Sammen om pladsen på havet

Danmark er omgivet af hav med gode forhold for vindenergi, og frem mod 2030 bliver Danmarks energiproduktion fra havvind mere end firedoblet. Samtidig vokser efterspørgslen på fødevarer med lavt klimaaftryk, og de kan blandt andet produceres i havet.
Men havmiljøet er under stort pres. Kan udfordringerne omkring fossilfri energiproduktion, fødevarer og havmiljø løses samtidig?

Marie Maar, Andreas Holbach, Teis Boderskov, Lone Thybo Mouritsen, Marianne Thomsen & Annette Bruhn

Multi-use på havet

Der er pres på verdens ressourcer med en voksende befolkning og øget behov for både energi, fødevarer og materialer samtidigt med, at der sker klimaforandringer og et fald i biodiversitet. Det skaber konkurrence om pladsen til havs mellem produktion af ressourcer og beskyttet natur – fuldstændig ligesom konkurrence om pladsen på land.

En relativ ny og vigtig spiller på havet er store vindmølleparker. I Klimaaftale om grøn strøm og varme 2022 er der varslet en femdobling af produktionen af energi fra havvind i Danmark /1/, og i den nye Havplan for Danmark er store havområder udlagt til produktion af havvind /2/. Den samme udvikling ser vi i vores nabolande.

En havmøllepark producerer fossilfri energi fra havvind, men den optager samtidigt plads på havet. På grund af sikkerhedsforanstaltninger i parkerne, har områderne mellem havmøllerne indtil nu været meget restriktivt forvaltet, og andre typer af anvendelse af områderne har været begrænset. Men med den planlagte storskala udbygning af havvind giver det derfor mening at undersøge, om de udlagte havvindsområder kan indgå i en såkaldt "multi-use" sammenhæng med andre aktiviteter, hvor man bruger det samme område til flere formål.

Multi-use adskiller sig fra sameksistens ved, at man ikke kun deles om pladsen, men at der også sker et samarbejde mellem de forskellige aktører i området /3/. Det betyder, at man deles om infrastruktur (fartøjer, mandskab) og data (havmiljø, bølger, meteorologi) for at reducere både omkostninger og ressourceforbrug, og herved også klimaaftryk.

Figur 1. Udlægning af et dyrkningsanlæg til testproduktion af tang og muslinger i Vattenfalls havvindmøllepark ved Krigers Flak ud for Møn i november 2023 (Fotograf: Mads Hecter, Kerteminde Seafarm).

Da især kystzonen er under pres, vil det give mening at flytte nogle aktiviteter offshore og samle dem i f.eks. havmølleparker, og dermed frigøre andre havområder til f.eks. naturbeskyttelse. Eksempler på multi-use aktiviteter i havmølleparker kan være fødevareproduktion af muslinger og tang (såkaldt lavtrofisk akvakultur), økoturisme, skånsomt fiskeri med passive redskaber, naturgenopretning, miljøovervågning og naturbeskyttelse. I denne artikel fokuserer vi på dyrkning af sukkertang og blåmuslinger i havvindmølleparker (se figur 1) baseret på en nylig publikation i et internationalt tidsskrift /4/.

Potentiale for fødevare- og foderproduktion

Lavtrofisk akvakultur er opdræt af muslinger og tang, der ikke skal fodres, og som dyrkes i flydende akvakulturanlæg. Tang optager næringsstoffer, og muslinger filtrerer mikroalger fra vandet. Den høstede biomasse kan bruges direkte i fødevarer eller som foder til fisk, grise, høns - og sågar i kattemad – i stedet for fiskemel.

Høstpotentialet for tang og muslinger afhænger af en række miljøforhold såsom saltholdighed, temperatur, mængden af mikroalger, næringsstofmængde og vandudveksling.

Simple rumlige modeller for den danske del af Nordsøen, samt de indre danske farvande, er brugt til at beregne, hvor meget man kan høste per dyrket areal (hektar) af blåmuslinger og sukkertang. Kortene i figur 2 viser, at det største potentiale findes ved høj saltholdighed, da lav saltholdighed under 16 promille hæmmer væksten af både blåmuslinger og sukkertang (se figur 2). I modellering af høstpotentiale for sukkertang blev kun anvendt en afhængighed af saltholdighed. For muslingers høstpotentiale viser modellen udover gradienten i saltholdighed, at det største potentiale findes ved kysterne, hvor der er flest mikroalger. Desuden blev høstpotentialet beregnet både for kommercielt muslingeopdræt, hvor man dyrker færre og større muslinger til konsum, og for såkaldte 'miljømuslinger', hvor man dyrker flere og mindre

Tabel 1. Beregnet potentiel årlig høst af muslinger og tang indenfor offshore havmølleparker i de 3 områder vist i figur 2. Tabellen viser arealet af eksisterende og planlagte havmølleparker indtil 2030, salinitet (gennemsnit ± SD), og modelresultater (gennemsnit ± SD) af den arealspecifikke høst (målt som vådvægt=VV) af blåmuslinger (kommercielt opdræt ved salinitet >16, miljømuslinger med højere individtæthed ved salinitet <16 promille), sukkertang, og samlet for muslinger og tang med en ligelig arealfordeling), og til sidst den totale høst i 10 % af de eksisterende og planlagte havmølleområder /4/.

Areal	Havvinds areal (k-hektar)	Salinitet (promille)	Muslinge høst (tons VV/hektar)	Sukkertang høst (tons VV/hektar)	Samlet høst per areal (tons VV/ hektar)	Total høst (k-tons VV)
Nordsøen	169	33,0 ± 0,8	16 ± 3	18 ± 0	17 ± 1	290
Bælthavet	36	21,0 ± 2,0	18 ± 2	16 ± 2	17 ± 1	62
Vestlige Østersø	120	9,1 ± 1,6	33 ± 5	5 ± 1	19 ± 3	226
Alle	325		22 ± 14	13 ± 6	18 ± 3	578

muslinger med det formål at fjerne flest mulige næringsstoffer fra havet. Miljømuslinger kan bruges til foder.

Høstpotentialet er beregnet specifikt for områder med eksisterende havvindmølleparker eller planlagt havvindsudbygning indtil 2030. Det samlede havvindsområde svarer til 325 k-hektar, hvor vi antager at 10 % vil blive brugt til lavtrofisk akvakultur (svarende til 46.000 fodboldbaner). Det gennemsnitlige arealspecifikke høstpotentiale i disse områder var 18 tons vådvægt per hektar (med ligelig fordeling mellem muslinger og sukkertang) svarende til en total høst på 578 k-tons per år (se tabel 1). Den nuværende høst af sukkertang og blåmuslinger var fra 2020-2022 henholdsvis 8-22 tons og 8-10 k-tons vådvægt pr år.

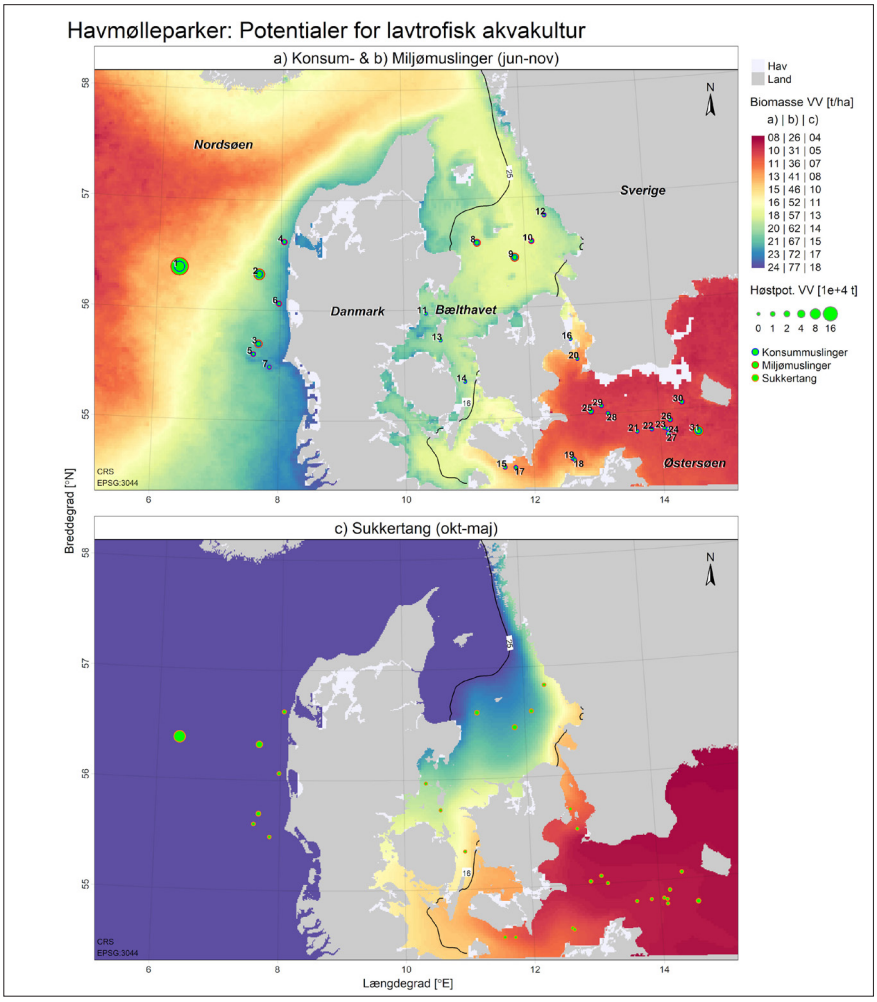
Det betyder, at der umiddelbart ligger et stort uudnyttet multi-use potentiale i at kombinere energiproduktion i havvindmølleparker med lavtrofisk akvakultur. En betydelig udvidelse af markedet for tang og muslinger vil kræve en ændring af danskernes kostvaner mod et større indtag af disse fødevarer, samt en større industriel udnyttelse af tang og muslinger til f.eks. foder.

Betydning for havmiljøet og klimaet

Lavtrofisk akvakultur leverer ikke alene økosystemtjenester (de bidrag, som økosystemerne giver til menneskers velbefindende) i form af fødevarer og foder, men også andre typer økosystemtjenester, som er vigtige for havmiljøet, klimaet og i sidste ende for mennesker. I de fleste danske havområder er der unaturligt mange næringsstoffer i vandet, og det skaber mikroalgevækst og iltsvind. Ved at høste muslinger og tang fjernes næringsstoffer fra havet, og på den måde kan dyrkning af tang og muslinger i havet bidrage til et bedre havmiljø.

Den årlige mængde af fjernede næringsstoffer ved høst af 578 k-tons muslinger og tang svarer til 6.000 tons kvælstof (N) og 400 tons fosfor (P). Desuden vil dyrkning af tang og muslinger i det samme havområde være fordelagtigt, fordi de har forskellige dyrkningsperioder. Tang optager næringsstoffer fra oktober til maj, hvor tangen høstes, mens muslinger typisk fjerner næringsstoffer fra juni til november eller senere. Muslingernes filtration af mikroalger og andre partikler medfører desuden en øget klarhed af vandet, så der kommer mere lys til havbunden, hvilket er godt for havbundens planter, bl.a. ålegræs.

Det er dog vigtigt, at økosystemets bæreevne ikke overskrides med negative konsekvenser for de naturlige planter og dyr i området. Det kan fx ske, hvis der anlægges en større muslingeproduktion i et område, end områdets produktion af mikroalger kan understøtte. I det tilfælde vil muslingerne 'kæmpe om føden' med det naturlige dyreplankton, og det kan i sidste ende have en negativ effekt på



Figur 2. Høstpotentialet for marine ressourcer indenfor havvindmølleparker er vist (10x k-tons vådvægt/år) som grønne punkter opdelt efter a) kommercielt muslingeopdræt til fødevarer, b) miljømuslinger og c) sukkertang. De grønne punkter er angivet med et ID-nummer sorteret efter faldende gennemsnitlig saltholdighed i havvandet (#1 til #31). Baggrundsfarverne viser det arealspecifikke høstpotentiale (tons vådvægt/hektar). De fuldt optrukne linjer angiver saltholdighedsgrænserne mellem de tre områder: Nordsøen (>25 promille), Bælthavet (i midten, 16-25 promille) og vestlige Østersø (8-16 promille). Miljømuslinger dyrkes med en højere individtæthed end for opdræt til konsum. Sukkertang antages at vokse optimalt ved en saltholdighed over 25 promille, men andre vækstbestemmende faktorer er ikke medtaget her. Figuren er gengivet fra /4/.

Projekterne WIN@sea og OLAMUR
To nye store projekter samarbejder omkring udvikling og test af multi-use på havet i Danmark: Projekterne WIN@sea og OLAMUR. Projekterne skal udarbejde forslag til retningslinjer, som myndighederne fremover kan bruge i forbindelse med anlæg på havet. WIN@sea er støttet af VELUX fonden og Aage V. Jensen NATURFOND, mens OLAMUR er et EU light house projekt. Projekterne arbejder sammen om et testanlæg i Skandinaviens største havvindpark, Danish Kriegers Flak (DKF), på Kriegers Flak i Østersøen ca. 15-40 kilometer øst for Møn. Det svenske energiselskab Vattenfall ejer og driver DKF, hvis 72 møller kan levere op til 604 mW. I et område på 18 hektar i parkens sydvestlige hjørne ligger nu et forsøgsanlæg med tilladelse til dyrkning af tang og muslinger. Foreløbig er der udsat fire forskellige hjemmehørende tangarter (sukkertang, søsalat, søl og savtang), og liner er gjort klar til muslingeproduktion. Data produceret i projekterne skal indgå i modeller til at designe og placere fremtidige multi-use anlæg, så man opnår størst mulig produktion af tang og muslinger, og mest positiv effekt på havmiljøet. Projekterne tester samtidig grænser for produktion ved den lave saltholdighed i Østersøen, og styrker herved modellerne, som giver bedre mulighed for at udpege egnede områder både i planlægningen af, hvor fremtidige havvindparker skal ligge, og hvor produktion af tang og muslinger skal anlægges indenfor en vindpark. Dyre-og plantelivet på møller og erosionsbeskyttelse ved vindmøllerne på Kriegers Flak skal kortlægges og sammenlignes med dyre-og plantelivet på naturlige rev i området for at undersøge, hvordan havmøllerne påvirker biodiversiteten. I projektet undersøges desuden, hvordan havmølleparken kan bruges som platform for måleudstyr, som kan bidrage med en bedre overvågning af havmiljøet. Det omfatter blandt andet målinger af strøm, bølger, saltholdighed og temperatur, men også udvikling af udstyr som kan tælle forekomsten af gopler som vandmænd og brandmænd. Multi-use protokoller for samarbejde mellem aktører i området er beskrevet og sat i operation. Samarbejdspartnerne omkring anlægget på Kriegers Flak er Aarhus Universitet, Vattenfall, Danmarks Tekniske Universitet, Kerteminde Seafarm, Kattegatcenteret og Københavns Universitet. WIN@sea formidles bredt blandt andet gennem udstilling og undervisning i Kattegatcentret, inddragelse af borgere i prøvefiskeri og ved deltagelse i events som Folkemødet og Naturmødet. Læs mere her: https://winatsea.com/ og https://olamur.eu/.

fiskeriet. Når muslingers fækalier synker ned på bunden, kan de desuden bidrage til lokal ophobning af organisk stof, eller anlæggene kan udskygge naturlige populationer af ålegræs og makroalger på havbunden.

Så længe tang- og muslingeanlæg skaleres efter forholdene og placeres i strømfyldte områder, er de positive effekter på basinskala dog større end de mulige negative lokale effekter, og muslingefiltrationen bidrager til en mindre samlet udsynkning af organisk stof på basinskala /5/. Den økologiske bæreevne forventes således at være større offshore end i kystnære områder med mindre vandudveksling.

Der er også andre positive effekter af tang- og muslingeproduktion. Tang producerer ilt og optager CO_2 ved fotosyntese, og kan derfor modvirke forsuring af havet, mens muslinger indbygger CO_2 i deres skaller og optager organisk kulstof, når de æder mikroalger. Det antages, at CO_2 indbygget i de høstede muslingeskaller fjernes permanent, når skallerne f. eks. anvendes til byggematerialer eller jordopfyldning, mens CO_2 og næringsstoffer indbygget i "de spiselige dele" frigives igen, når muslinger og tang f.eks. spises som fødevarer eller foder. Dvs. at lavtrofisk akvakultur også kan bruges til at opsamle og 'genbruge' overskud af næringsstoffer og CO_2, når det optages fra havet og føres tilbage på land, hvor det kan indgå i ny produktion af fødevarer, foder og materialer (se figur 3). Dermed bidrager lavtrofisk akvakultur til den cirkulære bioøkonomi og den grønne omstilling imod en mere bæredygtig produktion af fødevarer med et lavt miljø- og klimaaftryk.

Biodiversitet

Havmøllernes fundamenter beskyttes mod erosion af store stenbunker under vandet. Både fundamenter og sten skaber nye levesteder for havets dyre - og planteliv, men kan samtidig ændre de eksisterende bundforhold specielt i områder, hvor der ikke oprindeligt var sten og andre faste strukturer, men f.eks. sand eller blød bund.

Akvakulturanlæg vil også fungere som leve- eller skjulested for andre – også uønskede – marine arter, og konsekvenserne for biodiversiteten er endnu ukendte. På den ene side kan de nye habitater skabe bedre fødeforhold for krabber, fisk og havpattedyr, men på den anden side kan det ske på bekostning af de oprindelige sand- eller blødbundsarter. Desuden kan der være en risiko for en hurtigere spredning af ikke-hjemmehørende arter i en såkaldt trædestenseffekt, hvor nye hårdbundsarter (f.eks. tang, krebsdyr, mosdyr, muslinger) transporteres med havstrømme til møllefundamenter og akvakulturanlæg, sætter sig fast og med tiden frigiver larver/skud/fragmenter, som igen spredes videre ind i nye områder med risiko for at påvirke de oprindelige arter negativt. Påvirkninger af biodiversiteten undersøges ved hjælp af bl.a. eDNA, modellering og undervandsoptagelser i en række projekter under Center for Grøn Omstilling og Marin Økologi ved Aarhus Universitet (faktaboks 1 og 2).

Fremtidige udfordringer og forudsætninger for multi-use

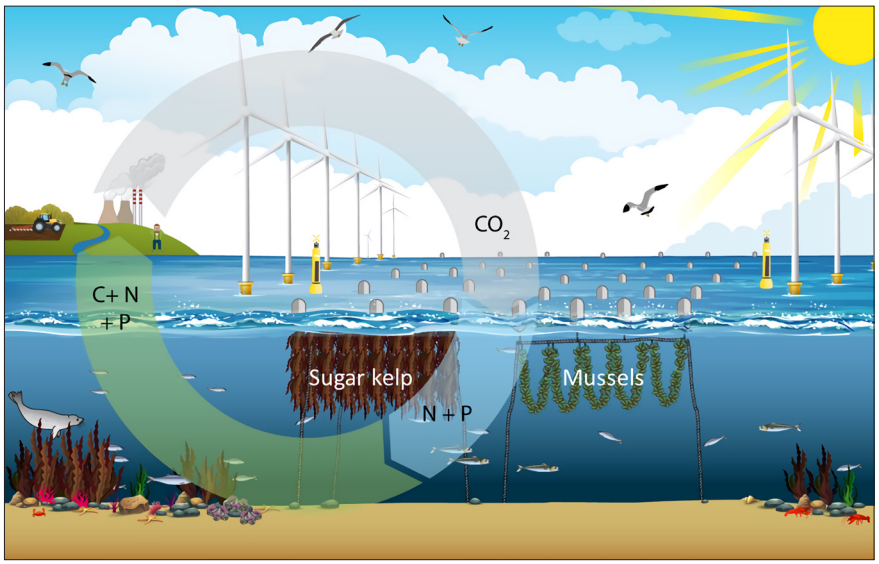
Hvis multi-use i havvindmølleparker skal udbredes, kan lovgivning om tilladelser til multi-use udvikles, så multi-use skal evt. indgå som et kriterie i fremtidige liciteringer af havvindmølleparker.

Samtidig er udvikling af mere kosteffektive dyrkningssystemer – egnede til havområder med høj grad af eksponering og bølgeenergi – nødvendigt for at undgå fysisk skade på anlæggene og tab af dyrket biomasse, og samtidig sikre fuld driftssikkerhed i en offshore multi-use kontekst.

Samspil mellem de dyrkede muslinger og tangarter og andre arter kan også give udfordringer. I nogle områder kan edderfugles prædation på muslinger f.eks. forårsage betydeligt tab af biomasse, og afværgemetoder bør videreudvikles og afprøves. I offshore anlæg på dybt vand, hvor der ikke er naturlig tilgang af spat, kan det være nødvendigt at overføre muslingespat fra kystnære lokaliteter, og det kan skabe risiko for spredning af sygdomme, parasitter og epifytter.

For at udvikle tangdyrkning er der desuden behov for optimering af tangdyrkningsanlæg med fokus på offshore-dyrkning, selektiv avl af bl.a. sukkertang mod økotyper med bedre vækst ved lavere saltholdighed og udforskning af andre, kommercielt interessante tangarter såsom søl og søsalat.

Uenighed om anvendelse af et område kan også skabe udfordringer, og den sociale bæreevne af et område beskrives som mængden af aktiviteter, herunder akvakultur, der kan finde sted i et specifikt område uden negative sociale konsekvenser. En detaljeret fysisk planlægning af multi-use kræver således, at man igangsætter diskussioner med forskellige interessenter, herunder havvindmølleoperatørerne, som en vigtig del af en økosystembaseret forvaltning. Det forventes dog, at



Figur 3. Konceptuel figur af multi-use, der kombinerer havmølleparker med lavtrofisk akvakultur. Multi-use i havmølleparker med opdræt af blåmuslinger og sukkertang kan levere emissionsfri energi, regenerativ produktion af muslinger og tang, samt økosystemtjenester i form af fangst og udnyttelse af CO_2 og næringsstoffer. Konceptet bidrager dermed til den cirkulære bioøkonomi, hvor næringsstoffer og CO_2 'genbruges', når det optages fra havet og indgår i produktion af fødevarer, foder og materialer. Figuren er gengivet fra /4/.

konfliktniveauet vil være lavere offshore, fordi der hér er færre brugere af havet, længere afstand til land og en højere økologisk bæreevne. Dog vil fiskeri med bundslæbende redskaber sandsynligvis fortsat være forbudt i havvindmølleparkerne og potentielt erstattes af lystfiskeri og passivt fiskeri.

Den økonomiske bæreevne ved at udvide produktionen af og markedet for blåmuslinge- og sukkertangprodukter skal også overvejes, da en forøgelse af høsten sandsynligvis vil påvirke prisen negativt på det globale marked. Forretningsplaner for lavtrofisk akvakultur i havvindmølleparker skal bl.a. inddrage markedsværdien af slutprodukterne, omkostningerne forbundet med transport fra offshore områder med forøget brændstofforbrug som konsekvens, men også potentiel deling af visse driftsomkostninger med andre aktører/brugere.

Generelt er lavtrofisk akvakultur af regenerativ karakter, og leverer en række vigtige økosystemtjenester (som nævnt tidligere), og både tang og muslinger har et betydeligt lavere CO_2-fodaftryk end landbaserede protein- og planteprodukter /6/. I hvilket omfang det endelige klima- og miljømæssige fodaftryk vil ændres på grund af længere transport til offshore-lokationer eller deling af logistik og infrastruktur mellem flere brugere (f.eks. deling af fartøjer og mandskab, opladning af elektriske både, overvågning ved hjælp af robotter), er stadig ved at blive testet i de nævnte projekter (faktaboks 1).

Hvis en fremtidig storskala produktion af tang og muslinger i havvindmølleparker skal realiseres, kræver det også en betydelig fremgang i afsætning for produkterne. Produktionen af blåmuslinger er pt i fremgang, og næsten tidoblet i de sidste 10 år, mens produktionen af tang ikke er øget i samme periode, hvilket skyldes både udfordringer i produktionen, men også i høj grad manglende afsætning. Derfor kræver det umiddelbart en stor tilpasning af markedet særligt for tang, hvis en fremtidig multi-use tilgang skal blive en succes.

Bæredygtighedsmålene

Samlet set er der et stort uudnyttet potentiale for at implementere multi-use i havområder, hvor man f.eks. kombinerer lavtrofisk akvakultur med havvind. Dette koncept understøtter flere af FN's 17 bæredygtighedsmål, især nr. 2 (stop sult), nr. 7 (bæredygtig energi), nr. 12 (ansvarligt forbrug og produktion), nr. 13 (klimaindsats), nr. 14 (livet i havet) og nr. 17 (partnerskaber for handling). Der er brug for nytænkende, holistiske og integrerede tilgange for at fremskynde en bæredygtig udvikling og genoprette havets sunde miljøtilstand.

Center for Grøn Omstilling og Marin Økologi

Havvindmøller er et vigtigt element i den grønne omstilling. Med politiske aftaler om en væsentlig forøgelse af antallet af havvindmøller vil der skulle bygges markant flere nye havvindmølleparker. Det er afgørende, at denne udvikling ikke sker på bekostning af naturen og biodiversiteten. Der er derfor behov for dataindsamling, som kan bruges til miljøvurderingerne forud for konstruktionen af havvindmølleparkerne. Center for Grøn Omstilling og Marin Økologi (AU Ecoscience – Center for Green Transition and Marine Ecology (GTM)) er dannet for at bidrage med dette.

De projekter, der ligger under GTM, skal belyse og afdække nogle af de vigtigste problemstillinger i forhold til den samlede udbygning af havvind. Det er desuden afgørende, at de kumulative effekter på naturen belyses, og GTM skal bidrage til udarbejdelsen af mere samlede og overordnede vurderinger af effekter, som kan anvendes til at pege på problemstillinger og afværgetiltag, så der sikres størst mulig hensyntagen til natur- og miljøforhold. Professor og Sektionsleder Jacob Nabe-Nielsen ved Aarhus Universitet, Afdeling for Ecoscience, er centerleder.

Referencer

/1/ Regeringen. 2022. Klimaaftale om grøn strøm og varme 2022.

/2/ Søfartsstyrelsen, Havplansektretariatet 2023. Havplanredegørelse. https://havplan.dk/content/api/latest/files/fec07ca1-9b74-40c0-a271-e60aa7d920aa/file

/3/ Schupp, M.F., Bocci, M., Depellegrin, D., Kafas, A., Kyriazi, Z., Lukic, I., Schultz-Zehden, A., Krause, G., Onyango, V. & Buck, B.H. 2019. Toward a Common Understanding of Ocean Multi-Use. Frontiers in Marine Science 6:165. doi: 10.3389/fmars.2019.00165

/4/ Maar, M., Holbach, A., Boderskov, T., Thomsen, M., Buck, B., Kotta, J., Bruhn, A. 2023: Multi-use of offshore wind farms with low-trophic aquaculture can help achieve global sustainability goals. Communications Earth & Environment, 4:447. https://www.nature.com/articles/s43247-023-01116-6

/5/ Maar, M., Larsen, J., Schourup-Kristensen, V., Taylor, D. 2023. Nutrient extraction and ecosystem impact by suspended mussel mitigation cultures at two contrasting sites. Sci Tot Environ 888: 164168. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164168

/6/ Gephart, J.A., Henriksson, P.J.G., Parker, R.W.R. et al. Environmental performance of blue foods. Nature 597, 360–365 (2021). https://doi.org/10.1038/s41586-021-03889-2

Marie Maar, PhD, Professor MSO, Sektionsleder, afdeling for Ecoscience, Aarhus Universitet, mam@ecos.au.dk

Andreas Holbach, PhD, Forsker, afdeling for Ecoscience, Aarhus Universitet, anho@ecos.au.dk

Teis Boderskov, PhD, akademisk medarbejder, afdeling for Ecoscience, Aarhus Universitet. tebo@ecos.au.dk

Lone Thybo Mouritsen, forskningsleder, Kattegatcentret, lm@kattegatcentret.dk

Marianne Thomsen, PhD, professor, afdeling for Design & Consumer Behaviour, Københavns Universitet, mth@food.ku.dk

Annette Bruhn, PhD, Seniorforsker, afdeling for Ecoscience, Aarhus Universitet, anbr@ecos.au.dk