



Dyrkning af sukkertang

Bruhn, Annette; Boderskov, Teis; Nielsen, Mette Møller; Rasmussen, Michael Bo; Thomsen, Marianne

Published in:

Marine Virkemidler: Beskrivelse af virkemidlernes effekter og status for vidensgrundlag

Publication date:

2020

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Bruhn, A., Boderskov, T., Nielsen, M. M., Rasmussen, M. B., & Thomsen, M. (2020). Dyrkning af sukkertang. In A. Bruhn (Ed.), *Marine Virkemidler: Beskrivelse af virkemidlernes effekter og status for vidensgrundlag* (pp. 35-54). Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©.

General rights

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

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

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

3.2 Dyrkning af sukkertang

Annette Bruhn^{1,2}, Teis Boderskov^{1,2}, Mette Møller Nielsen³, Michael Bo Rasmussen^{1,2} og Marianne Thomsen^{2,4}

¹ Aarhus Universitet, Institut for Bioscience

² Center for Cirkulær Bioøkonomi, Aarhus Universitet

³ DTU Aqua, Dansk Skaldyrcenter

⁴ Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab

Faglig kommentering: Susse Wegeberg¹ og Berit Hasler^{2,4} (økonomi)

Projekternes finansiering og gennemførelse

Dette kapitel opsummerer resultater fra flere danske og internationale forskningsprojekter, hvoraf flere endnu ikke er afsluttet: MAB3, The MacroAlgae Biorefinery (Det Strategiske Forskningsråd. 2012-2016); KOMBI-opdræt. Kombinationsopdræt af havbrugsfisk, tang og muslinger til foder og konsum (GUDP 2013-2016); Macrofuels (EU, Horizon 2020. 2016-2019); MAB4, Makroalge bioraffinering til højværdiprodukter (Innovationsfonden. 2016-2020); Tang.nu (Villum Fonden og Velux Fonden. 2017-2020.) og Økotang (Innovationsfonden. 2017-2021).

Denne opsummering samt forsknings- og udviklingsarbejdet omkring dyrkning af sukkertang i Danmark i de ovennævnte projekter, bortset fra KOMBI, er udført af Aarhus Universitet, Institut for Bioscience og Institut for Miljøvidenskab, i samarbejde med DTU Aqua, Dansk Skaldyrcenter. Flere af projekterne inkluderer projektpartnere fra andre forskningsinstitutioner og erhvervsvirksomheder. Erhvervspartnerne fordeler sig i hele værdikæden fra dyrkning af sukkertang, over forarbejdning til anvendelse i en række forskellige produkter. Erhvervspartnerne har bidraget med data (priser for materialer og estimater for tidsforbrug) til beregning af virkemidlets økonomiske effektivitet, men har ikke været involveret i selve videnssynthesen eller udarbejdelsen af dette kapitel.

Funktion og anvendelse

Definition og funktion af dyrkning af sukkertang som virkemiddel

Tang (makroalger) optager og indbygger næringsstoffer fra det omgivende vand under væksten. Ved dyrkning og efterfølgende høst af tang fjernes der ved kvælstof (N) og fosfor (P) fra det marine miljø. Næringsstofoptaget sker direkte fra det vandige miljø i form af opløste næringsstoffer og uafhængigt af, hvilken kilde næringsstofferne kommer fra. Tangdyrkning kan derfor betragtes som en generel metode til binding og fjernelse af næringsstoffer fra et havområde omkring et tangdyrkningsanlæg, ikke som et filter, der er målrettet specifikke punktkilder (Neveux m.fl. 2018). Reduktionsomkostningerne per kg N og P for tangdyrkning som virkemiddel til N- og P-fjernelse kan nedbringes, dels ved at N- og P-fjernelsen maksimeres – dvs. ved størst mulig mængde N og/eller P bundet i tangbiomasse per areal – og/eller ved minimeret omkostningsniveau, herunder arbejdsindsats. Tangdyrkning har flere positive sideeffekter på miljø og klima (afsnit 3.2.5). Den høstede tang repræsenterer en værdi som råvareressource til fødevarer, foder, højværdiprodukter og energi og muliggør genanvendelse af N og P i en cirkulær ressourcestrøm (Zhang og Thomsen 2019).

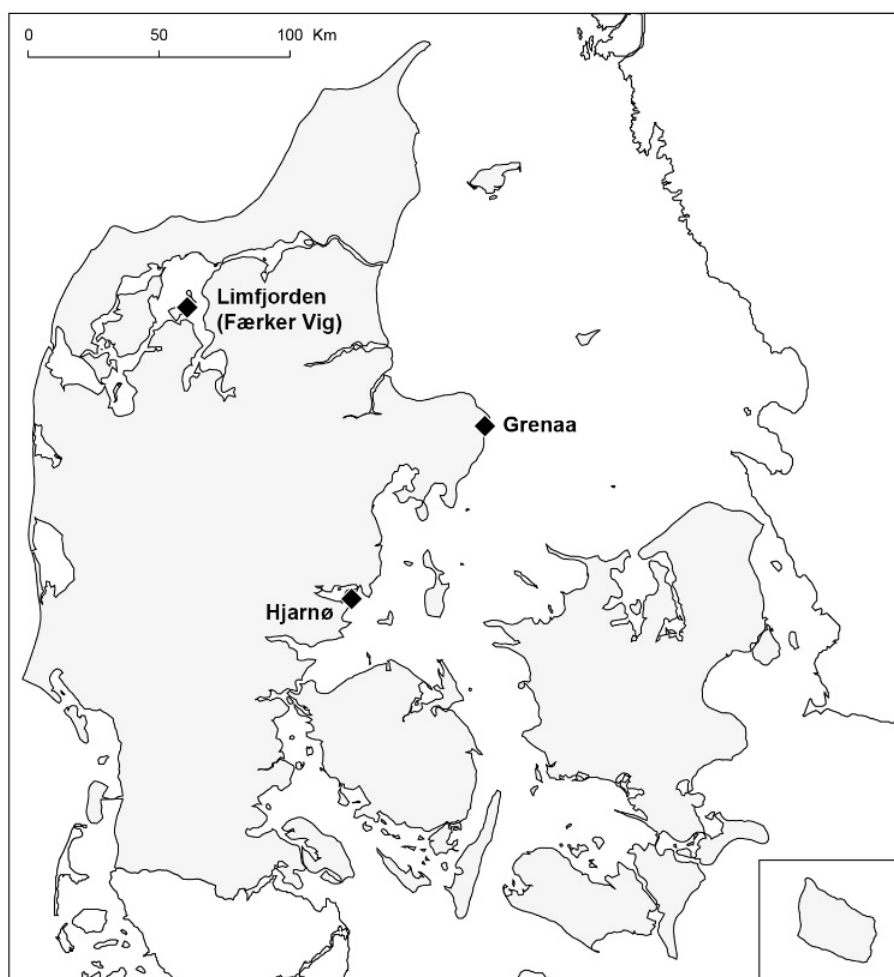
Sukkertang (*Saccharina latissima*) er den eneste tangart, der dyrkes i større mængder i havet i Danmark. Sukkertang dyrkes kommercielt til konsum og

foder og er også forsøgsvis dyrket som kompensationsafgrøde for N-udledning ved Hjarnø Havbrug A/S i Horsens Fjord (Marinho m.fl. 2015a).

Metoder til tangdyrkning

Den traditionelle metode til dyrkning af sukkertang er dyrkning på liner (Forbord m.fl. 2018): Sporer eller gametofytter af sukkertang sås/podes på liner, hvorefter linerne opbevares i havvand med lys og næring i kølerum på land i en periode på ca. 6 uger, mens tangspirene udvikles. Når tangspirene er ca. 0,5 cm, sættes linerne ud i havet, hvor tangplanterne vokser indtil høst. Typisk sættes spirelinerne ud fra september til januar med høst efterfølgende forår/sommer (maj - juli). I Danmark er dyrkning af sukkertang på liner velafprøvet i større skala i tre forskellige farvandstyper med forskellig eksponeringsgrad: Limfjorden (4 ha anlæg med op til 4 ha sukkertang), Horsens Fjord (yderfjord) (100 ha anlæg med op til 50 ha sukkertang) og i mere åbent farvand i Kattegat ud for Grenå (kystvande) (20 ha anlæg med op til 10 ha sukkertang) (Seghetta m.fl. 2016; Forbord m.fl. 2012; Marinho m.fl. 2015a; Bruhn m.fl. 2016; Wegeberg 2010; Boderskov m.fl. 2020; Nielsen 2015; Boderskov m.fl. 2020; Nielsen m.fl. 2020; Thomsen m.fl. 2020) (figur 3.2.1).

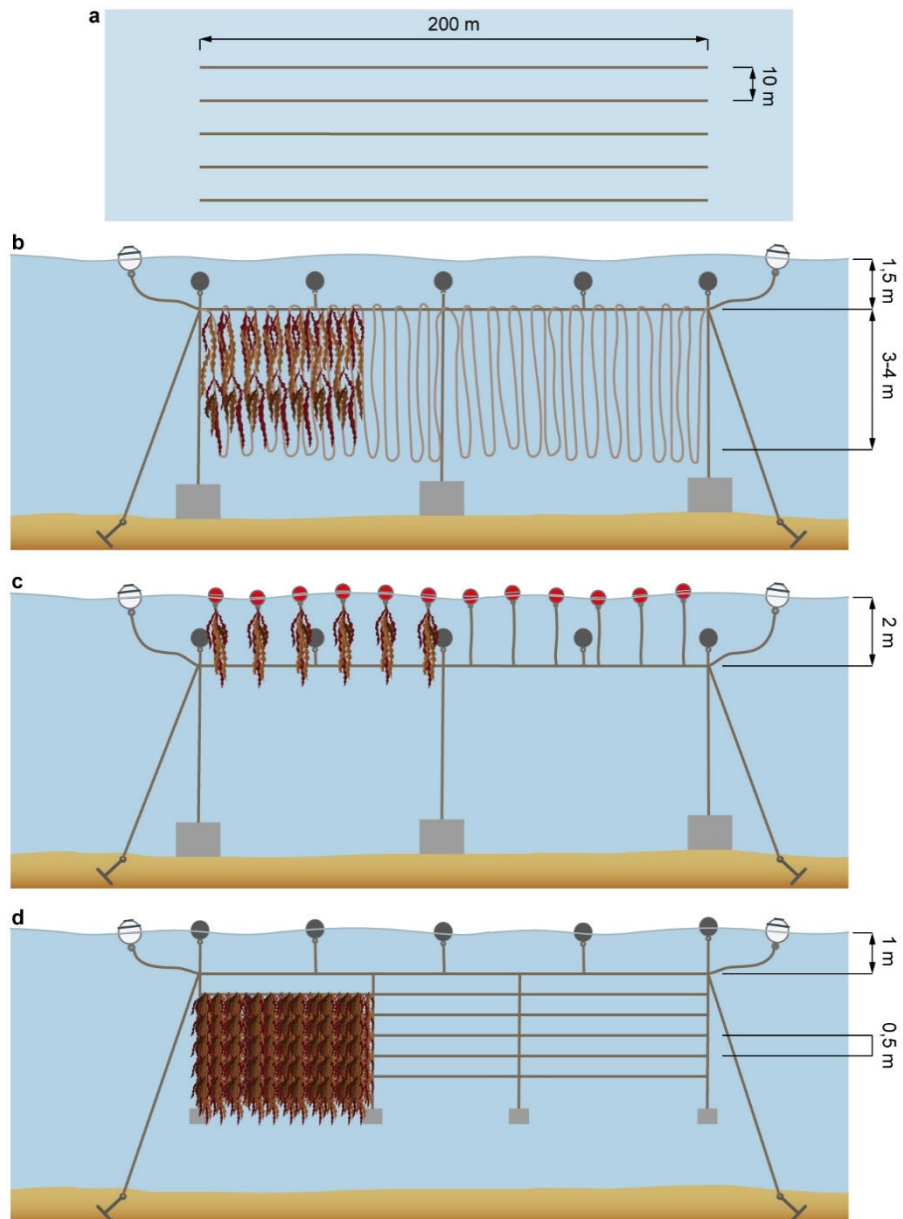
Figur 3.2.1. Dyrkning af sukkertang i større skala har hidtil fundet sted tre steder i danske farvande: I Limfjorden, ved Hjarnø i Horsens Fjord og i Kattegat ud for Grenå. Data fra disse tre områder indgår i denne rapport.



Derudover er enkelte testliner blevet udsat i andre danske havområder for at sammenligne vækst, udbytte og indholdsstoffer i tangen som led i projektet Tang.nu. Dyrkning på andre substrater end liner, f.eks. specialudviklede tekstiler, er testet i Danmark og andre europæiske lande gennem de seneste 4 år (Kerrison m.fl. 2018; Boderskov m.fl. 2020), mens forsøgsdyrkning på stor-skala net af samme type som "Smart-farm" systemer til muslingeproduktion

p.t. afprøves i en erhvervsphd (<http://www.havbrug.dk/blog/storskalaproduktion-af-dansk-oekologisk-sukkertang/>). Typisk består dyrkningssystemerne i kystnære områder af hovedliner, der med ca. 10 m's mellemrum er udspændt nær havoverfladen ved hjælp af bøjler og skrueankre i havbunden (figur 3.2.2).

Figur 3.2.2. Dyrkningssystemer til sukkertang testet i Danmark, hvor spireliner med sukkertang udsættes på a) hovedliner set ovenfra á ca. 200 m's længde og med ca. 10 m's mellemrum, og med spireliner som: b) kontinuerede guirlander (loops), c) vertikale "poppers", eller d) horisontale etager.



På Færøerne er dog udviklet et koncept til brug i mere eksponerede havområder, hvor hovedlinerne ikke er udspændte, men slækkede (Bak m.fl. 2018). Spirelinerne fastgøres til hovedlinen og kan f.eks. hænge ved hjælp af vægtlodder og/eller bøjler i kontinuerede guirlander (loops), som enkelte liner (single droppers/poppers), eller i vandrette etager fra overfladen og ned, så de er placeret i den zone, hvor lyset er tilstrækkeligt til vækst (Figur 3.2.2). Igennem de seneste år er det dokumenteret, at en tæthed af spireliner svarende til ca. 5000 m spireline pr. ha er realistisk (Marinho m.fl. 2015a; Nielsen 2015; Thomsen m.fl. 2020). Flere steder opererer man med den samme type koncessioner som linemuslinge anlæg, hvor et anlæg dækker 250 x 750 m med 90 hovedliner á 200 meter. For at optimere økonomien i produktionen af sukkertang og undgå den relativt dyre fase, hvor spirerne udvikles på linerne i

landbaserede anlæg, er nye metoder udviklet og testet til direkte såning af tangspirer på liner og tekstiler. Der er dog begrænset succes med den direkte såningsmetode, bl.a. fordi tangspireernes lille størrelse ved udsætning gør dem sårbare over for overbegroning af andre organismer samt sedimentation af organisk materiale i vandet, og som konsekvens ses en stor variation i udbyttet (Kerrison m.fl. 2018; Boderskov m.fl. 2020). Høst foregår overvejende manuelt, men maskiner til mekaniseret høst er i udvikling. Den sæsonmæssige rutine i tangdyrkning i Danmark indebærer, at spireliner bliver sat ud fra tidligt i efteråret (primo september) til først på vinteren, og tangen høstes fra starten af maj, afhængig af om man ønsker en étårig eller flerårig afgrøde. I Limfjorden er det væsentligt, at tangen sættes ud tidligt (september) og høstes tidligt (april-maj), såfremt biomassen ønskes anvendt til højværdi-produktion. Både udsætning og høst kan foregå senere i Horsens Fjord og ved Grenå uden reduktion i udbyttet, såfremt linerne er spiret tidligt i klækkeriet. Hvis biomassen bliver i vandet senere end maj i Limfjorden og juni/juli i Horsens fjord og ved Grenå, kan tangen blive begroet med muslinger, søpunge, hydroider og epifytter (Bruhn m.fl. 2016; Marinho m.fl. 2015a; Wegeberg 2010; Nielsen 2015). Denne begroning (biofouling) indeholder, som tangen selv, både N og P og bidrager hermed ved høst til fjernelse af næringsstoffer fra det marine miljø (Marinho m.fl. 2015a). Dog forringer begroningen tangbiomassens kvalitet som fødevarer eller råvarer til foderproduktion. Herved falder forretningspotentialet af den høstede biomasse signifikant, og biomassen kan ende med at komme til at udgøre et affaldsproblem frem for en værdifuld ressource. Den begroede tangbiomasse kan dog potentielt stadig anvendes til biogasproduktion. I værste fald tynger begroningen tangbiomassen på linerne i en grad, så biomassen rykkes fri fra dyrkningssystemerne og går tabt (Marinho m.fl. 2015a; Handá m.fl. 2013).

N- og P-effekt

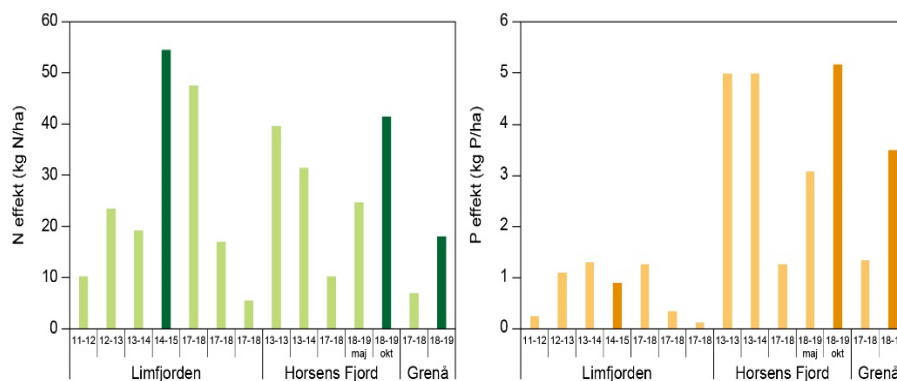
N-effekt

Den realiserede N-fjernelse (N-effekten), defineret som kg N/ha, vil afhænge af høstudbyttet (ton vådvægt (VV)/ha) samt tørstofindholdet (% TS af VV) og N-indholdet (% N af TS) af den høstede tang. Idet både N- og TS-indholdet af tangen varierer betydeligt over året og mellem lokaliteter, vil N-effekten afhænge af høsttidspunkt og dyrkningsområde (Bruhn m.fl. 2016; Zhang and Thomsen 2019). N-effekten vil også afhænge af dyrkningsform, f.eks. tætheden af spireliner i et område (Campbell m.fl. 2019). I det følgende er antaget en tæthed af spireliner på 5000 m spireline pr. ha.

Baseret på dyrkningsresultater fra Limfjorden, Horsens Fjord og Grenå i årene 2011-2019 ses, at N-effekten varierer mellem de tre områder (figur 3.2.3) (Thomsen m.fl. 2020).

Den gennemsnitlige N-effekt for alle områder var $24,8 \pm 15,7$ kg N/ha. N-effektens gennemsnit over alle dyrkningssæsoner var højest i Horsens Fjord ($29,3 \pm 12,7$ kg N/ha) og lavest ved Grenå ($12,3 \pm 7,7$ kg N/ha), mens N-effekten i Limfjorden var middel og udviste den største variation ($25,2 \pm 18,6$ kg N/ha).

Figur 3.2.3. N-effekt, N-fjernelsespotentialer, udtrykt som kg N pr. hektar (t.v. i grøn) og P-effekt, P-fjernelsespotentialer, udtrykt som kg P pr. hektar (t.h. i orange) i tre områder i danske farvande: Limfjorden, Horsens Fjord og Kattegat ud for Grenå. De mørke søjler indikerer Best Case scenarier for de tre dyrkningsområder, hvor høstudbyttet er optimeret primært ved timing i udsætning af spireliner og i høst af tangen. Tallene indikerer år, hvor tangen er udsat og høstet (udsat-høstet). Udregningerne er baseret på værdier fra tabel 3.2.1.



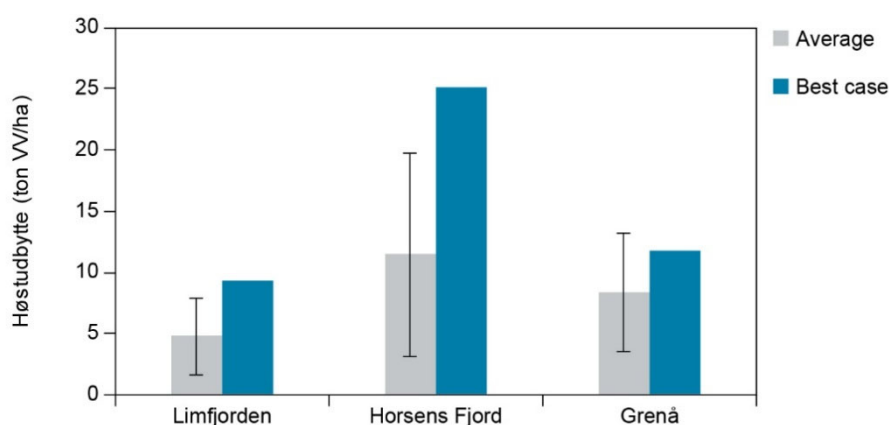
Tabel 3.2.1. Oversigt over høstudbytte og indholdsstoffer (tørstof (TS), N og P) af sukkertang fra Limfjorden, Horsens Fjord og Grenå. Data markeret med grå skygge indikerer, at værdier for indhold af N og/eller P fra det specifikke høsttidspunkt endnu ikke er analyseret. Derfor er anvendt N- og P-koncentrationer fra de forgående år, men samme område og så vidt muligt samme årstid i beregningerne. Da de anvendte værdier er de lavest målte for de tre områder, forventes det ikke at føre til et overestimat af N- og P-effekten. Udbytte (kg/m line) er målte værdier, mens udbytte v.5000 m line/ha er beregnede værdier.

Område	Vand-område	Udsætning (dato)	Høst (dato)	Udbytte (kg/m line)	Udbytte v. 5000 m line/ha (ton VV/ha)	TS (% af VV)	N (% af TS)	P (% af TS)	N-effekt (kg N/ha)	P-effekt (kg P/ha)	Reference
Limfjorden	156	December 2011	April 2012	0,5	2,6	11	3,40	0,10	10,0	0,3	Bruhn m.fl., 2016
		September 2012	Maj 2013	1,2	6,2	11,4	3,31	0,16	23,3	1,1	Nielsen m.fl. 2020
		Oktober 2013	Maj 2014	0,6	2,8	13,6	5,11	0,34	19,1	1,3	Nielsen m.fl. 2020
		September 2014	April 2015	1,9	9,3	9,3	5,94	0,10	54,4	0,9	Nielsen m.fl. 2020
		September 2017	Maj 2018	1,6	8,0	11,7	5,07	0,13	47,3	1,3	Boderskov m.fl., 2020
		Oktober 2017	Maj 2018	0,7	3,5	10,5	4,58	0,10	16,9	0,4	Boderskov m.fl., 2020
		November 2017	Maj 2018	0,2	1,1	11,2	4,56	0,11	5,4	0,1	Boderskov m.fl., 2020
Horsens Fjord	127	Januar 2013	September 2013	1,5	7,5	ND	2,40	0,40	39,4	5,0	Marinho m.fl. 2015
		Januar 2013	Maj 2014	3,0	15,0	ND	1,20	0,25	31,2	5,0	Marinho m.fl. 2015
		September 2017	Juni 2018	1,0	5,0	19,8	1,02	0,13	10,1	1,3	Boderskov m.fl., 2020
		November 2018	Juni 2019	2,7	13,3	18,2	1,02	0,13	24,5	3,1	Thomsen m.fl. 2020
		November 2018	Oktober 2019	5,0	25,2	16,1	1,02	0,13	41,2	5,2	Thomsen m.fl. 2020
Grenaa	220	November 2017	Juni 2018	1,0	5,0	25,0	0,55	0,11	6,8	1,4	Boderskov m.fl., 2020
		November 2018	Juni 2019	2,4	11,8	27,5	0,55	0,11	17,7	3,5	Thomsen m.fl. 2020
Gennemsnit				1,7	8,3	15,4	2,84	0,16	24,8	2,1	
SD				1,3	6,4	6,0	1,95	0,10	15,7	1,9	

I Limfjorden skyldes variationen i N-effekt primært forskelle i biomasseudbytte som konsekvens af udsætningstidspunkt (Boderskov m.fl. 2020). I sæsonen 2017-2018 blev der udsat liner fra samme såning i september, oktober og november i Limfjorden, hvor N-effekten var ca. 9 gange højere fra september-udsætningen end november-udsætningen forårsaget af et højere biomasseudbytte (Figur 3.2.4, tabel 3.2.1), hvilket skyldes længere tid til tilvækst i det tidlige efterår, hvor der er mere lys til rådighed end senere på året. Den højeste N-effekt (54,4 kg N/ha) blev opnået i Limfjorden ved udsætning af spireliner i september 2014 og høst i april 2015, hvorimod den laveste N-effekt (5,4 kg N/ha) blev opnået i Limfjorden ved udsætning af spireliner i november 2017 og høst i maj 2018. Her blev linerne udsat for sent i forhold til lysforholdene, og der var meget lavt høstudbytte (Boderskov m.fl. 2020). Biofouling af muslinger, søpunge, bryozoa og andre organismer bliver typisk et problem i Limfjorden allerede fra maj og nødvendiggør en tidlig høst, før tangplanterne har

indfriet deres fulde vækstpotentiale. Samtidig bevirker eutrofieringsgraden i Limfjorden, at lysforholdene forringes henover forår og sommer og reducerer lysnedtrængningen (Bruhn m.fl. 2016). Ved høst i Limfjorden ser man dog et højt N-indhold i sukkertangen, i gennemsnit $4,57 \pm 0,95$ % N af TS (Tabel 3.2.1). I Horsens Fjord ses mindre variation i høstudbyttet (Figur 3.2.4). Her er tidsvinduet for udsætning og høst også væsentligt større og mere fleksibelt end i Limfjorden (Boderskov m.fl. 2020). Eksempelvis kan spirelinerne udsættes helt hen i november og høstes i juni uden reduktion i høstudbyttet, hvis de er opstartet tidligt i klækkeriet. I Horsens Fjord bliver biofouling generelt først et problem fra juni/juli. Dog kan mosdyr optræde allerede i april, men nye forsøg har vist, at hvis tangen undersænkes, så tangplanterne henover sommeren sænkes fra overfladelaget og ned i dybere vand, kan tangplanterne vokse videre henover sommeren og give et endnu højere høstudbytte ved høst i oktober (Tabel 3.2.1, figur 3.2.4). Så kan tangen dog være begroet med mosdyr ved høst i oktober, hvilket kan begrænse biomassens anvendelse som fødevarer. N-indholdet i tangen høstet i Horsens Fjord ligger i gennemsnit på $1,33 \pm 0,6$ % N af TS. Det lave N-indhold indikerer, at lave N-koncentrationer i området potentielt begrænser sukkertangens vækst i sommerperioden (Pedersen og Borum 1996; Nielsen m.fl. 2014). I de mere åbne farvande i Kattegat ud for Grenå ses et høstudbytte af sukkertang, der er højere end i Limfjorden (Figur 3.2.4, tabel 3.2.1), men alligevel er her observeret en lavere N-effekt end i både Horsens Fjord og Limfjorden (op til $17,7$ kg N/ha). Årsagen er meget lave koncentrationer af N i biomassen på kun $0,55$ % N af TS, hvilket indikerer N-begrænset vækst af sukkertangen (Pedersen og Borum 1996). De meget lave N-koncentrationer i sukkertang i sommerperioden i de åbne danske farvandsområder er tidligere beskrevet for naturlige populationer af sukkertang (Nielsen m.fl. 2016a). Også ved Grenå er tidsvinduet for udsætning og høst større end i Limfjorden, men forsøg med at undersænke tangen henover sommeren resulterede i kraftig biofouling med blåmuslinger, og tangen skal derfor senest høstes i juli. Her er der dog observeret en meget ren biomasse, som ikke ses i f.eks. Horsens Fjord i juli. Værd at nævne er også, at tørstofprocenten har været markant højest i Grenå i løbet af forsøgsårene ($25-27,5$ % TS), hvilket giver et markant højere tørstofudbytte end både i Limfjorden og Horsens Fjord (tabel 3.2.1).

Figur 3.2.4. Høstudbytte fra tre dyrkningsområder i danske farvande: Limfjorden, Horsens Fjord og Kattegat ud for Grenå. De hvide søjler viser gennemsnit fra forskellige dyrkningssæsoner (gennemsnit \pm SD), mens de grå søjler viser Best Case scenarier, hvor høstudbyttet er optimeret ved timing af udsætning af spireliner og høsttidspunkt. Tallene er baseret på faktisk høstudbytte pr. m line og antagelsen, at der kan høstes tilsvarende på 5000 m line pr ha.



P-effekt

Beregningen af P-effekten er foretaget ligesom beregning af N-effekt og har samme forudsætninger, blot er den baseret på fosforindholdet i biomassen i stedet for kvælstofindholdet.

Den gennemsnitlige P-effekt for alle områder var $2,1 \pm 1,9$ kg P/ha (figur 3.2.3). P-effekten som gennemsnit over alle vækstsæsoner var lavest i Limfjorden ($0,75 \pm 0,50$ kg P/ha) og højest i Horsens Fjord ($3,91 \pm 1,71$ kg P/ha), mens P-effekten ved Grenå var gennemsnitlig ($2,43 \pm 1,52$ kg P/ha).

Sukkertangs indhold af P stiger med faldende salinitet i de åbne danske farvandsområder (Nielsen m.fl. 2016a). På trods af relativt høj salinitet er der i Limfjorden observeret så lave P-koncentrationer i den sene forårsperiode, at det potentielt begrænser væksten af sukkertang (Bruhn m.fl. 2016).

Effekt i tid og rum

Tangens binding og optag af næringsstoffer slår igennem i tangens vækstperiode fra udsætning til høst (efterår til tidlig sommer). Efter høst vil næringsstofferne være permanent fjernet fra havmiljøet. I perioden mellem høst og ny udsætning vil kapaciteten for binding af næringsstoffer således ikke være til stede, med mindre det er muligt som i Horsens Fjord at vente med at høste tangen til efteråret uden reduktion i udbyttet.

Der ser ud til at være et trade-off mellem et højt N-indhold i tangen og lavere høstudbytte i eutrofierede områder pga. biofouling og begrænset sigtdybde (Bruhn m.fl. 2016), men foreløbige resultater indikerer, at N-effekten umiddelbart er størst ved dyrkning i relativt næringsrige områder i Limfjorden og Horsens Fjord (yderfjord). De forskellige dyrkningsbetingelser bevirker, at kvaliteten af den høstede tang er forskellig mellem næringsrige områder og åbne, mere næringsfattige, havområder, hvor proteinindholdet vil være højere i de næringsrige områder (favoriserer anvendelse til fødevarer og proteinfoder), mens indholdet af sukkerstoffer er højest i næringsfattige havområder (favoriserer anvendelse til fødevarer ingredienser, højværdiprodukter og energi) (Nielsen m.fl. 2016a; Manns m.fl. 2017).

Overlap i forhold til andre virkemidler

Sukkertang vokser bedst og giver størst biomasse udbytte ved en saltholdighed over 20 promille, god vandbevægelse og relativt klart vand. Væksten hæmmes ved temperaturer over 20 grader (Bartsch m.fl. 2008; Nepper-Davidsen m.fl. 2019; Kerrison m.fl. 2015). Derfor sætter sukkertangs vækstkrav begrænsninger for, hvor i danske farvande dyrkning af tang kan iværksættes. Dyrkning i Horsens Fjord (yderfjord) og Limfjorden ser umiddelbart ud til at give den største N- og P-effekt i forhold til dyrkning i åbne farvande, mens dyrkning i inderfjorde og indre farvande syd for Bælthavet umiddelbart skønnes at give et mindre biomasse-udbytte pga. lav saltholdighed og/eller for uklart vand (høj nærings- og klorofylkoncentration). Dyrkning i områder med høj grad af eksposering for vind, bølger og strøm stiller store krav til dyrkningssystemet. I Limfjorden og i Horsens Fjord (yderfjord) kan områder egnet til dyrkning af sukkertang overlappes med områder egnet til opdræt af blåmuslinger. Da sukkertang og blåmuslinger potentielt kan dyrkes på de samme strukturer og med samme teknologi til håndtering til havs, vil man potentielt kunne opnå en additiv effekt både i N- og P-effekt og økonomi ved at kombinere dyrkning af de to organismer, især hvis tangen dyrkes oktober/november til maj/juni og muslingerne mellem maj/juni og oktober. Dyrkes de to organismer samtidigt, vil tangen potentielt drage fordel af, at muslingernes filtration øger lystilgængeligheden, samt at muslingerne udskiller næringsstoffer.

Dyrkning af tang vil ikke umiddelbart kunne overlappes med udplantning af ålegræs eller udlægning af stenrev, da tangen reducerer lystilgængeligheden

for ålegræsset på havbunden og de flerårige makroalger på stenrevne (Campbell m.fl. 2019).

Sikkerhed på data

Sikkerheden på data for N- og P-effekt er god. Høstudbytte og biomassekvalitet af sukkertang er nu dokumenteret over flere dyrkningssæsoner i tre forskellige typer af havområder i Danmark (Figur 3.2.1, tabel 3.2.1). Samtidig er dyrkningsteknologien optimeret og understøtter antagelsen om, at 5000 m spireline/ha er realistisk. I projektet Tang.nu vil dyrkning på (mini) pilotanlæg i yderligere otte havområder bidrage til øget datagrundlag, således at præcision og nøjagtighed på data og modelberegninger for udbytte, biomassekvalitet og N- og P-effekter øges yderligere.

Tidshorisont for at skaffe data, hvis disse ikke findes

Høstudbytte og biomassekvalitet fra yderligere danske havområder dokumenteres i Tang.nu. (Villum Fonden og Velux Fonden. 2017-2020). Viden vil foreligge ultimo 2020.

Høstudbytte ved opskalering på net og liner i Horsens Fjord samt modellering i koblede hydrodynamiske-økologiske modeller af høstudbytte, biomassekvalitet samt N- og P-effekt er en del af projektet Økotang (Innovationsfonden. 2018-2021). Viden vil foreligge primo 2021.

Viden om effekter af dyrkning af sukkertang i stor skala på havmiljø og klima er i analyse som produkt af projekterne Macrofuels (EU H2020. 2016-2019), MAB4 (Innovationsfonden 2017-2021) samt EcoMacro (2018). Viden vil foreligge ultimo 2020.

Viden om værdien af sukkertang som foder til husdyr vil foreligge dels ultimo 2020 i projektet Tang.nu, hvor effekten af sukkertang på tarmsundhed hos smågrise og kalve undersøges, dels i ultimo 2023 fra projektet ClimateFeed (Innovationsfonden. 2019-2023), hvor effekten på reduktion af metanudledning fra drøvtyggere undersøges.

I projektet SeaSusProtein (GUDP. 2020-2024) undersøges potentialet for at ekstrahere høj kvalitetsprotein fra sukkertang til fødevarer. Resultater vil foreligge i 2024.

Forudsætninger og potentiale

Forudsætninger

Arealeffektiviteten af N- og P-fjernelse ved tangdyrkning afhænger af høstudbyttet og biomassens N- og P-indhold og er derfor afhængig af fysiske, kemiske og biologiske faktorer som tilgængelighed af lys og næring, temperatur, saltholdighed og strømforhold. Tang optager og lagrer næring om vinteren/foråret, når næringstilgængeligheden er højest. Tilgængeligheden af næringsstoffer i et havområde vil definere et områdes bærekapacitet og sætte en øvre grænse for, hvor meget N, der kan fjernes ved tangdyrkning. Samtidig afhænger arealeffektiviteten også af timingen i dyrkningsproceduren, både mht. udsætning af spireliner og af høst.

For at optimere N- og P-fjernelse samt miljømæssig og økonomisk bæredygtighed af tangdyrkning generelt er det nødvendigt at videreudvikle og mekanisere dyrkningsteknologien. I øjeblikket anvendes kun en meget lille grad af

det samlede areal i et anlæg til selve dyrkningen, til trods for at det er dokumenteret, at sukkertang kan give et højt udbytte ved høje dyrkningstætheder (Peteiro og Freire 2009). Der er derfor stort potentiale i at udvikle teknologien mod højere dyrkningstætheder, såfremt det er målet at anvende sukkertang som virkemiddel. I den nuværende teknologi benyttes en høj grad af manuel håndtering, der fordyrer processen og begrænser opskaleringen. Der skønnes derfor at være et stort potentiale for omkostningseffektivisering inden for dyrkning af sukkertang. Det er også muligt at optimere på høstudbytte og biomassekvalitet gennem valg af lokale økotypen af sukkertang og evt. selektiv avl. Den genetiske diversitet af sukkertang i Danmark er kortlagt (Nielsen m.fl. 2016b; Neiva m.fl. 2018), og forsøg har dokumenteret forskelle i vækst og biomassekvalitet mellem danske økotypen (Bruhn m.fl. 2020).

En mere detaljeret vurdering af mulighederne for geografisk målretning af tangdyrkning som virkemiddel og bærekapaciteten i forskellige danske vandområder vil kræve modellering af tangens vækst og næringsoptag i koblede hydrodynamiske-økologiske modeller, der kan tage højde for effekter potentielt negative effekter af høje vandtemperaturer kombineret med stærkt lys i sommerperioden samt effekten af varierende saltholdighed på virkemidlets effekt og omkostningseffektivitet. Den indledende modellering er en del af projektet Økotang, der afsluttes i 2021. I processen omkring udvælgelse af egnede områder bør tages hensyn til andre aktiviteter på havet (fiskeri, sejlads, rekreativ benyttelse, klappning og råstofudvinding) samt visuel forurening.

Anvendelse af sukkertang

Sukkertang dyrket kommercielt i Danmark sælges primært til fødevarer, enten som tørret produkt eller til fermenterede produkter som tangsalat. Samtidig er der stigende interesse for sukkertang til dyrefoder, bl.a. som ingrediens i svinefoder, hvor sukkertang og raps fermenteres med mælkesyrebakterier for en potentiel positiv pro-biotisk effekt på dyrenes tarmsundhed. Forskning pågår desuden omkring sukkertangs effekt på metanproduktionen i vommen på malkekvæg.

Sukkertang er også eftertragtet til ekstraktion af højværdistoffer som antioxidanter og bioaktive polysakkarider, som kan anvendes som fødevaringredienser eller i hudplejeprodukter.

Proteinindholdet i sukkertang er relativt lavt, men har god kvalitet mht. aminosyresammensætning (Marinho m.fl. 2015b; Det Bioøkonomiske Panel 2019).

I den lavere ende af værdikæden kan sukkertang af mindre god kvalitet anvendes til produktion af energi i form af ethanol, butanol eller biogas (Hou m.fl. 2015; Alvarado-Morales m.fl. 2013; Seghetta m.fl. 2016b; Seghetta m.fl. 2017). Efter energiekstraktion vil restbiomassen indeholde næringsstoffer og mineraler og kan efterfølgende anvendes til foderprotein eller gødning (Hou m. fl 2015).

Således kan virkemidlet generere en indtægt og understøtte den cirkulære bioøkonomi, idet de opsamlede næringsstoffer genanvendes i det bioøkonomiske system på land (Det Bioøkonomiske Panel 2019).

I denne rapport er eventuelle indtægter fra dyrkning og høst af sukkertang ikke medtaget i beregningen af virkemidlets økonomiske effektivitet.

Udfordringer i forhold til kontrol og administration

I øjeblikket administreres tilladelser til tangdyrkningsanlæg af Kystdirektoratet, hvor andre typer af akvakultur administreres af Fiskeristyrelsen. Dette giver unødigt meget administration for de enkelte aktører i de situationer, hvor en aktør ønsker at dyrke både sukkertang og muslinger/fisk, og man bør overveje, hvordan administrationen her kan forenkles.

I behandling af ansøgninger om tilladelse til tangdyrkning i danske farvande bør tages hensyn til dybdegrænser for ålegræs og flerårig bentisk vegetation. Samtidig bør man sikre sig, at området er velegnet til dyrkning af sukkertang, samt at aktøren overholder gældende anbefalinger for god dyrkningspraksis, som bl.a. har fokus på valg af dyrkningslokalitet, vedligehold af anlæg, og biosecurity i forhold til dyrkning af hjemmehørende arter og lokale økotypen og registrering af ikke-hjemmehørende arter og evt. sygdomme (Barbier m.fl. 2019; Cottier-Cook m.fl. 2016; Campbell m.fl. 2019).

Idet indholdsstofferne i sukkertang varierer i både tid og rum, bør en kvantificering af N- og P-effekt være baseret på indrapportering af høstet drænet biomassevolumen (ton VV), og det skal afgøres, om det er nødvendigt med en konkret bestemmelse af indholdsstoffer (TS, N og P) for hver høst, eller om gennemsnitlige værdier for område og årstid kan anvendes til beregning af N- og P-effekt.

Det skal afgøres, om, og i givet fald hvordan, operatøren kan kompenseres for N- og P-fjernelse. Herunder skal det også afgøres, hvordan dyrkning og høst af sukkertang kan foregå på kommercielle vilkår og stadig indgå i reguleringen som virkemiddel i en regenerativ cirkulær økonomi (Zhang og Thomsen, 2019; Thomsen og Zhang, 2020).

Sideeffekter

Natur og miljø (herunder marine kvalitetselementer)

Positive effekter

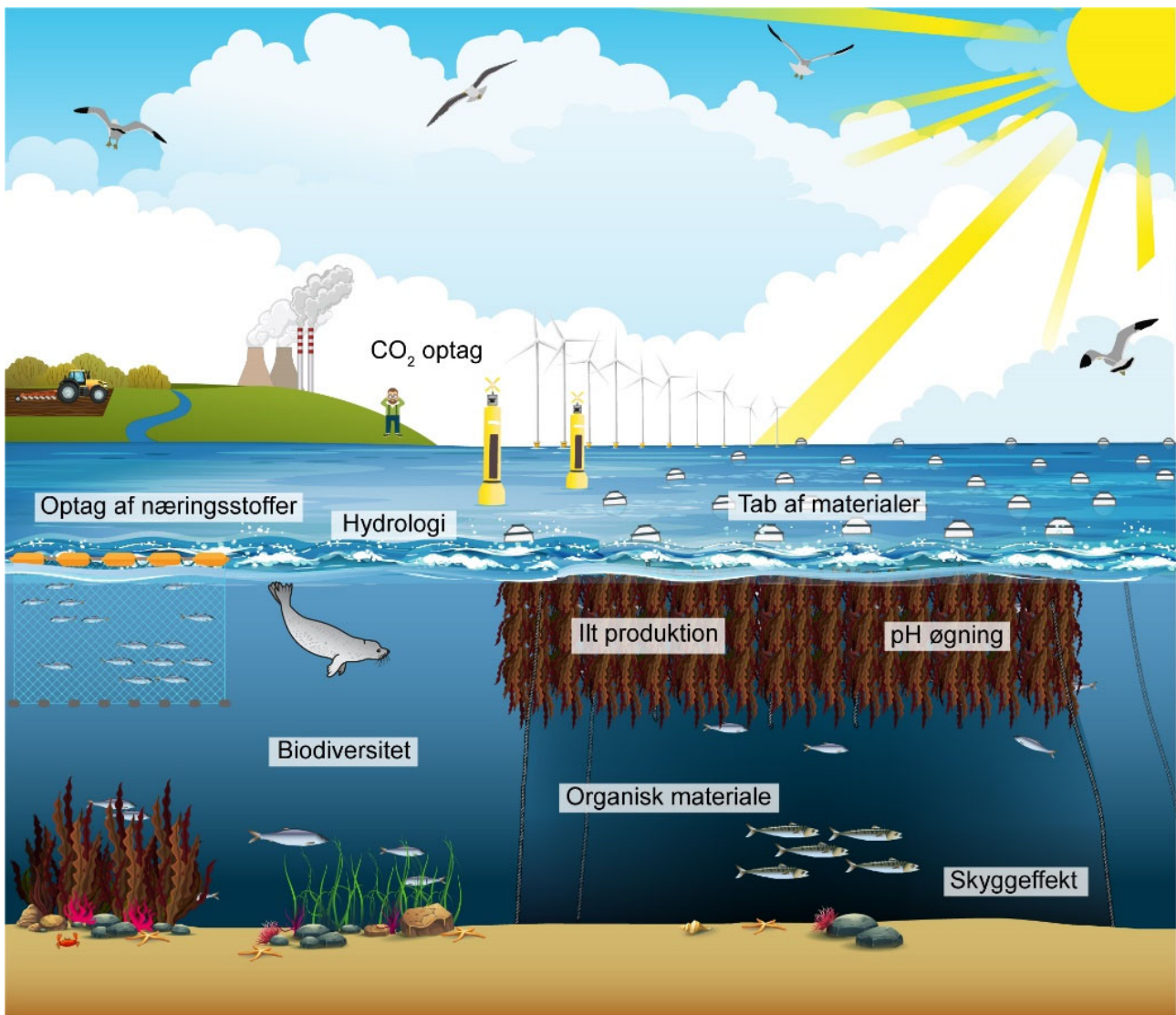
Tangdyrkning har positive effekter på flere økosystem tjenester (Hasselström m.fl. 2018; Campbell m.fl. 2019).

Reduceret klorofyl i vandsøjlen, øget sigtddybde, og bentisk vegetation

Tang konkurrerer med fytoplankton om den tilgængelige næring i vandsøjlen. Binding af næringsstoffer i tang kan potentielt mindske lokale koncentrationer af fytoplankton i vandsøjlen. Derved vil det bidrage til øget sigtddybde og bedre lysnedtrængning til den bentiske vegetation. Denne effekt er dog ikke direkte dokumenteret i danske farvande, men påvist gennem modelstudier i Skotland (Stephens m.fl. 2014). Tilsvarende modelstudier med baggrund i tangananlægget i Horsens Fjord bliver udført i 2020 i projektet Økotang (afsnit 3.2.7).

Hydrodynamik

Tangdyrkningsanlæg ændrer på vandbevægelsen i et område (Campbell m.fl. 2019). Omkring tangdyrkningsområdet ved Horsens Fjord er det dokumenteret, hvordan overfladestrømmen til dels bremses og til dels afbøjes af dyrkningsanlægget (Bruhn m.fl. 2020a). Dette kan potentielt have en kystbeskyttende effekt, men ligeledes en potentielt negativ effekt bl.a. pga. øget sedimentation.



Figur 3.2.7. Dyrkning af sukkertang, effekter på miljø og klima.

Øget biodiversitet

Naturlige tangskove udgør både fødegrundlag, habitat og opvækstområde for andre marine organismer som invertebrater og fisk (Steneck m.fl. 2002). Tangdykningsområder kan potentielt udgøre "hængende tangskove" og dermed tiltrække og rumme en øget lokal biodiversitet. Studier med miljø DNA (eDNA) indikerer, at biodiversiteten i vandsøjlen øges i - og nedstrøms fra - et tangdykningsområde (Bruhn m.fl. 2020a).

Danmark har ikke meget egnet hård bund, som den naturlige tang kan vokse på, og tangskoven findes derfor meget spredt på f.eks. moler og stenrev. Tangdykningsanlæg kan således udgøre "stepping stones" for spredning af både naturlige tangpopulationer samt for andre organismer tilknyttet denne type økosystemer: Når et dyrkningsanlæg etableres i havet vil det tiltrække andre marine organismer ud over den mono-kultur af f. eks. sukkertang, som dyrkes på anlægget. Det vil betyde, at alle marine organismer med planktoniske stadier kan settle og etablere sig på anlægget: f. eks. tangplanter og invertebrater som muslinger, rurer, søpunge og søstjerner. Fra anlægget kan de sprede sig videre til andre egnede substrater. Også sukkertang fra anlægget kan sprede sig til egnede substrater i området, enten ved at tangplanterne bliver fertile, mens de vokser på anlægget, eller ved at tangplanter rives løs fra

anlægget, og bliver fertile, mens de driver med havstrømmene. Risikoen herfor er dog begrænset, både fordi tangen høstes før den bliver fertil, og fordi tab af tang fra anlægget under alle omstændigheder begrænses.

Potentielt negative effekter

De mulige lokale negative miljøeffekter kan imødegås ved udvælgelse af egnede dyrkningsområder, og implementering vil altid kræve en områdespecifik vurdering (Campbell m.fl. 2019; Hasselström m.fl. 2018).

Lokal reduktion af lysindstråling

Lige under et tangdyrkningsanlæg vil lysindstrålingen til havbunden reduceres, idet tangen absorberer lys. I Horsens Fjord er der dokumenteret en signifikant reduktion på 1,4 % af lysindstrålingen under tanganlægget sammenlignet med et referenceområde uden for tanganlægget (Bruhn m.fl. 2020a). Undersøgelserne blev udført ved en biomassetæthed af tang på 0,6 ton VV/ha. Denne skyggeeffekt må forventes at være større under tanganlæg i optimal drift jf. udbytter angivet i tabel 3.2.1. Derfor anbefales at tage højde for eventuelt negative effekter på bentisk vegetation og udlægge tanganlæg i områder med større dybde end f.eks. ålegræssets potentielle udbredelsesdybde.

Ændret hydrodynamik

Afhængigt af de lokale forhold kan ændring i overfladestrømmen have negative konsekvenser i form af begrænsning af vandudskiftning i et område, øget sedimentation eller påvirkning af kysten. Derfor skal der altid foretages en grunding forundersøgelse forud for anlæggelse af tangdyrkningsanlæg.

Øget tilførsel af organisk materiale til sedimentet

I selve anlægget øges sedimentationsraten af partikulært organisk materiale (POM). Dette skyldes formentlig både, at strømningshastigheden reduceres inden for anlægget, og at mængden af POM i anlægget øges, idet tangplanterne under væksten slides i den distale ende og afgiver organisk materiale. Tab af materiale fra tangplanterne er størst i sensommeren (Nielsen m.fl. 2014), og ved at høste tangen før juli vil tabet begrænses.

I havbunden under danske anlæg er ikke påvist ændringer i sammensætning eller biodiversitet i den bentiske fauna, når området under tangen sammenlignes med et referenceområde uden for anlægget. Dette gælder for tangdyrkningsområdet ved Grenå, hvor undersøgelserne er udført som et Before-After-Impact-Control (BACI) studie og ved Horsens Fjord, hvor konklusioner dog vanskeliggøres af, at der ikke er lavet studier af infauna forud for anlæggelse af tanganlægget (Bruhn m.fl. 2020a). Det må forventes, at sedimentationen af organisk materiale øges ved højere biomassetæthed.

Biodiversitet

Ud over de potentielle positive ændringer i biodiversitet, som tangdyrkningsanlæg kan generere, er der risiko for, at også ikke-hjemmehørende arter bruger et anlæg som "stepping stone" til spredning, eller at eventuelle sygdomme/parasitter i tangen spredes fra anlægget til naturlige tangskove i området. Ligeledes kan den genetiske biodiversitet i de naturlige tangpopulationer påvirkes af den dyrkede tang. Derfor opfordres myndigheder til at udvikle og håndhæve bæredygtige retningslinjer for tangdyrkning og bl.a. kun tillade dyrkning af hjemmehørende arter og lokale genetiske økotypen (Cottier-Cook m.fl. 2016; Barbier m.fl. 2019; Campbell m.fl. 2019).

Klima

Sukkertang er som andre tangplanter en autotrof organisme, der lever ved fotosyntese, og optager således CO₂ under væksten. En del af kulstoffet (C) afgives igen som CO₂, opløst eller partikulært organisk C, mens en stor del lagres i biomassen, hvor det udgør ca. 1/3 af tørstoffet; i danske farvande i gennemsnit 31,6% C af TS. Dvs. at for hvert ton tang høstet (TS) bindes 1,2 ton CO₂ (Duarte m.fl. 2017). Samtidig bidrager tangen under væksten til at reducere påvirkninger fra klimaforandringer på lokal skala, idet tangen under fotosyntesen øger pH og derved modvirker forsuring af havet (Middelboe og Hansen 2007).

Øvrige (f.eks. visuelle gener)

Som det gælder for muslingeopdræt, kan brugere af og beboere i kystområder ud til tangdyrkningsanlæg på forskellige måder blive påvirket af tangdyrkningsaktiviteter:

- Visuelle gener, primært i form af bøjer og farvandsafmærkninger
- Affald på kysten i form af løsrevet og opdrevne elementer fra dyrkningsanlægget (bøjer, tovværk, tang)
- Konflikt med andre aktiviteter til havs, f.eks. sejlads med båd, kajak, kano, stand up paddleboard (SUP), eller surfing.

I Danmark er ikke foretaget studier af holdninger til tangdyrkning, men et svensk studie viser, at opfattelsen af tangdyrkning er mere positiv end akvakultur generelt og opdræt af både fisk og muslinger (Thomas m.fl. 2018).

Borgerinddragelse, oplysning, gennemsigtighed og at relevante myndigheder tager ansvar for at udvikle målsætninger for bæredygtig forvaltning er væsentlige for borgeres holdning (Gegg og Wells 2019; Thomas m.fl. 2018).

Økonomi

Forudsætninger for de økonomiske beregninger

Data, der ligger til grund for de økonomiske beregninger, stammer dels fra kommerciel dyrkning af sukkertang i Horsens Fjord, dels fra dyrkning i forsøgsområder i Limfjorden og Kattegat udført i forbindelse med forskningsprojekter. Det forventes, at der ved optimering af processer og dyrkning i større skala kan spares både på arbejds- og driftsomkostninger.

Omkostningerne ved dyrkning af sukkertang som virkemiddel omfatter anlægs- og driftsomkostninger, inkl. materialer til etablering og vedligehold af anlæg samt udgifter til høst. Arbejds løn er indregnet til en timepris på 250 kr./time, idet det forudsættes, at arbejdet udføres med ufaglært arbejdskraft. Alle omkostninger er beregnet som årlige omkostninger, hvor de enkelte elementers anslåede levetid er taget i betragtning. Køb af båd er ikke indregnet, i stedet er forudsat leje af båd på timebasis (625 kr./time) til aktiviteter til havs. Nutidsværdien er i den velfærdsøkonomiske analyse beregnet ved at anvende en kalkulationsrente på 4 %, jf. Finansministeriets vejledning (Finansministeriet 2017, 2019).

Som i beregningerne for muslinger er omkostningerne ved dyrkning af sukkertang som virkemiddel opgjort som budget- og velfærdsøkonomiske omkostninger. De priser, der indgår i en budgetøkonomisk opgørelse, opgøres i faktorpriser, som virksomhederne (her tangdyrkerne) faktisk skal betale. Fak-

torpriserne (priser uden moms og punktafgifter mv.) justeres med en nettoafgiftsfaktor (NAF) for at udtrykke de velfærdsøkonomiske priser, som udtrykker markedspriserne. Det er disse priser, der anvendes i forbindelse med samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger (Finansministeriet, 2019), og for sammenligning af omkostningseffektivitet mellem virkemidler (f.eks. mellem tangdyrkning og virkemidler på land) er det korrekte sammenligningsgrundlag den velfærdsøkonomiske opgørelse. Iht. Finansministeriet skal der anvendes en NAF faktor på 1,28 (Finansministeriet 2019). Den tidligere anvendte NAF var 1,325, og denne ændring i NAF påvirker naturligvis niveauet for de beregnede velfærdsøkonomiske omkostninger, når der sammenlignes med tidligere beregninger af virkemidler.

De budget- og velfærdsøkonomiske beregninger er udført uden antagelse om videre forarbejdning af tangen som foder eller andet, da der endnu ikke er sikker viden om afsætningen af tangen og omkostningerne ved at forarbejde tangen til produkter. Der er viden undervejs i de tidligere omtalte projekter. Forudsætningerne vedr. produktivitet og N-optag i de tre forskellige vandområder bygger på de samme forudsætninger som anvendt i beregningerne af N-effekter.

Omkostningen per hektar dyrkningsanlæg, inkl. aktiviteter på land (klækkeri og nursery) er beregnet til 94.880 kr./ha/år. I omkostningerne er inkluderet:

- investeringsudgifter til dyrkningsanlæg (markeringsbøjer, nedboring af skrueankre, tovværk, bøjer, betonklodser)
- klækkeri-fase i kølerum på land (indsamling af fertilt materiale, modning, frigivelse af sporer, såning på liner)
- nursery-fase i kølerum på land (udvikling af tangspirer, 6 uger)
- Udgifter til udsætning, høst og vedligehold af anlæg.

Beregnet omkostning per kg N

Beregninger af omkostninger per kg N er foretaget på baggrund af målte værdier (2011-2019) for høstudbytter og indholdsstoffer fra tre forskellige danske farvandsområder; både beskyttede (Limfjorden og til dels Horsens Fjord) og eksponerede (Kattegat ud for Grenå) (figur 3.2.1, tabel 3.2.1). For hver af de tre områder er udregningerne baseret på både gennemsnit for området og for optimerede høstudbytter. Anlægsomkostningerne antages at være ens i de tre områder, da samme type anlæg kan etableres og fungere alle tre steder. I beregningerne er antaget, at anlæggene er sat op med 5.000 m spireline per hektar. Indtægter fra tangen er ikke inkluderet i økonomiberegningerne.

I gennemsnit for de tre områder er omkostningerne 3.825/4.896 kr. pr. kg N (budgetøkonomisk/velfærdsøkonomisk), og de budgetøkonomiske omkostninger varierer mellem 1.744 og 7.718 kr. pr. kg N. Omkostninger, både budgetøkonomiske og velfærdsøkonomiske, for alle tre områder fremgår af tabel 3.2.2.

Beregnet omkostning per kg P

Ved beregninger af omkostninger per kg P er anvendt de samme metoder og antagelser som for beregning af omkostninger per kg N. I gennemsnit er omkostningerne 42.850/54.848 kr. pr. kg P (budgetøkonomisk/velfærdsøkonomisk). Mellem de tre områder varierer de budgetøkonomiske omkostninger med en faktor 7 mellem 18.303 og 125.554 kr. pr. kg P. Omkostninger, både budgetøkonomiske og velfærdsøkonomiske, for alle tre områder fremgår af tabel 3.2.2.

Tabel 3.2.2. Virkemiddeleffekt i form af N- og P-fjernelse for dyrkning af sukkertang, overlap med andre virkemidler, om virkemidlet kan times i tid og rum og sikkerhed på effekten. Effekten er vurderet i tre forskellige havområder (Figur 3.2.1). Data er angivet som gennemsnit (GS) ± standard deviation (SD). N varierer og er derfor angivet for det enkelt område.

Dyrkning af sukkertang	N-effekt kg N ha ⁻¹ (GS±SD)	P-effekt kg P ha ⁻¹ (GS±SD)	Overlap	Kan times i tid og rum	Sikkerhed	Økonomi (uden salg)	
						Budget- /velfærds-økonomiske priser	
						N – kr. kg N ⁻¹	P – kr. kg P ⁻¹
			Ja	I tid: nej I rum: ja	***		
Limfjorden						3.767/4.821	125.554/160.709
Gennemsnit(n=4)	19,9±18,9	0,5±0,5			***	1.744/2.233	105.431/134.962
Best case	47,3	1,3					
Horsens Fjord					***		
Gennemsnit	29,3±12,7	3,9±1,7				3.241/4.149	24.286/31.086
(n=5)	41,2	5,2				2.303/2.948	18.303/23.428
Best case							
Kattegat, Grenå					**		
Gennemsnit	12,3±7,7	2,4±1,5				7.718/9.878	5.346/6.843
(n=2)	17,7	3,5				39.036/49.966	27.042/34.614
Best case							

Tabel 3.2.3 Sideeffekter ved dyrkning af sukkertang som virkemiddel.

Virkemiddel	Natur og miljø	Klima	Øvrige
Dyrkning af sukkertang	+/-	+	+/-

Manglende viden

Der mangler stadig viden på flere områder omkring anvendelse af dyrkning af sukkertang som marint virkemiddel.

N- og P-effekt i forskellige danske havområder. Vurdering af effekten af dyrkning af sukkertang som marint virkemiddel i forskellige danske havområder kræver en kobling af hydrodynamiske og biologiske/økologiske modeller. Dette arbejde bliver der taget hul på i forbindelse med projektet Økotang (Innovationsfonden, 2018-2021), hvor en model for området i Horsens Fjord udvikles på baggrund af de eksisterende modeller for området. Resultater forventes at foreligge primo 2021.

Øvrige danske havområder er ikke inkluderet i modellen.

Miljø og klimaeffekter. På baggrund af de nævnte projekter bliver de samlede miljø- og klimagevinster ved dyrkning af sukkertang som virkemiddel dokumenteret i en Livscyklusvurdering (LCA) (Resultater forventes ultimo 2020).

Økosystem-effekter af dyrkning af sukkertang i stor skala er undersøgt i projekterne MAB4, Macrofuels, EcoMacro og Tang.nu. Data er er i proces og resultater forventes ultimo 2020.

Værdiskabelse. Værdien af og markedet for dyrket og høstet sukkertang er i positiv udvikling.

Projektet SeaSusProtein (GUDP 2020-2023) har fokus på ressourceoptimeret processering og ekstraktion af protein af høj kvalitet til fødevarer og foder. Resultater forventes primo 2023. Fra Tang.nu (Villum Fonden og Velux Fonden, 2017-2020) kommer resultater på effekten af sukkertang på tarmsundheden hos smågrise og kalve, mens projektet ClimateFeed (Innovationsfonden, 2019-2023) undersøger, om sukkertang i foderet til kvæg kan reducere metanproduktionen og derved bidrage til at sænke landbrugets CO₂-emissioner.

Opsummering

Dyrkning af sukkertang som marint virkemiddel er dokumenteret fra tre forskellige farvandsområder i Danmark (Limfjorden, Horsens Fjord (yderfjord) og i Kattegat (kystvande)). Dyrkningsteknologien og høstudbytter i de forskellige områder har udviklet sig positivt i de seneste 10 år, men der skønnes stadig at være et stort potentiale for at øge høstudbyttet ved teknologiudvikling. Indhold af N og P i den dyrkede tang varierer, og i beregning af N-effekt kan et højt indhold af N opveje et lavere høstudbytte i næringsrige havområder. Tangdyrkning har flere positive sideeffekter på det omgivende miljø: bl.a. øget biodiversitet og modvirkning af både klimaforandringer og negative effekter heraf: C-optag, iltproduktion og pH-øgning. De mulige lokale negative miljøeffekter (f.eks. skygge) kan imødegås ved udvælgelse af egnede dyrkningsområder, og implementering vil altid kræve en områdespecifik vurdering.

Markedet for anvendelse af sukkertang til fødevarer, fødevaringredienser eller dyrefoder er i positiv udvikling, men som for muslingeopdræt er tangdyrkning som virkemiddel stadig en netto-omkostning, og det vil stadig være nødvendigt at betale for økosystemtjenester leveret af tangdyrkingen (N- og P-fjernelse, forbedret sigtddybde, klimateffekt) (Tabel 3.2.2 og 3.2.3).

Referencer

Alvarado-Morales M, Boldrin A, Karakashev DB, Holdt SL, Angelidaki I, Astrup T (2013) Life cycle assessment of biofuel production from brown seaweed in Nordic conditions. *Bioresource Technology* 129 (0):92-99. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.11.029>

Bak UG, Mols-Mortensen A, Gregersen O (2018) Production method and cost of commercial-scale offshore cultivation of kelp in the Faroe Islands using multiple partial harvesting. *Algal Research* 33:36-47. doi:<https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.05.001>

Barbier B, Charrier B, Araujo R, Holdt SL, Jacquemin B, Rebours C (2019) PEG-ASUS - Phycomorph European Guidelines for a Sustainable Aquaculture of Seaweeds. doi:doi.org/10.21411/2c3w-yc73

Bartsch I, Wiencke C, Bischof K, Buchholz CM, Buck BH, Eggert A, Feuerpfeil P, Hanelt D, Jacobsen S, Karez R, Karsten U, Molis M, Roleda MY, Schubert H, Schumann R, Valentin K, Weinberger F, Wiese J (2008) The genus *Laminaria* sensu lato: recent insights and developments. *European Journal of Phycology* 43 (1):1-86

Borderskov T, Macleod A, Nielsen MM, Rasmussen MB, Pycke B, Groenendal B, Balsby TJS, Bruhn A (2020) Yields of sugar kelp – impact of site, substrate and timing. In preparation

Bruhn A, Boderskov T, Buur H, Pedersen MF, Forbord S, Hansen JLS, Høgslund S, Krause-Jensen D, Markager SS, Mattson S, Nielsen MH, Rasmussen MB, Sapkota R, Schmedes PS, Stæhr PA, Upadhyay S, Winding A (2020a) Ecosystem effects of large-scale macroalgae cultivation. In prep for Algal Research

Bruhn A, Tørring DB, Thomsen M, Canal Vergés P, Nielsen MM, Rasmussen MB, Eybye KL, Larsen MM, Balsby TJS, Petersen JK (2016) Impact of environmental conditions on biomass yield, quality, and bio-mitigation of *Saccharina latissima*. *Aquaculture Environmental Interactions* 8:619-636

Bruhn A, Boderskov T, Buur H, Pedersen MF, Forbord S, Hansen JLS, Høgslund S, Krause-Jensen D, Markager SS, Mattson S, Nielsen MH, Rasmussen MB, Sapkota R, Schmedes PS, Stæhr PA, Upadhyay S, Winding A (2020a) Ecosystem effects of large-scale macroalgae cultivation. In preparation

Bruhn A, Boderskov T, Rasmussen MB, Magnusson M, Balsby TJS, Thomsen M, Paulino C, Neiva J, Nielsen MM, Schmedes PS, Serrao E (2020b). Preparing for selective breeding of *Saccharina latissima* - Comparing productivity, biomass composition and genetics of four Danish ecotypes. In preparation

Campbell I, Macleod A, Sahlmann C, Neves L, Funderud J, Øverland M, Hughes AD, Stanley M (2019) The environmental risks associated with the development of seaweed farming in Europe - Prioritizing key knowledge gaps. *Frontiers in Marine Science* 6 (107). doi:10.3389/fmars.2019.00107

Cottier-Cook E, Nagabhatla N, Badis Y, Campbell ML, Chopin T, Dai W, Fang J, He P, Hewitt CL, Kim GH, Huo Y, Jiang Z, Kema G, Li Y, Liu F, Liu H, Liu Y, Lu Q, Luo Q, Mao Y, Msuya FE, Rebours C, Shen H, Stentiford GD, Yarish C, Wu H, Yang X, Zhang J, Zhou Y, Gachon MM (2016) Safeguarding the future of the global seaweed aquaculture industry. Institute for Water, Environment and Health (UNU-INWEH) & Scottish Association for Marine Science (SAMS)

Det Bioøkonomiske Panel (2019) Proteiner for fremtiden. Miljøstyrelsen

Duarte CM, Wu J, Xiao X, Bruhn A, Krause-Jensen D (2017) Can Seaweed Farming Play a Role in Climate Change Mitigation and Adaptation? *4* (100). doi:10.3389/fmars.2017.00100

Finansministeriet (2017) Vejledning i samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger.

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

Forbord S, Skjermo J, Arff J, Handa A, Reitan KI, Bjerregaard R, Luning K (2012) Development of *Saccharina latissima* (Phaeophyceae) kelp hatcheries with year-round production of zoospores and juvenile sporophytes on culture ropes for kelp aquaculture. *J Appl Phycol* 24 (3):393-399. doi:10.1007/s10811-011-9784-y

Forbord S, Steinhovden KB, Kjølbo K, Handa A, Skjermo J (2018) Cultivation protocol for *Saccharina latissima*. In: B. C, T. W, K. RCR (eds) *Protocols for Macroalgae Research*. Taylor & Francis Group, CRC Press, Boca Raton, Florida, p 26

- Gegg P, Wells V (2019) The development of seaweed-derived fuels in the UK: An analysis of stakeholder issues and public perceptions. *Energy Policy* 133:110924. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110924>
- Handá A, Forbord S, Wang XX, Broch OJ, Dahle SW, Storseth 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* 414:191-201. doi:[10.1016/j.aquaculture.2013.08.006](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.08.006)
- Hasselström L, Visch W, Gröndahl F, Nylund GM, Pavia H (2018) The impact of seaweed cultivation on ecosystem services - a case study from the west coast of Sweden. *Marine Pollution Bulletin* 133:53-64. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.005>
- Hou X, Hansen JH, Bjerre A-B (2015) Integrated bioethanol and protein production from brown seaweed *Laminaria digitata*. *Bioresource Technology* 197:310-317. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.091>
- Kerrison PD, Stanley MS, Edwards MD, Black KD, Hughes AD (2015) The cultivation of European kelp for bioenergy: Site and species selection. *Biomass and Bioenergy* 80:229-242. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.04.035>
- Kerrison PD, Stanley MS, Hughes AD (2018) Textile substrate seeding of *Saccharina latissima* sporophytes using a binder: An effective method for the aquaculture of kelp. *Algal Research* 33:352-357. doi:<https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.06.005>
- Manns D, Nielsen MM, Bruhn A, Saake B, Meyer AS (2017) Compositional variations of brown seaweeds *Laminaria digitata* and *Saccharina latissima* in Danish waters. *J Appl Phycol* 29 (3):1493-1506. doi:[10.1007/s10811-017-1056-z](https://doi.org/10.1007/s10811-017-1056-z)
- Marinho G, Holdt S, Birkeland M, Angelidaki I (2015a) Commercial cultivation and bioremediation potential of sugar kelp, *Saccharina latissima*, in Danish waters. *J Appl Phycol* 27 (5):1963-1973. doi:[10.1007/s10811-014-0519-8](https://doi.org/10.1007/s10811-014-0519-8)
- Marinho GS, Holdt SL, Angelidaki I (2015b) Seasonal variations in the amino acid profile and protein nutritional value of *Saccharina latissima* cultivated in a commercial IMTA system. *J Appl Phycol* 27 (5):1991-2000. doi:[10.1007/s10811-015-0546-0](https://doi.org/10.1007/s10811-015-0546-0)
- Middelboe AL, Hansen PJ (2007) High pH in shallow-water macroalgal habitats. *Marine Ecology Progress Series*, 338: 107-117
- Neiva J, Paulino C, Nielsen MM, Krause-Jensen D, Saunders GW, Assis J, Bárbara I, Tamigneaux É, Gouveia L, Aires T, Marbà N, Bruhn A, Pearson GA, Serrão EA (2018) Glacial vicariance drives phylogeographic diversification in the amphi-boreal kelp *Saccharina latissima*. *Scientific Reports* 8 (1):1112. doi:[10.1038/s41598-018-19620-7](https://doi.org/10.1038/s41598-018-19620-7)
- Nepper-Davidsen J, Andersen DT, Pedersen MF (2019) Exposure to simulated heatwave scenarios causes long-term reductions in performance in *Saccharina latissima*. *Marine Ecology Progress Series* 630:25-39

Neveux N, Bolton JJ, Bruhn A, Roberts DA, Ras M (2018) The Bioremediation Potential of Seaweeds: Recycling Nitrogen, Phosphorus and Other Waste Products. In: La Barre S, Bates S (eds) Blue Biotechnology - production and use of marine molecules. Wiley,

Nielsen M, Krause-Jensen D, Olesen B, Thinggaard R, Christensen P, Bruhn A (2014) Growth dynamics of *Saccharina latissima* (Laminariales, Phaeophyceae) in Aarhus Bay, Denmark, and along the species' distribution range. Mar Biol:1-12. doi:10.1007/s00227-014-2482-y

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, Bruhn A, Vergés PC (In prep) Multi-seasonal cultivation of sugar kelp (*Saccharina latissima*) in eutrophic Danish waters – evaluation of inter-annual production yield and bioremediation potential.

Nielsen MM, Manns D, D'Este M, Krause-Jensen D, Rasmussen MB, Larsen MM, Alvarado-Morales M, Angelidaki I, Bruhn A (2016a) 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, Paulino C, Neiva J, Krause-Jensen D, Bruhn A, Serrão EA (2016b) Genetic diversity of *Saccharina latissima* (Phaeophyceae) along a salinity gradient in the North Sea-Baltic Sea transition zone. 52 (4):523-531. doi:doi:10.1111/jpy.12428

Pedersen MF, Borum J (1996) Nutrient control of algal growth in estuarine waters. Nutrient limitation and the importance of nitrogen requirements and nitrogen storage among phytoplankton and species of macroalgae. Marine Ecology-Progress Series 142 (1-3):261-272

Peteiro C, Freire O (2009) Effect of outplanting time on commercial cultivation of kelp *Laminaria saccharina* at the southern limit in the Atlantic coast, N.W. Spain. Chinese Journal of Oceanology and Limnology 27 (1):54-60

Seghetta M, Tørring D, Bruhn A, Thomsen M (2016a) Bioextraction potential of seaweed in Denmark — An instrument for circular nutrient management. Science of The Total Environment 563-564:513-529. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.010

Seghetta M, Hou X, Bastianoni S, Bjerre AB, Thomsen M (2016b) Life cycle assessment of macroalgal biorefinery for the production of ethanol, proteins and fertilizers – A step towards a regenerative bioeconomy. Journal of Cleaner Production 137, 1158-1169. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.07.195

Seghetta M, Romeo D, D'este M, Bastianoni S, Alvarado-Morales M, Angelidaki I, Thomsen M (2017) Seaweed as innovative feedstock for energy and feed - evaluating the impacts through a Life Cycle Assessment. Journal of Cleaner Production 150, 1-15 https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.022

Steneck RS, Graham MH, Bourque BJ, Corbett D, Erlandson JM, Estes JA, Tegner MJ (2002) Kelp forest ecosystems: biodiversity, stability, resilience and future. Environmental Conservation 29 (4):436-459. doi:10.1017/s0376892902000322

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

Thomas J-BE, Nordström J, Risén E, Malmström ME, Gröndahl F (2018) The perception of aquaculture on the Swedish West Coast. *Ambio* 47 (4):398-409. doi:10.1007/s13280-017-0945-3

Thomsen M, Bruhn A, Boderskov T, Zhang X (2020) Environmental and economic sustainability assessment of seaweed as instrument for water quality restoration and carbon capture and utilisation technology for biobased production. In preparation.

Thomsen M, Zhang X (2020) Life Cycle Assessment of Macroalgal Eco-industrial Systems, in H. Dominguez, S. Krann (eds.), *Sustainable Seaweed Technologies*, Elsevier, Cambridge, in press

Wegeberg S (2010) Cultivation of kelp species in the Limfjord, Denmark. Department of Biology, SCIENCE, Copenhagen University:1-11

Zhang X, Thomsen M (2019) Biomolecular Composition and Revenue Explained by Interactions between Extrinsic Factors and Endogenous Rhythms of *Saccharina latissima*. *Marine Drugs* 17 (2):107