



Beskrivelser af marine virkemidler

Maar, Marie; Filippelli, Raphael; Hasler, Berit; Holbach, Andreas Michael; Petersen, Jens Kjerulf; Petersen, Lars Kjerulf; Saurel, Camille; Taylor, Daniel; Termansen, Mette

Published in:

Marine virkemidler: Beskrivelse af virkemidlernes effekter og status for vidensgrundlag

Publication date:

2020

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Maar, M., Filippelli, R., Hasler, B., Holbach, A. M., Petersen, J. K., Petersen, L. K., Saurel, C., Taylor, D., & Termansen, M. (2020). Beskrivelser af marine virkemidler. In A. Bruhn (Ed.), *Marine virkemidler: Beskrivelse af virkemidlernes effekter og status for vidensgrundlag* (pp. 14-34). Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©.

General rights

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

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

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

3 Beskrivelser af marine virkemidler

3.1 Muslingeopdræt

Marie Maar¹, Raphael Filippelli², Berit Hasler^{2,3}, Andreas Holbach¹, Jens Kjerulf Petersen⁴, Lars Kjerulf Petersen², Camille Saurel⁴, Daniel Taylor⁴, Mette Termansen⁵ og Karen Timmermann¹

¹ Aarhus Universitet, Institut for Bioscience

² Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab

³ Center for Cirkulær Bioøkonomi, Aarhus Universitet

⁴ DTU Aqua, Dansk Skaldyrcenter

⁵ Københavns Universitet, Institut for Fødevarer og ressourceøkonomi

Kvalitetssikring: Dorte Krause-Jensen (AU), Pernille Nielsen (DTU Aqua)

Projekternes finansiering og gennemførelse

EU BONUS programmet og Innovationsfonden har finansieret det 3-årige projekt BONUS OPTIMUS (Optimization of mussel mitigation cultures for fish feed), og Innovationsfonden har derudover finansieret det 4-årige projekt MumiPro (Mussel farming, mitigation and protein source for organic husbandry), begge med Jens Kjerulf Petersen fra Dansk Skaldyrcenter/DTU Aqua som projektleder.

Aarhus Universitet har via projekterne bidraget med viden og syntese omkring sideeffekter, rumlig modellering af virkemiddelpotentiale og udvikling af GIS-værktøj til at understøtte den rumlige marine planlægning (Institut for Bioscience) samt social accept og økonomiske beregninger omkring opdræt af muslinger (Institut for Miljøvidenskab).

DTU Aqua/Dansk Skaldyrcenter har bidraget med ny viden og syntese omkring optimering af muslingeproduktion og N+P-fjernelse ved høst af muslinger, rumlig modellering af virkemiddel potentiale, anvendelse af muslinger, sideeffekter og administrationsmodeller.

Københavns Universitet har bidraget til de økonomiske beregninger.

Begge projekter inkluderer projektpartnere fra andre forskningsinstitutioner og erhvervsvirksomheder. Erhvervspartnerne fordeler sig i hele værdikæden fra dyrkning af muslinger, over forarbejdning til anvendelse af muslingemel som foder til dyr. Erhvervspartnerne har bidraget med data (priser for materialer og estimater for tidsforbrug) til beregning af virkemidlets økonomiske effektivitet, men har ikke været involveret i selve videnssyntesen eller udarbejdelsen af dette kapitel.

Funktion og anvendelse

Definition af virkemidlet og dets funktion

Princippet i muslingeopdræt som virkemiddel er, at næringsstoffer tilført et vandområde indbygges i muslingerne gennem deres fødeoptagelse og fjernes fra det marine miljø, når muslingebiomassen høstes (Petersen m.fl. 2016, 2018). Blåmuslingerne dyrkes på flydende strukturer placeret i et vandområde, hvorpå der er monteret yngelfang. Blåmuslingelarverne sætter sig på

yngelfanget og vokser indtil høsten. Da kun få promiller af den rekrutterede yngel ellers ville blive rekrutteret til den naturlige bestand, er der tale om ny produktion og dermed reel fjernelse af næringsstoffer ved høst. Ved muslingeopdræt i et vandområde optages og bindes en del af vandfasens partikelbundne næringsstoffer i muslingerne, og næringsstofoptaget sker uafhængigt af, hvilken kilde næringsstofferne kommer fra. Muslingeopdræt kan derfor ikke betragtes som et filter målrettet specifikke kilder, men som en ikke-selektiv metode til fjernelse af næringsstoffer fra vandmassen i et område omkring muslinge anlægget (Timmermann m.fl. 2015). Muslingeopdræt målrettet næringsstoffjernelse (muslingeopdræt som virkemiddel) er optimeret, så biomassen pr. areal bliver størst mulig, mens arbejdsindsatsen er søgt nedbragt så meget som muligt.

Virkemidlets effektivitet målt ift. kvælstof- og fosforfjernelse afhænger af lokale fysiske og miljømæssige forhold, som påvirker muslinge produktionen. De parametre, som har størst betydning for den arealspecifikke produktion, er: Vanddybde, fødekonzentration, strømforhold, temperatur, saltholdighed, prædation og rekruttering (Timmermann m.fl. 2015). Opdræt virker primært i områder med en naturlig bestand af muslinger, der leverer muslingelarver til rekrutteringen, men larver fra nærliggende vandområder kan også lede til rekruttering på yngelfang i vandområder uden naturlige bestande. I øvrigt er blåmuslinger alment forekommende i de fleste vandområder.

Der findes forskellige former for dyrkningsteknikker. Som udgangspunkt er der anvendt 150-200 m langliner holdt oppe af små (18 l) bøjer og påmonteret 5 cm brede nylonbændler, der er placeret på langlinen i kontinuerte loops af 2-3 m længde og med en afstand på 30 eller 60 cm mellem hvert loop. En afstand på 30 cm giver en større tæthed af loops og dermed en højere produktion. Fordelen ved denne metode er, at langlinerne kan sænkes under vandoverfladen, hvorved der kan produceres, uanset om der kommer isdække eller ej, og dermed åbnes der for en potentielt lidt længere produktionssæson end for de andre systemer. Ulempen er, at produktionspotentialet er lavere, da der er et mindre totalt overfladeareal i langlinesystemer, som muslingerne kan fæstne sig på. En variant heraf er at bruge meget store bøjer (XPlora, 200 l), der holder to parallelle langliner, hvorpå der kan udhænges udstyr, der kan bære en lidt større biomasse, f.eks. stigesystemer, der ligeledes hænger i loops af 2-3 m. XPlora-systemet kan ikke undersøges ved isdække. Endelig kan der bruges 100-130 m lange rør, hvorpå der monteres net af 2-3 m højde med variabel maskestørrelse. Rørene kan p.t. heller ikke undersøges kontrolleret og er derfor som XPlora-systemet afhængige af, at der høstes inden evt. isdække. Uanset dyrkningsmetode sættes yngelfang ud i maj-juni, og der kan høstes fra november-december samme år til marts-maj året efter. Til høst af de forskellige systemer bruges forskellige mere eller mindre maskinelle metoder, hvor rør+net systemerne er de mest mekaniserede og derfor har størst effektivitet.

Der er sket en forøgelse af muslinge produktionen i langlinesystemerne siden 2010. I de første forsøg med muslingeopdræt som virkemiddel i Skive Fjord blev der produceret op til 1.100 t blåmuslinger på et standardanlæg (60 cm loop afstand) på 18,8 ha ved høst i maj året efter udsætning af yngelfang eller ca. 900 t pr anlæg ved høst inden jul samme år som udsætning (Petersen m.fl. 2014). I nylige forsøg ligeledes i Limfjorden er produktionen øget med op til max 1.800 t pr anlæg (30 cm loop afstand) ved høst før jul og lidt mindre ved høst i marts året efter (Taylor m.fl. 2019). Det vurderes, at produktionen ikke kan øges betydeligt mere i langlinesystemer. Ved de første forsøg med rør+net i Horsens Fjord blev det vurderet, at der kunne produceres op til 2.500 t pr standardanlæg

(Plessner m.fl. 2015). Disse data er dog forbundet med betydelige usikkerheder, da der ikke blev gennemført forsøg i fuld skala, og de nævnte maksimale værdier baserer sig på ekstrapoleringer. I nylige forsøg i Limfjorden blev der dokumenteret en produktionseffektivitet på op til >4.000 t blåmuslinger for et enkelt standardanlæg (Taylor m.fl. 2019). Der er dog nogen usikkerhed om dette estimat, fordi variationen mellem anlæg og mellem forskellige maskestørrelse af nettene gav estimater på 2.100-4.500 t pr anlæg (18,8 ha). Det vurderes, at der med metoden er muligheder for betydelig produktionsoptimering, så produktionsresultater omkring 3.500 t pr anlæg er realistiske.

Uden for Limfjorden er der primært lavet forsøg på test-liner undtagen i Horsens Fjord, hvor der er gennemført nye forsøg med rør+net. I Horsens Fjord blev der produceret 730 t blåmuslinger for et anlæg på 11.3 ha med høst før jul, og før antallet af edderfugle blev for stort. I en række andre østjyske fjorde kan produktionspotentialer for langlinesystemer estimeres med udgangspunkt i forsøg med testliner til 1.200-1.600 t pr anlæg (18,8 ha), og de er dermed i princippet på niveau med anlæg i Limfjorden om end med en anelse lavere høstudbytte.

N- og P-effekt

N-effekt

Langlinesystemer (30 cm loop afstand, 2-3 m dybde) kan fjerne 0,7-1,4 t N ha⁻¹, og rør+net systemer kan fjerne 1,6-3,0 t N ha⁻¹ (Taylor m.fl. 2019). Beregningerne er for standardanlæg (18,8 ha) med forskellige høsttidspunkter og er kun målt på anlæg i Limfjorden. Der kan forekomme tæthedsafhængige begrænsninger i væksten, der kan reducere den arealspecifikke kvælstoffjernelse, hvis anlæggene gøres større, eller hvis flere anlæg placeres tæt på hinanden. Målinger på anlæg uden for Limfjorden tyder på en lidt mindre arealspecifik N-effekt (se dog også modelberegninger i afsnit 3.1.3).

P-effekt

Langlinesystemer (30 cm loop afstand, 2-3 m dybde) kan fjerne 0,06-0,09 t P ha⁻¹, og rør+net systemer kan fjerne 0,10-0,17 t P ha⁻¹ (Taylor m.fl. 2019). Beregningerne er for standard anlæg (18,8 ha) med forskellige høsttidspunkter og er kun målt på anlæg i Limfjorden. Der kan forekomme tæthedsafhængige begrænsninger i væksten, der kan reducere den arealspecifikke fosforfjernelse, hvis anlæggene gøres større, eller hvis flere anlæg placeres tæt på hinanden. Målinger på anlæg uden for Limfjorden tyder på en lidt mindre arealspecifik P-effekt (se dog også modelberegninger i afsnit 3.1.3).

Effekt i tid og rum.

Muslingeopdræt har en umiddelbar effekt på miljøet, idet muslingerne filtrerer vandet for partikler og dermed forbedrer sigt dybden samtidig med, at der sker en løbende binding af næringsstoffer i muslingevævet og dermed fjernelse fra vandsøjlen (Petersen m.fl. 2018, Timmermann m.fl. 2019). Virkemidlet fungerer bedst om sommeren og om efteråret, fra muslingelarverne fæstner på yngelfang i maj-juni, til de største væksthastigheder opnås, mens vandtemperaturerne er optimale for vækst. Muslinger vokser generelt mindre om vinteren og kan endda tabe biomasse pga. respiration. Der kan også være tab af muslinger pga. prædation fra edderfugle, eller hvis opdrætsanlægget ødelægges under en storm eller ved isdække. Muslinger kan evt. høstes efter forårsopblomstringen, hvor muslingerne har genoptaget høje væksthastigheder og biomassen forøges. Virkemidlets effekt i tid afhænger således af opdrætsperiodens længde, som starter med muslingelarvernes nedslag i maj-juni og

slutter med høsten. Høsttidspunktet varierer fra november samme år til marts-april det efterfølgende år. Geografisk er virkemiddeleffekten begrænset til det vandområde, hvor opdrætsanlæggene placeres.

Overlap i forhold til andre virkemidler

Muslingeopdræt kan kombineres med dyrkning af tang, hvor tang kan optage de udskilte næringsstoffer fra muslinger og drage fordel af bedre lysforhold fra muslingefiltration. Muslingeopdræt skal ikke placeres umiddelbart over bentisk vegetation som f.eks. et ålegræsbed, da der kan være en forøget sedimentation som følge af muslingernes biodeposition. Men reetablering af ålegræsbede kan drage fordel af de bedre lysforhold omkring opdrætsanlæg pga. filtration af partikler fra vandet. Opdræt kan foregå i områder med omplantning af muslinger, hvor omplantningen sker uden for selve muslingeopdrætsanlægget (kapitel 3.5).

Sikkerhed på data

Validiteten af data for produktionstørrelse og N-fjernelse i Limfjorden er høj. Data uden for Limfjorden er baseret på ekstrapoleringer, og der er nogen usikkerhed forbundet med præcis bestemmelse af produktionseffektivitet og N-fjernelse, herunder evt. betydning af prædation fra f.eks. edderfugle. Der er ikke umiddelbart behov for yderligere undersøgelser af dyrkningsmetoder m.m., men ved konkret implementering af virkemidlet vurderes der at være et behov for supplerende analyser f.eks. med henblik på placering i de områder uden for Limfjorden, hvor virkemidlet evt. ønskes implementeret samt en løbende monitorering af virkemidlets effekt. Der er ligeledes behov for undersøgelser af mulighederne for at begrænse eller forhindre edderfugles prædation af muslinger på opdrætsanlæg. Datasikkerheden tager ikke højde for opdrætterens erfaring og kapacitet til at opdrætte muslinger og anlæggenes indbyrdes placering.

Tidshorisont for at skaffe data, hvis disse ikke findes

Virkemidlet kan implementeres fra start af 3. generations vandplaner for områder uden edderfugle. Undersøgelser af mulighederne for begrænsning/forhindring af edderfugles prædation kan gennemføres inden for få år.

Forudsætninger og potentiale

Rumlig model for virkemiddelpotentiale

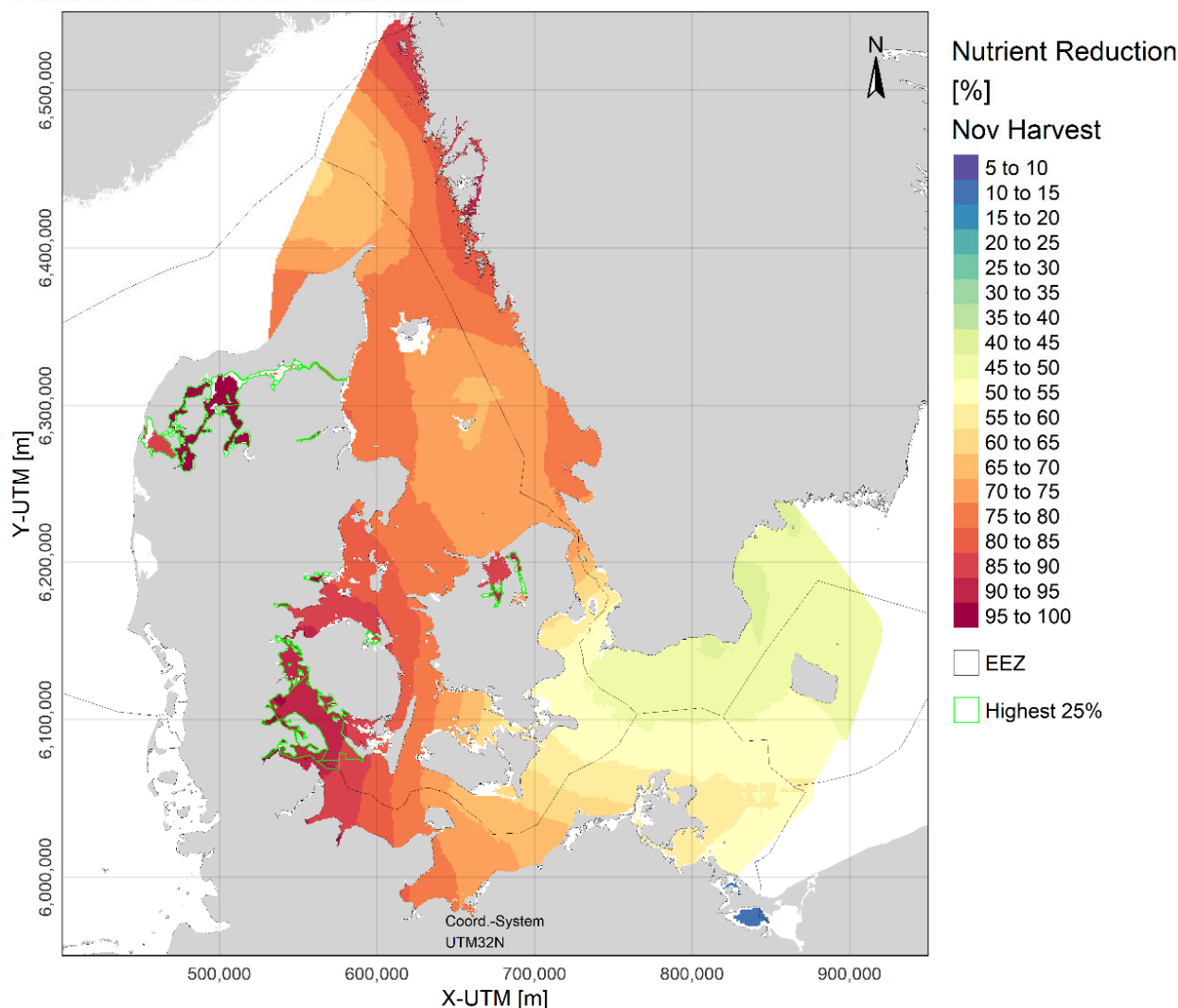
Muslingevækst er afhængig af miljøbetingelser, især temperatur, saltholdighed og klorofylkoncentration, og varierer derfor tidsligt og rumligt (geografisk). Derfor blev en rumlig model udviklet for at beregne den gennemsnitlige potentielle N- og P-fjernelse ved muslingeopdræt i den vestlige del af Østersøen for et standardopdrætsanlæg (18,8 ha) (Holbach m.fl. 2020).

Væksten af individuelle muslinger blev modelleret på baggrund af månedsgennemsnit af målte miljøbetingelser, som blev interpoleret i rum for at kunne dække hele området. Til kalibrering af modellen blev der anvendt resultater fra testliner i Mariager Fjord, Horsens Fjord, Vejle Fjord, Flensborg Fjord og Roskilde Fjord. Modellen dækker tidsrummet fra juli til november, hvorefter det antages, at muslingerne bliver høstet. Endvidere findes der en god relation mellem muslingestørrelse og biomassetæthed på yngelfang, som bruges til at opskalere væksten fra den enkelte musling til biomassen henover hele anlægget og dermed høstpotentialet. Næringsstofindholdet beregnes for hele muslinger, dvs. både muslingevævet, skallen og byssus-trådene. Den modelberegne muslingebiomasse blev omregnet til vådvægt med faktoren 9,68 g

vådvægt/g-tørvægt og derefter til N- og P-indhold ved at antage hhv. 1,4 % N og 0,08 % P af muslingernes vådvægt (Nielsen m.fl. 2016, Taylor m.fl. 2019).

Der blev anvendt et standardmuslinge anlæg i modellen med følgende egenskaber: Langlineanlæg med 2 m loop-længde og en afstand på 30 cm mellem hvert loop. Hele anlægget ($750 \times 250 \text{ m}^2 = 18,8 \text{ ha}$) består af 3 sektioner (à $250 \times 250 \text{ m}^2$), hvor hver sektion indeholder 30 langliner af 200 m længde. Hele modelanlægget indeholder på denne måde 138.857 m yngelfang. Vi antager en vanddybde på minimum 4 m således, at anlægget kan vintersikres ved undersænkning 1 m under overfladen og samtidig være hævet 1 m over bunden. Områder med <4 m dybde inkluderes derfor ikke i modellen. For at gøre modellen uafhængig af anlægstypen og sammenlignelig på tværs af områder, blev den relative næringsstoffjernelse i procent til sidst beregnet ved at normalisere med den maksimale medianværdi, dvs. det højeste potentiale svarer til 100% i Figur 3.1.1.

Relative Nutrient Reduction



Figur 3.1.1. Virkemiddelpotentiale (%) for et 'standard' muslinge anlæg med et areal på 18,8 ha. Kortet viser den relative (%) arealspecifikke N- og P-fjernelse ved høst i november. Grønne polygoner fremhæver de VP2 kystvandsområder, som svarer til de 25% højeste gennemsnitlige virkemiddelpotentialer. Til information vises der også (stiplede linjer) grænser af nationale eksklusive økonomiske zoner (EEZ). Kortet inkluderer ikke tabsprocesser, fødebegrænsning samt anden anvendelse af havet og kan derfor ikke alene anvendes til placering af muslingeopdrætsanlæg eller danne grundlag for en beregning af det totale virkemiddelpotentiale.

Samlet set kan det fra modelberegninger konkluderes, at saltholdigheder >16 psu, temperaturer $\sim 19^{\circ}\text{C}$ og klorofylkoncentrationer på $2-20 \mu\text{g l}^{-1}$ er ideelle for hurtig muslingevækst. Dette medfører, at væksthastighederne i tid varierer mest på grund af sæsonmæssige temperaturændringer. I rum varierer væksten til gengæld mest på grund af lokale saltholdigheder og klorofylkoncentrationer. Det højeste virkemiddelpotentiale for Danmark findes i Limfjorden, Mariager Fjord, Bælthavet (inkl. mange af fjordene) og Isefjord, hvor der er gode fødeforhold og saltholdigheden ikke er begrænsende for vækst (Figur 3.1.1). Potentialet bliver mindre ind mod Østersøen pga. faldende saltholdighed og i de mere åbne vandområder pga. lavere klorofylkoncentrationer. Det skal dog nævnes, at strømhastighed og fortynding af føden inden for opdrætsanlægget ikke er med i modellen. En høj fødetilførsel, og dermed muslingevækst, kan forekomme i områder med lave klorofylkoncentrationer kombineret med en høj strømhastighed. En lav strømhastighed giver derimod en mindre vandudskiftning og forøger fortyndingen af klorofylkoncentrationen inden for anlægget, som kan resultere i fødebegrænsning og lavere vækst af muslinger.

Den geografiske fordeling af virkemiddelpotentialet (0-100 %) i modellen antages at gælde for både langline anlæg og net+rør anlæg, som direkte kan skales til målte værdier for N- og P-fjernelse ved muslingehøst (Tabel 3.1.1). Denne skaleringsfaktor mellem model og målte værdier afhænger af den anvendte teknologi og vil således være mindre for langliner end for net+rør pga. forskelle i produktionskapacitet.

Tabel 3.1.1. Virkemiddeleffekt i form af N- og P-fjernelse for lineopdræt og net+rør-opdræt, overlap med andre virkemidler, om virkemidlet kan times i tid og rum og sikkerhed på effekten. Effekten er inddelt i 5 zoner, se zoneinddeling i Figur 3.1.2. Se forbehold for estimaterne i figur 3.1.2.

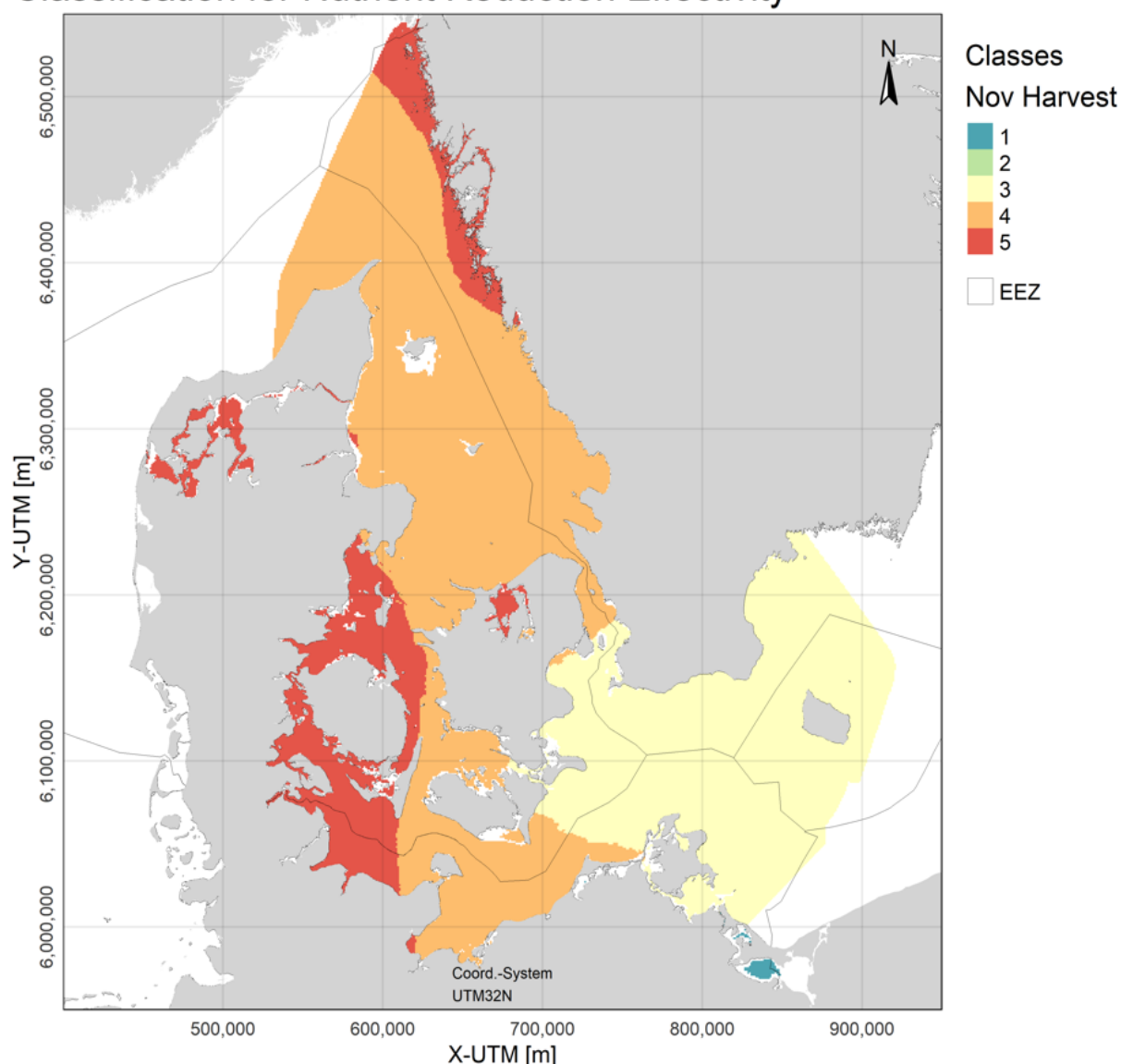
Opdræt af muslinger ¹	N-effekt t N ha ⁻¹	P-effekt t P ha ⁻¹	Overlap	Kan times i tid og rum	Datasikkerhed	Økonomi ²	
						N uden salg Kr. kg N ⁻¹ Budgetøkonomiske/ velfærds-økonomiske priser	P uden salg Kr. kg P ⁻¹ Budgetøkonomiske/ velfærdsøkonomiske priser
Lineopdræt			Ja	I tid nej, i rum ja	***		
Zone 5							
Modeldata	0,5-1,4	0,03-0,08				104/133	1795/2298
Målte data	0,7-1,4	0,06-0,09				94/120	1316/1685
Zone 4 Modeldata	0,4-1,3	0,02-0,07				116/149	2194/2808
Zone 3 Modeldata	0,2-1,0	0,01-0,06				165/211	2821/3611
Zone 1 Modeldata	0,0-0,5	0,00-0,03				395/506	6582/8425
Net+rør opdræt			Ja	I tid nej, i rum ja	**		
Zone 5							
Modeldata	1,0-2,5	0,06-0,15				64/82	1062/1360
Målte data	1,6-3,0	0,10-0,17				48/62	826/1057
Zone 4 Modeldata	0,6-2,3	0,04-0,13				77/98	1312/1679
Zone 3 Modeldata	0,3-1,8	0,02-0,10				106/136	1859/2379
Zone 1 Modeldata	0,0-1,0	0,00-0,05				223/285	4461/5710

¹Der er ingen modeldata, som ligger inden for zone 2. Der er kun målte data fra testfarme i zone 5 (Limfjorden).

²Der er ikke medtaget udgifter ifm. beskyttelse mod prædation fra edderfugle. Der er ikke indregnet forskelle i udgifter ift. transportafstande fra anlæg til forarbejdning på land mellem vandoplandene.

Den vestlige Østersø blev opdelt i 5 zoner ud fra deres virkemiddelpotentiale (dvs. fra 0 til 100% med 20% intervaller) jf. Figur 3.1.2. Den potentielle N- og P-fjernelse blev beregnet for hver zone, hvor zone 5 med højest potentiale (80-100%) blev skaleret til målinger fra Limfjorden (Tabel 3.1.1). For anlæg med langlinjer, blev der brugt målinger fra den nyeste, dokumenterede konfiguration med 30 cm loop-afstand og 2 m dybde. Det antages at være et konservativt estimat, da produktionskapaciteten kan forøges ved at forlænge loop-længden i dybere vandområder. For net+rør blev der anvendt målinger fra net med maskestørrelser på 17,5 cm og 25 cm og 3 m dybde, som er den bedst testede konfiguration både i Limfjorden og Horsens Fjord (Taylor m.fl. 2019). Variationen af virkemidlet (minimum og maksimum værdier) er beregnet for hver zone i modellen og inkluderer både den naturlige variation af muslingevæksten fra år-til-år, usikkerheden i opskaleringsmodellen fra individuelle muslinger til høstpotentialet og den rumlige variation inden for zonen (Tabel 3.1.1).

Classification for Nutrient Reduction Effectivity



Figur 3.1.2. Inddeling af zoner iflg. beregnet virkemiddelpotentiale i rumlig model (se Figur 3.1.1). Zone 5 svarer til 80-100%, zone 4 til 60-80%, zone 3 til 40-60%, zone 2 til 20-40% og zone 1 til 0-20% af maksimalt potentiale for N- og P-fjernelse i situationer uden fødebegrænsning. Zoneinddeling bliver brugt til at beregne N- og P-effekt samt økonomi i tabel 3.1.1. Kortet inkluderer ikke tabsprocesser, fødebegrænsning samt anden anvendelse af havet og kan derfor ikke alene anvendes til placering af muslingeopdrætsanlæg eller danne grundlag for en beregning af det totale virkemiddelpotentiale. Usikkerheden vurderes at være mindst i fjorde med testlinjer og størst i åbne farvande og områder med stor rumlig heterogenitet.

Modellen kunne teoretisk også køres for senere høsttidspunkter som f.eks. i marts. Men modellen har en tendens til at overestimere muslingebiomassen og dermed høstpotentialt om foråret sammenlignet med felddata. Det antages derfor, at andre eksterne faktorer reducerer muslingevæksten/øger tabet af muslinger og dermed reducerer biomassetætheden på anlægget, især om vinteren, og dermed forårsager uoverensstemmelsen mellem model og felddata.

Forekomsten og mængden af muslingelarverne er ikke inkluderet i modellen, da der ikke findes data med tilstrækkelig rumlig dækning. Derfor gælder modelresultaterne kun, såfremt der findes nok larver til at sikre en god rekruttering på yngelfang om foråret. Det er dog en rimelig antagelse for de fleste områder, da der forekommer tætte naturlige muslingepopulationer på lavt vand, og der er observeret store tætheder og lang opholdstid af larverne (3-5 uger) i vandet i de undersøgte områder og dermed sandsynlighed for god spredning af muslingelarverne (Riisgaard m.fl. 2015)

Risici for tab af muslinger fra virkemiddel anlæg

Der findes flere eksterne faktorer, som kan forårsage signifikante tab af muslinger fra virkemiddel anlæg. De følgende faktorer skal derfor tages i betragtning, før muslinge anlæg bliver etableret i et vandområde.

Fysiske forhold: Fysiske forhold som eksponering for stærk strøm, store bølger eller isdække kan medføre tab af muslinger. En del tab kan minimeres ved dyrkningstekniske forholdsregler som undersænkning af anlæg, valg af materialer og andre tekniske tiltag. Nogle områder vil dog med det nuværende teknologiske niveau være mindre egnede, f.eks. langs den jyske vestkyst. Undersænkning af anlæg kan p.t. ikke udføres med de mest produktionseffektive anlæg (net+rør), men dette vurderes at kunne blive løst teknologisk inden for en kortere årrække, og der er netop bevilliget et GUDP-projekt (SUBMUSSEL), der skal udvikle dette.

Prædation: Det er især søstjerner og edderfugle, som kan forårsage store tab af biomasse fra muslinge anlæg. Søstjerner kan komme på opdræts anlæg ved nedslag af søstjerne yngel på anlæggene, eller ved at voksne søstjerner kan kravle op på anlæggene, hvis disse kommer i kontakt med bunden. Der findes metoder til helt eller delvist at undgå prædation fra søstjerner på anlæg, f.eks. ved at sikre opdriften med flere bøjer, så linerne ikke kommer i kontakt med bunden og potentielle prædatorer. En anden mulighed er at igangsætte udsætningen af yngelfang ud fra forekomsten af søstjerne yngel i vandet og dermed undgå store nedslag.

Edderfugle er en beskyttet art og lever for det meste af muslinger. På deres årlige træk passerer edderfuglene store dele af de danske kystvande, især om efteråret. Hvis en flok edderfugle finder et muslinge anlæg, er der stor risiko for, at en betydelig del af muslingehøsten bliver spist. Fuglene kan enten blive i området og udskille en del af næringsstofferne som fækalier/urin eller flyve til et nyt område. Skæbnen af næringsstoffer optaget i fuglene er således ukendt og kan ikke bruges i virkemiddelsammenhæng. Der findes tekniske løsninger for at forhindre edderfuglenes adgang til muslingerne i opdræts anlæg, f.eks. ved brug af net. Nettene skal dog være finmaskede for at undgå, at edderfuglene selv bliver fanget i nettet og dør. Hvis opdræts anlæg skal beskyttes mod prædation fra edderfugle, medfører det en større omkostning. I områder med høj sandsynlighed for forekomst af edderfugle, kan tidlig høst af muslingerne overvejes. Der arbejdes på at lave et risikokort for forekomst af edderfugle om efter-

året i de danske vandområder. Kortet bliver sammensat af observationer af edderfugle ved monitoring og fuglenes adfærdsmønstre i forhold til miljøfaktorer som f.eks. nærheden til åbent hav og fysiske barrierer.

Opdrætsekspertise: Hvis muslingeopdrætteren ikke har erfaring med at håndtere anlægget, kan der opstå tab af muslinger pga. forkert opsætning, manglende vedligeholdelse, ingen beskyttelse mod edderfugle, m.m. Det er derfor vigtigt, at evt. operatører har dokumenteret viden eller erfaring.

Andre vigtige kriterier ved planlægning af muslinge anlæg som virkemiddel

Ud over de nævnte faktorer, som påvirker muslinge væksten og dermed det forventede virkemiddelpotentiale, bør man også medtage andre kriterier i udvalgsprocessen af velegnede steder for muslinge anlæg (Petersen m.fl. 2013, Timmermann m.fl. 2015). Denne multi-kriterie tilgang betragtes som en vigtig del af den marine fysiske planlægning.

Fysiske forhold: Bathymetrien påvirker muslingeopdræt gennem dybdelængden på det anvendte materiale. Med rør+net systemer kan der dyrkes på lavere vanddybder end for langlinesystemer, men der kan generelt set ikke dyrkes på dybder <3-4 m. Større dybder giver mulighed for længere loops og dermed et forøget virkemiddelpotentiale. Men det vil medføre højere omkostninger ved installationen (f.eks. materiale og forankring) og vedligeholdelse.

Andre aktiviteter: Havområder bruges til mange former for produktive og rekreative aktiviteter, og der er også havområder, hvor naturværdierne er store. I nogle områder er det derfor ikke muligt eller ønskeligt at etablere muslinge anlæg. Der er f.eks. områder, der anvendes til erhvervsfiskeri, sejlruter, havneindløb, arealer med ankerforbud, søkabler, rørledninger og områder brugt til militærøvelser samt en række rekreative aktiviteter såsom sejlsads, dykning, badning, fiskeri, m.m. Etablering af nye muslinge anlæg vil potentielt kunne være i konflikt med andre interessenters anvendelse af områderne. Det er f.eks. tilfældet ift. fiskeri, sedimentekstraktion og -dumping, fritidssejlsads, sommerhus- og badevandsområder.

Miljø: Der er mange vandområder, hvor der findes særligt behov for at forbedre den økologiske tilstand med hensyn til klorofyl og eutrofiering. Disse områder kunne f.eks. prioriteres ved planlægningen af muslinge anlæg som virkemiddel. Beskyttede områder (f.eks. Natura2000 og Ramsar) ekskluderer ikke muslingeopdræt som virkemiddel, men en placering i sådanne områder kræver en miljøkonsekvensvurdering. De positive miljøeffekter på f.eks. sigtdybden og klorofylkoncentrationen som følge af muslingefiltration kan endvidere inddrages ved valg af placering baseret på modelberegninger. Samtidigt skal man tage hensyn til effekter fra øget akkumulering af organisk stof under anlæggene (se afsnit om sideeffekter).

Bæreevne af systemet: Muslingernes vækst er afhængig af tilførsel af føde uden for opdrætsanlægget. Der er derfor en områdespecifik grænse for, hvor tæt anlæggene kan placeres eller hvor mange anlæg, der kan være i et vandområde, uden at de påvirker hinanden og dermed reducerer muslingernes vækst på det enkelte anlæg og således også den arealspecifikke effektivitet (Timmermann m.fl. 2015). Det er vandområdets bærekapacitet, der vil være afgørende for, hvor stort et volumen der maksimalt kan benyttes til (effektivt) muslingeopdræt. En estimering af vandområdernes bærekapacitet kræver nærmere modelanalyser. I relation til muslingeopdræt som virkemiddel vil bæreevne være et sekundært problem, fordi formålet med opdrættet netop er at binde

næringsstoffer gennem at reducere mængden af fytoplankton. En mindre bæreevne kan dog samtidigt føre til en reduceret fødetilgængelighed og vækst for andre organismer i systemet.

Samlet set kan det konkluderes, at optimal placering af muslinge anlæg som marint virkemiddel involverer flere forskellige typer af vurderinger. Der arbejdes på at udvikle et GIS-værktøj til at hjælpe beslutningstagere og interessenter igennem denne proces, hvor der interaktivt kan sættes præferencer, tærskelværdier og vægtning af de forskellige aktiviteter, som potentielt kan lede til konflikter. Det vil således være muligt at regne flere scenarier igennem og objektivt sammenligne resultaterne. Formålet med værktøjet er at gøre marin fysisk planlægning af muslinge anlæg som marint virkemiddel så let og transparent som muligt. Værktøjet kan dog ikke i sig selv erstatte en konkret vurdering i specifikke vandområder og er primært et screeningsværktøj.

Anvendelse af muslinger

I det omfang muslingeopdræt som virkemiddel implementeres i større skala, vil det medføre en betydelig merproduktion af muslinger, som ikke kan antages at finde afsætning med den eksisterende efterspørgsel på markedet for fersk konsum, som i dag aftager så godt som alle opdrættede muslinger (Petersen m.fl. 2015). Endvidere vil en stor andel af muslingerne ikke have en egnet størrelse til fersk konsum. Der vil således være behov for nye veje til afsætning af muslingerne. En mindre del af muslingerne vil kunne gå ind i forarbejdningsindustrien og blive til f.eks. forarbejdede (kogte) muslinger. Men en meget betydelig del vil skulle afsættes til andre formål, f.eks. til dyrefoder, kosttilskud eller andre blandede formål. Muslinger som økologisk foderingrediens (muslingemel) er dokumenteret for høns, grise og ørred. For at kunne udnytte muslingerne skal skaldelene helt (fisk, grise) eller delvist (høns) fjernes fra det færdige produkt (Petersen m.fl. 2015). Der er udviklet metoder hertil, men disse er p.t. ikke lønsomme på ren kommerciel basis i forhold til det færdige produkt ved sammenligning med priserne på fiskemel. Branchen vurderer, at ved tilstrækkelig volumen vil der være basis for en kommerciel produktion af muslingemel. Derudover er der mulighed for at udvinde muslingeolie, som kan bruges som økologisk kosttilskud til mennesker. Der arbejdes aktuelt i 2 projekter – MuMiPro og GUDP-projektet InProFeed – på at udvikle metoder til omkostningseffektiv forarbejdning af små muslinger.

Udfordringer i forhold til kontrol og administration

Administration af muslingeopdræt som virkemiddel kan ske på flere måder – enten som en egentlig offentlig investering og drift af opdrætsanlæg f.eks. gennem kommunale driftsselskaber eller gennem private operatører. Ved brug af private operatører kan der bruges forskellige administrationsmodeller enten baseret på kontraktlige forpligtelser til fjernelse af næringsstoffer eller gennem omsættelige næringsstof-kvoter. Ved kontraktlige forpligtelser kan der laves direkte aftaler mellem kommuner/staten og de private operatører om en given næringsstoffjernelse i specifikke vandområder ved brug af muslingeopdræt.

En mulighed er, at finansieringen af aftalerne ensidigt påhviler staten/kommunerne, og at indsatsen bestemmes med henblik på at opnå vandplanernes indsatskrav. Alternativt kan opdrættet ses som en aktivitet, der reducerer virkningen af udledninger fra landbruget, således at finansieringen påhviler landbruget i oplandet, evt. med mulighed for subsidiering ligesom f.eks. efterafgrøde-reguleringen. Endelig kan muslingeopdræt indgå i et system, hvor der indføres omsættelige N-rettigeheder. I et sådant system kan landmænd få

mulighed for at handle udlednings-rettigheder, dvs. købe rettighed til udledninger af N. Denne reguleringsform kan omfatte, at landbruget gives mulighed for at betale for N-reduktion i havet/fjordene ved muslingeopdræt. Hvis dette er billigere for landmanden, frem for at han selv udfører tiltag, vil der kunne opstå incitamenter til denne form for handel. Disse incitamenter undersøges i de igangværende forskningsprojekter.

Kontrol af muslingeopdræt som virkemiddel vil afhænge af, hvilken model der anvendes. Hvis der bruges private operatører evt. reguleret gennem et marked for omsættelige N-kvoter, vil der være behov for at kunne kontrollere i hvilke vandområder, opdrætsanlæggene placeres, samt hvor store anlæggenes produktionskapacitet skal være. Endelig vil der være behov for at kunne kontrollere, at den aftalte N- og P-fjernelse faktisk gennemføres. Placering og omfang kan kontrolleres/forvaltes gennem tildeling af tilladelser. Kontrol af de høstede mængder kan gennemføres ved en kombination af vejning og stikprøver for indhold af næringsstoffer i hhv. kød, byssus og skal (Petersen 2016). Da der ikke kan forventes at være krav til anvendelsen af de opdrættede muslinger, må udgangspunktet for dokumentation af næringsstoffjernelse være vædsvægt af de høstede muslinger. I afhængighed af dyrkningsteknik og høstmetode vil der ved høsten komme varierende grad af byssus og evt. andre organismer, der sidder på muslingerne, med i høsten. Sortering af høsten i en "ren" muslingefraktion og andet som f.eks. fouling vil være arbejdskrævende. Opdræt af muslinger i vandsøjlen som virkemiddel er endvidere kendetegnet ved en normalt relativ lille andel fouling og de fleste foulingorganismer vil have et tilsvarende indhold af næringsstoffer som muslinger (inkl. skal). Derudover vil en del af vædsvægten være vand (f.eks. inde i muslingerne). Inden for det første døgn efter høst kan muslingerne tabe op til 10% af vægten i form af tab af vand/væske. Vandtabet vil variere med høstmetode, årstid og andre eksterne forhold og kan ikke kvantificeres systematisk. Trods fejlkilder er vædsvægt af den samlede høst det mest operationelle udgangspunkt for dokumentation af næringsstoffjernelse. Praktisk kan det foregå på kontrollerbare vejeenheder. Ved ankomst til kaj losses muslingerne i containere, som køres til vejning inden for f.eks. max 12 timer efter høst. Vejningen omfatter lastvogn, container og den høstede mængde og gennemføres på et vejesystem, hvor vægten af bil og container kan fratrækkes. Vejeenheden skal notere vægt og andre relevante oplysninger elektronisk, kunne udskrive vejeseddel, og der skal kunne foretages uafhængig kontrol af vejning. Vejningen suppleres med udtagning af delprøver til bestemmelse af fraktionerne muslingekød, byssus, skal og andet og kan endvidere analyseres for N- og P-indhold. Udtagning af delprøver kan foretages pr høstperiode og er ikke nødvendig for hver enkelt landing.

Sideeffekter

Natur og miljø (herunder marine kvalitetselementer)

Potentielle positive effekter

Forbedret sigtddybde og reduceret klorofylkoncentration

Muslingeopdræt i vandsøjlen kan forbedre sigtddybden og reducere klorofylkoncentrationen som følge af muslingefiltration. Dette er blevet påvist både ud fra *in situ* data, økologisk modellering og satellitdata omkring opdrætsanlæg i Limfjorden (Skive Fjord, Sallingsund, Løgstør Bredning og Venø Sund) og As Vig (Maar m.fl. 2020a). Reduktioner i klorofylkoncentration kan være helt op til 60-70% i opdrætsanlægget, men er gennemsnitligt på 14-50% afhængig af muslingernes filtrationskapacitet og miljøforhold såsom strømforhold, temperatur og klorofylkoncentration (Nielsen m.fl. 2016, Petersen m.fl. 2019, Timmermann m.fl. 2019, Maar m.fl. 2020a). Sigtdybden viser en gennemsnitlig forøgelse på

0,8-1,1 m (op til 2,3 m) inde i anlæggene baseret på målinger (Maar m.fl. 2020a). Modellering viste en forbedring af sigtddybden i et område, der er 14 gange større end selve opdrætsanlægget i Skive Fjord (Timmermann m.fl. 2019). Den rumlige ændring er størst for standardanlæg med stor muslingebiomasse eller i områder med flere opdrætsanlæg. Modelscenarier fra Skive Fjord viste, at 10 standardanlæg kan reducere klorofylkoncentrationen om sommeren og forbedre sigtddybden med hhv. 16% og 7,8% i gennemsnit på bassinskala (Timmermann m.fl. 2015, 2019, Petersen m.fl. 2018). Effekten var generelt højest i sommer- og efterårsmånederne som følge af den opbyggede muslingebiomasse på anlæggene, gode fødeforhold og høje temperaturer, hvorimod effekten var mindre i vinterperioden med lavere temperaturer og klorofylkoncentration. Effekten er desuden mindre tydelig i de mere åbne områder med højere strømhaastigheder pga. fortynding ved advektion og generelt lavere klorofylkoncentrationer (Petersen m.fl. 2018, Maar m.fl. 2020b).

Reduceret sedimentation på bassinskala

Modelscenarier fra Skive Fjord viste, at sedimentationen på bassinskala blev reduceret pga. de lavere koncentrationer af fytoplankton og detritus i vandsøjlen som følge af muslingefiltrationen (Timmermann m.fl. 2019). Dvs. selvom der var en forøget sedimentation lige under anlægget, var der en netto reduktion af sedimentationen for hele området målt i forhold til, hvis der ikke havde været muslingeopdræt.

Binding af næringsstoffer

Under væksten vil næringsstoffer bindes i muslingevæv, så de ikke er tilgængelige for ny primærproduktion. Herved bidrager muslingerne til en nedsat turn-over af næringsstoffer.

Reduktion af effekter af intern belastning

I de fleste fjorde og kystområder udgør frigivelse af næringsstoffer fra sedimenterne en betydelig næringsstofkilde (intern belastning), og især i sommerperioden, hvor næringsstofforslerne fra land er relativt lave, vil den interne belastning bidrage til at drive primærproduktionen ved opblanding af vandsøjlen. I lagdelte perioder vil et forøget iltforbrug, pga. den interne belastning, kunne forårsage iltsvind ved bunden. Muslingeopdræt kan, via filtrering af fytoplankton, fjerne næringsstoffer frigivet fra sedimenterne og reducere sedimentationen på bassinskala og dermed reducere de negative effekter af den interne belastning. Det betyder, at virkemidlet i modsætning til landbaserede virkemidler kan håndtere intern belastning.

Denitrifikation

Denitrifikation er en anaerob bakteriel respirationsproces, hvor nitrat omdannes til frit kvælstof (N_2) eller lattergas (N_2O). Det dannede N på gasform forsvinder op i atmosfæren, og kvælstoffet udgør derfor ikke længere en belastning af havmiljøet. Ved organisk berigelse af sedimentet ses ofte en forøgelse af denitrifikationen, hvis den ikke hæmmes af sulfatreduktion eller mangel på nitrat under iltfrie forhold. Ved en hæmning af denitrifikationen kan der ske en større tilbageholdelse af ammonium i systemet. Under muslingebrug er der ofte målt forøgede denitrifikationsrater på 25-260% i forhold til uden forbruget i bl.a. Limfjorden og Horsens Fjord (Carlsson m.fl. 2012, Petersen m.fl. 2018, Hylén m.fl. 2020) som følge af biodeposition. I disse tilfælde vil denitrifikationen bidrage til N-fjernelsen udover, hvad der fjernes ved indbygning i muslingebiomasse og det kan opfattes som en ekstra økosystemtjeneste.

Potentielle skadelige effekter

Øget lokal NP-fluks, sedimentation og iltforbrug

Muslinger omdanner det bundne N og P i fytoplanktonbiomasse til muslingebiomasse via filtration. En fraktion af det optagne N og P bliver dog tabt via ekskretion som ammonium og fosfat til vandet eller ved biodeposition af fækalier og pseudofækalier. Den øgede sedimentation af organisk materiale under opdrætsanlæggene kan medføre en lokal forøget næringsstoffrigivelse (Carlsson m.fl. 2009, Holmer m.fl. 2015). Et studie fra Skive Fjord beregnede, at ekskretion udgjorde 82% og sedimentflukse 18% af N-udskillelsen fra et opdrætsanlæg (Holmer m.fl. 2015). De udskilte næringsstoffer kan dermed bidrage til ny primærproduktion. Modelstudier viste dog ingen tegn på forøget primærproduktion omkring opdrætsanlæggene, da fytoplanktonbiomassen også var lavere (Plessner m.fl. 2015, Timmermann m.fl. 2019). Der vil desuden stadig være en netto fjernelse af N og P, da der kun sker en omdannelse af næringsstoffraktioner.

Generelt vil den lokalt forøgede sedimentation og de deraf afledte effekter på de bentiske biogeokemiske processer (f.eks. næringsstofflukse, iltoptagelse) være tæt koblet til muslingebiomassen, men forhold som strømhastigheder, eksponering, eutrofieringsgrad, redox-forhold m.m. vil influere på, om der kan detekteres negative miljøeffekter under et muslinge anlæg og størrelsen af disse (Carlsson m.fl. 2009, Carlsson m.fl. 2012, Petersen m.fl. 2018). I As Vig uden for Horsens Fjord har et nyligt studie vist, at sedimentationen kan være meget lokaliseret. Studiet viste en generel forøget sedimentation under et rør+net anlæg ift. en reference-station, men sedimentationen var yderligere forøget direkte under nettene sammenlignet med mellem nettene (Hylén m.fl. 2020). Under anlægget i As Vig blev der målt forøget sedimentation, næringsstofflukse og iltoptagelse, mens anlægget var aktivt. Ændringer i iltoptagelse var ikke synlige 3-4 måneder efter høsten, mens næringsstofflukse stadig var svagt forøgede. I Skive Fjord var muslingeopdrættets bentiske påvirkning begrænset pga. de høje baggrundskoncentrationer af organisk materiale og næringsstoffer (Holmer m.fl. 2015).

Det skal bemærkes, at modelsimuleringer fra Skive Fjord viser, at den øgede sedimentation under anlægget modsvares af en reduceret sedimentation uden for anlægget, så der på bassinskala er en netto reduceret sedimentation (Timmermann m.fl. 2019). De lokalt forøgede N- og P-flukse fra sedimentet under opdrætsanlægget vil derfor blive modvirket af den lavere N- og P-regenerering på bassinskala (Petersen m.fl. 2018). Desuden vil et forøget iltoptag ikke føre til lokalt iltsvind under opdrætsanlægget ved normale vandskifte- og strømforhold ($>0.02 \text{ m s}^{-1}$) for indre danske farvande (Petersen m.fl. 2012, Valdemarsen m.fl. 2015, Maar m.fl. 2020b). Hvis muslingerne på anlægget bliver høstet før vinteren, vil den efterfølgende braklægningsperiode på 5-6 måneder medvirke til en nedbrydning af det organiske materiale og reducere akkumulering over tid (Maar m.fl. 2018).

Høje sedimentationsrater under et muslinge anlæg kan lede til en organisk berigelse i så stort et omfang, at sulfiddannelse og iltsvind hæmmer den koblede nitrifikation-denitrifikationsproces (Holmer m.fl. 2015, Petersen m.fl. 2018). Derefter bliver dissimilativ nitrat-reduktion til ammonium (DNRA) den dominerende proces (Christensen m.fl. 2003). Hvis denitrifikationen hindres, kan det betyde en større tilbageholdelse af ammonium i systemet. Samtidigt kan fosfat bundet til metalforbindelser i sedimentet blive frigivet til vandsøjlen ved iltsvind (Holmer m.fl. 2003). Den forøgede N- og P-frigivelse fra sedimentet kan

dermed potentielt modvirke effekten af N- og P-fjernelse ved indbygning i muslingebiomasse (Stadmark og Conley 2011). Størrelsen af denitrifikationen var dog kun 2% af den samlede N-fjernelse ved muslinge høst for et standardopdrætsanlæg i Limfjorden og <1% af høsten i et anlæg i Horsens Fjord (Hylén m.fl. 2020), så selv ved en hæmning af denitrifikationen vil der være en netto N-fjernelse for muslingeopdræt som virkemiddel (Petersen m.fl. 2012). De fleste studier viser en generel forøgelse af denitrifikation under opdrætsanlæg (Carlsson m.fl. 2012, Nizzoli m.fl. 2006, Holmer m.fl. 2015). Undtagelser var pga. placering i områder med for lidt strøm, for mange opdrætsanlæg og i forvejen dårlige iltforhold (Gilbert m.fl. 1997, Christensen m.fl. 2003, Carlsson m.fl. 2012). Det anbefales derfor at lægge opdrætsanlæg i områder med strømhastigheder $>0.02 \text{ m s}^{-1}$ eller at flytte dem regelmæssigt for at undgå risiko for iltvind og forøget sulfatdannelse i sedimentet (Petersen m.fl. 2012, Maar m.fl. 2020b). De fleste vandområder har strømhastigheder større end denne tærskelværdi og er derfor potentielt velegnede til muslingebrug.

Tilbageholdelse af næringsstoffer

I mere åbne fjorde kan muslingerne potentielt opfange og tilbageholde næringsstoffer (enten lokale eller fra mere åbent vand) via deres biodeposition, som ellers ville være blevet transporteret ud af fjorden. I dette tilfælde kan muslingerne bidrage til øget opholdstid for næringsstofferne og dermed lokalt øge eutrofieringen i nærheden af anlægget. Samtidig vil eksport af næringsstoffer ud af vandområdet blive reduceret, hvilket vil mindske eutrofieringen i det tilstødende vandområde. Overordnet set vil der dog altid være en nettofjernelse af næringsstoffer ved opdræt af muslinger, da der på bassinskala er en mindre sedimentation.

Fysiske effekter af selve opdrætsanlægget

Opdrætsanlægget kan lokalt ændre strømforholdene og mindske strømhastigheden inden for anlægget (Stevens & Petersen m.fl. 2011). Desuden kan der være en udskygningseffekt på vegetationen under anlægget, og det bør derfor ikke placeres ovenover f.eks. et ålegræsbed (se også afsnit om overlap med andre virkemidler). På opdrætsanlæg med net+rør kan der være forsamlinger af fugle, fortrinsvis måger, som anvender rørene som hvileplads i vandoverfladen.

Klima

Klimaeffekter blev ikke direkte undersøgt i projekterne. De potentielle effekter er nævnt i afsnittet under manglende viden.

Øvrige (f.eks. visuelle gener)

Beboere i kystområder ud til muslingeopdræt, det være sig helårsbeboere eller sommerhusbeboere, kan på forskellige måder blive påvirket af sådanne opdræt (Petersen og Stybel 2019). Det samme gælder brugere af de farvande, hvor sådanne anlæg er placeret. Påvirkningen af beboere og brugere omfatter:

- Visuelle gener, afhængig af anlæggenes antal, størrelse, afstand til kysten og anlægstypen.
- Affald i form af bøjer, liner og rørdele mv., som river sig løs fra anlægget og skyller ind på kysten eller generer båd- og skibsfarten.
- Hindringer for forskellig rekreativ brug af farvandet, primært sejlads med lystbåde, i mindre grad sejlads med kano, kajak, robåd mv. I dette forhold er markering af anlæggene og dermed deres synlighed vigtig, i hvert fald synlighed tæt på og især for lystsejlere efter mørkets frembrud, hvor anlæggene kan være svære at få øje på.

- Omvendt kan oplevelsen af visuelle gener eventuelt blive nedtonet eller helt glemt, hvis muslingebruget opfattes som noget positivt, fordi det bidrager til en bedre miljøtilstand, eller man oplever, at det er i overensstemmelse med lokalsamfundets og dets værdier.

At et anlæg til muslingeopdræt kan opleves som en visuel gene beror også på, at en udsigt ud over uforstyrrede vidder opfattes som et væsentligt gode lige som tilstedeværelsen af uforstyrret natur, som ikke er underlagt produktion, opleves som en væsentlig kvalitet. Derudover kan oplevelsen af de visuelle gener forstærkes, hvis der i området er dårlige erfaringer med andre former for akvakultur. Omvendt kan oplevelsen af visuelle gener evt. reduceres, hvis muslingebruget opfattes som et virkemiddel for en bedre miljøtilstand/bæredygtige produkter.

Økonomi

Forudsætninger for de økonomiske beregninger

Omkostningerne ved muslingeopdræt som virkemiddel omfatter drifts- og anlægsomkostninger, inklusive udgifter til materialer ifm. etablering og vedligehold af anlæggene samt udgifter til høst. Der er endvidere medregnet udgifter til diverse tjenesteydelser og arbejds løn. Der anvendes en timepris på 250 kr./time til arbejds løn, da der forudsættes aflønning af ufaglært arbejdskraft. Alle omkostninger er beregnet som årlige omkostninger - for nogle aktiviteter varierer omkostningerne over årene, de ophører f.eks. efter en årække eller gentages f.eks. hvert 10. år. Anlægsomkostningerne er omregnet til årlige omkostninger med de angivne levetider for de forskellige dele af anlægget. Nutidsværdien er i den velfærdsøkonomiske analyse beregnet ved at anvende en kalkulationsrente på 4 %, jf. Finansministeriets vejledning (Finansministeriet 2017, 2019).

Omkostningerne ved muslingeopdræt som virkemiddel opgøres som budget- og velfærdsøkonomiske omkostninger. De priser, der indgår i en budgetøkonomisk opgørelse, opgøres i faktorpriser, som virksomhederne (her muslingeopdrætterne) faktisk skal betale. Faktorpriserne (priser uden moms og punkt-afgifter mv.) justeres med en nettoafgiftsfaktor (NAF) for at udtrykke de velfærdsøkonomiske priser, som udtrykker markedspriserne. Det er disse priser, der anvendes i forbindelse med samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger (Finansministeriet, 2019), og for sammenligning af omkostningseffektivitet mellem virkemidler (f.eks. mellem muslingeopdræt og virkemidler på land) er det korrekte sammenligningsgrundlag den velfærdsøkonomiske opgørelse. Iht. Finansministeriet skal der anvendes en NAF faktor på 1,28 (Finansministeriet 2019). Den tidligere anvendte NAF var 1,325, og denne ændring i NAF påvirker naturligvis niveauet for de beregnede velfærdsøkonomiske omkostninger, når der sammenlignes med tidligere beregninger af virkemidler.

De budget- og velfærdsøkonomiske beregninger er udført uden antagelse om videre forarbejdning af muslingerne som foder, da der endnu ikke er sikker viden om afsætningen af muslingerne. Forudsætningerne vedr. produktivitet og N-optag i de forskellige vandoplade bygger på de samme forudsætninger som anvendt i beregningerne af N-effekter. De driftsøkonomiske omkostninger ved muslingeopdræt som virkemiddel er beregnet for de 5 virkemiddelzoner (Figur 3.1.2, tabel 3.1.1). Der er beregnet et interval på 1,3-9 kr. kg⁻¹ muslinger (vådvægt) (1,7-11 kr. kg⁻¹ i velfærdsøkonomiske priser) for produktion med langliner, og 0,6-5,6 kr. kg⁻¹ muslinger (0,8-7,1 kr. kg⁻¹ i velfærdsøkonomiske priser) for produktion med net. Årsagen til de lavere omkostninger per

kg muslinger (vådvægt) med net er en større produktion per hektar. Opsætningen af langliner og net svarer til de forudsætninger, der er anvendt til N og P-beregningerne, og er beregnet på baggrund af målte værdier i Skive Fjord og modellerede værdier i de øvrige lokaliteter, som svarer til de lokaliteter, der er beregnet N og P for.

Beregnet omkostning per kg N

Omkostninger per kg N er også beregnet for de 5 virkemiddelzoner og for zone 5 for både målte og modellerede værdier for N-fjernelsen (Figur 3.1.2, tabel 3.1.1). Omkostningsberegningerne er baseret på Filippelli m.fl. (2019). Omkostningerne til anlæggene er ikke differentieret mellem vandoplandene, idet det forudsættes, at den samme anlægstype kan etableres i alle fjorde. Der er ikke indregnet forskelle i transportafstande fra anlæg til forarbejdning på land mellem vandoplandene, da der endnu ikke findes baggrundsoplysninger til en sådan beregning. Der er heller ikke regnet på forskelle i størrelse af anlæggene og den betydning, størrelsen måtte have for omkostningerne. Omkostningerne vil være aftagende med større anlæg pga. sparede udgifter til bl.a. båd og eftersyn, herunder anvendt arbejdskraft.

Omkostningen per hektar langlineanlæg er beregnet til 98.736 kr./ha/år og for et anlæg med net til 111.522 kr./ha/år. Det antages, at produktionsomkostningerne ikke varierer væsentligt med produktionsmængden.

Beregningerne for langliner viser, at omkostningerne per kg N ligger på 120 kr./kg N i gennemsnit for det højeste virkemiddelpotentiale i zone 5, når der anvendes målte data, og der ikke regnes med forarbejdning af muslingerne til foder eller anden anvendelse. Der er anvendt velfærdsøkonomiske priser til beregningen. Både budget- og velfærdsøkonomiske omkostninger er vist i tabel 3.1.1. For de øvrige virkemiddelzoner er reduktionsomkostningerne for N beregnet til at ligge mellem 133-506 kr./kg N (også velfærdsøkonomiske priser). For muslinger produceret på net er der beregnet reduktionsomkostninger for N mellem 62-285 kr./kg N for de 5 virkemiddelzoner i velfærdsøkonomiske priser.

Beregnet omkostning per kg P

Omkostningerne er også beregnet i form af omkostninger per kg P fjernet ved langline og netproduktion af muslinger, jf tabel 3.1.1. For langlinerne er omkostningerne beregnet til 1.685-8.425 kr.kg⁻¹ P, og for muslinger dyrket på net er omkostningen lavere, 1.057-5.710 kr. kg⁻¹ P beregnet i velfærdsøkonomiske priser og for de 5 virkemiddelzoner.

Andre betragtninger af omkostningseffektivitet

Generelt vil reduktionsomkostningerne for N-optagelsen ved muslingeproduktion være lavest i kystnære eutrofierede vandområder, hvor blåmuslingernes vækst er størst (Figur 3.1.1) og driftsomkostningerne lavest. Det vurderes, at muslingeopdræt vil have større reduktionsomkostninger i de åbne havområder, idet muslingeveksten vil være reduceret pga. generelt lavere fødetilgængelighed og lav/svingende saltholdighed i f.eks. den vestlige Østersø/Bælthavet (Maar m.fl. 2015, Riisgaard m.fl. 2012). Omkostningerne til drift og høst af off-shore anlæg vil forventeligt også være højere sammenlignet med mere kystnære anlæg, men der er ikke data tilgængelige p.t. for at kvantificere disse forskelle i omkostninger. På den anden side vil en større vanddybde i de åbne vandområder tillade, at opdrætsanlægget stikker dybere i vandsøjlen, dvs. større arealproduktion, såfremt teknologien tillader det. Prædation fra især edderfugle kan være et problem for muslingeopdræt og

forårsage store tab, med mindre der etableres foranstaltninger til bekæmpelse/forhindring af edderflugene. Foranstaltninger i form af f.eks. beskyttelse af opdrætsanlægget med net vil øge omkostningerne, men disse omkostninger er ikke kvantificeret.

Manglende viden

Biodiversitet

Effekter af muslingeopdræt på biodiversitet er ikke undersøgt. Opdræt af blåmuslinger kan påvirke biodiversiteten lokalt via deres filtration ved at påvirke planktonsammensætning og fødetilgængeligheden for andre organismer. Opdrætsanlæggene kan desuden fungere som kunstige rev og dermed opholdssted for andre arter (f.eks. epifauna, epiflora, fisk). På længere sigt kan biodeposition af fækalier og tab af døde muslinger/skaller akkumuleres under opdrætsanlægget og ændre habitatet og samfundet under anlægget. Muslinger som fødekilde kan påvirke og tiltrække potentielle prædatorer.

Systemets bæreevne

Det er ikke undersøgt, hvor mange opdrætsanlæg et område kan bære, før der indtræder fødebegrænsning, som går ud over virkemidlets effektivitet. Desuden kan en sådan fødebegrænsning påvirke den naturlige bestand af filtratorer negativt i form af mindre vækst, hvilket også kan påvirke øvrige dele af fødenettet. På længere sigt, når vandområdet økologiske tilstand er forbedret pga. færre næringsstoffer og mindre fytoplanktonbiomasse, vil systemets bæreevne være mindre, og virkemidlet bliver mindre effektivt. Dette kan undersøges direkte via anlæggenes produktivitet eller ved hjælp af 3D økologiske modeller.

Klimaeffekter

Virkemidlets klimaeffekter er endnu ikke undersøgt i Danmark. Biodeposition under opdrætsanlæggene kan lokalt forøge denitrifikationen og dermed frigivelse af lattergas fra sedimentet, hvorimod en del af kulstoffet formodentligt bliver begravet i sedimentet. På bassinskala vil der dog formodentligt være en reduceret frigivelse af lattergas og kulstofbegravelse pga. den lavere netto sedimentation. Kulstof bliver bundet i muslingeskallen, men hvorvidt der er tale om en egentlig kulstoffjernelse vil afhænge af skæbnen af skallerne (f.eks. tab til havbunden, deponering, forbrænding). I et nyligt review om muslingers rolle i CO₂-cyklussen blev det konkluderet, at muslingeskaller ved høst af opdrættede muslinger kan betragtes som et netto "CO₂-sink" (Filguera m.fl. 2018). Bidraget er begrænset på skala af et enkelt opdrætsanlæg, men det blev vurderet, at CO₂-ekstraktionen ved den årlige produktion af muslingearter på verdensplan svarer til 6,3 x 10⁵ ton CO₂ (Filguera m.fl. 2018). Anvendelse af skallerne vil dog afgøre graden af deponering. Deponeres skallerne i f.eks. bygningsmateriale, vil det være en permanent CO₂-begravelse. Der vil være et forbrug af brændstof i forbindelse med vedligeholdelse og høst af anlæggene samt ved forarbejdning af muslingerne til f.eks. foder. De høstede muslinger vil på den anden side være en proteinkilde med et meget lavt CO₂-aftryk i forhold til f.eks. landbaserede proteinkilder.

Prædation fra edderfugle

Der mangler en kortlægning af risiko for prædation fra edderfugle samt at udvikle metoder til at beskytte anlæggene mod edderfugle prædation. Der er endnu ikke beregnet omkostninger ved en sådan beskyttelse af anlægget.

Teknologisk optimering

Det vurderes ikke realistisk i lavvandede fjordområder at øge N-fjernelsen betydeligt gennem teknologisk udvikling for langline-systemer. Rør+net systemer er noget nyere i danske farvande, om end der i projektperioden er etableret kommercielle anlæg i Limfjorden, der allerede nu producerer i stor skala. Vi vurderer, at der kan ske yderligere teknologisk udvikling for disse systemer, så de f.eks. kan undersænkes og dermed have en længere produktionsperiode eller bliver konfigureret optimalt i forhold til de lokale strømforhold. Disse ændringer vil næppe ændre N-fjernelsen betydeligt, men sikre at de angivne potentialer på op til 3.500 t pr anlæg kan opnås generelt. Derudover vil der kunne ske udvikling af vedligehold og høst, som imidlertid primært vil have betydning for omkostningerne. Med hensyn til forarbejdning af de producerede muslinger vil der være behov for yderligere teknologisk udvikling for at mindske prisen på de forarbejdede produkter. Dette vurderes at være muligt inden for en kort årrække.

Opsummering

Opdræt af muslinger som virkemiddel er dokumenteret praktisk muligt med en høj sikkerhed og høj areal-specifik næringsstoffjernelse (Tabel 3.1.1). Der kan anvendes langliner, som kan undersænkes ved isdække og har en lidt længere produktionssæson. Produktionspotentialet er dog lavere end for andre systemer. Net+rør har den største muslingeproduktionskapacitet, og der er potentiale for yderligere optimering. Til gengæld kan de p.t. ikke undersænkes og kan forårsage visuel forurening. Rumlig modellering har udpeget en række egnede områder til opdræt både i og uden for Limfjorden (Figur 3.1.2). Muslingeopdræt har flere positive sideeffekter på økosystemet (f.eks. klarere vand). Der kan dog forekomme en lokal negativ effekt på bunden under anlægget, som vurderes at være begrænset ved en rigtig placering. Den største risiko er tab af muslinger pga. prædation fra edderfugle. Samtidig er metoden til en kosteffektiv anvendelse af de høstede muslinger som dyrefoder ikke færdigudviklet. Ved muslingeopdræt som virkemiddel er der derfor stadig tale om en netto-omkostning, og det er således nødvendigt, at der betales for økosystemtjenesterne (N-fjernelse, forbedret sigtdybde, evt. klimaeffekt). Implementering vil altid kræve en områdespecifik vurdering.

Tabel 3.1.2. Sideeffekter.

Virkemiddel	Natur og miljø	Klima	Øvrige
Opdræt af muslinger	+/-	?	-

Referencer

Carlsson MS, Holmer M, Petersen JK (2009). Seasonal and spatial variation of benthic impacts of mussel long-line farming in a eutrophicated Danish fjord, Limfjorden. *J. Shellfish Res.* 28 (4): 791-801.

Carlsson MS, Engström P, Lindahl O, Ljungqvist L, Petersen JK, Svanberg L, Holmer M (2012) Effects of mussel farms on the benthic nitrogen cycle in the Swedish west coast. *Aquacult. Envir. Interact.* 2: 177-191.

Christensen PB, Glud RN, Dalsgaard T, Gillespie P (2003) Impacts of longline mussel farming on oxygen and nitrogen dynamics and biological communities of coastal sediments. *Aquaculture* 218:567-588

Filguera R, Strohmeier T, Strand Ø (2018) Regulating services of bivalve molluscs in the context of the carbon cycle and implications for ecosystem valuation. In Small, AC, Ferreira JG, Grant J, Petersen JK & Strand Ø (eds): Goods and services of marine bivalves. Springer ISBN 978-3-319-96776-9, pp 179-208.

Filippelli R, Termansen M, Hasler B, Timmermann K, Petersen JK (2019) Cost-effectiveness of mussel farming as a eutrophication mitigation measure: Agricultural, environmental and market drivers. Unpublished manuscript.

Finansministeriet (2017) Vejledning i samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger.

Finansministeriet (2019) Dokumentationsnotat om opgørelse af nettoafgiftsfaktoren. Notat, 26. april 2019.

Gilbert F, Souchu P, Bianchi M, Bonin P (1997) Influence of shellfish farming activities on nitrification, nitrate reduction to ammonium and denitrification at the water-sediment interface of the Thau lagoon, France. *Mar Ecol Prog Ser* 151:143-153

Holbach A, Maar M, Timmerman K, Taylor D (2020) Blue mussel mitigation farms in the Western Baltic Sea - spatial modelling of nutrient reduction potentials. Submitted paper.

Holmer M, Thorsen SW, Carlsson MS, Petersen JK (2015) Pelagic and benthic nutrient regeneration processes in mussel cultures (*Mytilus edulis*) in a eutrophic coastal area (Skive Fjord, Denmark). *Estuaries & Coasts* 38 (5): 1629-1641.

Hylén A, Bergström P, Kononets M, Lindegarth M, Stedt A, Taylor D, Petersen JK (2020) In situ characterization of sediment-water nutrient exchange in a mussel farm. *Biogeosciences*. *In preparation*.

Maar M, Saurel C, Landes A, Dolmer P, Petersen JK (2015) Growth potential of blue mussels (*M. edulis*) exposed to different salinities evaluated by a Dynamic Energy Budget model. *J Mar Syst* 148:48-55

Maar M, Larsen J, Dahl K, Riemann B (2018) Modelling the environmental impacts of future offshore fish farms in the inner Danish waters. *Aquaculture Environment Interactions* 10:115-133

Maar M, Taylor D, Darecki M (2020a) D4.1 Maps of particle depletion around different mussel farms (in-situ, satellite, modelling) (M30)-with background and explanatory information. BONUS OPTIMUS report.

Maar M, Larsen J, von Thenen M, Dahl K (2020b). Site-selection of mussel mitigation cultures in relation to efficient nutrient compensation of fish farming. *Aquaculture Environment Interactions*, in revision.

Nielsen P, Cranford PJ, Maar M, Petersen JK (2016) Magnitude, spatial scale and optimization of ecosystem services from a nutrient extraction mussel farm in the eutrophic Skive Fjord, Denmark. *Aquacult. Envir. Interact.* 8: 311-329.

Nizzoli D, Welsh DT, Viaroli P (2011) Seasonal nitrogen and phosphorus dynamics during benthic clam and suspended mussel cultivation. *Mar Pollut Bull* 62:1276-1287

Petersen JK, Timmermann K, Carlsson M, Holmer M, Maar M, Lindahl O (2012) Mussel farming can be used as a mitigation tool - A reply. *Mar Pollut Bull* 64:452-454

Petersen JK, Timmermann K, Holmer M, Hasler B, Göke C, Zandersen M (2013) Miljømuslinger – muslinger som supplerende virkemiddel. Notat fra DCE Nationalt Center for Havmiljø og Energi, Aarhus Universitet, 38 pp.

Petersen JK, Hasler B, Timmermann K, Nielsen P, Tørring DB, Larsen MM, Holmer M (2014) Mussels as a tool for mitigation in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 82: 137-143.

Petersen JK, Nielsen CF, Nørgaard JV, Steinfeld S, Fitridge I (2015) Anvendelse af blåmuslinger til husdyrfoder. Nykøbing Mors: Dansk Skaldyrcenter, Institut for Akvatiske Ressourcer. (DTU Aqua-rapport; Nr. 296-2015).

Petersen JK, Saurel C, Nielsen P, Timmermann K (2016) The use of shellfish for eutrophication control. *Aquacult. Int.* 24 (3): 857-878.

Petersen JK (2016.) Egenkontrol af muslinger i kompensationsopdræt i forbindelse med havbrug. Notat fra DTU Aqua til Miljøstyrelsen 13. december 2016, 12 s.

Petersen JK, Holmer M, Termansen M, Hasler B (2018) Nutrient extraction through bivalves. In Small AC, Ferreira JG, Grant J, Petersen JK, Strand Ø (eds): *Goods and services of marine bivalves*. Springer ISBN 978-3-319-96776-9, pp 179-208.

Petersen JK, Loo LO, Taylor D (2019) Evaluating chlorophyll depletion in mitigation mussel cultivation at multiple scales. *Aquaculture Environment Interactions* 11:263-278

Petersen LK, Stybel N (2019) Local acceptance of mussel cultivation in the Baltic Sea. Conference paper Aquaculture Europe 7-10 Oct 2019, Berlin, Germany

Plesner LJ, Andersen P, Carl J, Tørring D, Holdt SL, Marinho GS, Lagoni K, Boderskov T, Schmedes P, Birkeland MJ (2015) KOMBI-Opdræt, Kombinationsopdræt af havbrugsfisk, tang og muslinger til foder og konsum (Technical Report No. 2015–12). Dansk Akvakultur.

Riisgård HU, Bøttiger L, Pleissner D (2012) Effect of salinity on growth of mussels, *Mytilus edulis*, with special reference to the Great Belt (Denmark). *Open Journal of Marine Science* 2:167-176

Riisgaard HU, Lundgreen K, Pleissner D (2015) Environmental Factors and Seasonal Variation in Density of Mussel Larvae (*Mytilus edulis*) in Danish Waters. *Open Journal of Marine Science* 5:280-289

Stadmark J, Conley DJ (2011) Mussel farming as a nutrient reduction measure in the Baltic Sea: Consideration of nutrient biogeochemical cycles. *Mar Pollut Bull* 62:1385-1388

Stevens CL, Petersen JK (2011) Turbulent, stratified flow through a suspended shellfish canopy: implications for mussel farm design. *Aquaculture Environment Interactions* 2:87-104

Taylor D, Saurel C, Nielsen P, Petersen JK (2019) Production characteristics and optimization of mussel mitigation culture. *Front. Mar. Sci.* 6 (689) <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00698>

Timmermann K, Maar M, Bolding K, Larsen J, Windolf J, Nielsen P, Petersen JK (2019) Mussel production as a nutrient mitigation tool for improving marine water quality. *Aquacult. Environ. Interact.* 11: 191-204 <https://doi.org/10.3354/aei00306>

Timmermann K, Petersen JK, Hasler B (2015) Opdræt af muslinger. (Ed) Timmermann, K. m.fl.: *Marine virkemidler. Beskrivelse af virkemidlernes effekter og status for vidensgrundlag.* Aarhus Universitet, DCE-nationalt Center for Miljø og Energi. pp. 13-20.

Valdemarsen T, Hansen PK, Ervik A, Bannister RJ (2015) Impact of deep-water fish farms on benthic macrofauna communities under different hydrodynamic conditions. *Mar Pollut Bull* 101:776-783