

Analyse af cirkulære potentialer i den blå bioøkonomi

- Med fokus på områderne Skive Fjord, Lovns Bredning, Hjarbæk Fjord og Risgårde Bredning



Udarbejdet af **Blue Research** for **Energibyen Skive Kommune**



Projektet er finansieret af Interreg Øresund-Kattegat-Skagerrak projektet CISKA. Projektet skal udvikle cirkulære industrielle symbioseparker i Skandinavien, som navnet også er en forkortelse af. For projektet drejer det sig nærmere betegnet om GreenLab Skive og Esval Miljøpark i Nes Kommune i Norge. **Et af CISKA projektets overordnede mål er desuden at udvikle nye cirkulære forretningsmodeller og denne rapport er med til at danne grundlag for en sådan udvikling.**

Rapport godkendt af Skive Kommune den 30. Juni 2022

Rapporten er udarbejdet af

Per Dolmer

Blue Research ApS

Tvæervej 57

DK-2830 Virum



CVR: 41900296

Tlf.: +45 21347781

Per.Dolmer@blueResearch.dk

Kort om forfatteren:

Per Dolmer har omfattende forsknings- og rådgivningserfaring i forhold til bæredygtig etablering og drift af opdræt af muslinger og tang, udvikling af nye havbrugsprojekter, udvikling af projekter om landbaseret fiskeopdræt, udarbejdelse af miljødokumentation i forhold til fiskeri og akvakultur, og udarbejdelse af udviklingsstrategier. PD's forskning og rådgivning har understøttet en udvikling af forvaltning og produktionsmetoder i fiskeri og akvakultur. PD har omfattende kendskab til kystnære økosystemer og har mere end 30 års erfaring med studier af skaldyrs bestandsdynamik, kortlægning af habitattyper, undersøgelser af effekter af muslingefiskeri og udvikling af blå bioøkonomi.

Per Dolmer har været ansat 19 år som forsker og seniorrådgiver hos DTU Aqua samt 8 år som seniorrådgiver hos Orbicon og WSP. PD etablerede i 2020 virksomheden Blue Research ApS, der rådgiver om udvikling af blå bioøkonomi.

1. INDHOLDSFORTEGNELSE

1.	Indholdsfortegnelse	3
2.	Resume med udgangspunkt i Skive Kommune.....	5
3.	Indledning	10
	FORMÅLET MED NÆRVÆRENDE RAPPORT	14
4.	Rapportens Arealafgræsning	16
	OMRÅDERNES REGULERING I FORHOLD TIL VANDOMRÅDEPLANERNE	17
	OMRÅDERNES REGULERING I FORHOLD TIL NATURA 2000 OG NATUR- OG VILDTRESERVATER	19
5.	Blåmuslinger og stillehavsøsters.....	20
	BLÅMUSLINGERNES BIOLOGI	20
	LANGLINER.....	20
	DYRKNING PÅ NET	21
	BUNDKULTUR BLÅMUSLINGER.....	22
	NUVÆRENDE TILLADELSER OG ANSØGNINGER	22
	BARRIERER FOR MUSLINGEOPDRÆT	23
	FISKERI AF BLÅMUSLINGER.....	24
6.	Økosystemservices af blåmuslinger.....	26
	FJERNELSE AF NÆRINGSSTOFFER VED MUSLINGEDYRKNING	26
	FORBEDRET BIODIVERSITET.....	27
	BINDING AF KLIMAGASSER.....	28
7.	Blåmuslingernes bidrag til bioøkonomien	28
	ER TEKNOLOGIEN FOR MUSLINGEPRODUKTION MODEN OG RAMMEBETINGELSERNE PÅ PLADS.....	30
	POTENTIALET FOR FORRETNINGSUDVIKLING	33
	DYRKNING AF STILLEHAVØSTERS	36
	HVORDAN FINANSIERES DEN VIDERE UDVIKLING.....	37
8.	Makroalger.....	38
	MAKROALGERNES BIOLOGI	38
	DYRKNING AF SUKKERTANG	39
	BARRIERER FOR DYRKNING AF SUKKERTANG	40
	FISKERI OG HØST AF MAKROALGER	40
9.	Økosystemservices fra makroalger.....	42
	FJERNELSE AF NÆRINGSSTOFFER	42
	FORBEDRET BIODIVERSITET.....	42
	BINDING AF KLIMAGASSER.....	42
10.	Makroalgerernes bidrag til bioøkonomien	43
	ER TEKNOLOGIEN MODEN OG RAMMEBETINGELSERNE PÅ PLADS.....	46

HVORDAN FINANSIERES DEN VIDERE UDVIKLING.....	47
11. Udplantning af Ålegræs	48
ÅLEGRÆSSETS BIOLOGI.....	48
UDPLANTNING AF ÅLEGRÆS	49
12. Økosystemservices fra ålegræs.....	50
ANALYSE I VIRKEMIDDELKATALOG - FJERNELSE AF NÆRINGSSTOFFER.....	50
FORBEDRET BIODIVERSITET.....	50
BINDING AF KLIMAGASSER.....	50
13. BIDRAG TIL BIOØKONOMIEN fra ålegræs	51
14. Sammenligning af arealanvendelse af blå produktionsmetoder.....	55
15. Udvikling af forretningsmodeller	61
FORRETNINGSMODEL 1: UNDERSÆNKET MUSLINGEOPDRÆT SOM KOMPENSATION OG TIL KONSUM.....	61
FORRETNINGSMODEL 2: UDNYTTELSE AF MUSLINGESKALLER TIL UDVINDING AF CALCIUM	63
FORRETNINGSMODEL 3: DYRKNING AF ÅLEGRÆS TIL SALG AF CO2 KVOTER.....	65
17. Beskrivelse af hvert af de to vandområder.....	68
18. ANNEX I Beskrivelse af Bjørnholms Bugt, Risgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning	69
19. ANNEX II Beskrivelse af Hjarbæk Fjord.	76
20. Referencer.....	83

2. RESUME MED UDGANGSPUNKT I SKIVE KOMMUNE

Denne rapport omhandler potentialet for udvikling af blå bioøkonomi i med dyrkning eller optagning af blåmuslinger og makroalger samt udplantning af ålegræs. Denne form for bioøkonomi tager udgangspunkt i produktion af lavtrofiske arter og har som udgangspunkt en positiv effekt på flere relevante nationale og internationale politikker der omhandler en bæredygtig udvikling. Opdræt af blåmuslinger og makroalger defineres som en regenerativ produktion, dvs. dyrkningen genskaber nogle af de vigtige funktioner marine økosystemer har i forhold til at fremme biodiversitet, binding af næringsstoffer, binding af kulstof osv.

Adgang til sunde og nærende fødevarer er ligeledes kommet højt på dagsordenen, og muslinger og tang kan produceres uden anvendelse af dyr kunstgødning eller fodermidler, og kan ligeledes produceres med et lavt forbrug af energi. En vækst i fødevareproduktionen kan derfor med fordel planlægges som en produktion på havet.

Rapporten ser på potentialet for at udvikle en bæredygtig udvikling i Skive Fjord, Lovns Bredning, Hjarbæk Fjord og Risgårde Bredning der samlet set udgør 2 kystvandområder: Bjørnholms Bugt, Risgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning (157) og kystvandområdet Hjarbæk Fjord (158). De to vandområder har et vandopland, der dækker hovedparten af den centrale del af Jylland. For Skive Fjord, Risgårde, Lovns Bredning samt Bjørnsholm Bugt er der i vandområdeplanen for 2021-2027 er indsatsbehovet opgjort til 739,5 t N. For Hjarbæk Fjord er reduktionskravet sat til ialt 894,6 t N/år. Reduktionskravene er i vandområdeplanen ikke fuldt implementeret, og ifølge Landbrugsaftalen fra oktober 2021, skal der gennemføres en række yderligere analyser, før den fulde indsats implementeres efter 2024. Forligskredsen har således afsat midler til yderligere analyser af kompenserende marine virkemidler, herunder opdræt af muslinger, dyrkning af tang, og udplantning af ålegræs.



Kort der viser de forskellige områder, der indgår i rapporten.

Der er ikke udarbejdet analyser af landbrugets økonomiske tab og udgifter ved implementering af vandområdeplanerne. Der foreligger således ikke analyser af hverken pris for landbruget eller nedgang i produktion af fødevarer eller antallet af arbejdspladser. Ved implementeringen af marine virkemidler som dyrkning af muslinger og makroalger er der mulighed for både at skabe sunde fødevarer og skabe jobs, og dermed kompenserer for en mulig nedgang i fødevarerproduktionen og beskæftigelsen i landbruget, som følge af vandområdeplanerne.

Muslingeopdræt, tangdyrkning og transplantation af ålegræs er tre forskellige virkemidler, der alle er anvendelige i forhold til fjernelse- eller neutralisering af næringsstoffer i det marine miljø. Den samlede vurdering er at det er muligt at anvende alle tre virkemidler (muslinger, tang, ålegræs) i kystvandet Bjørnholms Bugt, Risgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning, hvorimod ingen af de tre virkemidlerne er anvendelige i Hjarbæk Fjord.

Nærværende rapport vil kunne bidrage til et vidensgrundlag, der er relevant i forhold til at have blik på kystvandområderne i forhold til at afprøve nye forvaltningsmetode, herunder at teste de supplerende marine virkemidler, som produktion af muslinger, tang og ålegræs, der kan give en hurtig forbedring af vandkvaliteten i fjorden, og som derfor kan være et vigtigt supplement til landbaserede virkemidler, hvor effekten generelt først vil indtræde fuldt ud fra 5-10 år efter iværksættelse og op til flere årtier, og således sandsynligvis ikke inden for den kommende vandplansperiode.

Dyrkning af blåmuslinger

Blåmuslinger kan både dyrkes og fiskes. Ved en dyrkning kan muslingerne dyrkes på langliner, på net eller som bundkultur. Blåmuslinger er meget effektive til at rense vand ved deres filtration. Muslingerne bidrager i forhold til Vandrammedirektivet både i forhold til at øge vandets klarhed, og til at binde næringsstoffer, der fjernes fra det marine miljø, når muslingerne høstes. Blåmuslingerne betragtes som en "ingeniør-art" idet den opretter habitater og dermed skaber levested for en række andre arter, og dermed fremmer en høj biodiversitet

Med Bekendtgørelse om opdræt af muslinger og østers i vandsøjlen er det ikke muligt at ansøge om nye områder til opdræt af muslinger og østers i vandsøjlen. Et tilsvarende stop for ansøgninger er indført for kulturbankedyrkning af muslinger. Mulighederne for at søge nye tilladelser blev besluttet pga uklarhed over hvilken effekt etableringen af muslingeopdræt har på økosystemet, herunder effekter af det enkelte muslingeopdræt og en kumuleret effekt af flere muslingeopdræt på Natura 2000 områder. I Skive Fjord er der tidligere søgt om 9 nye muslingeopdræt ud over de 9 muslingeopdræt der er i forvejen. I området er der endvidere 4 bundkulturer og et omplantningsområde. De 9 ansøgninger er under sagsbehandling, og undersøgelser viser, at 4 ud af de 9 ansøgninger ikke har negative effekter på Natura 2000 områder eller forekomst af ålegræs og stenrev. Der er således ikke naturmæssige forhold, der kan hindre, at der gives tilladelse til muslingeopdræt i disse fire områder. Denne vurdering understøttes af, at sedimentspredningen pga. de hydrografiske forhold i Skive Fjord er meget lokal omkring muslingeopdrættene i forhold til ved muslingeopdræt andre steder i Limfjorden.

I det Marine Virkemiddelkatalog fra 2020 angives det, at den maksimale produktion i et produktionsområde på 250x750 m på langliner er 1800 t ved en afhøstning i november. Dette svarer til en fjernelse af 0,7-1,4 t N/ha og 0,06-0,09 t P/ha. De tilsvarende værdier er for produktion på net en maksimal produktion på 4.000 t per anlæg og en fjernelse af 1,6-3,0 t N/ha og 0,10-0,17 t P/ha. Prisen for fjernelse af N med muslingeopdræt på net i Skive Fjord vil udgøre 48-64 DKK/kg N. Med etablering af 13 muslingeopdræt, kan der således produceres op til 52.000 t blåmuslinger. Med denne produktion vil der fjernes 731 t N. denne fjernelse svarer til indsatsbehovet i udkastet til vandplanen for 2021-2027 for kystvandet Bjørnsholm Bugt, Risgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning.

Produktion af blåmuslinger bidrager til en øget biodiversitet på flere måder. Hvis vi ser på effekten i et vandområde, en fjord eller en vig, så fjerner muslingerne næringsstoffer og øger vandets klarhed. Begge disse effekter bidrager til at forbedre levevilkårene for havets planter, makroalger og ålegræs. De dyrkede muslinger, hvad enten det er flydende opdræt eller bundkulturer, danner levested for en række arter, der finder skjul eller føde mellem muslingerne. Biodiversiteten i en muslingeproduktion er selvfølgelig påvirket af, at muslingerne regelmæssigt afhøstes, hvorved biodiversiteten nulstilles. Under muslingeopdræt vil der være et nedfald af fækalier og organisk materiale fra muslingerne, og derfor vil man ofte opleve, at der umiddelbart under muslingeopdrættet er en meget lav biodiversitet, og en dominans af arter, der er tilpasset et liv på en bund der er stærkt påvirket af næringsstoffer fra muslingeopdrættet.

Når blåmuslinger vokser, sker der en skaldannelse, hvorved CO₂ bindes og mineraliseres til calciumkarbonat (CaCO₃). Mineralisering af kulstof til fast calciumkarbonat er den mest stabile form for lagring og i modsætning til f.eks. skov vil kulstoffet ikke blive frigivet igen, hvis skallerne opbevares hensigtsmæssigt eller nyttiggøres ved f.eks. indstøbning i beton.

En produktion af blåmuslinger kan anvendes til fødevarer eller til foderproduktion. Hvis muslingerne er af høj kvalitet, vil den bedste pris kunne opnås på et fødevaremarked, hvorimod muslinger der ikke kan sælges som fødevarer kan afsættes som foderprodukt, anvendes til bundkultur, eller udlægges til habitatrestaurering ved gendannelse af naturlige muslingebanker og som biofiltre, alt efter markedets betalingsvilje. Da de sidstnævnte anvendelsesmetoder har stigende efterspørgsel, er der usikkerhed for, om der inden for en kortere årrække vil blive etableret en kommerciel forarbejdning af muslinger til foder.

Muslinger har ligeledes anden anvendelse. De filtrerende muslinger kan anvendes til forbedring af badevandskvalitet, muslingeskallerne kan anvendes til byggeprojekter, klimaprojekter, vandbehandling, eller til udvinding af calcium. Blåmuslingernes fasthæftelse med byssus til sten og skaller i et vandigt miljø har igangsat udviklingen af lim, der kan hæftvåde flader. Muslinger, der anvendes til rensning af badevand -eller til vandbehandling vil ikke kunne anvendes til fødevarer eller foder.

Der er i 2021 lavet en vidensyntese om muslingeopdræt, og her fremhæves lokal modstand mod visuelle effekter fra muslingeopdræt, samt uklarhed om negative miljømæssige effekter af muslingeopdræt som at være væsentlige barrierer. De fire muslingeopdræt der er ansøgt i Skive fjord, og hvor der ikke vurderes at være negative effekter på naturforhold, er for produktionsformer, hvor muslingeopdrættet undersænkes, således at der ej heller vil være væsentlige visuelle effekter.

Teknologien til muslingeproduktion er veludviklet for en række danske områder. Der arbejdes med udvikling af undersænket muslingeopdræt, og denne teknologi vurderes at være moden inden for to år. Prædation fra edderfugl er et voksende problem, og der bør igangsættes en udvikling af løsninger med henblik på at afværge tab af muslingeproduktion.

Dyrkning af makroalger

Makroalger er de marine planter som også kaldes tang. Makroalger vokser ved vandoverfladen og ned til ca. 30 meters dybde i danske farvande, alt efter havvandets klarhed og dermed hvor langt ned sollyset kan trænge. En af de arter der hyppigst dyrkes i danske farvande, er sukkertang. Ved en dyrkning af sukkertang skal der etableres sporeliner, der kan udhænges i havet, hvor planterne vokser i vinterperioden, og tangen skal høstes i det sene forår, inden andre arter etablerer sig på planterne og forringer kvaliteten. Sporelinerne produceres i et klækkeri. En mulig metode er at indsamle planter, der manipuleres med lys, hvorved deres kønsprodukter modnes og frigives. Sporerne opsamles på liner, der efter en vækstperiode på typisk 6-8 uger i klækkeriet kan udhænges i dyrkningssystemet i havet.

Makroalger kan ligeledes høstes og i forhold til Skive Fjord er det specielt relevant at se på høst af søsalat og blæretang.

Der er ifølge det Marine Virkemiddelkatalog lavet forsøg med dyrkning af sukkertang i Limfjorden, og der kan fjernes henholdsvis 29,3 kg N/ha. I forhold til fosfor fjernes der 3,91 kg P/ha. Prisen for at opsamle kvælstof med dyrkning af sukkertang udgøre fra 3.241 til 7.718 DKK/kg N

eDNA analyser viser at dyrkning af sukkertang har en lille positiv effekt på biodiversiteten. Det er ligeledes uklart i hvilket omfang dyrkning af makroalger har en klimaforbedrende effekt. Ved dyrkningen optages der CO₂, og dermed kan dyrkningen hæve pH, og dermed lokalt modvirke en klimabetinget forsuring. Ved dyrkning af makroalger formes der ikke en permanent biomasse, og der vil således ikke ske en vedvarende opsamling af CO₂.

Makroalger er i Skandinavien en ny fødevare, men den har også en række andre anvendelsesmuligheder. Der udvikles på at udnytte makroalger til foder, til bioraffinering, og til isolering af særlige kemiske stoffer. Makroalger indeholder en række værdifulde stoffer herunder bioaktive stoffer, der har forskellige positive effekter på den menneskelige sundhed bla med anti-tumor effekter, antibakterielle effekter, reduktion i kolesterol, forhøjet blodtryk, anti-diabetes, antiviral effekt. Makroalger er ligeledes interessante som foderingrediens, og der er vist reduceret udledning af klimagassen metan hos køer, der fodres med makroalger.

Teknologien til dyrkning af sukkertang er moden både i forhold til processerne med produktion af sporeliner, klækkeriet og med produktion af biomasse i havet på liner. I forhold til at producere sukkertang til foder eller bioraffinering er der behov for en effektivisering af produktionen, således at flere processer automatiseres.

Der er i 2021 lavet en vidensyntese om opdræt af sukkertang, og her fremhæves bla muligheder for at få tilladelser til opdræt, mangel kvalificeret arbejdskraft, og sikker leverance af sporeliner som en barriere for branchen. Modstand mod udlægning af havområder til private producenter fremhæves ligeledes som en barriere.

Etablering af ålegræs

Ålegræs er en blomsterplante, der har tilpasset sig til livet i saltvand. Planten er afhængig af sollys, og er derfor følsom over for stor produktion af planteplankton eller begroning af hurtigvoksende alger. Pga. plantens følsomhed over for eutrofiering er ålegræs valgt som en indikator for vandkvaliteten i implementeringen af vandrammedirektivet. Der er i disse år stor fokus på at gendanne ålegræsenge i danske kystområder. Ålegræsbede er vigtige økosystemer, der tilbyder en række økosystemtjenester, der har stor betydning for både havet og menneskenes interaktion med havet.

Ålegræsbede binder og tilbageholder næringsstoffer (N, P) og binder ligeledes kulstof. Ålegræs er således effektivt til at binde en del af de næringsstoffer der kommer fra land, samt det kulstof der bidrager til klimaændringer. Ålegræs virker også som et filter, idet vandets hastighed sænkes ved passage gennem et ålegræsbed og derved sedimenteres partikler. Effekten har betydning i forhold til at give klarere vand og mindske kysterosion. Ålegræsbede har en høj biodiversitet idet de er levested for en lang række dyr og planter.

Gendannelse af ålegræsenge kan ske ved udplantning af indsamlede planter eller ved indsamling og udsåning af frø. Metoden med udplantning af indsamlede planter er bedst dokumenteret, men metoden er besværlig og krævende i forhold til højt tidsforbrug.

Ved udplantning af ålegræs sker der en permanent immobilisering af 146 kg N/år og 32 kg P/år per hektar. Prisen for etablering af en hektar ålegræsbed er angivet til 249.086 DKK. Hvis en investering skal afskrives

inden for en vandplansperiode, dvs. frem til 2027, vil den årlige udgift til fjernelse af 146 kg N/ha være ca. 50.000 DKK., svarende til en pris på 342 DKK/kg N. Den tilsvarende pris for P er 1562 DKK/kg P.

Ålegræs er et vigtigt levested for en række organismer, herunder yngel for flere fiskearter.

Binding af kulstof, og dermed modvirkning af klimaeffekter af høj koncentration af klimagasser er en vigtig faktor i vurderingen af effekten af nedgangen af vores naturlige ålegræsenge, og af effekten af at gendanne ålegræsenge. Undersøgelser i danske og finske farvande af ålegræssets binding af kulstof viser årlige akkumuleringen af kulstof på mellem 7,7 til 102 t C/ha. undersøgelser i Horsens Fjord af gendannet ålegræseng viser, at der permanent immobiliseres 822 kg C/ha per år fordelt på 527 kg i rodnettet og 355 kg i sedimentet. Dette svarer til en immobilisering af ca. 3 t CO₂/ha per år.

Ålegræs anvendes dag til en række forskellige formål, herunder akustik-bats i byggeriet og til forskellige former for tekstiler.

Sammenligning af virkemidler

Der er stor forskel på pris for næringsstoffjernelse ved dyrkning af blåmuslinger og tang og fra udplantet ålegræs. Dyrkning af blåmuslinger er det billigste virkemiddel med en pris på 48-64 DKK/kg N, hvor fjernelse af kvælstof koster 3.241 til 7.718 DKK/kg N ved dyrkning af sukkertang, og 342 DKK/kg N ved etablering af ålegræsområder.

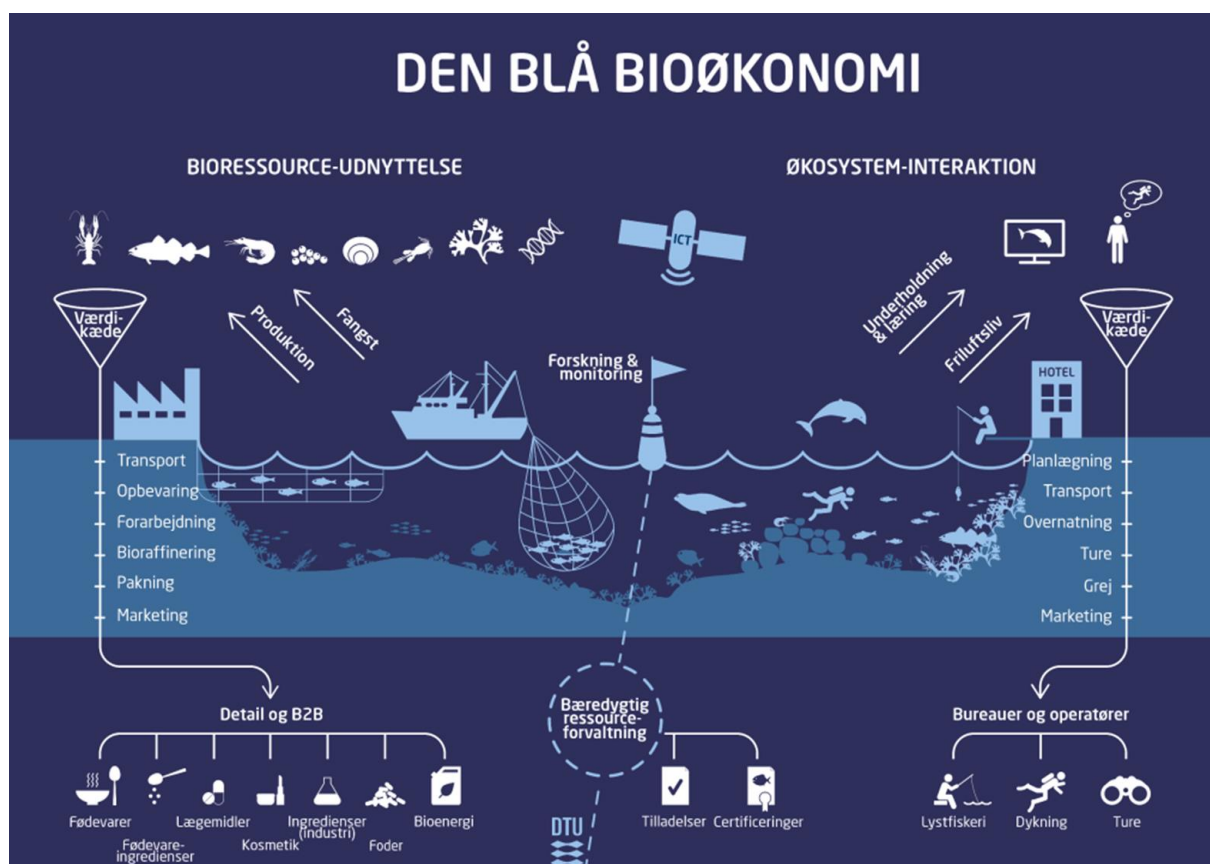
Hvis vi ser på produktionsmetodernes arealeffektivitet, ikke blot i forhold til fjernelse af kvælstof, men også i forhold til binding af CO₂, og produktion af fødevarer (protein, fedt, kulhydrat) så er muslingeopdræt 25-500 gange mere effektivt end dyrkning af sukkertang, og muslingerne er 4-25 gange mere effektive end udplantet ålegræs. Der skal således anvendes et betydeligt mindre areal ved anvendelse af dyrkning af muslinger til produktion af fødevarer eller til fjernelse af næringsstoffer.

Det er vigtigt at se på interaktionerne mellem de forskellige virkemidler. De tre marine virkemidler skal dog ikke ses som alternative løsninger, men som virkemidler, der kan supplere hinanden. Dyrkning af sukkertang kan således kobles til muslingeopdræt, og dermed opsamle den ammonium, der frigives fra muslingerne. Ligeledes kan muslingernes filtration give klarere vand for makroalgerne, og dermed sikre en hurtigere vækst af disse. Ligeledes kan udlægning af muslinger fremme gendannelse af ålegræsenge.

3. INDLEDNING

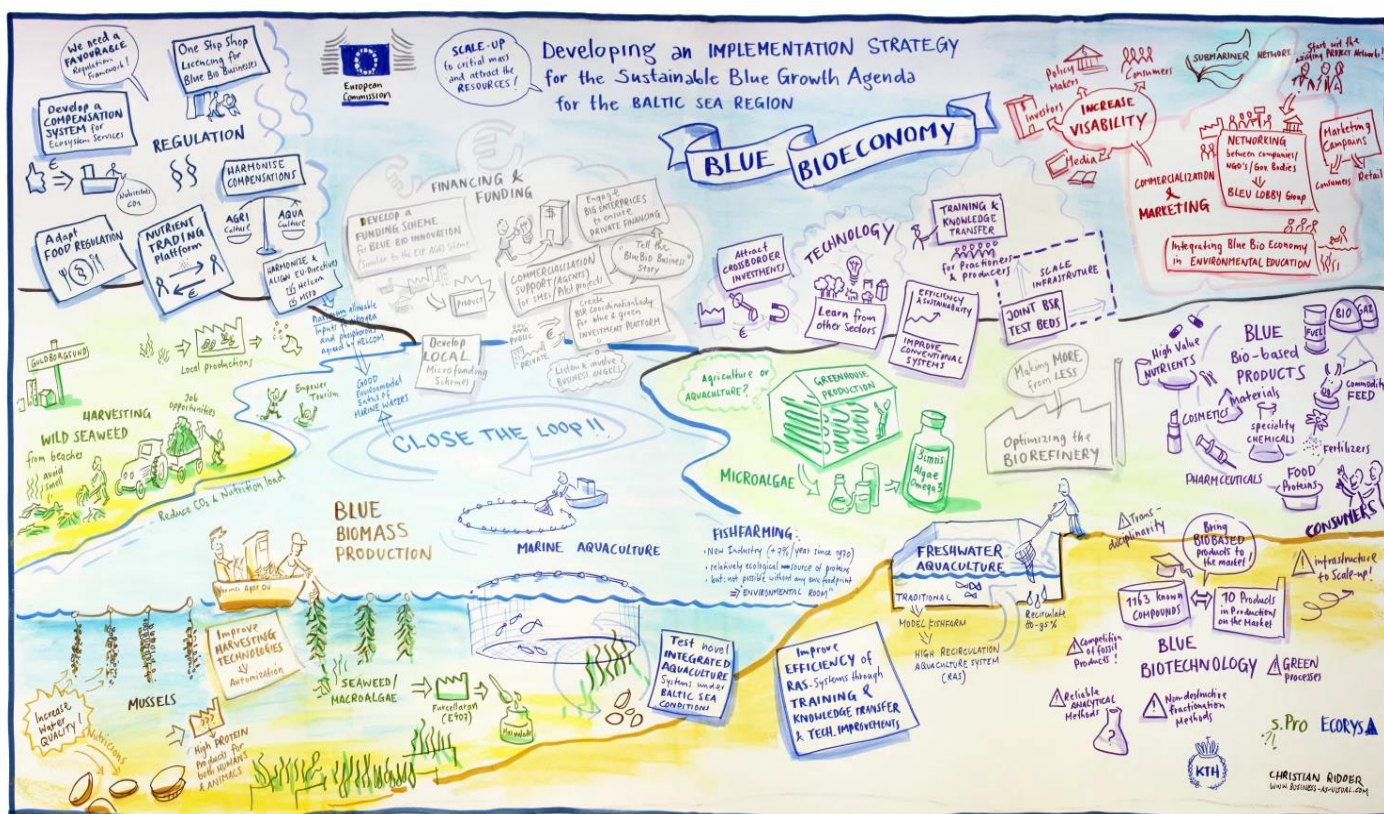
Denne rapport omhandler blå bioøkonomi og har fokus på dyrkning eller optagning af blåmuslinger og makroalger samt udplantning af ålegræs. Denne form for bioøkonomi tager udgangspunkt i produktion af lavtrofiske arter og har en positiv effekt på flere relevante nationale og internationale politikker, der omhandler en bæredygtig udvikling. Opdræt af blåmuslinger og makroalger defineres som en regenerativ produktion, dvs. dyrkningen genskaber nogle af de vigtige funktioner, marine økosystemer har i forhold til at fremme biodiversitet, binding af næringsstoffer, binding af kulstof osv. Rapporten har fokus på udvikling af blå bioøkonomi i områderne Skive Fjord, Lovns Bredning, Hjarbæk Fjord og Risgårde Bredning.

Nedenfor vises to figur (Figur 1 og 2), der skitserer de forskellige elementer i den blå bioøkonomi. Blå bioøkonomi kan defineres som enhver økonomisk aktivitet forbundet med brugen af fornybare akvatiske biologiske ressourcer til at fremstille produkter. Eksempler på sådanne produkter omfatter nye fødevarer og fødevareretsætningsstoffer, dyrefoder, nutraceuticals¹, farmaceutiske produkter, kosmetik, materialer (f.eks. tøj og byggematerialer) og energi. Virksomheder, der dyrker råvarerne til disse produkter, der udvinder, forfiner, behandler og transformerer de biologiske forbindelser, såvel som udviklingen af de nødvendige teknologier og udstyr er allesammen en del af den blå bioøkonomi (EUMOFA 2018). I figur 1 medtages formidling, turisme og rekreativ udnyttelse



Figur 1 Blå bioøkonomi (DTU AQUA)

¹ Fødevare eller del af fødevare der har positiv medicinsk eller sundhedsmæssig effekt



Figur 2 Illustration af Blå Bioøkonomi. Tegnet af Christian Ridder. Fra SUBMARINERS hjemmeside.

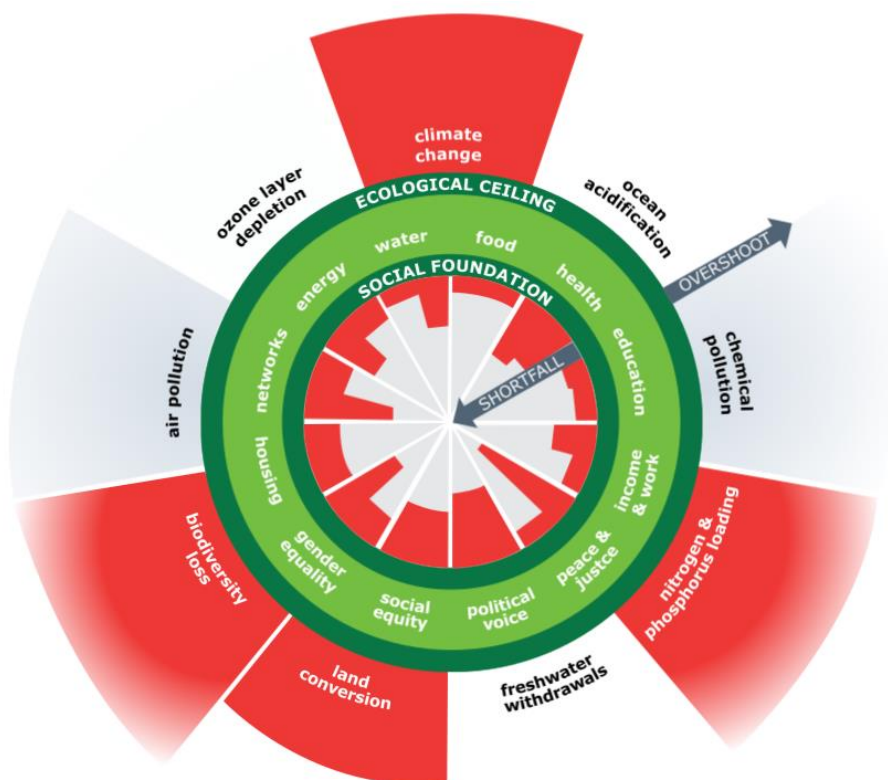
Det er en indbygget præmis, at bioøkonomi skal være bæredygtig. Der skal findes en balance mellem en produktion og udnyttelsen af givne ressourcer, for på sigt at opretholde et økosystem i ligevægt. Begrebet bæredygtighed er ofte vanskeligt at operationalisere, når kompleksiteten i den betragtede problemstilling øges. Hvis vi ser på en enkelt faktor f.eks. udledning af kvælstof, så er det enkelt at opstille en model, der beregner hvor stor en belastning et givent område kan tåle. Ser vi på komplekse problemstillinger, såsom målet med at finde en bæredygtig udvikling i forhold til fødevarerproduktion, krav om høj vandkvalitet, høj biodiversitet, lav klimapåvirkning, høj dyrevelfærd, sundhed osv., så er problemstillingen ikke helt så let at operationalisere.

I 1987 udgav Brundtland Kommissionen rapporten *Our Common Future*. Rapporten var den første af sin slags med fokus på global bæredygtighed, og den gav en bred tilgang til bæredygtighed, der inddrog både de sociale, økonomiske og miljømæssige aspekter. En bæredygtig udvikling defineredes af Kommissionen som: "En udvikling, som opfylder de nuværende behov, uden at bringe fremtidige generationers muligheder for at opfylde deres behov i fare." Definitionen har fostret det tankemønster, der i dag er grundlæggende for vores tanker om bæredygtighed, men den er ikke særligt anvendelig ift. komplekse vurderinger.

Først COVID-19 krisen og efterfølgende krigen mellem Rusland og Ukraine har ændret det politiske fokus på behov for en selvforsyning af energi og fødevarer. I energipolitikken er der således allerede udmeldt, at der skal findes en ny balance mellem benyttelse og beskyttelse, hvor behovet for forsyningssikkerhed spiller en større rolle. Dette markante politiske skifte kan ligeledes forventes at blive overført til fødevarerproduktionen, i hvert tilfælde den del af fødevarerproduktionen, der ikke omfatter produktionen af animalske proteiner på land, og opdræt af fisk i akvakultur i havet.

En ny måde at betragte bæredygtighed på er med Doughnut-modellen. Denne forsøges i disse år implementeret i en række storbyer, bl.a. København og Amsterdam. Modellen tager udgangspunkt i FN's 17 verdensmål, men den formår også at integrere målene i en balance afgrænset af minimumskrav til levestandard og økosystemernes bæreevne. Modellen er endnu et koncept, og den er ikke operationaliseret med konkrete mål. Doughnut-modellen beskriver, hvordan samfundet og virksomheder kan bidrage til en økonomisk udvikling, der ikke er på bekostning af jordens velbefindende (Figur 3). Doughnut-teorien blev introduceret af Kate Raworth i 2012. Den økonomiske teori er opkaldt efter en doughnut, da modellen tegner et billede af et doughnut-formet rum, hvor det er muligt at imødekomme menneskelige behov på en bæredygtig og socialt ansvarlig måde. Modellen består af to koncentriske cirkler: en indre cirkel, der repræsenterer velfærd som sundhed, uddannelse, ernæring, ligestilling og arbejdsvilkår, og en ydre cirkel der angiver grænserne for den mængde miljøbelastning og ressourceforbrug planeten kan klare. Mellem det sociale fundament og det naturmæssige loft finder vi en langsigtet, bæredygtig levemåde, visualiseret med doughnut'en. Denne repræsenterer således det rum, hvor de fundamentale menneskelige vilkår er opfyldt, og hvor der ikke sker en overudnyttelse af jordens ressourcer. Skaber vi en verden, hvor vi overudnytter jordens ressourcer ved at skabe klimaændringer og forurening etc., er der et overshoot af de økologiske grænser- og dermed ikke en bæredygtig udvikling. Hvis vi derimod ikke sikrer de fundamentale levevilkår for mennesker, er der et shortfall, hvor folk ikke oplever en retfærdig verden og oplever nød.

I forhold til etablering af dyrkning og fiskeri af muslinger og makroalger, samt udplantning af ålegræs i fokusområdet, vil dette have betydning for en lang række miljømæssigt og samfundsmæssigt vigtige problemstillinger. Dyrkningen af muslinger og tang er regenerativ, dvs dyrkningen bidrager til gendannelsen af nogle af de økosystemfunktioner, der skaber øget biodiversitet. Denne form for fødevareproduktion vil således kun medføre en meget begrænset eller direkte positiv effekt på en række parametre, der normalt påvirkes negativt af fødevareproduktion. Tankegangen fra Doughnut-modellen kan umiddelbart overføres til at forstå betydningen af forhold som de økologiske grænser for natur-miljø og klima, men også adgang til lokale fødevarer, arbejdspladser, uddannelse, sundhed m.v., som er en del af det sociale fundament i doughnutens inderste cirkel, dvs. de vilkår, der skal være opfyldt for at sikre et godt liv.



Figur 3. Doughnut-modellen beskriver, hvordan samfundet og virksomheder kan bidrage til en økonomisk udvikling, der ikke sker på bekostning af jordens velbefindende.

Limfjordsrådet har vedtaget en masterplan for Limfjorden, der skal sikre en balanceret og bæredygtig udvikling af Limfjorden (Limfjordsrådet 2021): *Den biologiske balance i Limfjorden skal genoprettes, og fiskene skal tilbage i fjorden. Stenrev etableres, ligesom tidligere tiders strandenge, holme og øer gendannes. Mest miljø for indsatsen opnås ved koordineret indsats af alle, der benytter fjorden.* Limfjordsrådet har i forhold til selve fjorden identificeret en række tiltag der ønskes iværksat (Tabel 1).

Tabel 1 Indsatser, der skal iværksættes ifølge Limfjordsrådets masterplan fra 2021. De indsatser, der ikke er markeret med grå skrift, vil kunne imødekommes med dyrkning af muslinger, makroalger eller etablering af ålegræs.

- Bæredygtig forvaltning af på tværs af sektorer og kilder: landbrug, industri, spildevand og andre punktkilder
- Differentieret omfang af indsatsen på tværs af fjordafsnit og deloplande
- Genopretning af den biologiske balance i fjorden
- Bæredygtig udnyttelse af det biologiske potentiale
- Etablere større og mindre rev
- Retablere ålegræs-, vegetationsbælter og tangbede
- Etablere muslinge- og østersbanker
- Genetablere strandengene i inddigede områder
- Etablere tidligere tiders holme og øer
- Mere fokus på fiskebestande og de større stationære fiskearter
- Helhedsorienteret forvaltning af store rovfisk, sæler og skarve

Af de 11 oplyste indsatser (Tabel 1) er syv direkte eller indirekte koblet til blå bioøkonomi, og fire kan ikke direkte kobles til blå bioøkonomi. Disse fire indsatser er markeret med en grå farve i listen. En afklaring af

potentialet for udvikling af blå bioøkonomi i fokusområdet er derfor af stor betydning i forhold til virkeliggørelse af masterplanen for Limfjorden.

Med vedtagelsen af Landbrugsaftalen i oktober 2021² (Aftale om grøn omstilling af dansk landbrug) blev aftalepartnerne enige om, *at der skal gennemføres en evaluering af det faglige grundlag for kvælstofindsatsen ("second opinion"), bl.a. under inddragelse af internationale forskere. En second opinion vil omfatte en evaluering af det faglige grundlag for kvælstofindsatsen mhp. at afdække, om der er foretaget antagelser, forudsætninger eller valg, som vil kunne lede til en justeret opgørelse af et resterende kvælstofindsatsbehov inden for de juridiske og naturvidenskabelige rammer for vandrammedirektivet. En second opinion skal også omfatte en opdateret vurdering af effekten af kvælstofbaselinen og betydningen af opgørelser af kvælstofudledningen på baggrund af senest tilgængelige data. Aftaleparterne drøfter kommissorium på baggrund af et oplæg fra regeringen. Der afsættes 29 mio. DKK. til indsatsen. Der nedsættes en task-force, der ledes af Finansministeriet. Gennemgangen skal være afsluttet mhp. at kunne indgå i genbesøget i 2023/2024. I tillæg til second opinion skal der afsættes 16 mio. DKK. til i udvalgte marine vådområder at gennemføre lokalt funderede analyser, som skal afdække om der kan findes andre veje til at opnå målopfyldelse, som defineret i EU's Vandrammedirektiv.*

Aftalen er således vigtig for implementeringen af vandområdeplan 2021-2027, herunder specielt den indsats, der skal implementeres efter 2024. I aftalen er der endvidere afsat 34 mio. DKK. til udvikling af marine virkemidler, der som supplement til de landbaserede virkemidler kan bidrage til en hurtig opnåelse af god økologisk status. Det skal bemærkes, at den første del af arbejdet med second opinion opstartes i maj 2022 af Erhvervsministeriet. I rapport fra Klimapartnerskab for fødevarer og landbrugssektoren (april 2022) fremgår det, at aftalepartierne for Landbrugsaftalen på forligskredsmøde i februar 2022 har besluttet, at de afsatte midler på 34 mio DKK udelukkende udmøntes til at undersøge tang og ålegræs. Miljøministeriet vil desuden finansiere, at en forskningsinstitution udarbejder et supplerende notat om den nuværende viden om muslingeopdræt som marint virkemiddel. Konkrete mål og initiativer for akvakultur, herunder dyrkning af muslinger og tang, vil fremgå af regeringens strategi for bæredygtig udvikling af akvakultur for perioden 2021-27, der er under udarbejdelse.

Nærværende rapport vil kunne bidrage til et vidensgrundlag, der er relevant i forhold til at have blik på kystvandområderne i forhold til at afprøve nye forvaltningsmetode, herunder at teste de supplerende marine virkemidler, som produktion af muslinger, tang og ålegræs, der kan give en hurtig forbedring af vandkvaliteten i fjorden, og som derfor kan være et vigtigt supplement til landbaserede virkemidler, hvor effekten generelt først vil indtræde fuldt ud fra 5-10 år efter iværksættelse og op til flere årtier, og således sandsynligvis ikke inden for den kommende vandplansperiode.

FORMÅLET MED NÆRVÆRENDE RAPPORT

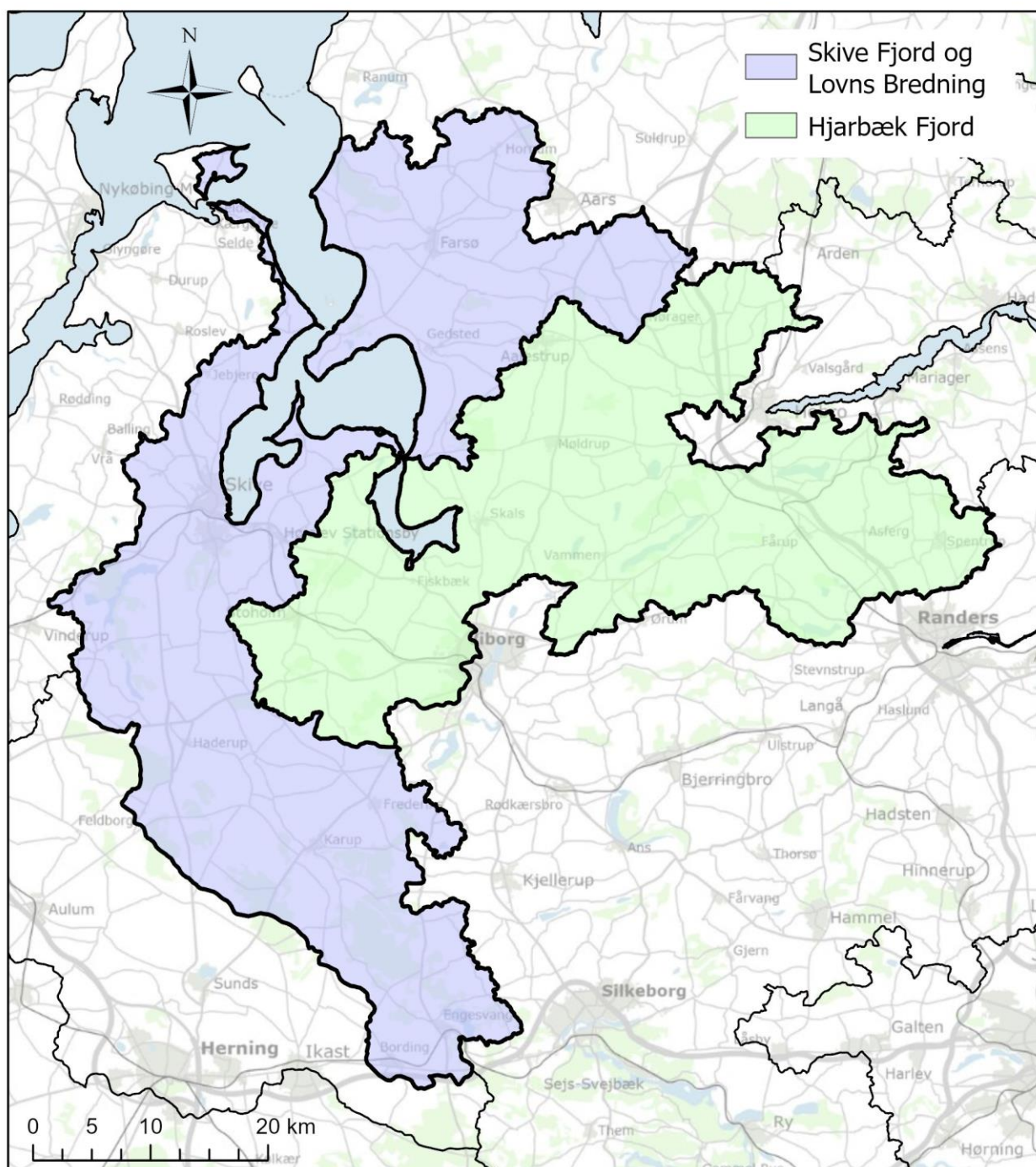
- 1) At beskrive potentialerne for en kommerciel etablering af produktion af muslinger og makroalger samt udplantning af ålegræs.
- 2) Sammenligne hvordan produktionsmetoderne kan bidrage til en bæredygtig udvikling i forhold til næringsstofregulering, klima, biodiversitet og bioøkonomisk vækst.

² Aftale om grøn omstilling af dansk landbrug af 4. oktober 2021 mellem regeringen, Venstre, Dansk Folkeparti, Socialistisk Folkeparti, Radikale Venstre, Enhedslisten, Det Konservative Folkeparti, Nye Borgerlige, Liberal Alliance og Kristendemokraterne. [Aftale om grøn omstilling af dansk landbrug \(fm.dk\)](#)

- 3) Beskrivelse af de fire vandområder, Skive Fjord, Lovns Bredning, Hjarbæk Fjord og Risgårde Bredning i forhold til produktionsmuligheder.
- 4) At vurdere, hvordan en etablering af virkemidler kan bidrage til udviklingen af nye fødevarer med lav klimabelastning gennem opstilling af konkrete forretningsmodeller.

4. RAPPORTENS AREALAFGRÆSNING

De fire vandområder, Skive Fjord, Lovns Bredning, Hjarbæk Fjord og Risgårde Bredning udgør samlet set 2 kystvandområder: Bjørnholms Bugt, Risgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning (157) med et vandopland der strækker sig ned gennem Jylland til Engesvang, og kystvandområdet Hjarbæk Fjord (158) med et vandopland, der strækker sig over mod Randers og Mariager (Fig 4).



Figur 4 kystvandområder og vandopland for Skive Fjord, Lovns Bredning Risgårde Bredning, Bjørnsholm Bugt (lilla) for samt for Hjarbæk Fjord (grønt). Figur er udarbejdet af Mette V. Odgaard, Agroøkologi, Aarhus Universitet.

Jensen et al (2017a) angiver at: *Skive Fjord, Lovns Bredning Risgårde Bredning samt Bjørnsholm Bugt består af en relativt afsnøret del af Limfjorden, hvor vandudskiftningen er mindre end i de mere åbne dele af fjorden. Vandområdet udgør et areal på ca. 223 km², svarende til 15 % af oplandets størrelse. Lagdeling i vandsøjlen er hver sommer et problem i vandområdet på grund af saltindtrængning. Det betyder, at iltudveksling mellem overfladelag og bundlag i disse perioder er begrænset. Det er derfor under disse omstændigheder, at der ved høje temperaturer og en hurtig omsætning af organisk stof på bunden udvikles iltvind. Ved iltvind tilføres der næringsstoffer fra bundsedimentet til vandsøjlen, hvorved den økologiske tilstand yderligere forværres. I sidste ende kan fænomenet føre til svovlbrinteforgiftning af både dyr og planter.*

Jensen (2017b) angiver at: *Hjarbæk Fjord er en slusefjord, hvor vandet som følge af Virksunddæmningen og afvandingslusen ikke kan strømme frit (Naturstyrelsen, 2014). Den gennemsnitlige opholdstid for vandet i fjorden er beregnet til 35 dage (Aarhus Universitet, 2012). Fjorden udgør et areal på ca. 24 km², svarende til 2 % af oplandets størrelse. Vandudveksling mellem fjorden og Lovns Bredning sker gennem en sluse ved Virksunddæmningen, som blev færdigbygget i 1966. Slusen blev bygget for dels at skabe en vejforbindelse og dels for at sikre mod oversvømmelse. Der er før dæmningen blev bygget målt vandstandsændringer på -1,6 til 2,3 m (Larsen, 1982). Afvandingslusen står åben i ca. 95 % af tiden og bliver kun lukket i situationer med en vandstand større end + 40 cm i Hjarbæk Fjord samtidig med en højere vandstand i Lovns Bredning. Herefter bliver den først åbnet igen, når vandstanden er lavere end + 40 cm i Lovns Bredning. Saltholdigheden i overfladevandet kommer i sommerperioden op på 14-16 promille og i vinterperioden ned omkring 4-6 promille (Naturstyrelsen, 2014). Når slusen er åben, trænger der saltholdigt vand ind i bunden af fjorden, som i størstedelen af året bevirker, at der skabes et saltholdigt bundlag, hvor ilten hurtigt bliver brugt op og det følges typisk af fosforfrigivelser fra bunden, som giver yderligere anledning til algeopblomstring og bundvendinger. Det sætter således fjorden i en dårlig økologisk tilstand. En forbedret tilstand af Hjarbæk Fjord vil være til gavn for de tilstødende vandområder, som i dag påvirkes negativt af den interne frigivelse af fosfor fra sedimentet (Gertz, 2015).*

OMRÅDERNES REGULERING I FORHOLD TIL VANDOMRÅDEPLANERNE

I Vandområdeplanen for 2015-2021 angiver Miljøministeriet, at tilførslen af kvælstof til Hjarbæk Fjord skal reduceres med 823,2 t/år. Der er i vandplanen identificeret en kvælstofindsats på 277,1 t, hvoraf de resterende 546,1 t N er udskudt til indsats til efter 2021. I vandområdeplanen for 2015-2021 er minivådområder angivet til at give en effekt på 27,4 t N/år, og en målrettet regulering er angivet til 147,9 t N/år. SEGES (Jensen 2017) bemærker, at denne reduktion vil kræve minivådområder med et samlet vandspejl på 37 ha og et drænopland på 3.700 ha svarende til dobbelt af det potentielle drænopland for minivådområder i hele oplandet, hvorpå det er realistisk at etablere minivådområder med åbne bassiner, så ca. 50% af drænvandet fra det potentielle drænopland for minivådområder rent faktisk bliver ledt til et minivådområde. Det vurderes, at der kan etableres minivådområder med et samlet vandspejl på 10 ha. Disse minivådområder kan forventes at reducere kvælstofudledningen til fjorden med ca. 7,0 ton N pr. år. SEGES' vurdering er således, at vandplanen 2015-2021 ift Hjarbæk Fjord ikke er realiserbar, og der skal aktiveres andre virkemidler. I vandområdeplan for 2021-2027, som endnu ikke er vedtaget, er reduktionskravet til Hjarbæk Fjord på i alt 894,6 t N/år. Anvendelsen af minivådområder er sat til 8.0 t N/år og en målrettet regulering er sat til 181,3 t N/år frem til 2025, hvor den kan forventes at blive øget væsentligt. Der vil på landsplan ske en øgning i kvælstofudledningen fra 3500 t N til 6500 t N efter 2024, altså næsten en fordobling af den målrettede indsats.

For Skive Fjord, Risgårde Bredning, Lovns Bredning samt Bjørnsholm Bugt er der i vandplanen for 2015-2021 et reduktionsbehov på 681,9 t N /år, hvoraf de 430,4 t/år er udsat til efter 2021. Den målrettede regulering udgør

127,5 t N/år I udkast til vandområdeplan for 2021-2027 er indsatsbehovet opgjort til 739,5 t N, og målrettet regulering udgør frem til 2025 164,5 t N/år, med en forventet øgning efter 2025. SEGES (Jensen et al 2017) har for Skive fjord og Lovns Bredning påpeget, at vandkvaliteten i disse områder ikke udelukkende er styret af udledningerne af næringsstoffer, men at vandområdenes dybdeforhold, og morfologi med lukkede bassiner medfører perioder med iltsvind, og deraf følgende udledning af næringsstoffer (Gertz 2015).

Der er ikke udarbejdet analyser af landbrugets økonomiske tab og udgifter ved implementering af vandområdeplanerne. Der foreligger således ikke analyser af hverken pris for landbruget eller nedgang i produktion af fødevarer. Hvad enten vandområdeplanerne medfører, at der på sigt opnås god økologisk tilstand eller at vandområderne morfologiske og hydrografiske forhold gør at også andre forhold har betydning for områdernes vandkvalitet, så vil planerne have stor betydning for landbrugets økonomi og produktion af fødevarer. Med Højesterets kendelse af 5. maj 2020 i sag 53/2019³ fremgår det, at Miljøministeriet i forhold til vandrammedirektivet ikke skal gennemføre økonomiske analyser af indsatsernes økonomiske betydning for landbruget. Afgørelse er truffet i sag, hvor Landsforeningen for Bæredygtigt Landbrug har rejst sag mod Miljø- og Fødevarerministeriet og Miljøstyrelsen med påstanden om at Vandområderne er ugyldige pga manglende økonomisk vurdering.

Landbrug & Fødevarer (L&F) har indgivet høringssvar til forslag til vandområdeplan for 2021-2027 på baggrund af analyse af SEGES. Det angives bla i høringssvaret, at de reduktionskrav, der opstilles i vandområdeplanen, mange steder vil umuliggøre almindelig landbrugsproduktion på størstedelen af arealerne, såfremt reduktionsmålene i vandområdeplanerne skal nås gennem restriktioner på landbrugsfladen. Det vurderes, at vandområdeplanen således vil medføre et tab for landbrugserhvervet som følge af nedgang i planteproduktionen på ca. 1,2 mia. DKK. om året, samt en nedgang i dyreholdet på omkring 10 pct. L&F angiver, at der på landsplan bliver 27 % flere i gruppen af bedrifter, der har høj gæld og likviditetsbehov, svarende til yderligere 460 heltidsbedrifter. Dette er bedrifter, hvor gælden er for høj, og indtjeningen er for lav, og bedrifterne er derfor alvorligt lukningstruede. Analysen viser endvidere, at der vil være et samlet tab i jordværdi på godt 58 mia. DKK. Det vil således få store konsekvenser for landbrugets gældssituation. Samfundsøkonomisk vil vandområdeplanen medføre op mod 10.000 færre beskæftigede, samt et årligt tab af fødevarerexport på 7,5 - 9,5 mia. DKK.

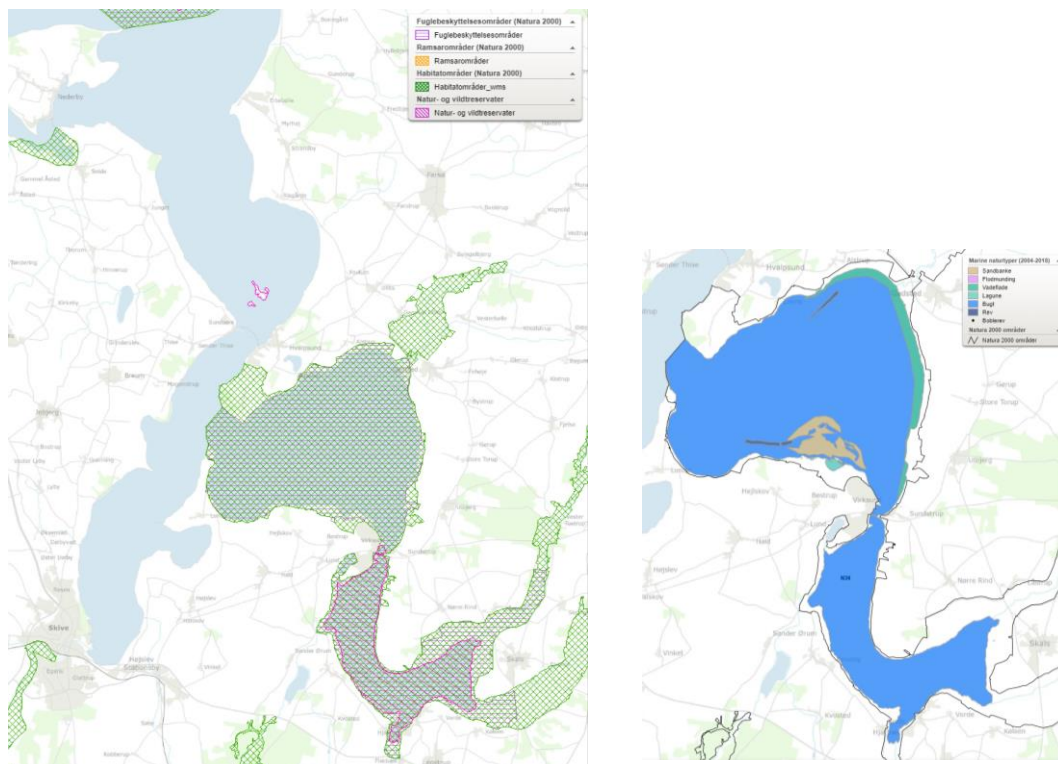
Vandområdeplan 2021-2027 vil således utvivlsomt få ganske stor økonomisk og strukturel betydning for landbruget i Skive Kommune med lukning af animalsk produktion, ændringer i produktion af afgrøder, og udtag af landbrugsjord. En forbedret vandkvalitet kan omvendt åbne døre for både turisme og rekreativ udnyttelse af land- og vandområder.

En metode til at afbøde omfattende strukturelle landbrugs- og samfundsøkonomiske ændringer kan være at supplere landbaserede virkemidler med marine virkemidler. Petersen et al (2021b) vurderer potentialer og barriere for forskellige marine virkemidler: muslingeopdræt, tangdyrkning og transplantation af ålegræs. Den samlede vurdering er at det er muligt at anvende alle tre virkemidler (muslinger, tang, ålegræs) i kystvandet Bjørnholms Bugt, Riisgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning, hvorimod ingen af de tre virkemidlerne er anvendelige i Hjarbæk Fjord.

³ HØJESTERETS KENDELSE afsagt tirsdag den 5. maj 2020 Sag 53/2019 Landsforeningen for Bæredygtigt Landbrug som mandatar for 22 medlemmer i sag V.L. B-1174-15 og Landsforeningen for Bæredygtigt Landbrug som mandatar for 2.851 medlemmer i sag V.L. B-311-17 (advokat Gert Møller Lund for alle) mod Miljø- og Fødevarerministeriet og Miljøstyrelsen (advokat Britta Moll Bown for begge). [link til afgørelse](#)

OMRÅDERNES REGULERING I FORHOLD TIL NATURA 2000 OG NATUR- OG VILDTRESERVATER

Natura 2000 er betegnelsen for et netværk af beskyttede naturområder i EU. Områderne skal bevare og beskytte naturtyper og vilde dyre- og plantearter, som er sjældne, truede eller karakteristiske for EU-landene. Hjarbæk Fjord og Lovns Bredning er udpegede som Habitatområder og Fuglebeskyttelsesområder. På Fig 5 ses afgrænsningen af Natura 2000 områderne, og det ses, at hovedparten af Natura 2000 områderne består af naturtypen lavvandede bugte og vige, og små områder med sandbanker og rev. Hjarbæk Fjord og Rotholmene i NV for Hvalpsund er udpeget som Natur- og vildtreservat.



Figur 5 Lovns Bredning og Hjarbæk Fjord er udlagt til Natura 2000 område.

5. BLÅMUSLINGER OG STILLEHAVSØSTERS

BLÅMUSLINGERNES BIOLOGI

Muslinger er interessante i forhold til næringsstoffjernelse, øgning af biodiversitet, som klimavirkemiddel og som motor i udviklingen af blå bioøkonomi pga. af artens helt særlige biologi. Blåmuslingen starter med en forplantning, hvor hanner og hunner gyder deres kønsprodukter i havet, og der dannes en larve. Larven driver rundt i 3-4 uger og sætter sig derefter fast på et fast substrat, hvilket kan være en anden musling, en sten eller et dyrkningssubstrat til muslingeopdræt. Blåmuslingen vokser her, og kan kun bevæge sig i begrænset omfang. Blåmusling får føde ved at filtrere vandet for partikler, dvs. den fjerner både fordøjelige partikler såsom fytoplankton, men også partikler såsom opslæmmed sand. Da muslingerne effektivt filtrerer partikler med størrelser ned til ca. 4 µm – svarende til, at 250 partikler ligger ved siden af hinanden på en millimeter – er de meget effektive til at rense vand. En voksen musling kan potentielt rense op til 7 L vand i timen, 24 timer i døgnet, og da de store muslinger forekommer i tætheder op til 2000 blåmuslinger per m², kan muslinger forbedre vandkvaliteten og gøre vandet klarere. I forhold til Vandrammedirektivet, bidrager blåmuslingerne således med fjernelse af næringsstoffer, når muslingerne høstes. Blåmuslingerne bidrager også med en forbedret sigtedybde og klarere vand, der giver mulighed for en øget udbredelse af makroalger og ålegræs i de områder, hvor muslingerne opbygger tætte bestande.

Blåmuslingerne er en "ingeniør-art" idet de opretter habitater, der er levested for en række andre arter. I muslingebanker vil der derfor ofte være en højere biodiversitet, idet muslingerne laver gemmesteder for fisk og andre mobile arter. F.eks. har det vist sig, at der ofte er en forholdsvis høj tæthed af ål i muslingeopdræt eller muslingebanker. Muslingernes overflader danner levested for arter, der skal sidde på en fast overflade. Under muslingebanken danner der sig et næringsrigt mudder fra muslingernes fækalier. Dette mudder er levested for organismer, der er tilpassede til et liv under disse betingelser.

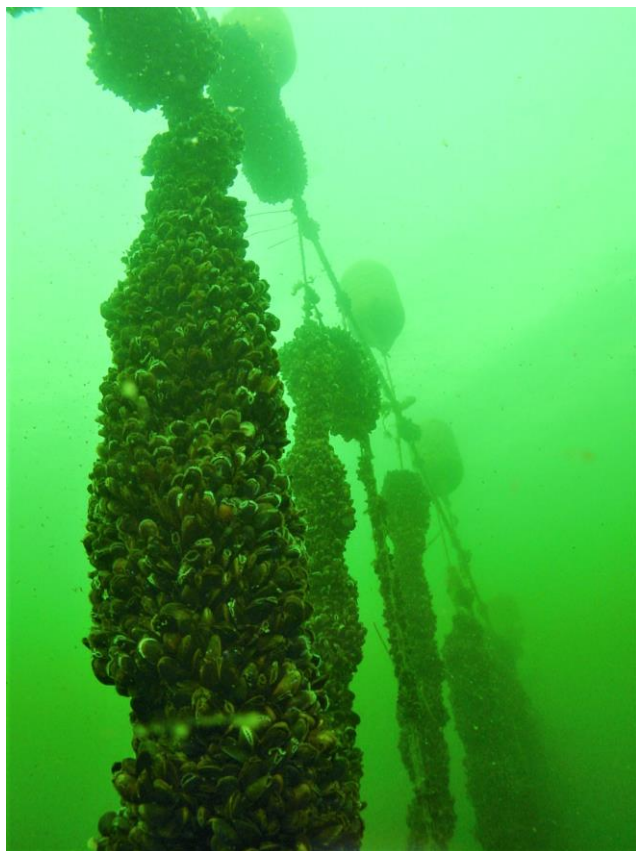
Blåmuslingernes skaldannelse mineraliserer CO₂, der således er kemisk bundet i en struktur. En produktion af muslinger hvor skallerne f.eks. indgår i byggeri, eller på anden måde opbevares permanent, vil fjerne CO₂ og således bidrage til de danske mål for reduktion af klimagasser.

Muslingekødet har samme kemiske sammensætning som fiskemel, dvs. samme aminosyresammensætning og med et proteinindhold, der er næsten lige så højt som hos fiskemel. Det er dermed muligt at lave en produktion af marint protein med dyrkning af muslinger – uden brug af foder eller medicin – der samtidig bidrager til en forbedret vandkvalitet, en øget biodiversitet, og som kan bruges som et værktøj til løsningen af klimaforandringerne.

LANGLINER

Muslinger kan produceres på langliner, hvor der trækkes en hovedline, der holdes i overfladen af bøjer. Disse bøjer kan monteres eller afmonteres alt efter hvilken vægt af muslinger, der skal holdes flydende. Langlinerne kan endvidere undersænkes ved montering af vægte, hvormed der undgås skader på anlægget ved isdannelse, og der undgås problemer med visuel forurening. Under hovedlinen fastgøres substratet, hvorpå muslingerne skal dyrkes (Figur). Dette substrat kan udgøres af bændler, flossede reb eller mere komplekse substrater såsom stiger. Substraterne kan enten etableres som sammenhængende guirlander eller som enkelte korte substrater. Det er muligt at afhøste substraterne i efteråret, sortere muslingematerialet og genudhænge muslingerne i strømpner for videre vækst. Denne omstrømpning giver mulighed for at lave et ensartet produkt af høj kvalitet. Hvis formålet med muslingeopdrættet primært er at fjerne næringsstoffer, vil det ikke være rentabelt eller relevant at lave en omstrømpning. Med muslingeopdræt på langliner anvendes der et meget

fleksibelt system med mulighed for at vælge den produktionsform, der er mest effektiv i forhold til lokalitet, mandskab, logistik og produkt.



Figur 6 Muslingeopdræt på langliner i Nørre Fjord. Muslingerne bliver produceret af amatør fiskere med henblik på at udlægge muslingerne på havbunden for at fremme biodiversiteten og forbedre vandkvaliteten i området (Foto: Per Dolmer).

DYRKNING PÅ NET

Smartfarm-systemet er i modsætning til langline-systemet dyrt i anskaffelse, men ikke særligt mandskabskrævende i forhold til produktion, da de fleste produktionsprocesser er automatiserede. Blåmuslingerne sætter sig på store net, der holdes flydende i overfladen af lukkede PE-rør (Figur). En maskine med påmonterede børster eller plader kan afskrabe eller afbørste muslingerne i forbindelse med en afhøstning eller udtynding. Ved en afhøstning fjernes hele biomassen, og ved en udtynding er det kun en del af biomassen der fjernes fra nettene, for at skabe forbedrede vækstmuligheder for de muslinger, der bliver på nettene. Opdriften af rørene der holder nettet flydende, er konstant. Ved risiko for isdannelse, er der dermed også risiko for at isen fanger rørene, hvis ikke disse vandfyldes og lægges ned på bunden. Ligeledes vil rørene synke, hvis biomassen af muslinger overstiger rørenes bæreevne (20-25 t). Der vil ofte være et betydeligt produktionstab, hvis rørene synker, hvad enten dette sker som en bevidst handling eller ved manglende udtynding. Der er i 2020 igangsat et 4-årigt GUDP-projekt, SUBMUSSEL, der har til formål at udvikle et undersøenket muslingeopdræt, hvor muslingerne dyrkes på permanent undersøenkede net. De producerede muslinger skal kunne afhøstes med en undervandsrobot, der vha. sonar og videosystemer giver mulighed for en kontrolleret afhøstning.



Figur 7 Muslingeopdræt på net. Nettene holdes flydende med lukkede rør. Billedet er fra Venø Sund i den vestlige del af Limfjorden (Foto: Per Dolmer)

BUNDKULTUR BLÅMUSLINGER

I stedet for at dyrke blåmuslingerne hængende på net eller reb oppe i vandsøjlen, kan muslingerne produceres på bunden. Muslingerne spiser fytoplankton og små organiske partikler, der med vandbevægelserne i havet serveres til muslingen. På bunden er vandbevægelserne dæmpede, og fødestrømmen er ringere. Muslingerne på bunden vokser derfor langsommere, og den enkelte musling vil ikke have et lige så stort kødindhold, som muslinger der dyrkes i flydende systemer.

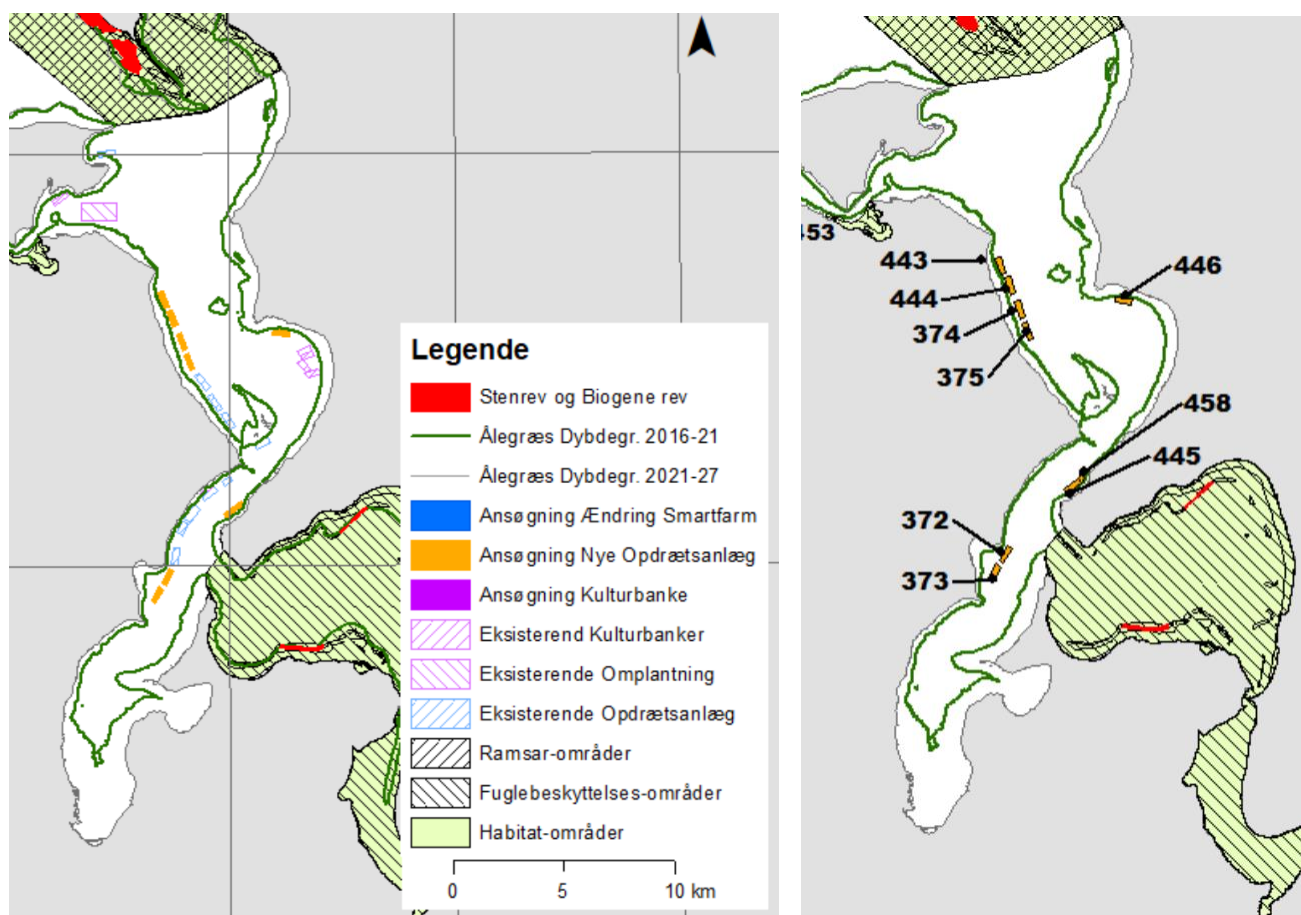
Blåmuslinger, der produceres på bunden, skal opfiskes med en muslingeskraber. Blåmuslinger der udlægges i bundkultur, kan enten være muslinger, der er afhøstet fra et flydende dyrkningssystem med langliner eller net, eller det kan være fra fiskeri af den naturlige bestand. Skrabning af muslinger fra havbunden kan medføre en påvirkning af bunden og de arter, der lever her.

NUVÆRENDE TILLADELSER OG ANSØGNINGER

Med Bekendtgørelse om opdræt af muslinger og østers i vandsøjlen (BEK nr 1456 fra 2021) er det ikke for nuværende muligt at ansøge om nye områder til opdræt af muslinger og østers i vandsøjlen. Et tilsvarende stop for ansøgninger er indført for kulturbankedyrkning af muslinger (BEK nr 116 fra 2021). Fjernelsen af mulighed for at søge nye tilladelser blev besluttet, pga uklarhed over hvilken effekt etableringen af muslingeopdræt har på økosystemet, herunder effekter af det enkelte muslingeopdræt og en kumuleret effekt af flere muslingeopdræt på Natura 2000 områder og i forhold til sårbare naturtyper som ålegræs og stenrev.

I Skive Fjord og Risgårde Bredning er der søgt om 9 nye muslingeopdræt, ud over de 9 muslingeopdræt der er der i forvejen. I området er der endvidere 4 bundkulturer og et omplantningsområde (Figur 8).

DTU Aqua har i samarbejde med DHI lavet en modellering af de ansøgte opdræt i Vandsøjlen (DTU notat til Fødevareministeriet 2022). Modelleringen viser at sedimentation fra muslingeopdræt sker i et område i op til 100 m fra opdrættet. I Skive Fjord sker der modsat andre områder i Limfjorden ikke en resuspension af det sedimenterede materialer, og dermed ikke en yderligere spredning. I forhold til at undgå påvirkning af områder med ålegræs (i forhold til dybdegrænse i 2022-2027), Natura 2000 områder og stenrev er det kun ansøgning 372,373,374 og 375, der har så stor afstand til disse beskyttede områder, at der ikke opstår påvirkninger. Det skal bemærkes, at den gennemførte modellering er konservativ, og at positive effekter fra muslingeopdrættet i forhold til forbedret sigtedybde ikke er medtaget. I Vejle fjord er der således dokumenteret en øget spiring af ålegræs i områder, hvor der er udlagt blåmuslinger, og muslingeopdræt vil kunne fremme en udbredelse og vækst af ålegræs.



Figur 8. Venstre: Placering af 9 ansøgningsområder til nye opdrætsanlæg (lineanlæg og SmartFarm).. Figuren viser desuden placeringen af 9 eksisterende opdrætsanlæg og 4 kulturbanker, Natura-2000 områder herunder EU habitatområder, EU Fuglebeskyttelsesområder og Ramsar-områder, samt ålegræssets dybdegrænse (God/Moderat) for henholdsvis vandplansperiode 2016-2021 og 2022-2027. Højre: angivelse af løbenumre for indsendte ansøgninger til opdræt af muslinger i vandsøjlen. (fra DTU notat til Fødevareministeriet 2022)

BARRIERER FOR MUSLINGEOPDRÆT

DTU Aqua og Aarhus Universitet har for som opfølgning på Det Nationale Bioøkonomipanelets anbefaling fra 2016 udarbejdet en vidensyntese om blå biomasse (Petersen et al 2021). I forhold til muslingeopdræt er der identificeret et stort potentiale, men også en række barrierer:

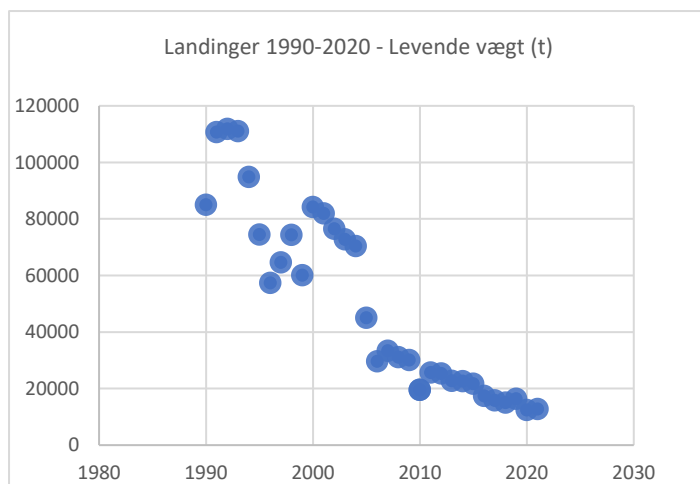
- Der er en stigende lokal modstand mod opdrætsanlæg og især rør+net-systemer, primært fordi de opfattes som værende grimme og tiltrækker måger. Det vurderes dog som realistisk, at der kan udvikles systemer der i

større eller mindre omfang kan undersænkes og der arbejdes pt. i et GUDP-projekt med udvikling af metoder til undersækning af disse systemer.

- Der er opstået en bekymring for at miljøforholdene under opdrætsanlæggene forværres. Det skal dog påpeges, at muslingeopdræt netto fjerner næringsstoffer og kulstof fra de marine områder og at effekter af anlæggene på havbunden ikke er entydige.
- Afsætningen til fersk konsum er til stadighed afhængig af udviklingen på det europæiske ferskmarked. Her er der på kort sigt en mulighed, fordi BREXIT har vanskeliggjort eksport af muslinger fra de britiske øer til EU. Der er en stigende indenlandsk efterspørgsel, men hovedafsætningen foregår på det europæiske marked.
- Hvis produktionen skal stige betydeligt, vil det kræve, at opdrætterne bliver betalt for de økosystemtjenester opdrættet leverer, dvs. muslingeopdræt skal indgå som virkemiddel i 3. generations vandplaner. Dette vil kunne medføre en betydelig produktionsforøgelse.
- Der skal udarbejdes mere effektive forarbejdningsmetoder til produktion af muslingemel uden eller med en meget begrænset fraktion af skalmateriale

FISKERI AF BLÅMUSLINGER

Muslingebranchen i Limfjorden har stor lokal betydning med 35 personer ansat direkte i fiskeriet, og 90 personer ansat i industrien. Over årene er der sket en væsentlig reduktion i antallet af ansatte, samt af anvendelsen af håndværkere og leverandører af udstyr. Fiskeriet af muslinger i Limfjorden har i dag en direkte værdi på 30-35 mio. DKK., der dog de sidste to år har været på under 20 mio. DKK. Værdien af de forarbejdede produkter fra virksomhederne udgør ca. 190 mio. DKK. Muslingebranchen består af en samlet værdikæde, hvor forarbejdningsindustrien er gensidigt afhængig af leverancer fra muslingefiskerne, og hvor muslingeopdrætterne er afhængige af industrien i forhold til afsætning af muslinger. Muslingebranchen er udfordret af et betydeligt fald i råvaregrundlaget fra over 110.000 t muslinger i starten af 1990'erne til 12.358 t muslinger i 2020 (Figur 9). Dette har udover en nedgang i antallet af ansatte, stoppet investeringer og



Figur 9 Landinger af blåmuslinger fra Limfjorden i perioden 1990-2021

innovation i branchen og kan i værste fald medføre lukninger i industrien. Muslingefiskeriet er underlagt en omfattende forvaltning, der sikrer et bæredygtigt fisker af muslinger med en lav miljøeffekt. Der har de sidste 20 år været besluttet strategier eller politikker, der har implementeret en forvaltning, der sikrer en lav påvirkning af natur og miljø, herunder Natura 2000 områder. Fiskeriet forvaltes i dag af Muslingepolitikken fra 2019, der blev tiltrådt af alle partier i Folketinget. Muslingepolitikken opstiller en nul-tolerance over for påvirkning af ålegræs og stenrev/biogene rev, samt en begrænset reversibel påvirkning af andre habitattyper.

Således tillader Muslingepolitikken, at der sker en

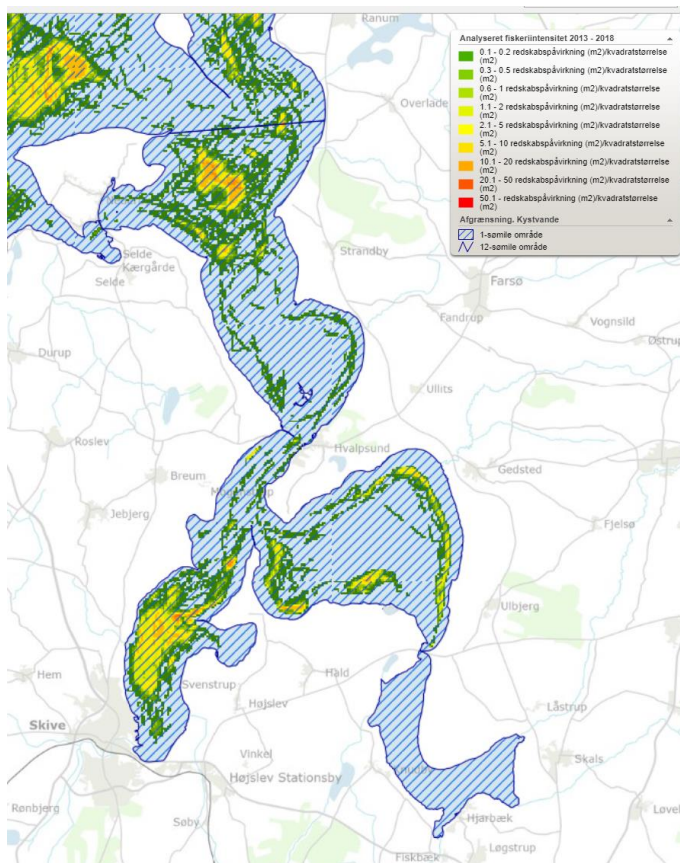
kumulativ arealpåvirkning på kun 15 % i Natura 2000 områder, dvs. en påvirkning over flere år på 15 % af arealer med bundfauna, makroalger. Dog må ålegræs og stenrev ikke påvirkes. Forvaltningen, herunder forvaltningen af Natura 2000 områder, har medført en væsentlig begrænsning af fiskerier, og således haft stor betydning for forarbejdningsindustriens råvareadgang og fiskeriets samlede rentabilitet.

Fiskeriet efter muslinger med skrab foregår primært på kanterne i Lovns Bredning, i den sydlige del af Skive Fjord, og i den sydlige del af Bjørnsholm Bugt/nordlige del af Risgårde Bredning (Fig 10). Der er således store områder der ikke, eller kun i begrænset omfang påvirkes af muslingeopdræt.

Muslingefiskeriet er reguleret af en bekendtgørelse og af vilkår i fiskeriets årlige tilladelser. I Box 2 ses de vilkår der er gældende i Limfjorden herunder, forbud mod fiskeri i Hjarbæk Fjord, dybdegrænser, krav til redskab mv.

BOX 2 Forvaltningsregime for muslingefiskeriet i Limfjorden i 2021

2021 BEK nr 1126	Lukning af 1) Agerøområdet, 2) nordlige del af Løgstør Bredning 3) <u>Lønnerup</u> Fjord 4) Hjarbæk Fjord 5) Harre Vig Limfjorden opdeles i produktionsområder, der kan lukkes og åbnes jvf vilkår i tilladelse Fiskeri forbudt i områder med kulturbanker Fiskeri er forbudt i en afstand på 100 m til Natura 2000 områder, medmindre området er åbnet på baggrund af miljøkonsekvensvurdering Dybdegrænser på 3 m, i Skive Fjord og Lovns Br. dog 2 m. Krav om Black Box	1) Mindstemål på 4,5 cm og < 30 vægtprocent undermålere. 2) Landing må indeholde 1 vægtprocent af fladøstes For FTA-fartøjer nedskrives mængde- hvis denne ikke udnyttes	1) Skraber m 1,5 m bred ramme og rammevægt < 50 kg.
---------------------	--	---	--



Analyseret fiskeriintensitet 2013 - 2018

Temaet viser fiskeriintensiteten i kvadrater på 100x100m, inden for afgrænsningen af kystvande med målsætning for økologisk tilstand. Intensiteten fortæller hvor mange gange havbunden i de enkelte kvadrater er blevet påvirket af fiskeredskaber i perioden fra 2014-2018. For værdier under 1 kan intensiteten tolkes som den andel af kvadratet, der er blevet påvirket i perioden. Kortet er udarbejdet vha. forskellige typer positionsdata (VMS, AIS, Black Box) med varierende præcision og registreringseffektivitet. Intensitet er beregnet som en 'swept area ratio' (SAR) ved at dele periodens samlede redskabspåvirkning i hvert kvadrat (fodaftrykket målt i m2) med arealet af kvadratet (10.000 m2)

Figur 10 Kortlægningen af muslingeskrob i perioden 2014-2018. Data er fra vandplansarbejdet for 2021-2027 ([Link](#)).

6. ØKOSYSTEMSERVICES AF BLÅMUSLINGER

FJERNELSE AF NÆRINGSSTOFFER VED MUSLINGEDYRKNING

Muslingeopdræt indgår som det marine virkemiddel, der er mest effektivt, og som er tættest på at kunne implementeres. Aarhus Universitet har i 2020 udarbejdet et katalog over marine virkemidler ([Bruhn et al 2020](#)), og i dette katalog er der en grundig gennemgang af muslingeopdræt som virkemiddel til at fjerne kvælstof og fosfor fra kystnære områder. Blåmuslinger kan produceres på flere forskellige måder; både på flydende systemer og på havbunden.

I Virkemiddelkataloget fra 2020 ([Bruhn et al 2020](#)) angives det, at den maksimale produktion i et produktionsområde på 250x750 m på langliner er 1800 t ved en afhøstning i november. Dette svarer til en fjernelse af 0,7-1,4 t N ha⁻¹ og 0,06-0,09 t P ha⁻¹. De tilsvarende værdier er for produktion på net en maksimal produktion på 4.000 t per anlæg og en fjernelse af 1,6-3,0 t N ha⁻¹ og 0,10-0,17 t P ha⁻¹. Prisen for fjernelse af N med muslingeopdræt på net i Skive Fjord vil udgøre 48-64 DKK/kg N.

I virkemiddelkataloget er der ligeledes modelleret en rumlig variation i virkemiddelpotentialet for muslingeproduktion (Holbach et al 2020). De danske farvande er klassificeret i forhold til produktionspotentiale, hvor de mest produktive områder i Danmark findes i Limfjorden, herunder Skive Fjord.

Med 9 eksisterende tilladelser til muslingeopdræt på langliner i Skive Fjord, kan der således årligt fjernes 226 t N, hvis muslingeopdrættede drives som kompensationsopdræt på langliner, dvs med maksimal biomasseproduktion. Gives der tilladelse til 4 yderligere muslingeopdræt, og anvendes SmartFarm teknologien, eller et undersænket netsystem på alle 13 muslingeopdræt, kan der årligt fjernes 731 t N. Denne fjernelse svarer til indsatsbehovet i udkastet til vandplanen for 2021-2027 for kystvandet Bjørnsholm Bugt, Risgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning.

Et kompensationsopdræt på langliner eller på smartfarm systemer kan pågå i en årrække, og når den ønskede miljøtilstand er opnået, kan muslingeopdrættene gradvist igangsætte muslinger målrettet konsum.

FORBEDRET BIODIVERSITET

Produktion af blåmuslinger bidrager til en øget biodiversitet på flere måder. Hvis vi ser på effekten i et vandområde, en fjord eller en vig, så fjerner muslingerne næringsstoffer og øger vandets klarhed. Begge disse effekter bidrager til at forbedre levevilkårene for havets planter, makroalger og ålegræs. Disse planter er vigtige levesteder for en række andre arter, såsom forskellige former for fisk og f.eks. græssende svaner. De dyrkede muslinger, hvad enten det er flydende opdræt eller bundkulturer, danner levested for en række arter, der finder skjul eller føde mellem muslingerne. Undersøgelser fra den vestlige del af Limfjorden har vist, at under et muslingeopdræt, hvor der var blevet tabt muslinger til bunden, blev der fundet en væsentligt højere biodiversitet end i et nærliggende referenceområde. Dette skyldes at muslingerne på bunden tilbød et levested for en række arter, og dermed blev biodiversiteten øget. Denne situation forudsætter dog, at muslingerne kan overleve på bunden, og på mange lokaliteter i Skive Fjord vil nedfaldende muslinger ikke overleve og skabe muslingebanker.

Under muslingeopdræt vil der være et nedfald af fækalier fra muslingerne, og derfor vil man ofte opleve, at der umiddelbart under muslingeopdrættet er en meget lav biodiversitet, og en dominans af arter, der er tilpasset et liv på en bund der er stærkt påvirket af næringsstoffer fra muslingeopdrættet. Ved valg af lokalitet kan der derfor være en fordel i, at vælge en lokalitet med gode strømforhold, så nedfaldne muslinger overlever og kan bidrage til en høj biodiversitet på bunden (Figur).

Biodiversiteten i en muslingeproduktion er selvfølgelig påvirket af, at muslingerne regelmæssigt afhøstes, hvorved biodiversiteten nulstilles. I Vejle Fjord gennemføres der i disse år et projekt, Sund Vejle Fjord, hvor der dyrkes muslinger på langliner. Muslingerne lægges ved afhøstning ud i permanente bundkulturer, der ikke skal høstes. Både muslingerne på langlinerne og på bunden bidrager til klarere vand, via muslingernes filtration, og til en øget biodiversitet i Vejle Fjord.



Figur 11 Blåmuslinger under muslingeopdræt i Horsens Fjord. På muslingerne ses der rurer, strandkrabber, sønemoner og en række andre bundlevende organismer (Foto: Per Dolmer).

BINDING AF KLIMAGASSER

Når blåmuslinger vokser, sker der en skaldannelse, hvorved CO₂ bindes og mineraliseres til calciumkarbonat (CaCO₃). Mineralisering af kulstof til fast calciumkarbonat er den mest stabile form for lagring og i modsætning til f.eks. skov vil kulstoffet ikke blive frigivet igen, hvis skallerne opbevares hensigtsmæssigt eller nyttiggøres ved f.eks. indstøbning i beton. Cirka en tredjedel af muslingen består af skal, og ved produktion af 100.000 t muslinger, høstes der 33.000 t muslingeskaller med et indhold af calciumkarbonat, og der bindes ca. 3.300 t kulstof, svarende til 10.000 t CO₂. Set i lyset af, at Danmark årligt skal finde yderligere besparelser på 24 mio. t CO₂, kan en stor muslingeproduktion bidrage med en forholdsvis beskeden mængde CO₂-fangst fra deponering af skaller.

Blåmuslinger er som fødevarer særdeles interessant i forhold til et ønske om at højne produktionen af fødevarer med et lavt klimaaftryk. CONCITO⁴ har i 2021 offentliggjort en oversigt over klimabelastningen fra forskellige fødevarer. Blåmuslinger ligger helt i bunden med en belastning på 0,22 CO₂-ækvivalenter per kilo rå musling. Dette er samme belastning som for mineralvand, og ca. en tredjedel af belastningen fra æbler og ærter. Hvis vi sammenligner med andre marine proteiner, så er aftrykket 30 gange større for torskefilet og 45 gange større for en rå rødspætte. Hvis vi vil have en god bøf af en afpudset mørbrad, så er belastningen små 700 gange større, end hvis valget var muslinger. Med andre ord kan vi lave en væsentlig klimabesparelse ved at ændre vores madvaner. En sådan ændring initieres ved oplysning, let adgang til de rigtige råvarer af en god kvalitet, og også gerne ved at inddrage borgerne f.eks i produktionen af deres egne muslinger i lokale havhaver.

7. BLÅMUSLINGERNES BIDRAG TIL BIOØKONOMIEN

En produktion af blåmuslinger kan anvendes til fødevarer eller til foderproduktion. Hvis muslingerne er af høj kvalitet, vil den bedste pris kunne opnås på et fødevaremarked, hvorimod muslinger der ikke kan sælges som fødevarer kan afsættes til bundkultur, habitatrestaurering eller som foderprodukt. Ved produktion af muslinger som marint virkemiddel til fjernelse af næringsstoffer vil producenter tilpasse produktionen, så den største mulige produktion af biomasse opnås. En høj biomasseproduktion vil medføre produktion af muslinger af en lav kvalitet, der ikke direkte kan bruges til fødevarer. Farvandet i Skive Fjord er endvidere udfordret af at saltholdigheden er lav, således at muslingerne vil blive små og tyndskallede, og derfor bedst egnede til videredyrkning eller til foder.

Muslinger til fødevarer

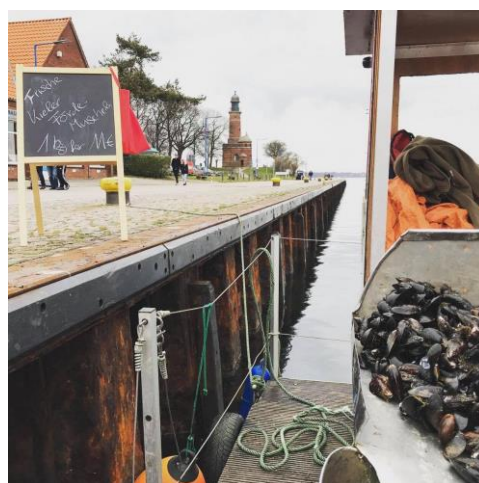
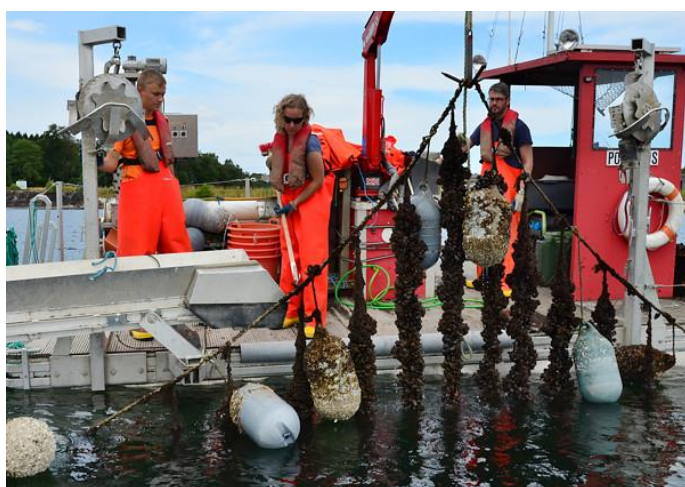
Ved en produktion af blåmuslinger til fødevarer er der i dag tre forskellige markeder. Der er et marked, hvor muslingerne sælges uforarbejdede, og kunden selv tilbereder produktet. Dertil er der et convenience-marked, hvor der laves et produkt, der kræver meget kort forarbejdning, ofte kun blot en opvarmning, og sidst en produktion hvor muslingerne koges og fryses eller laves til konserves.

I disse år sker der en markant udvikling i forhold til convenience-produkter, hvilket åbner for nye markedsmuligheder. Der er dels en øget efterspørgsel på nye smagsoplevelser og en gastronomisk nysgerrighed, hvor convenience-produkter kan hjælpe forbrugerne på vej. Her tænkes der både på nye produkter, men også på de tilbud som måltidskasser repræsenterer, og som f.eks. kan få danskerne til at spise andre marine produkter end sild, torsk og rødspætte.

⁴ Danmarks grønne tænketank

I forhold til salg af ferske, uforarbejdede muslinger er der ligeledes forskellige forretningsmodeller, der er interessante. En mulighed er at producere muslinger af konsumkvalitet, dvs. muslinger på ca. 5 cm med højt kødindhold og gerne lyse i kødet, og dertil skal muslingerne have en flot skal. Muslingerne bliver rensset og solgt på et dansk eller europæisk marked.

En alternativ forretningsmodel kan være den model som Kieler Meeresfarm i Tyskland benytter (Figur). Virksomheden har en mindre produktion i Kiel, og de sælger direkte til lokale restauranter og kunder og springer dermed alle mellemlid over. Muslingerne kan ligeledes købes på virksomhedens hjemmeside til en pris på ca. 80 DKK/kg. Forretningsmodellen er således at sælge et lokalt produkt og en lokal historie, hvor en høj pris muliggør en forholdsvis lille og arbejdskrævende produktion. Virksomheden har ligeledes en produktion af sukkertang og arbejder med at etablere en lille produktion af regnbueørred. Virksomheden deltager i en del forsknings- og udviklingsprojekter, der bidrager til virksomhedens samlede økonomi.



Figur 12 Kieler Meeresfarm i Tyskland har en mindre produktion af blåmuslinger, der sælges direkte til kunderne uden fordyrende mellemlid. Tv: Blåmuslingerne produceres på langliner ved en arbejdskrævende proces. Th: Muslingerne sælges direkte over kajen. Bemærk skiltet hvor prisen angives til 11 euro per kg (Foto fra Kieler Meeresfarm).

Muslinger til foder

Blåmuslinger skaber som udgangspunkt størst økonomisk og samfundsmæssig værdi hvis de anvendes til fødevarer. Blåmuslinger med en kvalitet, der ikke gør dem egnede som fødevare, kan anvendes til bundkultur, habitatrestaurering eller foder. Blåmuslinger har et højt indhold af protein med samme aminosyresammensætning som fiskemel. Der er derfor gennemført forskellige udviklingsprojekter, hvor blåmuslinger forarbejdes til et lagerstabil melprodukt. To projekter, MUMIPRO og InProFeed, afsluttes i 2021, og begge projekter har afprøvet forskellige forarbejdningsteknikker. Generelt er den store udfordring at få adskilt skallerne fra kødet, og når denne adskillelse er opnået, skal muslingekødet tørres indtil fugtindholdet er ca. 10%.

Til adskillelse af muslingekød og skaller er følgende metoder afprøvet:

Filterpresse: DTU Food har afprøvet en filterpresse, der er udviklet til presning af mask. Filterpressen har en kapacitet til at presse 1 t muslinger i timen. Investeringsomkostningen er 1,6 mio. DKK. Der kan forventes et vist slid på maskinen ved forarbejdning af muslinger. Pilotforsøg har vist, at det kun er ca. 50% af proteinerne,

der trækkes ud af muslingerne. Det er vurderingen, at denne ekstraktionsgrad kan øges betydeligt. Efter filterpresning skal proteinvæsken tørres, hvilket blev gjort ved en spraytørring. Der er ikke udarbejdet rapport over forsøget.

Deboner: Der er gjort flere forsøg med en deboner, også kaldet en separator. Leroy Seafood i Norge og TripleNine har lavet forsøg med denne forarbejdningsteknologi, men der er ingen offentliggjorte informationer om resultater af pilotforsøgene.

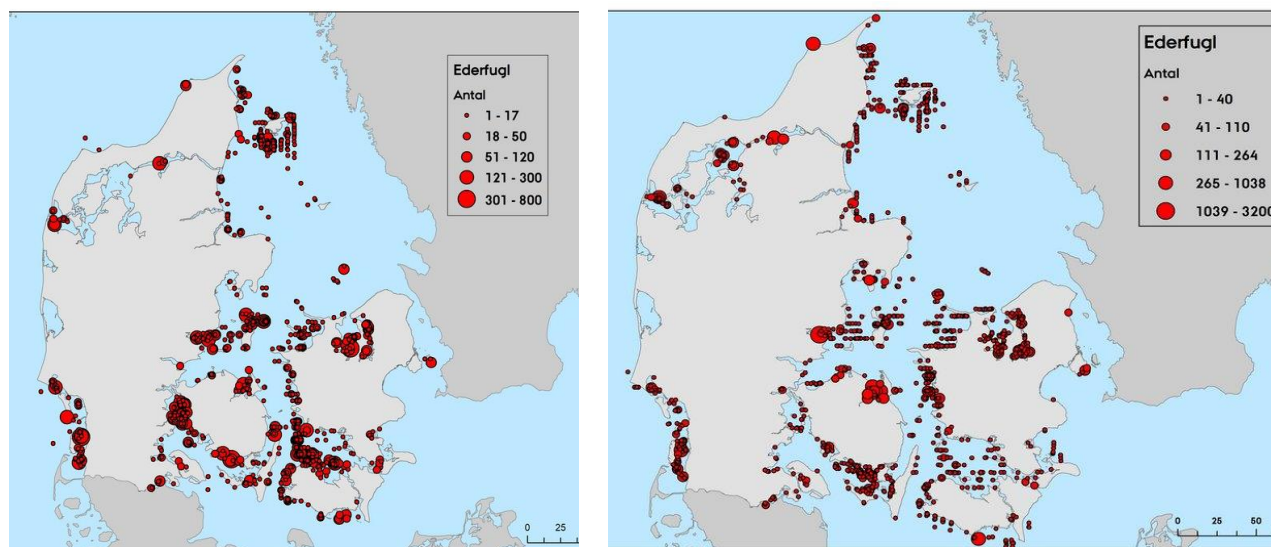
Skruepresse: Der er af flere omgange lavet forsøg med en skruepresse, hvor muslingerne kan deles i en skalfraktion og i en proteinrig væske som ved filterpressen. Ligesom for filterpressen er det vanskeligt at få en høj udnyttelse af muslingeråvaren, og meget af proteinet havner i skalfraktionen, der typisk vil blive anvendt som gødningsprodukt.

Kogepoces: Ved produktionen af muslingekød til frost eller konserver sker dette ved en kogepoces, og en forsimplet udgave af denne proces kan også anvendes til at ekstrahere muslingekød til foderprodukt. Muslingerne adskilles på en declumper, således at muslingerne ikke danner klumper af sammenbundne individer. Declumpningen foregår på maskine, hvor en masse fingre arbejder mod hinanden, og dermed skånsomt adskiller muslingerne. Dernæst sker der en afbysning af muslingerne, hvor de byssus-tråde, som muslingerne fæster sig til underlaget med, fjernes. Herefter koges muslingerne kort tid under tryk, og muslingekødet adskilles fra skallerne på et rystebord. Ved en efterfølgende proces sikres det, at det producerede muslingekød ikke indeholder skaldele. Til forskel fra en produktion af muslinger til fødevarer vil en produktion af muslinger til foder ikke omfatte en afbysning eller en efterkontrol af produktet, da byssus eller skalfraktioner ikke vil have betydning for et foderprodukt. Det færdige muslingekød kan herefter tørres til et melprodukt af høj kvalitet. Selve tørringen af muslingekødet er forholdsvis energikrævende og derfor omkostningstung. Fermentation Experts A/S arbejder derfor med et større projekt, hvor muslingekødet ikke tørres, men hvor muslingerne med væske indgår i en fermenteringsproces med plante proteiner. Ved denne produktionsmetode substitueres det vand, der normalt tilføres en fermenteringsproces, og fordi det ikke er nødvendigt at tørre muslingerne giver denne proces adgang til muslinger med en lavere produktionsomkostning.

ER TEKNOLOGIEN FOR MUSLINGEPRODUKTION MODEN OG RAMMEBETINGELSERNE PÅ PLADS

Teknologien til muslingeproduktion er veludviklet for en række danske områder, men er dårligt testet i områder med lav salinitet som i Hjarbæk Fjord. Inden der igangsættes en muslingeproduktion her, vil det være hensigtsmæssigt at lave en vurdering af produktionspotentialitet på den enkelte lokalitet. Der er flere faktorer der afgør om en lokalitet er egnet til muslingeproduktion. Produktionspotentialitet er afhængigt af muslingebestandens vækst (skalvækst, vækst af kød). Denne vækst er afhængig af salinitet og fødegrundlag. Begge faktorer er beskrevet i et tidligere afsnit. Prædation af muslinger fra særligt edderfugle kan volde store tab. Kommerciel muslingeproduktion syd for Svendborg og i farvandet ved Horsens har medført store tab pga. prædation fra edderfugle. En enkelt edderfugl kan æde op mod 3 kg muslinger om dagen, og når muslingen rives af langlinen eller dyrkningsnettet, vil der ofte falde muslinger på bunden udover de muslinger edderfuglen æder. Samlet set kan en bestand af edderfugle hurtigt rydde et muslingeopdræt for muslinger. Der er udviklet teknikker til at holde edderfugle ude af muslingeopdræt med opsætning af net, men i forhold til en produktion af muslinger til foder vil opsætning af net være så fordyrende, at et muslingeopdræt ikke kan gøres til en rentabel forretning. Der er ikke viden, der kan afklare om øget dyrkning af muslinger i Limfjorden, kan medføre en øget forekomst af edderfugl i Limfjorden, og dermed skadeeffekter på muslingeopdræt.

Kortlægningen af edderfugl i sommerperioden 2012 og 2018 (Figur) viser, at der er en stigende bestand af edderfugl i Limfjorden, herunder i Skive Fjord og Risgårde Bredning (Pihl et al 2015, Holm et al 2021), og at edderfugl således kan udgøre en udfordring for muslingeproduktion i fremtiden. Petersen et al (2021) vurderer, at prædation af muslinger fra edderfugl ikke er et problem i området.



Figur 13 Fordelingen af edderfugl ved fugletællinger i sommerperioden i 2012 (tv) og i 2018 (th). Figurer er fra Novana.au.dk

Dyrkningen af muslinger på langliner er en kendt teknologi og der er gennemført en lang række forsøg med forskellige materialer og også succesfulde fuldskalaproduktioner. I forhold til dyrkning af muslinger på net er vidensgrundlaget mere mangelfuldt. Der er lavet enkelte forsøg med nettens maskestørrelser, og praksis med udtynning og afhøstninger er også undersøgt i et vist omfang. Der er stadig to store udfordringer med dyrkning på net der bliver holdt oppe i vandsøjlen af rør. Disse udfordringer omfatter anlæggenes visuelle påvirkning og problemer med drivende is. Da PE-rørene, der holder nettene flydende, har en konstant opdrift vil rørene være meget synlige når muslingerne er afhøstede og henover sommeren. Denne synlighed har skabt lokal modstand i Limfjorden fra grundejere, og dette er et forhold, der skal være fokus på. En andet problem med rørene er, at de er sårbare over for drivende is. Med langlinerne er det muligt at undersænke produktionen ved at holde linerne nede med betonklodser, og dette er en veludviklet praksis. Ved risiko for isdannelse kan rørene kun undersænkes ved at disse vandfyldes, og således lægges ned på bunden. Dette vil give tab af muslinger og er endvidere særdeles arbejdskrævende. Virksomheden Wittrup Seafood A/S leder et GUDP-projekt, SUBMUSSEL, hvor muslingeproduktionen på net undersænkes, således at konflikter med synlighed og is undgås. Der forventes at være udviklet en løsning inden for 2 år, og en prototype er ved at blive testet.

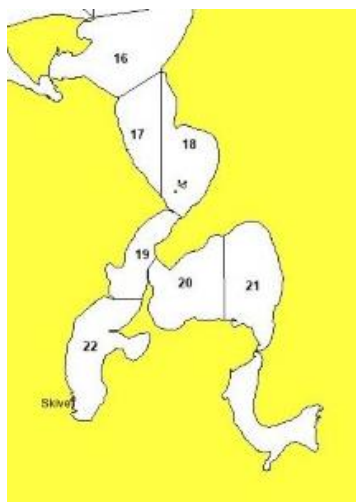
Anvendelse af muslinger

Der er i dag ikke kommercielle forarbejdningsfaciliteter af muslinger til foder. Ved anvendelse af muslinger til et foderprodukt er adskillelsen af skal og muslingekød en uløst proces. Adskillelse ved kogning er en kendt og velforprøvet teknologi, men det er energikrævende og derfor omkostningstungt. Den samlede omkostning kan reduceres ved at bruge overskudsvarme og ledig produktionskapacitet hos eksisterende virksomheder, hvor f.eks. brug af spildvarme eller ledig dampkapacitet kan udnyttes til forarbejdning af muslinger. En stor udfordring for udvikling af en værdikæde, hvor muslinger anvendes til foder er adgang til en tilstrækkelig stor biomasse. Da små muslinger, der kan anvendes til foder, også kan anvendes til bundkultur, etablering af

biofiltre og habitatrestaurering- og da de sidstnævnte anvendelsesmetoder har stigende efterspørgsel, er der usikkerhed for, om der inden for en kortere årrække vil blive etableret en forarbejdning af muslinger til foder.

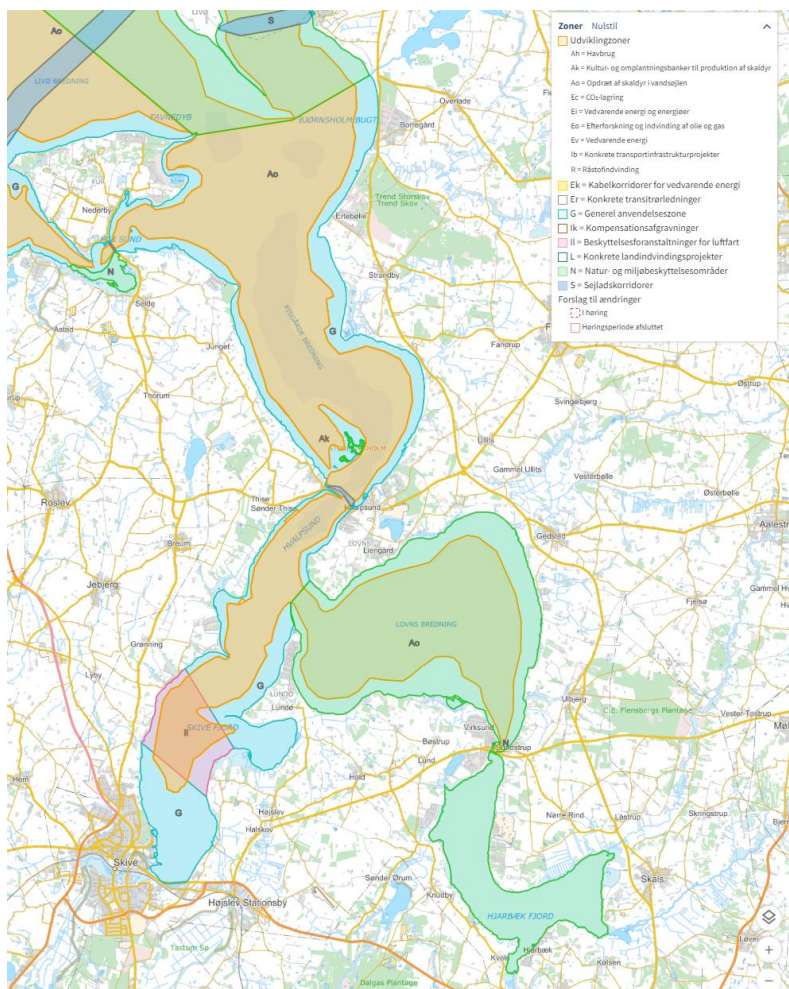
Det juridiske grundlag

En muslingeproduktion er underlagt strenge krav til fødevarer sikkerhed. Der må således kun produceres og høstes fra områder der er udlagt af Fødevarestyrelsen til produktionsområder (Figur 14). I disse områder er der sikkerhed for, at producerede muslinger ikke indeholder uønskede stoffer såsom tungmetaller. Fødevarestyrelsen kan anmodes om at udpege nye områder, der efter en prøvetagning vil kunne åbnes.



Figur 14 Kort over produktionsområder hvor der må produceres muslinger. Det skal bemærkes at Hjarbæk Fjord ikke er udpeget til muslingeproduktion. Fra Fødevarestyrelsens hjemmeside.

Søfartsstyrelsen under Erhvervsministeriet har i marts måned 2021 sendt en Havplan i høring. Havplanen udgør et planlægningsværktøj for marine områder i Danmark, og den skal sikre en hensigtsmæssig koordinering af en række forhold såsom transport, energiproduktion, akvakultur og naturbeskyttelse. I udkast til Havplan (Figur) kan det bemærkes, at store dele af Skive Fjord, Risgårde Bredning er udlagt til muslingeopdræt i vandsøjlen og bundkultur. Lovns Bredning er kun udlagt til bundkultur, og Hjarbæk Fjord er ikke udlagt til muslingeproduktion. Ved en vedtagelse af Havplanen uden tilføjelse af områder til muslingeopdræt i Hjarbæk Fjord vil muslingeopdræt kun kunne tillades her, hvis der laves et tillæg til Havplanen, hvilket vil medføre ekstra administration i forhold til høringer mv.



Figur 15 Udkast til Havplan omfatter områder til muslingeproduktion. Store dele af Skive Fjord og Risgårde Bredning er udlagt til muslingeopdræt i vandsøjlen og bundkultur. Lovns Bredning er kun udlagt til bundkultur, og Hjarbæk Fjord er ikke udlagt til muslingeproduktion.

Etablering af et muslingeopdræt forudsætter tilladelse fra Fiskeristyrelsen. Fødevareministeriet har med Bekendtgørelse nr. 1456 af 24/06/2021 stoppet for indsendelse af nye ansøgninger pr. 1. juli 2021. Det er uklart hvor længe dette forbud vil være gældende. Ansøgningspausen vil blive anvendt til at sikre udarbejdelsen af en overordnet planlægning.

POTENTIALET FOR FORRETNINGSUDVIKLING

Der er forskellige modeller for forretningsudvikling af muslingeopdræt, der helt eller delvist er afhængige af politiske prioriteringer og tilpasning af rammevilkår.

Vandplanerne frem til 2027

Folketinget skal i 2022 beslutte en vandplan for perioden 2022-2027. Vandplanen vil sætte mål for en reduktion af udledningen af kvælstof til kystområder. Det forventes, at visse kystvandoplande skal reducere udledningen. I høringsudkast til vandområdeplan for 2021-2027, er det således angivet, at reduktionskravet er 894,6 t N for Hjarbæk Fjord og for Skive Fjord, Lovns Bredning, Risgårde Bredning og Bjørnsholm Bugt er reduktionskravet 739,5 t N. Der er i de politiske aftaler afsat 34 Mio DKK. til afprøvning af marine virkemidler.

Hvis muslingeopdræt skal afprøves som marint virkemiddel er umiddelbart to virksomheder, der vil være kompetente til at etablere muslingeopdræt i stor og industriel skala:

Blå Biomasse A/S er ejet af Hedeselskabet (51%) og Thyborøn Invest (49%). Virksomheden har etableret ca. 350 SmartFarm-rør i Venø Sund og ved Jegindø i Limfjorden. Virksomheden startede produktionen i 2017, og har arbejdet målrettet med at udvikle en stabil forretning med en optimeret drift. Virksomheden er ikke helt i mål og har fortsat behov for at investere tid i stabil drift. Blå Biomasse A/S har været med i flere udviklingsprojekter bl.a. InProFeed. Virksomheden har ikke erfaringer med en permanent undersænkning af opdrætssystemer, herunder med dyrkning af muslinger på langliner.

Wittrup Seafood A/S er ejet af Brødrene Rasmus og Stig Wittrup. Virksomheden har udviklet en virksomhed med muslingeopdræt, fartøjer der skraber muslinger og en forarbejdningsindustri. Wittrup Seafood har været med i en lang række F&U projekter. Virksomheden har kontrakt med Vejle Kommune ifm. projektet Sund Vejle Fjord, hvor der dyrkes muslinger på line, der efterfølgende lægges ud for at genskabe de naturlige muslingebanker. Virksomheden har stor erfaring med muslingeopdræt og driver i dag en mangesidet forretning hvor bl.a. løsning af kontraktopgaver inden for habitatrestaurering er en voksende aktivitet. Virksomheden har erfaring med dyrkning af muslinger på undersænkede systemer, der således ikke giver problemer ved isdannelse eller har en negativ visuel påvirkning.

Dyrkning af muslinger til konsum

Der er hos danskerne en voksende interesse for at begrænse klimapåvirkningen gennem valg af fødevarer. Hos visse forbrugergrupper fravælges animalsk protein således, idet klimabelastningen fra disse produkter er forholdsvis høj i forhold til vegetabilsk producerede fødevarer. Analyser af muslingeproduktionens klimabelastning viser, at denne form for produktion af animalske proteiner har en klimabelastning, der er væsentlig lavere end produktionen af grøntsager. Der mangler således fokus på, at forbrugerne kan spise animalske proteiner i form af muslinger, og samtidig have en klimabelastning, der er lavere end ved indtagelse af en diæt udelukkende bestående af vegetabiliske fødevarer. Der er således mulighed for et målrettet salg af muslinger til fødevarer med fokus på produktets lave klimabelastning.

På en workshop om blå bioøkonomi arrangeret af Bioøkonomisk Vækstcenter i foråret 2021 var et af de synspunkter, der blev fremført, at klimamad er den mad med lavt klimaaftryk, som et stort flertal af danskerne spiser. Det kan således ikke betragtes som klimamad, hvis der kun er et meget snævert segment, der spiser en fødevarer med lavt klimaaftryk. Argumentet er således, at der skal ske en væsentlig ændring i forbrugeradfærden før der reelt bliver sparet mange tons CO₂. Hvis muslinger skal markedsføres som en sund og klimavenlig fødevarer må målet være at lave en fødevarer, som appellerer til en bred befolkningsgruppe. Løsningen her kan være at lave nye convenience-produkter, eller anvende muslingerne som proteinkilde i eksisterende produkter.

Industriel produktion af muslinger til foder

Der har de sidste 5-8 år været fokus på brug af muslinger til foder i landbrugsproduktionen. Muslinger har et højt proteinindhold og samme aminosyresammensætning som fiskemel, og de er derfor egnede som foderingrediens. For at muslinger kan afsættes som foderingrediens skal prisen være sammenlignelig med prisen for fiskemel, dog med en lille ekstrapris op 10-15% pga. værdien af bæredygtighed i produktionen. Prisen for fiskemel er ca. \$1500 per ton, svarende til 9400 DKK per ton. Forarbejdningen af muslinger giver normalt et lavt udbytte på ca. 10-15%, og der kan således kun betales en meget lav pris for muslingerne (700-1000 DKK/t muslinger). To forhold vil kunne fremme en industriel produktion af muslinger og forarbejdning af disse til foderingrediens:

1. Betalingsmodel for muslingeproduktion som marint virkemiddel
2. Adgang til billig energi til forarbejdning. Muslingerne skal afskalles og tørres, hvilket forudsætter adgang til billig energi.

Muslinger, der dyrkes i områder med lav saltholdighed, er mere tyndskallede, og der kan muligvis laves nye produkter, hvor skallerne bibeholdes i produktet til et skalreduceret produkt. Fiskemelsproducenterne har umiddelbart mulighed for at opblende et skalreduceret muslingemel i fiskemel med lavt askeindhold, og dermed sikre at fiskemelet har et konstant askeindhold i forhold til specifikation af produktet. Det er uklart, hvor store mængder muslinger der kan afsættes som et skalreduceret mel.

GreenLab i Skive vil kunne understøtte etableringen af en forarbejdningsindustri af industrielt producerede muslinger. Green Lab har fået godkendt en sektorkobling, således at energi produceret i en sektor kan anvendes i en anden sektor, uden at der bliver pålagt energiafgift. Etableringen af en klynge med adgang til biogas eller vindenergi, vil således kunne muliggøre nye metoder til forarbejdning af muslinger. Ligeledes kan overskud af varme og damp udnyttes i en muslinge-forarbejdning. Det skal dog i den forbindelse bemærkes, at muslingeindustrierne på Mors (Vilsund Blue A/S) har overskudskapacitet til forarbejdning af muslinger, og at det ud fra et bæredygtigheds- og økonomisk synspunkt kan være hensigtsmæssigt at udnytte denne infrastruktur, frem for at opbygge ny forarbejdningsfacilitet.

Forbedring af badevandskvalitet og fjernelse af mikroplastik

Der har de senere år været stigende fokus på betydningen af urensset spildevand i forbindelse med overløb fra rensningsanlæg ved kraftige regnskyl. Aarhus Kommune har i samarbejde med WSP og COWI udført et forsøg, der undersøgte hvorvidt muslinger kan rense vandet for bakterier og mikroalger i Aarhus Havn. Kommunen er udfordret af dårlig badevandskvalitet i forbindelse med regnvejrshændelser og overløb fra rensningsanlæg, der løber ud i Aarhus Å. Da Aarhus Å har udløb inderst i havnen, medfører overløb høje koncentrationer af bakterier fra urensset spildevand i havnen, hvor der er etableret et havnebad og er forskellige vandsportsaktiviteter.

I forsøget blev fire flåder på 5x5 meter med muslinger placeret, så muslingerne kunne filtrere langs en gradient af saltholdigheder og fødekonzentration inde fra bunden af havnen, hvor Aarhus Å udløber, og hvor bakteriekonzentrationen derfor er størst. Undersøgelserne viste, at muslingerne var i stand til at reducere bakteriekonzentrationen af E. coli og mikroalgekonzentrationen. Forsøget viste, at muslingeopdræt kan være en prisbillig metode til at reducere forekomsten af humane bakterier i badevand for områder, der f.eks. er påvirket af overløb fra rensningsanlæg eller diffus udledning af spildevand. I forsøget i Aarhus Havn blev muslingernes kapacitet til at reducere forekomsten af vira i badevand ikke undersøgt. I det omfang vira er bundet til partikler, kan disse optages af muslingerne og enten ophobes i muslingerne eller eksporteres til bunden med muslingernes fækalier.

Der har de senere år været meget fokus på forekomsten af mikroplastik i det marine miljø. Der er flere kilder til mikroplastik. Større stykker plastik kan med tiden disintegrere og forme mikroplastik. Mikrogummi fra dækslid udgør over halvdelen af al udledning af mikroplast, og regnvand bliver derfor den største kilde til mikroplastforurening. Undersøgelser af mikroplastbelastningen fra danske renseanlæg viser, at tilbageholdelsen for mikroplast i rensningsanlæg ligger på op til over 99%. Opmærksomheden bør derfor rettes mod mikroplastudledningen fra de regnvandsbetingede udløb, da mikroplast her ledes direkte ud i vandmiljøet uden om renseanlæg.

Muslinger, der anvendes til rensning af badevand i forbindelse med overløb af rensningsanlæg eller ved rensning for mikroplastik, kan ikke anvendes til foder eller fødevarer, men skal som udgangspunkt deponeres eller anvendes til energiproduktion. Der kan således være en vigtig kommunikativ opgave i at fortælle

borgerne, at muslinger der bruges til vandrensning ikke kan anvendes til foder eller fødevarer, således at blåmuslinger som en vigtig fødevarer ikke får et dårligt renommé. Ligeledes skal det kommunikeres, at muslingerne bruges til energi og gødning i en cirkulær økonomi, hvor vigtige næringsstoffer bringes tilbage på land, hvor de kan gøre gavn.

Produktion af teknisk vand fra saltvand

Drikkevand er en begrænset ressource i mange områder, og der er derfor fokus på, at vandforbrugende industrier har adgang til teknisk vand, der ikke har drikkevandskvalitet, men som har en tilstrækkelig og veldokumenteret kvalitet i forhold til at kunne indgå i industrielle processer. Denne vandkvalitet kan opnås med forskellige behandlingsteknikker. Der kan anvendes flere forskellige vandbehandlingsmetoder fra omvendt og fremadgående osmose, brug af membraner og forskellige elektrokemiske metoder (Chang et al 2022). Nanofiltrering er blevet rapporteret at være en effektiv vandbehandlingsmetode (Boffa et al. 2022). Nanofiltrering kan fjerne opløste næringsstoffer, molekyler med dårlig smag og salte. Desuden vil nanofiltrering føre til øget biosikkerhed ved at fjerne alle bakterier og vira. Blåmuslinger kan muligvis anvendes som en form for forfilter, idet de har kapacitet til at fjerne partikler ned til en størrelse på 1 µm.

Anvendelse af muslingeskaller

Muslingeskaller har en lang række anvendelsesmetoder. I dag sælges muslingeskaller til bæredygtige byggeprojekter, til vejfyld. En del muslingeskaller er eksporteret til Frankrig, hvor de er lagt ud i kystområder for at fremme rekrutteringen af stillehavsøsters. Disse er senere høstet. Der arbejdes ligeledes med at anvende muslingeskaller til klimaprojekter, hvor der under vejanlæg etableres reservoir til regnvand. Reservoiret er konstrueret af muslingeskaller, der dels giver en stærk konstruktion og dels udgør et porøst materiale med en stor opbevaringskapacitet for regnvand. Muslingeskaller kan ligeledes anvendes i mineindustrien, hvor surt procesvand (pH 3,4) kan renses i gennem Mussel shell bioreactors (MSB), hvor pH øges til 8.3 og der fjernes én række metaller (DiLorento et al 2016). Muslingeskaller kan endvidere anvendes til produktion af calcium-salte (Mititelu et al 2022).

Udnyttelse af lim fra muslinger

Blåmuslinger kan med deres fod fasthæfte byssustråde til faste overflader. Mussel adhesive protein (MAP) fra Mytilus-slægten udskilles af muslingefoden, og har tiltrukket betydelig opmærksomhed for potentiel brug i biomedicinske applikationer. Dette stof er sammensat af mere end 8 forskellige proteiner, der sikrer en vedhæftning af muslingebyssus. MAP gør det muligt for muslinger at fæstne sig til sten og andre faste overflader i havmiljøer. Kirurgiske forsøg på kaniner viste at MAP er biokompatibelt og kan anvendes som limprodukt ved operationer. Anvendelsen forudsætter dog et udviklingsarbejde (Song et al 2018).

DYRKNING AF STILLEHAVØSTERS

Stillehavsøstersen blev introduceret til Skandinavien som ny akvakulturart i 1977-1979, men etablerede ikke vilde bestande på det tidspunkt. I begyndelsen af 1990'erne blev der fundet vilde bestande i den danske del af Vadehavet, og i 2002–2003 blev de første bestande observeret i Limfjorden. I 2007 fik vi en massiv etablering af stillehavsøsters på vestkysten af Sverige og det sydøstlige Norge. Stillehavsøstersen har siden etableret reproduktive bestande og breder sig gradvist op langs den norske vestkyst, og ind i Østersøen til en saltholdighed på ca 10 PSU (Practical Salinity Unit).

Reproduktion hos stillehavsøsters er temperaturafhængig. Reproductionen foregår i juli/august måned (Reise 1998). Dannelsen af kønsceller starter i vinterhalvåret ved en temperatur mellem 8 og 11 °C, med en aktiv fase i forårmånederne når temperaturen stiger, hvorefter kønsmodenhed og gydning sker i sommerperioden, når temperaturen er over 19 °C. (Fabioux et al. 2005). Salinitet har ligeledes en betydning for *C. gigas* reproduktion. Arten er i stand til at reproducere sig ved saliniteter mellem 10 og 42‰. Optimalt for befrugtningen ligger saliniteten på mellem 23 og 36‰. *C. gigas* skifter køn gennem deres livscyklus. Kønnen bestemmes bla. af miljømæssige omstændigheder. Fødemangel kan derved være årsag til at hunner skifter køn til hanner, og omvendt ved tilstrækkelig fødetilgængelighed. Miljøstyrelsen har givet de første tilladelser til dyrkning af sterile triploide stillahavsøsters i danske farvande, og arten vil også kunne dyrkes i Risgårde Bredning.

HVORDAN FINANSIERES DEN VIDERE UDVIKLING

Der er den 18. marts 2021 indgået politisk forlig om "Aftale om Hav-, Fiskeri- og Akvakulturprogrammet 2021-2023". Aftalen har fokus på omstillingen af det danske fiskeri- og akvakulturerhverv i forhold til at afprøve grønne teknologier og reducere CO₂-udledningerne med 70%. Der er i aftalen bl.a. fokus på udviklings- og demonstrationsprogrammer til maritime klimaløsninger og forsøgsordninger med el eller nye brændstoffer. Aftaleparterne er enige om at afsætte 138,3 mio. DKK. i perioden til demonstrations- og afprøvningsprojekter i grøn omstilling af fiskerflåden og akvakulturerhvervet. Midlerne skal bruges til at styrke udviklingen af kommercielle løsninger, der har en effekt i fiskeri- og akvakulturerhvervet, og de målrettes derfor projekter med potentiale for markedsintroduktion og potentiale for udbredelse. Der stilles krav om, at erhvervsprojekter skal demonstrere udvikling for at få del i midlerne. Herved øger tilskuddet incitamentet til at foretage risikofyldte grønne investeringer, der ellers ikke ville være foretaget. Der er under puljen til grøn omstilling af akvakultursektoren støtte til udvikling af lavtrofisk akvakultur, herunder udvikling af skaldyrsopdræt til f.eks. muslinger og østers.

8. MAKROALGER

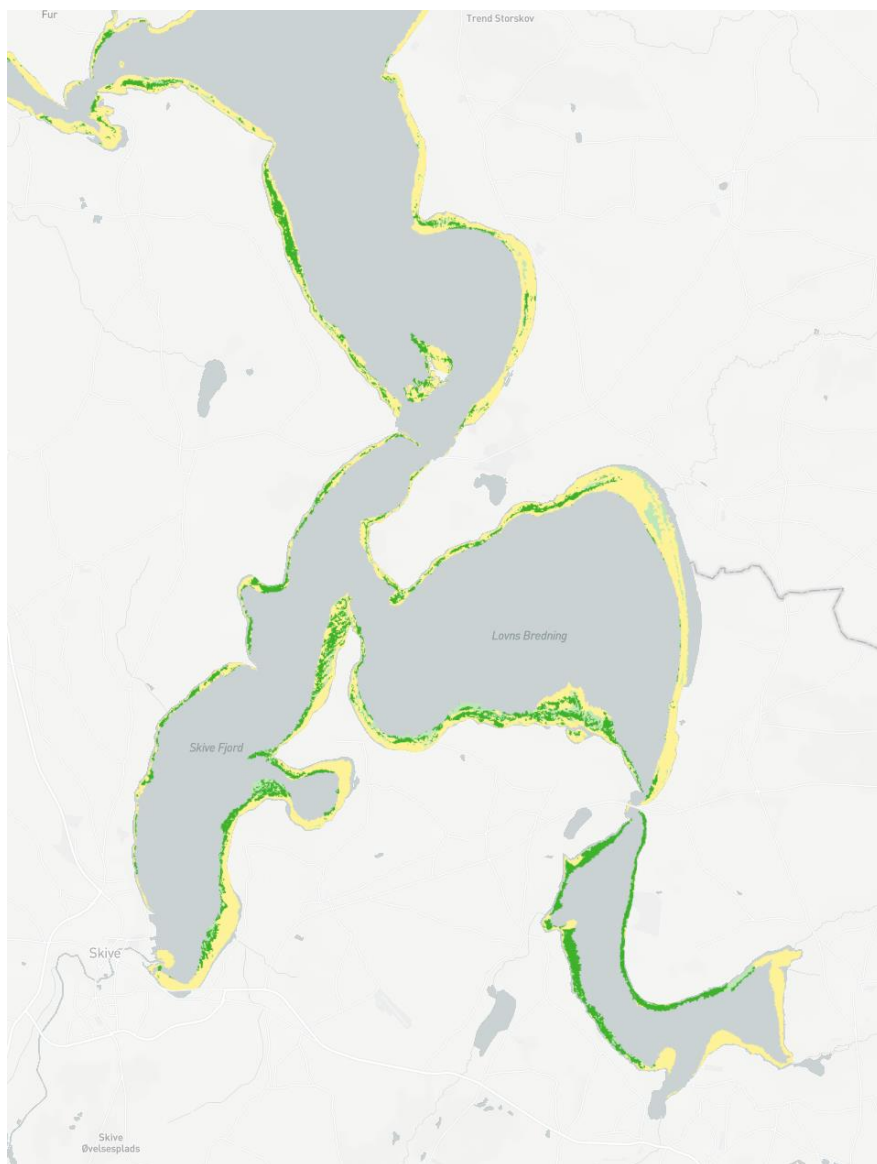
MAKROALGERNES BIOLOGI

Makroalger er de marine planter som også kaldes tang. Makroalger vokser ved vandoverfladen og ned til ca. 30 meters dybde i danske farvande, alt efter havvandets klarhed og dermed hvor langt ned sollyset kan trænge. De fleste makroalger forekommer marint, og mange af arterne skal have et stabilt underlag for at kunne leve. Vandets saltholdighed spiller en vigtig rolle for udbredelsen af mange af arterne, og mange af arterne finder vi ikke i fokusområdet (Fig 16). Makroalger spiller en vigtig rolle i økosystemet, da de både bidrager med ilt til havbunden igennem fotosyntese, binding af store mængder kulstof og derudover udgør vigtige habitater. Mange fisk kan gemme og beskytte sig i makroalgerne, de kan finde føde her, og de kan bruge tangskoven til at yngle. En invasiv art som sargassotang kan påvirke andre arter af makroalger (Stæhr et al 2019).



Figur 16 Der er i focus-området 4 overvågningsstationer med data om makroalger i perioden 2010-2021 (data fra Danmarks Miljøportal).

DHI har på baggrund af satellitbilleder fra 2018 kortlagt udbredelsen af havgræsser og makroalger. Baseret på avanceret billedbehandling og machine-learning er optiske satellitbilleder blevet brugt til at lave et nationalt kort i 10 meters opløsning over den kystnære undervandsvegetation. Analysen omfatter udbredelsen ned til 4 - 10 meters dybde (Figur 17). Ud fra kortlægningen er det ikke muligt at skelne mellem de forskellige arter, hvilket forudsætter besøg i de forskellige områder.



Figur 17 Udbredelsen af havgræsser og makroalger. Den gule farve indikerer forekomst af sand, den lysegrønne indikerer spredt forekomst af vegetation, og den mørkegrønne farve indikerer tæt vegetation (udarbejdet af DHI- finansieret af Villum-Velux Fondene – [Link til DHI kort](#)).

Miljømyndighedernes overvågning af makroalger har kun ganske få stationer i området (Figur 16), og disse kan således ikke bruges til at få en verificering og artsbestemmelse af den vegetation, der er identificeret i analyserne.

DYRKNING AF SUKKERTANG

Sukkertang (*Saccharina latissima*) er en brunalge, der vokser i danske farvande fra 1 m under overfladen og ned til maksimalt 30 m. Tangplanten har et højt indhold af sukkerstoffet manitol, der kan udgøre op til 25% af biomassen.

Sukkertangen kan dyrkes, og der er etableret enkelte dyrkningsanlæg i danske farvande. Disse anlæg har dels været del af forskningsprojekter, og et par anlæg har haft til formål at etablere en kommerciel produktion. Ved en dyrkning af sukkertang skal der etableres sporeliner, der kan udhænges i havet, hvor planterne vokser i vinterperioden. Sporelinerne produceres i et klækkeri. En mulig metode er at indsamle planter, der manipuleres med lys, hvorved deres kønsprodukter modnes og frigives. Sporerne opsamles på liner, der efter

vækstperioden i klækkeriet kan udhænges i dyrkningssystemet i havet. Efter sporing holdes sporeplanterne typisk 6-8 uger, hvorefter den første vækst sker og sporelinerne udsættes i havet. Tangen skal høstes i det sene forår, inden andre arter etablerer sig på planterne og forringer kvaliteten.

Produktionsformen er tidskrævende i klækkeriet, og ved høst er det ligeledes tidskrævende at høste de mange liner med biomasse. Ligesom for muslingeproduktionen er der derfor lavet forsøg med dyrkning på net, hvor sporerne båret af en klistret væske sprøjtes direkte på nettet og dermed bindes på nettet. Ligeledes er der lavet test af en metode, hvor nettet dyppes kort tid i en suppe med sporer, der hæfter sig til overfladen i nettet. En industriel produktion af sukkertang på net i Danmark er ikke moden, hverken i forhold til etablering af sporeplanter på net eller i forhold til udvikling af høstteknologi, der kan håndtere de tunge net, når sukkertangen skal høstes.

BARRIERER FOR DYRKNING AF SUKKERTANG

DTU Aqua og Aarhus Universitet har for som opfølgning af Det Nationale Bioøkonomipanel's anbefaling fra 2016 udarbejdet en videnssynthese om blå biomasse (Petersen et al 2021). I forhold til dyrkning af sukkertang er der identificeret et stort potentiale, men også en række barrierer:

- Tilladelser til oprettelse af dyrkningsanlæg, primært som konsekvens af manglende viden om miljøeffekter ved dyrkning i stor-skala.
- Adgang til kvalificeret arbejdskraft. Pt findes få kommercielle aktører, og viden og praktisk erfaring er stadig fortrinsvis forankret på vidensinstitutioner som AU og DTU. Flere anlæg vil kunne varetages af centrale aktører, hvilket vil kunne nedbringe drifts- og anlægsomkostninger.
- Adgang til podede sporelinier. Et centralt, specialiseret klækkeri vil kunne varetage flere producenters behov og nedbringe omkostninger og risici ved decentral sporlineproduktion.
- Dyrkningsteknologi og mekanisering af håndtering ved udsætning og høst. Udvikling af maskinelt håndterbare systemer med stor arealeffektivitet og stabilitet til produktion i eksponerede miljøer skal udvikles.
- Afsætning og konkurrence. Da tang har et højt vandindhold og tørring er ressourcekrævende, er håndtering og forarbejdning af den friskhøstede tang til lagerstabilitet en udfordring. Samtidig leverer udenlandske producenter aktuelt sukkertang til priser, som er vanskelige at matche for danske producenter.
- Der er en stigende lokal modstand mod opdrætsanlæg på havet, og for visuelle gener gælder samme forhold for sukkertang som for blåmuslinger.
- Skal produktionen stige betydeligt vil det kræve, at tangdyrkere bliver betalt for de økosystemtjenester produktionen leverer, dvs. tangdyrkning skal indgå som virkemiddel i 3. generations vandplaner eller som et instrument til Carbon Capture and Utilisation. Dette vil kunne give incitament til en betydelig produktionsforøgelse

Det skal bemærkes, at Dansk Tang i Odsherred etablerer klækkeri, og vil kunne producere og levere sporelinier i fremtiden. Det er dog selvfølgelig usikkert at basere en kommerciel produktion af tang på en enkelt leverandør af sporelinier.

FISKERI OG HØST AF MAKROALGER

Høst og fiskeri af ikke-dyrkede makroalger er ikke et marint virkemiddel. Forekomsten af flerårige makroalger er et biologisk kvalitetselement i Vandrammedirektivet, og derfor vil høst af naturlige forekomster af flerårige

alger ikke have en habitatforbedrende effekt og dermed ikke bidrage til en forbedret økologisk tilstand. Fiskeri og høst af makroalger er således kun interessant i forhold til at fremme en bioøkonomi, men fiskeriet og høsten kan være i en modsætning til målet om binding af kulstof og fremme af biodiversitet.

Blæretang (Figur 18) er som sukkertang også en brunalge. Arten vokser på lavere vanddybde, og kan opnå en størrelse på op til en meter. Blæretang forekommer ved lave saltholdigheder og forekommer hvor der er substrat til fasthæftelse, som sten eller molekonstruktioner. Algen holdes oprejst i vandsøjlen med små blærer, der sidder øverste del af planten. Blæretang kan ikke dyrkes kommercielt, og derfor kan denne art kun produceres ved høst. Her klippes skud af planter i lavvandede områder. Virksomheden Havsmag laver forsøg med dyrkning af blæretang, hvor skud indsamles og pakkes i en muslingestrømpe. Strømpen udhænges til vækst og kan afhøstes i forårsperioden. Flere virksomheder høster blæretang, og der er udviklet en økologisk certificering af det høstede produkt for flere producenter. Blæretang anvendes til helseprodukter, kosmetik og til fødevarer. For at få certificeret et område til økologisk høst af blæretang - eller andre tangarter - skal Kystdirektoratet ansøges, idet der dermed kan gives tilladelse til afmærkning af det ansøgte produktionsområde (LINK). EU har vedtaget en forordning om tangproduktion, der omfatter både dyrkning og tanghøst (LINK).



Figur 18 Blæretang vokser i områder med lavt saltholdighed, hvor der er substrat at hæfte sig til (Foto: Per Dolmer).

Søsalat (*Ulva* sp.) forekommer også overalt i de danske kystvande, og kan lokalt opbygge tætte bestande. I sommerperioden kan der således ofte ses masseforekomster af søsalat, hvilket kan medføre direkte gener i forhold til bortskygning af andre planter, højt iltforbrug ved henfald, og store lugtgener når søsalaten skyller ind på kysten og rådner. Århus Universitet har lavet forsøg med opfiskning af søsalat, og der er ved at blive udviklet metoder til anvendelse af søsalaten i bl.a. foderprodukter. Der er i 2017-2019 gennemført registreringer af biomassen af søsalat på en lang række lavsaline og lavvandede områder (Bruhn et al 2020). Der er her fundet biomassetætheder på i gennemsnit 13,4 t våd biomasse per hektar i sommerperioden, med den højeste måling på 28,0 tons våd biomasse svarende til næsten 3 kg/m². Tørstofindholdet af den opsamlende søsalat var $16,7 \pm 2,9$ % TS af den våde biomasse, N-indholdet var $2,3 \pm 1,3$ % N af TS. Det svarer til at proteinindholdet af den våde biomasse er godt 2 %.

Høstet søsalat repræsenterer en værdi, idet den både indeholder protein og bioaktive stoffer (bl.a. antioxidanter og polysakkarider), og den kan udnyttes til fødevarer, foder, ekstraktion af protein og

højværdistoffer, biogasproduktion og/eller gødning afhængig af biomassens kvalitet. Som for blæretang vil det være muligt at gennemføre en økologisk certificering. I forbindelse med GUDP-projektet SEASUS arbejdes der med at udvikle et fiskeri og en forarbejdning af søsalat.

9. ØKOSYSTEMSERVICES FRA MAKROALGER

FJERNELSE AF NÆRINGSSTOFFER

Der er ifølge Det Marine Virkemiddelkatalog (Bruhn et al 2020) lavet forsøg med dyrkning af sukkertang i Limfjorden, uden for Horsens Fjord og ud for Grenå. På baggrund af disse undersøgelser i perioden 2011-2019 kan det beregnes, at der kan fjernes henholdsvis 29,3 kg N/ha, 25,2 kg N/ha, 12,3 kg N/ha i de tre områder. Variationen mellem de enkelte år var forholdsvis stor. I forhold til fosfor fjernes der i de tre områder henholdsvis 3,91 kg P/ha, 0,75 kg P/ha og 2,43 kg P/ha.

Prisen for at fjerne næringsstoffer er beregnet ud fra de tre forsøgsområder. Prisen for at fjerne 1 kg N angives til at udgøre fra 3.241 til 7.718 DKK., med den laveste pris for en dyrkning ved Horsens og den højeste pris ved en dyrkning ved Grenå.

FORBEDRET BIODIVERSITET

Aarhus Universitet undersøgte i 2017 effekterne af tangdyrkning på tanganlægget uden for Horsens Fjord. Der blev indsamlet eDNA prøver fra vandsøjle og fra sediment. eDNA-analysen inkluderer alle eukaryoter - planter, svampe, alger og dyr. Undersøgelsen viste en større biodiversitet i sedimentet under tanganlægget end i referenceområdet. I vandsøjlen blev der observeret en ikke-signifikant tendens til, at artsdiversiteten var højere inde i anlægget og nedstrøms anlægget sammenlignet med vandsøjlels opstrøms for anlægget. Undersøgelserne viser således, at tanganlæg kan forbedre biodiversiteten ved deres funktion som hængende rev. Samlet set vurderes tangdyrkning ikke at have en væsentlig effekt på biodiversiteten i sedimentet og i vandsøjlen.

BINDING AF KLIMAGASSER

Makroalger etablerer ikke et rodnet med en permanent opbygning af biomasse som f.eks ålegræs eller landplanter. Da makroalger afstøder hovedparten af deres biomasse i efteråret, er der således ikke en permanent binding af kulstof. Dyrkning af sukkertang har dog en afbødende effekt i forhold til de klimaændringer, der er en signifikant presfaktor mod det marine miljø. Når makroalgerne vokser, optager de med fotosyntesen CO₂, der dermed bindes i plantevæv. Når planterne høstes og forarbejdes til fødevarer eller foder, og disse produkter anvendes, frigives den optagede CO₂ på ny, når tangen forbrændes. I det omfang der anvendes tang til formål, hvor tangen ikke forbrændes, kan der ske en varig fjernelse af CO₂ fra atmosfæren. Ved etablering af stenrev, hvorpå der opbygges en vedvarende bestand af tang, kan der argumenteres for en klimaeffekt, men igen skal der henledes opmærksom på, at mange tangarter har en livscyklus, hvor bladpladen i efteråret afstødes, og dermed en stor del af det kulstof, der er bundet i planten.

Dyrkning af tang har en anden positiv effekt i forhold til klimapåvirkning. Den øgede koncentration af CO₂ i atmosfæren medfører en forsuring af oceanerne. Siden den industrielle revolution begyndte for ca. 200 år siden, er koncentrationen af kuldioxid (CO₂) i atmosfæren steget på grund af menneskelig aktivitet. I løbet af denne tid er pH-værdien i oceanernes overfladevand faldet med 0,1 pH-enheder. Dette lyder måske ikke af meget, men pH-skalaen er logaritmisk, så denne ændring repræsenterer et fald på ca. 30 procent i

surhedsgrad. Dette fald i surhedsgrad har stor betydning for særligt organismer med kalkskelet, såsom koraller og muslinger (NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration - [hjemmeside](#)). I danske farvande er billedet lidt mere kompliceret, når man ser på de sidste 50 år. Frem til 1980'erne sås en stigning i pH på 0,1-0,2 pga. et øget CO₂-optag ved planteproduktion. Siden midten af 1980'erne har der dog været et fald i pH i samme størrelsesorden ([Miljø- Fødevareministeriet 2019](#)). Ved dyrkning af sukkertang optages CO₂ på tilsvarende vis, hvilket dermed bidrager til en øgning af pH.

10. MAKROALGERNES BIDRAG TIL BIOØKONOMIEN

Der har de seneste år været meget fokus på tang som den nye vidunder-fødevarer, der både er sund og velsmagende, og hvis dyrkning samtidig vurderes at have positive effekter på havmiljøet. Tilsvarende arbejdes der på at udnytte makroalger til foder, til bioraffinering, og til isolering af særlige kemiske stoffer.

Makroalger indeholder en række værdifulde stoffer herunder bioaktive stoffer. Holdt & Kraan (2011) har sammenstillet forekomst af de bioaktive i makroalger fra NV Atlanten, herunder de danske farvande. Sammenstillingen viser, at de bioaktive stoffer har forskellige positive effekter på den menneskelige sundhed bl.a. med anti-tumor effekter, antibakterielle effekter, reduktion i kolesterol, forhøjet blodtryk, anti-diabetes, antiviral effekt (Tabel 2).

Tabel 2 Bioaktive stoffer i makroalger fra NV Atlanten, og deres positive sundhedseffekter

Characteristics	Source and content	Bioactivity
Total polysaccharides	<i>Saccharina latissima</i> ^a <i>Sargassum pallidum</i> ^{b,c}	Anti-tumor action ^a , in vitro (HepG2, A549 and MGC-803 cells; MMT and DPPH free radical assay) ^b Anti-herpetic ^d Potent anticoagulant ^c Decrease in LDL-cholesterol in rats ^c
Algins/alginic acid	<i>Saccharina latissima</i> : 17–33% ^f , 18% ^g	Antibacterial ^p
Polymer of two different units of uronic acids (D-mannoronic acid and L-glucuronic acid) ^o	<i>Laminaria digitata</i> ^h : 32% ⁱ , 33–46% ^f , 30–44% ^j <i>Laminaria hyperborea</i> : 17–34% ⁱ , 20–37% ^f <i>Laminaria</i> sp. ^{m,a} <i>Fucus vesiculosus</i> : 18–22% ^g <i>Ascophyllum nodosum</i> : 28% ⁱ ; 24–29% ^l , 26% ^g <i>Undaria pinnatifida</i> ^a : 24% ^{m,a} <i>Sargassum vulgare</i> ⁿ Brown seaweed species: 10–47% ^o <i>Ulva</i> sp. ⁿ	Stimulates reparative processes and prepares wounds for scarring ^{q,r} Absorbing hemostatic agent ^{s,t,u} , in gauze dressing ^v Protective and coating effects, shielding mucous membranes and damaged skin against irritation from unfavourable environments ^w Anticancer ^a Prevent proliferation of implanted cancer cells ^x Increased (3.5-fold) the ileal viscosity of digesta and their hydration capacity in the ileum and colon in pigs ^h Hypocholesterolemic and hypolipidemic responses due to reduced cholesterol gut absorption ^{y,z,aa} Reduction of total cholesterol, free cholesterol, tri-glyceride and phospholipid in the liver ^{cc} Anti-hypertension effect ^{a,dd} Dietary fibre for maintenance of human health ^a Reduction of glucose absorption balance ^{bb} and insulin response in pigs ^{cc} Anti-diabetes ^{bb} and reduction or prevention of postprandial increase of glucose and insulin ^{cc,ff} Anti-obesity ^{bb,gg} Anti-ulcer, treatment of gastritis and gastroduodenal ulcers ^{hh} , prevent gastro-esophageal reflux and to cure epigastric burning ⁱⁱ Promotes regeneration of the mucous membranes and suppresses inflammation in the stomach, and restoration of intestinal biocenosis ^z Dietary fibre: increase of faecal microbial fauna, decrease in <i>Enterobacteriaceae</i> , <i>Enterococci</i> and lecithinase-negative clostridia, decrease of faecal phenol, p-cresol, indole, ammonium and skatole and decrease of acetic acid and propionic acid, stimulation of growths of <i>Bifidobacterium</i> spp. ^{jj} Anti-toxic effects on hepatitis ^{kk} May prevent primordial atherosclerosis ^z Anticoagulant ^{xx,1} in blood products ^g Reduction of postprandial glycaemic responses ^{yy} Maybe anti-diabetic ^{yy} Reduction of plasma cholesterol in chicken ^{zz} Anti-thrombic in dogs and humans ^l Treatment of diarrhoea, constipation and dysentery ^g Control of ulcers ^g Stimulates the biosynthesis of collagen and the formation of connective tissue ² Anti-tumour and immunomodulation ^{ll} in mice ^{mm} Antiviral: gonorrhoea, genital warts, cervical cancer and the HSV ^{oo,vv,ww,3} , genital herpes in mice ⁴
Carrageenan Sulfated polysaccharide. Several types, e.g. kappa- and lambda-carrageenan	<i>Chondrus crispus</i> ^{ll,mm,nn,oo} 47% ^{pp} , 50% ^{qq} , 58–71% ^{rr} <i>Eucheuma cottonii</i> / <i>Kappaphycus alvarezii</i> ^{ss} : 22% ^{tt} , 88% ^{uu} <i>Kappaphycus striatum</i> : 72% ^{uu} <i>Gigartina skottsbergii</i> ^{vv} <i>Stenogramme interrupta</i> ^{ww}	

Makroalge som fødevarer ingrediens

Makroalger indgår som fødevarer ingredienser i en række forskellige former. En stor del af de stabilisatorer og fortykningsmidler, der anvendes i føde- og drikkevarer, kosmetik og farmaceutiske produkter, er udvundet af makroalger. Der er tre klasser af ingrediens-typer: alginat, carrageenan og agar, som alle er polysaccharider, og som bruges til at binde vand i store mængder under dannelse af såkaldte hydrogeler. Denne egenskab anvendes til fortykning.

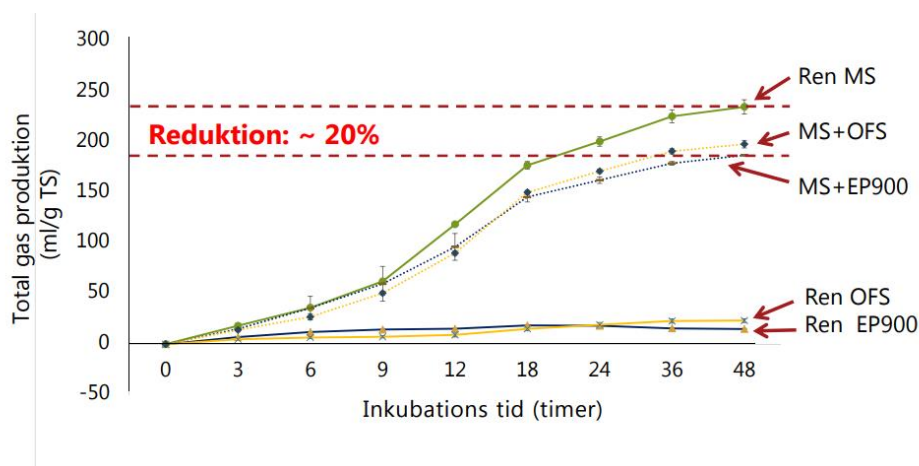
Algenaterne udvindes af brunalger, gennem en syrebehandling med en omfattende proces. Der har tidligere været en algenat produktion i Danmark, baseret på opfiskning af gaffeltang i Kattegat og syd for Lolland. Algenaterne bruges primært i dessertgeleer, herunder specielt flødeis. Algenater anvendes endvidere i kosmetiske produkter

Carrageenaner udvindes af rødalger, der primært produceres ved opdræt i Filipinerne, og nu også i Indonesien og i Tanzania. Carrageenen udtrækkes med en udfældning med kaliumklorid. Carrageenen er et billigt produkt og anvendes ligeledes som stabilisator inden for fødevarerindustrien. Carrageenen er effektivt til at binde protein og denne egenskab udnyttes til at binde produkter som is, kødprodukter og i brødprodukter. Carrageenen anvendes desuden til stabilisering af maling, kosmetik mv.

Agar udvindes af cellevægge fra forskellige rødalger, bl.a. *Gelidium*, *Gracilaria*, *Pterocladia* og horn tang, og består hovedsagelig af agarose og agaropektin. Agar er anvendt som fortykningsmiddel og stabilisator i fødevarer, kosmetik og lægemidler.

Makroalger i foder

Makroalger er anerkendt som et fodermiddel til drøvtyggere, der både har en næringsværdi og anti-methanogen effekt. Foderet kan dermed reducere landbrugets klimaeffekt (Pandey 2021). Køernes methan-udledning fra deres fordøjelse er en væsentlig klimabelastning, og København Universitet har lavet forsøg med tilsætning af brunalgen *Ascophyllum nodosum* og et blandingsprodukt af forskellige tangarter som ingrediens i foderet. Blev disse tankprodukter tilsat et foder med majs ensilage, medførte begge produkter en reduktion i methan produktionen på ca. 20 % (Figur 19).



Figur 19 Tilsætning af *Ascophyllum nodosum* (EP900) eller et blandingsprodukt af tangarter (OFS) medfører en 20% reduktion i gasproduktionen hos køer, når de fodres med majs ensilage (MS). Fra foredrag af Mette Olaf Nielsen 21. juni 2018,

Ved tilsætningen af makroalger (*Ascophyllum nodosum* og *Saccharina latissima*) i lacto-fermenteret raps- foder til pattegrise ændrede grisenes tarmflora med en mulig anti-inflammatorisk effekt (Hui et al 2021). Tilsætning af *Ascophyllum nodosum* til foderet havde ikke effekt på pattegrisenes vækst og produktion (Satessa et al 2020)

Hvis vi ser på produktionen af sukkertang i Danmark, så når den op på 22 t årligt (Fiskeristyrelsens Akvakulturstatistik 2020), dvs. langt under den produktionskapacitet, der er etableret. Den nuværende produktion sker primært i forskningsøjemed, og foregår ikke på kommercielle vilkår. Forklaringen på den lille produktionsstørrelse har flere aspekter. Der importeres i dag sukkertang særligt fra anlæg i Norge og på Færøerne. En del af disse anlæg er forsøgsanlæg, der med innovationsstøtte producerer tang. Danske producenter kan således ikke konkurrere med de priser, der kan opnås på markedet for tørret eller frosset tang. Den danske produktion af tang skal levere til et marked, der i dag er forholdsvist lille.

ER TEKNOLOGIEN MODEN OG RAMMEBETINGELSERNE PÅ PLADS

Teknologien til dyrkning af sukkertang er moden både i forhold til processerne med produktion af sporeliner, klækkeriet og med produktion af biomasse i havet på liner. I forhold til at producere sukkertang til foder eller bioraffinering er der behov for en effektivisering af produktionen, således at flere processer automatiseres. Der er både nationalt og internationalt lavet forsøg med produktion af sukkertang på store net, hvor sporerne sprøjtes direkte på nettene i en gel, og hvor produktionen i laboratoriet således kun omfatter produktionen af selve de juvenile sporofytter (Boderskov et al 2021).

Der laves forsøg med dyrkning af brunalgen blæretang og klørtang *Fucus vesiculosus* and *Fucus serratus*. Disse arter dyrkes i et free-floating system i netbure, med indsamling af thalli i felten (Meichssner et al. 2020). Der er således ikke et forløb i et klækkeri, hvor sporer etableres på substrat. En udfordring ved dyrkning af *Fucus*-arterne er at en række andre organismer, herunder muslinger, mosdyr mv etablerer sig på algerne, hvilket forringer deres kommercielle værdi.

POTENTIAL ET FOR FORRETNINGSUDVIKLING

En lokal produktion eller forarbejdning af dyrket eller høstet tang kan tage udgangspunkt i forskellige forretningsmodeller.

Nicheproduktion til fødevarer

Der er stor interesse for at anvende dyrkede eller vildt høstede danske tangarter som fødevarer, og der kan ligge en nicheforretning her.

Høst af blæretang - *Fucus* arter

Blæretang kan på nuværende tidspunkt ikke opdrættes, og markedet er afhængigt af høst af vildtvoksende tang. Der er en vis efterspørgsel på høstet blæretang. Den tyske kosmetikproducent Ocean Well, beliggende i Kiel, producerer cremer med udtræk fra tang. Virksomheden efterspørger økologisk certificeret blæretang høstet i Danmark, idet der ikke kan opnås tilladelse til afhøstning i Tyskland. Virksomheden skal anvende ca 2 t ikke tørret blæretang årligt.

Også som fødevarer er der en efterspørgsel på tørret blæretang. Bl.a. Nordisk Tang leverer i dag pesto med blæretang og savtang, og sælger også tørret savtang. Dansk Tang leverer ligeledes friskhøstet blæretang samt tørret blæretang og savtang.

Blæretang og andre Fucus-arter har et højt indhold af det bioaktive stof fucoidan, der har en række sundhedsfremmende egenskaber ([Catarine et al 2018](#)). Dette stof er rapporteret til at have en gavnlig effekt ved at være anti-inflammatorisk, virksomt mod slidgigt, diabetes og tumorer. Ligeledes er der dokumenteret antiviral effekt.

Alge-tekstil

En række virksomheder (Vitadylan, SeaCell, AlgiKnit, Algalife) udnytter makroalger til at lave tekstiler. Findelt materiale blendes med cellulose fra træ, og der trækkes lange fibre, der efterfølgende kan spindes til en tråd og indgå i et tekstil. Tekstilerne markedsføres både med at de er regenerative, men også at algerne gode egenskaber bevares i tekstilet, og at tekstilet er særligt skånsomt ved hudkontakt (Hjemmeside udarbejdet af Birgit Bonefeld i 2019-[LINK](#)).

HVORDAN FINANSIERES DEN VIDERE UDVIKLING

Se afsnit under kapitel om muslinger. Der er desuden gennemført en del tangprojekter finansieret af private fonde (Villum-Velux Fondene), og projekter med dyrkning af sukkertang, kan måske vinkles så fondsbevilling kan tiltrækkes.

11.UDPLANTNING AF ÅLEGRÆS

ÅLEGRÆSSETS BIOLOGI

Ålegræs er en blomsterplante, der har tilpasset sig til livet i saltvand (Figur). Planten er afhængig af sollys, og er derfor følsom over for stor produktion af planteplankton eller begroning af hurtigvoksende alger. Pga. plantens følsomhed over for eutrofiering er ålegræs valgt som en indikator for vandkvaliteten i implementeringen af vandrammedirektivet. Ved beregninger af reduktionsmålene for udledning af næringsstoffer indgår således et mål for, at ålegræsset skal kunne brede sig ud til en vanddybde, der kendetegner et system, der ikke er påvirket af antropogene effekter.

Ålegræs kan formere sig på to forskellige måder. Planten kan danne hun- og han blomster, og således producere frø, der spredes omkring planten. Ålegræs kan også reproducere sig asexuelt ved at plantens rødder etablerer nye rodskud, der udvider et ålegræsbeds samlede areal.



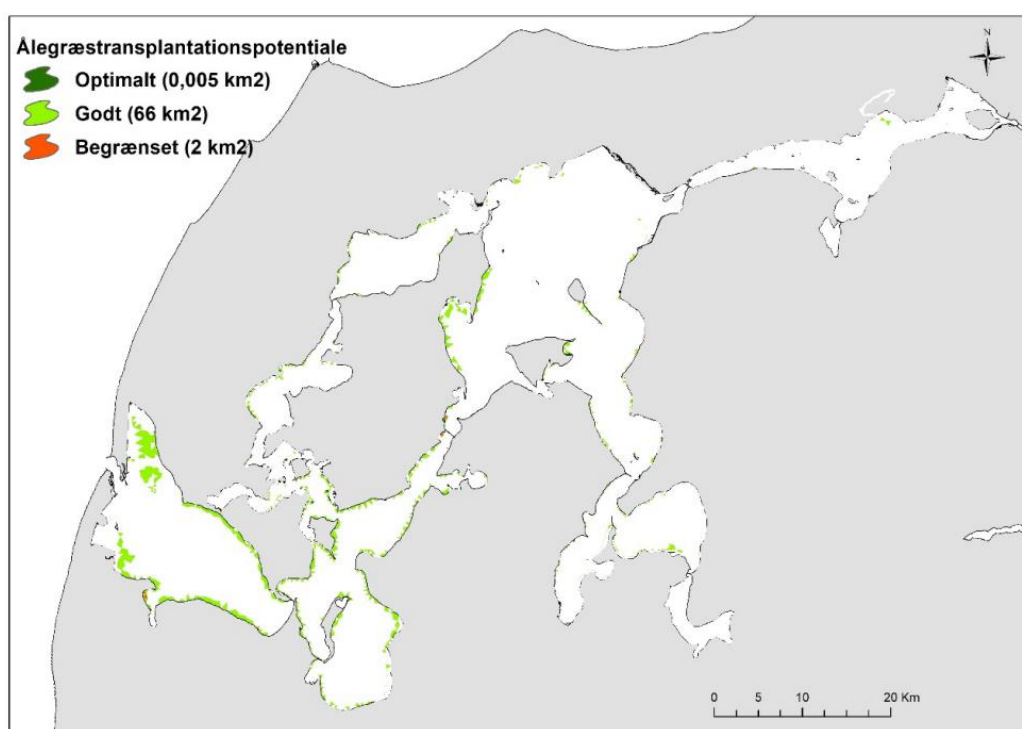
Figur 20 Ålegræs er en blomsterplante, der har en vigtig funktion i økosystemet. Udbredelsen af ålegræs er styret af tilgængeligt lys. Udledning af næringsstoffer kan dermed begrænse plantens udbredelse (Foto: Per Dolmer).

Ålegræsbede er vigtige økosystemer, der tilbyder en række økosystemtjenester, der har stor betydning for både havet og menneskenes interaktion med havet.

Ålegræsbede binder og tilbageholder næringsstoffer (N, P) og binder ligeledes kulstof. Ålegræs er således effektivt til at binde en del af de næringsstoffer, der kommer fra land, samt det kulstof der bidrager til klimaændringer. Ålegræs virker også som et filter, idet vandets hastighed sænkes ved passage gennem et ålegræsbed, og derved sedimenteres partikler. Effekten har betydning i forhold til at give klarere vand og mindske kysterosion. Ålegræsbede har en høj biodiversitet, idet de er levested for en lang række dyr og planter.

UDPLANTNING AF ÅLEGRÆS

En analyse af, hvor det er hensigtsmæssigt at udplante ålegræs som marint virkemiddel viser, at området er meget begrænset i fokusområdet, og kun i den sydlige del af Lovns Bredning er der et større egnet område (Figur 21).



Figur 21 Potentialer for ålegræstransplantering (bruttoareal) i Limfjorden fastlagt med GIS-model og modelgenererede datalag for lys, frekvens af resuspension, iltforhold, bundforhold, ballistiske påvirkninger fra makroalger og DIN-koncentration. Datalag er genereret ud fra DHI's Vandplanssimuleringsresultater af SDU. Grøn markering angiver områder med potentiale for transplantering og rød angiver områder, hvor lysforholdene er på grænsen til at kunne understøtte transplantering (Kilde: SDU se [Link](#))

Ved en udplantning af ålegræs indsamles der ålegræsskud fra en sund donorpopulation, og enkeltskud udtages og anvendes ved udplantningen. De enkelte skud monteres på et søm eller lignende, og placeres derefter på bunden af snorkeldykker. Det monterede søm sikrer en forankring af planten, indtil denne har etableret et rodsystem, der sikrer at planten ikke driver væk ved strøm eller bølgepåvirkning.

Der er ligeledes forsøgt etablering af ålegræs ved høstning og udlægning af frø, der er indsamlet i eksisterende ålegræsområder. Ved såninger, er det forventningen, at frøene spirer og skaber en ny population af ålegræs. I

Virkemiddelkataloget angives det, at ålegræsbede kan restaureres ved spredning af frø og ved udplantning af skud, men forskningsprojekterne ReelGrass og NOVAGRASS viser, at udplantning af skud er mest effektivt. Forsøg med udplantning af frø, har både nationalt og internationalt givet dårlige resultater. Der arbejdes dog på at finde teknologisk løsning, da metoden kan anvendes til at opskalere gendannelsen af ålegræsbede.

De udplantninger, der er gennemført i Danmark med skud, er alle gennemført i forholdsvis lille skala. De er gennemført som forskningsprojekter eller ved inddragelse af frivillige organisationer og i forbindelse med undervisningsforløb. I forhold til at opskalere og kommercialisere udplantningen af ålegræs, er der behov for en udviklingsindsats og for at involvere virksomheder med erfaring fra f.eks. fiskerisektoren.

Etablering af ålegræsbede kan med fordel samtænkes med en stabilisering af bunden, med udlægning af sand (sandcapping), og med muslingeopdræt der giver klarere vand, og dermed sikrer mere lys til ålegræsplanterne.

På den svenske vestkyst er der lavet vurderinger af det økonomiske tab per hektar pga. nedgang i ålegræssets udbredelse ([Cole & Moksnes 2016 - link](#)). Tabsomkostningerne omfatter:

Tab pga. nedgang i fiskebestande	3198 SEK/år
Binding af kvælstof	5593 SEK/år
Binding af kulstof	2322 SEK/år
Beregningerne er baseret på en pris på kulstof på 948 SEK per ton C og 193 SEK/kg N.	

12. ØKOSYSTEMSERVICES FRA ÅLEGRÆS

ANALYSE I VIRKEMIDDELKATALOG - FJERNELSE AF NÆRINGSSTOFFER

Det marine Virkemiddelkatalog (Bruhn et al 2020) angiver, at der sker en permanent immobilisering af 146 kg N/år og 32 kg P/år for hver hektar ålegræsbed, der etableres. Immobiliseringen skyldes ålegræsbedenes rodnet, akkumulering i sedimentet og en øget denitrifikation i sedimentet. I ålegræsplanternes vækstsæson er der en yderligere binding af N og P på 294 kg N/år og 60 kg P/år per hektar.

Der er i virkemiddelkataloget foretaget en beregning af omkostning for udplantning. Beregningen er baseret på brug af arbejdsteam på 10 mand, heraf 4 dykkere. Prisen for etablering af 1 ha ålegræsbed med udplantning af 47.000 skud er angivet til 249.086 DKK. Hvis en investering skal afskrives inden for en vandplansperiode, dvs. frem til 2027, vil den årlige udgift til fjernelse af 146 kg N/ha være ca. 50.000 DKK., svarende til en pris på 342 DKK/kg N. Den tilsvarende pris for P er 1562 DKK/kg P.

FORBEDRET BIODIVERSITET

Ålegræs er levested for fiskeyngel og en lang række dyr og planter, herunder kommercielle fiskearter.

BINDING AF KLIMAGASSER

Danske virksomheder og individer har i stigende grad fokus på at reducere udledningen af klimagasser. I forhold til en række virksomheders CSR-strategi er klimaneutralitet blevet en del af markedsføringen, og en måde at få social accept af produktion. Danske individer og familier bidrager med ændrede madvaner, med mindre kød, kørsel i elektriske biler og en række andre tiltag til at reducere klimabelastningen. I forbindelse med rejser kan der hos en række virksomheder købes klimakompensation, således at der kan rejses med bedre

samvittighed. Der er således et stort potentiale for at inddrage danske individer og virksomheder i et system, hvor der med etablering af varige områder med ålegræs kompenseres for en udledning af CO₂. Markedsprisen på CO₂ klimakreditter er steget voldsomt og er nu på ca. 85 EUR/635 DKK pr. ton CO₂. Frem mod 2030 er der stor usikkerhed på prisudviklingen, og 50-85-108 EUR/ton svarende til 410-630-800 DKK/ton udgør forudsigelserne udarbejdet af bl.a. Bloomberg. Prisen drives opad af regerings- og overnationale klimatiltag, og jokeren er, om der sker en teknologisk revolution der trækker den modsatte vej.

Undersøgelser i danske og finske farvande af havgræssernes binding af kulstof (Röhr et al 2016 – link) viser store forskelle i de enkelte områders kapacitet til at akkumulere kulstof. Kulstoffet akkumuleres over en årrække ved en sedimentation af organisk materiale i området med havgræs, og forskellige sedimentationshastigheder forklarer en del af variationen. På en række stationer på Fyn lå den årlige akkumuleringen af kulstof på mellem 7,7 til 102 t C/ha. Undersøgelser i Limfjorden lå noget lavere. Hvis kulstofkoncentrationerne omregnes til CO₂, kan et ålegræs område maksimalt akkumulere 374 t CO₂. Regnes der med en pris på 60 EUR/t CO₂ vil ålegræssets værdi i forhold til den kulstoflagring være på 22.440 EUR, eller 165.000 DKK/ha. Der er således mulighed for en væsentlig værdiskabelse, hvis det lykkes at genskabe områder med tætte forekomster af havgræsser med en høj kapacitet til at akkumulere kulstof.

Ved projekter hvor der udplantes ålegræs, kan der opsamles CO₂. Ny amerikansk undersøgelse (Oreska et al 2020) viser, at ålegræsbede over en 15 års periode kan opsamles 0,42 t CO₂-ekvivalenter/ha per år. Danske undersøgelser i Horsens Fjord angiver i det Marine Virkemiddelkatalog (Bruhn et al 2020), at der permanent immobiliseres 822 kg C/ha per år fordelt på 527 kg i rodnettet og 355 kg i sedimentet. Dette svarer til en immobilisering af ca. 3 t CO₂/ha per år.

I forhold til binding af kulstof på landjorden er binding af kulstof i sedimenter mere effektivt, idet kulstof i bundet i sedimenter opbevares i tidsskalaer på årtusinder, mens en binding i en jordbund er mindre stabil og kun er bundet i op til årtier (Hendriks et al., 2008).



Figur 22. Udplantning af ålegræs af gymnasieklasse. Billedet er fra Rødkilde Gymnasiums hjemmeside.

13.BIDRAG TIL BIOØKONOMIEN FRA ÅLEGRÆS

Ålegræs smider deres blade i efteråret, og store mængder biomasse driver ind på land, og kan anvendes som råmateriale. Kvaliteten af det ilanddrevne ålegræs vil være variabel pga. iblanding af tangarter og urenheder

som f.eks. sand. I princippet vil det være muligt at udvikle et fiskeri i særlige områder, og således producere en råvare af høj kvalitet. Ålegræs har i mange generationer været brugt til byggerier og som fyld i f.eks. madrasser. Dansk Tang sælger tørret ålegræs, der kan bruges som erstatning for bobleplast i forbindelse med forsendelser (Link).

Teknologisk Institut har i 2018 afsluttet en undersøgelse af anvendelse af ålegræs til produktion af isolationsmåtter til byggerier (Link). I en rapport opsummeres følgende resultater: Tangisoleringsmåtterne – tang-batts - fremstillet af ålegræs opnår uden brandimprægnering en brandklasse E pga. et højt saltindhold i ålegræsset. Måtterne er dermed brandimprægneret fra naturens side. Imprægnering med Firestop-brandhæmmer forventes at resultere i en brandklasse B. Det er påvist at isoleringsværdien er på højde med mineraluld og at tang-batts har gode akustiske og lydabsorberende egenskaber. Produktet er certificeret med "Cradle to cradle", først på niveau "SØLV" og ultimo april 2017 "GULD"-certificering som det første isoleringsmateriale. Det er herudover dokumenteret, at produktet bl.a. har fordele ved anvendelse til isolering af krybegulv, lydisolering mm.

RealDania har støttet et forsøgsbyggeri på Læsø (Link), hvor ålegræs indgår som isolering, og som indvendig og udvendig beklædning (Figur). Huset er opført af præfabrikerede trækassetter, som udgør både gulv, facader og tag. Ålegræs indgår som isolering både i selve kassetterne, som polstring i en akustikdæmpende loftsbeklædning beklædt med hørstof, og som facade- og tagbeklædning.



Figur 23 Moderne tanghus bygget på Læsø med støtte fra Realdania. I det moderne tanghus bliver ålegræs brugt på tre forskellige måder: som isolering, som indvendig polstret beklædning og som udvendig synlig beklædning. Ved brug af ålegræs bindes CO₂, og substituering af traditionelle byggematerialer medfører ligeledes en væsentlig reduktion af byggeriets klimabelastning. (Fra Realdanias hjemmeside).

Ålegræsblade har ikke en værdi som fødevare eller foder. Der er lavet forsøg med indsamling af frø fra ålegræs. Disse frø kan indsamles i juli måned, tørres og udgør en meget proteinrig korntype (Boks 2). Proteinindholdet er således 50% højere end i ris. Fordelen ved en produktion er, at der ikke skal anvendes

gødning, men frøene kan høstes fra den naturlige forekomst af ålegræs eller fra udplantede ålegræsplanter. Korn fra ålegræs må betragtes som et nicheprodukt målrettet high-end restauranter.

BOKS 2: FRA THE GUARDIAN 9. APRIL 2021 (LINK)

Seascapes: the state of our oceans
Plants

Seascapes: the state of our oceans is supported by the David & Lucile Packard Foundation

About this content

Ashifa Kassam in Madrid

▼@ashifa_k

Fri 9 Apr 2021 06:00 BST

5,037

The rice of the sea: how a tiny grain could change the way humanity eats

Ángel León made his name serving innovative seafood. But then he discovered something in the seagrass that could transform our understanding of the sea itself - as a vast garden



▲ Chef Ángel León found eelgrass seeds have 50% more protein than rice - and the plant stores carbon far faster than a coconut. Photograph: Álvaro Fernández Prieto/Aponiente

Growing up in southern Spain, Ángel León paid little attention to the meadows of seagrass that fringed the turquoise waters near his home, their slender blades grazing him as he swam in the Bay of Cádiz.

It was only decades later - as he was fast becoming known as one of the country's most innovative chefs - that he noticed something he had missed in previous encounters with *Zostera marina*: a clutch of tiny green grains clinging to the base of the eelgrass.

His culinary instincts, honed over years in the kitchen of his restaurant Aponiente, kicked in. Could this marine grain be edible?

Lab tests hinted at its tremendous potential: gluten-free, high in omega-6 and -9 fatty acids, and contains 50% more protein than rice per grain, according to Aponiente's research. And all of it growing without freshwater or fertiliser.

The find has set the chef, whose restaurant won its third Michelin star in 2017, on a mission to recast the common eelgrass as a potential superfood, albeit one whose singular lifecycle could have far-reaching consequences. "In a world that is three-quarters water, it could fundamentally transform how we see oceans," says León. "This could be the beginning of a new concept of understanding the sea as a garden."



Meet the 'star ingredient' changing fortunes in Alaska's waters: seaweed

It's a sweeping statement that would raise eyebrows from anyone else. But León, known across Spain as *el Chef del Mar* (the chef of the sea), has long pushed the boundaries of seafood, fashioning chorizos out of discarded fish parts and serving sea-grown versions of tomatoes and pears at his restaurant near the Bay of Cádiz.



▲ The tiny grains within the eelgrass. The plant is capable of capturing carbon 35 times faster than tropical rainforests. Photograph: Álvaro Fernández Prieto/Aponiente

"When I started Aponiente 12 years ago, my goal was to open a restaurant that served everything that has no value in the sea," he says. "The first years were awful because nobody understood why I was serving customers produce that nobody wanted."

Still, he pushed forward with his "cuisine of the unknown seas". His efforts to bring little-known marine species to the fore were recognised in 2010 with his first Michelin star. By the time the restaurant earned its third star, León had become a fixture on Spain's gastronomy scene: a trailblazing chef determined to redefine how we treat the sea.

What León and his team refer to as "marine grain" expands on this, in one of his most ambitious projects to date. After stumbling across the grain in 2017, León began looking for any mention of *Zostera marina* being used as food. He finally found an article from 1973 in the journal *Science* on how it was an important part of the diet of the Seri, an Indigenous people living on the Gulf of California in Sonora, Mexico, and the only known case of a grain from the sea being used as a human food source.

Advertisement

SAMSUNG
Galaxy A32 | A52 | A72



See Samsung Galaxy A32, A52, A72

Next came the question of whether the perennial plant could be cultivated. In the Bay of Cádiz, the once-abundant plant had been reduced to an area of just four sq metres, echoing a decline seen around the world as seagrass meadows reel from increased human activity along coastlines and steadily rising water temperatures.

Working with a team at the University of Cádiz and researchers from the regional government, a pilot project was launched to adapt three small areas across a third of a hectare (0.75 acres) of salt marshes into what León calls a "marine garden".

It was not until 18 months later - after the plants had produced grains - that León steered himself for the ultimate test, said Juan Martín, Aponiente's environmental manager.



▲ Salt marshes near Cádiz were used to create a 'marine garden' where the eelgrass seeds could be sown. Photograph: Álvaro Fernández Prieto/Aponiente

"Ángel came to me, his tone very serious, and said: 'Juan, I would like to have some grains because I have no idea how it tastes. Imagine if it doesn't taste good,'" says Martín. "It's incredible. He threw himself into it blindly, invested his own money, and he had never even tried this marine grain."

León put the grain through a battery of recipes, grinding it to make flour for bread and pasta and steeping it in flavours to mimic Spain's classic rice dishes.

"It's interesting. When you eat it with the husk, similar to brown rice, it has a hint of the sea at the end," says León. "But without the husk, you don't taste the sea." He found that the grain absorbed flavour well, taking two minutes longer to cook than rice and softening if overcooked.

In the marine garden, León and his team were watching as the plant lived up to its reputation as an architect of ecosystems: transforming the abandoned salt marsh into a flourishing habitat teeming with life, from seahorses to scallops.

The plant's impact could stretch much further. Capable of capturing carbon 35 times faster than tropical rainforests and described by the WWF as an "incredible tool" in fighting the climate crisis, seagrass absorbs 10% of the ocean's carbon annually despite covering just 0.2% of the seabed.

News of what León and his team were up to soon began making waves around the world. "When I first heard of it, I was going 'Wow, this is very interesting,'" says Robert Orth, a professor at the Virginia Institute of Marine Science, who has spent more than six decades studying seagrass. "I don't know of anyone that has attempted to do what this chef has done."

According to Orth, seagrass has been used as insulation for houses, roofing material and even for packing seafood, but never cultivated as food. It is an initiative riddled with challenges. Wild seagrass meadows have been dying off at an alarming rate in recent decades, while few researchers have managed to successfully transplant and grow seagrass, he says.

In southern Spain, however, the team's first marine garden suggests potential: average harvests could be about 3.5 tonnes a hectare. While the yield is about a third of what one could achieve with rice, León points to the potential for low-cost and environmentally friendly cultivation. "If nature gifts you with 3,500kg without doing anything - no antibiotics, no fertiliser, just seawater and movement - then we have a project that suggests one can cultivate marine grain."



▲ A pilot project was successful in cultivating seagrass and obtaining grains that Ángel León then tried in different recipes. Photograph: www.MAPDIGITAL.es

The push is now on to scale up the project, adapting as much as five hectares of salt marshes into areas for cultivating eelgrass. Every success is carefully tracked, in hopes of better understanding the conditions - from water temperature to salinity - that the plant needs to thrive.

While it is likely to be years before the grain becomes a staple at Aponiente, León's voice rises with excitement as he considers the transformative possibility of *Zostera marina*'s minuscule, long-overlooked grain - and its reliance on only seawater for irrigation. "In the end, it's like everything," he says. "If you respect the areas in the sea where this grain is being grown, it would ensure humans take care of it. It means humans would defend it."

He and his team envision a global reach for their project, paving the way for people to harness the plant's potential to boost aquatic ecosystems, feed populations and fight the climate crisis. "We've opened a window," says León. "I believe it's a new way to feed ourselves."

14. SAMMENLIGNING AF AREALANVENDELSE AF BLÅ PRODUKTIONSMETODER

Aarhus Universitet har i samarbejde med DTU og SDU udarbejdet et virkemiddel-katalog for en række marine virkemidler, der forbedrer vandmiljøet i danske kyst og fjordområder ([Bruhn et al 2020 LINK](#)), hvor særligt dyrkning af muslinger og makroalger samt etablering af ålegræsbede bør nævnes. Disse tre virkemidler kan etableres i Skive Fjord og Lovns- og Risgård Bredninger.

I kap 6 i nærværende rapport angives med henvisning til virkemiddelkataloget, at for produktion af blåmuslinger, at den maksimale produktion i et produktionsområde på 250x750 m på langliner er 1800 t ved en afhøstning i november. Dette svarer til en fjernelse af 0,7-1,4 t N ha⁻¹ og 0,06-0,09 t P ha⁻¹. De tilsvarende værdier er for produktion på net en maksimal produktion på 4.000 t per anlæg og en fjernelse af 1,6-3,0 t N ha⁻¹ og 0,10-0,17 t P ha⁻¹. Prisen for fjernelse af N med muslingeopdræt på net i Skive Fjord vil udgøre 48-64 DKK/kg N. Med etablering af 13 muslingeopdræt, kan der således produceres op til 52.000 t blåmuslinger. Med denne produktion vil der fjernes 731 t N. denne fjernelse svarer til indsatsbehovet i udkastet til vandplanen for 2021-2027 for kystvandet Bjørnsholm Bugt, Risgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning.

I kap 9 angives for produktion af sukkertang, at der kan fjernes 29,3 kg N/ha i Limfjorden. I forhold til fosfor fjernes der 3,91 kg P/ha. Prisen for at opsamle n med dyrkning af sukkertang udgøre fra 3.241 til 7.718 DKK/kg N

I kap 12 angives, at der ved udplantning af ålegræs sker en permanent immobilisering af 146 kg N/år og 32 kg P/år per hektar. Prisen for etablering af 1 ha ålegræsbed er angivet til 249.086 DKK. Hvis en investering skal afskrives inden for en vandplansperiode, dvs. frem til 2027, vil den årlige udgift til fjernelse af 146 kg N/ha være ca. 50.000 DKK., svarende til en pris på 342 DKK/kg N. Den tilsvarende pris for P er 1562 DKK/kg P.

Der er stor forskel på de enkelte virkemidlers modenhed (TRL) og på hvorvidt der er national kapacitet til at iværksætte virkemidlet.

blåmuslinger kan dyrkes effektivt i Skive Fjord og Lovns Bredning, og disse områder udgør nogle af de mest produktive områder i Limfjorden, og dermed i Danmark. Mineraliseringen ved skaldannelse binder en mængde CO₂, som kan indgå som klimakredit. Muslinger kan indgå i bioøkonomien gennem industriel produktion af marint protein. Produktionen af muslinger har en række positive effekter på økosystemet ud over fjernelse af N og P, herunder forbedret klarhed af vandet, og forbedring af levesteder for en række andre arter.

Dyrkning og fiskeri af makroalger, herunder særligt sukkertang, blæretang og søsalat, vil binde næringsstoffer. Prismæssigt er næringsstoffjernelsen væsentligt dyrere end muslingeproduktion, men virkemidlet er interessant, da det optager næringsstofferne direkte. Tangproduktion har en positiv effekt på klimaet ved binding af CO₂ og øgning af pH. Der er i dag en voksende efterspørgsel efter sukkertang, og arten er i stigende omfang en vigtig ressource for marin bioøkonomi. Undersøgelser har vist, at dyrkning af sukkertang medfører en øget biodiversitet.

Udplantning af ålegræs og etablering af ålegræsbede er et virkemiddel, der de senere år har været under stor udvikling. Ålegræsbede, herunder særligt de rodnet der etableres, binder store mængder næringsstof og kulstof, og udplantning af ålegræs er derfor et vigtigt virkemiddel i forhold til reduktion af kvælstof og CO₂. Ålegræs har en vigtig indirekte effekt på fiskeriet, idet ålegræsbedene er vigtige opvækstpladser for bl.a. torskefisk og kan således bidrage til genopretning af visse fiskebestande. Ålegræs er levested for en lang række arter, og etableringer af ålegræsbede vil således bidrage til en øget biodiversitet i danske kystområder. Lys-nedtrængning er en begrænsende faktor for etablering af ålegræs, og en samtænkning af virkemidlet med muslingeproduktion kan være hensigtsmæssig.



Figur 24 Forskellige tangarter påstensætning (Foto: Per Dolmer).

DTU har i maj 2021 udgivet en rapport, der vurderer potentialer og barrierer for marine virkemidler ([Petersen et al 2021](#)). Rapporten giver en afklaring af, hvor de forskellige virkemidler kan iværksættes, og er således en opfølgning på Det Marine Virkemiddelkatalog. Præmissen for analysen er at identificere områder med biologiske-fysiske forhold, der kan muliggøre anvendelse af et virkemiddel, og dernæst at se på andre forhold, der kan begrænse etableringen af et marint virkemiddel. Endvidere skal der være et sammenhængende anvendeligt areal over en vis størrelse (20 ha), som kan anvendes på grund af administrative, logistiske og sociale forhold. I rapporten angives der for hvert vandområde, hvorvidt henholdsvis dyrkning af blåmuslinger og dyrkning af sukkertang er muligt. Et vilkår for denne type analyse udført af DTU er, at der for hvert område angives, om et virkemiddel er anvendeligt, og der gradueres ikke mellem anvendeligt og uanvendeligt, men i forhold til øget omkostningsniveau. I områder med lav salinitet eller lav vanddybde som f.eks Hjarbæk Fjord vil det således være muligt at producere f.eks. muslinger med en reduceret produktionskapacitet i forhold til den maksimale produktion. Etablering af marine virkemidler i disse områder kan være en hensigtsmæssig løsning, såfremt andre virkemidler, herunder virkemidler på land, ikke kan iværksættes.



Figur 25 Bæredygtighed skal sikre opfyldelsen af basale krav uden at skade vores økosystemer (Foto: Per Dolmer).

Sammenlignes produktionen af blåmuslinger, dyrkning af sukkertang og udplantning af ålegræs, og dermed 3 af de mest modne marine virkemidler, ses der store forskelle i de tre produktioners kapacitet til at binde næringsstoffer og CO₂ (Tabel 3-4 og Figur 26). Det skal bemærkes, at de beregnede værdier er for Limfjorden. Ved produktion af blåmuslinger på en hektar af fjorden, kan der således bindes mellem 1,6 og 3,0 t kvælstof og mellem 0,1 og 0,17 t fosfor. De tilsvarende værdier er for produktion af sukkertang 0,0054-0,0544 t kvælstof og 0,0001-0,0013 t fosfor. For ålegræs er værdierne 0,146 t kvælstof og 0,032 t fosfor. For en permanent binding af CO₂ er værdien i blåmuslingerne 11.2-23,9 t CO₂ for muslinger og 0,822 t CO₂ i udplantet ålegræs. For produktionen af sukkertang er der ikke medtaget klimaeffekt, da der ikke sker en vedvarende fjernelse af CO₂, da hele planten vil blive anvendt som fødevarer eller foder uden permanent binding af kulstof.

Ser vi på produktionen af protein, fedt og kulhydrat er der ligeledes stor forskel mellem de tre kompensationsmetoder. Produktionen medfører en stor produktion af begge de tre komponenter, produktionen af sukkertang ligger forholdsvis lavt, og ålegræs har ikke umiddelbart en næringsværdi (Tabel 3-4 og Figur 26).

I tabel 4 ses, at muslingeopdræt er 25-500 gange mere effektivt end opdræt af sukkertang, når vi ser på arealeffektiviteten, og muslingeopdræt er 4-25 gange mere effektive end udplantet ålegræs.

Tabel 3 Oversigt over biomasseproduktion, fangst af N, P og CO₂, samt produktion af protein, fedt og kulhydrat ved en kompenserende produktion af blåmuslinger, sukkertang og udplantning af ålegræs. Dato for blåmuslinger og sukkertang er fra Limfjorden og data for udplantning af ålegræs er fra Horsens Fjord. Data er vist som en minimumsværdi og en maksimumsværdi. For ålegræs er kun vist de data, der stammer fra en enkelt undersøgelse.

	blåmuslinger		makroalger (sukkertang)		ålegræs
	min	max	min	max	
Biomasse (100 tons/ha)	1,12	2,39	0,010	0,093	
Kvælstof (tons/ha)	1,60	3,00	0,005	0,054	0,15
Fosfor (tons/ha)	0,10	0,17	0,000	0,001	0,03
CO ₂ (tons/ha)	11,20	23,90			0,82
Protein (tons/ha)	11,76	25,10	0,008	0,073	
Fedt (tons/ha)	1,57	3,35	0,006	0,054	
Kulhydrat (tons/ha)	3,83	8,17	0,042	0,389	

Forudsætninger for data:

-Vurdering af biomasse, kvælstof og fosforbinding for muslinger og sukkertang er fra det Marine Virkemiddelkatalog (Bruhn et al 2020) med udgangspunkt i Skive Fjord eller sekundært Limfjorden

-CO₂ binding fra muslinger er kun for binding i skaller, da kulstof i kødet vil blive frigivet.

-CO₂ binding i sukkertang er ikke vurderet, men kan konservativt sættes til nul, da algeproduktionen ikke vil medføre en langvarig binding

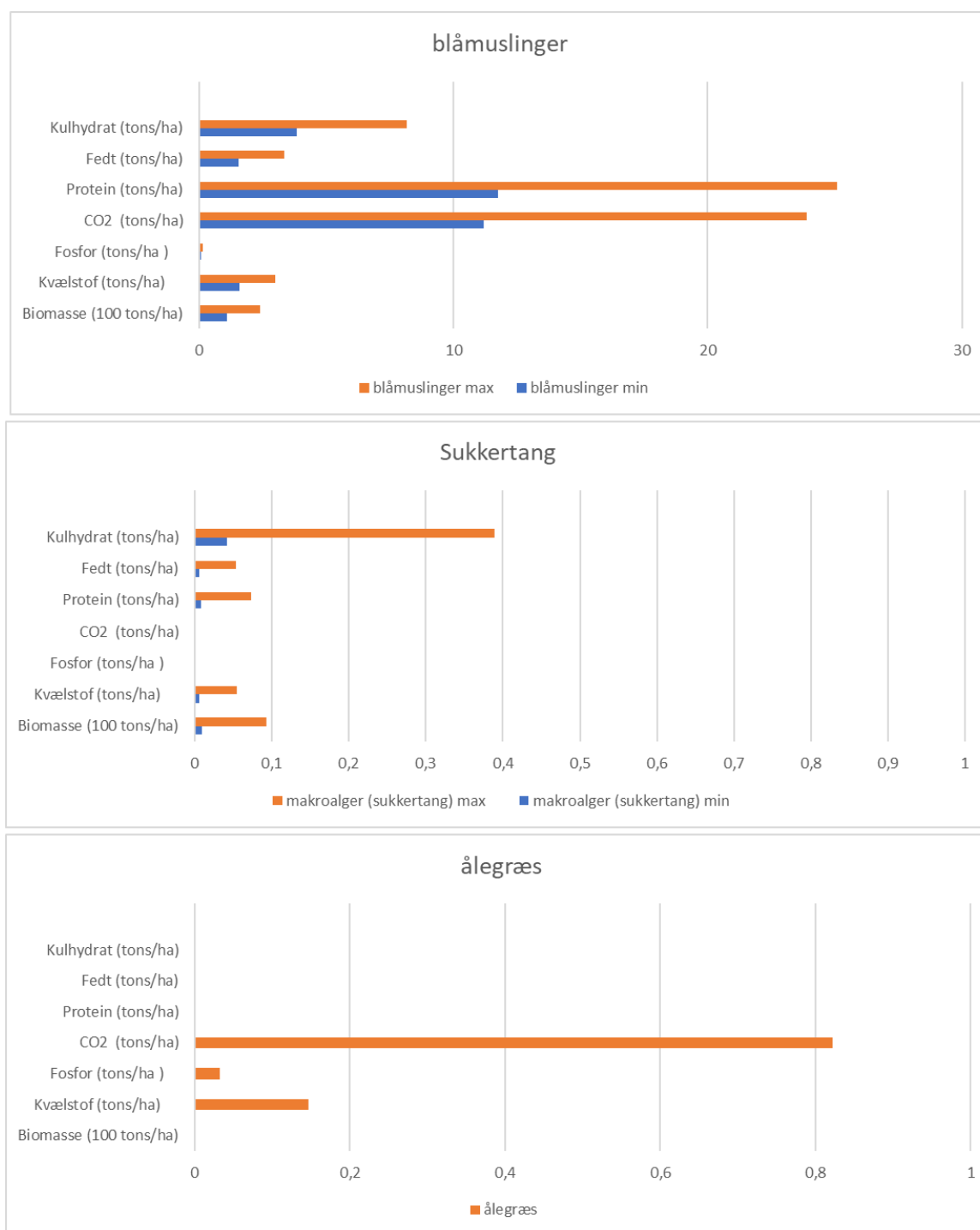
-CO₂ fra ålegræs er fra det Marine Virkemiddelkatalog (Bruhn et al 2020). Data er for udplantning i Horsens Fjord og omfatter kun den permanente immobilisering

Protein, fedt og kulhydrat i muslinger er fra Neri et al 2021.

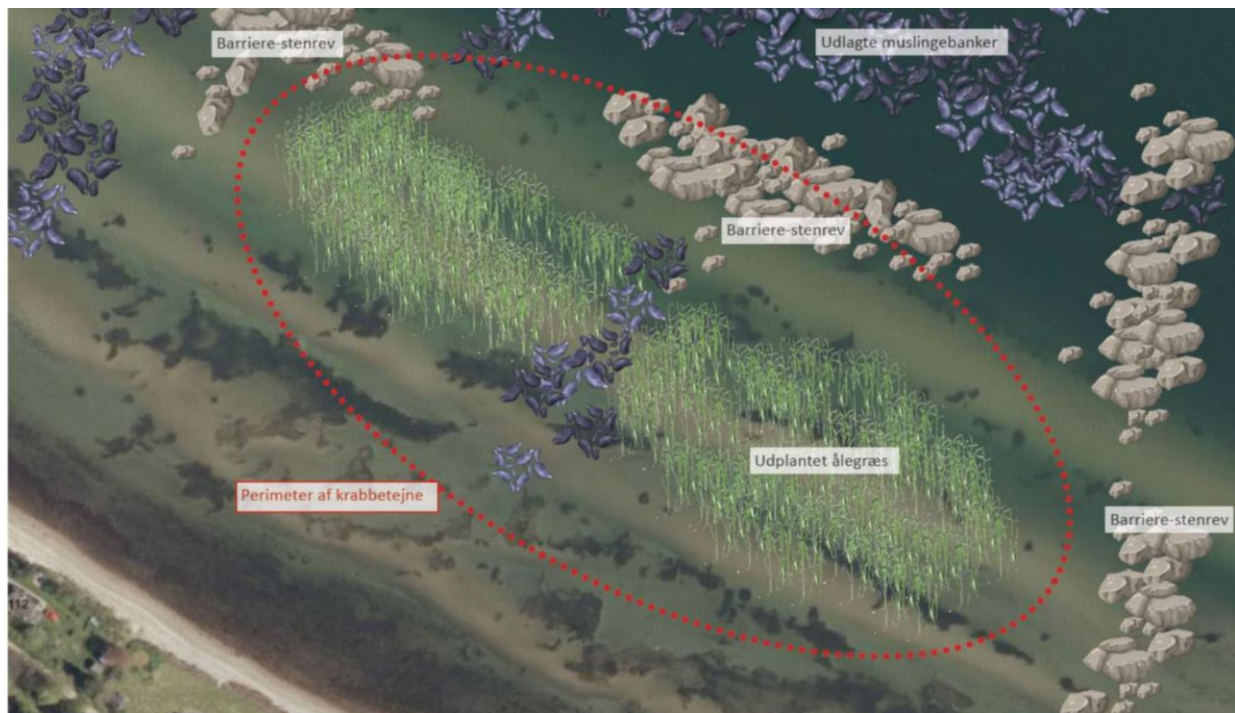
Protein, Fedt og kulhydrat i sukkertang er fra Nielsen et al 2020.

Tabel 4 Sammenligning af gennemsnit af biomasseproduktion, fangst af N, P og CO₂, samt produktion af protein, fedt og kulhydrat ved en kompenserende produktion af blåmuslinger, sukkertang og udplantning af ålegræs. Muslingernes effekt er sat til index 100, og effekten af sukkertang og ålegræs er vurderet i forhold til effekten af muslingeproduktionen. Dato for blåmuslinger og sukkertang er fra Limfjorden og data for udplantning af ålegræs er fra Horsens Fjord. For ålegræs er kun vist de data der stammer fra en enkelt undersøgelse.

	blåmuslinger		makroalger (sukkertang)		ålegræs	
	effekt	index	effekt	index	effekt	index
Biomasse (100 tons/ha)	1,76	100	0,052	2,9		
Kvælstof (tons/ha)	2,30	100	0,030	1,3	0,15	6,3
Fosfor (tons/ha)	0,14	100	0,001	0,5	0,03	23,7
CO ₂ (tons/ha)	17,55	100			0,82	4,7
Protein (tons/ha)	18,43	100	0,041	0,2		
Fedt (tons/ha)	2,46	100	0,030	1,2		
Kulhydrat (tons/ha)	6,00	100	0,215	3,6		



Figur 26 Oversigt over biomasseproduktion, fangst af N, P og CO₂, samt produktion af protein, fedt og kulhydrat ved en kompenserende produktion af blåmuslinger, sukkertang og udplantning af ålegræs. Dato for blåmuslinger og sukkertang er fra Limfjorden og data for udplantning af ålegræs er fra Horsens Fjord. Data er vist som en minimumsværdi og en maksimumsværdi. For ålegræs er kun vist de data der stammer fra en enkelt undersøgelse. Vær opmærksom på, at x-akserne har forskellige skalaer.



Figur 6 Skitse fra projektet Sund Vejle Fjord, der viser hvordan forskellige marine virkemidler som udplantning af ålegræsenge, etablering af muslingebanker, etablering af stenrev og opfiskning af strandkrabbe kan samtænkes.

De tre marine virkemidler skal dog ikke ses som alternative løsninger, men som virkemidler, der kan supplere hinanden. Dyrkning af sukkertang kan således kobles til muslingeopdræt, og dermed opsamle den ammonium, der frigives fra muslingerne. Ligeledes kan muslingens filtration give klarere vand for makroalgerne, og dermed sikre en hurtigere vækst af disse. Ligeledes kan udlægning af muslinger fremme gendannelse af ålegræsenge. I forbindelse med projektet Sund Vejle Fjord har SDU lavet forsøg, hvor reetableringen af ålegræsenge fremmes ved at udlægge muslinger i nærheden af ålegræsset (Fig 27). Muslingernes filtration renser vandet, og sikre bedre vækstforhold for ålegræs. Forsøget viste således, at der blev dannet flere skud, og at det enkelte skud havde en højere vækstrate. Vinther et al (2012) viste, at tættere forekomster af blåmuslinger ($>1,6 \text{ kg/m}^2$), reducerer forekomsten af ålegræs, pga forhøjede forekomster af svovlbrinte i sedimentet, så muslingebanker skal ikke etableres direkte overlappende med ålegræsenge.

15.UDVIKLING AF FORRETNINGSMODELLER

Nedenfor er skitseret 3 forretningsmodeller inde for blå bioøkonomi. Forretningsmodellerne tager alle udgangspunkt i at være lavtrofiske, dvs de udnytter de næringsstoffer, der er i havvandet, eller de udnytter de mikroalger, der lever af næringsstofferne. Alle tre forretningsplaner indeholder således en produktion, der bidrager til at fjerne det overskud af næringsstoffer, vi i dag har i Skive Fjord. En realisering af en eller flere af forretningsplanerne kan således være et element i Skive Kommunes implementering af vandområdeplanen, herunder særligt den indsats, der skal iværksættes efter 2024.

Forretningsplanerne er direkte koblede i forhold til udnyttelse af næringsstoffer og i forbedring af vandkvalitet. Produktionen af ålegræs forudsætter ligeledes klart vand. Muslingernes filtration vil øge denne, og således muliggøre muslinger en vækst af ålegræs ud til større vanddybde. Etablering af ålegræsenge og produktion af blåmuslinger har to forskellige årscykler. Dette kan give bedre udnyttelse af arbejdskraft, fartøjer og andet udstyr. Samlet set er det således vigtigt, at de tre forskellige forretningsplaner samtænkes nøje, og at der evt udvikles en blå klynge, der iværksætter de tre forretningsplaner i Skive Kommune.

FORRETNINGSMODEL 1: UNDERSÆNKET MUSLINGEOPDRÆT SOM KOMPENSATION OG TIL KONSUM.

Omkostninger for produktion af muslinger med henblik på næringsstoffjernelse

Mariagerfjord Kommune har fået foretaget en detaljeret beregninger for omkostningerne ved en produktion af blåmuslinger som virkemiddel, samt en vurdering af hvordan afregningsmodel kan etableres (Orbicon 2019). Vurderingerne er foretaget for lineopdræt og for SmartFarm systemet, men udgør på nuværende tidspunkt også det mest retvisende grundlag for en undersænket produktion. Omkostningsberegningerne har været målrettet en produktion af blåmuslinger med henblik på at fjerne mest muligt kvælstof fra fjorden, og dermed kan muslingerne kun anvendes til et foderprodukt, til habitatrestaurering eller til bundkultur. I forhold til etablering af fem muslingeopdræt i Mariager Fjord som marint virkemiddel er der gennemført beregninger af investerings- og driftsbudgetter for muslingeopdræt i fire scenarier. Produktionsforholdene i Mariager Fjord er ringere end i fokusområdet, og scenarierne kan derfor i et vist omfang være et overestimat af produktionsomkostningerne og dermed prisen for at fjerne næringsstoffer fra Skive Fjord. Scenariet for en muslingeproduktion på langliner af en privat operatør er vist i Tabel 5 og 6. Det opstillede budget for muslingeopdræt med lineopdræt er med en ROI (return of investment) på 7%. Produktionen af muslinger opbygges gradvist over tre år hvor højeste produktion er 7.000 t muslinger svarende til en fjernelse af 91 t kvælstof. Alle producerede muslinger sælges til melproduktion til en pris på 80 øre/kg leveret, svarende til en nettobetaling på 70 øre/kg. Udgifter til leje af havneområder og kontor/mandskabsbygning samt 200 m² telthal er medtaget på baggrund af leverandører af pavillonløsning med mandskabsrum, kontorløsning, telthal, og ved leje af 2000 m² havneareal, herunder 50 m kajplads. Det samlede energiforbrug til drift af bygningerne er medtaget i denne budgetpost. Der er i forretningsmodellen valgt at leje bygningsmasse, idet det vurderes at denne løsning giver mest fleksibilitet i forhold til at justere kapacitet ift. personaleforbrug. Der er medtaget en budgetpost til køb af brændstof til fartøjer, materiale til vedligehold af anlæg, køb af arbejdstøj mv. Lønudgifter sættes til 350.000 DKK/år for hver driftsmedarbejder. For funktionærer sættes den første ansatte til 500.000 DKK. årligt og den anden til 300.000 DKK. årligt.

Tabel 5 De økonomiske nøgletal, der danner grundlag for investerings- og driftsbudget for en 10-årig periode, hvor muslingeproduktionen bygges op over en treårig periode. De økonomiske nøgletal er angivet for en muslingeproduktion på langliner

	År 1	År 2	År 3	År 4	År 5	År 6	År 7	År 8	År 9	År 10
Pris for 100 liner (mio. kr.)	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Muslinge produktion per line (tons pr år)	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Kg N per kg muslinger (%)	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Antal medarbejder per 100 liner	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Lønninger for driftsmedarbejdere (mio. kr.)	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Afskrivninger liner (år)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Afskrivninger maskiner (år)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Salg af muslinger til foderproduktion (kr./kg.)	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

Investering i bygninger (mio.kr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Investering i liner (mio. kr.)	4,8	4,8	2,4	0	0	0	0	0	0	0
Investering maskiner og fartøjer (mio. kr.)	4	1	3	1	1	1	1	2	1	1
Akkumuleret investering (mio. kr.)	8,80	14,60	20,00	21,00	22,00	23,00	24,00	26,00	27,00	28,00
rente	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
Operatør 0 % ROI (mio.kr)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Operatør 7 % ROI (mio.kr)	0,6	1,0	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0

Tabel 6 Driftsbudget for drift af fem muslingeopdræt med en samlet produktion på 7.000 t muslinger, svarende til en fjernelse af 91 t N årligt. Den samlede investering er på 28 mio. DKK. (Tabel 5). Driftsbudgettet er for en produktion med et investeringsafkast på 7 %.

Langline - Non konsum	År 1	År 2	År 3	År 4	År 5	År 6	År 7	År 8	År 9	År 10	SUM
Muslingeproduktion (ton pr år)	2.800	5.600	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	64.400
Personale til muslingeproduktion (antal)	3	6	8	8	8	8	8	8	8	8	
Salg af muslinger til foder (mio. kr.)	1,96	3,92	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	45,08
Samlet salgsindtægt (mio. kr.)	1,96	3,92	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	45,08
Lønninger driftspersonale (mio. kr.)	1,05	2,1	2,625	2,625	2,625	2,625	2,625	2,625	2,625	2,625	24,15
Lønninger funktionærer og administration (mio. kr.)	0,5	0,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	7,4
Leje af bygninger og havnefaciliteter el og vand	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	4
Drift- dieselolie, div materialer, arbejdstøj	1	1,3	0,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	13,3
EBITDA før honora (mio. kr.)	-1,0	-0,4	0,6	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-3,77
Afskrivning af liner (mio. kr.)	0,5	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	11,04
Afskrivning af maskiner (mio. kr.)	0,8	1,0	1,6	1,8	2,0	1,4	1,4	1,2	1,2	1,2	13,6
EBIT (mio. kr.) før honorar	-2,3	-2,3	-2,2	-3,4	-3,6	-3,0	-3,0	-2,8	-2,8	-2,8	-28,4
Potentielt fjernet kg N per år	36.400	72.800	91.000	91.000	91.000	91.000	91.000	91.000	91.000	91.000	837.200
Salg af N-kvoter (mio.kr.) ved aconto	2,2	4,4	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	51
Renteudgifter (1,5 %) (mio. kr.)	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	2,3
Skat af årets resultat (22 % af overskuddet) (mio.kr.)	0,00	0,45	0,72	0,45	0,41	0,54	0,54	0,59	0,59	0,59	5
Årets resultat (mill kr) non konsum ud fra aconto (mio.kr.)	-	0,30	1,37	2,32	1,38	1,23	1,69	1,69	1,85	1,85	15

Den beregnede samlede fjernelse af N over en 10 års periode, samt prisen for virkemidlet ved en privat (ROI=7%) og offentlig operatør (ROI=0%) er angivet i tabel 7 ved en produktion på langliner og på net i fem områder. Den samlede myndighedsbetaling for N-fjernelse er ligeledes beregnet.

Tabel 7. Fjernelse af N over en 10 års periode, samt pris for virkemidlet, den samlede myndighedsbetaling for N-fjernelse for muslingeopdræt på langliner eller Smart Farm-rør af henholdsvis privat operatør eller kommunalt driftsselskab. For privat operatør forudsættes en ROI på 7 % og for et kommunalt driftsselskab forudsættes en ROI på 0 %.

Produktionsform	N fjernelse over 10 års drift	Pris for virkemidlet	Betaling for fjernelse over 10 år
Privat operatør – langliner	837 t N	60 kr./kg N	50,5 mio. kr.
Privat operatør – Smart Farm	1.209 t N	76 kr./kg N	91,1 mio. kr.
Kommunal Driftsselskab – langliner	837 t N	38 kr./kg N	31,7 mio. kr.
Kommunalt driftsselskab – Smart Farm	1.209 t N	40 kr./kg N	47,6 mio. kr.

Samlet set kan det vurderes, at en industriel produktion af muslinger til foder ikke er rentabel i områder, hvor produktionsbetingelserne ikke er optimale. Produktionen forudsætter derfor en betaling for kvælstoffjernelsen på ca. 60 DKK. per kg N, svarende til 80 øre per kg muslinger.

I det marine virkemiddel katalog (Bruhn et al 2020) er angivet budgetøkonomiske priser for fjernelse af N med muslingeopdræt. Priserne angives til 94-104 DKK/kg N ved anvendelse af langliner og 48-64 DKK/kg N ved anvendelse af Smartfarm. Priserne er således sammenfaldene eller højere end priserne beregnet for Mariager Fjord. Det skal bemærkes, at de økonomiske vilkår ift lavt renteniveau, har ændret sig markant det sidste halve år. For en privat virksomhed vil renteniveauet således medføre større investeringsomkostninger, og dermed en højere pris for fjernelse af N.

Der er i forretningsmodel mulighed for salg af sidestrøm af muslingeskaller som klimavirkemiddel. I rapport fra Klimapartnerskab for fødevarer og landbrugssektoren udgivet i april 2022 ([LINK](#)), er der en oversigt over regeringens opfølgning på klimapartnerskabets anbefalinger som bilag. Klimapartnerskabet har anbefalet udvikling af opdræt af muslinger til muslingemel til svinefoder (Anbefaling 15): Tilskud til investeringer i opdrætsanlæg og teknologi og tilskud til muslingeopdræt til muslingemel. (Støtteordning til opdræt af 100.000 t. muslinger til produktion af 15.000 t. muslingemel til svinefoder.) Virkning fra 2021. Initiativet vil have klimaeffekt med det samme og være fuldt indfaset i 2030. Der er en væsentlige emission fra opdrættet i sig selv fra transport med båd til og fra opdrætsanlæg. Til gengæld bindes der via biosorption ca. 45 kg kulstof pr. ton muslinger, hvilken kan omregnes til 162 kg CO₂. ved en øget produktion på 100.000 tons muslinger vil den direkte CO₂-reduktion være på ca. 16.000 tons om året. Klimapartnerskabet vurderer, at der vil være behov for tilskud til investeringer i opdrætsanlæg og teknologi og i løbende tilskud til muslingeopdræt på ca. 1,3 DKK/kg muslinger. Der vil dog med tiden være effektivitetsgevinster.

I forbindelse med etablering af kompensationsopdræt af muslinger kan der være en mulig parallel værdiskabelse i forhold til binding af CO₂. Denne binding forudsætter dog at der sker en reel fjernelse af kulstof, f.eks. ved separering af skaller og kød, og en anvendelse af skallerne f.eks i beton eller ved deponering på anden måde. En mulighed for deponering af skaller ved afskalning af muslinger, som klimavirkemiddel og salg af klimakreditter. Da muslingeskaller fra muslingeopdræt i Skive Fjord er forholdsvis tyndskallede vil den økonomiske værdi af salg af klimakreditter være forholdsvis begrænset, men et salg kan have en stor markedsføringsværdi for muslingeproduktionen.

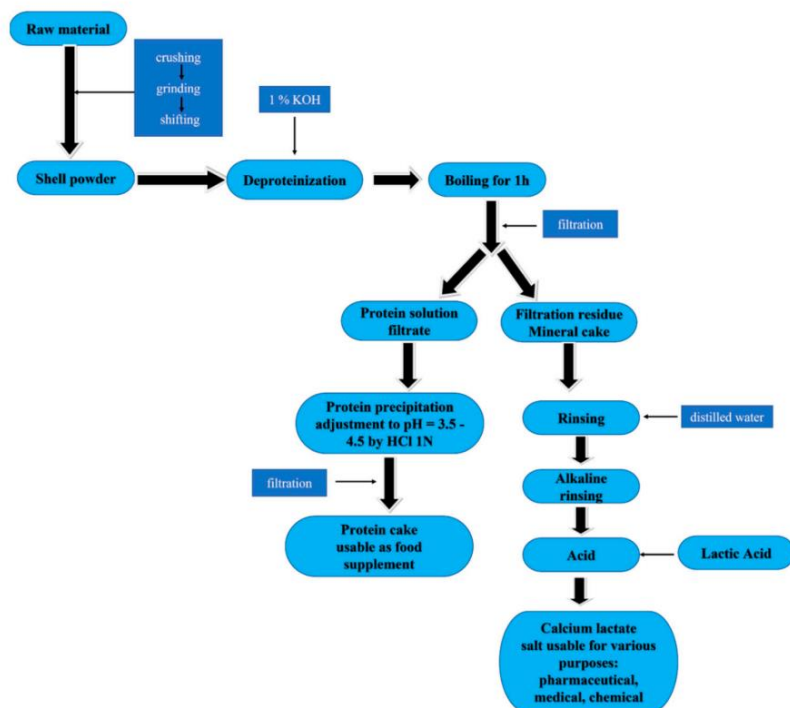
Der bør igangsættes en dialog med relevante muslingopdrættere med henblik på at aftale, i hvilket omfang der kan etableres kompensationsopdræt, med henblik på at fjerne den størst mulige biomasse fra Skive Fjord og størst mulig- og hurtigst- forbedring af vandkvalitet. Ligeledes bør der iværksættes en afklaring af mulige afsætningsmuligheder for muslingerne til fødevarer, foder eller til udlægning som naturgenopretning.

FORRETNINGSMODEL 2: UDNYTTELSE AF MUSLINGESKALLER TIL UDVINDING AF CALCIUM

Calcium udgør et vigtigt element i menneskets knogledannelse, og WHO anbefaler et dagligt indtag på mellem 1000-1300 mg/d. Calcium har særligt et højt indhold i mejeriprodukter, og ændrede spisevaner med et mindre indtag af mælk osv mv kan have en effekt på bla indtaget af calcium (Shkempi & Huppertz 2022). Plantebaserede mælkeprodukter kan enten få tilsat calcium, eller vil alternativt have et lavere indhold end produkter lavet af komælk. Da salget af plantebaseret mælk er stigende, kan der være et marked for naturligt fremstillet calcium fra muslingeskaller, som tilsætning i plantebaserede mælkeprodukter. Mititelu et al 2022b har udviklet en teknik til forarbejdning af muslingeskal til fremstilling af calciumsalte, såsom calciumlevulinat. Denne proces involverer syntese af calciumlevulinat ved behandling af *Mytilus galloprovincialis* skaller med levulinsyre. Det resulterende

calciumlevulinat produkt har, når det anvendes som et calciumtilskud, et 14,8 % højere calciumindhold end det indhold, der typisk findes i calciumlactat. Produktet har en lav molekyelvægt, der let absorberes gennem tarmvæggen. Denne nye anvendelse af calcium er beregnet til brug som fødevarerforstærker, til at berige fødevarer som saucer, krydderier, øl, drikkevarer, læskedrikke, mælk og mejeriprodukter, sojamælk og sojaprodukter med calciumnæring. Calciumlevulinat kan anvendes alene eller sammen med calciumlactat, calciumchlorid og andre forbindelser, enten til farmaceutiske tabletter, kapsler eller injektionspræparater.

Mititelu et al 2022a har beskrevet og demonstreret en kommerciel proces, hvor calcium kan udtrækkes af muslingeskaller, og anvendes til produktion af tabletter med calciumlactat. Flowchart for metode er angivet i figur 28.



Figur 28 Flowchart for produktion af calciumlactat fra muslingeskaller (fra Mititelu et al 2022a)

Danske mejerier har lanceret flere produkter med plantebaseret mælk, og der kan være mulighed for at udvikle et naturligt calcium produkt fra muslinger, der kan anvendes i den plantebaserede mælk i forhold til at øge mælkens Calcium-indhold op til et niveau svarende til tilsvarende produkter baseret på komælk.

Vilsund Blue A/S koger en stor del af de muslinger, der landes i det danske muslingefiskeri. Kødet fryses eller anvendes til hermetik, og skallerne afgasses i lukket hal og anvendes til forskellige formål, herunder vejfyld, økologiske byggerier. Der vil være en årlig produktion af ca 10.000 t muslingeskaller, og herudover mulighed for at anvende skaller fra den invasive østers, stillehavsøsters.

Der bør igangsættes en dialog med relevante partnere med henblik på at aftale, i hvilket omfang der kan etableres en udvinding af Calcium, og i hvilket omfang denne produktion skal anvendes som tilsætning i plantemælk. Det anbefales, at der i første omgang tages kontakt til lokale mejerier, og evt andre fødevarer virksomheder, der kan tænkes at producere produkter beriget med calcium, og derefter ses på mulighederne for at lave en egentlig produktion.

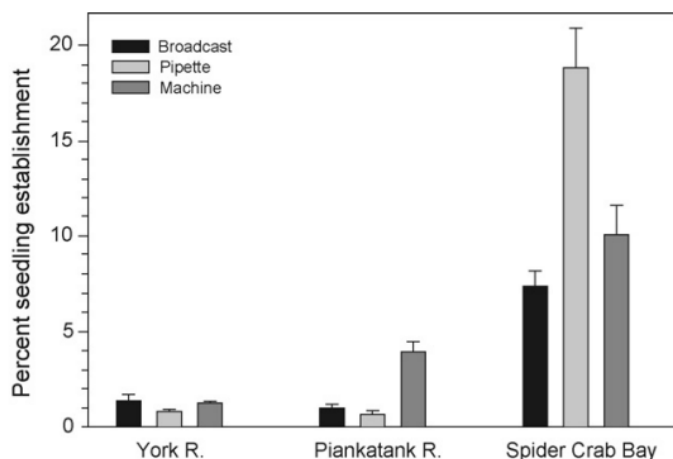
FORRETNINGSMODEL 3: DYRKNING AF ÅLEGRÆS TIL SALG AF CO₂ KVOTER

Som medunderskriver af Paris-aftalen har Danmark forpligtet sig til at reducere sine emissioner af klimagasser betydeligt inden 2050, og med vedtagelsen af Klimaloven (2019) forpligtede et bredt flertal af Folketinget sig til at reducere Danmarks drivhusgasemissioner med 70% i 2030 sammenlignet med 1990-niveauet, samt at opnå klimaneutralitet inden 2050. Paris-aftalen giver mulighed for kompensationsforanstaltninger, hvor klimagasser kan bindes, og hvor de bundne kvoter kan sælges som klimakreditter. Med reetablering af ålegræsenge vil store mængder CO₂ blive bundet i ålegræssets rodnet og i sediment.

Der er et stort økonomisk potentiale, og en tilsvarende stor faglig udfordring i at udvikle en metode til etablering af ålegræsenge, der vil muliggøre etablering i store områder, uden at høste planter fra eksisterende ålegræsområder. Metoden vil kunne levere en marin løsning på binding af CO₂ med udplantning af ålegræs. Ålegræsenge vil ligeledes sikre fremtidige generationer et sundt hav i forhold til binding af næringsstoffer og en stor biodiversitet.

I forhold til etablering af ålegræsenge er der i dag ikke etableret metodik, der muliggør udplantning af ålegræs i store områder. Den metodik der anvendes i dag, er primært indsamling af ålegræsskud fra eksisterende ålegræsområder. Ålegræsskudene udplantes til nye områder. Etableringen af nye ålegræsenge medfører derfor en negativ effekt på eksisterende ålegræsområder, og kan derfor ikke opskaleres. I danske kystområder er der de senere år lavet en del forsøg med udplantning af skud, men med metoden er det kun muligt at udplante forholdsvis små områder.

Med indsamling og udsåning af frø fra ålegræs kan det i princippet være muligt at udplante væsentligt større områder. Frø fra ålegræs kan indsamles i midten af juli måned. Ålegræs er en frøplante, og frøene kan indsamles fra ålegræsbestande på lavt vand uden at skade disse. Ålegræsblade med frø opbevares i saltvandssystemer, hvor bladene taber frøene, når disse er modne. Pga frøenes større massefylde, falder de igennem et filtersystem, hvorefter de kan oprenses og isoleres (Figur 29).



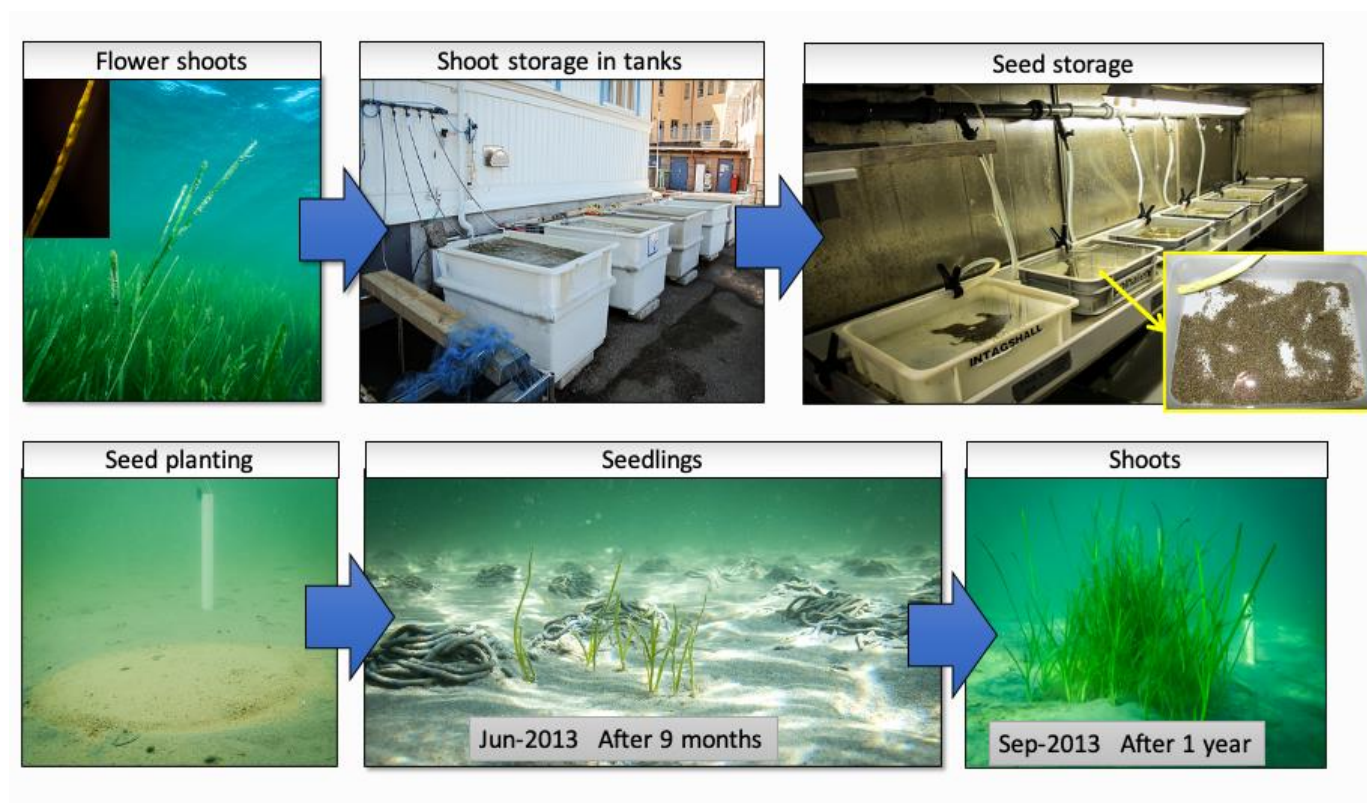
Figur 29 Resultatet af forsøg med udsåning af frø fra ålegræs på tre forskellige lokaliteter på den amerikanske østkyst. Der blev udsået med tre forskellige såmetode. Ved Broadcast blev frøene spredt på sedimentoverfladen, ved pipette blev frøene indsprøjtet 1-2 cm ned i sedimentet, og ved maskine blev frøene i en gel nedført i en 2 cm dyb rende, der efterfølgende blev dækket til. Fra Orth et al 2009.

Amerikanske undersøgelser (Orth et al 2009) har vist store forskelle i effektiviteten af udplantning af frø, med de bedste resultater, hvor frøene med pipette injiceredes 1-2 cm ned under sedimentoverfladen (Figur 29).

Udplantede frø har en lav spireevne pga flere forhold. Hittidige undersøgelser, hvor frøene spredes på bunden, viser en spiringsevne på <10 %. Gravende dyr i havbunden eller krabber på overfladen forhindrer en effektiv spiring eller overlevelse af nye spirer. Ved valg af områder med lav forekomst af gravende organismer og krabber kan en øget overlevelse forventes.

Danske undersøgelser af frøspiring i store udendørstanke viser, at så-dybde har stor betydning (Jørgensen, Labouriau og Olesen 2019). I forsøget var den samlede spiring af frøplanter efter 2 måneder signifikant påvirket af sådybde af frø, med maksimalværdier i de øverste 2 cm af sedimentet (48,1–56,7% af plantede frø spirede), og en markant reduktion i spiring ved en større så-dybde på 5% spiring ved den største dybde på 8 cm.

En metaanalyse af de forsøg der globalt har været på at reetablere ålegræs viser, at der er meget stor variation i hvor godt projekterne lykkes (Katwijk et al 2016). Der er dog en klar sammenhæng mellem hvor mange frø eller hvor mange skud der udplantes og projektets succesrate. Den bedste succes opnås ved udplantning af planter med rhizomer, der er fastgjort til en vægt.



Figur 30 Indsamling og modning af frø fra ålegræs til udplantning (fra *Zostera marina* seeds - Eduardo Infantes)

I forhold til at udvikle en metode til kommerciel udsåning af ålegræs frø er der derfor en række forhold, der skal iagttages (Fig 30):

Effektiv indsamling af frømateriale og isolering af frø. Frøene kan enten indsamles, så de er fasthæftet til ålegræsbladet, og hvor de kan modnes til de er klar til at slippe bladet. Denne form for høst forudsætter en effektiv afklipping af blade med frø. Frøene skal modnes over vinteren.

Frøene skal i foråret udplantes i de øverste 2 cm af havbunden på de bedst egnede lokaliteter. Der skal etableres et system, hvor frøene indkapsles i sediment, evt med ekstra næringsstoffer, og herefter overføres til havbunden. Der kan enten udvikles et system, hvor frøene overføres til kort bomuldspose med et groft sediment, og hvor sedimentposen overføres og nedpløjes i havbunden. Alternativt kan der laves uendelige strømper med sediment og frø, så hele strømper nedpløjes i overfladen af havbunden. Der er brug for indsamling af mere viden.

Markedsvurdering

Ved projekter, hvor der udplantes ålegræs, kan der opsamles CO₂, der kan sælges som CO₂-kreditter. Danske undersøgelser i Horsens Fjord angiver i det Marine Virkemiddelkatalog (Bruhn et al 2020), at der permanent immobiliseres 822 kg C/ha per år fordelt på 527 kg i rodnettet og 355 kg i sedimentet. Dette svarer til en immobilisering af ca. 3 t CO₂/ha per år.

Markedsprisen på de obligatoriske CO₂ klimakreditter på European Carbon Credit Marked⁵ er steget voldsomt og er nu på ca. 85 EUR/640 DKK pr. ton CO₂. Frem mod 2030 er der stor usikkerhed på prisudviklingen, og 50-85-108 EUR/ton svarende til 410-630-800 DKK/ton udgør forudsigelserne udarbejdet af bl.a. Bloomberg. Prisen drives opad af regerings- og overnationale klimatiltag, og jokeren er om der sker en teknologisk revolution der trækker den modsatte vej. Prisen for Carbon-kreditter på det frivillige marked⁶ ligger på ca 11 EUR/82 DKK pr ton CO₂, og det er vanskeligt at forudsige den fremtidige prisdannelse. Det er således klart det regulerede obligatoriske marked, der er interessant at levere CO₂ klimakreditter til.

Mogens Flindt (SDU) har oplyst, at en udplantet ålegræseng kan opsamle ca 7-8 t CO₂e årligt i en periode på op til 30 år, hvilket giver mulighed for et årligt salg af klimakreditter for ca 3500 DKK/ha i en periode på 30 år, hvilket svarer til en samlet omsætning på 100.000 DKK/ha.

⁵ EU ETS – er den europæiske CO₂-kreditkontrakt, som er børshandlet. Det er en Futures-kontrakt med det formål at handle og levere EUA'er (European Union Allowance - det officielle navn for regionens emissionskvoter). En EUA giver indehaveren mulighed for at udlede et ton CO₂- eller CO₂-ækvivalent drivhusgas

⁶ N-GEO futures-kontrakter består af naturbaserede modregningsprojekter fra Verra-registret – projekter, der falder ind under kategorierne Landbrug, Skovbrug eller Anden Landbrug (AFOLU). Naturbaserede løsninger kan give værdifulde bidrag til biodiversiteten, men det anses også ofte for at være vanskeligere nøjagtigt at verificere mængden af kulstof, der faktisk udlignes i naturbaserede projekter.

17.BESKRIVELSE AF HVERT AF DE TO VANDOMRÅDER

I annex I og Annex II beskrives de to vandområder, Vandområdet Bjørnholms Bugt, Risgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning og vandområdet Hjarbæk Fjord

18.ANNEX I BESKRIVELSE AF BJØRNHOLMS BUGT, RISGÅRDE BREDNING, SKIVE FJORD OG LOVNS BREDNING

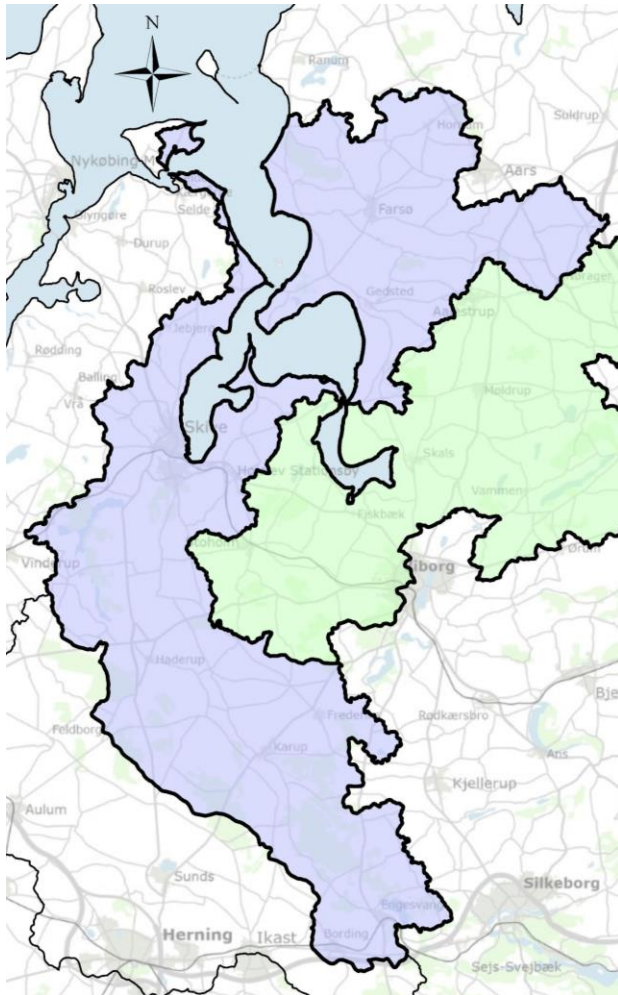
Skive Fjorder et ca. 15 km langt og op til 3 km bredt farvand, der strækker sig fra Hvalpsund sydpå til Karup Å's munding og med dybder på op til 5 m. Fjorden begrænses mod vest af Sallings klintekyst og mod øst hovedsagelig af strandenge på hævet havbund. Risgårde Bredning, ca. 20 km² stort farvand nord for Hvalpsund med dybder på indtil 15 m. Risgårde Bredning begrænses mod Himmerland i øst af en buet udligningskyst, mod vest af Sallings klintkyst mellem Junget Øre og Sundsøre. Risgårde Bredning indsnævres mod syd af Store Rotholms sandflak til Hvalpsunds 1500 m brede farvand. Lovns Bredning, ca. 50 km² stort og indtil 9 m dybt farvand i Limfjordens sydøstlige del. Det begrænses mod nord af Lovns Halvø, langs hvilken et 1 km bredt indløb fra Hvalpsund forbinder det med Limfjorden nord om halvøen Lundø. Mod syd afgrænses Lovns bredningen af Fjends halvø. Her fører en rende mod Virksund og Hjarbæk Fjord. Lovns Bredning afgrænses mod øst af et bredt fladvand hvis sandrevler går over i hævet havbund, især langs Lerkenfeld Ås munding (Sammenskrevet efter Meesenburg, LEX.dk).

AFGRÆSNING AF OMRÅDE

Kystvandet Bjørnholms Bugt, Risgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning er vist i figur 31 og 32



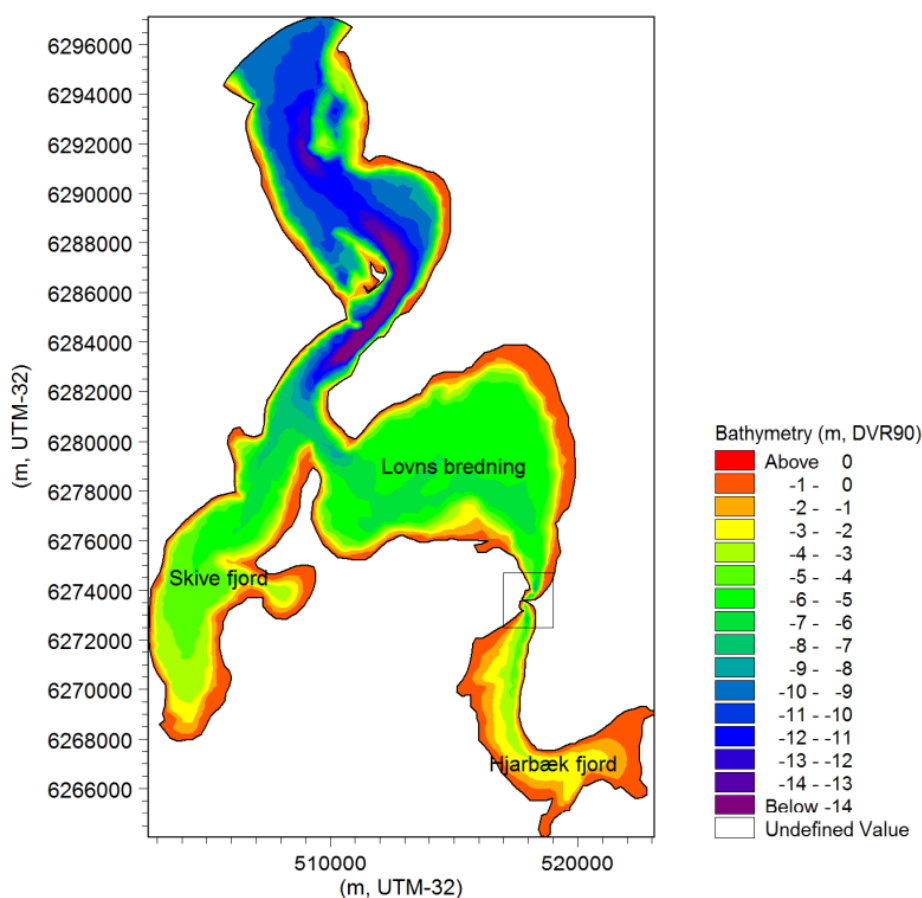
Figur 31 Områder der indgår i kystvandet Bjørnholms Bugt, Risgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning



Figur 33 Vandlandet til kystvandet Bjørnholms Bugt, Risgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning (Lilla område) har et opland på 1443,5 km², hvorfra der årligt strømmer 1750,0 t kvælstof ud i kystvandene. Figur er udarbejdet af Mette V. Odgaard, Agroøkologi, Aarhus Universitet.

BESKRIVELSE AF OMRÅDET IFT SALTHOLDIGHED VANDDYBDER, OG BUNDFORHOLD

Vandområdet består af en række bredninger forbundet med smalle sund. Bredningerne er forholdsvis lavvandede med dybder ned til 5-6 m (Figur 33). Ud for Hvalpsund forbinder en dyb rende Skive Fjord og Risgårde Bredning. Denne rende har en dybde på maksimum 27 m, og har stor betydning for de hydrografiske forhold i fjordområdet. Salt vand vil samle sig i renden og forhindre en opblanding. Det salte bundvand vil derfor være med meget lave iltkoncentrationer. Disse lave iltkoncentrationer vil dels frigive næringsstoffer og et skvulp af dette bundvand kan sprede en vandvolumen af iltfattigt vand til de omgivende områder ved særlige hændelser. Saliniteten i området er ca. 20 PSU, ofte med lidt lavere salinitet i overfladevandet.



Figur 33 Bathymetri for Skive Fjord, Lovns og Risgård Bredninger (Fra DHI 2014).

BESKYTTELSES KRAV (N2000 ELLER ANDEN BESKYTTELSE)

Lovns Bredning er en del af Natura 2000 området Lovns Bredning, Hjarbæk Fjord og Skals, Simested og Nørre Ådale samt Skravad Bæk (Natura 2000-område nr. 30) der udgøres af Habitatområde H30 og Fuglebeskyttelsesområder F14 og F24.

KRAV TIL FJERNELSE AF N, FORBEDRING AF MILJØFORHOLD IFT VANDOMRÅDEPLAN 2021-2027

I vandområdeplan for 2021-2027, som endnu ikke er vedtaget, er reduktionskravet til kystvandet kystvandet Bjørnholms Bugt, Risgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning på i alt 739,5 t N/år. Anvendelsen af en lang række kollektive og individuelle virkemidler er planlagt, der i alt vil fjerne en udladning af 330,2 t N årligt. Hvoraf udgør målrettet regulering det vigtigste virkemiddel, der årligt fjerner 164,5 t N. Efter 2025 forventes en yderligere reduktion på 212,6 t N/år.

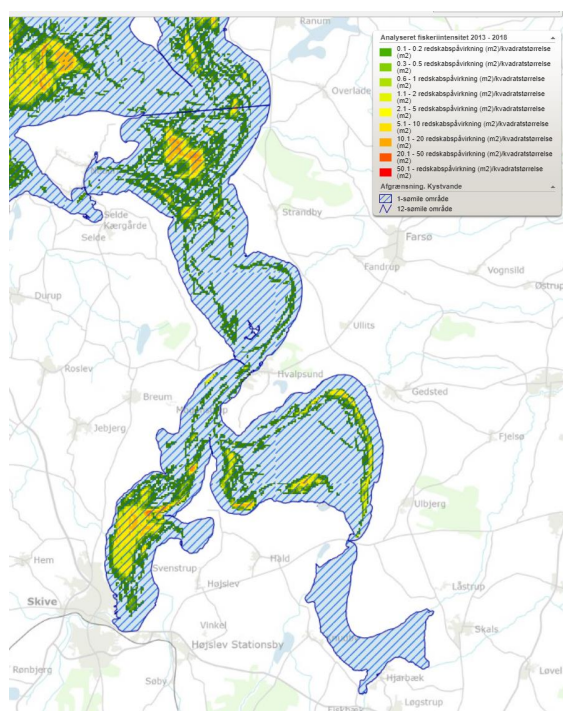
FISKERI ELLER OPDRÆT I OMRÅDET

Hele området er åbent for muslingeproduktion og udgør produktionsområde 16-22. Den årlige landing i området udgør 1.340 til 4.530 tons friske muslinger med en værdi op til 6.5 mio DKK. (Tabel 8).

Tabel 8 Landinger og værdi af landede blåmuslinger i produktionsområde 16-22.

År	Landing (tons)	Værdi (1000. DKK)
2018	2.049	3.864
2019	2.482	4.310
2020	4.530	6.542
2021	1.340	2.260

Fiskeriet foregår primært på kanterne af de enkelte bredninger, da dårlige iltforhold begrænser muslingepopulationen til disse områder (Figur 34).



Analyseret fiskeriintensitet 2013 - 2018

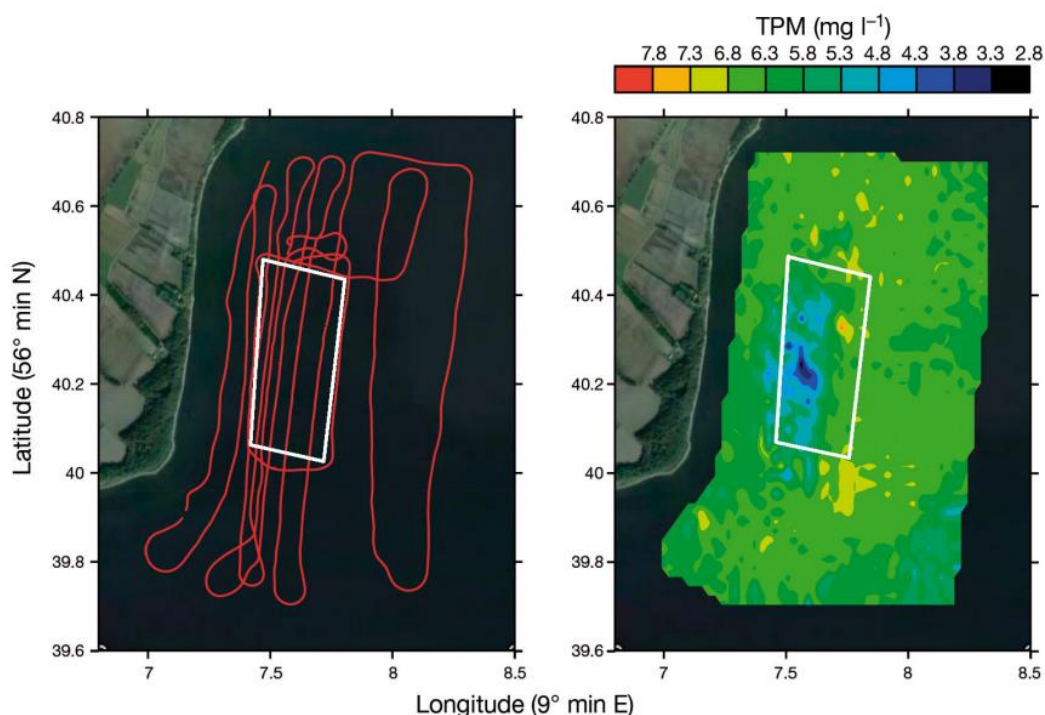
Temaet viser fiskeriintensiteten i kvadrater på 100x100m inden for afgrænsningen af kystvande med målsætning for økologisk tilstand. Intensiteten fortæller hvor mange gange havbunden i de enkelte kvadrater er blevet påvirket af fiskeredskaber i perioden fra 2014-2018. For værdier under 1 kan intensiteten tolkes som den andel af kvadratet, der er blevet påvirket i perioden. Kortet er udarbejdet vha. forskellige typer positionsdata (VMS, AIS, Black Box) med varierende præcision og registreringseffektivitet. Intensitet er beregnet som en 'swept area ratio' (SAR) ved at dele periodens samlede redskabspåvirkning i hvert kvadrat (fodaftrykket målt i m2) med arealet af kvadratet (10.000 m2).

Figur 34 Kortlægningen af muslingeskrab i perioden 2014-2018. Data er fra vandplansarbejdet for 2021-2027 ([Link](#)).

I kystvandområdet er der i dag tilladelser til 9 muslingeopdræt, og der søgt om 9 nye. I området er der endvidere 4 bundkulturer og et omplantningsområde. Der er ikke givet tilladelser til muslingeopdræt i Lovns Bredning, pga områdets udpegning som Natura 2000 område

POTENTIALE FOR MUSLINGEOPDRÆT (LANGLINER/SMARTFARM/BUNDKULTUR), HVOR STORT OMRÅDE KAN ETABLERES, HVAD VIL EFFEKTEN VÆRE IFT N OG P FJERNELSE

Undersøgelser af muslingeopdræt i Skive Fjord dokumenterer, at muslingeopdrættene pga høj koncentration af fødepartikler ikke medfører fødevarebegrænsning. Forekomst af fødepartikler i og omkring muslingeopdræt blev bestemt i 3-D målinger (Figur 35). De gennemsnitlige reduktioner i tætheden af fødepartikler inden for arealet af muslingeopdrættet varierede fra 13 til 31%, med enkelte områder, der viste >50 % partikelreduktion. En model viste, at muslingerne filtration, og dermed muslingebiomassen kan øges med 80 til 120 % uden negativ feedback på musling vækst (Nielsen et al 2016). Ligeledes kan muslingeopdrættene lægges forholdsvis tæt, uden at de skygger hinanden i forhold til adgang til fødepartikler. Der er således ikke umiddelbart adgang til føde, der begrænser antallet af muslingeopdræt, der kan etableres i Skive Fjord.



Figur 35 Partikeltæthed (TPM) i og omkring et muslingeopdræt i Skive Fjord. Den hvide boks angiver position af muslingeopdræt og de røde linjer angiver linjer for dataindsamling – figuren er fra Nielsen et al. 2016

Petersen et al (2013) har lavet en oversigt over danske vandområder i forhold til, om de kan anvendes til kompensationsopdræt. I analysen indgår forhold som dybde- fødegrundlag – saltholdighed- forekomst af edderfugl og rekrutteringsgrundlag. For Skive Fjord er det vurderingen, at 9,6 km² er egnet til muslingeopdræt og 43,4 km² er egnet i Lovns Bredning. Samlet set er der således et stort potentiale for at lave næringsstofopsamling med muslingeopdræt i Skive Fjord, og at muslingeopdrættene kan ligges ganske tæt, uden at produktionen på det enkelte anlæg reduceres.

Med de nuværende 9 anlæg, og 9 ansøgning der sagsbehandles, kan der- med politisk vilje og finansiering- etableres kompensationsopdræt med netdyrkning på 18 anlæg. Dette vil svare til en produktion på op til 72.000 t, svarende til en N fjernelse på ca 1000 t N. Et mere realistisk scenarie er etableringen af 4 yderligere anlæg, og produktion på i alt 13 anlæg. Giver der tilladelse til 4 yderligere muslingeopdræt, og anvendes SmartFarm teknologien, eller et undersænket netsystem på alle 13 muslingeopdræt, kan der årligt produceres 52.000 t muslinger og fjernes 731 t N. Denne fjernelse af N svarer til indsatsbehovet i udkastet til vandplanen for 2021-2027 for kystvandet Bjørnsholm Bugt, Risgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning.

Ved dyrkning af muslinger på net, vil disse skulle udtyndes i efteråret, og der vil være et produkt af små, billige muslinger til rådighed. Disse muslinger kan enten bruges til etablering af bundkultur, til foder eller til naturforbedrende tiltag. Det kan således skabe en forbedret vandkvalitet og øget biodiversitet hvis der etableres muslingebanker som biofiltre eller som habitatforbedring. Etableres muslingebanker som biofiltre, skal dette ske, hvor der er gode strømforhold, og dermed god adgang af fødepartikler til muslingerne. Muslingebanker kan ligeledes etableres som habitatrestaurering, dvs. at muslingebanker udlægges med henblik på primært at forbedre biodiversiteten i området. I forhold til at opnå en høj biodiversitet er det særligt vigtigt at undgå områder med iltsvind, da netop iltsvind vil modvirke etableringen af en høj biodiversitet.

POTENTIALE FOR FISKERI ELLER DYRKNING AF MAKROALGER, HVOR STORT OMRÅDE KAN ETABLERES, HVAD VIL EFFEKTEN VÆRE IFT N OG P FJERNELSE

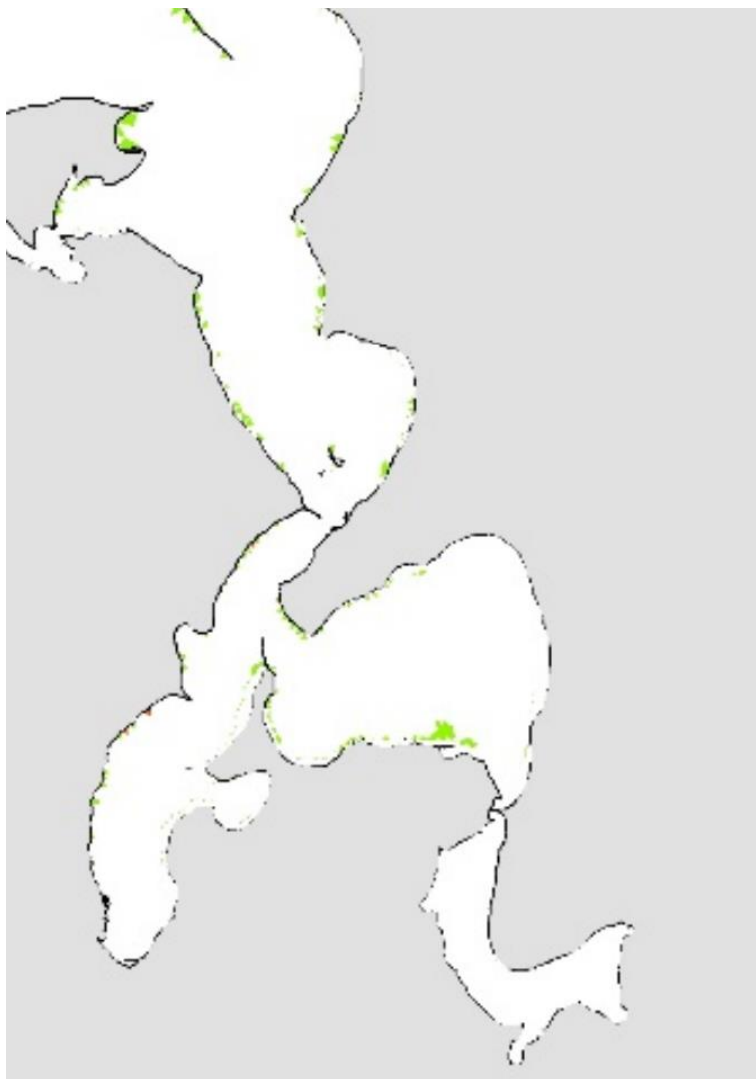
Ifølge Petersen et al (2021) kan der dyrkes sukkertang i hele vandområdet. Det er således rimeligt at antage at makroalgerne kan dyrkes i det samme areal, som er identificeret af Petersen et al (2013) på 9,6 km². Dyrkningen af sukkertang forudsætter at vandet er transparent, således at lyset trænger ned igennem vandsøjlen og muliggør en produktion ned gennem vandsøjlen. Dyrkning af sukkertang og blåmuslinger i samme områder kan forbedre produktionsforholdene ved dyrkning af sukkertang. Effekten af N og P fjernelsen vil afhænge af den begrænsede dyrkede mængde. Da produktionsforholdene for sukkertang i Skivefjord ikke er optimale i forhold til både salinitet og vandets sigtddybde kan der ikke forventes en kommerciel produktion. Ligeledes vil en kompensationsproduktion ikke være hensigtsmæssig pga sukkertangens ringe evne til at akkumulere næringsstoffer

POTENTIALE FOR UDPLANTNING AF ÅLEGRÆS, HVOR STORT OMRÅDE KAN ETABLERES, HVAD VIL EFFEKTEN VÆRE IFT N OG P FJERNELSE, OG KLIMAEFFEKT.

I forhold til udplantning af ålegræs, så anvendes der i dag en metode, hvor der indsamles skud fra eksisterende ålegræsenge, der udplantes i nye områder. Metoden er meget tidskrævende og der anvendes derfor i stort omfang frivilligt arbejde. Logistikken i forbindelsen at anvende skoleklasser, foreninger og andre frivillige er derfor afgørende, og en vigtig barriere for en udplantnings succes.

SDU har lavet GIS analyser af hvor der kan etableres ålegræs (Figur 36), og der er flere steder, hvor udplantning er muligt, herunder i den sydlige del af Lovns, og på vestsiden af Skive Fjord og vestkysten af Risgårde Bredning ved Junget. Alle tre områder er tæt på havn, der kan understøtte logistik. Udplantning kan med fordel samtænkes med dyrkning af muslinger eller udlægning af muslingebanker, der vil forbedre vandets klarhed og ålegræssets vækst og overlevelse.

I de eksisterende projekter med udplantning af ålegræs er det forholdsvis små arealer der etableres. Kolding Kommune vil således etablere 2 hektar ålegræs med et budget på 2 mio DKK. Det marine Virkemiddelkatalog (Bruhn et al 2020) angiver, at der sker en permanent immobilisering af 146 kg N/år og 32 kg P/år for hver hektar ålegræs, der etableres. Projektet, som Kolding Kommune gennemfører, vil således fjerne ca 300 kg N og 64 kg P. Projekter af lignende størrelse er realistiske i Skive Kommune.



Figur 36 Områder hvor der kan etableres ålegræs. Udarbejdet af SDU (Petersen 2021)

19.ANNEX II Beskrivelse af Hjarbæk Fjord.

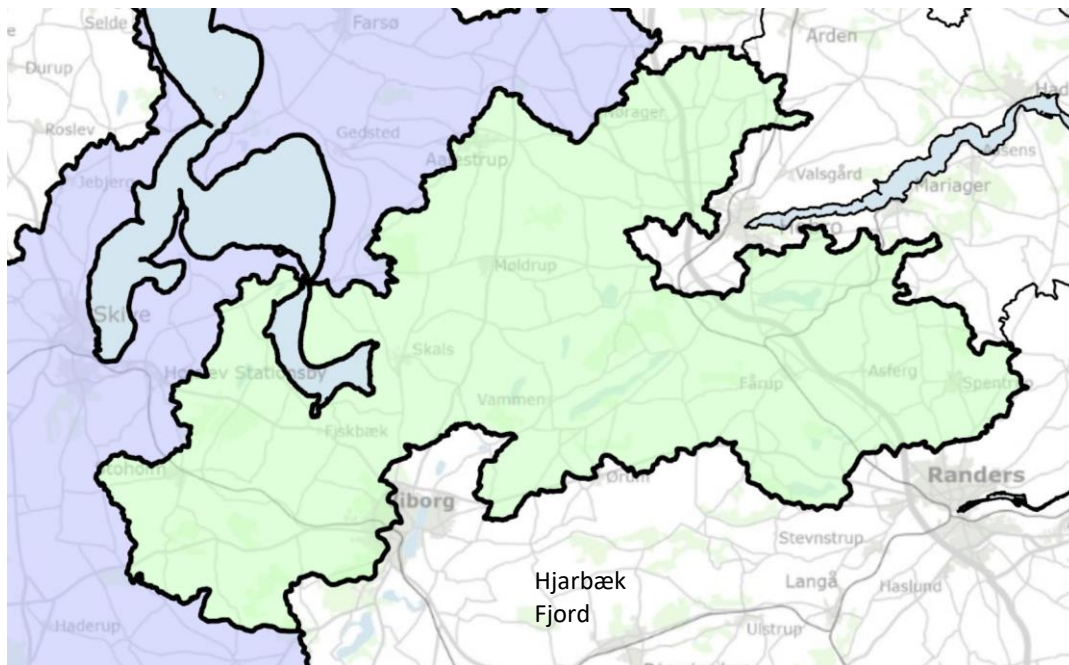
TRAP Danmark beskrivelse af Hjarbæk Fjord: *Den ret lavvandede Hjarbæk Fjord ligger i den inderste del af Limfjorden og udgør med sine 2.468 ha 1,7 % af Limfjordens samlede areal. Foran det kuperede landskab mellem Sundstrup og Knudshoved findes en smal strand med bagvedliggende overdrev og strandenge samt inaktive kystklinter. Øst for Knudshoved ligger Skals, hvor Simested og Skals Åer har deres udløb hhv. nord og syd for byen. Landsbyen Hjarbæk med Hjarbæk Havn ligger på fjordens sydøstkyst. Nordøst for havnen er der strækninger med smalle strande, men ellers er kysten præget af ferske enge og moser. Vest for Hjarbæk har Fiskbæk Å sit udløb, som omgives af moser og enge. Ved Kvols Hage findes også et engområde, og yderst på hagen ses et mindre krumoddesystem. Den vestlige side af Hjarbæk Fjord, fra Kvols Hage til Knudby, er overvejende en tilgroningskyst med ferske enge og moser samt en smule strandeng mod nordvest. Ud for Tårupgård findes dog også en smal strand. Længst mod nordvest danner Jordbro Å grænsen til Skive Kommune. Vandstanden er reguleret af slusen ved Virksund, og kystudviklingen er derfor overvejende biologisk betinget. Vandtilførslen fra åerne er meget stor, og Hjarbæk Fjord modtager hele 16 % af Limfjordens samlede årlige vandtilførsel. Det meste af kysten er privatejet, men ved bronzealderhøjene Marens Patter syd for Sundstrup findes der også et statsejet areal.*

AFGRÆSNING AF OMRÅDE

Kystvandet Hjarbæk Fjord er vist i figur 37 og 38



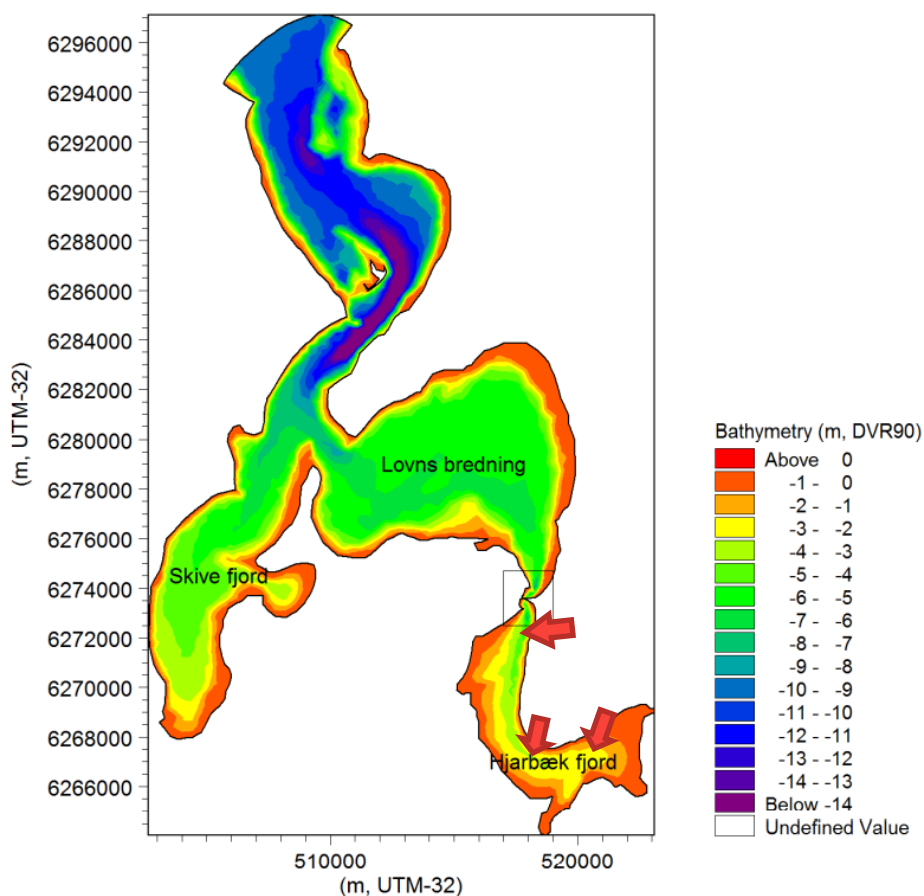
Figur 37 Kort der viser lokaliseringen af Hjarbæk Fjord



Figur 38 Vandoplandet til Hjarbæk Fjord (grønt område) har et opland på 1177,8 km², hvorfra der årligt strømmer 1716,4 t kvælstof ud i Hjarbæk Fjord. Figur er udarbejdet af Mette V. Odgaard, Agroøkologi, Aarhus Universitet.

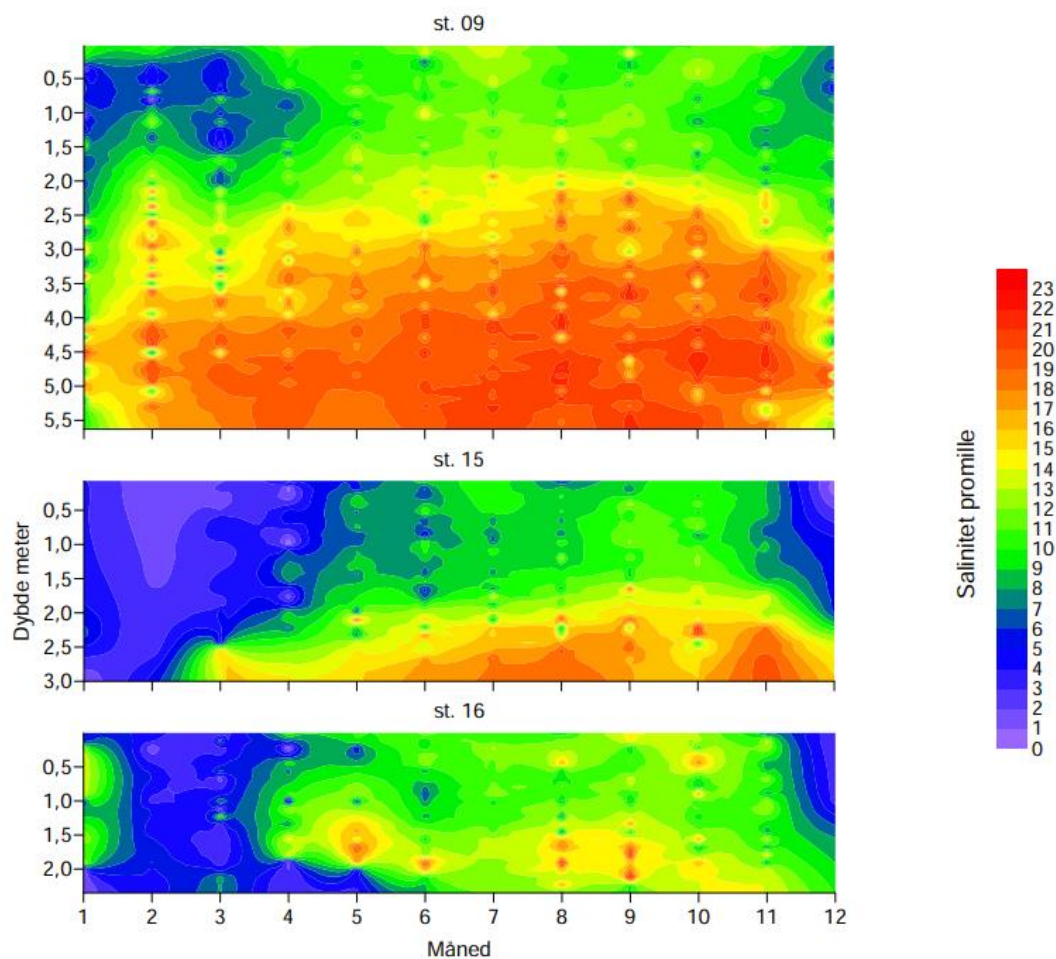
BESKRIVELSE AF OMRÅDET IFT SALTHOLDIGHED VANDDYBDER, OG BUNDFORHOLD

Hjarbæk Fjord er forholdsvis lavvandet. I den åbne del fra slusen løber der en rende med en dybde på ned til ca 6 meter, og på kanterne i den ydre del og hele den indre del er der store lavvandede områder på mellem 0 og 2 meters dybde (Figur 39).

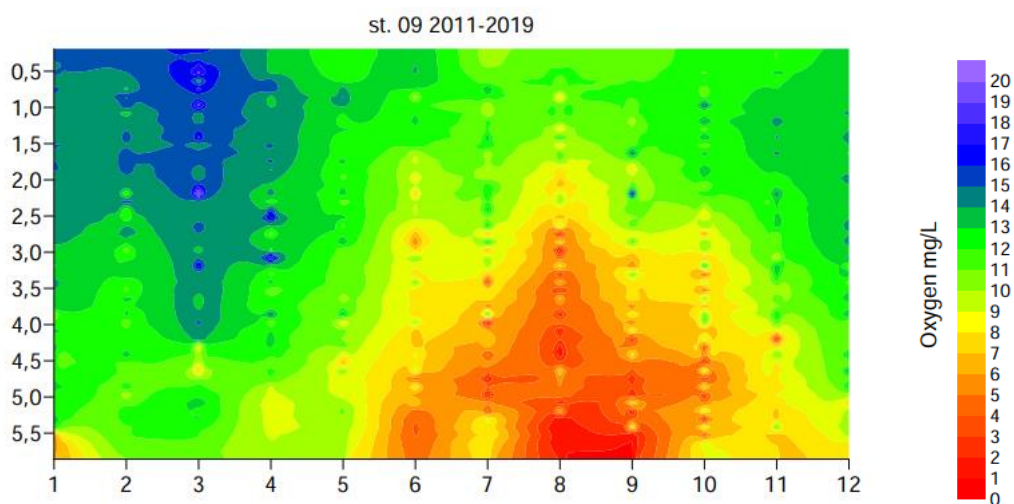


Figur 39 Bathymetri for Hjarbæk Fjord (Fra DHI 2014). De tre pile angiver stationerne for salinitetsmålinger (Figur 38).

De biologiske processer, herunder økosystemets udvikling er i høj grad formet af de næringsstoffer og det salinitetsregime der råder i Hjarbæk Fjord. På Figur 40-41 ses saliniteten og iltindholdet i vandsøjlen fordelt over måneder i perioden fra 1994-2014. Station 9 er placeret tæt ved slusen i yderfjorden, og station 15 og 16 er placeret i inderfjorden.



Figur 40 Salinitet gennem vandsøjlen per måned i perioden 1992-2014 for station 9 yderst i Hjarbæk Fjord, og station 15 og 16 inderst i Hjarbæk Fjord (fra Gertz et al 2020)



Figur 41 Iltindhold gennem vandsøjlen per måned for perioden 2011-2019 på station 9 i den yderste del af Hjarbæk Fjord (fra Gertz et al 2020).

BESKYTTELSES KRAV (N2000 ELLER ANDEN BESKYTTELSE)

Hjarbæk Fjord er en del af Natura 2000 området Lovns Bredning, Hjarbæk Fjord og Skals, Simested og Nørre Ådale samt Skravad Bæk (Natura 2000-område nr. 30) der udgøres af Habitatområde H30 og Fuglebeskyttelsesområder F14 og F24.

KRAV TIL FJERNELSE AF N, FORBEDRING AF MILJØFORHOLD IFT VANDOMRÅDEPLAN 2021-2027

I vandområdeplan for 2021-2027, som endnu ikke er vedtaget, er reduktionskravet til Hjarbæk Fjord på i alt 894,6 t N/år. Anvendelsen af en lang række kollektive og individuelle virkemidler er planlagt, og vil i alt fjerne en udladning af 321,3 t N årligt. Heraf vil målrettet regulering, som det vigtigste virkemiddel, årligt fjerner 181,3 t N. Efter 2025 forventes en yderligere reduktion på 234,4 t N/år

FISKERI ELLER OPDRÆT I OMRÅDET

Området har siden 1993 været lukket for muslingefiskeri (BEK nr 962 fra 1993), og der er ikke givet tilladelser til muslingeopdræt, herunder hverken opdræt i vandsøjlen eller bundkultur.

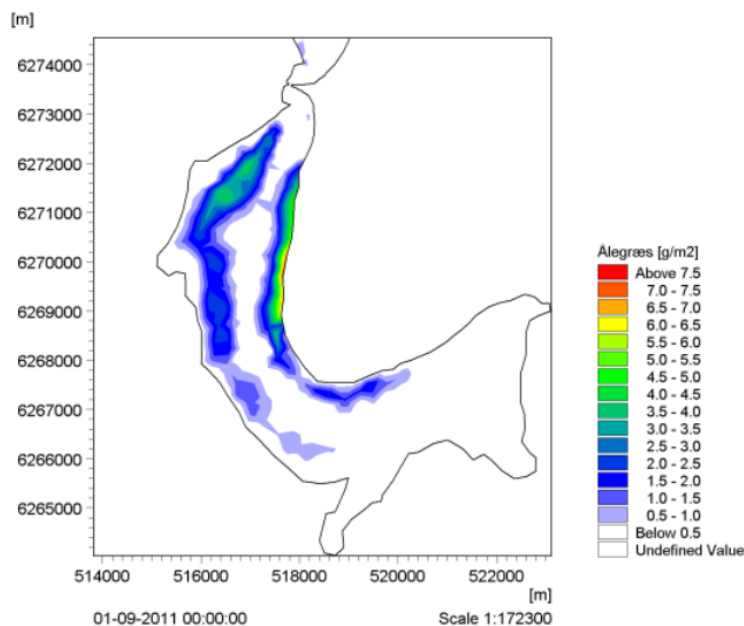
POTENTIALE FOR MUSLINGEOPDRÆT (LANGLINER/SMARTFARM/BUNDKULTUR), HVOR STORT OMRÅDE KAN ETABLERES, HVAD VIL EFFEKTEN VÆRE IFT N OG P FJERNELSE

Saliniteten i Hjarbæk Fjord er så svingende og så lav, at det ikke er muligt at lave en kommerciel muslingeproduktion af muslinger til fødevarer eller foder.

DHI har laven analyse af betydningen af dæmningen ved Virksund for vandkvaliteten i Hjarbæk Fjord (DHI 2014). Der er modelleret 3 forskellige scenariere, 1) den nuværende situation, 2) en dybtvandssluse, 3) fjernelse af slusen. Ved scenarie 2 og 3 øges overflade saliniteten fra 9,8 PSU til henholdsvis 13,8 og 17,3 PSU. Tilsvarende øges bundvandets salinitet fra 16,6 ps til henholdsvis 21,0 og 22,9 PSU. En øget salinitet kan betyde forbedrede levevilkår for muslinger og ålegræs, men modelleringen viser en øget lagdeling pga salinitetsændringerne, der betyder en øget koncentration af sommerklorofyl, og dermed en reduceret sigtddybe. Pga øget lagdelingen ses ligeledes en faldende iltkoncentration i bundvandet. DHI vurderer, at ændring eller fjernelse af sluse ikke vil medføre store ændringer, og at fjordens miljøtilstand mest effektivt ændres med reducerede næringsstofftilførsler.

DHI har i forbindelse med notatet modelleret udbredelsen af ålegræs i 2011, og på lavere vand i den ydre del af fjorden kan der forekomme ålegræs (Figur 42). Etablering af ålegræs vanskeliggøres af den lave sigtddybe, men specielt i den ydre del af Hjarbæk Fjord kan genetablering af ålegræsenge være muligt, hvis det kombineres med udlægning af muslingebanker, der sikrer en øget klarhed i vandet.

I forhold til blåmuslinger konkluderes det i notatet: *Vurderet ud fra saltforholdene vil en større åbning mellem Hjarbæk Fjord og Lovns Bredning skabe grundlag for indvandring af muslinger. Analysen af Virksunddæmningen har ikke eksplicit inkluderet modellering af muslinger og ændringer i muslingernes græsningstryk, men en følsomhedsanalyse viser, at en øget bestand af muslinger under nutidsforholdene kan reducere klorofylniveauet med 20-25%, hvilket svarer til en ændring i klorofyl-a på ca. 7 µg/l. Sigtdybden øges med ca. 0,4 m. Procentvis er det store ændringer, men da miljømålet for klorofyl er 9 µg/l (og status i dag er omkring 30 µg/l), og at sigtdybden, som beskrevet tidligere, skal øges til cirka 5,5 m (i dag er sigtddybe omkring 2 m), er det ikke tilstrækkeligt til at ændre miljøtilstanden i fjorden til god økologisk tilstand.*



Figur 42 Modelleret udbredelse af ålegræs (fra DHI 2014)

Det er ikke umiddelbart realistisk at dyrke muslinger med henblik på produktion af fødevarer/foder eller som virkemiddel forhold til at fjerne næringsstoffer. Væksten af muslingerne vil være for lav i forhold til, at der kan ske en egentlig produktion. Det kan dog være en mulighed, at etablere muslingebanker som biofiltre eller som habitatforbedring. Etableres muslingebankerne som biofiltre, skal dette enten gøres på siderne af de dybere dele, hvor der er gode strømforhold, og dermed god adgang af fødepartikler til muslingerne. Alternativt kan muslingebankerne etableres som opdræt i vandsøjlen, i de strømfyldte dele, hvor muslingerne vil have god adgang til partikler, og vil kunne øge klarheden af det vand, der strømmer ind i fjorden eller strømmer ud. I forhold til risiko for iltsvind er det vigtigt at placerer muslingebanker og opdræt i vandsøjlen på en sådan måde, at muslingerne ikke udsættes for iltsvind i længere perioder. Det er vigtigt at bemærke, at muslingerne vil have samme fødeoptagelsesrate som muslinger i højere salinitet. En forskel er dog at muslingerne i lave saltholdigheder bruger mere energi til tilpasning til den lave salinitet, og således allokerer forholdsvis lidt energi til vækst, og forholdsvis meget energi til stofskifte. Der kan således kun opsamles få næringsstoffer ved høst af muslingerne, og muslingerne vil pga. det høje stofskifte udskille forholdsvis meget ammonium til det omgivende vand. Formålet med muslinger udlagt som biofilter vil således give klart vand, men vil omdanne en stor del af det partikulære materiale til ammonium.

Muslingebanker kan ligeledes etableres som habitatrestaurering, dvs. muslingebankerne udlægges med henblik på at forbedre biodiversiteten i området. I forhold til at opnå en høj biodiversitet er det særligt vigtigt at undgå områder med iltsvind, da netop iltsvind vil modvirke etableringen af en høj biodiversitet.

POTENTIALE FOR FISKERI ELLER DYRKNING AF MAKROALGER, HVOR STORT OMRÅDE KAN ETABLERES, HVAD VIL EFFEKTEN VÆRE IFT N OG P FJERNELSE

Ifølge Petersen et al (2021) kan der ikke dyrkes sukkertang i Hjarbæk Fjord.

POTENTIALE FOR UDPLANTNING AF ÅLEGRÆS, HVOR STORT OMRÅDE KAN ETABLERES, HVAD VIL EFFEKTEN VÆRE IFT N OG P FJERNELSE, OG KLIMAEFFEKT.

Ifølge Petersen et al (2021) kan der ikke etableres ålegræs i Hjarbæk Fjord.

20.REFERENCER

- Chang H, Lu M, Zhu Y, Zhang Z, Zhou Z, Liang Y, and Vidic RD (2022) Consideration of Potential Technologies for Ammonia Removal and Recovery from Produced Water. *Environ. Sci. Technol.* 2022, 56, 3305–3308.
- Boderskov T, Nielsen MM, Rasmussen MB, Balsby TJS, Macleod A, Holdt SL, Sloth JJ, Bruhn A (2021) Effects of seeding method, timing and site selection on the production and quality of sugar kelp, *Saccharina latissima*: A Danish case study, *Algal Research*, Volume 53, doi.org/10.1016/j.algal.2020.102160.
- Boffa, Fabbri, Calza, Revelli, Christensen (2022) Potential for nanofiltration technology in recirculating aquaculture systems in a context of circular bioeconomy. *Chemical Engineering Journal Advances* 10:
- Bruhn A, Flindt MR, Hasler B, Krause-Jensen D, Larsen MM, Maar M, Petersen JK, Timmermann K (2020) Marine virkemidler – beskrivelse af virkemidlernes effekter og status for vidensgrundlag. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 126. - Videnskabelig rapport nr. 368 <http://dce2.au.dk/pub/SR368.pdf>
- Bruhn A, Rasmussen MB, Thomsen M (2020) Høst af eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat – status på viden om miljøeffekter og økonomi. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 17 s. Notat nr. 2020|20 https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notatet_2020/N2020_20.pdf
- Bonefeld B (2019) Algetekstil. Alge-tekstil – Tekstil Biologi
- Catarino M, Silva A, Cardoso S (2018) Phycochemical Constituents and Biological Activities of *Fucus* spp. *Marine Drugs*. 16. 249. 10.3390/md16080249.
- Cole SG, Moksnes PO (2016) Valuing multiple eelgrass ecosystem services in Sweden: fish production and uptake of carbon and nitrogen. *Frontiers in Marine Science* 2:121.
- Concito (2021) Den store Klimadatabase, Den store klimadatabase
- DiLoreto ZA, Weber PA, Olds W, Pope J, Trumm D, Chaganti SR, Heath DD, Weisener CG (2016) Novel cost effective full scale mussel shell bioreactors for metal removal and acid neutralization, *Journal of Environmental Management*, Volume 183: 601-612,
- DHI (2014) Marine Vandplansmodeller Effekter af Virksunddæmningen på vandkvaliteten i Hjarbæk Fjord. Notat til Miljøministeriet. Documentation: Hjarbæk fjord study (mst.dk)
- DTU Aqua notat til Fødevareministeriet (2022). Værktøj til miljøvurdering af muslingeopdræt. Udarbejdet af DTU Aqua og DHI.
- EUMOFA (2018). BLUE BIOECONOMY LAST UPDATE- Situation report and perspectives. [Blue+bioeconomy_Final.pdf](https://eumofa.eu/blue-bioeconomy/Final.pdf) (eumofa.eu)
- Gertz F (2015) Notat om Vandområdeplaner - Beregnede kvælstofindsatsbehov for Limfjorden. SEGES
- Gertz F, Thostrup LK, Zachø SP (2020). Bilag til Miljøtilstanden I Hjarbæk Fjord. Udgivet af SEGES
- Hansen LB, Konrad M, Hasler B, Jacobsen BH, Ørum JE (2019) Vandplanlægning: Økonomisk analysegrundlag for vandområdeplaner. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 71 s. - Teknisk rapport nr. 155 <http://dce2.au.dk/pub/TR155.pdf>

- Hargrave MS, Nylund GM, Enge S, Pavia H (2022) Co-cultivation with blue mussels increases yield and biomass quality of kelp. *Aquaculture* 550:
- Hendriks I E, Sintes T, Bouma TJ, and Duarte CM (2008) Experimental assessment and modeling evaluation of the effects of seagrass (*Posidonia oceanica*) on flow and particle trapping. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 356, 163–173. doi: 10.3354/meps07316
- Holbach A, Maar M, Timmermann K, Taylor D (2020) A spatial model for nutrient mitigation potential of blue mussel farms in the western Baltic Sea. *Science of The Total Environment*, 736, 139624
- Holdt S, Kraan S (2011) Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. *J. Appl. Phycol.* 23:543–597. doi: 10.1007/s10811-010-9632-5.
- Holm TE, Nielsen RD, Clausen P, Bregnballe T, Clausen KK, Petersen IK, Sterup ., Balsby TJS, Pedersen CL, Mikkelsen P, Bladt J (2021) Fugle 2018-2019. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 350 s. - Videnskabelig rapport nr. 420. <http://dce2.au.dk/pub/SR420.pdf>
- Hui Y, Tamez-Hidalgo P, Cieplak T, Satessa G, Kot W, Kjaerulff S, Nielsen M, Nielsen D, Krych L (2021). Supplementation of a lacto-fermented rapeseed-seaweed blend promotes gut microbial- and gut immune-modulation in weaner piglets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 12. 85. 10.1186/s40104-021-00601-2.
- Jensen ML, Vestergaard CH, Mortensen RM, Gertz F Wiborg IA. Redaktør SK Hvid (2017) KVÆLSTOFINDSATSSEN FOR OPLANDET TIL SKIVE FJORD OG LOVNS BREDNING - Kan den målrettede regulering erstattes af en øget kollektiv indsats? er udgivet af SEGES Landbrug & Fødevarer F.m .b.A. Agro Food Park 15 8200 Aarhus N +45 8740 5000 seges.dk Rapporten er udarbejdet for Landbrugsforeninger og familielandbrugsforeninger i Limfjordsoplandet
- Jensen ML, Vestergaard CH, Mortensen RM, Gertz F Wiborg IA. Redaktør SK Hvid (2017). KVÆLSTOFINDSATSSEN FOR OPLANDET TIL HJARBÆK FJORD Kan den målrettede regulering erstattes af en øget kollektiv indsats? er udgivet af SEGES Landbrug & Fødevarer F.m .b.A. Agro Food Park 15 8200 Aarhus N +45 8740 5000 seges.dk Rapporten er udarbejdet for Landbrugsforeninger og familielandbrugsforeninger i Limfjordsoplandet
- Jørgensen MS, Labouriau R, Olesen B (2019) Seed size and burial depth influence *Zostera marina* L. (eelgrass) seed survival, seedling emergence and initial seedling biomass development. *PLOS ONE*. 14(4):Article e0215157. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215157>
- Landes A, Dolmer P, Poulsen LK, Petersen JK, Vismann B (2015) Growth and respiration in blue mussels (*Mytilus* spp.) from different salinity regimes. *The Journal of Shellfish Research*. 2015;34(2):373-382. <https://doi.org/10.2983/035.034.0220>
- Limfjordsrådet (2021). MASTERPLAN -LIMFJORDEN I BALANCE.
- Meichssne, R, Stegmann N, Cosin AS. et al. (2020) Control of fouling in the aquaculture of *Fucus vesiculosus* and *Fucus serratus* by regular desiccation. *J Appl Phycol* 32, 4145–4158 <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02274-2>
- Meichssner R (2021) Aquaculture of *Fucus* species in the Baltic Sea by means of vegetative reproduction. Dissertation for the Academic Degree Dr. rer. nat. at the Faculty of Mathematics and Natural Sciences of the Christian-Albrechts-University Kiel.
- Meichssner R, Krost P, Schulz R (2021). Vegetative aquaculture of *Fucus* in the Baltic Sea- obtaining low fertility biomass from attached or unattached populations? *Journal of Applied Phycology* 33:1709-1720, DOI: 10.1007/s10811-021-02419-x

- Miljø- og Fødevarerministeriet (2019) Danmarks Havstrategi II Første del: God miljøtilstand, Basisanalyse, Miljømål. ISBN: 978-87-93593-73-2.
- Mititelu M, Morosan E, Nicoara AC, Secareanu AA, Musuc AM, Atkinson I, Pandele Cusu J, Nitulescu GM, Ozon EA, Sarbu I, et al. (2022a) Development of Immediate Release Tablets Containing Calcium Lactate Synthetized from Black Sea Mussel Shells. *Mar. Drugs* 2022, 20, 45. <https://doi.org/10.3390/md2001004>
- Mititelu M, Stanciu G, Draganescu D, Ionita AC, Neacsu SM, Dinu M, van Staden RI, Morosan E (2022b) Mussel Shells, a Valuable Calcium Resource for the Pharmaceutical Industry. *Mar. Drugs*, 20, 25. <https://doi.org/10.3390/md20010025>
- Neri TA, Nguyen TT, Nguyen THP, Rohmah Z, Jeong SB, Hwang DJ, Choi BD (2021) Effect of season and processing steps in nutritional components and bioactivities of blue mussels (*Mytilus edulis*). *International Food Research Journal* 28(4): 752 – 762
- 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. *Aquaculture Environment Interactions*. 8:311-329. <https://doi.org/10.3354/aei00175>
- Nielsen CW, Holdt SL, Sloth JJ, Marinho GS, Sæther M, Funderud J, Rustad T (2020) Reducing the High Iodine Content of *Saccharina latissima* and Improving the Profile of Other Valuable Compounds by Water Blanching. *Foods* 2020, 9, 569; doi:10.3390/foods9050569
- NOAA hjemmeside (2022). Ocean Acidification. Ocean acidification | National Oceanic and Atmospheric Administration (noaa.gov)
- Orbicon (2019) Analyse af tilskudsmodeller for kompenserende produktion af blåmuslinger II. Rapport udarbejdet for Mariagerfjord Kommune af Per Dolmer
- Oreska M, McGlathery K, Aoki L, Berger A, Berg P, Mullins L (2020) The greenhouse gas offset potential from seagrass restoration. *Scientific Reports*. 10. 10.1038/s41598-020-64094-1.
- Orth, RJ, Marion, SR, Granger S, Traugber M (2009) Evaluation of a mechanical seed planter for transplanting *Zostera marina* (eelgrass) seeds. *Aquatic Botany* 90 (2009) 204–208
- Pandey D, Mansouryar M, Novoa-Garrido M, Naess G, Viswanath K, Hansen H, Nielsen M, Khanal P (2021) Nutritional and anti-methanogenic potentials of macroalgae for ruminants. 10.19103/AS.2021.0091.14.
- Petersen JK, Timmermann K, Holmer M, Hasler, B, Göke C, Zandersen M (2013) Miljømuslinger Notat fra DSC til Naturstyrelsen. Miljømuslinger - Muslinger som marint virkemiddel. Notat fra DCE 2013 (au.dk)
- Petersen JK (red.), Timmermann K (red.), Bruhn A, Rasmussen MB, Boderskov T, Schou HJ, Erichsen AC, Thomsen M, Holbach A, Tjørnløv RS, Lange T, Canal-Vergés P, Flindt MR (2021b) Marine virkemidler: Potentialer og barrierer. DTU Aqua-rapport nr. 385-2021. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 49 pp. + bilag
- Petersen JK, Bruhn A, Behrens JW, Dalskov J, Larsen E, Thomsen M, Vinther M (2021) Vidensyntese om blå biomasse: Potentialer for ny og bæredygtig anvendelse af havets biologiske ressourcer. DTU Aqua. DTU Aqua-rapport Nr. 387-2021
- Pihl S, Holm TE, Clausen P, Petersen I, Nielsen RD, Laursen K, Bregnballe T, Søgaard B (2015) Fugle 2012-2013. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 170 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 125 <http://dce2.au.dk/pub/SR125.pdf>

- Regeringens klimapartnerskaber (2022). Klimapartnerskab for fødevare og landbrugssektoren-sektorkøreplan. sektorkoereplan-foedevare-og-landbrugssektoren.pdf (em.dk)
- Röhr M E, Boström C, Canal-Vergés P, Holmer M (2016) Blue carbon stocks in Baltic Sea eelgrass (*Zostera marina*) meadows. *Biogeosciences*, 13, 6139– 6153,
- Satessa G, Tamez-Hidalgo P, Kjaerulff S, Vargas-Bello-Pérez E, Dhakal R, Nielsen M (2020) Effects of Increasing Doses of Lactobacillus Pre-Fermented Rapeseed Product with or without Inclusion of Macroalgae Product on Weaner Piglet Performance and Intestinal Development. *Animals*. 10. 10.3390/ani10040559.
- Song, Woong-Kyu, Kang, Joo-Hyun, Cha, Jae-Kook, Lee, Jung-Seok, Paik, Jeong-Won, Jung, Ui-Won, Kim, Byung-Hoon, Choi, Seong-Ho, 2018. Biomimetic characteristics of mussel adhesive protein-loaded collagen membrane in guided bone regeneration of rabbit calvarial defects. *JPIS*. 2018.48.5.305. - doi: 10.5051/jpis.2018.48.5.305
- Stæhr PA, Nielsen MM, Göke C, Petersen JK (2019) Andre presfaktorer end næringsstoffer og klimaforandringer – effekter af sargassotang på den øvrige marine vegetation. DTU Aqua-rapport nr. 353-2019. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 28 pp.
- van Katwijk MM, Thorhaug A, Marba N, Orth RJ, Duarte CM, et al(2016). "Global analysis of seagrass restoration: the importance of large-scale planting". *VIMS Articles*. 805. <https://scholarworks.wm.edu/vimsarticles/805>
- Vinther HF, Norling P, Kristensen PS, Dolmer P, Holmer M (2012) Effects of coexistence between the blue mussel and eelgrass on sediment biogeochemistry and plant performance. *Mar Ecol Prog Ser* 447:139-149. <https://doi.org/10.3354/meps09505>