

# Hvad ved vi om Marine Virkemidler?

I juni 2016 offentliggjorde Naturstyrelsen (nu SVANA) vandområdeplanerne for anden planperiode (2015-2021). Vandområdeplanerne er en samlet plan til forbedring af det danske vandmiljø, bl.a. ved at reducere udledningen af kvælstof fra land til vand, men der er stigende interesse for marine virkemidler, som et supplerende værktøj til at reducere kvælstofmængden i havet. Spørgsmålet er, hvor langt kan vi komme af den vej?

KAREN TIMMERMANN, ANDERS CHR. ERICHSEN, ANNETTE BRUHN, HENRIK FOSSING, JENS KJERULF PETERSEN & MOGENS FLINDT

## Introduktion

EU's vandrammedirektiv (VRD) fastsætter mål for miljøkvaliteten af grundvand, vandløb, søer og marine kystområder. For de marine vandområder skal der som minimum opnås god økologisk tilstand, hvilket fastsættes ud fra tilstanden af de biologiske kvalitetselementer: Fytoplankton, ålegræs, makroalger og bunddyr. Virkemidlerne er de grundlæggende redskaber i indsatsplanerne, som skal sikre, at der opnås god økologisk tilstand. Traditionelt set anvendes virkemidlerne i relation til tab af næringsstof fra land til vand tættest muligt på dyrkningsfladen og punktkilder (renseanlæg m.m.), hvor de terrestriske virkemidlers primære formål er at reducere tilførsler af især kvælstof og fosfor til grundvand, vandløb, søer og kystområder således, at der kan opnås god økologisk tilstand. I de senere år er der kommet stadigt større fokus på marine virkemidler som nye værktøjer, der kan bruges som supplement til de terrestriske virkemidler til forbedring af miljøforholdene i fjorde og kystnære områder.

Flere forsknings- og udviklingsprojekter arbejder på at dokumentere og kvantificere effekterne af de marine virkemidler. For at lave en samlet opdateret oversigt over disse forsknings- og udviklingsprojekter nedsatte "Partnerskab for vidensopbygning om virkemidler

og arealregulering" i 2015 et faglige netværk bestående af Aarhus Universitet, Syddansk Universitet, Danmarks Tekniske Universitet, DHI, Naturstyrelsen (nu Styrelsen for Vand og Naturforvaltning, SVANA), NaturErhvervstyrelsen, SEGES samt Danmarks Naturfredningsforening. Det faglige netværk fik til opgave at beskrive de marine virkemidlers effekter og status på baggrund af det nuværende videns grundlag. I starten af 2016 udkom rapporten "Marine Virkemidler: Beskrivelse af virkemidlernes effekter og status for viden" /1/, og netværkets videnskabelige deltagere giver her et kort resumé af rapporten.

## Marine Virkemidler

Marine virkemidler er placeret i det marine miljø og virker derfor i og på den marine recipient. Deres formål er at bidrage til en forbedret miljøkvalitet ved at fjerne/binde næringsstoffer (kvælstof og fosfor), hvilket har betydning for de biologiske kvalitetselementer (fytoplankton, ålegræs, makroalger, bunddyr) og for andre vigtige indikatorer for miljøkvalitet som f.eks. sigtdybde og iltindhold.

Effektiviteten af marine virkemidler afhænger i høj grad af lokale forhold, og derfor vil der være stor forskel på, hvor virkemidlerne kan placeres, og hvor effektive de vil være. For at maximere omkostningseffektiviteten er det derfor nødvendigt med en forudgående faglig vurdering af forskellige havområders egnethed for hvert enkelt virkemiddel. Der er yderligere oplysninger om de enkelte virkemidlers krav til lokalitet i /1/.

Forskning i marine virkemidler er stadig en relativ ny disciplin både i Danmark og internationalt. Derfor er datagrundlaget til vurdering



Figur 1. Muslinger. Foto: Dansk Skaldyrcenter

af virkemidlernes effekter generelt mangelfuldt. Det betyder bl.a., at mange af virkemidlerne endnu ikke er testet i større skala i danske farvande. Der mangler således kvantitativ viden om virkemidlernes effekter i forskellige vandområder, og ofte er omkostningerne ikke estimeret.

De fire marine virkemidler, der pt er mest viden om er: Opdræt af blåmuslinger, dyrkning af makroalger, udlægning af stenrev og genetablering af ålegræs.

## Muslinger

Princippet i muslingeopdræt som virkemiddel er, at næringsstoffer tilført et vandområde optages i planktonalger, og derefter indbygges i muslingerne gennem deres fødeoptagelse.



Figur 2. Makroalger. Foto: Mette Møller Nielsen

Når muslingebiomassen høstes, fjernes næringsstofferne fra det marine miljø. Mens muslingerne vokser, filtrerer de vandet for partikler, hvilket reducerer klorofylkoncentrationen og forøger sigtddybden i området omkring opdrætsanlægget, hvilket har en direkte effekt på flere kvalitetselementer. Dyrkning af line-muslinger øger dog også sedimentationen af organisk materiale under opdrætsanlæggene primært pga. muslingernes produktion af fækalier, men må dog på den anden side forventes at reducere sedimentationen på bassinskala. Lokalt øget sedimentation kan medføre en lokal forøget næringsstoffrigivelse, nedsat (eller øget) denitrifikation og et øget iltforbrug. Miljøeffekterne vil variere over sæsonen som funktion af muslingernes filtrering og vækst, der udover muslingernes størrelse vil være afhængig af temperatur, strøm og klorofylkoncentration i det givne vandområde.

Der er på nuværende tidspunkt kun dokumenteret ét fuldskala forsøg med muslingeopdræt med henblik på næringsstoffjernelse i Danmark /2/. Dette forsøg blev udført i perioden 2010-2011 i Skive fjord og udgør et "proof of concept" for muslinger som et omkostningseffektivt virkemiddel. Muslinger dyrket med henblik på næringsstoffjernelse kan ikke bruges til human konsum, da de generelt

er for små og uensartede, men de kan måske i fremtiden blive en værdifuld proteinkilde til f.eks. (økologisk) fiske- og dyrefoder og i nogen grad erstatte behovet for fiskemel og sojaprotein. Anvendelse af de kompensationsopdrættede muslinger vil øge omkostningseffektiviteten. Der vil kunne dyrkes muslinger i de fleste eutrofierede danske vandområder med dybder større end 5m, men effektiviteten vil afhænge af de lokale fysiske og miljømæssige forhold.

I 2017 starter et stort internationalt projekt, som skal belyse muligheder og begrænsninger ved at benytte muslinger som marint virkemiddel og som foderingrediens i akvakultur i Østersø-regionen. Resultaterne forventes i løbet af 2020.

### Makroalger

Makroalger (tang) optager og indbygger opløste næringsstoffer fra det omgivende vand. Optaget af næringsstoffer sker uafhængigt af, hvilke kilder næringsstofferne kommer fra. Den kvælstofreducerende effekt af tangdyrkning kommer således til udtryk ved 1), at kvælstof og fosfor fjernes fra miljøet ved høst af den dyrkede tang og 2) at de næringsstoffer, der er bundet i tangen, ikke er tilgængelige for ny primærproduktion under

væksten. Tang producerer ilt under væksten, binder CO<sub>2</sub> og skaber øget lokal biodiversitet. Den høstede tang udgør derudover en helt ny biomasseressource med et industrielt potentiale som ingrediens i fødevarer, kosmetik, dyrefoder eller gødning. Herved føres næringsstofferne fra tangen tilbage i kredsløbet på land. Forsøg i stor skala i to danske fjordområder viser, at næringsstoffer kan fjernes ved dyrkning og høst af makroalger /4/, men da tangdyrkning er et nyt erhverv i Europa, er der brug for optimering af dyrkningsteknologi og udnyttelse af den høstede tang, da tangdyrkning ikke pt er et omkostningseffektivt virkemiddel.

Dyrkning af tang kan foregå i områder med større vanddybder end 5m, med relativt klart vand og en saltholdighed over 20 ‰. Tangdyrkning skønnes derfor at give et større biomasseudbytte i mere åbne havområder, mens dyrkning i inderfjorde og indre farvande syd for Bælthavet forventes at give et mindre biomasseudbytte.

I 2016 startede to store projekter (Macrofuels og MAB4), som skal implementere state-of-the-art dyrkningsteknologi i Danmark i mere åbne havområder, og udvikle den industrielle udnyttelse af den høstede tang til højværdiprodukter og energi. Resultaterne herfra for-



Figur 3. Stenrev. Foto: Paula Canal-Vergés

ventes i 2020.

### Stenrev

I forhold til VRD er stenrev blevet foreslået som et virkemiddel til tilbageholdelse af især kvælstof /3/ foruden at øge biodiversiteten lokalt. Et lavt iltindhold i bundvandet kan medføre en øget frigivelse af næringsstoffer fra bunden, hvilket typisk sker om sommeren/efteråret på det tidspunkt, hvor planktonalgernes vækst normalt begrænses af lave næringsstofkoncentrationer i vandet. Hypotesen bag udlægning af stenrev som marint virkemiddel er, at stenene koloniseres af iltproducerende makroalger, som dermed bidrager til forbedrede iltforhold i bundvandet. Det medfører i teorien, at de øverste millimeter af havbunden forbliver iltet henover sommeren, og frigivelsen af næringsstoffer fra sedimentet reduceres.

For at stenrev kan have en betydning for tilbageholdelsen af næringsstoffer, skal stenrevet placeres i vandområder, der periodevist rammes af lave iltkoncentrationer om sommeren, og hvor makroalgernes iltproduktion er tilstrækkelig stor til at modvirke iltsvind på selve revet. Der skal derfor være tilstrækkeligt med lys ved bunden til at sikre makroalgernes fotosyntese og afledte iltproduktion. Der er derfor relativt få områder, hvor stenrev potentielt vil kunne introduceres som et marint virkemiddel. Kan makroalgernes iltproduktion ikke modsvare en iltsvindshændelse, vil makroalgerne blive kvalt og deres henfald vil potentielt forstærke iltsvind og lede til yderligere frigivelse af næringssalte.

Stenrevs potentiale til at fjerne kvælstof er indikeret i modelstudier (3), men der er usikkerhed ved modelparametrene, ligesom der ikke findes dokumentation i form af direkte målinger af effekten. Derfor har SVANA igangsat et stenrevsprojekt i Limfjorden, med

henblik på at dokumentere i hvilket omfang revet kan modvirke iltsvindshændelser og tilbageholde kvælstof. Resultaterne herfra forventes at foreligge i 2020.

### Reetablering af ålegræs

Sunde ålegræspopulationer er afgørende for miljøtilstanden i vore lavvandede farvande. Ålegræs optager, indbygger og lagrer næringsstoffer og kulstof, og producerer ilt. Ålegræsbede med tilstrækkelig tæthed og arealudbredelse kontrollerer det fysiske miljø ved at dæmpe strøm og bølger. Herved reduceres både omfang og hyppighed af resuspension, hvilket gør vandet klarere, og beskytter kysterne mod erosion.

Den naturlige reetablering af ålegræs foregår meget forsinket i forhold til næringsstoffaflastningen, fordi andre faktorer modvirker og forhindrer spredning og øget udbredelse af ålegræs. Overordnet er der to metoder til re-

staurering: 1) Høst af frø og efterfølgende såning, og 2) transplantation af planteblokke eller apikale skud. Der er brugt store ressourcer på at få reetableret havgræsser på internationalt plan (USA, Australien, Asien, Spanien, Italien, Holland, Portugal, Sverige etc.). Der er få eksempler på succes med udplantning af ålegræs /5/, men flest eksempler på, at aktiviteterne ikke er lykkedes. De positive erfaringer har synliggjort, at transplantations-succes primært øges, hvis reetableringsaktiviteten udføres i stor skala /6/.

I det danske NOVAGRASS forskningsprojekt har det indtil videre ikke været muligt at reetablere ålegræs ved frøspredning på lavt vand, pga. tilstedeværelse af en lang række presfaktorer /7/. Der er derimod dokumenteret etableringssucces ved at anvende transplantationsteknikker i Odense Fjord, Horsens Fjord og Roskilde Fjord på egnede lokaliteter. Der ligger dog stadigvæk en udfordring i at få de lokale succeser op i en betydende fjordskala.

Ålegræs kan ses som et virkemiddel, men det er også en indikator for miljøtilstanden, hvorfor ålegræs forvaltningsmæssigt er meget vigtig. Derfor er der også store forventninger til forskningsprojektet NOVAGRASS som i 2017 forventes at komme med løsninger til, hvordan vi kan hjælpe ålegræsset til at sprede sig i de danske marine vandområder.

### Andre potentielle marine virkemidler

Opgavebeskrivelsen fra Partnerskabet lød på en gennemgang af de 4 "traditionelle" marine virkemidler. Derudover blev det besluttet at inkludere 5 potentielle marine virkemidler, som muligvis i fremtiden kan få en betydning for at fjerne eller tilbageholde næringsstoffer:



Figur 4. Ålegræs. Foto: Peter Bondo Christensen

Sandcapping, iltning, udlægning af muslinge-kulturbanker, beskyttede havområder og tilsætning af aluminium.

**Sand-capping:** I mange af vore lavvandede fjorde er store arealer i dag så mudrede, at ålegræs ikke kan forankres og derfor har svært ved at etablere sig. Ved at stabilisere sedimentet gennem sand-capping kan de fysiske forhold forbedres og give mulighed for, at ålegræsfrø, der spredes naturligt, kan finde spiringssteder, eller ålegræsbede kan genskabes som beskrevet i forrige afsnit. Forsøg i stor-skala mangler for endeligt at kunne verificere virkemidlets fysiske, biogeokemiske og biologiske potentiale.

**Iltning:** Et meget begrænset antal vandområder i Danmark kan potentielt påvirkes positivt ved at tilføre ilt direkte til bundvandet. Metoden har været benyttet med varierende succes i enkelte dybe søer og i enkelte forsøg i Østersøen. Der arbejdes pt på at igangsætte et modelleringsprojekt, der skal belyse de kvantitative potentielle effekter ved gennem iltning af bundvandet i Mariager Fjord at immobilisere kvælstof og fosfor. Resultaterne herfra forventes i givet fald i løbet af 2017.

**Muslinge-kulturbanker:** Små blåmuslinger i tætte bestande kan flyttes fra et område med dårlige livsbetingelser, f.eks. iltvind, til i et andet område med bedre vækst- og overlevelsesbetingelser, hvor de udlægges i afgrænsede plots – såkaldte kulturbanker. Muslingerne kan efterfølgende fiskes, når de har nået den rette størrelse til konsum. De bedre livsbetingelser vil stimulere vækst, og der vil ved en efterfølgende høst af muslingerne ske en nettojernelse af næringsstoffer.

**Beskyttede havområder:** Havområder, som beskyttes mod fysiske forstyrrelser som fx trawlfiskeri, klapning, o.lign. aktiviteter, vil opnå en række gavnlige miljøeffekter. Et af de primære formål med beskyttede havområder er at genskabe/sikre biodiversiteten, herunder diversiteten af bentisk makrofauna og flora. Udover at have direkte påvirkning på de biologiske kvalitetselementer vil en uforstyrret havbund med et diversitetsrigt samfund sandsynligvis også bidrage til at binde næringsstoffer i længere tid, ligesom bioturberende organismer sandsynligvis kan medvirke til en øget denitrifikation og binding af fosfor i

sedimenterne.

**Aluminium:** I søer har fældning af fosfor med aluminium været benyttet med varierende succes. Derfor blev aluminiumtilsætning diskuteret som potentielt marint virkemiddel. Det blev imidlertid vurderet, at aluminiumtilsætning ikke kan anvendes som marint virkemiddel, idet 1) aluminium er potentielt toksisk og derfor ikke bør anvendes i områder, hvor det kan udvaskes/spredes, og 2) der kan ikke identificeres marine områder, hvor aluminium kan betragtes som et egnet virkemiddel, fordi det bl.a. kræver, at den interne fosforbelastning har afgørende betydning for miljøtilstanden.

## Afslutning

Der er både spændende og debatskabende perspektiver i at kunne supplere de terrestriske virkemidler med virkemidler, der har direkte effekt i fjordene, det kystnære miljø og havet. Der er dog stadig et stykke vej, før marine virkemidler kan betragtes som et operationelt forvaltningsværktøj til forbedring af den marine miljøtilstand. Udover de fysiske/biologiske udfordringer, som er skitseret i denne artikel, skal de økonomiske-, sociale- og samfundsmæssige forhold også afklares, før det kan vurderes, om et givent marint virkemiddel er det bedste valg til forbedring af miljøkvaliteten i et specifikt vandområde. Der foregår imidlertid en del forskning på området, og forventningerne er, at nogle af de marine virkemidler kan komme i spil frem mod den 3. vandplansperiode.

KAREN TIMMERMANN, seniorforsker og sektionsleder ved institut for Bioscience, Aarhus Universitet. Arbejder bl.a. med økosystem modellering, eutrofiering og miljøeffekter af marine virkemidler. Email: kt@bios.au.dk

ANDERS ERICHSEN, senior projekt manager, DHI. Arbejder med økosystem modellering, eutrofiering og miljøeffekter. Email: aer@dhigroup.com

ANNETTE BRUHN, forsker ved institut for Bioscience, Aarhus Universitet. Arbejder primært med dyrkning og udnyttelse af tang til fødevarer, foder, bioraffinering og som marint virkemiddel. Email: anbr@bios.au.dk

HENRIK FOSSING, seniorforsker, sektionsleder og leder af det

marine fagdatacenter ved institut for Bioscience, Aarhus Universitet. Arbejder bl.a. med biogeokemiske processer i havbunden, næringsstofkredsløb og marine virkemidler. Email: hfo@bios.au.dk

JENS KJERULF PETERSEN, Professor og sektionsleder ved Dansk Skaldyrcenter, DTU-Aqua. Arbejder primært med kystøkologi, opdræt af muslinger og makroalger, samt konsekvensanalyser af muslingefiskeri. Email: jekjip@aquadtu.dk

MOGENS FLINDT, Lektor og forskningsleder på Biologisk Institut, Syddansk Universitet. Arbejder bl.a. med næringsstofbelastning af akvatiske økosystemer og udvikling af virkemidler til retablering af gode miljøforhold. Email: Mrf@biology.sdu.dk

## Reference List

- (1) Timmermann K, Boye AG, Bruhn A, Erichsen AE, Flindt MR, Fossing H et al. Marine Virkemidler: Beskrivelse af virkemidlernes effekter og status for viden. 2016. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi.
- (2) Petersen JK, Hasler B, Timmermann K, Nielsen P, Torring DB, Larsen MM et al. Mussels as a tool for mitigation of nutrients in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 2014; 82(1-2):137-143.
- (3) Stenrevsrapport. Møhlenberg F, Andersen JA, Murray C, Christensen PB, Dalsgaard T, Fossing H, Krause-Jensen D. (2008) Stenrev i Limfjorden: Fra naturgenopretning til supplerende virkemiddel. Faglig rapport. By- og Landskabsstyrelsen, Skov og Naturstyrelsen. 45 pp. + bilag
- (4) Seghetta M, Tørring D, Bruhn A, Thomsen M (2016) Bioextraction potential of seaweed in Denmark — An instrument for circular nutrient management. *Science of The Total Environment* 563–564:513-529. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.010>
- (5) McGlathery KJ, Reynolds LK, Cole LW, Orth RJ, Marion SR, Schwarzchild A. Recovery trajectories during state change from bare sediment to eelgrass dominance. *Marine Ecology Progress Series* 2012; 448:209-221.
- (6) Van Katwijk et al. 2016. Global analysis of seagrass restoration: the importance of large-scale planting. *Journal of Applied Ecology*. Vol 53, 567-578.
- (7) Valdemarsen, T., Canal-Vergés, P, Kristensen, E, Holmer, M., Kristiansen, M.D. & Flindt, M.R. 2010. Vulnerability of *Zostera marina* seedlings to physical stress. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 418: 119-130.