabel lå direkte på havbunden (Westerberg & Lagenfelt, 2008). I praksis vandrer ål og laks dog primært højere oppe i vandsøjlen, hvor kablernes feltstyrke er stærkt reduceret (Westerberg et al., 2007); (Thorstad et al., 2011). Det kræver derfor, at mange fisk vandrer henover et givent kabel, før end en tilstrækkelig prøvestørrelse kan opnås til at vurdere kablets effekt. Da fiskene samtidig kan vandre meget spredt i åbent hav, bliver det meget udfordrende at gennemføre eksempelvis mærkningsstudier som (Westerberg & Lagenfelt, 2008) og (Armstrong et al., 2015) i et givent projektområde, fordi de mærkede fisk ikke nødvendigvis svømmer gennem området. Det vil derfor kræve et meget stort antal mærkede fisk og et meget ambitiøst setup at dokumentere effekten af elektromagnetiske felter i det åbne hav, hvilket ligger udover de realistiske ambitioner for et monitoringsprogram som det nærværende. Såfremt et bedre kendskab til de mulige effekter skal opnås, bør der i stedet gennemføres målrettede forskningsprojekter på lokaliteter, der er særligt velegnede til dette.

2.5 NOVANA og eksisterende data

Der kan i nogle tilfælde være tilgængelige data fra NOVANA-stationer i nærheden af projekt- eller referenceområder. Disse kan i så fald anvendes til at give et overblik over de forventede forekommende arter



i området. Metoden for indsamling af data til effektovervågningen af havvindmølleparker er dog så specifik og statistisk balanceret, at eventuelle NOVANA-stationer ikke kan erstatte hele eller dele af effektovervågningen. Endvidere skal de inddragede data være under 5 år gamle.

2.6 Data og analysemetoder

Essensen bag nærværende effektovervågning er at undersøge eventuelle ændringer i miljøtilstand, der forekommer i forbindelse med etableringen af havvindmølleparker. Dette skal forstås som værende variationer, der strækker sig udover det, der forekommer af naturlig variation, da denne kan tilskrives menneskelig påvirkning.

Undersøgelserne foreslået i dette notat er formet efter principperne ved BACI (Before-After-Control-Impact) studiedesign, som er en kendt metode til at identificere menneskeskabte ændringer og effekter ved anlægsprojekter. I dette design sammenlignes resultaterne før og efter implementeringen af havvindmølleparken i både reference- (Control) og påvirkningsområdet (Impact). Formålet er at belyse potentielt signifikante interaktionseffekter, der indikerer, at ændringerne i den undersøgte miljøfaktor (fisk) ligger uden for hvad, der kan tilskrives den naturlige variation. Der undersøges yderligere årene efter anlægsarbejdet er afsluttet, så man ved statistiskanalyse, kan vurdere hvor vidt, der er forskel mellem baseline og 1, 3 eller 5 år efter etableringen.

Undersøgelser i naturlige systemer (in vivo) resulterer ofte i en datavarians, som ligger uden for den normalfordeling, der er påkrævet af mange statistiske test (Krzyszynski and Altman, 2014). Derfor anbefales non-parametriske test såsom Generalized Linear Mixed-Modelling (GLMM). GLMM er en alsidig og fleksibel modelleringsform, der tillader analyse af responsvariabler med non-parametrisk fordeling og inklusion af randomiseringseffekter for at håndtere uønskede korrelationer (autokorrelation og multikollinearitet). Analysen skal opbygges efter principperne bag 'Repeated measures' principperne (Muhammad, 2023), som er en metode til at sammenligne gennemsnit i den undersøgte variabel på tværs af flere tidspunkter for de undersøgte områder. Den tager højde for, at målingerne er afhængige, da de gentages på det samme område, og undersøger, om der er en signifikant forskel mellem de forskellige tidspunkter og områder.

Analysen af de undersøgte responsvariabler gennemføres artsspecifikt, således at man kan vurdere hvorvidt fx biomassen af en art har ændret sig efter etableringen af projektet. Dette er dog ikke relevant for samfundsbaseede variabler som Diversitets-mål og artsrigdom. For at håndtere og minimere tilstedeværelsen af statistiske artefakter, såsom autokorrelation, anbefales det at inkludere randomiseringseffekter i analysen, for at reducere uvelkomne dataafhængigheder, såsom observatørværelsen og rummelig korrelation mellem stationer. Efter GLMM-analysen bør der i tilfælde af signifikante interaktionseffekter, gennemføres non-parametriske post-hoc tests, såsom Tukey's HSD test, der kan belyse hvorledes de identificerede forskelle træder i kraft.



Tabel 2.3. Eksempel på hvorledes modellen til analyse af detektionspositive minutter kan opstilles. Adskillelsen af single effekter og interaktioner er indikeret med et plus-symbol '+', og interaktioner mellem kovariater er indikeret med kolon ':':

Responsvariabel	Kovariater inkl. interaktioner	Relevante random-effekter
Abundans	<i>Område + Tid + Art + Område : Tid + Område : Art + Tid : Art + Område : Tid : Art</i>	<i>Observatør + Garn ID</i>
Længde	<i>Område + Tid + Art + Område : Tid + Område : Art + Tid : Art + Område : Tid : Art</i>	<i>Observatør + Garn ID</i>
Vægt	<i>Område + Tid + Art + Område : Tid + Område : Art + Tid : Art + Område : Tid : Art</i>	<i>Observatør + Garn ID</i>
Biomasse	<i>Område + Tid + Art + Område : Tid + Område : Art + Tid : Art + Område : Tid : Art</i>	<i>Observatør + Garn ID</i>
Diversitet	<i>Område + Tid + Område : Tid</i>	<i>Observatør + Garn ID</i>
Artsrigdom	<i>Område + Tid + Område : Tid</i>	<i>Observatør + Garn ID</i>

En anbefaling til de forskellige parametre der bør indgå i den statistiske analyse ses i tabel 2.3. Efter GLMM-analysen bør der i tilfælde af signifikante interaktionseffekter, gennemføres non-parametriske post-hoc tests, såsom *Wilcoxon Signed-Rank Test*, der kan belyse hvorledes de identificerede forskelle træder i kraft (Krzyszynski and Altman, 2014). Alle statistiske test skal benytte p-værdi <0.05, som værende grænseværdien for signifikante resultater.

Effektvurderingen af konstruktionen af havvindmølleparkers påvirkning på fiskesamfundsstrukturen, kræver brug af multivariatanalyse, hvor den non-parametriske metode PERMANOVA (Permutational Multivariate Analysis of Variance) er særligt anbefalet. Data for fiskesamfund omfatter ofte mange arter, hvilket nødvendiggør en multivariat tilgang, som PERMANOVA er velegnet til, da den kan teste forskelle i samfundsstrukturen på tværs af mange arter samtidig. Denne metode er særligt effektiv til at sammenligne samfundsstrukturer på tværs af områder og tidspunkter, som det kræves i et BACI-studiedesign. Denne multivariate analyse bør benyttes på både garnprøverne (antal individer pr. art) og eDNA-resultaterne (relativ forekomst af artsspecifik DNA i procent).

Efter gennemførelse af PERMANOVA-analysen kan eventuelt signifikante resultater undersøges yderligere ved hjælp af en SIMPER-analyse (Similarity Percentages) for at få en dybere forståelse af de observerede forskelle. SIMPER beregner, hvor meget hver enkelt art bidrager til de samlede forskelle mellem grupperne, hvilket giver et bedre indblik i, hvilke arter der driver de observerede ændringer i fiskesamfundsstrukturen.

Desuden kan multivariate ordinationsmetoder som NMDS og PCA anvendes som visualiseringsværktøjer, der gør det lettere at fortolke resultaterne fra multivariate analyser som PERMANOVA. Disse metoder skaber et grafisk overblik over prøvernes forskelle og ligheder, hvilket kan give en dybere indsigt i de observerede mønstre i et BACI-design.



Power-analyse

Pålidelige effektvurderingsundersøgelser kræver robuste statistiske analyser, som bygger på et datagrundlag, der er tilstrækkelig stort. Dataindsamling er ofte dyrt i både tid og økonomi, og derfor benyttes power-analyse til at estimere minimumsprøvestørrelse, der kan producere en ønsket statistisk pålidelighed og derved planlægge omkostningseffektive undersøgelsesdesign. I en statistisk power-analyse refererer "power" til sandsynligheden for, at korrekt afvise en nulhypotese, når den er falsk. Med andre ord er det evnen til at opdage en effekt, hvis der faktisk er en. Typisk udtrykkes power som en værdi mellem 0 og 1, hvor en værdi på 0,8 (eller 80%) ofte betragtes som acceptabel; hvor værdier tættere på 1 indikerer mere statistisk pålidelighed.

Power-analyse inkluderer også et mål for effektstørrelse, som indikerer hvor stor eller væsentlig en forskel, der ledes efter i analysen. Denne værdi henviser ikke til hvor høje værdierne, der måles er, men om den statistiske analyse skal kunne opfange store eller meget små forskelle mellem de undersøgte grupper. Effektstørrelsen er ofte estimeret ud fra pilotforsøg, men da der ikke foreligger tidligere lignende undersøgelser er nærliggende power-analyse baseret på standard værdier for 'ANOVA Repeated Measures' analyser: 0,1 (lille forskel), 0,25 (mellem forskel) og 0,4 (stor forskel).

Udover at undersøge udviklingen af fiskesamfundet i før og efter anlægsarbejdet, ønskes der også at belyse fiskesamfundet på tværs af sæsoner (forår og efterår), samt afstand fra møllerne (tre afstande). Dette resulterer i en power-analyse baseret på 12 grupper, der dækker over område, sæson og afstand fra møllerne, samt fire gentagne prøvetagninger (Baseline, 1 år efter, 3 år efter og 5 år efter). Ved undersøgelse af den fulde model (alle interaktioner) med en stor effektstørrelse (0,4), resulterer den fremlagte indsamlingsprotokol i en power værdi på 0,82, og altså over den minimalt acceptable værdi. Ved undersøgelse af færre interaktionseffekter, vil power værdien være højere.

2.7 Udstyr og laboratoriekra

Der henvises til de tekniske anvisninger for hhv. garnfiskeri (DCE, 2022) og eDNA-prøvetagning (Knudsen et al., 2020) for en gennemgang af påkrævet udstyr til monitoringsopgaverne.

2.8 Krav til indberetning til relevante myndigheder og offentlige fagdatabaser

I nuværende version er det endnu ikke fastlagt, hvor data skal indrapporteres. Dette vil fremgå i en senere opdatering af databladet.



3. Referencer

- André, C., Svedäng, H., Knutsen, H., Dahle, G., Jonsson, P., Ring, A.-K., Sköld, M., & Jorde, P. E. (2016). Population structure in Atlantic cod in the eastern North Sea-Skagerrak-Kattegat: early life stage dispersal and adult migration. *BMC Research Notes*.
- Armstrong, J., Hunter, D.-C., Fryer, R., Rycroft, P., & Orpwood, J. (2015). Behavioural Responses of Atlantic Salmon to Mains Frequency Magnetic Fields. *Scottish Marine and Freshwater Science*, 6. <http://www.gov.scot/Resource/0048/00484957.pdf>
- Bergström, L. F. S., & Bergström, U. (2013). Effects of an offshore wind farm on temporal and spatial patterns in the demersal fish community. *Mar. Ecol. Prog.*
- Buyse, J., Reubens, J., Hostens, K., Degraer, S., Goossens, J., & Backer, A. D. (2023). European plaice movements show evidence of high residency, site fidelity, and feeding around hard substrates within an offshore wind farm. *ICES Journal of Marine Science*.
- BV, W., & Waardenburg, B. (2016). *Potential effects of electromagnetic fields in the Dutch North Sea*.
- Collie, J., Hiddink, J. G., van Kooten, T., Rijnsdorp, A. D., Kaiser, M. J., Jennings, S., & Hilborn, R. (2016). Indirect effects of bottom fishing on the productivity of marine fish. *Fish and Fisheries*.
- Copernicus, E. (2024). *Copernicus Marine Service - Baltic Sea Physics Analysis and Forecast* https://data.marine.copernicus.eu/product/BALTICSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_003_006/description
- Dahl, K., Lundsteen, S., & Helmig, S. A. (2003). *Stenrev - havets oaser*.
- DCE (2022) Fiskeundersøgelser i søer. *Teknisk anvisning for fiskeundersøgelser i søer*. Institute for Ecoscience - Aarhus Universitet.
- DCE. (2024). *Spredningsveje for ikke-hjemmehørende arter i Nordsøen - en modelanalyse* (Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Issue.
- DHI. (2018). *Marine vegetation* <https://marine-vegetation.satlas.dk/>
- DHI. (2024). *DHI DK-Bathymetry* <https://bathymetry.satlas.dk/platform>
- Energinet. (2022). *Hesselø Offshore Wind Farm - Fisheries Technical Report*.
- Freitas, C., Olsen, E. M., Knutsen, H., Albretsen, J., & Moland, E. (2015). Temperature-associated habitat selection in a cold-water marine fish. *Journal of Animal Ecology*.
- Freitas, C., Villegas-Rios, D., Moland, E., & Olsen, E. M. (2021). Sea temperature effects on depth use and habitat selection in a marine fish community. *Journal of Animal Ecology*.
- GEUS. (2024).
- HELCOM. (2018). *State of the Baltic Sea - Second HELCOM Holistic Assessment 2011-2016*.
- Hiddink, J. G., Jennings, S., Sciberras, M., & Kaiser, M. J. (2017). Global analysis of depletion and recovery of seabed biota after bottom trawling disturbance. *PNAS*.
- Hvidt, C., Klastrup, M., Leonhard, S., & Pedersen, J. (2004). *Fish along the cable trace Nysed Offshore Wind Farms - final report*. D. E. A/S.
- ICES. (2022). *International Bottom Trawl Survey Working Group (IBTSWG)*.
- Johnson, A. F., Gorelli, G., Jenkins, S. R., Hiddink, J. G., & Hinz, H. (2015). Effects of bottom trawling on fish foraging and feeding. *Proceedings of the Royal Society B*.
- Kalmijn, A. (1978). Experimental Evidence of geomagnetic orientation in elasmobranch Fishes. In *Animals migration, navigation and homing* (pp. 354-355). Springer Verlag.
- Knudsen, S. W., Andersen, J. H., Bekkevold, D., Hesselsøe, M., Jensen, S. K. S., & Møller, P. R. (2020). *Tekniske anvisninger for eDNA-baseret overvågning af ikke-hjemmehørende arter* (NIVA Danmark rapport, 43 sider, Issue.



- Kristensen, M. L., Olsen, E. M., Moland, E., Knutsen, H., GrønkJær, P., Koed, A., Källo, K., & Aarestrup, K. (2021). Disparate movement behavior and feeding ecology in sympatric ecotypes of Atlantic cod. *Ecology and Evolution*.
- Mehdi, H., Lau, S. C., Synyshyn, C., Salena, M. G., Morphet, M., & al., e. (2021). A comparison of passive and active gear in fish community assessments in summer versus winter. *Fisheries Research*.
- NOAA. (2020). *US/UK World Magnetic Field Model - Epoch 2020.0*.
- Orpwood, J., Fryer, R., Rycroft, P., & Armstrong, J. (2015). *Effects of AC Magnetic Fields (MFs) on Swimming Activity in European Eels Anguilla anguilla* (Scottish Marine and Freshwater Science, Issue).
- Secor, D. H. (2015). *Migration Ecology of Marine Fishes - A revelatory look at the secrets of marine fish migration*.
- Svendsen, J., Ibanez-Erquiaga, B., Savina, E., & Wilms, T. (2022). *Effects of operational off-shore wind farms on fishes and fisheries. Review report*.
- Svendsen, J., Wilms, T., Støttrup, J., & Baktoft, H. (2020). Mange flere torsk efter nye stenrev. <https://www.aqua.dtu.dk/nyheder/nyhed?id=cd1785ba-a996-4e15-a1c4-dd29a144f94c>
- Thomassen, J. A.-C., Schiønning, M. K., Eigaard, O. R., Bruun, A. W., & van Deurs, M. (2024). *Udvikling i fiskebestande baseret på historiske fiskeridata*
- Thomsen, P. F., Møller, P. R., Sigsgaard, E. E., Knudsen, S. W., Jørgensen, O. A., & Willerslev, E. (2016). Environmental DNA from Seawater Samples Correlate with Trawl Catches of Subarctic, Deepwater Fishes. *PLOS One*.
- Thorstad, E., Whoriskey, F., Rikardsen, A., & Aarestrup, K. (2011). Aquatic Nomads: The Life and Migrations of the Atlantic Salmon. In Ø. Aas, A. Klemetsen, S. Einum, & J. Skurdal (Eds.), *Atlantic Salmon Ecology*. John Wiley & Sons.
- Veron, P., Rozanski, R., Marques, V., Joost, S., Deschez, M. E., & al., e. (2023). Environmental DNA complements scientific trawling in surveys of marine fish biodiversity. *ICES Journal of Marine Science*.
- Walters, C. J., & Martell, S. J. D. (2004). *Fisheries Ecology and Management*. Princeton University Press.
- Westerberg, H., & Lagenfelt, I. (2008). Sub-sea power cables and the migration behaviour of the European eel. *Fisheries Management and Ecology*, 15(5-6), 369-375. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2008.00630.x>
- Westerberg, H., Lagerfelt, I., & Svedäng, S. (2007). Silver eel migration behavior in the Baltic. *ICES Journal of Marine Science*, 64, 1457-1462.
- Wootton, R. J. (1991). *Fish Ecology*. Springer Science & Business Media.
- Ådjers, K., Appelberg, M., Eschbaum, R., Lappalainen, A., Minde, A., Repecka, R., & Thoresson, G. (2006). Trends in coastal fish stocks of the Baltic Sea. *Boreal Environment Research*, 11.