

# Blå biomasse – potentialer og udfordringer for opdræt af muslinger og tang



**DTU Aqua-rapport nr. 312-2016**  
Af Jens Kjerulf Petersen, Anne-Belinda Bjerre, Berit Hasler, Marianne Thomsen, Mette Møller Nielsen og Pernille Nielsen

# **Blå biomasse - potentialer og udfordringer for opdræt af muslinger og tang**

DTU Aqua-rapport nr. 312-2016

Af Jens Kjerulf Petersen<sup>1</sup>, Anne-Belinda Bjerre<sup>2</sup>, Berit Hasler<sup>3</sup>, Marianne Thomsen<sup>3</sup>,  
Mette Møller Nielsen<sup>1</sup> og Pernille Nielsen<sup>1</sup>

1 Dansk Skaldyrcenter, Institut for Akvatiske Ressourcer, DTU

2 Teknologisk Institut

3 Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet

## Kolofon

Titel	Blå biomasse – potentialer og udfordringer for opdræt af muslinger og tang
Forfattere	Af Jens Kjerulf Petersen, Anne-Belinda Bjerre, Berit Hasler, Marianne Thomsen, Mette Møller Nielsen og Pernille Nielsen
DTU Aqua-rapport nr.	312-2016 (2. udgave)
År:	Marts 2016
Reference:	Petersen J. K., Bjerre A-B., Hasler B., Thomsen M., Nielsen M. M. & Nielsen P. Blå biomasse – potentialer og udfordringer for opdræt af muslinger og tang. DTU Aqua-rapport nr. 312-2016. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 37 pp.
Udgivet af:	Dansk Skaldyrcenter, Institut for Akvatiske Ressourcer, Øroddevej 80, 7900 Nykøbing, skaldyrcenter@aqua.dtu.dk, <a href="http://www.skaldyrcenter.aqua.dtu.dk/">http://www.skaldyrcenter.aqua.dtu.dk/</a>
Download:	<a href="http://www.aqua.dtu.dk/publikationer">www.aqua.dtu.dk/publikationer</a>
ISSN:	1395-8216
ISBN:	978-87-7481-225-8

## Forord

Nærværende rapport giver en oversigt over de væsentligste potentialer og udfordringer for udnyttelse af dele af den blå biomasse, nemlig opdræt af muslinger og tang. Udvælgelsen af opdræt af muslinger og tang som genstand for analysen er foretaget af en arbejdsgruppe om blå biomasse under det bioøkonomiske panel bestående af repræsentanter fra vidensinstitutioner, myndigheder, erhverv og miljøorganisationer. Rapporten er udarbejdet som en del af den forskningsbaserede myndighedsbetjening til NaturErhvervstyrelsen af Danmarks Tekniske Universitet, Institut for Akvatiske Ressourcer og Aarhus Universitet, Nationalt Center for Miljø og Energi. Derudover har NaturErhvervstyrelsen anmodet Teknologisk Institut om input. Rapporten skal indgå som fagligt grundlag for det Nationale Bioøkonomi-panels diskussion af potentialerne for den blå biomasse.

Teknologisk Institut har udelukkende bidraget til rapportens afsnit 3.2.1 om bioraffinering af tang. Aarhus Universitet har primært bidraget til afsnittene 2.4 og 3.4 om drift- og samfundsøkonomiske potentialer ved opdræt af muslinger og tang samt delvist til 4 om marine virkemidler. DTU har bidraget til alle rapportens afsnit, redigeret rapporten og har det faglige ansvar for indholdet. Forfatterne takkes for deres indsats, ligesom input fra arbejdsgruppen har været konstruktive. Forfatterne er på nær hovedforfatteren listet alfabetisk.

Dansk Skaldyrcenter  
Nykøbing Mors, Marts 2016

# Indhold

Resumé .....	5
1. Indledning .....	6
2. Muslinger - status, potentialer og barrierer .....	10
3. Tang - status, potentialer og barrierer .....	20
4. Opdræt og marine virkemidler .....	29
5. Konklusioner og visioner .....	32
Referencer .....	33

## Resumé

Opdræt af muslinger og tang bygger på et fælles princip: Næringsalte i havet omsættes enten direkte gennem fotosyntese (tang) eller indirekte via filtrering af fytoplankton (muslinger) til biomasse. Det kræver således ikke nogen form for fodring med dertil hørende miljøbelastning at dyrke muslinger og tang i havet og opdrættet kan øko-certificeres. Når muslingerne eller tangen bliver høstet, bringes næringsalte - der oprindeligt er tabt fra land - tilbage til land, og opdræt af muslinger og tang repræsenterer derfor et helt fundamentalt eksempel på cirkulær økonomi.

Næringsrige kystvande med en høj hygiejnisk standard gør danske kystnære områder meget velegnede til opdræt af muslinger. Opdræt til konsum er et nyligt etableret erhverv i Danmark med en årlig produktion på knap 2.000 tons. Det vurderes, at der er mulighed for at øge opdræt af muslinger til konsum til 5.000 tons årligt indenfor 3 år med afsætningsmulighederne som væsentligste barriere for at nå dette mål. Opdrættede muslinger kan endvidere anvendes som økologisk fodringrediens til grise, høns og fisk i form af mel eller ensilage. Der er pt. ingen produktion af muslinger til foder, men det skønnes, at der er potentiale for en produktion på årligt 100.000 tons. Væsentligste barrierer for at indfri et sådant potentiale er omkostninger ved produktionen, der pt. ikke vil kunne etableres rentabelt, samt plads i kystzonen til produktionsanlæg. Hvis opdræt af muslinger honoreres for de økosystem tjenester, i form af kvælstof-fjernelse, det leverer, vil opdræt af muslinger til foder kunne gøres rentabelt. En honorering af disse økosystem tjenester kan evt. ske gennem brug af muslingeopdræt som marint virkemiddel til opnåelse af miljømålene i kystvandene. En produktion af 5.000 tons muslinger vil levere økosystem tjenester for ca. 4,5-14,6 mio. kr. årligt, mens en produktion på 100.000 tons muslinger, svarende til ca. 15.000 tons mel, vil levere økosystem tjenester for 91-293 mio. kr. årligt.

Opdræt af tang i danske kystnære farvande er udfordret af store områder med for lav saltholdigheder og dårlige lysforhold. Opdræt af tang er et helt nyt erhverv i Danmark med årlige produktionsmængder på  $\leq 10$  tons årligt. Der er et stort behov for udvikling af metoder og teknologi til opdræt af tang, men lykkedes det, vil der være potentiale for en betydelig produktion med mange anvendelsesmuligheder af den producerede tang, fx i form af bioraffinerede produkter. Hvis sektoren kan udvikles gennem etablering af mere omkostningseffektive dyrkningsmetoder, og der kan etableres et marked for produkterne, vurderes det, at en produktion på op til max. 8.000 tons tang årligt er muligt indenfor en periode på 10 år. I de kommende år vil afsætning af opdrættet tang primært kunne gå til human konsum og det vurderes, at der kan afsættes op til 200-300 tons årligt indenfor en kortere årrække. Højværdistoffer i tangen og dens mulige probiotiske effekter vil imidlertid kunne åbne andre afsætningskanaler. Med den nuværende teknologi svarer økosystem tjenester leveret af tangopdræt til 2.912-7.870 kr.  $\text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ . Værdien af økosystem tjenesterne svarer til op til 19% af produktionsomkostninger med den nuværende teknologi.

# 1. Indledning

Jorden er en blå planet, hvor det marine miljø udgør 71% af planetens overflade og mere end 90% af biosfæren, det vil sige de områder, hvor der er liv. Denne dominans i omfang sammenholdt med de mange forskellige nicher i havet og den langt større artsdiversitet i form af tilstedeværelse af rækker af organismer gør havet til den rigeste kilde til biologisk liv på jorden. Det er derfor naturligt, at blå biomasse ses som et vigtigt indsatsområde både nationalt og i EU (European Commission 2012). I Danmark udgør det marine areal omfattet af Dansk Eksklusiv Økonomisk Zone (EEZ) ca. 106.000 km<sup>2</sup> eller ca. 2,5 gange det terrestriske areal. Af det danske havterritorium er der på ca. 32% af arealet forskellige former for anvendelser eller restriktioner - så som råstofindvinding, sejlruiter, havvindmølleparker, olieletter og naturbeskyttelse - hvilket efterlader minimum 68%, ca. 72.000 km<sup>2</sup> eller mere end 1,5 gange det samlede terrestriske areal til potentiel produktion af blå biomasse. Blå biomasse omfatter principielt alle former for biologiske produkter, der kan høstes fra havet. I denne analyse er der dog foretaget en afgrænsning og konkretisering i forhold til en meget bred definition af blå biomasse.

## 1.1 Afgrænsning af analysen

Udnyttelse af havets bioressourcer omfatter i Danmark primært fiskeri og i mindre grad opdræt af fisk, skaldyr og tang. Fiskeri og forarbejdning af fisk til både fødevarer, foderingredienser og andre typer af produkter har været en historisk vigtig sektor i Danmark, som har generet arbejdspladser og eksportindtægter. Mens beskæftigelseseffekten er af mindre betydning (i alt 9000 direkte og indirekte beskæftigede) er eksporten af større betydning, idet der i alt i 2014 blev eksporteret fiskeprodukter for 22 mia. kr.

Der er i flere forskellige nationale og europæiske sammenhænge udformet strategier for udvikling af fiskeriet og de dertil relaterede industrier. Dette segment af den blå biomasse er derfor ikke omfattet af nærværende analyse. I én sammenhæng er det dog potentielt relevant at inddrage fiskeriet i en analyse af kommende muligheder for udnyttelse af blå biomasse. Med reformen af EU's fælles fiskeripolitik blev der i 2015 indført en landingsforpligtelse, det såkaldte discard-forbud, som betyder, at der gradvist indføres et forbud mod udsmid i alle fiskerier. Ved en fuld implementering af landingsforpligtelsen vil der hermed skabes en ressource, som potentielt kan bruges til forskellige formål fx human konsum, fiskeolie og fiskemel eller biogas. Der vil være forskellige problemstillinger forbundet med de forskellige former for anvendelse, herunder reglerne i biproduktforordningen, men der vil uanset anvendelse være tale om en ny udnyttelse af en ressource, som tidligere er blevet returneret til havet i form af udsmid. Landingsforpligtelsen er imidlertid endnu ikke fuldt implementeret og det er svært på nuværende tidspunkt at afgøre, hvilket omfang denne ressource reelt vil få og udsmid indgår derfor ikke i analysen.

På verdensplan er akvakultur, opdræt af fisk, skaldyr og tang, den hurtigst voksende fødevarerproducerende sektor med årlige vækstrater på 8-9%. I Danmark har opdræt af fisk været udført i en længere årrække og er i dag den dominerende akvakulturform. Herudover er der i Danmark en betydelig følgeindustri til opdræt af fisk i form af producenter af fiskefoder og foderingredienser (1,2 mia. kr. i 2012) samt udvikling og produktion af opdrætsteknologier (1,5 mia. kr. i 2012,

NaturErhvervstyrelsen 2014). Opdræt af fisk i havbrug er forbundet med en miljøbelastning, da der netto tilføres næringssalte og organisk materiale til havet som en funktion af fodringen. Der til kommer miljøpåvirkning fra tilsat medicin og andre hjælpestoffer. For opdræt af fisk i havbrug er det på nuværende tidspunkt ikke muligt at etablere direkte renseforanstaltninger til reduktion af miljøpåvirkningen og råderummet for udvikling af sektoren er derfor ikke primært bestemt af økonomisk rentabilitet, men vil være begrænset af bl.a. miljøhensyn. Der er i flere omgange udfærdiget regeringsstrategier og tiltag til udvikling af sektoren, som fx en ny strategi for erhvervets udvikling 2014-20 (NaturErhvervstyrelsen 2014) og senest udbygget i "Aftale om Fødevarer- og landbrugspakke" i december 2015. Opdræt af fisk vil derfor ikke indgå i analysen.

Opdræt af muslinger og tang adskiller sig på mange områder fra anden akvakultur. Begge former for opdræt er relativt nye i Danmark, der foreligger ikke konkrete strategier for deres udvikling og der er ikke etableret følgeindustrier i relation til den primære aktivitet. Begge former for opdræt er principielt miljømæssigt bæredygtige, fordi de ikke er baseret på tilførsel af foder eller hjælpestoffer, men alene er afhængige af den naturligt forekommende næring i havet. Det er muligt at få opdræt af muslinger og tang godkendt som økologisk produktion og der findes for begge former EU-godkendte økologiske mærkningsstandarder. Opdræt af muslinger og tang er således omdrejningspunktet for denne analyse af mulighederne i blå biomasse.

## 1.2 Ekstraktionskulturer

Opdræt af muslinger og tang bygger på et fælles princip: Næringssalte i havet omsættes enten direkte gennem fotosyntese (tang) eller indirekte via filtrering af fytoplankton (muslinger) til biomasse. Det kræver således ikke nogen form for fodring med dertil hørende miljøbelastning at dyrke muslinger og tang i havet. De eneste forudsætninger for opdrættet - udover områdernes egnethed til opdræt - er, at der tilvejebringes et substrat til nedslag af yngel eller udsættes yngel/såliner, samt at opdrætsanlæggene holdes vedlige, så afgrøderne er placeret optimalt i vandsøjlen til de er klar til høst. Der er således tale om en meget ekstensiv form for akvakultur og da der endvidere er en høj grad af genbrug af materialer i produktionen, kan opdrættet anses for at have et lavt CO<sub>2</sub>-aftryk. Når muslingerne eller tangen bliver høstet, bringes næringssalte - der oprindeligt er tabt fra land - tilbage til land, og opdræt af muslinger og tang repræsenterer derfor et helt fundamentalt eksempel på recirkulering af ressourcer - en cirkulær økonomi - der reducerer tabet af vigtige næringssalte. Om recirkulering af næringsstoffer medfører en drifts- og samfundsøkonomisk nettogevinst bestemmes af omkostningerne ved produktionen og værdien af de tilbageførte næringssalte. Det skal dog bemærkes, at fosforressourcen er udtømmelig og de tilgængelige ressourcer er på vej til at blive udtømt (Jensen et al 2015).

Fordi muslinger og tang under væksten binder næringssalte i biomasse, bliver næringssaltene immobiliseret og gjort utilgængelige og næringssaltene omsætning (målt som antallet af gange kvælstof- og fosforbelastningen kan bidrage til primærproduktion pr. vækstsæson) i vandfasen bliver reduceret. Ved høst bliver de i biomassen bundne næringssalte helt fjernet fra det marine miljø og effekten af opdræt af muslinger og tang er en reduktion af de negative effekter af eutrofiering af det marine miljø. Netop tilførslen af overskydende næringssalte og især kvælstof fra land er den største trussel mod miljøtilstanden i danske kystnære farvande. Opdrættet fjerner imidlertid ikke kun næringssalte direkte tilført fra land, men også næringssalte tilført fra sediment, atmosfære eller andre marine områder og har dermed en effekt på den interne belastning



i fjorde og kystnære områder. Dette er især af betydning, fordi opfyldelsen af vandrammedirektivets kvalitetsmål måles i recipienten som miljøtilstand, og ikke som reduktion i de landbaserede tilførsler. Opdræt af muslinger og tang kan derfor anvendes som mulige marine virkemidler til opnåelse af god miljøtilstand i henhold til Vandrammedirektivet. Et ekspertudvalg har vurderet, at datagrundlaget for begge typer opdræt er tilstrækkelig omfattende til, at de kan vurderes som værende operationelle virkemidler i egnede områder. Der kan være behov for tekniske afklaringer og vurderinger af optimal placering, der kræver supplerende undersøgelser eller faglig vurdering, men som virkemiddel betragtet er begge teoretisk og praktisk dokumenteret om end der er forskel i både effektivitet og omkostningseffektivitet mellem dem (Timmermann et al 2016). I kraft af, at tang er en primærproducent, vil dyrkning heraf yderligere medføre en miljømæssige gevinst i form af den biologiske CO<sub>2</sub> fiksering, der opstår ved fotosyntese.

For di opdræt af muslinger og tang medfører en fjernelse af næringssalte fra den marine recipient, kan opdrættet også bruges som kompensation for næringsstoffer tabt fra punktkilder, hvor der pt. ikke findes kendte renseforanstaltninger, fx havbrug til opdræt af fisk. Kompensationsopdræt indgår som en del af strategien for udvikling af havbrugserhvervets produktionsvolumen (NaturErhvervstyrelsen 2014, "Fødevarer- og landbrugspakken" 2015). Ved at gøre udvidelse af fiskeproduktion afhængig af kompenserende foranstaltninger, kan udvidelsen gøres miljøneutral, hvad angår næringssalte (her tages ikke højde for andre miljøpåvirkninger af havbrug). Ved brug af kompensationsopdræt i forbindelse med havbrug skal man imidlertid være opmærksom på, at kompensationsopdrættet af flere årsager ikke kan fungere som et direkte fysisk filter, men alene er en kompenserende foranstaltning (Cranford et al 2013, Petersen et al 2015b). Der består således ikke en direkte kobling mellem udledningen fra havbruget og optagelse i kompensationsopdræt. Det betyder imidlertid ikke, at kompensationsopdræt ikke kan være en effektiv kompenserende foranstaltning i forhold til miljøtilstanden i det pågældende vandområde (Petersen et al 2015b). Ved placering af kompensationsopdræt i forbindelse med udvidelse af havbrugsproduktion af fisk vil det derfor være hensigtsmæssigt at placere kompensationsopdrættet, hvor det mest effektivt kompenserer for næringssalte tabt fra fiskeproduktionen frem for så tæt på anlægget som muligt (Petersen et al 2015b). En hensigtsmæssig placering kan for et muslinge anlæg være, hvor der er høj koncentration af fytoplankton eller stor vandudskiftning og for et tunganlæg være i områder med gode lysforhold, hvilket ikke nødvendigvis er tæt på fiskeopdrættet. Placeringen af kompensationsopdrættet skal dog, jf. Vandrammedirektivet, ske indenfor samme vandområde som havbruget.

### 1.3 Reguleringsmæssige rammevilkår

Det er muligt at få tilladelse til opdræt af muslinger og tang i vandsøjlen uden betaling til staten for eksklusiv anvendelse af den del af havterritoriet, som opdrættstilladelsen omfatter. Tilladelse er altid åremålsbegrænsede dog med mulighed for forlængelse.

For opdræt af muslinger administreres opdrættstilladelser af NaturErhvervstyrelsen (BEK 914/2011) og tilladelser gives typisk for en periode på 10 år med mulighed for fornyelse af tilladelsen. I henhold til fiskeriloven (LBK 568/2014) sendes en ansøgning i høring hos relevante parter. NaturErhvervstyrelsen vurderer herunder om anlægget vil påvirke et internationalt naturbeskyttelsesområde væsentligt, så der skal foretages en konsekvensvurdering af anlæggets virkning på det pågældende område (BEK 874/2008). Ved placering af opdrætsanlæg skal det

endvidere sikres, at området er et godkendt produktionsområde (LBK 978/2015) og området skal ligge i et område udpeget som skaldyrvand jf. EU's Skaldyrvandedirektiv (Direktiv 79/923/EØF). I Danmark er der i praksis tæt forbindelse mellem de ansvarlige styrelser (Naturstyrelsen og Fødevarestyrelsen) og der er reelt sammenfald mellem de to direktivområder. Størstedelen af de kystnære dele af den danske søterritorium er udpeget som produktionsområder, men stort set ingen dele af de åbne farvande. Reglerne i bekendtgørelsen er fastsat for brug af muslinger til human konsum og omfatter bestemmelser om prøvetagning for både giftige alger og mikrobiologiske organismer i forbindelse med høst af muslingerne. Derudover er der nogle almene bestemmelser af opdrætsanlæg i forhold til kendte punktkilder og overordnede bestemmelser om koncentrationer af miljøfremmede stoffer. Der er ikke fastsat specifikke regler for opdræt af muslinger til anden anvendelse end human konsum og al opdræt af muslinger er pt. underlagt regler for anvendelse til human konsum.

Etablering af tangananlæg kræver tilladelse fra Kystdirektoratet jf. kystbeskyttelsesloven (LBK 267/2009). Der udstedes typisk tilladelser af 5 års varighed med mulighed for forlængelse. Hvis Kystdirektoratet vurderer, efter høring af andre berørte offentlige myndigheder, at anlægget kan påvirke et internationalt naturbeskyttelsesområde væsentligt, skal der foretages en konsekvensvurdering af anlæggets virkning på det pågældende område (BEK 874/2008). Kystdirektoratet vurderer samtidigt om etableringen af et anlæg kræver en vurdering af virkningen på miljøet (VVM) jf. bekendtgørelse om miljømæssig vurdering af visse anlæg og foranstaltninger på søterritoriet (BEK 579/2013).

Samlet set behandles tilladelser til opdræt for henholdsvis muslinger og tang ikke af den samme administrative instans, og der gives tilladelser af forskellig varighed. Det har i praksis endvidere vist sig, at ansøgerne også oplever, at der er forskelle i selve sagsbehandlingen, fx om krav til dokumentation af miljøpåvirkning. Da opdræt af muslinger og tang i vid udstrækning benytter sig af de samme fysiske strukturer i vandsøjlen og delvist af sammenfaldende opdrætsteknologi på vandet, vil der imidlertid potentielt være muligheder for samdrift af de to opdrætsformer.

Anvendelse af muslinger og tang produceret i opdræt følger lovgivningen om fødevarer, foder og animalske og er fælles EU-lovgivning. Lovgivningen bygger på et "fjord til bord" princip, der betyder, at for at et produkt kan blive godkendt som fødevarer skal alle led i værdikæden være registrerede som fødevarer og håndtere produkterne i overensstemmelse med fødevarereglerne. Tilsvarende betyder det, at for at et produkt kan blive til foder, skal involverede virksomheder være registreret som fodervirksomhed og håndtere produkterne i overensstemmelse med foderreglerne. I visse tilfælde kan et produkt, som er produceret af en fødevarer virksomhed, anvendes som foder. Når det drejer sig om animalske produkter, fx fisk, muslinger og søstjerner, er alle produkter, som ikke er klassificeret som fødevarer, automatisk klassificeret som animalske biprodukter. Animalske biprodukter kan ikke omdannes til eller senere klassificeres som fødevarer. Visse animalske biprodukter kan omdannes til eller klassificeres som foder, fx muslinger. Opdrættede muslinger og tang kan med den nuværende lovgivning umiddelbart anvendes til både human konsum og foder, hvis opdrættet i øvrigt foregår efter de gældende regler for fødevarer- og foderproduktionen. Der er imidlertid i reguleringen ikke taget hensyn til opdræt med andre formål end human konsum, der potentielt kan have betydning for krav til produktionsområde, prøvetagning for produktets kvalitet eller andre forhold af betydning for produktionen.

## 2. Muslinger – status, potentialer og barrierer

Akvakulturproduktionen af blåmuslinger i 2014 er globalt estimeret til 16,1 mio. tons vådvægt, hvoraf 92% produceres i Asien, mens det europæiske bidrag anslås til at være <4%. Den globale gennemsnitlige økonomiske værdi for blåmuslinger ligger på ca. 8 kr. kg<sup>-1</sup> (vådvægt), mens den anslåede værdi af den europæiske produktion er ca. 16 kr. kg<sup>-1</sup> (FAO 2014b).

Opdræt af muslinger kan finde sted ved saltholdigheder >10-12 PSU med størst effektivitet ved saltholdigheder >18-20 PSU. Størstedelen af de kystnære danske farvande er generelt set yderst velegnede til opdræt af muslinger, fordi der her er ikke alt for eksponeret for bølger og vind. Det generelt meget høje næringsniveau i kystvandene, som følge af den store afstrømning af næringssalte fra land, giver yderst favorable biologiske betingelser for opdræt. Samtidig er den hygiejniske standard af de kystnære farvande meget høj som følge af den udbyggede kloakering og spildevandsrensning. Der kan således opdrættes muslinger af høj kvalitet på kort tid i kystnære, danske farvande.

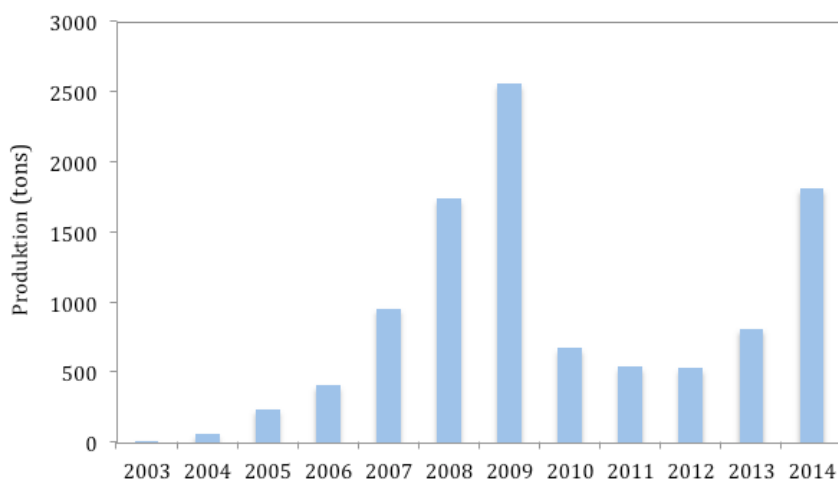
### 2.1 Produktionspotentialer

Opdræt af muslinger er en ny produktionsform i danske farvande. Mens der har været praktiseret muslingefiskeri i danske farvande i det meste af et århundrede, er opdræt af muslinger før årtusindeskiftet begrænset til forsøg eller meget små produktioner. Fra omkring 2002 skete der i forbindelse med etableringen af Dansk Skaldyrcenter (DSC) i Nykøbing Mors og den dertilhørende række af udviklingsprojekter, en eksplosiv udvikling i interessen for at opdrætte muslinger. Det førte til udformning af den første bekendtgørelse om opdræt af muslinger i vandsøjlen. Hvor der i 2002/03 således var tildelt ca. 5-6 tilladelser til opdræt af muslinger, hvoraf DSC havde de 4, var tallet i 2007 steget til >50 tilladelser og antallet af tilladelser steg yderligere i de efterfølgende år. Ved udgangen af 2014 var der i alt 51 gyldige tilladelser til opdræt af muslinger, hvoraf de fleste er placeret i Limfjorden. På baggrund af en gennemgang af tilladelse kan det antages, at op til 50% af tilladelse ikke udnyttes aktivt. De resterende opdræstilladelser er samlet på få større producenter, der typisk har 4-8 tilladelser eller tilhører mindre producenter, som ikke ernærer sig fuldtids ved muslingeopdræt.

Erhvervet har siden starten omkring årtusindeskiftet oplevet en turbulent tid og har været betydeligt påvirket af den økonomiske krise. Erhvervet har samtidigt skullet udvikle optimale produktionsformer tilpasset danske forhold, etablere afsætningskanaler samt forholde sig til de administrative rammebetingelser, hvilket sammen med udviklingen i markedet har været voldsomme udfordringer for et lille, nyt erhverv. I de senere år er der dog sket en konsolidering af erhvervet på færre ejere med en stigende produktion og indtjening.

Produktionen af opdrættede blåmuslinger har i perioden 2003-2014 været svingende (Figur 2.1). Den var stigende fra 2003 og frem til 2009, hvor den toppede med 2.556 t. I de efterfølgende år har produktionen ligget på ca. en fjerdedel eller ca. 600 t om året, hvilket afspejler en blanding af faldende efterspørgsel på det hollandske marked som funktion af den økonomiske

krise og variabel kvalitet af den danske produktion. I 2014 var produktionen steget til 1.810 t og indikationerne for 2015 er, at produktionen vil være yderligere forøget.



**Figur 2.1.** Indberettet produktion af opdrættede blåmuslinger fra danske producenter i perioden 2003-2014. Datagrundlag: NaturErhvervstyrelsens akvakulturstatistik.

Der foreligger til vores kendskab ikke beregninger eller modelsimuleringer, der kan dokumentere det biologiske produktionspotentiale for opdræt af muslinger i danske kystnære farvande. I 1990'erne blev der alene i den vestlige del af Limfjorden fisket 90-100.000 tons blåmuslinger årligt, mens der fra andre fiskeriområder som Bælthavet, den jyske østkyst, Isefjorden og Vadehavet blev landet i størrelsesordenen 30-40.000 tons årligt (Muslingeudvalget 2004). Biomassen af muslinger blev i samme periode vurderet til at være >1,5 mio. tons for de samme farvandsområder (Muslingeudvalget 2004). Siden da er tilførslerne af næringssalte reduceret betydeligt, hvilket afspejler sig både i forekomsten og sammensætningen af bunddyr (Riemann et al 2015) og i faldende landinger i fiskeriet, der i dag ligger i størrelsesordenen 40-60.000 tons blåmuslinger årligt for alle distrikter. På den anden side foregår fiskeriet i et begrænset udsnit af danske fjorde og kystnære områder og vækstbetingelser for muslinger er betydeligt højere oppe i vandsøjlen sammenlignet med på bunden. På den baggrund vil et meget forsigtigt bud på biologisk produktionspotentiale for opdræt i alle kystnære farvandsdistrikter med tilstrækkelig saltindhold og vanddybde (Petersen et al 2013) være 300.000 tons blåmuslinger årligt.

## 2.2 Anvendelse og forarbejdning

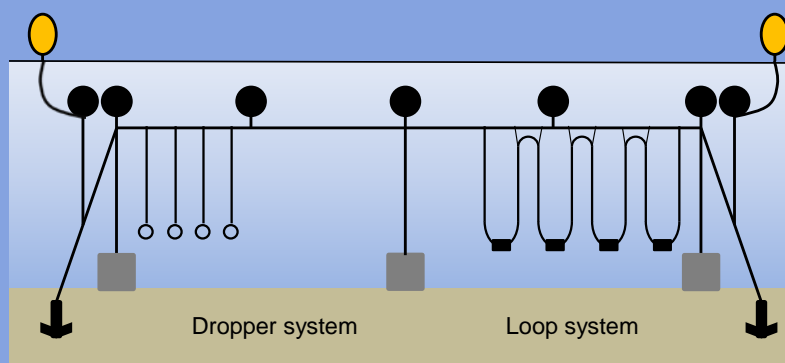
### 2.2.1 Konsum

Som udgangspunkt kan opdrættede muslinger med fordel anvendes så højt oppe i fødekæden som muligt. Dels principielt for at reducere respirationstab i fødekæderne, dels fordi muslinger er en sund fødevarer med et højt proteinindhold, en gunstig fedtsyresammensætning og højt indhold af essentielle grundstoffer som fx selen, men også fordi opdrætterne ved afsætning til human konsum kan få de højeste priser for muslingerne. Markedet for muslinger til konsum i Europa er på 200-300.000 tons årligt (Frost et al 2015). Den største del af markedet dækkes af opdrættede muslinger og der er generelt markant forskel i pris på fiskede og opdrættede mus-

linger i primær leddet. Mens fiskede muslinger afregnes til 1-3 kr. kg<sup>-1</sup>, var prisen på opdrættede muslinger i 2014-15 på 8-12 kr. kg<sup>-1</sup>, som følge af generelt bedre kvalitet af produktet. Der har været betydelige svingninger i priserne over årene, men der er ikke udført et mere detaljeret markedsstudie, der belyser årsagerne hertil (Frost et al 2015).

### Dyrkning af linemuslinger til konsum

Blåmuslinger dyrkes på langlinesystemer på opdrætsanlæg på ca. 250 x 700 m (ca. 18 ha) med 90 langliner. Langlinerne er 200 m lange og spændes ud mellem to ankere. Langlinerne holdes oppe i vandsøjlen og kan justeres i højden via opdriftsbøjler og blokankre. Fra hovedlinen hænges dyrkningsliner enten i kontinuert loop eller som separate droppers. Længden af droppers og loops afhænger af vanddybden i dyrkningsområdet, typisk fra 3-6 m.



Koncepttegning af langlinesystemet med dropper-systemet til venstre og loop-systemet til højre.

Produktionscyklus følger den naturlige cyklus i muslingernes liv, da muslingeopdræt er baseret på naturens principper. I foråret gyder de vilde muslingebestande i området og i maj-juni sætter muslingelarver sig på det udhængte materiale. I løbet af sæsonen vokser muslingerne, hvilket tynger langlinerne ned, hvorfor opdrætterne tilføjer nye bøjer for at holde muslingerne fri fra bunden. I aug-sep. høstes muslingerne og bringes på land, hvor de størrelsessorteres og puttes i lange tynde net kaldet strømper, hvorefter de hænges ud på anlægget igen. Omstrømningen gennemføres for at sikre et ensartet produkt. Frem til høst i maj det følgende år sørger opdrætteren for passende opbøjning, så muslingerne fortsat holdes fri af bunden. På et optimeret anlæg kan der årligt produceres op til 600 t konsummuslinger.

### Dyrkning af muslinger som virkemiddel

Dyrkes muslingerne med det formål at fjerne udledte næringsstoffer fra vandmiljøet kaldes de kompensationsopdrættede muslinger. De grundlæggende principper i denne produktionsform er de samme som for linemuslinger til konsum. Dog springes strømningen over, da dette er en fordyrende proces, som desuden kan medføre tab af biomasse. Kompensationsmuslinger kan høstes fra okt.-nov. samme år. På et optimeret kompensationsanlæg kan der høstes 1.000-1.500 t muslinger årligt.

For yderligere information se DSC's formidlingshjemmeside (<http://e-learning.skaldyrcenter.dk>).

Mere end 95% af den danske produktion af opdrættede muslinger anvendes til fersk konsum og den største del sendes i bulk ud af landet, fortrinsvis til Holland, som fungerer som central for den nordeuropæiske muslingeproduktion. Den store eksport er styret af et svagt hjemmemarked for muslinger, traditionelle tætte forbindelse mellem den danske forarbejdningsindustri og Holland samt Hollands generelle styrkeposition på området. Dertil kommer, at den danske produktion er forholdsvis ny, har været lille og høsten koncentreret i en kort periode fra juni-august.

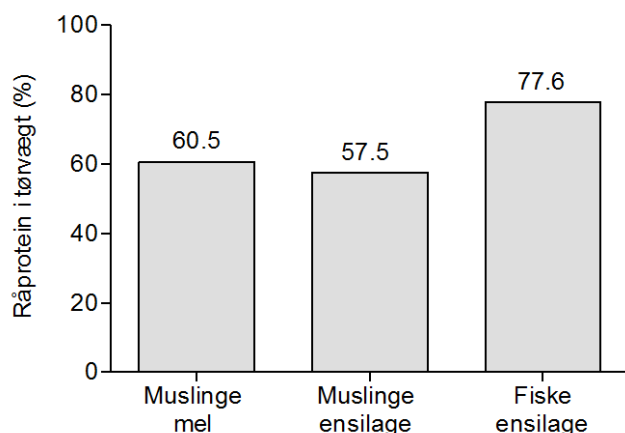
Produkterne på markedet for opdrættede muslinger til konsum er primært ferske muslinger pakket i fx sække, vakuumpak eller net. Derudover er der udviklet en række "convenience-produkter", fx forkogte muslinger i skal med eller uden sovse eller tilsatte grøntsager (Petersen et al 2014a). Produktionskapaciteten i de eksisterende tilladelser er betydeligt større, end der er realiseret og ligger forsigtigt skønnet på 8-10.000 tons årligt. En målsætning for opdræt til konsum kan på kort sigt være en produktion på 5.000 tons årligt indenfor de næste 2-3 år svarende til en omsætning i primærledet på omkring 40 mio. kr. Denne målsætning er betydeligt lavere end en tidligere fastsat målsætning på 20.000 tons opdrættede muslinger årligt (Den danske skaldyrbranche 2008). Ved forarbejdning regner landets største forarbejdningsvirksomhed, Vilsund Blue a/s, med en merværdi pr. kg muslinger på 100% for fersk salg og 125% for salg til vakuumpak. I dag forarbejdes kun 5% af de opdrættede muslinger og målet er, at min. 25% af produktionen forarbejdes af danske virksomheder. Et salg på 1 kg opdrættede muslinger dansker<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> på hjemmemarkedet vil svare til en omsætning i detailledet på 200-250 mio. kr. Der er således et betydeligt potentiale ved at opdyrke et hjemmemarked og få muslingers andel af kosten til at matche gennemsnittet i Europa.

Hvis muslinger opdrættes som virkemiddel til fjernelse af næringsalte kan kun en begrænset del af høsten anvendes til konsum og da næsten udelukkende efter kogning med henblik på salg som fx løsfrosne muslinger til en betydeligt lavere pris end for muslinger til fersk konsum, typisk 10-20% af værdien af muslinger til fersk konsum (Petersen & Mattesen 2011). Årsagen til den begrænsede anvendelsesmulighed af kompensationsopdrættede muslinger til konsum er, at den manglende omstrømpning (se opdrætsboks) resulterer i for store tætheder af muslinger med for uensartet størrelse på linerne. Dertil kommer, at i afhængighed af høsttidspunkt kan en stor del af de kompensationsopdrættede muslinger slet ikke anvendes til konsum, da kødklumpen er for lille. Den kan derimod anvendes som foder til dyr i form af fx mel eller ensilage.

### 2.2.2 Anden anvendelse

Muslinger behøver ikke kun være et nicheprodukt på fødevaremarkedet, men kan forarbejdes til mel og ensilage og anvendes som dyrefoder. Forsøg med muslinger fra danske opdræt har vist, at lagerstabile produkter som mel eller ensilage af muslingekød har et tørstofindhold på henholdsvis 95 og 30% (på tørstofbasis er der ikke forskel). Melet har et indhold af råprotein på 60,5% og ensilagen på 57,5% baseret på tørvægten (Figur 2.2). Der blev endvidere analyseret for 17 af de 20 mest essentielle aminosyrer, og summen var for alle 84-86% af råproteinet, hvilket indikerer en høj andel ren protein. Når der fokuseres på de 10 essentielle aminosyrer sammenholdt med indholdet af råprotein opnås et forholdsmæssigt indhold på 0,43-0,44 for muslingerne (Petersen et al 2015a, Nørgaard et al 2015). Både mel og ensilage ligger således, hvad angår råprotein og aminosyresammensætning, meget tæt på fiskemel, som betragtes som "golden standard" for animalsk proteintilskud til fjerkræ og svin. Forsøg med fordøjelighed af mel og ensilage hos grise viste endvidere, at både mel og ensilage var velegnede som foder og havde en høj fordøjelighed, endda højere end for det tilsvarende fiskeprodukt. For fjerkræ viste forsøgene, at der for parametre som æglægningsfrekvens og ægkvalitet ikke var forskel på høns fodret med fiskemel eller muslingemel på nær for blomfefarven, hvor muslingernes høje indhold af karotenoider påvirkede blomfefarven (Petersen et al 2015a). Resultaterne af disse forsøg stemmer overens med resultater fra udlandet (fx Jönsson & Elwinger 2009). Med muslingemelets sammensætning kan det også være et attraktivt alternativ til soja og fiskemel i fiskefoder (Anagnostidis et al 2015). Pilotforsøg har vist, at vækst hos regnbueørred fodret muslingemel er sammenlignelige med væksten, når der fodres med fiskemel (Larsen et al.

2013). Endelig viste forsøgene, at muslingemelet havde et højt fedtindhold på op til 15% afhængigt af årstiden, hvilket vil gøre det muligt at udvinde olien på rette tidspunkt, som et højværdiprodukt på linje med fiskeolie.



**Figur 2.2.** Indholdet af råprotein (%) i muslingemel, muslingeensilage og fiskeensilage baseret på tørvægten (Data fra Nørgaard et al. 2015).

Mel og ensilage af muslinger kan forventes at blive et attraktivt produkt på markedet for økologisk husdyrfoder, fordi muslingeprodukter modsat fiskeprodukter kan klassificeres som økologiske og fordi det vedtagne forbud mod ikke-økologiske ingredienser i økologisk husdyrfoder forventes at træde i kraft 2018. Efterspørgslen efter økologisk produceret proteinfoder vil overstige udbuddet i de nordeuropæiske lande – selvforsyningsgraden er beregnet til at ligge på 56-70% i Europa (CORE organic II, 2014). Da markedet for økologisk producerede husdyr således pt. er begrænset af adgang til økologisk foder og i særlig grad økologiske proteinkilder, kan det antages, at selv på hjemmemarkedet vil der være potentiale for en stor afsætning af økologisk muslingemel, konservativt skønnet til at vokse til i størrelsesordenen 15.000 tons mel om året, svarende til en primær produktion af muslinger på ca. 100.000 tons muslinger med et estimeret dyrkningsareal på 1800-2000 ha. Dertil kommer et stort eksportpotentiale, da der er stigende fokus på bæredygtigt producerede fødevarer i hele Europa. Hvis man antager, at foderværdien er 90-95% af "golden standard" og at prisen pr. proteinækvivalent økologisk muslingemel eller -ensilage kan være 10-15% højere end for konventionelt fiskemel eller -ensilage kan prisen på muslingemel ligge på 11-12 kr. kg<sup>-1</sup> svarende til en omsætning på op til 180 mio. kr. Det er dog ikke muligt at forudsige, hvad der præcist sker på markedet for økologiske proteinkilder som følge af forbuddet mod tilsætning af ikke-økologiske ingredienser.

Et volumen på 15.000 tons mel eller tilsvarende mængde ensilage er for et produkt uden skaller, altså udelukkende bestående af forarbejdning af kødet. Der skal således foregå en adskillelse af kød og skal som en del af forarbejdningen. I de ovenfor beskrevne forsøg er der anvendt en klassisk metode til separering af skaller fra kød ved korttids kogning under tryk. Den resulterende pris for muslingemel blev estimeret til 14-18 kr. kg<sup>-1</sup>, hvoraf produktionsomkostningerne til fremstilling muslingerne udgjorde 75-80% af omkostningerne (Petersen et al 2015a).

Ved produktion af muslinger til mel eller ensilage vil der blive et restprodukt bestående af skaller. For skaller, rensed for kød, findes der mange forskellige anvendelser, som fx til dræn, bio-

filtre, underlag til stier og ride-anlæg samt som eksport. Der er etableret afsætningskanaler for skaller, som også kan aftage en meget stor produktion af skaller (pers. komm. Søren Mattesen, Vilsund Blue a/s). Afsætningen af skaller kan ikke forventes at bidrage med en betydelig nettoindtægt, men kan dække omkostningerne ved håndtering af skallerne.

### 2.3 Virkemiddeleffekter af muslingeopdræt

Opdræt af muslinger foregår i dag med det formål at producere fødevarer på kommercielle vilkår. Det er imidlertid også muligt at opdrætte alene med det formål at være virkemiddel. Der er i meget eutrofe danske fjordområder, som Skive Fjord, dokumenteret et fjernelsespotentiale for kvælstof (N) på 10-16 tons N opdrætsanlæg<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> svarende til 0,6-0,9 t N ha<sup>-1</sup> anlæg år<sup>-1</sup> for et standard opdrætsanlæg brugt med det formål at fungere som virkemiddel (Petersen et al 2013, Petersen et al 2014b). Den realiserede N-fjernelse vil især afhænge af høsttidspunkt, høststudbytte og kvælstofindholdet i muslingekødet på høsttidspunktet. I mindre eutrofe områder, som de ydre dele af Horsens Fjord, blev der under optimale forhold dokumenteret en arealspecifik N-fjernelse svarende til 1,2-1,8 t N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> (KOMBI 2015). Dette resultat blev opnået på en mindre produktion svarende til 5-10% af den forventede maksimale kapacitet. Efterfølgende kunne der ikke opnås samme effektivitet primært som følge af tab af muslinger i forbindelse med forskellige driftsforstyrrelser. Den reducerede arealeffektivitet som følge af driftsforstyrrelser er ikke angivet (KOMBI 2015), men selv ved en halvering af effektiviteten vil den være sammenlignelig med resultater opnået i Skive Fjord. Dokumenterede resultater fra Skive Fjord vedrørende fosfor (P) viser, at muslingeopdræt kan fjerne 0,03-0,05 t P ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> (Petersen et al 2014b). I Horsens Fjord blev der fundet optimal P-fjernelse på 0,09-0,13 t P ha<sup>-1</sup> anlæg år<sup>-1</sup> (KOMBI 2015). I kommercielt opdræt beregnet til fødevarer vil arealeffektiviteten og dermed virkemiddelpotentialet være mindre, da der lægges større vægt på produktets kvalitet og ikke kun mængde.

Det specifikke potentiale for fjernelse af næringsalte ved brug af muslingeopdræt vil afhænge af fødekonzentration, strømhastigheder (hastighed af fødetilførslen), prædation, fysisk forstyrrelse, klimatiske hændelser og antallet af anlæg i et givet område. I mange danske eutrofe vandområder, der kan karakteriseres som egnede for muslingeopdræt, vil fødekonzentrationen ikke være begrænsende for muslingernes vækst, hvorimod anlægsdesign, placering (strømforhold), drift samt høsttidspunkt er vigtige i forhold til at optimere produktionen og sikre en høj arealspecifik næringsaltfjernelse. I kystnære områder, der kan karakteriseres som måske egnede til muslingeopdræt forventes en reduceret arealspecifik N-effekt pga. lavere høststudbytte forårsaget af fx lavere fødetilgængelighed eller højere prædation. Det skal bemærkes, at de ydre dele af Horsens Fjord ikke er eutrofieret i samme grad som Skive Fjord og at det her alligevel var muligt at opnå høje arealspecifikke biomasser af muslinger. Prædation fra fx edderfugle vil i en række områder kunne forårsage tab af muslinger og dermed reducere N-fjernelsen. Ligesom beskyttelse af anlæggene mod prædation vil medføre forøgede omkostninger.

I de åbne havområder vurderes det, at muslingernes væksthastighed er for lav og omkostningerne til drift og høst for store til, at muslingeopdræt vil være et omkostningseffektivt virkemiddel (Timmermann et al 2016).

Foruden den direkte effekt af fjernelse og immobilisering af næringsalte i det marine miljø har opdræt af muslinger en række andre effekter af betydning for opnåelse af god miljøtilstand i de



kystnære områder i relation til opfyldelse af målsætningerne jf. Vandrammedirektivet. Disse økosystem tjenesteydelser er primært knyttet til muslingernes filtrering af vandet. Når muslingerne i deres fødesøgning filtrerer vandet for partikler, vil det resultere i en forbedring af sigtdybden og reducere koncentrationen af fytoplankton i et område omkring anlægget. Koncentrationen af fytoplankton (målt som klorofyl) er en indikator for mål opfyldelse, jf. Vandrammedirektivet, og vandets sigtdybde har betydning for en anden indikator, ålegræssets dybdeudbredelse. Effekten er naturligt størst lige omkring opdrætsanlægget, men flere undersøgelser har vist effekter langt udenfor anlæggene (Petersen et al 2013, Schröder et al 2014, Petersen et al 2015b). I Skive Fjord viste modelscenarier, at 10 standard anlæg (svarende til ca. 187 ha) vil kunne reducere sommer klorofylkoncentrationen og forbedre sigtdybden med henholdsvis 16% og 8% i gennemsnit på bassinskala (Timmermann et al 2016). Den konkrete effekt i et givet område vil afhænge af flere forskellige faktorer som antallet af anlæg, koncentrationen af fytoplankton, vandudskiftning og naturlige variationer i muslingernes filtration som funktion af deres størrelse og vandets temperatur.

## 2.4 Drift og samfundsøkonomiske potentialer

### 2.4.1 Driftsøkonomiske potentialer og muligheder

De driftsøkonomiske omkostninger ved opdræt som virkemiddel er blevet beregnet til 1,0-1,23 kr. kg<sup>-1</sup>. Omkostningerne kan reduceres ved optimering af produktionen fx ved at producere en større mængde muslinger per anlæg, ved at udvikle bedre opdriftssystemer, som kan reducere omkostningerne ved opbøjning mv. Frost et al (2015) har beregnet scenarier for rentabelt opdræt af muslinger til human konsum på baggrund af de samme basale data fra modelbruget i Skive Fjord, med inkluderende omkostninger til strømning (se fakta boks) og fandt, at der kan opnås ligevægt mellem indtægter og udgifter allerede ved en produktion på 240 tons konsummuslinger år<sup>-1</sup>. De finder endvidere, at der kan produceres til en omkostning på ca. 0,35 kr. kg<sup>-1</sup> muslinger, hvor der er optimeret på arbejdsindsatsen samt indregnet tilskud til båd. Rentabiliteten i produktionen er beregnet under en forudsætning af en salgspris på omkring 10 kr. kg<sup>-1</sup> for muslinger til konsum, men altså ved et lavt produktionsvolumen.

For muslinger til foder vil der kunne opnås en større produktion pr. anlæg, hvilket potentielt kan reducere prisen pr. produceret enhed. Som beskrevet ovenfor (se afsnit 2.2.2) indikerer de første dokumenterede forsøg, at de samlede produktionsomkostninger skal reduceres med 15-50% for, at muslingemel er konkurrencedygtigt med fiskemel. Det er endnu uklart, hvor stor en ekstrapris, det økologiske produkt kan opnå, men en indikation er, at primo 2016 er prisen på færdigfoder til slagtesvin ca. 3,26 kr. kg<sup>-1</sup>, mens den tilsvarende pris for færdigfoder til konventionelle grise er 1,75 kr. kg<sup>-1</sup> (FartalOnline). Tages der udgangspunkt i forudsætningerne anvendt af Frost et al (2015), vil det være muligt at mindske omkostningerne til opdrættet, men det vil være nødvendigt ligeledes at optimere omkostningerne i forarbejdningen.

Muslingeopdrættere honoreres i dag ikke for de miljøgevinster, som produktionen medfører. Hvis muslingeproducenterne honoreres for værdien af optagelse og fjernelsen af N (se afsnit 2.4.2), vil der kunne opnås en lavere afsætningspris til forarbejdningsleddet og yderligere sikkerhed for at opnå et mere stabilt positivt afkast for producenterne. Denne honorering kan svare til den samfundsøkonomiske gevinst af miljøeffekterne. En honorering af muslingeproduktionen som følge af de økosystem tjenester, den medfører, vil være en metode til at stabilisere marke-

det og igangsætte en produktion til foder. Det er her ikke undersøgt hvorvidt en model, der involverer offentlig indblanding i afregningen, vil stride imod konkurrencereglerne i EU's indre marked, men princippet er det samme som for de miljøvenlige jordbrugsforanstaltninger, hvor landmænd modtager tilskud for miljøvenlig drift .

## 2.4.2 Samfundsøkonomiske værdier

Den samfundsøkonomiske værdi af det fjernede kvælstof kan værdisættes ud fra skyggeprisberegninger, hvor de beregnede marginalomkostninger ved at opnå indsatsbehovene i Vandrammedirektivet og klimapolitikken kvantificeres. Denne skyggepris ganges derefter med den estimerede effekt i form af fjernet N-ækvivalenter. For N kan man anvende beregnede marginalomkostninger (Det Økonomiske Råd 2015, Hasler et al. 2015) for Limfjorden på 91 kr. kg<sup>-1</sup> N. Opdaterede landsdækkende beregninger af marginalomkostningerne er endnu ikke udført og tidligere skyggepriser ikke længere er gældende., men der kan regnes med et øvre skøn på 183 kr. kg<sup>-1</sup> N under forudsætning af en gennemsnitlig omkostning på 53 kr kg<sup>-1</sup> N ved rodzonen og en gennemsnitlig tilageholdelse af N i alle oplande på 71% (Hasler et al 2015). Med en konservativt estimeret effekt på 10 kg N ton<sup>-1</sup> muslinger er værdien af miljøeffekten 910 kr. ton<sup>-1</sup> muslinger eller ca. 820.000 kr. årligt for et anlæg der producerer 900 tons. I Skive Fjord blev der til sammenligning målt fjernelse på op til 16 kg N ton<sup>-1</sup> muslinger svarende til en værdi på 1,46 mio. kr. ved en produktion på 900 tons, hvilket der konservativt estimeret kan produceres i et anlæg til kompensationsopdræt (Petersen et al 2014b). Der kan ikke beregnes en værdi for både N og P med denne tilgang, da det forudsættes, at N-reduktionen i sig selv vil medføre, at målsætningen om god vandkvalitet nås, og der er således ikke en selvstændig målsætning for P.

En målsætning om 5.000 tons produktion af muslinger til konsum vil medføre samfundsøkonomiske værdier som følge af N-ækvivalenter på 4,5-14,6 mio. kr. årligt. En forventet produktion af 15.000 tons muslingemel som foder til svin og fjerkræ (svarende til en muslingeproduktion på 100.000 t muslinger) vil medføre tilsvarende samfundsøkonomiske værdier på 99-309 mio. kr. årligt samlet for N (se tabel 2.1). Værdien af ændringer i lattergas er ikke medregnet.

Økosystem tjenester af muslingeopdræt og i særlig grad fjernelse af N og P kan udnyttes i forbindelse med havbrug som kompensation for næringssalte tabt ved fiskeproduktionen. Fiskeproducenterne betaler for økosystem tjenesten fra muslingeopdrættet, men som herved ikke vil medføre en øget vandkvalitet og derfor ikke har en værdi for samfundet ud over produktionen af fisk.

**Tabel 2.1.** Beregning af den samfundsmæssige værdi af økosystem tjenester ved opdræt af muslinger for forskellige produktionsscenerier.

Volumen	N	Værdi N (kkr.)	
		Lav	Høj
1 t	10-16 kg	0,91-1,456	1,83-2,928
5.000 t	50-80 t	4.550-7.280	9.150-14.640
100.000 t	1.000-1.600 t	91.000-145.600	183.000-292.800

### 2.4.3 Potentielle beskæftigelseseffekter

Effekten af muslingeopdræt på beskæftigelsen vil afhænge af, om muslingeproduktionen til foder eller konsum erstatter et andet danskproduceret produkt eller om det erstatter importeret foder (fx soja) eller om produktionen af muslinger til foder medfører at der kan ske en forøgelse af den totale produktion af svin, kyllinger og æg. I det første tilfælde – erstatning af andet danskproduceret foder, fx fiskemel, vil der ikke ske en vækst i beskæftigelsen. I de to andre tilfælde vil der ske en vækst. Beskæftigelse i primærleddet kan for dagens produktion anslås til at være 5 fuldtidsbeskæftigede for 1.000 tons muslinger til konsum (pers. komm. Alex Mikkelsen, Seafood Limfjord) dog således, at lavere produktionsvoluminer vil have en relativt højere grad af fuldtidsbeskæftigelse. Dertil kommer følgeindustri og ansatte i forarbejdningsindustrien. For opdræt til produktion af muslingemel eller -ensilage kan det med den nuværende teknologi anslås, at beskæftigelsen i primærleddet vil være i størrelsesordenen ca. 2 fuldtidsbeskæftigede pr. 1.000 tons muslinger. Dertil kommer beskæftigelse i følgeindustri og forarbejdning, hvoraf sidstnævnte forventes at kunne generere en større beskæftigelse. Der er hverken nationalt eller internationalt erfaringer med opdræt af muslinger til anden brug end human konsum, så forventningerne til beskæftigelse er behæftet med en betydelig usikkerhed og baserer sig på erfaringer fra Limfjorden og Horsens Fjord.

## 2.5 Kulturbanker

Opdræt i bundkulturer eller kulturbanker dækker over muslingeproduktion på havbunden, hvor muslingebanker er etableret af muslingefiskerne selv, typisk ved at flytte muslinger gennem fiskeri fra et område med dårlige vækstforhold eller høj dødelighed – fx hyppig forekomst af lave iltkoncentrationer eller stor fødekongurrence - til områder med gode vækstforhold, for efterfølgende at fiske muslingerne igen, når de har nået ret størrelse eller kvalitet. Udvikling af kulturbanker er en integreret del af regeringens muslingepolitik, hvor der er fokus på udvikling af arealintensive dyrkningsmetoder. Kulturbanker er den dominerende opdrætsform i Nordeuropa, fx i Holland, Tyskland og UK, men har i Danmark oprindeligt kun været brugt i forbindelse med tvungen *genudlægning* af undermålsmuslinger fra fiskeriet. Genudlægningen har givet mulighed for en højere andel undermålsmuslinger i fangsten, fordi de genudlagte muslinger forventeligt kan blive genfisket, når de når måls størrelse ( $\geq 45$  mm). I nyere tid er kulturbanker i Danmark dog som oftest *omplantning* af muslinger fra områder med dårlige livsbetingelser til områder med gode vækstforhold, hvor de bliver udlagt i optimale tætheder. I Limfjorden bliver der fx flyttet muslinger fra områder med hyppig forekomst af iltsvind til områder, der aldrig rammes af iltsvind. Omplantninger foregår også fra områder med meget store tætheder af muslinger til områder uden muslinger. Både genudlægning og omplantning praktiseres i Limfjorden og varetages og administreres af muslingeerhvervet selv. Derudover kan muslinge yngel (25-30 mm) opsamlet på liner anvendes som udplantningsmateriale til kulturbanker, hvilket er under udvikling i Holland, men endnu ikke praktiseret i danske farvande. Kulturbanker kan også anvendes som virkemiddel til fjernelse af næringsstoffer (Timmermann et al 2016), da de bedre livsbetingelser for de omplantede muslinger vil stimulere vækst, specielt af bløddelene og dermed øges bindingen af næringsalte i muslingerne. Ved den efterfølgende høst af muslingerne vil der dermed ske en nettofjernelse af næringsalte. Det vil dog fordr yderligere dokumentation, før kulturbanker kan blive et marint virkemiddel på lige fod med opdræt af muslinger og tang (Timmermann et al 2016).

## 2.6 Barrierer for produktion og anvendelse

For opdræt til human konsum er der i praksis ingen væsentlige reguleringsmæssige eller teknologiske barrierer for produktionen. De høje næringssaltkoncentrationer og de gode hygiejniske forhold i danske kystnære farvande medfører, at der biologisk heller ikke er nogen begrænsninger for udvikling af opdræt. Opdræt af muslinger er dog stadig et forholdsvis nyt erhverv i Danmark og der vil være store potentialer for teknologi-tilpasning til danske forhold, omkostningsoptimering og mekanisering af arbejdsgangene, som kan øge lønsomheden og nedsætte arbejdsmiljøbelastningen. For en fortsat udvikling af erhvervet og sikring af konkurrenceevnen er det nødvendigt at styrke F&U-indsatsen på disse områder, men de er aktuelt ikke den primære barriere for erhvervets volumenmæssige udvikling. Den betydelige ledige kapacitet i de allerede bevilgede opdrætstilladelser betyder ligeledes, at dette heller ikke er en barriere for erhvervet. Den primære barriere er af økonomisk karakter. Finansielt er det således en begrænsning, at opdrættet er forbundet med store anlægsinvesteringer og begrænsede indtægter de første par år som følge af, at der går min. 1 år til første høst (Frost et al 2015). Dermed bliver det svært at få finansiering til start af opdrætsanlæg gennem traditionelle finansieringskilder som banker.

En anden væsentlig udfordring ligger i afsætningen. Så længe markedet primært består af salg i bulk til hollandske aftagere, er den enkelte opdrætter afhængig af både gode forbindelser og udviklingen på det europæiske marked, som har vist sig svingende (Frost et al 2015). I praksis har det vist sig, at de tilbageværende fuldtidsbeskæftigede opdrættere er knyttet til landets forarbejdnings- og afsætningsvirksomheder og derved er sikret stabile afsætningsmuligheder. En betydelig udvidelse af produktionen vil sandsynligvis fordr udvikling af nye markeder, fx et hjemmemarked eller markeder i regionen som det nordlige Tyskland, Skandinavien og Østeuropa, da vinduet for danske opdrættede muslinger på den hollandske marked er begrænset. Udvikling af nye markeder vil med stor sandsynlighed kræve, at der kan leveres muslinger af konsumstørrelse i min. 6-8 måneder årligt mod de 2-4 måneder, hvor der reelt høstes i dag. En del af denne udvikling kan foregå som produktudvikling indenfor convenience-området.

For opdræt af muslinger til anden anvendelse, fx som foderingrediens, er der til gengæld en række strukturelle barrierer. Teknologisk og biologisk skal der udvikles omkostningseffektive stor-skala produktionsformer i primærleddet og tilsvarende effektive forarbejdningsmetoder. Produktionsteknologien i fiskemelsproduktionen kan ikke umiddelbart anvendes, fordi den dels er skaleret til helt andre volumener end muslingeopdræt kan levere og dels ikke er i stand til at håndtere adskillelse af kød og skal. Reguleringsmæssigt skal der gøres plads til en betydelig produktion af muslinger før forarbejdning af muslinger til foderproduktion kan blive interessant, da meget små mængder ikke kan forventes at slå igennem på et marked med et stort og voksende behov. Endelig skal muslinger som fodermiddel dokumenteres, så en forventet merpris kan accepteres af markedet for økologiske fodermidler. I den forbindelse vil det have betydning, om eller i hvilket omfang muslingeopdræt vil blive brugt som virkemiddel (se afsnit 4) i 3. vandplanperiode. Der er derfor behov for undersøgelser af barriererne for anvendelse af opdræt af muslinger som marint virkemiddel.

## 3. Tang - status, potentialer og barrierer

Den årlige globale produktion af tang vurderes at være på 25 millioner tons vådvægt, hvoraf størstedelen (95,5%) stammer fra akvakultur, mens resten baseres på høst fra vilde bestande (FAO 2014a). Globalt set ligger den gennemsnitlige værdi af tang på 1,8 kr. kg<sup>-1</sup> (vådvægt), mens den i Europa er 5,8 kr. kg<sup>-1</sup> (FAO 2014b). Der opleves en gennemsnitlige årlig vækst for tangdyrkning i akvakulturer på 8,6% (baseret på tal fra 2004 til 2012), omend størstedelen af produktionen (96%) foregår i Østen, mens det europæiske bidrag er mindre end 0,5%.

Flere tangarter vil med fordel kunne dyrkes i danske farvande. Dels vil næringskrævende arter kunne trives i mange kystnære områder, hvor der er rig afstrømning af næringssalte fra land, og dels vil mere robuste og lyskrævende arter kunne dyrkes i mere åbne farvandsområder med større fysisk påvirkning samt lavere næringsniveauer, lavere koncentrationer af fytoplankton og derved bedre lysforhold.

### 3.1 Produktion af tang i Danmark

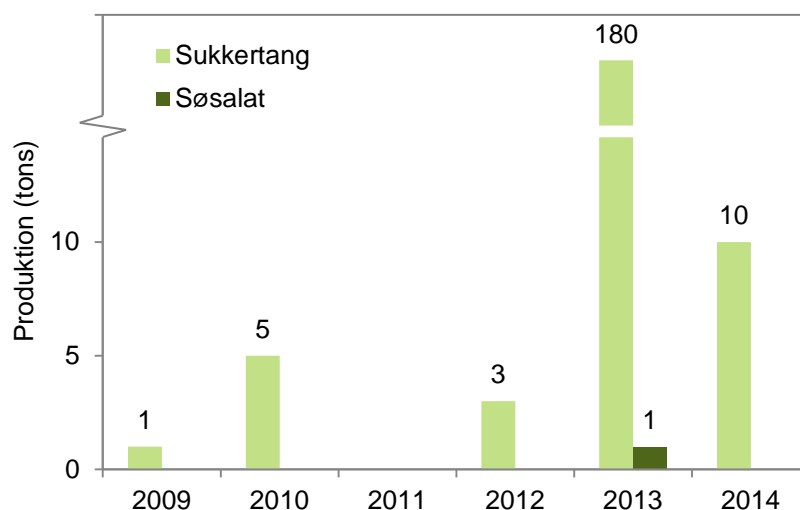
I Danmark er tangdyrkning på kommercielt niveau stadig i sin vorden og fokus ligger på relativt få arter: sukkertang, søl og i mindre grad søsalat og blæretang. Af disse er sukkertang den eneste art, der dyrkes og det er ligeledes for denne art, at den største viden og erfaring omkring dyrkningsteknologi og dyrkningsoptimering findes. Dette notat vil af samme årsag primært beskæftige sig med dyrkning af sukkertang.

Der findes kun få etablerede tangdyrkningsanlæg i Danmark, dels til forsknings- og udviklingsprojekter og dels af kommerciel karakter. Kystdirektoratet har i perioden 2011-2015 givet tilladelse til i alt 7 tangananlæg. Der er ikke udstedt nye tilladelser siden august 2015. Der er tale om anlæg, der primært fokuserer på dyrkning af sukkertang, omend der på enkelte af anlæggene udføres forsøg med øvrige arter, såsom søl og blæretang.

Det vurderes, at de største og reelt eneste kommercielle spillere i Danmark pt. er Hjarnø Havbrug A/S og Seaweed Societé ApS. Seaweed Societé ApS ejer 3 af de i alt 7 registrerede anlæg på hver 10-30 hektar ved Kysing, Saksild og Fløjlstrop Strand. Endvidere arbejder Seaweed Societé ApS på en konvertering af Dyngby muslinganlæg til tangananlæg. Hjarnø Havbrug A/S ejer med deres anlæg på 1 km<sup>2</sup> ved Hjarnø Hage det største anlæg i Danmark og det er indtrykket, at de er de eneste, der driver tangproduktion i større skala i øjeblikket. De resterende 3 anlæg er forskningsanlæg eller mindre privatejede anlæg. Foruden de 7 registrerede anlæg behandler kystdirektoratet i skrivende stund en række ansøgninger om etablering af tangproduktionsanlæg i forbindelse med havhaver, men disse er alene til rekreative formål og vil ikke blive yderligere inddraget.

Ifølge NaturErhvervstyrelsens akvakulturregister er der registreret produktion fra ét anlæg beliggende i region Midtjylland. Der er i årene 2009, 2010, 2012 og 2014 indberettet en produktion af sukkertang på henholdsvis 1, 5, 3 og 10 tons vådvægt (Figur 3.1). Desuden er der i 2013 indberettet en produktion på 180 tons – en produktion, der med kendskab til de danske udbyttetal

samt de øvrige indberettede produktionstal dog må stilles spørgsmålstegn ved rigtigheden af. I 2013 er der yderligere indberettet en produktion på 1 ton søsalat. Den nærmere oprindelse af denne biomasse (høstet eller dyrket) har det dog ikke været muligt at bestemme.



**Figur 3.1.** Indberettet produktion af sukkertang og søsalat fra danske producenter i perioden 2009 til 2014. Datagrundlag: NaturErhvervstyrelsens akvakulturstatistik.

### 3.1.1 Produktionspotentialer

Der findes kun få dokumenterede stor-skala dyrkningsforsøg med sukkertang fra danske farvande – et i Færker Vig, Limfjorden og et i Horsens Fjord (Marinho et al 2015, Nielsen et al, in prep.). Produktionsudbyttet fra disse forsøg ligger begge på 1-1,5 kg vådvægt pr. meter dyrkningsline, svarende til 2-7 tons  $ha^{-1}$ . Sammenholdt med rapporterede udbyttetal fra Tyskland, Spanien og Skotland på 3-16 kg  $m^{-1}$  i lignende systemer - omend i mindre skala da der er tale om forskningsforsøg (Buck & Buchholz 2004, Peteiro et al 2006, Sanderson et al 2012, Peteiro & Freire 2013) - er dette forholdsvist lavt, men tangdyrkning må betragtes som værende i en indledende fase i Danmark.

Udnyttes de eksisterende anlæg i Danmark til fulde, hvilket i dag ikke vurderes at være tilfældet, vil et forsigtigt bud på det årlige produktionspotentiale ligge på mellem 300 og 1.100 tons vådvægt, svarende til et udbytte på 2-7 tons  $ha^{-1}$  og et samlet produktionsareal på 160 hektar. Globalt set oplever akvakultur-produktionen af tang i øjeblikket en vækst på godt 8%, men størstedelen af denne vækst kan tilskrives en kraftig udbygning af industrien i lande som Indonesien og Kina. I lande udenfor Asien skønnes væksten at være ca. 5% (FAO, 2014a). Tilskrives den danske akvakultur-produktion af tang en sådan vækstrate, vil man i 2025 kunne forvente en produktion på 443-1.625 tons vådvægt afhængig af hvilke nuværende udbyttetal, der fremskrives, svarende til et dyrkningsareal på 60-800 ha med den nuværende effektivitet. I denne beregning er der dog ikke taget højde for forbedring af de nuværende udbytte-tal, hvilket realistisk set bør kunne forventes som minimum at forøges med en faktor 5 indenfor den fremskrevne periode. Således er et langsigtet produktionspotentiale på 2.200-8.100 tons vådvægt i 2025 ikke urealistisk, hvis sektoren udvikles. Dette vil med forbedrede og mere arealeffektive metoder svare til et areal på 60-800 ha.

## 3.2 Anvendelse og forarbejdning

Størstedelen af den nuværende globale tangproduktion anvendes dels direkte til human konsum og dels indirekte, dvs. til udvinding af emulgatorer, stabilisatorer og fortykningsmidler til fødevarerindustrien. En mindre andel anvendes desuden til opdræt af abaloner og søpølser i Asien. Desuden er der de senere år opstået mange nye tendenser for anvendelse af tang til eksempelvis medicin, kosmetik, foder, energi, gødning, vandrensning, jordforbedring og som bioaktive ingredienser i foder- og fødevarer.

Med den endnu lave produktion i Danmark taget i betragtning vurderes det, at det vigtigste potentiale for afsætning af tangbiomasse i øjeblikket er til human konsum. Dels fordi tangens indhold af vigtige mineraler, mikronæringsstoffer, sunde fedtsyrer og andre bioaktive stoffer har skabt en øget interesse blandt producenter og forbrugere, og dels fordi det sikrer producenterne den højeste mulige pris for deres tang. Desuden skønnes det, at tangprodukter har potentiale for at tilføre lokale fødevarer og regionale madkulturer nye og interessante produkter, der både kan certificeres som økologiske og fremstilles på en bæredygtig måde.

Tang til konsum sælges typisk i tørret form til en pris varierende fra 70 til 200 kr.  $100 \text{ g}^{-1}$ . En enkelt producent – Endelave Seaweed – tilbyder ligeledes uforarbejdet frisk tang på frost til 100 kr.  $\text{kg}^{-1}$ . Desuden producerer Nordisk Tang by Endelave Seaweed økologiske delikatesser, såsom pesto, krydderier, salt, sennep, olie, akvavit, mel og snackvarer af nordisk tang til salg i udvalgte gourmet- og specialbutikker. Selvom markedet endnu er begrænset i Danmark er situationen i øjeblikket den, at fødevarer som eksempelvis Nordisk tang er nødsaget til at importere størstedelen af deres råvarer for at imødekomme efterspørgslen på deres produkter. Således kan det forventes, at en fortsat øget produktion af dansk tang i de kommende år vil kunne afsættes til konsum og derved sikre en høj salgspris for tang-producenten. I øjeblikket vurderes salgsprisen af tang til konsum for tang-producenten at være 30-50 kr.  $\text{kg}^{-1}$  (vådvægt).

Tang kan foruden som fødevarer, anvendes som foder eller foderingrediens. Nogle tangarter, såsom søl, kan indeholde protein i mængder på højde med soja, men for mange arter ligger niveauet noget lavere (Cerná 2011). Analyser af dyrket dansk sukkertang viser, at proteinindholdet blot er max. 13%, men med et højere indhold af isoleucin og svovlholdige aminosyrer som methionin og lysin i forhold til landplanter, hvilket gør tangprotein attraktivt i produktion af dyrefoder (Bruhn et al submitted, Hou et al 2015, Marinho et al 2015, Nielsen et al 2016). I øjeblikket er det dog især tangs sundhedsfremmende egenskaber, der gør det interessant i en foder-sammenhæng. Hos den danske foderproducent FermentationExperts har man således udviklet et foderprodukt med tang som bioaktiv ingrediens, der kan reducere antibiotikaforbruget i eksempelvis fjerkræ- og svineproduktion (personlig kommunikation, Jens Legardt). Kan en sådan probiotisk effekt dokumenteres, kan man forvente en 5-6 gange forøgelse af prisen i forhold til en optimal protein-ingrediens dvs. 50-60 kr.  $\text{kg}^{-1}$  (tørvægt), hvis der tages udgangspunkt i fiskemel.

Yderligere forskes der i at anvende tangbiomasse i et bioraffinaderi, hvor der både produceres dyrefoder, energi og højværdiprodukter således, at de forskellige biokemiske bestanddele i tangen udnyttes til forskellige formål. Der forelægger meget få tal for konkrete processtrengte i sådanne systemer, men i afsnit 3.2.1 gives en overordnet gennemgang af konceptet.

### Dyrkning af sukkertang

Traditionelt dyrkes sukkertang på langlinesystemer identiske med dem der anvendes til dyrkning af linemuslinger (se fakta boks om muslingeopdræt). Længden af droppers og loops afhænger af lysforhold i dyrkningsområdet, men varierer typisk fra 2-5 meters dybde.

Tangliner til udsætning på langline-systemerne produceres i klækkerier på land. Her udvindes encellede bevægelige sporer fra fertile moderplanter, der enten indsamles fra naturen eller fremdrives i laboratoriet. Sporerne påføres tanglinerne og udvikler sig i løbet af 6-10 uger til små tangplanter (2-5 mm), der typisk udsættes på langline-systemet i løbet af efteråret (september/oktober). Høsttidspunktet afhænger af anvendelsen af biomassen, men ønskes en ren biomasse fri for begroning, er den typiske rutine at høste i foråret (april/maj).



Illustration af processen i klækkeriet fra udvinding af sporer fra fertile moderplanter til udvikling af små nye tangplanter på liner i kar.

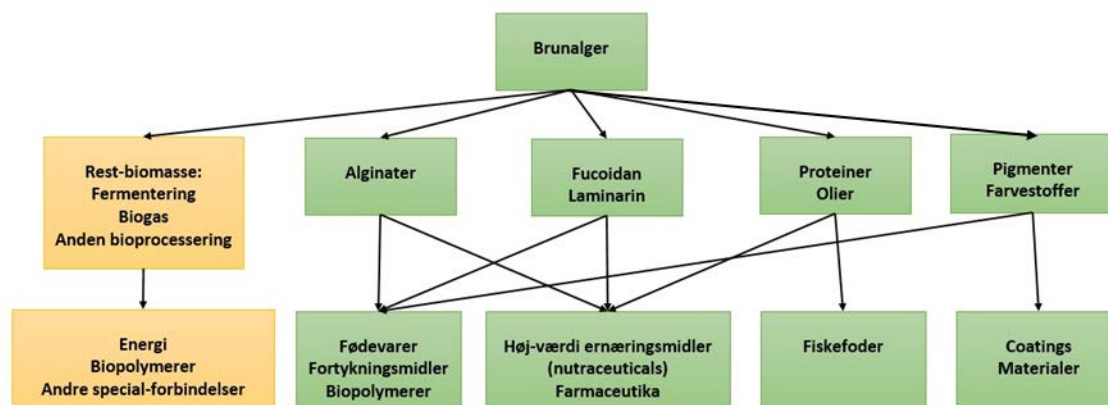
For yderligere information se DSC's formidlingshjemmeside (<http://e-learning.skaldyrcenter.dk>).

### 3.2.1 Bioraffinering af tang

Tang indeholder en lang række interessante stoffer og flere bioaktive komponenter end nogen landbaseret plante. Bioraffinering består i at ekstrahere og oprense så mange af disse værdifulde stoffer så effektivt som muligt, så maksimal værdi opnås under samtidig minimal energiforbrug og udledning af affaldsstoffer (Clark & Deswarte 2008). Udgangspunktet for bioraffinering er således kendskab til råvarens indholdsstoffer, samt produktions- og forarbejdningsprocesser. Herunder er den anvendte lagringsteknik (tørring, ensilering, frysning osv.) afgørende, og ligeledes spiller høsttidspunktet en rolle, da mange af indholdsstofferne i tang varierer betydeligt over året. Fx er indholdet af sukkerstoffer ofte dobbelt så højt om sommeren end om vinteren.

Et integreret bioraffinaderi – hvor mange proceslinjer samkøres - baseret på brunalger som sukkertang kunne eksempelvis raffinere alginat, laminarin, mannitol, fucoidan, protein, polyphenoliske antioxidanter samt pigmenter (Figur 3.2). De øvrige restsukre kunne herefter med fordel konverteres til kemikalier og energibærere herunder ethanol, mælkesyre og butanediol, som alle kan bruges som kemiske byggesten til fx bioplastik. Kommercielle enzymer anvendes til hel eller delvis hydrolyse af de forskellige sukkerpolymere i tang og mange indholdsstoffer kan ved optimering ekstraheres i vandige medier, men der vil være brug for udvikling og anvendelse af nye og mere effektive enzymer, hvis tangbiomassens komponenter skal ekstraheres optimalt.





**Figur 3.2.** Strategi-diagram for bioraffinering af brunalger (fx sukkertang) til merværdiprodukter.

Udfordringen ligger i selve oprensningsprocesserne til adskillelse af komponenterne inden deres videre forarbejdning til diverse slutprodukter. Antioxidanter, pigmenter og protein vil kunne ekstraheres før eller efter sukkerpolymere/hydrokolloider afhængig af mængden af tang og anvendte forudgående metoder.

Mange studier viser, at såvel polyphenolerne som de sulfaterede polysaccharider i tang har stor bioaktivitet. For brunalger kan her fremhæves særligt fucoidan og laminarin, som har såvel anti-inflammatoriske egenskaber og positiv indflydelse på immunforsvaret (Holdt & Kraan, 2011). Polyphenoler kan desuden anvendes til kosmetik, idet de antioxidative egenskaber kan beskytte imod sollys. De antioxidative egenskaber i laminarin, fucoidan og phlorotanniner kan endvidere anvendes i fødevarer, og disse tangprodukter kan indgå som funktionelle ingredienser og til bevarelse af holdbarheden.

I forhold til proteiner er det desuden vist, at man ved en indledende hydrolyse af kulhydrater til konvertering af ethanol kan forøge protein-fraktionen 2,7 gange (Hou et al 2015). I dette tilfælde er det ikke afgørende, hvilken indledende konvertering der foretages, men blot at kulhydraterne hydrolyseres. Således kan sukkertang, der i sig selv indeholder relativt lidt protein (op til 13%), være interessant som proteinkilde i foderproduktion, hvis der anvendes en bioraffinerings-tilgang til behandlingen af den rå biomasse.

### 3.3 Virkemiddeleffekter af tangopdræt

På nuværende tidspunkt er det kun dyrkning af sukkertang, der er relevant som potentielt virkemiddel, da det er den eneste art, der dyrkes i større mængder i danske farvande. Der er dog endnu ikke i Danmark gennemført produktion i en skala relevant for test af effektiviteten af tangopdræt som virkemiddel. Ved dyrkning af sukkertang i Danmark høstes der pt. i løbet af foråret (april/maj). Hvis tangen bliver i vandet efter juni, kan den i visse farvandsområder blive voldsomt begroet med fouling-organismer (Wegeberg 2010, Marinho et al 2015, Nielsen 2015), hvilket forringer tangens anvendelighed. Tangen kan i sådanne situationer alternativt anvendes til produktion af biogas og gødning (Seghetta et al subm. a). I værste fald tynger begroningen dog tangen på linerne i en sådan grad, at biomassen rykkes fri fra dyrkningssystemerne og går

tabt (Handå et al 2013, Marinho et al 2015, Nielsen 2015). Der er udført to forsøg på større arealer (>4 hektar) på dyrkningsanlæg i Danmark. I Horsens Fjord (2012-2013) er dokumenteret en N-effekt svarende til 3-39 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>, med størst effekt ved dyrkning i integreret havbrug med fiskeopdræt og ved høst af ét-årig tang inkl. begroning i september (Marinho et al 2015). P-effekten blev beregnet til 0,2 og 6,5 kg P ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> ved høst i henholdsvis maj eller august. I Færker Vig, Limfjorden (2012-2013) er dokumenteret en N-effekt på 15 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> og en P-effekt på 0,5 kg P ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> ved høst af tang uden begroning i maj (Nielsen 2015). I begge forsøg lå udbyttet i gennemsnit på 1-1,5 kg frisk tang m<sup>-1</sup> line.

Arealeffektiviteten af N- og P-fjernelse ved tangdyrkning afhænger af både høstudbyttet og biomassens N- og P-indhold, der varierer over året og som funktion af miljøfaktorer. Sukkertang trives bedst ved høj saltholdighed (27-32 PSU) og det er dokumenteret, at den askefrie biomasse øges med 30% fra områder med en saltholdighed på 20 PSU til områder med 30 PSU (Nielsen et al 2016). Desuden afhænger det arealspecifikke udbytte af lysforholdene i vandsøjlen således, at der i områder med god lysgennemtrængning vil kunne opnås produktion i et større dybdeinterval - og derved en større samlet produktion - end i områder med dårlig lysgennemtrængning. N- og P-indholdet i tangen er højest i vinter- og forårsmånederne og øges med øget tilgængelighed af næring i det omgivende miljø, både i form af højere koncentrationer og højere grad af vandudskiftning (Birkeland et al 2009, Handå et al 2013, Marinho et al 2015).

Hverken i Limfjorden eller Horsens Fjord skønnes forholdene at være optimale for dyrkning af sukkertang. Dels er vandet uklart (høje koncentrationer af fytoplankton og resuspension), og dels forekommer der overbegroning af biomassen i sommerperioden. Testforsøg er ikke udført i mere eksponerede havområder i Danmark, idet det vil kræve udvikling af mere robuste dyrkningssystemer. Det vurderes, at såvel omkostningerne som biomasseudbyttet vil være højere i mere eksponerede områder og derved vurderes en produktivitet på 1-2 ton tørvægt ha<sup>-1</sup>, svarende til høst af hhv. 32-65 kg N ha<sup>-1</sup>, 0,8-5,8 kg P ha<sup>-1</sup> og 900-2.750 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> (Seghetta et al subm. b, Thomsen et al in prep). I disse områder er der dog ikke samme behov for marine virkemidler, som der er i de kystnære farvande.

Udover den direkte virkemiddeleffekt ved høst af tangen leverer opdræt af tang en række andre økosystem tjenester. Tang konkurrerer med fytoplankton om den tilgængelige næring i vandsøjlen. Binding af næringsstoffer i tang kan potentielt mindske lokale koncentrationer af fytoplankton, og derved mindske skygning af dyrket og naturlig vegetation (Stephens et al 2014). Under væksten vil næringsstoffer bindes i tangen, så de ikke er tilgængelige for ny primærproduktion.

Foruden effekten af fjernelse og immobilisering af næringsstoffer i det marine miljø bidrager tangforekomster ligeledes til en øget biodiversitet (Walls et al 2016). Tang udgør både fødegrundlag, habitat og opvækstområde for andre marine organismer. "Tangplantager" kan derfor potentielt udgøre midlertidige hængende rev og øge den lokale biodiversitet. Endvidere vil dyrket tang potentielt kunne udgøre en "stepping-stone" for både naturlige tangpopulationer, der findes meget spredt i Danmark, samt for andre organismer tilknyttet denne type økosystemer.

### 3.4 Drift- og samfundsøkonomiske potentialer

Der findes reelt ingen valide data for de driftsøkonomiske omkostninger for tangdyrkning i Danmark. Med udgangspunkt i produktionsdata fra Færker Vig i Limfjorden fremkommet under det strategiske forskningsprojekt, MAB3 samt data fra tangproduktionsanlægget hos Hjarnø Havbrug A/S i Horsens Fjord er det dog tidligere estimeret, at de velfærdsøkonomiske omkostninger beløber sig til 115.440 kr. ha<sup>-1</sup> (Timmermann et al 2016) svarende til 21-58 kr. kg<sup>-1</sup> tang (vådvægt) ved en arealeffektivitet på 2-7 tons vådvægt ha<sup>-1</sup>. Det bør dog understreges, at disse tal repræsenterer produktionsdata for indledende dyrkningsforsøg, hvor dyrkningen endnu ikke er optimeret med henblik på at reducere omkostningerne mest muligt eller med henblik på at optimere udbyttet. Da teknologien løbende udvikles er der de seneste år gjort erfaringer med alternative driftsformer og justeringer, der reducerer driftsomkostningerne i forhold til det niveau, der ligger til grund for de eksisterende beregninger (Timmermann et al 2016). Med de opdaterede teknologier er driftsomkostningerne, inklusive afskrivninger på anlægget og arbejdstimer, beregnet til 45.000 kr. årligt ha<sup>-1</sup> (pers. komm. Ditte Tørring Orbicon), hvilket er en væsentlig reduktion i forhold til de tidligere estimater.

Efter høst kan tang indgå i en række anvendelser (se afsnit 3.2). I MAB3 projektet er det beregnet, hvilken pris produkterne skal sælges til for at opnå break-even, når kun produktionsomkostningerne for tang er medregnet. Disse spænder fra 16.000 kr. kg<sup>-1</sup> for fosfor-gødning til 405 kr. kg<sup>-1</sup> protein og henholdsvis 51 og 45 kr. kWh<sup>-1</sup> for elektricitet og varme produceret fra biogas. I disse beregninger er omkostningerne ved transport af tangen og forarbejdningen ikke medregnet. Desuden er der ikke taget højde for muligheden for at anvende samme biomasse til flere produkter samtidigt i bioraffineringsystemer. EA energianalyse (2014) har beregnet en substitutionspris for biogas i 2015 til 172,6 kr. GJ<sup>-1</sup>. Substitutionsprisen for biogas, der fødes ind i naturgasnettet i 2016 kan forventes at være i alt 164,6 kr. GJ<sup>-1</sup>. Omregnet til prisen per kWh er disse priser omkring 0,6 kr. kWh<sup>-1</sup>. Det vil sige, at den pris, der fås for produktionen af biogas ligger meget langt fra at betale for de beregnede produktionsomkostninger. Det samme gør sig gældende for anvendelse af tang til protein, hvor sammenligningsprisen ligger på ca. 4 kr. kg<sup>-1</sup> (COWI, 2015).

Sådanne regnescenarier tydeliggør, at anvendelse af tangbiomasse i øjeblikket, hvor produktionsomkostningerne stadig er relativt høje, bør koncentrere sig om fødevarereproduktion og bioraffinering, hvor tangens totale værdi øges via flersidig anvendelse. Hos den førende producent af tangrelaterede produkter i Danmark – Nordisk Tang by Endelave Seaweed - opererer man allerede i dag ud fra en sådan tilgang og oplever i øjeblikket stor interesse for tangprodukter, ikke alene herhjemme, men i høj grad også udenfor landets grænser, hvor *rentvandstang* fra Norden er et stærkt brand. Hos Nordisk Tang by Endelave Seaweed forventer man med et forsigtigt skøn i 2025 at kunne aftage mellem 200-300 tons tang (vådvægt) til deres produktion af fødevarer. For at sikre en cirkulær økonomi i produktionen arbejder man desuden allerede i dag med at anvende restbiomassen til ekstraktion af højværdistoffer (fx fucoidan) samt til produkter som gødning og strøelse i dyrehold. Således arbejder de med en forretningsplan for de kommende 10 år, hvori der kan forventes en årlig omsætning på 27,2 mio. kr. (pers. komm. Bjarne Ottesen).

Tangproducenterne honoreres ikke for de miljøgevinster, som produktionen medfører gennem det driftsøkonomiske afkast. Hvis tangproducenterne honoreres for værdien af optagelse og fjernelsen af kvælstof og også for kulstof, som har en klimaeffekt, vil der kunne opnås en yderligere sikkerhed for at opnå et mere stabilt positivt afkast for producenterne. Beregning af værdi-

en af de miljøeffekter som tangproduktionen og høst af tang vil medføre omfatter værdien af optagelsen af næringsstoffer og reduceret drivhusgasudledning. Med en fjernelse af N på 32-43 kg ha<sup>-1</sup> og en CO<sub>2</sub> ækvivalent fjernelse på 933 kg ha<sup>-1</sup> vil værdien være henholdsvis 2.912-7.870 kr. ha<sup>-1</sup> for N og 470-933 kr. ha<sup>-1</sup> for CO<sub>2</sub> ækvivalenter, når man anvender de samme forudsætninger vedrørende skyggepriser for N og CO<sub>2</sub> ækvivalenter som for muslinger. Værdien vil kunne kompensere op til 19% af omkostningerne ved produktionen (45.000 kr. ha<sup>-1</sup>), og derved bidrage til en forøget rentabilitet.

### 3.5 Barrierer for produktion og anvendelse

De væsentligste barrierer for udvikling af tangdyrkning i Danmark er de meget høje produktionsomkostninger og de lave udbytte-tal.

Tangopdræt er stadig en ny opdrætsform i Danmark og de eksisterende udbytte-tal bygger således på få test-forsøg, hvor dyrkningsoptimering kun i ringe grad er implementeret. Udbytte-tallene relaterer sig imidlertid til nogle særlige miljømæssige forhold i danske farvande:

1. En general høj eutrofieringsgrad, der påvirker lysforholdene og begrænser muligheden for produktion i dybere vandlag.
2. En generel lav og svingende saltholdighed, der pålægger tangen ekstra energiomkostninger ift. osmoregulering og derved lader mindre energi tilbage til vækst.
3. Problemer med begroning af uønskede organismer såsom søpunge og muslinger på tangen, som dels reducerer tangens vækst og dels forringer dens værdi.

Foruden biologiske barrierer er produktionen og især omkostningseffektiviteten begrænset af en endnu mangelfuld teknologiudvikling i branchen. I øjeblikket er mange af arbejdsprocesserne, såsom høst og udsætning af tangliner, stort set udelukkende baseret på manuelle teknikker udviklet i opdræt af muslinger. Både i Danmark og på europæisk plan sker pt. en væsentlig udvikling indenfor dyrkningsteknologi med fokus på at nedbringe produktionsomkostningerne. Desuden forskes der i at øge udbyttet af specifikke indholdsstoffer af særlig høj værdi (fx pigmenter og fucoidan), så industriens rentabilitet kan styrkes ved at øge tangens samlede værdi. Der findes meget få estimater af produktionsomkostninger af sukkertang i Europa. Af de få, der findes, ligger produktionsprisen for 1 kg friskvægt på 11-24 kr. (Edwards & Watson 2011, Ocean Rainforest, Hjørnø Havbrug a/s, Nielsen 2015). Hos Ocean Rainforest (Færøerne) kan produktionsprisen yderligere reduceres til ca. 5 kr. kg<sup>-1</sup> ved implementering af en teknik, hvor man gentagne gange (op til 6 gange) høster på de samme liner, således omkostningen til produktion af nye tangliner reduceres. Hvorvidt denne teknik kan implementeres i danske farvande, hvor problemer med oversomring af biomassen på grund af begroning kan forekomme, er endnu ikke undersøgt.

Anvendelsen af tang i Danmark er stadig forholdsvis nyt og det er vanskeligt konkret at skitsere de nuværende barrierer for anvendelse af tangbiomasse. I øjeblikket er det største markedsegment sandsynligvis nicheprodukter til human konsum. Dette segment er i stor udvikling og efterspørgslen på råvaren er stor. I det tilfælde tangen anvendes til øvrige formål, såsom foderproduktion, kan der være nogle udfordringer i forhold til indholdet af tungmetaller, der fortjener

øget fokus. Fx viser foreløbige undersøgelser, at indholdet af arsen kan være et problem for anvendelsen til foder, men dette bør undersøges nærmere.



## 4. Opdræt og marine virkemidler

Som påvist ovenfor vil en betaling for de økosystem tjenester, som opdræt af muslinger og tang medfører, kunne være af stor betydning for lønsomheden i og dermed udviklingen af en produktion af fx foderingredienser baseret på muslinger og tang. Det vil derfor have betydning for udvikling af udnyttelsen af denne del af den blå biomasse, om opdræt af muslinger og tang kan indgå som marine virkemidler. Det er fastslået i Regeringens "Aftale om Fødevarer- og landbrugspakke" af december 2015, at der skal iværksættes forsøgsprojekter med virkemidler, der placeres væk fra dyrkningsfladen med henblik på, at disse virkemidler skal kunne anvendes i forbindelse med kvælstofreduktion i vandmiljøet, når de er veldokumenterede og omkostnings-effektive. For at nå til en tilstrækkelig dokumentation af opdræt som virkemiddel er en forsknings- og udviklingsindsats nødvendig (Petersen et al 2015b, Timmermann et al 2016). For at sikre, at en kommende F&U-indsats kan understøtte hensigten om at implementere opdræt af muslinger og tang til kvælstoffjernelse i vandmiljøet, er der en række forvaltningsmæssige barrierer, som skal adresseres:

1. Omfang og placering af opdræt af muslinger og tang anvendt som marint virkemiddel til fjernelse af kvælstof.
2. Arealeffektivitet samt det totale N fjernelses potentiale i de relevante vandområder (inkl. usikkerhedsvurdering).
3. Beregning af målbelastningen til vandområder med marine virkemidler.
4. Eventuelle konflikter om anvendelse af de marine arealer til henholdsvis opdræt og andre anvendelser.
5. Den samlede miljøpåvirkning af opdræt af muslinger og tang.
6. Anvendelse af de opdrættede produkter.
7. Model for betaling af økosystem tjenester leveret af opdræt.

Det er forbundet med en betydelig anlægsinvestering at igangsætte opdræt af muslinger og tang (Frost et al 2015, KOMBI 2015). Det kan endvidere forudsættes, at omkostningsreduktion ved stordrift vil medføre yderligere betydelige investeringer i anlæg og udstyr (se fx KOMBI 2015). For at rejse privat investeringskapital af det omfang vil det være nødvendigt, at forventningerne til produktionsmængder (N fjernelseskapacitet) klarlægges herunder deres placering. I den forbindelse vil det især være af betydning, at det klargøres, hvordan marine virkemidler forventeligt skal indgå i den specifikke vandområdeforvaltning og hvem, der er forpligtet til at igangsætte disse virkemidler eller hvilke incitamentsstrukturer, der vil blive implementeret for igangsætning på privat initiativ (se nedenfor).

En barriere for brug af opdræt er den miljømæssige accept af marine virkemidler. Først og fremmest forhindrer marine virkemidler ikke næringsstofferne i at nå de marine recipienter og er længst fra kilderne, hvilket strider mod principperne i fx Vandrammedirektivet. Derudover er vidensgrundlaget stadig begrænset (Timmermann et al 2016). For begge opdrætsformer gælder endvidere, at der er identificeret en række andre effekter af opdrættet, som potentielt medfører en negativ påvirkning af miljøet (Timmermann et al 2016). Uanset omfang og betydning af disse effekter vil det være nødvendigt med dokumentation af effekterne for, at brug af opdræt som virkemiddel kan blive miljømæssigt accepteret.

En særlig problemstilling vedrører placering af opdrætsanlæg i kystzonen. Muslinge- og tangopdræt kan potentielt medføre konflikter om arealanvendelse af kystzonen i fjorde, kystområder og åbent hav, da disse områder anvendes til mange andre funktioner som fx rekreative formål, fiskeri og transport (Kannen 2012). Der kan også være visuelle gener ved store anlæg i nærheden af fx sommerhusområder. Denne type gener er undersøgt i forbindelse med vindmøller til havs, hvor dele af befolkningen har en stor betalingsvilje for at undgå denne type gener (Ladenburg et al 2013). Muslinge- og tangopdræt har dog væsentligt mindre visuel påvirkning end vindmøller. Undersøgelser af akvakultur (fisk) i norske fjorde indikerer, at der kan være konflikter (Tiller et al 2012), men denne type konflikter vil afhænge meget af den konkrete placering og udstrækning af anlæggene. For at afgøre hvilke områder, der er egnede til brug af muslingeopdræt som virkemiddel kan man med fordel bruge en multi-kriterie tilgang (Petersen et al 2013, Petersen et al 2015), der inddrager parametre, der både er vigtige for omkostningseffektivt opdræt såvel som ikke direkte produktionsrelevante parametre, fx anden brug af vandområderne, og integrerer det i en samlet kystzoneforvaltning (Nielsen et al 2015). Af andre parametre end de produktionsmæssige har den lokale sociale accept af opdræt vist sig at være en vigtig faktor (Nielsen et al 2015).

For opdræt af muslinger og tang som virkemiddel kan principperne om betaling for økosystem tjenester anvendes som forvaltningsmodel. Princippet er, at alle opdrættere, både til human konsum og foder eller andet, vil modtage tilskud, der betaler for den økosystem tjeneste som opdrættet medfører. Der findes forskellige muligheder, hvor opdrættere på forskellig måde kan modtage kompensation for den økosystem tjeneste de er med til at levere i form af god vandkvalitet (indikator: optagelse af kvælstof) eller optagelse af kulstof (reduceret klimapåvirkning). De forskellige forvaltningsmodeller adskiller sig principielt og forenklet på to måder:

- A. Hvad kompensationen bliver udmålt for (hvad kompenseres, og gives kompensationen som fastpris eller afhængig af ydelsen)?
- B. Hvem betaler for kompensationen?

Kompensationen kan udbetales til opdrætteren i form af et fast tilskud fx beregnet per hektar anlæg, hvilket giver en nem og kontrollerbar udmåling af kompensationen. Tilskuddet kan også udmåles i forhold til outputtet, i dette tilfælde i forhold til kg N (eller kulstof) høstet. Denne metode giver de bedste incitament til, at opdrætteren optimerer fjernelsen af N gennem høst, og det er forholdsvis nemt at administrere uden at der skal foretages målinger, da både kvælstof- og kulstofindholdet kan beregnes som funktion af biomassen (om end der for tang vil være sæsonmæssige variationer i N indhold). Forskellen på de to tilgange er, at den sidste metode kræver, at den, der udbetaler kompensationen, har den samme information om de producerede mængder som opdrætteren, og at opdrætteren kan kontrollere produktionen og allokere ressourcer til at opnå størst mulig biomasse. I det første tilfælde er kontrolopgaven nemmere, tilskuddet ydes blot for et bestemt antal hektar anlæg og uafhængigt af produceret mængde.

Det andet håndtag, der kan skrues på, er hvem, der udbetaler kompensationen. Dette kan være myndighederne, fx gennem Landdistriktsprogrammet, eller det kan være landmænd der betaler muslingeproducenter for at optage kvælstof således, at de herved selv undgår at iværksætte tiltag til reduktion af kvælstofudledningerne og/eller tab af drivhusgasser. Den sidste tilgang kan være en mulighed, der indarbejdes i modeller for målrettet regulering og opfyldelse af kollektive

indsatskrav. Mere fyldestgørende beskrivelser af forskellige tilgange og muligheder for at etablere forvaltningsmodeller kan findes i White & Hanley (2016) og Petersen et al (2013).





## 5. Konklusioner og visioner

Opdræt af muslinger og tang er potentielt vigtige bidragydere til produktion af blå biomasse i danske farvande og er karakteriseret ved at være bæredygtige produktioner af værdifulde fødevarer eller andre produkter og derudover kan bruges som virkemidler til opnåelse af god miljøtilstand i danske kystnære farvande. Der er pt. imidlertid stor forskel i både produktionspotentiale, afsætningsmuligheder og virkemiddeleffektivitet mellem opdræt af muslinger og tang. Hvor der for muslinger er tale om en eksisterende industri til human konsum med etablerede afsætningskanaler og et identificeret udviklingspotentiale, er der for tang tale om en produktionsform i sin vorden med små og ustabile produktioner og et endnu ukendt marked af sandsynligvis begrænset omfang. Miljøforholdene i kystnære, danske farvande vil favorisere produktion af muslinger, der lever af at filtrere vandet, frem for tang, der fordrer både næringstilførsel og høj grad af lysgennemtrængning i vandsøjlen. Potentialet i opdræt af tang er dog endnu ikke udfoldet i Danmark og der foreligger ikke samme F&U-indsats i Danmark for opdræt af tang, som der gør for opdræt af muslinger.

Som virkemiddel er opdræt af muslinger betydeligt mere effektivt end opdræt af tang i områder, hvor marine virkemidler vil være relevante. For begge opdrætsformer er der imidlertid identificeret en række barrierer for, at de kan tages i brug som virkemidler og herigennem bidrage med en større mængde produceret blå biomasse. Det er dog godt gjort, at muslingeopdræt til anden anvendelse end konsum kan etableres, hvis opdrættet bliver betalt for de økosystem tjenester, som opdrættet leverer, primært i form af fjernelse af næringssalte fra de marine recipienter.

For opdræt af muslinger kan der specifikt peges på en række udviklingsbehov, hvis potentialet skal udfoldes:

- Optimering og omkostningseffektivisering af opdrætsteknologien til human konsum for at sikre rentabilitet, konkurrenceevne og arbejdsmiljø.
- Udvikling af markeder for danske linemuslinger til konsum.
- Udvikling af omkostningseffektive metoder til produktion og forarbejdning af muslinger til brug som foderingrediens og som marint virkemiddel.
- Identificering/dokumentation af egnede områder, fjernelsespotentiale og -effektivitet samt samlede miljøeffekter af opdræt af muslinger som virkemiddel.

For opdræt af tang kan der specifikt peges på en række udviklingsbehov, hvis potentialet skal kunne identificeres og evt. udfoldes:

- Identificering og dokumentation af potentialer for og omkostninger ved tangdyrkning i danske farvande fx gennem opskalering af testanlæg og afprøvning af teknologier i forskellige farvandsafsnit og med forskellige arter.
- Udvikling af optimerede og omkostningseffektive teknologier for udvalgte arter med stort volumen- eller værdimæssigt potentiale.
- Identificering/dokumentation af egnede områder, fjernelsespotentiale og -effektivitet samt samlede miljøeffekter af opdræt af tang som virkemiddel.

En væsentlig barrier for udviklingen af opdræt af muslinger og tang er for begge finansiering af anlægsomkostningerne.

## Referencer

Anagnostidis A, Michailidou M, Vatsos IN, Tsopelakos A, Miliou H. & Angelidis, P 2015. Use of frozen mussel (*Mytilus galloprovincialis*) and mussel meal in the diet of sea bass (*Dicentrarchus labrax* Linnaeus, 1758) and sea bream (*Sparus aurata* Linnaeus, 1758) fingerlings - a preliminary study. *Aquaculture Research* 46:252-256.

Bekendtgørelse af lov om fiskeri og fiskeopdræt (LBK 568/2014).  
<https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=162022>

Bekendtgørelse 874/2008 om administration af internationale naturbeskyttelsesområder samt beskyttelse af visse arter for så vidt angår anlæg og udvidelse af havne og kystbeskyttelsesforanstaltninger samt etablering og udvidelse af visse anlæg på søterritoriet.  
<https://www.retsinformation.dk/forms/R0710.aspx?id=121178>

Bekendtgørelse af lov om kystbeskyttelse (LBK 267/2009)  
<https://www.retsinformation.dk/forms/r0710.aspx?id=176975>

Bekendtgørelse 914/2011 om opdræt af muslinger i vandsøjlen mm.  
<https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=138324>

Bekendtgørelse 579/2013 om miljømæssig vurdering af visse anlæg og foranstaltninger på søterritoriet. <https://www.retsinformation.dk/forms/R0710.aspx?id=152179>

Bekendtgørelse 978/2015 om muslinger mm.  
<https://www.retsinformation.dk/forms/R0710.aspx?id=173969>

Birkeland, MJ 2009. Nitrogen accumulation and primary production by *Saccharina latissima* (Phaeophyceae) estimated from mathematical modelling and experimental cultivation near a sea cage farm: a case study. pp. 1-37.

Bruhn A, Tørring DB, Thomsen M, Canal-Vergés P, Nielsen MM, Rasmussen MB, Eybye KL, Larsen MM & Petersen JK (submitted). Impact of environmental conditions on *Saccharina latissima* biomass yield, quality, and biomitigation capacity. Submitted to *Aquaculture Environment Interactions*.

Buck BH & Buchholz CM 2004. The off shore-ring: A new system design for the open ocean aquaculture of macroalgae. *Journal of Applied Phycology* 16:355-368.

Clark JH & Deswarte FEI 2008. The biorefinery concept: an integrated approach, in: Clark JH, Deswarte FEI (Eds.), *Introduction to Chemicals from Biomass*, Wiley, pp. 8–9.

CORE organic II 2014. Improved contribution of local feed to support 100% organic feed supply to pigs and poultry (ICOPP). Synthesis report. September 2014.

COWI 2015. Analyse af det regulerings- og støttemæssige landskab for biomasseanvendelse Endelig rapport til NaturErhvervstyrelsen.

Cranford PJ, Reid GK & Robinson SMC 2013. Open water integrated multi-trophic aquaculture: constraints on the effectiveness of mussels as an organic extractive component. *Aquaculture Environment Interactions* 4:163-173.

De Økonomiske Råd (DØRS) (2015). *Økonomi og Miljø* 2015.

Den danske skaldyrbranche 2008. Perspektivplan 2007-13. Udgivet af Dansk Skaldyrcenter, 35 pp.

Direktiv 79/923/EØF.

<http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/1999/87-7909-412-0/html/kap06.htm>

Edwards M & Watson A 2011. Cultivating *Laminaria digitata*. *Aquaculture explained Series No. 26*. Bord lascaigh Mhara (BIM). 71 pp.

EA energianalyse 2014. Analyse af biogas til el- og varmeproduktion. Analyser for Biogas Taskforce.

Eriksen J, Jensen PN, Jacobsen BH, Thomsen IK, Schelde K, Blicher-Mathiesen G, Kronvang B, Hansen EM, Jørgensen U, Andersen HE, Hoffman CC, Borgesen C, Baatrup-Petersen A, Rasmussen J, Olesen JE, Kjærgaard C, Sørensen P, Hasler B, Eberhardt JM, Rubæk GH, Strandberg MT, Kudsk P, Jørgensen LN, Petersen SO, Munkholm LJ, Elsgaard L, Martinsen L, Møller F, Bruhn A, Iversen BV, Timmermann K, Fossing H, Boelt B & Gislum R 2014. Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering. DCA Rapport nr. 052, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.

European Commission (2012). Blue growth opportunities for marine and maritime sustainable growth. Communication from the European Commission to the Council, the European Parliament, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM/2012/0673 final. Retrieved on 20 October 2103 from: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ//LexUriServ.do?uri=COM:2012:0494:FIN:EN:PDF>

FarmtalOnline: [www.farmtalonline.dk](http://www.farmtalonline.dk)

FAO 2014a. The State of World Fisheries and Aquaculture 2014 – Opportunities and challenges. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

FAO 2014b. Fishery and Aquaculture Statistics. Aquaculture production. FAO yearbook 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Frost HS, Nielsen R, Petersen JK & Larsen VB 2015. Dansk produktion af linemuslinger til konsum, Nr. 030-0006/13-5480, 21 s., mar. 19, 2015. (IFRO Udredning; Nr. 2015\_04).

Handå A, Forbord S, Wang X, Broch OJ, Dahle SW, Størseth TR, Reitan KI, Olsen Y & Skjermo J 2013. Seasonal- and depth-dependent growth of cultivated kelp (*Saccharina latissima*) in close proximity to salmon (*Salmo salar*) aquaculture in Norway. *Aquaculture* 141-415:191-201.

- Hasler B, Hansen LB, Andersen HE & Konrad M 2015. Modellering af omkostningseffektive reduktioner af kvælstoftilførslerne til Limfjorden: Dokumentation af model og resultater. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy.
- Holdt SL & Kraan S 2011. Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology* 23:543-597.
- Hou X, Hansen JH & Bjerre AB 2015. Integrated bioethanol and protein production from brown seaweed *Laminaria digitata*. *Bioresource Technology* 197:310-317.
- Jensen MD, Tychsen P, Thomsen M, Martinsen L & Hasler B 2015. Bæredygtig udnyttelse af fosfor fra spildevand: En operativ vejledning til de danske vandselskaber. vol. 1661, Miljøstyrelsen.
- Jönsson L & Elwinger K 2009. Mussel meal as a replacement for fishmeal in feeds for organic poultry - a pilot short-term study. *Acta Agriculturae Scandinavica Section a - Animal Science* 59:22-27.
- Kannen, A 2012. Challenges for marine spatial planning in the context of multiple sea uses, policy arenas and actors based on experiences from the German North Sea. *Regional Environmental Change*. DOI 10.1007/s10113-012-0349-7.
- KOMBI 2015. Kombinationsopdræt af havbrugsfisk, tang og muslinger til foder og konsum. Faglig Rapport fra Dansk Akvakultur nr. 2015-12.
- Ladenburg J & Lutzeyer S 2012. The Properties of Visual Disamenity Costs of Offshore Wind Farms – the Impact on Wind Farm Planning and Cost of Generation International Association for Energy Economics, third quarter 2012.
- Larsen BK, Dalsgaard AJT & Pedersen PB 2013. Nutritional value of mussel meal in fish feed: a sustainable, high-quality protein source *in Proceedings: Aquaculture 2013*.
- Marinho GS, Holdt SL, Birkeland MJ & Angelidaki I 2015. Commercial cultivation and bioremediation potential of sugar kelp, *Saccharina latissima*, in Danish waters. *Journal of Applied Phycology* DOI 10.1007/s10811-014-0519-8.
- Muslingeudvalget 2004. II. Rapport: Beskrivende afsnit samt bilag. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, 176 pp.  
[http://www.fvm.dk/Files/Filer/Fiskeri/Akvakultur/Bilagsrapport\\_Muslingeudvalget\\_PDF.pdf](http://www.fvm.dk/Files/Filer/Fiskeri/Akvakultur/Bilagsrapport_Muslingeudvalget_PDF.pdf)
- NaturErhvervstyrelsen 2015. Strategi for bæredygtig udvikling af akvakultursektoren i Danmark 2014-2020. <http://naturerhverv.dk/fiskeri/akvakultur/strategi-for-baeredygtig-udvikling-af-akvakultursektoren-i-danmark-2014-2020/>
- Nielsen MM 2015. Cultivation of large brown algae for energy, fish feed and bioremediation. PhD thesis. Aarhus University, Department of Bioscience, Denmark. 170 pp.

- Nielsen MM, Manns D, D'Este M, Krause-Jensen D, Rasmussen MB, Larsen MM, Alvarado-Morales M, Angelidaki I & Bruhn A 2016. Variation in biochemical composition of *Saccharina latissima* and *Laminaria digitata* along an estuarine salinity gradient in inner Danish waters. *Algal Research* 13:235-245.
- Nielsen MM, Canal-Verges P, Petersen JK, Rasmussen MB & Bruhn A. Co-cultivation of sugar kelp (*Saccharina latissima*) and blue mussels (*Mytilus edulis*) in Limfjorden, Denmark, using mussel long line technology. In prep.
- Nielsen P, Geitner K, Funk E & Petersen JK 2015. Muslingeproduktion i Vejle Fjord - muligheder og begrænsninger. DTU Aqua-rapport 295-2015, 51 pp.
- Nørgaard JV, Petersen JK, Tørring DB, Steinfeldt S, Jørgensen H & Lærke HN 2015. Chemical composition and standardized ileal digestibility of protein and amino acids from blue mussel, starfish, and fish silage in pigs. *Animal Feed Science and Technology* 205: 90-97.
- Peteiro C, Salinas JM, Freire Ó & Fuertes C 2006. Cultivation of the autoctonous seaweed *Laminaria saccharina* off the Galician coast (NW Spain): production and features of the sporophytes for an annual and biannual harvest. *Thalassas* 22(1): 45-53.
- Peteiro C & Freire Ó 2013. Biomass yield and morphological features of the seaweed *Saccharina latissima* cultivated at two different sites in the coastal bay in the Atlantic coast of Spain. *Journal of Applied Phycology* 25: 205-2013.
- Petersen JK & Mattesen S 2011. Muslinger som virkemiddel: Fjernelse af næringssalte gennem kompensationsopdræt – og kommerciel udnyttelse heraf. Rapport til Vækstforum Nordjylland, 8 pp. <http://www.skaldyrcenter.aqua.dtu.dk/Forskning/Afsluttede-projekter/Blaamuslinger/Muslinger-som-virkemiddel>
- Petersen JK, Timmermann K, Holmer M, Hasler B, Göke C & Zandersen M 2013. Miljømuslinger: Muslinger som supplerende virkemiddel. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet.
- Petersen JK, Tørring DB, Fomsgaard C, Gommesen M, Saurel CF, Fitridge I, Canal-Vergés, P & Nielsen P 2014a. De lokale dyder – udvikling af muslingeerhvervet i Limfjorden. DTU Aqua-rapport 288-2014, 36 pp.
- Petersen JK, Hasler B, Timmermann K, Nielsen P, Tørring DB, Larsen MM & Holmer M 2014b. Mussels as a tool for mitigation of nutrients in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 82: 137-143.
- Petersen JK, Nielsen CF, Nørgaard JV, Steinfeldt S & Fitridge I 2015a. Anvendelse af blåmuslinger til husdyrfoder. DTU Aqua-rapport 296-2015, 28 pp.
- Petersen JK, Saurel C, Nielsen P & Timmermann K 2015b. The use of shellfish for eutrophication control. *Aquaculture International* DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10499-015-9953-0>.

Riemann B, Carstensen J, Dahl K, Fossing H, Hansen JW, Jakobsen HH, Josefson AB, Krause-Jensen D, Markager S, Stæhr PS, Timmermann K, Windolf J & Andersen JH 2015. Recovery of Danish coastal ecosystems after reductions in nutrient loading: A holistic ecosystem approach. *Estuaries & Coasts*, DOI 10.1007/s12237-015-9980-0.

Sanderson JC, Dring MJ, Davidson K & Kelly MS 2012. Culture, yield and bioremediation potential of *Palmaria palmata* (Linnaeus) Weber & Mohr and *Saccharina latissima* (Linnaeus) C.E. Lane, C. Mayes, Druehl & G. W. Saunders adjacent to fish farm cages in northwest Scotland. *Aquaculture* 354-355:128-135

Seghetta M, Romeo D, D'Este M, Alvarado-Morales M, Angelidaki I, Bastianoni S. & Thomsen M (subm. a). Seaweed as innovative feedstock for energy and feed – evaluating the impacts through a Life Cycle Assessment. *Journal of Cleaner Production*, submitted.

Seghetta M, Tørring D, Bruhn A & Thomsen M (subm. b). Bioextraction potential of seaweed in Denmark – an instrument for circular nutrient management. *Science of the Total Environment*, submitted.

Schröder T, Stank J, Schernewski G & Krost P 2014. The impact of a mussel farm on water transparency in the Kiel Fjord. *Ocean Coast Manag* 101:42–52.  
doi:10.1016/j.ocecoaman.2014.04.034

Stephens D, Capuzzo E, Aldridge J & Forster RM 2014. Potential interactions of seaweed farms with natural nutrient sinks in kelp beds. *The Crown Estate*, 36 pages. ISBN: 978-1-906410-60-5.

Thomsen M, Hasler B, Seghetta M & Bruhn A. The road to a circular regenerative economy – case study on offshore seaweed production as feedstock for biorefinery based products. In *Prep for Science of the Total Environment*.

Tiller R, Brekken T & Bailey J 2012. Norwegian aquaculture expansion and Integrated Coastal Zone Management (ICZM): Simmering conflicts and competing claims.

Timmermann K (red.) Gadgård AB, Bruhn A, Erichsen AC, Flindt M, Fossing H, Gertz F, Jørgensen HM, Petersen JK & Schwærter S 2016. Marine virkemidler - Beskrivelse af virkemidlernes effekter og status for vidensgrundlag. <http://dce2.au.dk/pub/MarineVirkemidler.pdf>

Walls AM, Kennedy R, Fitzgerald RD, Blight AJ, Johnson MP & Edwards PD 2016. Potential novel habitat created by holdfasts from cultivated *Laminaria digitata*: assessing the macroinvertebrate assemblages. *Aquaculture Environment Interactions* 8: 157-169.

Wegeberg S 2010. Cultivation of kelp species in the Limfjord, Denmark. University of Copenhagen.

White B & Hanley N 2016. Should We Pay for Ecosystem Service Outputs, Inputs or Both? *Environ Resource Econ* (2016) 63:765–787 DOI 10.1007/s10640-016-0002-x.

Dansk Skaldyrcenter, DTU Aqua  
Institut for Akvatiske Ressourcer  
Danmarks Tekniske Universitet

Øroddevej 80  
7900 Nykøbing Mors  
Danmark  
Tlf: 96 69 02 83  
skaldyrcenter@aqua.dtu.dk

[www.skaldyrcenter.aqua.dtu.dk](http://www.skaldyrcenter.aqua.dtu.dk)