

Vejledning til etablering af blåmuslingebanker og opfølgende monitorering

Depth: 4, 15m

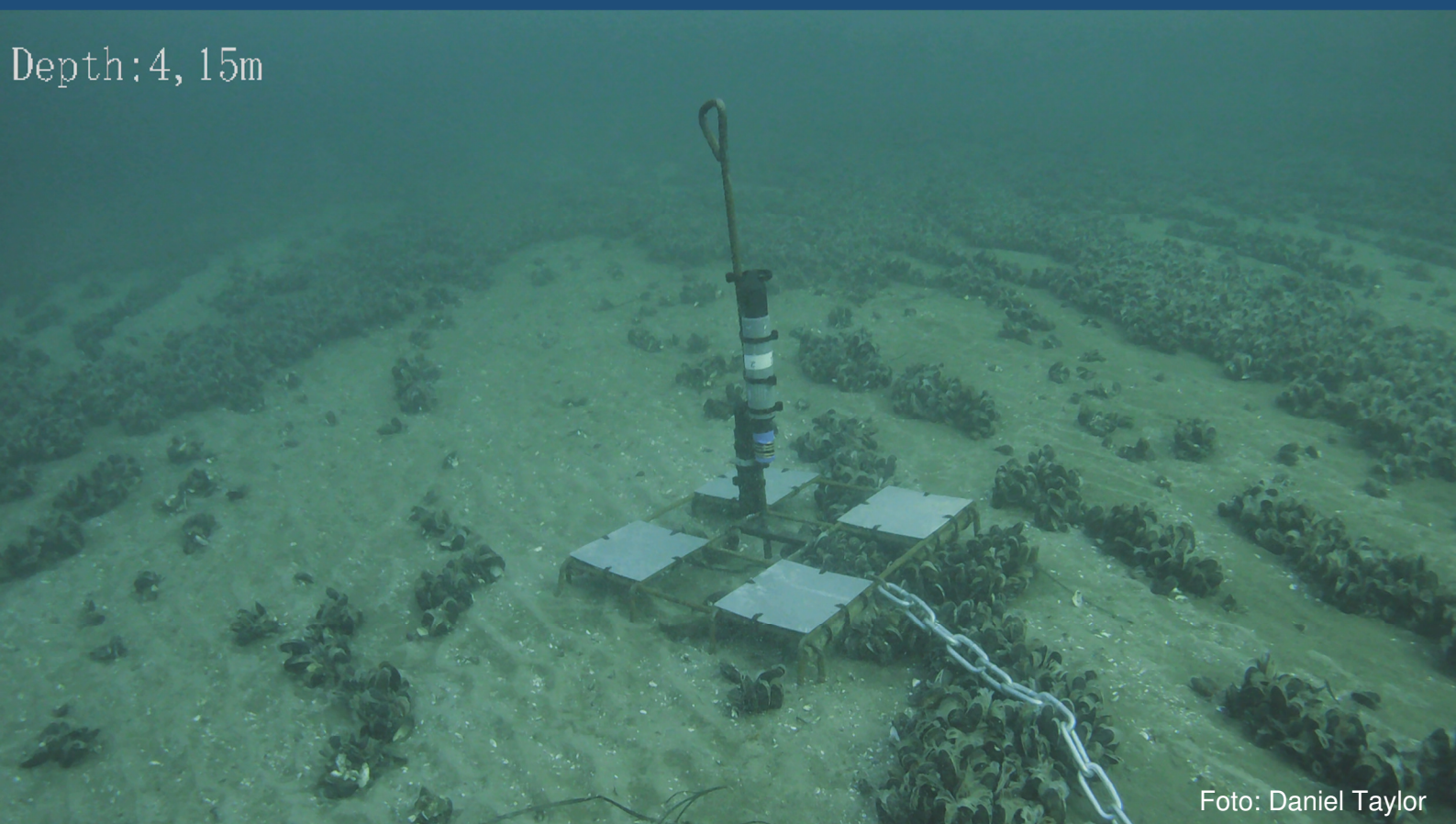


Foto: Daniel Taylor



**Center for Marin
Naturgenopretning**

Kolofon

Titel: Vejledning til etablering af blåmuslingebanker og opfølgende monitoring

Forfattere: Pernille Nielsen, Daniel Taylor, Jens Kjerulf Petersen, Pedro Freitas, Timi L. Banke, Isabelle Johansson, Camille Saurel

Udgivet: Maj 2024

Kvalitetskontrol: Peter A.U. Stæhr, Aarhus Universitet
Torben Bramming Jørgensen, Limfjordsrådet, Aalborg Kommune

Ekstern kommentering: Miljøstyrelsen og Fiskeristyrelsen

Finansieret af: Miljøministeriet & Velux Fonden

ISBN:

Forsidefoto: Daniel Taylor: Monitoringslogger placeret på muslingebanke i Limfjorden.

Udgivet af:



Sammenfatning: Denne rapport giver et overblik over den praktiske gennemførelse af naturgenopretning af blåmuslingebanker i danske kystnære farvande. En proces, der omhandler gennemførelse og før-planlægning, projekt-design og fastsættelse af projektformål, forberedelse af selve etableringen af blåmuslingebanker samt der tilførende monitoring både før og efter etableringen. Rapporten giver således en overblik over relevante regler, tilladelser og myndigheder i forhold til genopretning af biogene rev samt konkrete anbefalinger i forhold til indsamling af yngel, design og etablering af blåmuslingebanker samt overvågning af revenes udvikling.

Indhold

Introduktion.....	5
Definition af blåmuslingerev	6
Overordnede projektplanlægning ved etablering af blåmuslingebanker	6
Fase 1 - gennemførlighed og før-planlægning	6
Borgerinddragelse	7
Formidling.....	7
Indsamling af eksisterende viden.....	7
Historisk analyse.....	8
Særligt for Natura 2000-områder	8
Miljøforhold.....	8
Arealanvendelse	8
Kulturhistorisk arv	9
Fase 2 - projektdesign og fastsættelse af overordnet formål	9
Fase 3 - forberedelser til etableringen af muslingebanken.....	10
Indhentning af tilladelser	10
Tilladelse til opdræt.....	10
Tilladelse til etablering af banke	11
Fase 4 - etableringen af muslingebanken.....	12
Forskellige metoder til indsamling af blåmuslinger til etablering af banker	12
Klækkeriproduceret blåmuslingeyngelverskrift.....	14
Fisket blåmuslingeyngel	14
Muslingeyngel indsamlet i vandsøjlen	15
Design og etablering af blåmuslingebanker	17
Muslingebankens form og fordeling.....	18
Anvendelse af vedhæftningsmateriale.....	19
Biomassetætheder af udlagte blåmuslinger.....	19
Størrelsen af de udlagte blåmuslinger	20
Udlægningsmetode	20
Hvad skal et monitoringsprogram indeholde?	21
Hvilken type af data?.....	22
Hvordan skal data indsamles?	23
Prøvetagningsteknikker	24
Hvor mange og hvor store prøver skal der indsamles?	26
Praktiske overvejelser	26
Forhold vedrørende både og udstyr	26
Metoder til monitoring af dækningsgrad, fodaftryksareal og bankeareal	27
Monitoring med kamera	27

Droner	27
Side Scan og multibeam sonar	28
Monitering af blåmuslingebankens vækst og stabilitet	28
Densiteten af blåmuslinger	29
Størrelsesfordelingen af blåmuslingerne	29
Overlevelse og tilvækst	29
Larvefrigivelse og rekruttering	30
Miljøparametre	30
Vandprøver	30
Hydrodynamiske forhold	31
Sedimenttildækning	31
Monitering af økosystemtjenester leveret af muslingebanken	32
Monitering af biodiversitetseffekter	32
Oversigtstabel forskellige delelementer i monitoringsprogram	34
Referencer	36

Introduktion

Biogene rev tilbyder en lang række økosystemtjenester til det omgivende miljø og anses for at være vigtige habitater, som bl.a. er omfattet af Habitatdirektivet og specifikt udpeget som vigtige habitat-typer i EU's Biodiversitetsstrategi. Biogene rev omfatter flere organismetyper, hvor de relevante danske arter omfatter blåmusling, hestemusling og europæisk flad østers. Siden starten af forrige århundrede er udbredelsen af biogene rev reduceret, hvilket blandt andet kan tilskrives dårlige miljøforhold på havbunden i form af iltsvind og højt organisk indhold i sedimentet, fiskeri og anden udnyttelse af marine ressourcer. Der kan derfor i nogle områder være behov for aktiv genopretning af de tabte biogene habitater.

Denne vejledning omfatter etablering af biogene rev i form af banker af blåmuslinger (*Mytilus edulis*). Etablering af banker af andre muslingearter som hestemusling eller flad europæisk østers vil kræve andre metoder og vil derfor ikke blive behandlet i denne vejledning. Vejledningen er opbygget som en trin-for-trin proces og dækker projektplanlægning, beskrivelse af metoder til indsamling af yngel, udlægning i banker og opfølgende monitoringsprogram. Denne vejledning er en opfølgning på "Vejledning for udpegning af områder egnet til etablering af blåmuslingebanker" (Nielsen et al. 2023) udarbejdet af Center for Marin Naturgenopretning, som gennemgår hvilke kriterier, der kan anvendes i udpegningen af egnede områder til etablering af blåmuslingebanker. Ud over valg af egnet område bør genopretningsprojektet identificere et klart formål og prioritering. Formålet kan f.eks. være etablering af biogent habitat, forbedret næringsstofkredsløb, vandkvalitet eller sedimentstabilisering.

Når et passende område er blevet identificeret, er en række praktiske aktiviteter nødvendige i form af anskaffelse af blåmuslingeyngel til udlægning og derefter et konkret design for udlægning af muslingerne, der er tilpasset det udvalgte etableringsområde. Praktisk etablering af blåmuslingebanker som genopretning eller etablering af nye habitater følger i store træk samme metodik, som bruges ved etablering af kulturbanker. Kulturbanker er muslingebanker, der udlægges med henblik på vækst af muslingeyngel i egnede områder og efterfølgende høst i form af fiskeri af banken. Hvor kulturbanker er designet til maksimalt biomasseudbytte med minimalt fiskeritryk og kvalitet af muslingerne til markedet, kan genoprettede eller nyetablerede banker som naturforbedring variere i sin konfiguration alt efter formålet med etableringen af banken. Hver naturforbedrende bank vil derfor have et specifikt formål i det udvalgte område, hvilket har indflydelse på både den praktiske implementering og den efterfølgende overvågning, som derfor skal tilpasses og designes til det konkrete genopretningsprojekt. Blåmuslingebanker kan etableres af flere årsager. Hvis det skal være som naturgenopretning, er det et krav, at der foreligger en rimelig dokumentation for, at der i det udvalgte område har været muslingebanker før jf. Begreber i relation til marin naturgenopretning (Petersen et al. 2024). Det kan dog være svært at dokumentere, hvor der historisk har været muslingebanker, fordi kortlægningen af blåmuslingebanker ofte er mangelfuld i indre danske farvande, men også fordi muslingebankers udbredelse er dynamiske over tid. Alternativt kan muslingebanker udlægges som del af naturforbedrende tiltag, som en del af et naturvirkemiddel eller i relation til naturinkluderende design i forbindelse med konstruktioner til havs jf. Begreber i relation til marin naturgenopretning (Petersen et al. 2024). Denne vejledning vil også kunne bruges til sådanne aktiviteter.

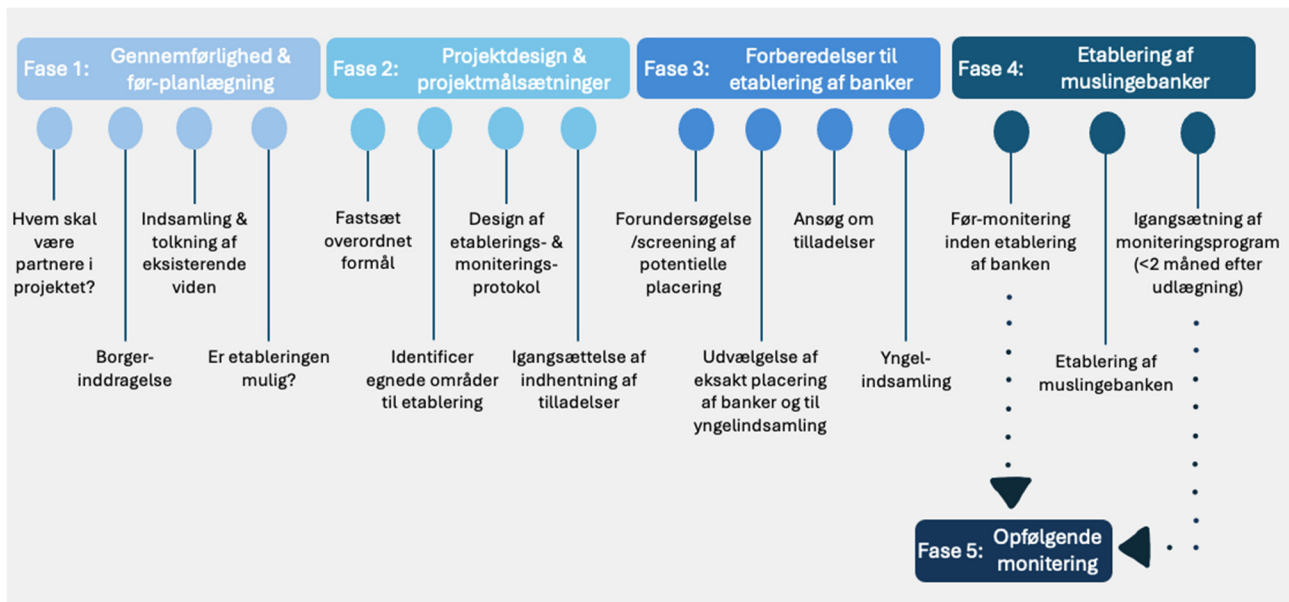
Definition af blåmuslingerev

I relation til Habitatdirektivets naturtype "biogene rev" foreligger der en dansk definition af blåmuslingebanker. Der er i definitionen taget højde for, at blåmuslingebanker er dannet af levende organismer, der udvikler sig dynamisk over tid og som ikke er stabile på samme måde som stenrev. Der er i definitionen desuden taget højde for, at blåmuslingebanker i indre danske farvande (eksklusive Vadehavet) er præget af forhold med lav tidevandspåvirkning, der kan have betydning for bankernes udvikling og stabilitet.

Den danske definition er som følger: Biogene rev af blåmuslinger er sammenhængende arealer på minimum 2500 m² med en gennemsnitlig dækningsgrad af blåmuslinger på minimum 30% og tilstedeværelse af mindst 3 kohorter af blåmuslinger (Dahl & Petersen 2018).

Overordnede projektplanlægning ved etablering af blåmuslingebanker

Etablering af blåmuslingebanker omfatter fire forskellige overordnede faser (se figur 1). Fase 1 handler om gennemførlighed og før-planlægning. Fase 2 om projektdesign og fastsættelse af overordnet formål. Fase 3, de praktiske forberedelser før etableringen af muslingebanken, mens fase 4 er den egentlige gennemførelse af etableringen af muslingebanken. Hertil vil der så være en opfølgende fase (fase 5) som handler om dokumentation/monitoring af effekter af etableringen af muslingebanken. I hver af faserne vil der indgå forskellige delelementer, som gennemgås i de efterfølgende afsnit.



Figur 1. Generaliseret, men typisk tidslinje inddelt i faser for etablering af blåmuslingebanker i danske farvande.

Fase 1 - gennemførlighed og før-planlægning

For at kunne gennemføre et projekt, hvor der etableres blåmuslingebanker, er det vigtigt, at projektet er skaleret rigtigt både i forhold til de økonomiske ressourcer til rådighed, men også i forhold til om

de rigtige partnere er involveret i projektet. Herved er der et solidt fundament for, at projektet gennemføres succesfuldt og at projektets konkrete målsætninger er opnået ved afslutningen af projektet.

Borgerinddragelse

Inddragelse af interessenter kan have stor betydning for gennemførelse af projekter med fokus på naturgenopretning og naturforbedrende aktiviteter. Lokale beboere, foreninger og fiskere kan bidrage på flere måder f.eks. med nyttig viden om historiske forekomster, egnede lokaliteter, design og formål, men også i forhold til at forskellige kompetencer kommer i spil. Interessentdeltagelse fremmer ofte gennemførelsen og sikrer en bred forankring for etablering af blåmuslingebanker og den efterfølgende beskyttelse af bankerne. Typiske interessenter vil være: Lokale myndigheder, erhvervshavne, fiskerierhvervet, fritidsfiskere, sportsdykkere, lystsejlere, lokale natur- og friluftorganisationer. Interessentinddragelse kan ske via aktiv inddragelse i aktiviteterne, borgermøder eller nedsættelse af en følgegruppe bestående af de interessenter, som har størst interesse i at følge med og bidrage til projektet fra start til slut.

Formidling

Det er desuden vigtigt at informere om projektet for at skabe viden om baggrund og formål, samt hvor langt man er med projektet. Marin naturgenopretning giver en særlig udfordring, da det foregår ude på havet og under havoverfladen, og derfor ikke umiddelbart er synligt. Formidlingsaktiviteter kan omfatte borgermøder, hvor der er mulighed for at indhente relevant viden og drøfte gennemførelse af projektet og evt. høre myndighederne om lokale forvaltningsplaner. Udover fysiske møder kan der bruges forskellige platforme til vidensdeling:

- Hjemmeside med generel information om projektet, billeder, nyhedstjeneste, udlægning af mødereferater mm.
- SoMe platforme
- Film på YouTube
- Indslag i lokale medier
- Fysiske nyhedsbreve til lokal uddeling.

Formidlingen er vigtig både før, under og ved afslutningen af projektet og bør derfor foregå løbende for at holde folk opdateret om progressionen i projektet.

Indsamling af eksisterende viden

De centrale elementer i udvælgelsen af egnede områder er en historisk analyse af forekomster af blåmuslingebanker, analyse af miljøforholdene, analyse af aktuel arealanvendelse herunder potentielle konflikter med anden anvendelse, natur og marin områdeforvaltning, efterfulgt af egentlige forundersøgelser.

Historisk analyse

En dokumentation af historiske forekomster af blåmuslinger i et givent område er især vigtig, hvis projektet skal kunne kategoriseres som naturgenopretning. Imidlertid er det vigtigt at inkludere eksisterende miljøforhold for de områder, hvor der historisk har været blåmuslinger, inden endelig udvælgelse af lokaliteten, da miljøforholdene kan have ændret sig. Selv hvis de præcise historiske forekomster af blåmuslingebanker i området ikke er kendt eller ikke længere egnede, vil det imidlertid være muligt at etablere blåmuslingebanker som naturforbedrende tiltag i området.

Særligt for Natura 2000-områder

I relation til genopretning af blåmuslingebanker i Natura 2000-områder vil det være et tilstrækkeligt argument, hvis naturtypen biogene rev er udpeget og det i udpegningsgrundlaget er angivet, at bankerne er udpeget for arten blåmusling. For en del Natura 2000-områder ligger dokumentation af forekomster af blåmuslinger en del år tilbage og ikke alle steder er der foretaget en verificering i forhold til definitionerne af biogene rev af blåmuslinger. Hvis biogene rev ikke er en del af udpegningsgrundlaget, vil det i relation til tilladelsesproceduren ofte være nødvendigt at kunne dokumentere, at etablering af blåmuslingebanker ikke vil kompromittere andre naturtyper i området og sandsynliggøre at miljøforholdene vil muliggøre naturlig forekomst af blåmuslingebanker i området. Miljøvurdering i henhold til Natura 2000-områder kan medføre krav om, at der skal gennemføres en egentlig konsekvensvurdering af etableringen i forhold til områdets udpegningsgrundlag. Natura 2000-områdernes geografiske placering og deres udpegningsgrundlag i henhold til både habitat og fuglebeskyttelses direktiverne kan findes på Miljøstyrelsens hjemmeside: <https://mst.dk/naturvand/natur/natura-2000/>.

Det er desuden vigtigt, at etablering af muslingebanker ikke medfører etablering af andre arter, som ikke er hjemmehørende i området, ligesom der bør foreligge en form for dokumentation for, at der er behov for genopretning af blåmuslingebanker i det aktuelle område

Miljøforhold

Kriterier for egnede miljøforhold til etablering af blåmuslingebanker omfatter vanddybde, vandets saltholdighed, bundforhold, iltforhold¹ mm. og er nærmere beskrevet i "Vejledning for udpegning af områder egnede til etablering af blåmuslingebanker" (Nielsen et al. 2023), og der henvises til denne vejledning for yderligere detaljer. Desuden kan en evt. hældning af bunden have betydning for egnethed. Man skal således fortrinsvis undgå stejle skrænter.

Derudover er det vigtigt, at etablering af muslingebanker ikke medfører etablering af andre arter, som ikke er hjemmehørende i området. Der bør imidlertid altid foreligge en form for dokumentation for, at der er behov for genopretning af blåmuslingebanker i det aktuelle område

Arealanvendelse

Etablering af blåmuslingebanker vil under de fleste forhold ikke være i konflikt med andre anvendelser af søterritoriet, men der vil dog være en lang række aktiviteter, som alligevel kan påvirke valg af egnede placering. Sådanne anvendelser omfatter fiskeri med bundslæbende redskaber, klapning og råstofindvinding, placering af søkabler eller områder afsat til udvidelse af havne. Uagtet at der er lagt en plan for arealanvendelse, kan det ikke udelukkes, at flere aktiviteter inkl. etablering af blåmuslingebanker kan forekomme samtidig.

Danmarks Havplan (<https://havplan.dk/da/om-havplanen/data-og-gis>) giver et godt overblik over både de planlagte anvendelseszoner og de anvendte baggrundsdata.

Der er ikke en samlet portal med alle relevante data og det marine Danmarkskort er, afhængig af datakilderne, heller ikke opdateret. Andre relevante kilder for anvendelse af søterritoriet er kystatlas

(<https://kms.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=8669133b3f4842b7a9a19fb24b08ffd5>) eller miljøgis (<https://mst.dk/erhverv/tilskud-miljoeviden-og-data/data-og-databaser/miljoegis-data-om-natur-og-miljoe-paa-web-kort>), mens arealer med interesse for forskellige fritidsaktiviteter er kortlagt i Kaae et al. (2018).

Kulturhistorisk arv

Der gælder særlige beskyttelseshensyn af havbundens fortidsminder, hvor der potentielt kan være konflikter med den marine kulturarv om end det må anses for mindre sandsynligt som en blokerende faktor ved etablering muslingebanker. Dette vil blive afklaret i forbindelse med høringer i myndighedernes behandling af ansøgningen, men du kan læse mere på Slots- og kulturstyrelsens hjemmeside (<https://slks.dk/fortidsminder/marin>).

Fase 2 - projektdesign og fastsættelse af overordnet formål

I projekter med etablering af blåmuslingebanker er det vigtigt at definere, hvad det konkrete formål er med etableringen i forhold til om der er tale om f.eks. naturgenopretning eller naturforbedrende tiltag. Formålet har relevans i forhold til hvilke forvaltningsforhold, der skal tages hensyn til og hvilke tilladelser, der skal indhentes. Det grundliggende formål med etablering af permanente blåmuslingebanker vil imidlertid altid være at skabe vigtige habitater af en nøgleart, der er karakteriseret som værende en økosystem-ingeniør (ecosystem engineer) - altså en organisme, der leverer levesteder for andre organismer. Blåmuslingebanker er imidlertid leveringsdygtig i en lang række andre økosystemtjenester, der kan være mere eller mindre specifikke for det givne område. Da effekten eller omfanget af de leverede økosystemtjenester i et vist omfang vil afhænge af bankernes størrelse, deres udformning og placering samt lokale miljøforhold, er det vigtigt, at projektet på forhånd har defineret og fastsat klare og specifikke formål, og hvad der ønskes at opnå. Formål med etablering af blåmuslingebanker kan f.eks. være:

- Genskabe biogene rev i Natura 2000-områder til opnåelse af gunstig bevaringsstatus for naturtypen.
- Skabe levesteder og fourageringspladser for fisk og fiskeyngel som f.eks. ål.
- Øge fødegrundlaget for muslingspisende (beskyttede) fuglearter.
- Styrke marine fødekæder generelt og dermed øge robustheden af det lokale økosystem.
- Forbedre vandkvaliteten i form af klarere vand over og omkring muslingebankerne f.eks. i relation til udplantning af ålegræs.
- Binde næringsstoffer i den produktive periode.
- Styrke blå korridorer for spredning af organismer mellem områder.

En justering af formålet under planlægningsfasen kan være nødvendig som følge af de informationer og data, der indsamles om lokaliteten og evt. tidligere forekomster af blåmuslingebanker i området, men ved afslutningen af fase 1 og 2 (jf. figur 1) skal det endelige formål være fastlagt, da dette er afgørende for en effektiv gennemførelse af fase 3 og 4.

Fase 3 - forberedelser til etableringen af muslingebanken

Efter der er valgt et overordnet område, skal der laves felt-forundersøgelser, der kan bidrage til at udpege det konkrete område til etablering af muslingebanken og dermed det område, som skal bruges i ansøgningsproceduren, hvorfor området skal have konkret afgrænsning med specifikke GPS-koordinater. Forundersøgelserne i felten kan med fordel kombineres med undersøgelser, der kan dokumentere f.eks. eksisterende dyre- og planteliv før etableringen af muslingebanken. Dyre- og planteliv på overfladen herunder evt. aktuelle forekomster af blåmuslinger kan dokumenteres med forskelligt udstyr f.eks. videoslæder eller bundprøver. Prøvetagning i forbindelse med forundersøgelserne skal gennemføres, så prøvetagningen kan bruges til efterfølgende at dokumentere effekterne af de udlagte blåmuslingebanker. Det betyder, at der dels skal inkluderes et nærtliggende kontrolområde med lignende forhold, som der hvor muslingebanker skal placeres, og at der bruges metoder, som også vil blive anvendt ved den opfølgende prøvetagning efter etableringen til dokumentation af effekterne af de udlagte muslingebanker. Omfanget af et forundersøgelserprogram vil variere som funktion af evt. specifikke formål med etableringen, størrelsen af de udlagte banker, myndighedskrav f.eks. ved placering i Natura 2000-områder og projektets ambitioner. En mere detaljeret gennemgang af monitoringsprogrammer og metoder er samlet i afsnit 5.

Indhentning af tilladelser

Det er nødvendigt med to typer tilladelser for at kunne gennemføre en etablering af banker af blåmuslinger: En til produktion/indsamling af udlægningsmateriale, hvis du selv skal producere/opdrætte muslingeyngel/spat, og en anden til etablering af selve banken/banker. Medmindre man bruger udplantningsmateriale produceret i et klækkeri (se afsnit 3.1) eller køber ynglen fra en muslingeopdrætter i nærområdet, skal man have en tilladelse til enten at opsamle muslingeyngel i vandsøjlen eller til at indsamle/fiske muslinger fra enten vilde bestande eller kulturbanker/omplantningsbanker, hvilket kræver en licens til at kunne fiske muslinger, som kun erhvervsfiskefartøjer vil kunne opnå. Det er Fiskeristyrelsen, der i princippet er ansvarlig myndighed for myndighedsbehandling af begge type tilladelser, men der hersker usikkerhed på området.

Tilladelse til opdræt

Hvis etablering af et biogent rev omfattende en egenproduktion af blåmuslinger kræver dette en tilladelse. Tilladelser til etablering af opdrætsanlæg administreres efter Fiskeriloven og Fiskeristyrelsen er myndighed på området. Konkret administreres der efter bekendtgørelse nr. 1456 af 24/06/2021 om opdræt af muslinger og østers i vandsøjlen <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2021/1456>². I forbindelse med ansøgninger gennemfører Fiskeristyrelsen partshøring hos en række parter defineret af Fiskeristyrelsen og omfatter bl.a. relevante offentlige myndigheder, fiskeriforeninger og grønne organisationer. Der er visse formelle barrierer for etablering af anlæg til opdræt af blåmuslinger og disse omfatter bl.a. fredningsbælter fastsat for, at fisk, der bevæger sig fra vandløb ud i havet, skal kunne gøre det frit. Fredningsområder kan findes via dette link <https://kms.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=5bd97e15c7d548b99640e28662e58a22> og har i praksis ofte ingen betydning for tilladelsen, fordi de som regel kun omfatter vanddybder lavere end relevant for muslingeopdræt. Det er muligt at få opdrætstilladelse i et Natura 2000-område, men dette vil kræve en forudgående konsekvensvurdering. Begrænsninger for placering i relation til sejltreder, klappladser, andre natur- og miljøsyn mm. vil være en del af den konkrete sagsbehandling og fremkomme gennem partshøringerne.

Aktuelt – primo 2024 - er der et moratorium for ansøgninger om nye placeringstilladelser for opdræt. Moratoriet har været i funktion siden juni 2022. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri og Fiskeristyrelsen er pt. i gang med udformning af et nyt regelsæt for placering af og tilladelse til opdræt af blåmuslinger i vandsøjlen, som forventes at træde i kraft, når moratoriet ophæves. Det er således i foråret 2024 ikke muligt at etablere blåmuslingebanker baseret på muslinger indsamlet på opdrætsanlæg medmindre disse er etableret før moratoriet og dermed ikke nødvendigvis i nærheden af udlægningsområdet. Hvis der er tale om opdrætsanlæg ifm. videnskabelige undersøgelser (ikke kommercielle anlæg) vil der kunne ansøges uanset moratoriet.

Tilladelse til etablering af banker

Etablering af muslingebanker har i dansk forvaltning primært været i form af kulturbanker eller omplantningsbanker med det formål efterfølgende at fiske bankerne, når muslingerne har nået konsumstørrelse. Til denne type banker er Fiskeristyrelsen primær myndighedsinstans. Nogle af de blåmuslingebanker, der har været etableret som en del af naturgenopretningsprojekter som f.eks. "Sund Vejle Fjord" har også fået deres opdrætstilladelse gennem ansøgning til Fiskeristyrelsen. Kulturbanker – dvs. banker hvor udlægningsmaterialet stammer fra opdrætsanlæg i vandsøjlen og udlægges med henblik på efterfølgende opfiskning når muslingerne har nået konsumstørrelse – er omfattet af moratoriet for ansøgninger om placeringstilladelse som nævnt ovenfor.

Det er imidlertid uklart om etablering af blåmuslingebanker, der ikke skal opfiskes og dermed må anses for at skulle være permanente, skal myndighedsbehandles af Fiskeristyrelsen. Det ikke afklaret, hvem der er den primære myndighed på området. Således kan udlægning af hårdt substrat som skaller af blåmuslinger, også betragtes som værende et anlæg efter Kystbeskyttelseslovens § 16a. Forvaltningsmæssigt adskiller skallerne sig ifølge Kystdirektoratet ikke fra sten (typisk som fæstested for makroalger) eller andre faste overflader som skal danne grundlag for rev-habitater. Dermed vil det være Kystdirektoratet, som skal behandle en ansøgning, eller som minimum høres. Da levende muslinger desuden indeholder næringsstoffer som kvælstof og fosfor kan der potentielt være indvendinger mod etablering af muslingebanker i områder, der ikke opfylder kravene til god økologisk tilstand jf. Vandrammedirektivet, fordi udlægningen vil medføre en import af næringsstoffer til området medmindre de udlagte muslinger er opdrættet i samme vandområde. Dette vil Miljøstyrelsen skulle tage stilling til, men sandsynligvis som en del af høringsprocessen. Aktuelt (foråret 2024) indgiver Miljøstyrelsen høringssvar på placering af naturgenopretning af muslingebanker, at disse ikke må være i konflikt med det fastsatte miljømål for ålegræssets dybdeudbredelse, som er fastlagt i vandplan 3 for planperiode 2021-2027.

I det tilfælde, at det vurderes, at det er nødvendigt at tilføre blåmuslinger fra andre områder, bør de internationale regler og biosikkerhedsforanstaltninger i forhold til dyrehold, genetisk diversitet og veterinærhygiejne følges (f.eks. Sas et al., 2019), for at minimere risiko for spredning af patogener mellem forskellige vandområder. Introduktion af nye patogener i et vandområde kan have fatale økologiske konsekvenser og ud fra et forsigtighedsprincip helt undgås indtil potentielle patogener risici og efterfølgende screeningsteknikker er udviklet.

Samlet set er der derfor aktuelt en vis uklarhed og betydelige udfordringer med at få tilladelse til både opsamling af muslinge yngel i vandsøjlen og til etablering af muslingebanker i de relevante kystområder.

Et andet forhold, der kan indgå i forberedelserne inden selve etableringen er, hvordan de etablerede blåmuslingebanker eventuelt skal beskyttes mod påvirkninger fra menneskelige aktiviteter, som kan true bankernes overlevelse. Typiske aktiviteter, der kan true bankerne, er fiskeri med skrabende redskaber, klappning og råstofindvinding og infrastrukturudbygning til søs. Kortlægning af sådanne aktiviteter bør indgå i kortlægningen af egnede områder (se Nielsen et al. 2023), men kan også indgå som forslag til beskyttende aktiviteter, når bankerne er etablerede. Beskyttelse af muslingebanker efter deres etablering vil normalt kræve en ofte omfattende myndighedsproces, hvis området ikke i forvejen er beskyttet.

Fase 4 - etableringen af muslingebanken

Etableringen af muslingebanker sker, når muslingerne udlægges på bunden. Selve proceduren omkring udlægningen vil afhænge af typen af muslinger (se afsnit 3), der udlægges, men der er dog nogle grundlæggende retningslinjer, som vi anbefaler at følge:

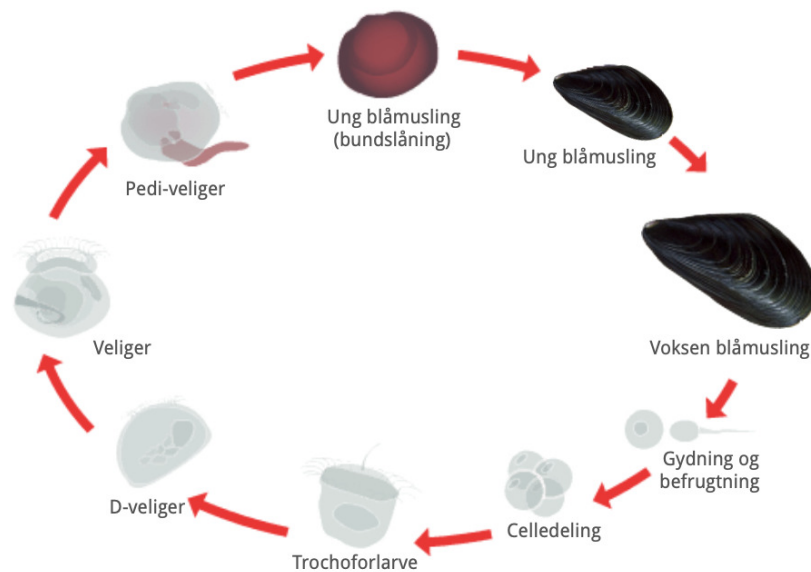
- Muslingerne skal udlægges samme dag som de høstes eller fiskes.
- Udlægningen bør ikke foretages i perioder med høj vandtemperatur eller midt om sommeren, da dette ofte medfører forøget dødelighed.
- Muslingerne skal udlægges i ét lag og ikke i bunker. Muslingerne udlagt i ét lag vil efterfølgende selvorganisere sig i en klumpet fordeling, mens muslinger udlagt i bunker/meget tykke lag kan medføre, at de underste dør og dermed destabiliserer de overliggende muslinger.
- Udlægning bør ikke påvirke et udvalgt kontrolområde (se afsnit 5).

Cirka en måned efter etableringen af muslingebanken anbefales en første monitorering for at kunne dokumentere muslingebankens udvikling over tid. Disse prøver vil udgøre "start" værdierne og er fundamentale i forhold til at kunne følge bankens udvikling over tid. Hvis monitoreringen gennemføres lige umiddelbart efter udlægningen, har muslingerne ikke haft tid til at "selvorganisere" sig og dermed udvikle den klumpede fordeling, som muslingebanker normalt har. Herefter foretages der opfølgende monitorering gerne i faste tidsintervaller både i forhold til muslingebankens udvikling over tid, men også i forhold til at dokumentere eventuelle andre projektformål i form af ønskede økosystemtjenester (Se afsnit 5.6 for detaljer). I de efterfølgende afsnit vil de forskellige delfaser ved etableringen af blåmuslingebanker blive gennemgået.

Forskellige metoder til indsamling af blåmuslinger til etablering af banker

Viden om og forståelse af blåmuslingens livscyklus (Figur 2) er vigtige forudsætninger for succesfuld yngelindsamling. I Danmark gyder blåmuslingerne æg og sæd sædvanligvis om foråret, hvorefter larvestadiet varer to til fire uger inden de er klar til at bundslå sig. Det betyder, at muslinge yngel til udlægning på bunden typisk er tilgængelig fra september til december samme år. Ifølge den danske definition for et biogent rev bestående af blåmuslinger, skal der være tre kohorter (aldersgrupper) af muslinger, hvorfor der potentielt skal udlægges muslinger tre forskellige år. Dette er under den forudsætning, at der ikke vil være naturligt rekruttering på muslingebanken i de efterfølgende år. Det må imidlertid forventes, at der forekommer en naturlig rekruttering, som på sigt vil medføre, at den udlagte muslingebanke udvikler sig til et biogent rev i henhold til den danske definition, når det gæl-

der tilstedeværelse af tre kohorter. Blåmuslinger er nemlig kønsmodne indenfor cirka et år, og dermed i stand til at formere sig, og udlægningen af muslingebanker kan lette rekrutteringen af muslinger i området (Commito et al. 2014).



Figur 2. Blåmuslingens livsstadie fra æg og sæd gydes af de voksne muslinger i foråret, over de forskellige larvestadier med en varighed på 2-4 uger og indtil larverne er klar til at bundslå sig. © DTU Aqua.

Der er to overordnede metoder til at skaffe blåmuslinger til etablering af muslingebanker: 1) indsamling af muslinger fra vilde bestande/via naturlig rekruttering eller 2) klækkeriproduceret muslingeyngel. Storskala klækkeriproduktion af blåmuslinger er meget omkostningstungt i forhold til indsamling af yngel fra vilde bestande og desuden for nærværende ikke tilgængelig i Danmark. Indsamling af blåmuslinger fra naturlige bestande kan foregå ved enten at opsamle muslingelarver i vandsøjlen eller fra muslinger, der har sat sig på bunden. Om end det også er muligt at indsamle blåmuslinger fra sten, pyloner eller andre hårde substrater, er dette relativt besværligt, tidskrævende og ofte ikke tilstrækkelig biomasse til etablering af muslingebanker. Imidlertid kan der ved større infrastrukturer (vindmøller etc.) til søs være muligt at skaffe tilstrækkelige mængder af blåmuslinger til udlægning, men dette vil kræve særlige aftaler/samarbejde med ejerne af de konkrete infrastrukturer at få adgang til indsamling. En yderligere mulighed for at skaffe muslingeyngel fra vilde bestande kan potentielt være fra havbrug, hvor muslingelarverne utilsigtet sætter sig på fiskeburene og muslingeynglen fjernes for at sikre gennemstrømning i netburene. Koordinering med havbrugeren og tidspunkt for netrensning er nødvendig. Endeligt er det en god ide at undersøge mulighederne for enten at købe muslingerne fra lokale muslingefiskere eller muslingeopdrættere. Oversigt over fordele og ulemper ved de enkelte metoder fremgår af tabel 1.

Uanset metode er det under alle omstændigheder en god ide at undersøge muligheden for at lave et samarbejde omkring indsamlingen eller tage en snak med muslingeopdrættere eller foreninger med havhaver, da de har gjort sig en række erfaringer, som projektet kan drage fordel af. I de efterfølgende afsnit gennemgås de forskellige metoder til indsamling af blåmuslingeyngel, som kan anvendes og særlige forhold, som man skal være særligt opmærksomme på. Vi anbefaler altid, at blåmuslingerne indsamles fra lokalområdet og ikke importeres fra andre vandområder, som der ikke er en naturlig sammenhæng med f.eks. import af blåmuslinger fra Limfjorden til fjordene langs den

Jyske østkyst. Dette vil beskytte den genetiske sammensætning og diversitet af lokale populationer, og dermed drage fordel af de er tilpasset de lokale forhold.

Klækkeriproduceret blåmuslingeyngel

I fremtiden kan muslingeyngel fra klækkerier være et alternativ til blåmuslingeyngel fra vilde bestande. Imidlertid er produktionsomkostningerne fortsat meget høje (430 euro/kg Kamermans et al. 2013), også selvom om en lavteknologisk klækkeriprotokol, hvor omkostningerne kan reduceres, er beskrevet i Saurel et al. (2022). Klækkeriproduktion af blåmuslingeyngel vil med fordel kunne benyttes i situationer, hvor de lokale bestande er særdeles små og hvor yngelproduktionen er for lille til at understøtte suspenderet yngelfangst (se afsnit 3.3). Metoden kan herved hjælpe med at opretholde lokal genetisk diversitet med høj biosikkerhed, da klækkeriforhold reducerer risikoen betydeligt i forhold til at overføre potentielle patogener ved udlæggelsen.

Fisket blåmuslingeyngel

Generelt er anbefalingen ikke at anvende fiskede blåmuslinger til naturprojekter, men nogle indre danske vandområder oplever årligt tilbagevendende og længerevarende iltsvindshændelser, hvilket kan medføre en betydelig muslingedødelighed. I sådanne tilfælde kan fiskede blåmuslinger anvendes i naturplejeprojekter, da et fiskeri, hvor muslingebankerne udtyndes og de fiskede muslinger udlægges i et andet område kan være til gavn for både donor- og udlægningsområderne (Maar et al., 2021). Fiskeri af blåmuslinger fra vilde bestande kræver koordinering med minimum en muslingefisker med en gældende licens eller med fiskerierhvervet f.eks. via Foreningen Muslingeerhvervet.

Table 1. Oversigt over fordele og ulemper ved de forskellige metoder til indsamling af blåmuslinger til genudlægning.

	Klækkeriproduceret	Fisket	Opsamling i vandsøjlen	Andre metoder
Beskrivelse	Købes fra klækkeri (pt. ikke tilgængeligt)	Købes af muslinge-fiskere, der fisker muslingerne lokalt	Lokal yngel kan købes af muslingeopdrætter eller ved at projektet selv etablerer yngelopsamlere. Alternativt køb lokal yngel fra havbrug.	Indsamling fra sten, infrastrukturer eller andre hårde substrater
Omkostninger (kr/tons)	3.200.000 (Kamermans et al. 2013)	900-1.000 (pers. kom 2024)	1.800-3.000 (pers. kom 2024)	-
Fordele	Lokale muslinger kan anvendes til produktion af yngel. Høj biosikkerhed og lille risiko for overførelse af patogener	Anbefales kun, hvis muslingerne fiskes i et område der årligt rammes af iltsvind.	Ynglen er samme størrelse (enkelt kohorte) og let tilgængelig i Danmark.	-
Ulemper	Omkostningerne er meget høje.	Potentiel risiko for at introducere patogener eller anden genetisk diversitet.	Potentiel risiko for at introducere patogener eller anden genetisk diversitet, hvis ynglen ikke produceres lokalt. Eventuelt behov for tilladelse til etablering af liner til indsamling.	Potentiel besværlig og tidskrævende og med risiko for at der ikke kan indsamles tilstrækkelig biomasse

Muslinge yngel indsamlet i vandsøjlen

Indsamling af muslinge yngel i vandsøjlen til etablering af biogene rev kræver, at der opsættes yngelopsamler (Figur 3) eller at muslinge ynglen købes af en lokal muslingeopdrætter. Alt efter behovet for muslinge yngel til udlægning kan der etableres nogle få liner eller et større anlæg med flere liner. Indsamling af muslinge yngel er således let at skalere, så længe det maksimale tilladte areal for et muslinge anlæg (250 x 750 m) ikke overskrides.

Området udvalgt til etablering af liner skal først markeres med tydelige gule navigationsmarkeringer i form af enten ende- eller hjørnemarkeringer (hhv. etablering af enkelt line eller flere liner). Et anlæg består således af en serie af vandrette hovedliner, bestående af 14 eller 16 mm tykke, hårdtslåede tove på typisk 100 m. Til hver hovedline skal der anvendes to ankre, ét i hver ende (Figur 4). Ankrene kan enten være skrueankre, der skrues ned i bunden eller forskellige typer af blokankre eller plovankre. Det vigtigste er, at ankrene ikke flytter sig og dermed forårsager at linerne filtrer sig ind i hinanden eller driver væk og derved udgør en risiko for skibstrafikken. Hovedlinerne holdes oppe af bøjer på 9 eller 17 liter i en neutral farve for at mindske det visuelle indtryk. Når yngelfanget udsættes (se nedenfor), anbefales det, at der anvendes ca. 40-50 bøjer pr. line, hvis linen er 100 m. Efterhånden som muslingerne vokser og tynger linerne ned, tilføjes der løbende flere bøjer. Udover bøjer anvendes der også betonklodser til at stabilisere linerne i vandsøjlen. Klodserne er lavet af beton støbt i spande og med en vægt på 25-35 kg. Der anvendes ca. 20 betonklodser per 100 m line. Til fastbinding af både bøjer og betonklodser anbefales det at bruge 6 eller 8 mm tovværk.

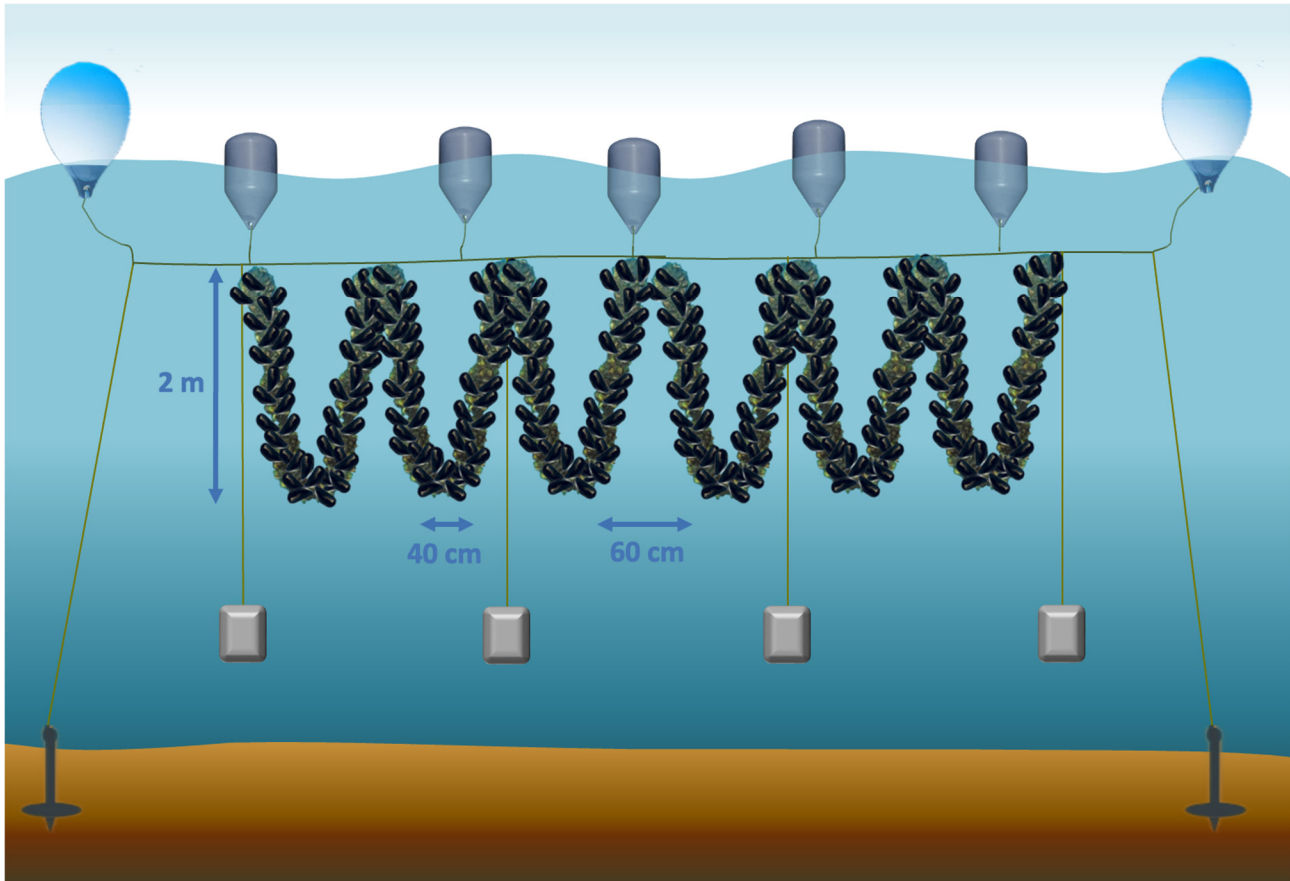
Opsætningen af hovedliner kan foregå hele året, men vi anbefaler, at de etableres i det tidlige forår, så de er klar til udhængning af yngelfang.

Yngelfang er 5 cm brede nylonvævede bændler, som hænger fra hovedlinerne. Vi anbefaler at udhænge bændlerne i guirlander med 40 cm afstand mellem loops og 60 cm til næste opbinding på hovedlinen (Figur 4) og at de hænger fra overfladen og et par meter ned i vandet alt efter vanddybden, men altid fri af bunden. I april-maj, når vandtemperaturen er ca. 10 °C gyder de vilde muslingebestande og bændlerne udsættes i denne tidsperiode, så bændlerne er modnet i vandet og derved attraktive for muslingelarverne at bundslå sig på i maj-juni. Hen over sommeren, og indtil muslingerne høstes, tilføjes der løbende flere bøjer.

Vi anbefaler, at der anvendes en båd, der er i stand til at løfte hovedlinerne op af vandet med f.eks. en hauler og at båden kan bevæge sig hen langs linerne, hvilket giver gode arbejdsbetingelser ved tilføjelse af yngelfang, betonankre og bøjer på hovedlinen, eller når muslingerne høstes af bændlerne (Figur 3).



Figur 3. Typisk konfiguration af et muslingeopdræt med langliner. Øverst: muslinge anlægget set fra oven. Midt: Yngelfang med muslinger under vandet. Nederst: Høstning af muslinger med båd.



Figur 4. Skematisk tegning af opsætning af en langline til indsamling af muslingeeyngel i vandsøjlen. © DTU Aqua

Design og etablering af blåmuslingebanker

Designet af muslingebankerne er med til at optimere overlevelse og leveforholdene for muslinger i den enkelte muslingebanke f.eks. ved at minimere konkurrencen om plads og føde i muslingebanken og mellem eventuelle andre muslingebanker, minimere prædation samt understøtte rekruttering. Skalering af bankens størrelse, størrelsen på udlagte muslinger, tætheder, udlægningsmønstre og eventuelt supplerende vedhæftningsmateriale har afgørende betydning for om etableringen bliver en langsigtet succes.

Generelt har de stedspecifikke forhold stor betydning for etableringen af muslinebanker og muligheden for at de udvikler sig til levedygtige selvopretholdende banker (Fraschetti et al., 2021). Inden og i forbindelse med etableringen af blåmuslingebanker er det derfor vigtigt at identificere potentielle påvirkninger f.eks. sedimenttildækning, prædatorer eller bølgeeksponering (de Paoli et al. 2015), som har betydning for muslingernes overlevelse. Alt afhængigt af om muslingerne er fra vandsøjle, bund eller klækkeri samt deres alder, størrelse, skaltykkelse og byssusdannelse vil det have indvirkning på muslingernes modstandsdygtighed over for f.eks. bølgeeksponering, prædatorer, udtørring og genudlægning. Derudover vil biologiske forhold som fytoplanktonkoncentration og tilstedeværelse af vilde muslingebestande også have betydning for bankens overlevelse og rekruttering. Der henvises til "Vejledning for udpegning af områder egnet til etablering af blåmuslingebanker" (Nielsen et al. 2023) for yderligere detaljer i forhold til hvilke kriterier, der bør og eventuel kan inddrages.

Muslingebankens form og fordeling

Orientering, fordeling og tætheder af udlagte muslingebanker vil være afhængig af de lokale biologiske og fysiske forhold. For eksempel vil blåmuslingebanker i bløde sedimenter organisere sig selv i forskellige mønstre på flere forskellige skalaer, og dermed skabe en tredimensionel struktur hen over bunden, men også op i vandsøjlen, som har vist sig at have stor betydning for bankernes modstandsevne, rekruttering, vækst og overlevelse (f.eks. Svane og Ompi, 1993; Commito og Rusignuolo, 2000; Crawford et al., 2006). De rumlige mønstre bør derfor tages i betragtning for at øge sandsynligheden for at etablerede muslingebanker er langvarige og dermed bidrager til, at naturgenopretning og naturforbedrende aktiviteter bliver succesfulde (Bertolini et al. 2019).

Årsagen til, at blåmuslingebanker har en varierende rumlig og ofte klumpet fordeling er, at muslingerne forsøger at optimere deres placering i forhold til f.eks. føde, beskyttelse mod prædation samt vedhæftning til andre muslinger eller døde skaller for at reducere risiko for løsrivelse ved bølgeeksponering/turbulens (de Jager et al., 2011; van der Koppel et al., 2012). Muslingernes tendens til at selvaggregere er således i høj grad bestemt af de lokale fysiske og biologiske forhold (Commito et al., 2016; van de Koppel et al. 2008), men afhænger også af tætheden af muslingerne (Bertolini et al., 2017). Muslingebanker har derfor ofte en rumlig fordeling, hvor de er struktureret som klumper, der ligger i striber med store områder med barbund uden muslinger imellem (Figur 5). Fordeling af blåmuslinger i både klumper og striber vil understøtte bankernes langsigtede forbliven (de Paoli et al., 2017). Udlægningstæthed og mønster er en balance imellem at have tilstrækkeligt med individer til at disse kan samle sig i klumper og striber, men samtidigt ikke i så stor tæthed, at den interne konkurrence om plads og føde imellem muslingerne bliver afgørende for bankens overlevelse. Udover tætheden, har størrelsen på de udlagte blåmuslinger også betydning for muslingernes evne til at klumpe sig sammen, da små blåmuslinger har en større tendens til at klumpe sammen og dermed drage fordel af tilflugtsrefugier for prædatorer.



Figur 5. Udlagt blåmuslingebanke, hvor muslingerne har selvorganiseret sig i klumper og med barbund imellem klumperne. Foto. Timi L. Banke, SundVejleFjord.

Vi anbefaler derfor, at der ved udlægning af blåmuslinger tages højde for blåmuslingebankers naturlige klumpede fordeling, og at muslingerne udlægges i mindre klumper eller striber med 10-20 m imellem og i ikke for store tætheder frem for i én stor bank og høje tætheder. Ligeledes anbefales

det, at ved udlægning af flere muslingebanker indenfor samme vandområde, at disse udlægges med god afstand (>100 m) mellem bankerne for at reducere risikoen for f.eks. fødekonekurrence mellem de udlagte blåmuslingebanker.

Anvendelse af vedhæftningsmateriale

Habitatdannende arter som blåmuslingen er ofte afhængige af rekruttering af nye muslingelarver for at kunne udvikle og vedligeholde sig f.eks. som respons på ødelæggelse efter storme eller prædation (f.eks. Paoli et al., 2017; van den Bogaart et al., 2023b). Her spiller både tætheden af muslingerne, den rumlige fordeling af muslingerne og kompleksiteten af strukturen en afgørende rolle (Bertolini et al., 2019). Anvendelse af materiale, som muslingerne kan hæfte sig til, kan således være med til at øge kompleksiteten, men kan på samme tid reducere stabiliteten af banken f.eks. ved at gøre den mere følsom overfor bølgeeksponering. Udlægningsdesign, der inkluderer vedhæftningsmateriale skal derfor balancere mellem at efterligne den naturlige rumlige fordeling, som fremmer overlevelse, men ikke reducerer stabiliteten af den etablerede banke (Temmink et al., 2022).

Der findes forskellige materialer, som kan anvendes som substrater i muslingebanker. De mest almindeligt anvendte er: 1) skaller, 2) forskellige bionedbrydelige materiale som f.eks. kokosnet, net/måtter, yngelfang eller 3) træstrukturer f.eks. gærder. Effekterne af vedhæftningssubstrater på muslingebankernes overlevelse og varighed vil være forskellig og vil afhænge af lokale forhold. Vedhæftningsmateriale kan nogle steder være en god ide, men vil som regel ikke være nødvendigt og vil primært være noget, der tages i brug, hvis de første udplantninger ikke har fungeret. Alternativt kan der udlægges muslingskaller som et naturligt substrat til fremme af naturlig rekruttering, uden at der er garanti for, at der vil ske bundslåning.

I forbindelse med naturgenopretningsprojekter eller naturforbedrende tiltag anbefales det, at der ved eventuel inkludering af vedhæftningsmateriale kun anvendes naturlige materialer fra havet (f.eks. skaller) eller bionedbrydelige materialer. Ønsker man at anvende ikke-nedbrydelige materialer bør det overvejes om det eventuelt helt kan udelades eller erstattes af naturlige/bionedbrydelige materialer. Hvis dette ikke er muligt, vil det have indvirkning på tilladelsesprocessen og eventuelt medføre forlængelse af processen. Inkludering af vedhæftningsmateriale vil forøge anlægsomkostningerne og bør benyttes i situationer hvor løsrivelse grundet bølgeeksponering kan være begrænsende for succesfuld etablering af muslingebanken, eller i situationer, hvor det naturlige substrat medfører begrænsninger f.eks. ved særdeles mudret sediment, som ikke understøtter dannelsen af robuste muslingebanker.

Biomassetætheder af udlagte blåmuslinger

Tæthed af muslingerne (kg/m^2 eller antallet/m^2) er afgørende for muslingernes evne til at selvaggregere og dermed også deres vækst og overlevelse (f.eks. Gascoigne et al., 2005; Capelle et al. 2014; Liu et al. 2014; Bertolini et al., 2019). Tætheden af muslingerne, den klumpede fordeling og arealudbredelse er således afgørende faktorer for at opnå velfungerende og stabile muslingebanker (Bertolini et al., 2020). Der er gennemført en del studier, hvor blåmuslinger er blevet udlagt i forskellige tætheder i både tidevandsområder og områder med permanent vanddække for at undersøge de optimale tætheder i forhold til vækst og reduktion af tab af muslinger over tid ved kulturbankeproduktion. Valget af udlægningstæthed er en balance mellem at have nok muslinger til at disse kan aggregere og danne stabile strukturer, men uden at opnå betydende intern konkurrence mellem

muslingerne, hvorfor medium tætheder ofte anses som en optimal strategi for at sikre bankens overlevelse (Bertolini et al., 2020). I Holland på tidevandsflader ligger tætheden af muslinger typisk mellem 1 til 2,5 kg/m² (van den Bogaart et al., 2024). Generelt anbefales i tidligere studier tætheder på 2,5-3,5 kg/m², når muslinge yngel med en størrelse på 1-3 cm udlægges (Spencer 2002, Dolmer et al. 2012). De nyeste danske undersøgelser med udlægning af muslinger til kulturbankedyrkning er foretaget i forbindelse med KulturMus projektet (GUDP 2020-2024), hvor både fisket muslinge yngel og muslinge yngel indsamlet i vandsøjlen blev udlagt med muslingetætheder på 2,7 kg/m² og 5 kg/m². Resultaterne viser, at både fisket muslinge yngel og yngel indsamlet i vandsøjlen havde fin overlevelse ved de valgte udlægningstætheder med en betydelig forøgelse af sluttæthed på 6,5-13 kg/m².

De internationale og nationale undersøgelser viser således samstemmende, at tætheder på 2-3 kg/m² kort efter udlægningstidspunktet understøtter en god vækst og stabilitet. Vi anbefaler derfor, at muslingerne udlægges med en start tæthed på omkring 5 kg/m² for at imødegå tab af muslinge biomasse lige efter udlægningen.

Størrelsen af de udlagte blåmuslinger

Der er foretaget en række studier med etablering af muslingebanker i både tidevandsområder og områder med permanent vanddække og hvor der er anvendt både muslinge yngel og voksne muslinger, fra både fiskede bestande og indsamlet i vandsøjlen (f.eks. Kristensen og Lassen, 1997; Kamermans et al., 2002; Capelle et al., 2016a; Schotanus et al., 2020). Både størrelse og alder har vist sig at påvirke overlevelse og vækst af de udlagte muslinger (f.eks. Capelle et al., 2016b, Alder et al., 2020; van den Boogart et al., 2023b). Muslinge yngel er 0,5-1-årige muslinger med en skallængde på 1-3 cm, mens voksne muslinger er ældre og typisk med en skallængde >4 cm.

Overlevelse af de individuelle muslinger og muslingebanken vil i høj grad afhænge af størrelsen af muslingerne. Der var således et større tab af små muslinger (<3 cm) umiddelbart efter udlægning og højere tætheder end med udlægning af større størrelser (Capelle et al. 2016b), hvilket skyldes, at håndtering og stress forårsaget ved fiskeri eller høst samt løsrivelse fra klumper, fødekonekurrence under aggregering (van de Koppel et al. , 2005, Okamura, 1986, Saurel et al. 2013) og en øget sårbarhed over for prædation (O'Neill et al., 1983; Murray et al., 2007; van den Bogaart et al., 2023a) påvirker de mindre muslinger mere end større. Ligesom andre forhold som f.eks. samlet transporttid, udlægningsmetoden og tid på året også spiller ind.

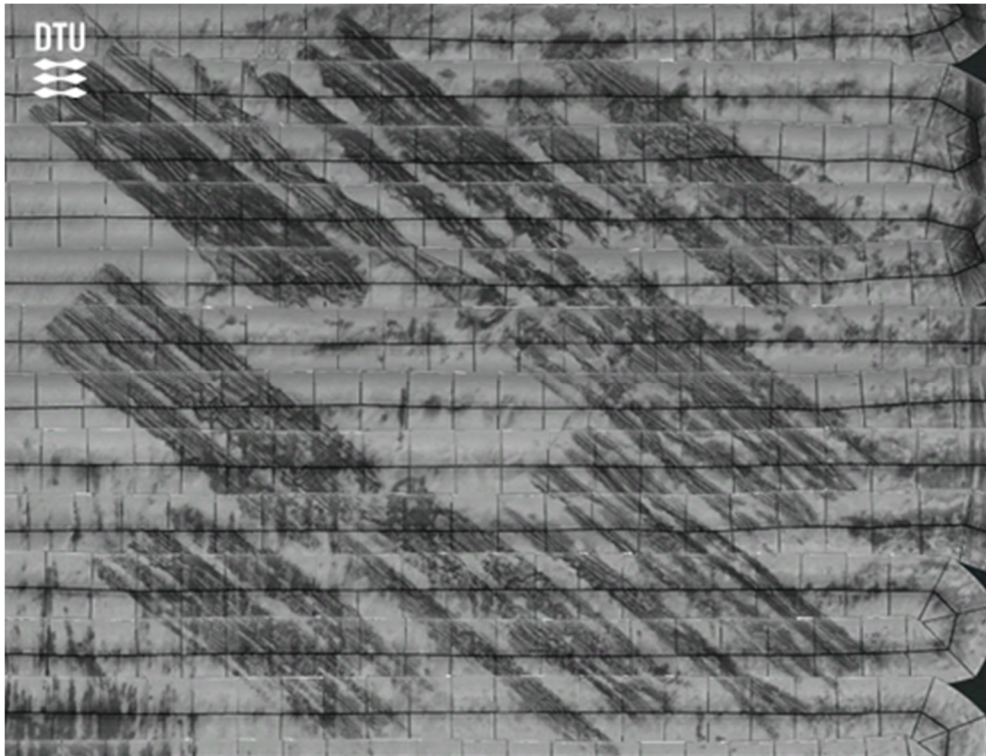
Omvendt kan der være grunde til at foretrække muslinge yngel frem for større muslinger ved etablering af muslingebanker f.eks. mindre omkostninger, tidsbesparelse eller tilgængelighed

Vi anbefaler derfor at anvende muslinger med en skallængde >3 cm til etablering af muslingebanker for at reducere tabet af muslinger efter udlægning og samtidig sikre en god vækst og overlevelse i muslingebanken.

Udlægningsmetode

Til udlægning af muslinger kan der med fordel anvendes særlige fartøjer, hvor muslingerne pumpes ud fra hver side af fartøjet eller via transportbånd, hvilket medfører en jævnere fordeling af muslingerne og med den ønskede tæthed. I forbindelse med bundkulturer i Danmark er traditionen at udlægge muslingerne i striber (Figur 6) mens de i f.eks. Storbritannien udlægges i cirkulære mønstre (Saurel et al. 2013). Ved udlægning i mindre skala kan muslingerne skovles ud fra f.eks. bigbags på 1000 kg fra mindre både eller alternativt ved at skære hul i bigbag'en, mens den hænger udover siden. Den sidste metode resulterer ofte i, at muslingerne hovedsageligt falder til bunden på samme

sted, og tilkaldelse af dykkere til efterfølgende at fordele muslingerne i den ønskede tæthed resulterer ofte i en meget ujævn fordeling.



Figur 6. Sidescan sonar billede af blåmuslingebanker udlagt med skib. Udlægningen er foregået ved at blåmuslingerne er pumpes ud fra hver side af skibet og med afstand mellem udlægningsstriberne © DTU Aqua

Hvad skal et monitoringsprogram indeholde?

Dette kapitel indeholder kun informationer i forhold til før- og efter-monitoring ved etablering af muslingebanker. For monitoring i forhold til udvælgelse af egnede områder til etablering af muslingebanker henvises til Vejledning for udpegning af områder egnet til etablering af blåmuslingebanker (Nielsen et al. 2023). For at kunne dokumentere om de ønskede økologiske målsætninger ved etableringen af blåmuslingebanken er nået, kræver det overvågning. Et overvågningsprogram skal således levere grundlæggende information om, hvordan den etablerede banke udvikler sig over tid og også hjælpe med at tilvejebringe erfaringer, som kan overføres til andre projekter.

Et overvågningsprogram har to grundlæggende komponenter: Før- og eftermonitoring af området, hvor muslingebanken udlægges, og overvågning af et kontrolområde. Vi anbefaler at begynde overvågningen af det udvalgte område til etableringen af muslingebanken cirka et år før den egentlige etablering for at dokumentere f.eks. hydrologiske og økologiske forhold i området inden etablering af muslingebanken. Overvågningsdataene før etableringen udgør således baseline, som bruges til at evaluere og kvantificere miljøeffekterne og økosystemtjenesterne som leveres af den etablerede muslingebanke. Efter udlægningen af muslingerne anbefaler vi, at der foretages prøveudtagning i et udvalgt kontrolområde. Et kontrolområde er et område, der er repræsentativt/har samme forhold (f.eks. sand- eller muddersubstrat), men som ikke er påvirket af den etablerede muslingebanke, altså et område, hvor forholdene forbliver uændrede. Hvis det ikke er muligt at gennemføre en base-

lineundersøgelse (før-monitering) inden etableringen af muslingebanken, er sammenligningen mellem etableringsområdet og kontrolområdet afgørende for at kunne dokumentere effekterne af den etablerede muslingebanke, og dermed om projektets målsætninger opnås.

Hvilken type af data?

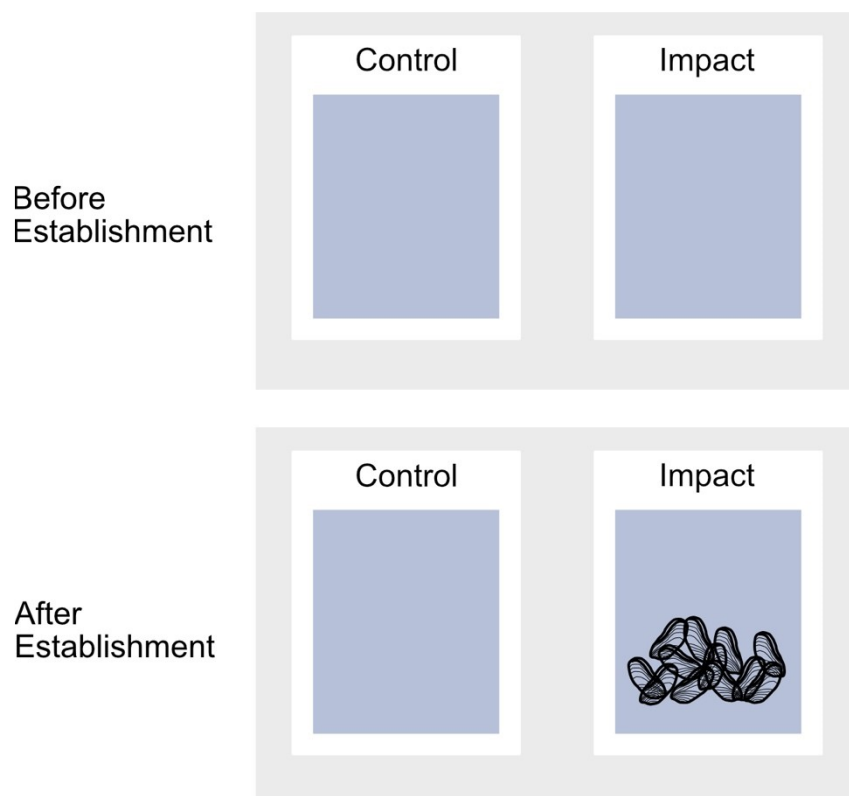
Indholdet af et monitoringsprogram skal naturligvis afspejle de konkrete målsætninger og for at kunne vurdere opnåelse af de ønskede effekter, skal de omsættes til konkrete kriterier, der er målbare og med tilhørende målinger, som skal indgå i monitoringsprotokollen. Der er forskellige formål med at foretage monitoring, 1) grundlæggende dokumentation af etableringen, 2) den tidlige udvikling/stabilitet af selve revene og 3) evaluering af om de ønskede økosystemtjenester opnås (Tabel 2). Vi anbefaler, at ethvert genetableringsprojekt med biogene rev som minimum har et monitoringsprogram som omfatter den grundlæggende dokumentation af etableringen, men også meget gerne den tidlige udvikling af muslingebanken. Dokumentationen af de ønskede økosystemtjenester kan ofte være svære at nå indenfor projekter med kort levetid (2-3 år), men så kan økosystemtjenesterne dokumenteres i eventuelle opfølgende projekter.

Table 2. Overordnet inddeling af monitoringen i de tre hovedfaser (Grundlæggende dokumentation, Tidslig udvikling og Økosystemtjenester) og de basale informationer som skal monitoreres ved etablering af blåmuslingebanker.

Grundlæggende dokumentation			
Areal (m ²)		Biomasse tæthed (kg/m ² , antal/m ²)	
Opmåling af det havbundsområde, der påvirkes. Kan opgøres som to separate målinger: 1) projektets fodaftryk (anlagte banker inkl. afstanden mellem banker). 2) Det konkrete areal af banker udgør.		Blåmuslinger har ofte klumpet fordeling. Prøverne bør indsamles på tværs (evt. langs transekter) af banker for at data er tilstrækkelige til at dokumentere år til år variationer.	
Prøvetagningsfrekvens: Første prøvetagning foretages 1-3 måneder efter etablering af banker og derefter årligt. Ved stormhændelser kan ekstra prøvetagning overvejes.		Prøvetagningsfrekvens: Første prøvetagning bør foretages 1-3 måneder efter banker er etableret, og derefter årligt	
Evalueringkriterie: Bankearealet skal over tid være stabilt eller øges.		Evalueringkriterie: Stabil eller stigende tæthed (kg/m ²)	
Tidslig udvikling			
Størrelsesfordeling (antal aldersklasser)		Dækningsgrad (% muslingdække)	
Indsamling af flere prøver på tværs (evt. langs transekter) af banker. For hver prøve måles skallængden på min. 100 muslinger.		Sidescan-sonar monitorering foretrukket i lavvandede områder (< 10 m). Alternativt kan video-transekter på tværs af revene anvendes.	
Prøvetagningsfrekvens: Første prøvetagning foretages sensommer/efterår efter etablering af banker. Herefter årligt sensommer/efterår.		Prøvetagningsfrekvens: Dækningsgraden bør måles lige 1-3 måneder efter udlægningen og herefter årligt og på samme tidspunkt af året.	
Evalueringkriterie: Over tid mindst to aldersklasser/forekomst af mindre muslinger		Evalueringkriterie: Stabil/stigende dækningsgrad. Ingen større reduktioner.	
Økosystemtjenester			
Biodiversitet: Epifauna & flora	Biodiversitet: Infauna	Lysforhold	Bentisk vegetation
Dokumentation af fastsiddende planter og organismer på banken samt mobile (f.eks. fisk og krebsdyr) organismer, der benytter banken.	Dokumentation af organismer, der lever i sedimentet, ved og omkring banken.	Blåmuslingernes filtration reducerer koncentrationen af mikroalger, hvilket forbedrer lysforholdene for bentiske vegetation (f.eks. ålegræs og makroalger), hvis lyset begrænser fotosyntese og vækst.	Er formålet med etablering af muslingebanker at fremme forholdene for bentisk vegetation (f.eks. ålegræs), kan ændringer i kvaliteten (densitet og dækningsgrad) af ålegræsbedene monitoreres.

Hvordan skal data indsamles?

Når formålet med monitoringen er fastlagt, er næste trin i processen at bestemme, hvilke konkrete metoder f.eks. dykkerindsamling, video-transekter, grab eller hapsprøver, der er bedst at anvende og hvordan undersøgelserne skal foregå og i hvor lang tid monitoringen skal vare. Vi anbefaler, at monitoringen af effekterne ved etablering af biogene rev anvender et BACI-design (Before-After-Control-Impact). Et BACI-design giver mulighed for at dokumentere forskelle mellem kontrolområde (control) og bankeområde (Impact) før og efter etableringen (Figur 7). Prøverne på hhv. kontrolområde og revområdet skal foregå samtidig. Det er vigtigt, at kontrolområdet har lignende habitategenskaber f.eks. i forhold til sediment, vanddybde, saltholdighed og eksponering som revområdet inden revet etableres. Desuden skal kontrolområdet ligge i tilpas afstand således at effekterne af revet ikke påvirker kontrolområdet f.eks. ved øget sedimentation eller migration af mobile organismer. Efter revet er etableret monitoreres kontrolområdet sideløbende med revområdet via identiske metoder og indsamling.



Figur 7. Skematisk oversigt af et Before-After-Control-Impact-design (BACI), hvor "impact område" er det område, hvor blåmuslingebanken etableres. © DTU Aqua

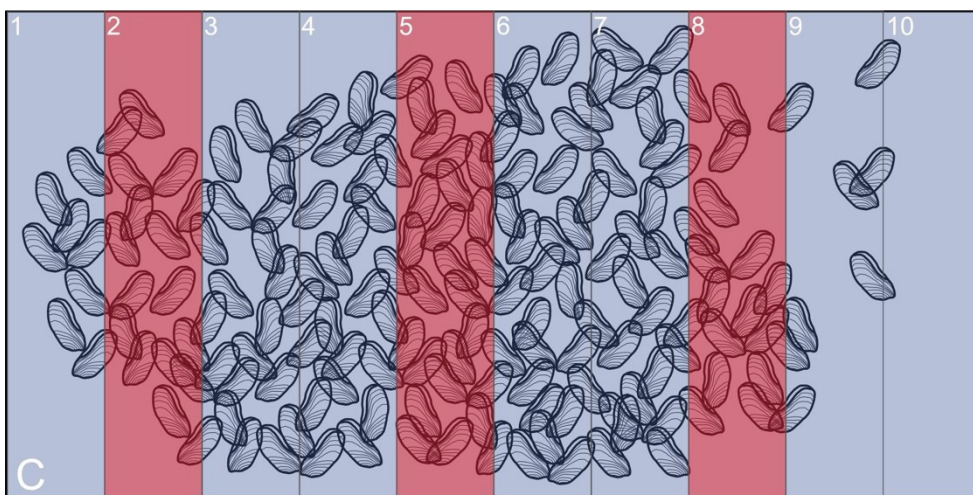
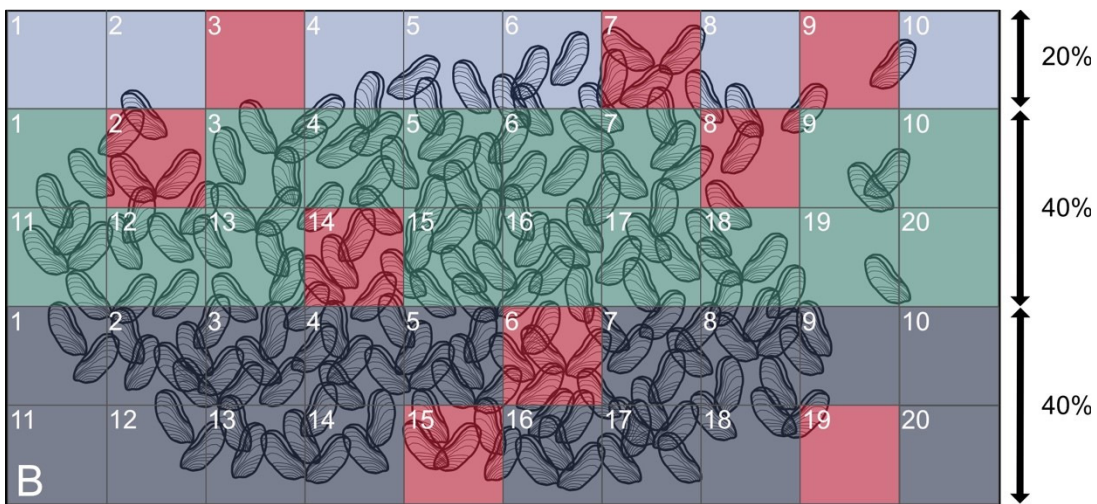
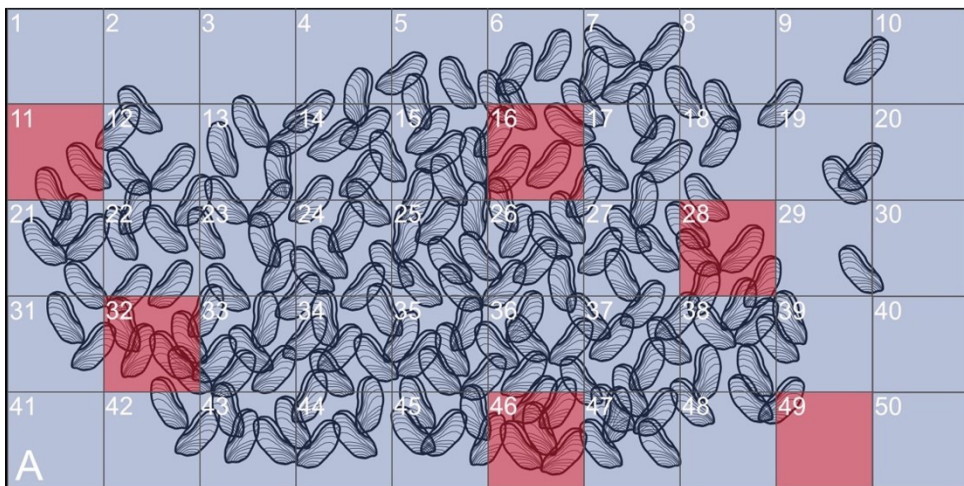
Prøvetagningsteknikker

Der er forskellige teknikker i forhold til, hvordan prøverne indsamles. Teknikkerne kan enten være systematiske via transekter eller tilfældig enten som stikprøveudtagning eller stratificeret prøveudtagning.

Tilfældig stikprøvetagning: For at udelukke bias ved indsamling af prøver, skal prøverne være uafhængige af hinanden. En metode til få uafhængig prøveindsamling er at dele det område, hvor der skal tages prøver, op i mindre områder. Hvert delområde får et nummer, herefter udvælges tilfældige numre f.eks. vha. en tilfældig talgenerator. Der indsamles så kun prøver i de delområder, som talgeneratoren har udvalgt (Figur 8A).

Stratificeret tilfældig stikprøvetagning: Anvendes ofte, hvis området, der ønskes undersøgt ikke er homogent og kan opdeles i zoner f.eks. ved forskellige sedimentforhold eller forskel i vanddybde. Området opdeles i zoner og indenfor hver zone udvælges der tilfældige prøvetagningsstationer som ved stikprøvetagning (Figur 8B).

Systematisk prøveudtagning: Denne metode anvendes ofte ved miljøgradienter (f.eks. afstand til anden habitattype som ålegræsbede eller stenrev), eller til at måle ændringer i artssammensætning. Et transekt placeres langs gradienten, og kvadrater placeres med regelmæssige intervaller (Figur 8C) eller der kan anvendes bredde-transekter, hvor forekomster af specifikke arter registerets i en specificeret afstand på hver side langs hele transektet.



Gradient (Salinitet, afstand til andre habitater m.m.)

Figur 8. Skematisk tegning af de forskellige prøvetagningsteknikker A: Tilfældig prøvetagning B: Stratificeret tilfældig stikprøvetagning og C: Systematisk prøveudtagning

Hvor mange og hvor store prøver skal der indsamles?

Fordi hvert enkelt etableringsprojekt har forskelligt omfang, metode, miljøforhold og formål vil antallet af prøver, der skal tages pr. sted for hvert af kriterie (se tabel 2), være forskelligt for hvert projekt. Derudover kan monitoringsomkostningerne være meget forskellig, især ved brug af avancerede metoder og/eller når store områder skal vurderes, kan det være omkostningstungt, ligesom antallet af gentagende prøveindsamlinger bør overvejes. Imidlertid skal der være nok data til at der kan foretages en robust vurdering, og det kræver, at der er tilstrækkelig med replikater (gentagede målinger) og som tager højde for, at muslingebanker er dynamiske over tid. Blåmuslingebanker er kendt for kun at være stabile i nogle få år, og deres rumlige struktur og aldersfordelingen ændrer sig over tid, hvorfor deres pludselige forsvinden er blevet observeret i århundreder (Field, 1922). Derfor er det essentielt at dokumentere de etablerede revs udvikling over tid i forhold til, hvad der karakteriserer vækst og stabilitet.

Praktiske overvejelser

Udvælgelsen af hvilke metoder, der skal anvendes i monitoringen, afhænger af projektets budget, men også i høj grad af: 1) Hvilken eksisterende ekspertise og værktøjer, som projektet har adgang til; 2) Hvilke parametre der ønskes undersøgt; 3) Frekvensen af dataindsamling; og 4) hvor nøjagtigt og præcist prøverne og målinger ønskes indsamlet med. Det er derfor vigtigt at fastlægge fra start, hvad er nødvendigt og hvad er ekstra/supplerende data.

Forhold vedrørende både og udstyr

Muslingebanker etableres typisk i områder med vanddybder >3 m. Dette reducerer effekterne af potentielle isskrninger og bølgeeksponering, men sikrer også at der er tilstrækkelig dybgang for et eventuelt udlægningsfartøj. Både til monitoring skal som minimum kunne transportere en besætning på to personer med alt nødvendigt udstyr til en dags opgaver samt indsamlede prøver sikkert. Større både er begrænset af dybgang og skal operere fra en havn eller slæbested, hvis de er på en trailer. Mindre både kan potentielt isættes fra stranden eller mindre slæbesteder. I de tilfælde, hvor der kun indsamles vandprøver, kan joller eller kajaker anvendes. Tungere prøvetagninger eller brug af monitoringsudstyr (f.eks. video/kameraslæde, undervandrobotter eller grab), kræver mere plads og stabilitet, ligesom motorkraft og spil anbefales. Alt afhængig af, hvilke opgaver, der skal udføres, og besætningssammensætning kan der være andre forhold som adgang til strøm (12VDC eller 220VAC), computere, GPS, mulighed for opankring, hydrauliske systemer, kran/bom/A-ramme, borde og skyllepumper ved sortering, dykkerkapaciteter (f.eks. stiger, tankopbevaring), der vil være relevante at overveje. Derudover bør læ for vind og vejr samt adgang til toiletfaciliteter også indgå i overvejelserne.

I de efterfølgende afsnit (5.4 og 5.5) gennemgås forskellige gængse metoder og parametre, som vi anbefaler som bør indgå i et monitoringsprogram i forbindelse med etablering af blåmuslingebanker samt eventuelle supplerende miljøparametre (afsnit 5.6). En samlet oversigt over parametre og metoder findes i Tabel 3. I afsnit 5.7 er der en kort gennemgang af metoder, der kan være med til at dokumentere biodiversitetsøkosystemtjenester.

Metoder til monitorering af dækningsgrad, fodaftryksareal og bankeareal

Monitorering af udviklingen af etablerede muslingebanker over tid kan omfatte en fuld kortlægning af etableringsområde, udvalgte delområder eller punktvis indsamling. Hvilken metode, der anvendes, afhænger i høj grad af adgangen til både, udstyr, kvalificeret arbejdskraft samt projektet økonomi. Helt overordnet kan arealmonitorering af blåmuslingebankernes opgøres på to forskellige måder: 1) muslingebankens "foot print område", dvs. det samlede område af muslingebanke og sedimentområder mellem muslingebanken eller 2) arealet af selve blåmuslingebanken, altså kun områder, hvor blåmuslinger indgår. Arealerne kan opgøres i m² og procentvis dækningsgrad af muslingerne i områderne.

Der findes flere forskellige metoder til at bestemme muslingebankernes fodaftryk, habitatområde og dækningsgrad.

Monitorering med kamera

Kortlægning af muslingebanker ved brug af kamera er en standardmetode, som kan dække et stort område på relativt kort tid. Digitale kameraer tillader efterhånden optagelse af højkvalitetsbilleder og video, som kan anvendes til at estimere biomassefordelingen af blåmuslinger, og hvis der er foretaget kalibrering, ligeledes til overordnet identifikation af sedimenttyper samt til at identificere og kvantificere dyr og alger tilknyttet muslingebanken. Der kan anvendes enten videoslæder, som trækkes hen over havbunden eller i en kontrolleret højde (f.eks. med et spil) over muslingebanken. Undersøgelser, hvor der anvendes en fast højde over muslingebanken kan være udfordret af dønninger, da det påvirker højden. Vi anbefaler derfor at foretage videoundersøgelser under rolige vejrforhold, og at det valgte kamera kan tåle stød ved kollision med f.eks. sten. Alternativt kan dropdown-kameraer anvendes på udvalgte positioner på banken.

Dykkere kan også udføre billede/video-monitoring ved at svømme langs et afmærket transekt eller foretage egen visuel monitorering af dækningsgraden. Transektet kan udlægges som en synkeline fra båden, inden med kendte koordinater. Alternativt kan markeringsbøjer bruges, hvis sigtbarheden er god. Dykkeren bør holde en relativt fast afstand fra bunden og en fast kameravinkel for at der er konsistens i analyserne af video eller stillbilleder.

Uanset hvilken kamerametode der anvendes, kan lysforholdene være en udfordring, da der ofte er dårlige lysforhold i indre danske farvand fra omkring april til oktober, ligesom der er reduceret lys på dybere vand. Dette kan delvist afhjælpes ved brug af lamper, men grumset vand reducerer billedkvaliteten betydeligt og gør ofte videoen svære at analysere. Vi anbefaler derfor generelt at gennemføre kameraundersøgelser, når sigtbarheden er >2 m.

Droner

Et alternativ er enten fjernstyrede undervandsdroner (Remotely Operated Vehicles, ROV) eller selvopererende droner (Autonomous Underwater Vehicles, AUV). AUV er en relativt ny teknologi og er for nuværende relativt dyre at anskaffe, og vi anbefaler derfor ikke disse medmindre projektet allerede har adgang til en AUV. Derimod findes der en lang række af ROV'er i forskellig størrelse og prisklasser. Alle modeller inkluderer et kamera og navigationsudstyr til at operere ROV'en fra f.eks. en båd. De er typisk lette og relativt nemme at bruge og de lidt mere avancerede modeller kan også indsamle vandprøver eller genstande, eller med mulighed for at montere forskellige sensorer eller

har ekkolodsbaseret GPS-positionering indbygget. Batteritid kan være en begrænsende faktor for større undersøgelser, især i de koldere tider af året.

Moniteringen af etablerede blåmuslingebanker kan også udføres med flyvende droner (Unoccupied Aerial Vehicles, UAV). UAV'er kan anvendes til kortlægning af kysthabitater som f.eks. ålegræsbede og muslingebanker (Thomasberger og Nielsen, 2023). Kortlægning fra luften kan ved tilstrækkelig sigtbarhed være en hurtig måde at kortlægge muslingebanker på vanddybder <10 m over et relativt stort område. Danske kystnære områder har dog ofte uklart vand enten pga. høje fytoplanktonkoncentrationer eller resuspension, hvilket begrænser både antallet af dage, hvor luftbaseret kortlægning kan anvendes og moniteringsdybden er ofte <3 m. Gentagende kortlægning af etableringsområdet (inkl. før etablering) kan være med til at dokumentere den etablerede muslingebankes udvikling over tid og eventuelle andre effekter i området. Nogle UAV'er kan udstyres med specialiserede kameraer eller prøvetagningsudstyr, der kan indsamle mindre prøver af muslingebanken (Espriella et al., 2023).

Side Scan og multibeam sonar

Side-scan sonar (SSS) er en teknologi, der bruger akustiske sensorer til at 'kortlægge' havbunden og alt, der ligger oven på bunden. Moderne SSS-enheder er relativt billige, giver god opløsning, og en god visuel identifikation af forskellige strukturer på bløde sedimenter. SSS-billederne i kombination med GPS positioner/sejlrute georeferences og overlejlres på andre kort. Sammenholdes SSS-billederne med videomonitoringstransekter, dykkertransekter eller droneoptagelser kan de bruges til at validere muslingebanker versus baggrund (sedimenter, klipper, makroalger m.m.), ligesom dækningsgrad, rumlige organisering og arealet af muslingebanken kan estimeres. Akustisk undersøgelse med f.eks. multibeam er også mulig, men er ofte mere vanskelige at fortolke, og betydeligt dyrere at anskaffe, og kræver typisk en større vanddybde end SSS.

Monitering af blåmuslingebankens vækst og stabilitet

Indsamling af blåmuslinger fra den etablerede banke kan foregå som håndindsamling ved dykning eller snorkling eller fra både ved at anvende grab- eller kerneprøver. Muslingebankernes klumpede fordeling og eventuel udlægning i striber kan gøre det svært at indsamle repræsentative prøver fra overfladen i områder >4 m og uden sigtbarhed til bunden, mens dykkerindsamling er bedre til udtagning af repræsentative prøver. Ved indsamling med grab eller kernehenter kan der typisk indsamles flere prøver på kortere tid og moniteringen kan dermed dække større dele af banken, mens dykkersamling er begrænset til den samlede bundtid for dykkeren, som varierer alt efter dybde, dyknetider og antal dyk om dagen. Ved dykkerindsamling anvendes en ramme (dvs. en firkant eller cirkel med kendt dimension). Rammen placeres på et tilfældigt udvalgt prøvested og blåmuslinger og alt andet materiale indenfor rammen indsamles i en netpose og transporteres til overfladen. Tilfældig udvælgelse af prøvestationer kan foregå ved, at dykkeren lukker øjnene og placerer rammen eller alternativt, hvis dykkeren har radiokommunikation til overfladen, fortæller tenderen, hvornår rammen skal placeres. Størrelsen af rammen påvirker både indsamlingstid og de efterfølgende analyser (Pringle, 1984), hvorfor det generelt anbefales at anvende rammer <0,5 m². Et kamera kan eventuelt monteres på rammen, så der kan tages et billede af rammens indhold efter rammen er placeret og inden indsamling af materiel påbegyndes.

Densiteten af blåmuslinger

Tætheden/densiteten af blåmuslinger opgøres per arealenhed som enten antal muslinger (f.eks. individer/m²) eller biomasse (kg/m²), og prøverne kan indsamles f.eks. med dykker eller grab. På grund af blåmuslingebankernes selvaggregerende adfærd og dermed heterogene fordeling vil muslingerne fordele sig ujævnt og derfor varierer dækningsgraden, ligesom væksten kan være forskellig langs kanterne og inde midt i klumperne (Saurel et al. 2013). Det betyder, at det ofte er nødvendigt at indsamle et stort antal replikater (>10 prøver) for at kunne estimere tætheden af blåmuslinger i de forskellige områder af muslingebanken og eventuel beregne den samlede biomasse af banken.

Størrelsesfordelingen af blåmuslingerne

En opgørelse over størrelsesfordelingen af blåmuslingerne giver information om sammensætning i forhold til alder, størrelse og antal af hver størrelse. Antallet af kohorter (aldersgrupper) i blåmuslingebanken er vigtig i forhold til at undersøge om den udlagte blåmuslingebank udvikler sig til et biogent rev (tre kohorter jf. den danske definition), men er også interessant i forhold til om der sker en rekruttering af nye muslinger, da tre kohorter forbedrer muslingebankens overlevelseschancer (Johansson et al. subm.). Prøver udtages tilfældigt over muslingebanken, eller alternativt i midten og kanten af muslinge klumper for at undersøge, om der er forskel i størrelsesfordelingen alt efter positionen i muslingebanken. Der kan foretages forskellige morfometriske målinger (f.eks. skallængde, skalbredde, skalhøjde) af de udtagne blåmuslinger, men det er udelukkende længden, der bruges til at bestemme antal kohorter.

Målingerne kan foretages enten ombord på båden eller på land og foretages med skydelære eller lineal, hvor skallængden noteres. Vi anbefaler, at mindst 30 muslinger og helst 100 muslinger pr. prøve måles. De målte muslinger kan eventuelt lægges tilbage på muslingebanken igen. For hver station samles alle længdemålinger i et længdefrekvensdiagram (skallængden angives på x-aksen og frekvensen (%) på y-aksen) og middellængde (\pm standardafvigelsen) beregnes for hver station. Hvis der ikke er forskelle i størrelsesfordeling mellem stationerne/stationstypen (f.eks. kant, midt eller klump) rapporteres et fælles størrelsesfordelingsdiagram og en fælles middellængde. Hvis der er signifikante forskelle på middellængden, rapporteres hvert stationstype middellængde og evt. størrelsesfordeling. Vi anbefaler, at der foretages årlig overvågning for at kunne følge forskellige kohorters vækst og overlevelse.

Overlevelse og tilvækst

Blåmuslingernes væksthastighed giver en indikation af om muslingerne trives og om banken er i god vækst. Ingen eller meget lave vækstrater kan skyldes flere ting f.eks. forkert lokalitet eller udlægningsdesign. Hvis der udlægges blåmuslingeyngel bestående af kun én kohorte, er det let at følge kohortens tilvækst og overlevelse over tid. Prøverne fra størrelsesfordeling kan med fordel anvendes her (helst 100 muslinger pr. replikater). Væksthastighed opgøres som mm/år, mens overlevelsesraten opgøres som ændringer i muslingedensiteten (antal/m²) over tid.

Larvefrigivelse og rekruttering

Supplerende undersøgelser kan omfatte observationer af muslingelarver i løbet af gydesæsonen (primært marts-april) omkring den etablerede muslingebanke, som en indikation på rekruttering til muslingebanken. Der kan anvendes forskellige metoder til monitorering af muslingelarver:

1) placering af yngelsamlere i vandsøjlen over muslingebanken, hvilket beskytter mod prædatorer. En undersøgelse fra Limfjorden viste, at selvom der blev observeret muslingelarver i vandet over vilde muslingebanke, var det kun få larver der bundslog på yngelsamlere placeret cirka 50 cm over muslingebankerne (Saurel et al. 2021).

2) Indsamling af vandprøver med 40 µm planktonnet over og omkring den etablerede blåmuslingebanke kan bruges til at beregne antallet af blåmuslingelarver i vandsøjlen. Metoden er dog tidskrævende, og det kan være svært at adskille blåmuslingelarverne fra andre muslingelarver.

3) eDNA analyser kan anvendes til at identificere om den rigtige muslingelarveart er i vandet på et givent tidspunkt.

Uanset indsamlingsmetode, er det ikke nødvendigvis sikkert at muslingelarverne indsamlet i vandprøverne vil bundslå sig på den etablerede blåmuslingebanke, hvorfor vi i stedet anbefaler at indsamle prøver fra blåmuslingebanken til bestemmelse af størrelsesfordelingen (se ovenfor). Ud fra størrelsesfordelingen kan det relativt let identificeres om der har været efterfølgende rekruttering på den etablerede muslingebanke. Disse kan eventuelt suppleres med genetisk analyse af de ny-rekrutterede og udlagte blåmuslinger, hvis de udlagte blåmuslinger har en væsentlig anden genetisk sammensætning, hvilket sandsynligvis ikke er tilfældet, hvis de udlagte blåmuslinger er indsamlet i lokalområdet.

Miljøparametre

Muslingebankernes vækst og stabilitet er relateret til muslingernes fysiologi, interaktionerne muslingerne imellem og muslingebankens interaktioner med det omkringliggende miljø. Der er således en række miljøfaktorer f.eks. vandets temperatur og iltkoncentration, der har indvirkning på muslingernes overlevelse. Inkludering af miljøparametre i et monitoringsprogram kan således være med til at vurdere stabiliteten af den etablerede muslingebanke eller forklare, hvorfor dele af muslingebanken klarer sig bedre eller dårligere end andre. I de efterfølgende afsnit gennemgås forskellige metoder, der kan anvendes til at indsamle data for nogle af de mest relevante miljøparametre i forhold til muslingernes vækst og overlevelse.

Vandprøver

Indsamling af vandprøver til bestemmelse af f.eks. temperatur, salinitet og fytoplankoncentration udføres oftest med en vandhenter (f.eks. Niskin, Ruttner eller Van Dorn), der giver mulighed for at indsamle vandprøver i de ønskede dybder. Muslingebanke er placeret ved bunden, hvorfor der skal indsamles vandprøver 0,5-1 m over bunden (Muschenheim og Newell, 1992), mens der også kan tages prøver i andre vanddybder alt efter formålet med prøvetagningen. Vær opmærksom på ikke at forstyrre sedimentet ved prøvetagningen, og dermed få frigivet materiale fra bunden. Der skal tages tilstrækkelige med replikater, hvilket typisk er minimum tre hvert sted (f.eks. dybde, station, område m.m.).

Flere af miljøparametrene (temperatur, ilt, saltholdighed og fytoplankton) kan også indsamles/måles med sensorer. Monitoreringen kan foregå enten ved, at 1) et eller flere instrumenter alt efter sensor-

konfigurationen sænkes langsomt ned gennem vandet, herved opnås en dybdeprofil, der viser ændringerne ned gennem vandet eller 2) sensorer med dataloggere indbygget placeres stationært i en bestemt dybde på en given lokalitet i en tidsperiode. Ved monitoring over længere tid kan der være behov for strømforsyning eller overfladekontakt ved trådløs dataoverførelse samt fortøjning. Ofte vil det også kræve regelmæssig servicering og eventuel afrensning af begroning af instrumenterne.

Hydrodynamiske forhold

De hydrodynamiske forhold har stor indvirkning på blåmuslingebankernes vækst og stabilitet og kan karakteriseres ved flere metoder. Den simpleste metode er at bruge et drivanker med neutral opdrift placeret i en fast afstand fra overfladen og med en lille bøje påsat. Start- og slutpositionerne registreres, hvorefter retning og strømhastighed kan beregnes. Der kan også anvendes strømmålere, der kan registrere strømhastighed og retning over tid i en bestemt dybde. Mere komplekse og dyrere instrumenter som f.eks. akustiske doppler-strømp profiler (ADCP) kan måle strømhastigheder og -retninger samtidig i flere dybder, hvilket gør det muligt at analysere f.eks. turbulens i vandsøjlen. Billigere og simple måleinstrumenter, som f.eks. tilt-current-meters, kan benyttes til kontinuerligt at måle den bundnære strømhastighed og retning.

Sedimenttildækning

Tildækning af muslinger samt højt indhold af organisk materiale i sedimentet (Cottrell et al. 2016; Hutchison et al. 2016) kan påvirke muslingebankernes vækst og overlevelse negativt, og især fint sediment som leder til tildækning af muslingebanker kan forårsage øget dødelighed (Hutchison et al., 2016). Sedimentets organiske indhold (glødetabet) og kornstørrelse kan bestemmes i laboratoriet ved at indsamle sedimentprøver med f.eks. kerner, haps, greb som indsamles fra båd eller med dykker, mens sedimentationshastigheder bestemmes med sedimentfælder. Sedimentationshastigheder er nyttige i forhold til at forstå sedimenttransportprocesser, men er tidskrævende og besværlige at indsamle, og målingerne har tendens til at variere med årstid og vejr. Derudover har resuspension ofte en større betydning for tildækningen af muslingebanker, men er vanskelig at måle. Vi anbefaler derfor i stedet at anvende visuel observation af muslingebanker med enten video-slæde, dykkertransekt, undervandrobot eller drop-down kamera, hvilket giver kvalitativ viden om graden af tildækningen hen over muslingebanken, som i øvrigt ofte varierer (Figur 9). Tildækningen kan angives som procent i et givet område og opgøres som enten delvist eller næsten tildækket, og heterogenitet af tildækningen kan opgøres. Andre observationer kan med fordel inkluderes f.eks. hvide pletter (liglagen), som dannes af svovlbakterier (*Beggiatoa* spp.) over døde blåmuslinger (Figur 9).



Figur 9. Udlagte blåmuslingebanker i Limfjorden. **Top venstre:** Kanten af en muslingebanke, hvor tildækning ofte observeres. **Top højre:** Delvis tildækkede blåmuslinger, hvor ånderørene er over overfladen, men store dele af blåmuslingerne er tildækket. **Bund venstre:** Næsten fuldstændig tildækning af blåmuslingerne og hvor kun kanten af muslingerne er blottede. **Bund højre:** Døde blåmuslinger med svovlbakterier (liglagen) ovenpå sedimentet (Foto Daniel Taylor).

Monitering af økosystemtjenester leveret af muslingebanken

Etablering af blåmuslingebanker er motiveret af potentialet for at skabe et biogent rev og dermed opnå tilhørende økosystemfunktioner og -tjenester som forøget biodiversitet og understøttelse af stabile marine fødekæder, forbedret vandkvaliteten i form af klarere vand til gavn for bentisk vegetation, binding af næringsstoffer eller etablering af korridorer for spredning af organismer mellem områder. For at kunne dokumentere disse økosystemtjenester skal der etableres et monitoringsprogram, der kan tilvejebringe dokumentation for de økosystemtjenester, som leveres af muslingebanken. Monitoringsprogrammet skal således tage udgangspunkt i de sted- og artsspecifikke succeskriterier, og mål for det konkrete projekt.

Monitering af biodiversitetseffekter

Etablering af blåmuslingebanker vil have en påvirkning på både dyr, der lever i bunden (infauna) og dyr og alger, som lever på (fastsiddende makroflora og -fauna) eller imellem blåmuslingerne (epifauna og mobil makrofauna). Der anvendes forskellige metoder til at dokumentere effekterne (se tabel 4). For **infauna** kan der indsamles prøver ved hjælp af haps og grabs eller kerner. Variationer

over tid i infauna-sammensætning kan forventes, da sedimentforholdene kan ændre sig. Vi anbefaler, at der også indsamles prøver til at bestemme sedimenttype. Infauna-prøverne bør undersøge i forhold til artsidentifikation samt biomasse- og tørvægtsbestemmelse, så den tidslige variation i artsdiversitet, -densitet og biomasse kan følges. **Epifauna, fastsiddende makrofauna og -flora** kan dokumenteres ved visuel dykkerinspektion, videomonitoring i et mindre område eller ved at indsamling af prøver med f.eks. grab. **Mobil makrofauna** som f.eks. krabber, søstjerner, hummere, havsnegle og fisk kan monitoreres med fastmonterede undervandsvideokameraer, da kameraslæder eller ROV'er ofte skræmmer dyrene væk. De fastmonterede undervandsvideokameraer kan anvendes med eller uden lokkemad og ved at filme i fastsatte tidsperioder f.eks. 2 minutter tre gange dagligt i dagtimerne. Trænet scuba- eller fridykkere kan alternativt benyttes til estimering af artsrigdom og tæthed, men her er der også risiko for, at de mobile dyr skræmmes væk af dykkeren. For krebsdyr (f.eks. hummer og krabber) kan det overvejes at bruge fælder.

eDNA-monitoring kan også bruges til artsidentifikation af både infauna, epifauna, fastsiddende makrofauna og -flora samt de mobile organismer. Uanset hvilken metode, der anvendes, anbefales det, at alle prøver indsamles på samme tid af året, da årstidsvariationer ofte forekommer og bør omfatte monitoring før etableringen af muslingebanken og efter-monitoring.

Vi anbefaler desuden at have særligt fokus på observation af invasive arter, og hvis tilstede, registrering af tæthed- og biomasseudvikling af disse.

Oversigtstabel forskellige delelementer i monitoringsprogram

Monitoringsprogram for dokumentation af stabilitet og tidlig udvikling af etablerede muslingebanker (anbefalede og supplerende)

Anbefalede undersøgelser	Metode	Enhed	Frekvens	Performance kriterie
Dækningsgrad fodaftryksareal og arealet af blåmuslingebanker	Kamera	%	Før-etablering.	Stabile eller stigende areal/dækningsgrad. Ingen større reduktioner
	Dykker	m ²	Lige efter etablering.	
	Droner, ROV mm.		Opfølgende årlig monitoring.	
	Side scan sonar			
Densiteten af blåmuslinger	Ramme	Kg/m ²	1-3 måneder efter etablering.	Stabile eller stigende tætheder (kg/m ²)
	Grab	Individer/m ²	Opfølgende årlig monitoring.	
Størrelsesfordeling af blåmuslingerne	Ramme	Antal kohorter	1-3 måneder efter etablering.	Over tid min. 2 kohorter/forekomst af mindre muslinger.
	Grab	Middellængde (cm)	Opfølgende årlig monitoring.	
Overlevelse og tilvækst	Rammer	Antal/m ²	1-3 måneder efter etablering.	Ingen større reduktioner i antallet/m ² . Tilvækst i skallængde
	Grab	Mm/år	Opfølgende årlig monitoring.	
Supplerende undersøgelser	Metode	Enhed	Frekvens	Performance kriterie
Larvefrigivelse og rekruttering	Yngelsamlere	Larver/m ²	Foråret efter etableringen.	Observationer af bundslåede muslinglarver.
	Vandprøver eDNA	Larver/L	Opfølgende årlig monitoring.	Forekomst af larver i bundvandet.
Supplerende miljøparametre	Metode	Parameter	Frekvens	Performance kriterie
Vandprøver	Vandhenter	Temperatur, Chl-a, saltholdighed, ilt	Fast frekvens over året	Indenfor blåmuslingernes toleranceniveauer (se Nielsen et al. 2023).
	Sensorer		Kontinuert i kortere eller længere tidsperioder	
Hydrodynamiske forhold	Drivanker	Strømhastighed, strømretning, turbu- lens	Fast frekvens over året	Indenfor blåmuslingernes toleranceniveauer (se Nielsen et al. 2023).
	Strømmålere ADCP etc.		Kontinuert i tidsperioder	
Sedimenttildækning	Grab, haps, kerne	Glødetab Kornstørrelse	Årligt eller ved behov	Indenfor blåmuslingernes toleranceniveauer (se Nielsen et al. 2023).
	Visuel inspektion vha. dykker video eller kamera	Tildækningsgrad (%)		

Tabel 3. Oversigt over de forskellige parametre, som minimum bør indgå i et monitoringsprogram ved etablering af blåmuslingebanker samt eventuelle supplerende parametre.

Monitering af økosystemtjenester

Biodiversitet	Metode	Parameter	Frekvens
Infauna	Grab,	Artssammensætning, artsrigdom, biomasse- og tørvægtbestemmelser	Før-etablering.
	Haps eDNA		Lige efter etablering. Opfølgende årlig monitoring.
Epifauna og fastsiddende makrofauna og -flora	Grab, rammeindsamling, visuel inspektion vha. dykker- eller videotransekter.	Artssammensætning, artsrigdom,	Før-etablering.
	eDNA	tætheder	Lige efter etablering. Opfølgende årlig monitoring.
Mobil makrofauna	Fastmonterede videokamera med eller uden madding	Artssammensætning, artsrigdom,	Før-etablering.
	Fælder eDNA	tætheder	Lige efter etablering. Opfølgende årlig monitoring.
Invasive arter	Rammeindsamling, visuel inspektion eller fastmonterede kamera.	Artssammensætning, artsrigdom, tætheder	Før-etablering.
	eDNA		Lige efter etablering. Opfølgende årlig monitoring.

Table 4. Oversigt over forskellige parametre, som kan indgå i et monitoringsprogram til dokumentering af biodiversitets-økosystemtjenester ved etablering af blåmuslingebanker.

Referencer

- Alder A, Jeffs A, Hillman JR. 2020. Considering the use of subadult and juvenile mussels for mussel reef restoration. *Restoration Ecology* 29:1–10.
- Bertolini, C., Geraldi, N.R., Montgomery, W.I., O'Connor, N.E., 2017. Substratum type and conspecific density as drivers of mussel patch formation. *Journal of Sea Research* 121, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2017.01.004>
- Bertolini, C., Cornelissen, B., Capelle, J.J., Van de Koppel, J. and Bouma, T.J. 2019. Putting self-organization to the test: labyrinthine patterns as optimal solution for persistence. *Oikos*. 128 (12), 1805–1815.
- Bertolini, C., Capelle, J.J., ter Veld, J.W.D., van de Koppel, J., Bouma, T.J., 2020. Understanding scales of density-dependence to improve the use of resources in benthic mussel aquaculture. *Aquaculture* 528, 735477. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735477>
- Capelle, J.J., Wijsman, J.W.M., Schellekens, T., van Stralen, M.R., Herman, P.M.J., Smaal, A.C., 2014. Spatial organisation and biomass development after relaying of mussel seed. *J. Sea Res.* 85, 395–403. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2013.07.011>.
- Capelle, J.J., Scheiberlich, G., Wijsman, J.W.M., Smaal, A.C., 2016a. The role of shore crabs and mussel density in mussel losses at a commercial intertidal mussel plot after seeding. *Aquaculture. International*. 24, 1459–1472. <https://doi.org/10.1007/s10499-016-0005-1>.
- Capelle, J.J., Wijsman, J.W.M.M., Van Stralen, M.R., Herman, P.M.J.J., Smaal, A.C., 2016b. Effect of seeding density on biomass production in mussel bottom culture. *Journal of Sea Research*. 110, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2016.02.001>.
- Commito, J.A., Rusignuolo, B.R., 2000. Structural complexity in mussel beds: the fractal geometry of surface topography. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 255, 133–152.
- Commito, J. A., Commito, A. E., Platt, R. V., Grupe, B. M., Piniak, W. E. D., Gownaris, N. J., Reeves, K. A., & Vissicelli, A. M. (2014). Recruitment facilitation and spatial pattern formation in soft-bottom mussel beds. *Ecosphere*, 5, 1–26.
- Commito, J.A., Gownaris, N.J., Haulsee, D.E., Coleman, S.E., Beal, B.F., 2016. Separation anxiety: mussels self-organize into similar power-law clusters regardless of predation threat cues. *Marine Ecology Progress Series* 547, 107–119. <https://doi.org/10.3354/meps11642>
- Cottrell RS, Black KD, Hutchison ZL, Last KS. 2016. The Influence of Organic Material and Temperature on the Burial Tolerance of the Blue Mussel, *Mytilus edulis*: Considerations for the Management of Marine Aggregate Dredging. *PLoS ONE* 11(1): e0147534. doi:10.1371/journal.pone.0147534.
- Crawford, T.W., Commito, J.A., Borowik, A.M. 2006. Fractal characterization of *Mytilus edulis* L. spatial structure in intertidal landscapes using GIS methods. *Landscape Ecology* 21, 1033–1044.
- Dahl K and Petersen JK. 2018. Definition af biogene rev. Miljøstyrelsen, Miljøprojekt nr. 1992, 978-87-7175-612-8, 26 pp.
- de Jager, M.,Weissing, F.J., Herman, P.M.J., Nolet, B.A., Van De Koppel, J., 2011. Lévy walks evolve through interaction between movement and environmental complexity. *Science* 332, 1551–1553.
- de Paoli, H., van de Koppel, J., van der Zee, E., Kangeri, A., van Belzen, J., Holthuijsen, S., et al. (2015). Processes limiting mussel bed restoration in the Wadden-Sea. *J. Sea Res.* 103, 42–49. doi: 10.1016/j.seares.2015.05.008
- de Paoli H, van der Heide T, van den Berg A, Silliman BR, Herman PM, van de Koppel J (2017) Behavioral self-organization underlies the resilience of a coastal ecosystem. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114:8035–8040. <https://doi.org/10.1073/pnas.1619203114>
- Dolmer, P., Christensen, H., Hansen, B., Vismann, B., 2012. Area-intensive bottom culture of blue mussels *Mytilus edulis* in a micro-tidal estuary. *Aquatic Environmental Interactions*. 3, 81–91. <https://doi.org/10.3354/aei00053>.
- Espriella, M.C., Lecours, V., Camp, E.V., Andrew Lassiter, H., Wilkinson, B., Frederick, P.C., Pittman, S.J., 2023. Drone lidar-derived surface complexity metrics as indicators of intertidal oyster reef condition. *Ecological Indicators* 150, 110190. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110190>
- Field, I.A., 1922. Biology and economic value of the sea mussel *Mytilus edulis*. *Bulletin of the United States Bureau of Fisheries*, Washington 38, 127–259.

- Fraschetti S, McOwen C, Papa L, Papadopoulou N, Bilan M, Boström C, Capdevila P, Carreiro-Silva M, Carugati L, Cebrian E, Coll M, Dailianis T, Danovaro R, De Leo F, Fiorentino D, Gagnon K, Gambi C, Garrahou J, Gerovasileiou V, Hereu B, Kipson S, Kotta J, Ledoux J-B, Linares C, Martin J, Medrano A, Montero-Serra I, Morato T, Pusceddu A, Sevastou K, Smith CJ, Verdura J and Guarnieri G. 2021. Where Is More Important Than How in Coastal and Marine Ecosystems Restoration. *Frontiers in Marine Science*. 8:626843. doi: 10.3389/fmars.2021.626843
- Gascoigne, J.C., Beadman, H.A., Saurel, C., Kaiser, M.J., 2005. Density dependence, spatial scale and patterning in sessile biota. *Oecologia* 145, 371–381. <https://doi.org/10.1007/s00442-005->
- Hutchison, Z.L., Hendrick, V.J., Burrows, M.T., Wilson, B., Last, K.S., 2016. Buried Alive: The Behavioural Response of the Mussels, *Modiolus modiolus* and *Mytilus edulis* to Sudden Burial by Sediment. *PLOS ONE* 11, e0151471. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151471>
- Kaae, B.C., Olafsson, A.S., Draux, H., 2018. Blåt friluftsliv i Danmark. IGN Rapport. Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet, 174 s.
- Kamermans, P., Brummelhuis, E., Smaal, A.C., 2002. Use of spat collectors to enhance supply of seed for bottom culture of blue mussels (*Mytilus edulis*) in The Netherlands. *World Aquaculture*. 33, 12–15.
- Kamermans, P., Galley, T., Boudry, P., Fuentes, J., McCombie, H., Batista, F., Blanco, A., Dominguez, L., Cornette, F., Pincot, L. 2013. Blue mussel hatchery technology in Europe. In *Advances in aquaculture hatchery technology*. Elsevier, New York, pp 339–373
- Kristensen, P. S. and Lassen, H. 1997. The production of relaid blue mussels (*Mytilus edulis* L.) in a Danish fjord. – *ICES Journal of Marine Science*, 54: 854–865.
- Liu, QX., Herman, P., Mooij, W. et al. 2014. Pattern formation at multiple spatial scales drives the resilience of mussel bed ecosystems. *Nature Communications*, 5, 5234, <https://doi.org/10.1038/ncomms6234>
- Maar, M., Larsen, J., Saurel, C., Mohn, C., Murawski, J., Petersen, J.K., 2021. Mussel transplantation as a tool to mitigate hypoxia in eutrophic areas. *Hydrobiologia* 848, 1553–1573. <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04545-6>
- Murray, L.G., Seed, R., Jones, T., 2007. Predicting the impacts of *Carcinus maenas* predation on cultivated *Mytilus edulis* beds. *J. Shellfish Res.* 26, 1089–1098.
- Muschenheim, D., Newell, C., 1992. Utilization of seston flux over a mussel bed. *Marine Ecology Progress Series* 85, 131–136. <https://doi.org/10.3354/meps085131>
- Nielsen, P., Taylor D., Banke, T.L., Saurel, C., Holbacj, A.M., Petersen J.K., 2023. Vejledning for udpegning af områder egnet til etablering af blåmuslingebanker. Videnskabelig rapport fra Nationalt Center for Marin Naturgenopretning.
- Okamura, B. 1986. Group living and the effects of spatial position in aggregations of *Mytilus edulis*. *Oecologia*. 69:341-347.
- O'Neill, S. M., Sutterlin, A. M., & Aggett, D. (1983). The effects of size-selective feeding by starfish (*Asterias vulgaris*) on the production of mussels (*Mytilus edulis*) cultured on nets. *Aquaculture*, 35, 211–220.
- Petersen, J.K., Flensborg, L.C., Dahl, K., Stæhr, P.A.U., Flindt, M., Jørgensen, T.B. (2024). Begreber i relation til marin naturgenopretning (2. reviderede udgave). Videnskabelig rapport fra Nationalt Center for Marin Naturgenopretning. https://marinnatur.dk/media/72602/begreber-i-relation-til-marin-naturgenopretning_2_udgave.pdf
- Pringle, J.D., 1984. Efficiency Estimates for Various Quadrat Sizes Used in Benthic Sampling. *Canadian J. Fish. Aquat. Sci.* 41, 1485–1489. <https://doi.org/10.1139/f84-182>
- Sas, H., Deden, B., Kamermans, P., zu Ermgassen, P. S. E., Pogoda, B., Preston, J., Helmer, L., Holbrook, Z., Arzul, I., van der Have, T., Villalba, A., Colsohl, B., Lown, A., Merk, V., Zwerschke, N., & Reuchlin, E. (2020). *Bonamia* infection in native oysters (*Ostrea edulis*) in relation to European restoration projects. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*, 30(11), 2150-2162. <https://doi.org/10.1002/aqc.3430>
- Sas H, van Duren L, Herman P, van der Have T, Kamermans P, Bos O, Kingma E, Bouma T and Kardinaal E. 2023. Reef-building species and biogenic reef enhancement in the Dutch North Sea: Background documents. <https://edepot.wur.nl/633785>

- Saurel, C., Petersen, J. K., Wiles, P.J., & Kaiser, M.J. 2013. Turbulent mixing limits mussel feeding: direct estimates of feeding rate and vertical diffusivity. *Marine Ecology Progress Series*, 485, 105-121. <https://doi.org/10.3354/meps10309>
- Saurel, C., Andersen, K. L., Barreau, P. D. A., Maar, M., Pastor, A., Larsen, J., Mohn, C., Murawski, J., She, J., & Petersen, J. K. (2021). New tools to assess the environmental effects of mussel dredging. DTU Aqua. DTU Aqua-rapport No. 390-2021 https://www.aqua.dtu.dk/english/-/media/instituttet/aqua/publikationer/rapporter-352-400/390-2021_new-tools-to-assess-the-environmental-effects-of-mussel-dredging.pdf
- Saurel, C., Ng, C., Barreau, P., Connellan, I., Hannon, C., Hughes, A., & Nielsen, P. 2022. Hatchery protocols for production of blue mussel seeds. AquaVitae Consortium. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6576427>
- Schotanus, J., Capelle, J.J., Pree, E., Fivash, G.S., Van De Koppel, J., Bouma, T.J., 2020. Restoring mussel beds in highly dynamic environments by lowering environmental stressors. *Restoration Ecology* 28 (5), 1124–1134. <https://doi.org/10.1111/rec.13168>.
- Spencer B.E. 2002. Mussel Cultivation. In *Molluscan Shellfish Farming*, B.E. Spencer (Ed.). <https://doi.org/10.1002/9780470995709.ch7>
- Svane, I. and Ompi, M., 1993. Patch dynamics in beds of the blue mussel *Mytilus edulis* L.: effects of site, patch size, and position within a patch. *Ophelia* 37, 187–202.
- Temmink RJ, Fivash GS, Govers LL, Nauta J, Marin-Diaz B, Cruijisen PM, Didderen K, Penning E, Olf H, Heu-sinkveld JH (2022) Initiating and upscaling mussel reef establishment with life cycle informed restoration: successes and future challenges. *Ecological Engineering* 175:106496. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106496>
- Thomasberger, A., Nielsen, M.M., 2023. UAV-Based Subsurface Data Collection Using a Low-Tech Ground-Truthing Payload System Enhances Shallow-Water Monitoring. *Drones* 7, 647. <https://doi.org/10.3390/drones7110647>
- van de Koppel J, M Rietkerk, N Dankers and Herman PMJ. 2005. Scale dependent feedback and regular spatial patterns in young mussel beds. *American Naturalist*, 165:E66-E77.
- van de Koppel J., Gascoigne J.C., Theraulaz G., Rietkerk M., Mooij W.M., and Herman P.M.J. 2008 Experimental evidence for spatial self-organization and its emergent effects in mussel bed ecosystems. *Science* 322, 739–742. doi: 10.1126/science.1163952
- van de Koppel J., Bouma T.J. and Herman P.M.J. 2012. The influence of local- and landscape-scale processes on spatial self-organization in estuarine ecosystems. *Journal of Experimental Biology*, 215 (6): 962–967. doi: <https://doi.org/10.1242/jeb.060467>
- van den Bogaart LA, Schotanus J, Capelle JJ, Bouma TJ (2023a) Comparing traditional vs. biodegradable seed mussel collectors (SMCs) for seed settlement, seed density, and seed growth: effect of deployment depth and location. *Aquacultural Engineering*. 102:102344. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2023.102344>
- van den Bogaart LA, Schotanus J., Capelle J.J. and Bouma T.J. 2023b. Increasing mussel transplantation success by initiating self-facilitating feedback mechanisms. *Ecological Engineering*, 195, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107062>.
- van den Bogaart LA Capelle J.J., Schotanus J. and Bouma T.J. 2024. Exploring the impact of spatial patterns on restoration efforts: promoting self-facilitating feedback mechanisms with an innovative biodegradable seed mussel collector. *Restoration Ecology*, 1-13, doi: 10.1111/rec.14095.

Center for Marin Naturgenopretning ([Marin natur - Center for Marin Naturgenopretning](#)), er et samarbejde mellem Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience, DTU Aqua Institut for Akvatiske Ressourcer, Syddansk Universitet, Biologisk Institut, og Limfjordsrådet.



Centeret er finansieret af Miljøministeriet og Velux Fonden.



Miljøministeriet

VELUX FONDEN



Centerets hovedformål er at fremme en vidensbaseret implementering af marin naturgenopretning, med henblik på at styrke marine økosystemers modstandsdygtighed, økologiske balance og en lang række økosystem tjenester i danske farvande.