

Høst af eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat - status på viden om miljøeffekter og økonomi

Notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 30. marts 2020 | 20



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Titel: Høst af eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat – status på viden om miljøeffekter og økonomi

Forfattere: Annette Bruhn^{1,2}, Michael Bo Rasmussen^{1,2} og Marianne Thomsen^{2,3}
Institutioner: ¹Aarhus Universitet, Institut for Bioscience. ²Center for Cirkulær Bioøkonomi, Aarhus Universitet. ³Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab.

Faglig kommentering: Susse Wegeberg¹ og Berit Hasler³ (økonomi)
Kvalitetssikring, DCE: Kirsten Bang
Sproglig kvalitetssikring: Charlotte Kler

Ekstern kommentering: Miljøstyrelsen. Der var ingen kommentarer til notatet

Rekvirent: Miljø- og Fødevareministeriet

Bedes citeret: Bruhn, A., Rasmussen, M.B. & Thomsen, M. 2020. Høst af eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat – status på viden om miljøeffekter og økonomi. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 17 s. Notat nr. 2020|20 https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notatet_2020/N2020_20.pdf

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Foto forside: Michael Bo Rasmussen

Sideantal: 17

Indhold

2.1	Funktion og anvendelse	6
2.2	N- og P-effekt	7
2.3	Forudsætninger og potentiale	11
2.4	Udfordringer i forhold til kontrol og administration	12
2.5	Sideeffekter	12
2.6	Økonomi	14
2.7	Manglende viden	15
2.8	Opsummering	16
2.9	Referencer	17

1 Forord

Dette notat er udarbejdet af Nationalt Center for Miljø og Energi (DCE), Aarhus Universitet (AU). Notatet udgør ét af to slutprodukter fra projektet "Vurdering af tangdyrkning som marint kvælstofvirkemiddel" bestilt af Miljø- og Fødevareministeriet (MFVM). Den øvrige del af bestillingen omhandler dyrkning af sukkertang som marint virkemiddel og indgår som del af rapporten omkring marine virkemidler (Bruhn m.fl. 2020).

Indeværende notat dækker følgende vidensbehov beskrevet i bestillingen:

- Vurdering af potentiale for kvælstof (N)-fjernelse ved høst af naturlige forekomster af alger.
- Vurdering af omkostningseffektivitet ved høst af naturlige forekomster af alger.

Af bestillingen fra MFVM fremgår bl.a., at: "Resultaterne skal kunne bruges i forbindelse med udarbejdelsen af Vandområdeplaner for 2021-27. Arbejdet trækker således på resultater fra flere forskellige forsknings- og udviklingsprojekter, hvorfra relevante resultater vil blive syntetiseret løbende. Arbejdet skal resultere i et bidrag til et grundigt forskningsbaseret beslutningsgrundlag, som vil kunne danne baggrund for en politisk beslutning om anvendelsen af virkemidlerne".

Efter ønske fra Miljøstyrelsen (MST) er vurderingen af potentiale for fjernelse af fosfor (P) ved høst af naturlige forekomster af alger inddraget i notatet.

Høst af naturlige forekomster af alger (herunder søsalat) kan ikke få status af NP-virkemiddel, idet naturligt forekommende alger er defineret som "stående biomasse" og således allerede indgår som N- og P-reservoir i det marine økosystem. Men idet masseforekomster af opportunistiske makroalger, som søsalat, er forårsaget af eutrofiering og på flere måder bidrager til at forværre den økologiske tilstand i lavvandede, næringsbelastede fjordområder, kan høst af eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat potentielt betragtes som et habitatrestaurerende virkemiddel.

Det understreges, at forekomst af flerårige makroalger er et biologisk kvalitetselement i Vandrammedirektivet. Derfor vil høst af naturlige forekomster af flerårige alger *ikke* have en habitatforbedrende effekt og *ikke* i nogen tilfælde bidrage til en forbedret økologisk tilstand.

Notatet følger samme overordnede skabelon som beskrivelsen af de marine virkemidler (Bruhn m.fl. 2020), dvs. at hovedfokus er lagt på de miljømæssige aspekter af virkemidlet, herunder især fjernelsen af kvælstof og fosfor. Foreløbige beregninger af reduktionsomkostninger er inddraget, ligesom der er foretaget en faglig vurdering af datasikkerhed og operationalitet af høst af søsalat som marint virkemiddel.

Notatet har været igennem en to ugers høringsproces i Partnerskabet for vidensopbygning om virkemidler og arealregulering.

Arbejdet med at dokumentere miljøeffekter af høst af søsalat er gennemført som del af projektet Tang.nu (2017-2020), der ledes af Aarhus Universitet og er støttet af Villum Fonden og Velux Fonden (<https://tangnu.dk/>). De invol-

verede partnere har været Aarhus Universitet, DTU Aqua (Dansk Skaldyrcenter), Multidyk og Skive Kommune. HedeDanmark har været underleverandør på opgaven med test-høst af søsalat i Skive Fjord og har bidraget til beregning af virkemidlets reduktionsomkostninger (dvs. prisen for at reducere tilgængeligheden af et kg N eller P). Ingen ud over forfatterne har bidraget til, eller haft indflydelse på, notatets ordlyd.

2 Høst af søsalat som marint habitatrestaurende virkemiddel

2.1 Funktion og anvendelse

Definition af virkemidlet og dets funktion

Målet med høst af masseforekomster af søsalat som marint virkemiddel er at opnå en direkte positiv habitatrestaurerende effekt på det marine miljø, idet fjernelse af de eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat vil give mere lys til havbunden og derved bedre vilkår for evt. flerårig bentisk vegetation, reduceret sedimentation af organisk materiale og derigennem reduceret lokalt iltsvind samt øget biodiversitet i den lokale bundfauna. Derudover vil næringsstoffer, kvælstof (N) og fosfor (P), indeholdt i tangbiomassen fjernes fra det marine miljø. Samtidig opnås en række positive sideeffekter på klima og lokal rekreativ værdi.

Arter af slægten *Ulva*, herefter kaldet søsalat eller *Ulva* sp., er opportunistiske hurtigtvoksende grønne makroalger, der i områder med høj næringsbelastning danner frit-drivende masseforekomster, de såkaldte "green tides" (Charlier m.fl. 2007; Smetacek og Zingone 2013; Wan m.fl. 2017; Ye m.fl. 2011). De arter af *Ulva*, der danner masseforekomster, har højere vækstrater og højere proteinindhold end andre arter af søsalat (Fort m.fl. 2020). I Danmark ses masseforekomster af søsalat om sommeren i flere lavvandede fjordområder, bl.a. Limfjorden, Mariager Fjord, Odense Fjord, Norsminde Fjord og Roskilde Fjord. Selvom søsalaten binder næringsstoffer i sommerperioden og dermed reducerer næringsstoffernes turn-over, har masseforekomster af søsalat direkte negativ effekt på miljøkvaliteten i de lave fjorde på flere måder: Søsalaten skygger for lyset til havbunden og udkonkurrerer dermed den flerårige vegetation som ålegræs og makroalger (Flindt m.fl. 1997; Valiela m.fl. 1997). Når væksten af søsalat standser sidst på sommeren, går søsalaten i forrådnelse og giver et stort input af organisk materiale til sedimentet. Nedbrydningsprocessen kan bidrage til lokalt iltsvind og produktion af svovlbrinte, som reducerer biodiversiteten i sedimentet (Flindt m.fl. 1997; Valiela m.fl. 1997). Når søsalat nedbrydes anaerobt, frigøres drivhusgasserne metan og lat-tergas, som har et opvarmningspotentiale, der er henholdsvis 25 og 298 gange højere end CO₂. Ud over de negative effekter på det marine økosystem reducerer masseforekomster af søsalat også den rekreative værdi i de ramte fjordområder i kraft af forringet havmiljø og badevandskvalitet såvel som både visuelle gener og lugtgener forbundet med den rådne tang på strandarealerne og i det lave vand (Andersen m.fl. 2019).

Masseforekomster af søsalat kan høstes ved forskellige metoder:

- Sejlende høst, hvor lavbundede både ved hjælp af transportbånd opsamler søsalat flydende i vandsøjlen på dybder større end 0,5-0,8 m. Denne form for opsamling er testet i Skive Fjord i projektet Tang.nu med HedeDanmarks grødehøst-båd (Figur 1).
- Kørende høst, hvor f.eks. maskiner bygget til høst af tagrør kører på lavt vand (lavere end 0,8-1 m's dybde) og opsamler søsalat med et special-tilrettet skærebord/transportbånd (Figur 2). Rørhøstere kører på ballondæk, der reducerer dækkenes tryk på havbunden. Denne teknologi er p.t. ikke testet til høst af søsalat i Danmark, men i projektet Tang.nu er foretaget

prøvekørsel med en rørhøster i Skive Fjord for at vurdere effekten af kørsel på fjordbunden, og der er lavet konstruktionstegninger til et specialdesignet skærebord til opsamling af søsalat med en rørhøstmaskine.

Figur 1. Sejlene høst af søsalat i Skive Fjord, august 2019. Båden bruges normalt til høst af grøde i lavvandede søer. Foto: Michael Bo Rasmussen.



Figur 2. Rørhøster med ballondæk i forbindelse med prøveførsel i Skive Fjord 2018. Foto: Annette Bruhn.



2.2 N- og P-effekt

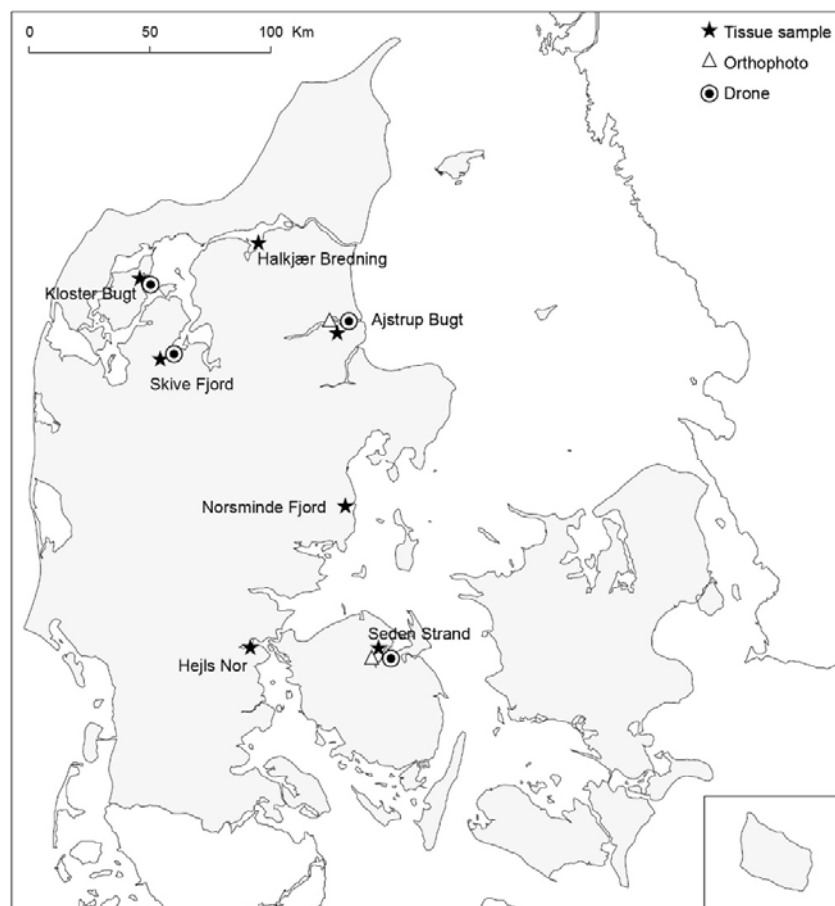
N-effekt

N-effekten af høst af søsalat (angivet i kg N/ha og defineret som den mængde N, der er bundet i søsalat og kan fjernes ved høst) vil afhænge af flere faktorer:

1. Biomassetæthed: tætheden af forekomsten af søsalat (ton vådvægt (VV)/ha),
2. Tørstofindholdet (TS) i søsalaten (% TS af VV), og
3. N-indholdet i tørstoffet (% N af TS).

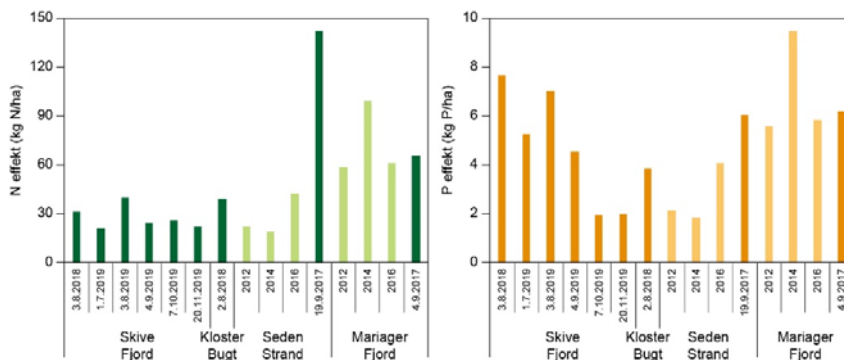
I 2017, 2018 og 2019 er foretaget opmålinger af tætheden af søsalat i flere områder i Danmark: Skive Fjord, Ajstrup Bugt, Klosterbugten og Seden Strand i Odense fjord (Figur 3). I Skive Fjord er opmålingerne gennemført fra april til november 2019, mens der i de øvrige områder er lavet en enkelt opmåling i august-september. Samtidig er biomassens indhold af TS, N, C og P bestemt i biomasse fra de forskellige områder samt fra masseforekomster i Hejls Nor, Halkjær Bredning og Norsminde Fjord. Biomasseestimerne er foretaget ved hjælp af dronebilleder og efterfølgende opmåling og billedbehandling. "Ground truth" data for biomassetætheden er foretaget ved stikprøver på 10 forskellige positioner for hvert område ved hver droneoverflyvning. Søsalaten er fordelt i hele vandsøjlen, og stikprøverne er derfor udtaget med et specialbygget prøvetagningsinstrument gennem hele vandsøjlen på dybder op til 1,5 m. Metoden for billedbehandlingen er siden tilrettet og anvendt på landsdækkende flyfotos (ortofotos) for estimat af biomassetætheden i Ajstrup Bugt og Seden Strand i sommerperioderne i 2012, 2014 og 2016 efter samme metode som ved kortlægning af ålegræsenge (Ørberg m.fl. 2018).

Figur 3. Overblik over områder i Danmark, hvor estimer for N-effekt af høst af eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat er foretaget i projektet Tang.nu.



Den gennemsnitlige beregnede N-effekt ved høst i perioden med masseforekomster af søsalat (juli-november) var $49,5 \pm 35,3$ kg N/ha (Tabel 1). N-effekten varierede mellem lokaliteter og henover året på de enkelte lokaliteter (Figur 4). I Limfjorden blev observeret en N-effekt på mellem 20 og 40 kg N/ha, mens N-effekten var højere i Mariager Fjord (60-108 kg N/ha). Den højeste N-effekt på over 140 kg N/ha blev estimeret ved Seden Strand i Odense Fjord i september 2017 og skyldtes primært et højt N-indhold i biomassen (5,7 % N af TS).

Figur 4. Estimerer for N-effekt (øverst t.v.) og P-effekt (øverst t.h.) i forskellige danske fjordområder, hvor eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat forekommer. Data markeret med lysere farve er baseret på ortofoto, mens de øvrige er baseret på dronebilleder og biomassestikprøver.



Tabel 1. Oversigt over data anvendt til beregninger af N- og P-effekt for høst af søsalat som marint virkemiddel. Der er anvendt to forskellige metoder til estimering af den høstbare biomasse af søsalat: 1) Dronebilleder koblet med stikprøver af biomassetæthed, og 2) billedbehandling af ortofotos. Ved estimerer fra ortofotos (og i et enkelt tilfælde ved dronebilleder) er anvendt gennemsnit for biomasse-sammensætning (juli-november) (markeret med grå skygge). VV=våd vægt. TS=tørstof. Høstdage i området er beregnet ud fra en maksimal daglig høst på 25 ton (se afsnit 6).

Område	Vand-område	Dato	Metode	Testareal (ha)	Total biomasse (ton VV)	Areal-tæthed (ton VV/ha)	Anslåede høstdage	Biomasse sammensætning			Effekt (kg/ha)	
								TS (% of VV)	N (% of TS)	P (% of TS)	N	P
Limfjorden, Skive Fjord	157	3.8.2018	Drone + biom.	21	252	12,0	10	16,99	1,56	0,38	31,7	7,6
		15.5.2019	Drone + biom.	21	1	0,1	0	14,20	1,38	0,04	0,1	0,0
		4.6.2019	Drone + biom.	21	6	0,3	0	10,91	1,38	0,08	0,4	0,0
		1.7.2019	Drone + biom.	21	223	10,6	9	16,39	1,22	0,30	21,2	5,2
		3.8.2019	Drone + biom.	21	458	21,8	18	11,99	1,54	0,27	40,4	7,0
		4.9.2019	Drone + biom.	21	224	10,7	9	16,81	1,37	0,25	24,5	4,5
		7.10.2019	Drone + biom.	21	104	5,0	4	18,34	2,86	0,24	26,0	1,9
		20.11.2019	Drone + biom.	21	131	6,2	5	15,10	2,37	0,24	22,3	2,0
Limfjorden, Kloster Bugten, Nykebing Mors	156	2.8.2018	Drone + biom.	26	286	11,0	11	16,94	2,13	0,21	39,7	3,8
Limfjorden, Halkjær Bredning	156	24.8.2018	Biomasse					17,38	3,94	0,31		
Odense Fjord,	93	2012	Ortofoto	43	267	6,2	11	16,66	2,32	0,24	23,9	2,4
Seden Strand		2014	Ortofoto	13	70	5,4	3	16,66	2,32	0,24	20,8	2,1
		2016	Ortofoto	18	214	11,9	9	16,66	2,32	0,24	45,9	4,7
		19.9.2017	Drone + biom.	29	371	12,8	15	19,50	5,70	0,24	142,3	6,0
Mariager Fjord,	160	2012	Ortofoto	147	2428	16,5	97	16,66	2,32	0,24	63,7	6,5
Åstrup Bugt		2014	Ortofoto	41	1148	28,0	46	16,66	2,32	0,24	108,0	11,0
		2016	Ortofoto	82	1410	17,2	56	16,66	2,32	0,24	66,4	6,8
		4.9.2017	Drone + biom.	93	2399	25,8	96	15,90	1,80	0,15	65,6	6,2
		26.5.2018	Biomasse					11,40	2,55	0,18		
		30.7.2018	Biomasse					22,83	1,03	0,14		
Norsminde Fjord	146	7.9.2017	Biomasse					18,30	2,80	0,25		
Højs Nor/Højsminde Nor	109	5.9.2018	Biomasse					15,38	1,77	0,16		
Gennemsnit, samtlige data						11,8	16,15	2,20	0,21	43,7	4,6	
SD, samtlige data						8,0	3,07	1,21	0,09	36,9	2,9	
Gennemsnit, høst juli - november						13,4	16,66	2,32	0,24	49,5	5,2	
SD, høst juli - november						7,2	2,86	1,25	0,07	35,3	2,5	

I Skive Fjord 2019 ses, at N-effekten er størst ved høst i august, men er stabil gennem sommer- og efterårsperioden (juli til november) (Figur 4). Generelt følger N-effekten biomassetætheden, og N-indholdet varierer i mindre grad. Dog opvejer et højt N-indhold i oktober og november en reduceret biomassetæthed (Tabel 1).

Biomassetætheden af søsalat blev estimeret til $11,8 \pm 8,0$ ton VV/ha, når samtlige observationer (drone- og ortofotos) blev medregnet, mens den blev estimeret til $13,4 \pm 7,2$ ton VV/ha, når kun opmålinger i sommerperioder (juli-november) med masseforekomst af søsalat blev medregnet. N- og P-effekterne er beregnet på baggrund af data indsamlet i perioder med masseforekomster og udelukker således forårsperioden (maj-juni).

I høstperioden var tørstofindholdet $16,7 \pm 2,9$ % TS af VV, N-indholdet var $2,3 \pm 1,3$ % N af TS med $5,7$ % N af TS som den højeste værdi observeret (Seden Strand, september 2017) og $1,03$ % N af TS som den laveste (Mariager Fjord, juli 2018).

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 beregnede N-effekt ved høst i perioden med masseforekomster af søsalat (juli-november) var $5,2 \pm 2,5$ kg P/ha (Tabel 1). Også P-effekten varierede mellem lokaliteter og henover året på de enkelte lokaliteter (Figur 4). I Limfjorden og ved Seden Strand sås en P-effekt på 2-7,6 kg P/ha, mens P-effekten generelt var højere i Mariager Fjord (6-11 kg P/ha). Her blev den højeste P-effekt på 11 kg P/ha estimeret i sommeren 2014 på baggrund af en høj biomassetæthed på 28 ton VV/ha (den højeste biomassetæthed estimeret).

I Skive Fjord 2019 var P-effekten – ligesom N-effekten – størst ved høst i august og aftog herefter fra august til november (Figur 4). Generelt fulgte P-effekten biomassetætheden, mens P-indholdet i biomassen kun varierede i begrænset omfang.

I høstperioden (juli til november) var P-indholdet i søsalat $0,24 \pm 0,07$ % P af TS med $0,38$ % P af TS som den højeste værdi observeret (Skive Fjord, august 2018) og $0,04$ % P af TS som den laveste (Skive Fjord, maj 2019). P-indholdet i søsalat er omvendt proportional med saliniteten i vækstområdet, hvilket betyder, at P-indholdet i søsalat er højere i områder med stor ferskvandspåvirkning (Christiansen 2018).

Effekt i tid og rum

Høst af søsalat vil udelukkende kunne implementeres som virkemiddel i områder, hvor eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat findes. Dvs. at der er mulighed for geografisk målretning af virkemidlet mod lavvandede fjordområder med begrænset vandudskiftning og stor påvirkning fra udledning af næringsstoffer fra land. Tidsmæssigt er både N- og P-effekten størst sommer og efterår (juli-november), da det er her biomassetætheden topper.

Høst af søsalat vil ikke være 100 % effektiv i et givent område, fordi søsalat kan være fordelt i vandsøjlen, og de beskrevne høstmetoder vil efterlade søsalat, der går over/under/forbi transportbåndet. Endvidere er den frit-drivende søsalat underlagt vandbevægelser med vind og strøm og lader sig derfor ikke klippe i nydelige baner som en græsplæne. Endelig vil det i de fleste tilfælde kræve mange dages arbejde at høste al søsalat, selv i et begrænset fjordområde (tabel 1). Dette betyder tilsammen, at en høstproces ikke fuldstændigt fjerner, men ”tynder ud i” forekomsten af søsalat i et givet område. Den tilbageblevne søsalat vil vokse videre og vil derved fortsat binde flere næringsstoffer. Et område vil derfor formentlig kunne høstes gentagne gange i løbet af en sæson og samtidig opretholde en høj kapacitet for binding af næringsstoffer henover sommeren og efteråret. Systemet kan på den måde sammenlignes med dyrkning af søsalat, hvor jævnlig høst og vedligeholdelse af en optimal biomassetæthed sikrer optimal produktion og derved maksimerer N- og P-effekten (Bruhn m.fl. 2011).

Overlap i forhold til andre virkemidler

Høst af søsalat vil udelukkende kunne implementeres i lavvandede fjorde, hvor eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat udgør et problem.

På vandområde-niveau kan der være overlap mellem virkemidler, da fjordområder generelt kan være egnet til implementering af både opdræt af muslinger og dyrkning af sukkertang på dybere vand og udplantning af ålegræs og høst af søsalat på lavt vand. Hvor der umiddelbart ikke kan være overlap i tid og sted mellem høst af søsalat og udplantning af ålegræs, kan der være overlap i både tid og sted (vandområde) mellem høst af søsalat og opdræt af muslinger og dyrkning af sukkertang.

Sikkerhed på data

Sikkerheden på data for N- og P-effekt er middel, da undersøgelser af biomassetæthed og analyser af indholdsstoffer er foretaget i flere relevante områder i Danmark, men primært over en enkelt sæson (Tabel 1). Usikkerhed på bestemmelse af biomassetætheden ved hjælp af drone billeder og ortofotos skønnes i forbindelse med bestemmelse af dækningsgraden af ålegræs at være relativt lille (Ørberg m.fl. 2018), men da biomassetæthed af søsalat ud over udbredelsesarealet har en tredje dimension i dybden, bør usikkerheden yderligere kvantificeres, især ved dybder over 1,5 m, hvor biomassetætheden pr areal p.t. potentielt er underestimeret. Dette vil ske i GUDP-projektet SeaSusProtein (2020-2024).

Tidshorisont for at skaffe data, hvis disse ikke findes.

Bestemmelse af usikkerhed på biomasseestimat ud fra billedbehandling
Senest ultimo 2024 i GUDP-projektet, SeaSusProtein, 2020-2024.

2.3 Forudsætninger og potentiale

Forudsætninger

Den primære forudsætning for anvendelse af virkemidlet skal være tilstedeværelse af eutrofieringsbetingede masseforekomst af søsalat med negative konsekvenser for havmiljø, klima og rekreativ værdi (Andersen m.fl. 2019).

Der skal tages hensyn til flerårig vegetation, fredninger, naturbeskyttelse og andre restriktioner for adgang til de pågældende fjordområder.

Potentiale

Eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat er dokumenteret i flere vandområder med lavvandede fjorde, bl.a. flere områder i Limfjorden, Mariager Fjord, Odense Fjord, Roskilde Fjord og Norsminde Fjord. Alene i de 4 hot-spot områder, hvor potentialet blev kortlagt i august og september 2019 (Tabel 1): Skive inderfjord (21 ha), Ajstrup Bugt i Mariager Fjord (93 ha), Klosterbugt i Limfjorden (26 ha) og Seden strand i Odense Fjord (29 ha), var den potentielt høstbare biomasse på 3.500 ton VV. Idet en flydende høstmaskine anslås at kunne høste op til 25 ton VV om dagen, svarer dette til 140 årlige høstdage. HedeDanmark anslår, at én maskine har kapacitet til 90 høstdage om året. Således svarer de høstbare mængder i disse 4 begrænsede områder til kapaciteten for 1-2 maskiners arbejde hele sommerperioden. Hertil kommer, at det samme fjordområde formentlig vil kunne høstes flere gange på en sommer, idet det antages (som tidligere nævnt), at søsalaten vil fortsætte med at vokse, så længe der er næringsstoffer og lys tilgængeligt. Udvikling af en optimal høststrategi er nødvendig.

Anvendelse af den høstede søsalat

Den høstede søsalat repræsenterer en værdi, idet den både indeholder protein og bioaktive stoffer (bl.a. antioxidanter og polysakkarider), og den kan udnyttes til fødevarer, foder, ekstraktion af protein og højværdistoffer, biogasproduktion og/eller gødning afhængig af biomassens kvalitet (Kazir m.fl. 2019; Bruhn m.fl. 2011; Kidgell m.fl. 2019; Charlier m.fl. 2008; Wijesekara m.fl. 2011; Dominguez og Loret 2019). 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).

Masseforekomster af søsalat høstes allerede i stor skala, bl.a. i Bretagne i Frankrig (100.000 ton VV/år) (Charlier m.fl. 2008), hvor biomassen understøtter en produktion af dyrefoder, biostimulanter og gødningsprodukter hos firmaerne CEVA og Olmix. Potentialet for værdiskabelse af den høstede danske søsalat til fødevarer eller foder bliver vurderet i flere danske projekter (se afsnit 2.7).

Søsalat kan, hvis ikke anden anvendelse er mulig, udnyttes til produktion af biogas (Briand og Morand 1997; Bruhn m.fl. 2011). Den afgassede biomasse vil indeholde næringsstoffer og mineraler og kan efterfølgende anvendes til gødning.

2.4 Udfordringer i forhold til kontrol og administration

Høst af eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat skal udelukkende kunne ske på baggrund af en tilladelse fra de rette myndigheder.

Samtidig 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 biomasseopsamling, eller om gennemsnitlige værdier for område og årstid kan anvendes til beregning af N- og P-effekt.

Et system for dokumentation af effekter på det lokale økosystem bør udvikles.

Idet høst af søsalat ikke har status af NP-virkemiddel, og derfor ikke kan indgå i reguleringen, skal det afgøres, om, og i givet fald hvordan, operatøren kan kompenseres for N- og P-fjernelse.

2.5 Sideeffekter

Natur og miljø (herunder marine kvalitetselementer)

Positive effekter

Sigtdybde. Når søsalat høstes, vil det både direkte og indirekte øge sigtdybden. Direkte fordi søsalat ligger fordelt i vandsøjlen og derved skygger for bentisk vegetation. Indirekte vil reduktion af næringsstoffer i miljøet føre til reduceret primærproduktion og fytoplanktonbiomasse i vandsøjlen og derved øget klarhed af vandet. I forbindelse med høst af søsalat kan der være risiko for midlertidig reduktion af sigtdybden pga. resuspension af sediment.

Fytoplankton/klorofyl. Idet høst af søsalat vil fjerne næringsstoffer fra det marine miljø, vil færre næringsstoffer være tilgængelige for planktonproduktion i vandsøjlen. Dermed vil klorofylkoncentrationen i vandsøjlen forventes

ligt reduceres, og sigtddybden øges. Der foreligger p.t. ikke data eller modelberegninger for effekten af høst af søsalat på fytoplanktonproduktion eller klorofyl.

Ålegræs og flerårige makroalger. Masseforekomster af søsalat findes i lavvandede fjorde og forringer her livsbetingelser for ålegræs og flerårige makroalger, idet den hurtigtvoksende søsalat effektivt optager næring og ved sin udbredelse i vandsøjlen og så udkonkurrerer den bentiske vegetation mht. lys (Valiela m.fl. 1997). Ved høst af søsalat vil lysforhold, og dermed livsvilkår, bedres for den flerårige bentiske vegetation. I områder med masseforekomster af søsalat vil sedimentet typisk have et højt indhold af organisk materiale, hvilket forringer forankringsmulighederne for ålegræs. Selvom høst af søsalat kan reducere den organiske belastning i sedimentet, vil nedgang i tilførslen af organisk materiale til sedimentet kun langsomt forplante sig til sedimentets samlede organiske pulje og derigennem ålegræssets forankringsmuligheder (Høgslund m.fl. 2019).

Bundfauna. Eutrofierede fjordområder har høj tilførsel af organisk materiale til sedimentet, og bundfaunaen i sedimentet er derfor ofte domineret af få arter med lav følsomhed og stor tolerance over for forstyrrelser i miljøet (lavt DKI) (Josefson m.fl. 2009). Som nævnt oven for kan høst af søsalat reducere den organiske belastning i sedimentet, men en nedgang i tilførslen af organisk materiale til sedimentet vil kun langsomt forplante sig til sedimentets samlede organiske pulje. Undersøgelser i Skive Fjord i forbindelse med høstforsøg bekræfter en relativt lav artsdiversitet i området med masseforekomst af søsalat, et DKI på grænsen mellem moderat og god tilstand (0,55), og en høj forekomst af dyndsnegle, som associeres med høj sedimentation af organisk materiale (Bruhn m.fl., upublicerede data).

Potentielt negative effekter

Epifauna i søsalaten. Ved høst af søsalat er der risiko for samtidig at høste de marine organismer, der lever i søsalaten. I Skive Fjord blev biomassen af epifauna undersøgt tre gange fra midt august til midt september 2018. I søsalaten blev opgjort mellem 10 og 30 g epifauna pr. kg søsalat (VV) fordelt på 10-15 arter, primært snegle og muslinger. Biomassen af epifauna var højest ved første prøvetagning midt i august. Biomassen blev domineret af but dyndsnegl (*Hydrobia ventrosa*), som udgjorde omkring 50% af epifauna biomassen. But dyndsnegl forekommer i højt antal i lavvandede fjorde og udgør en del af fødegrundlaget for ænder og vadefugle (Siegismund 1982). Hvorvidt høst af søsalat vil have en effekt på biomasse/antal af but dyndsnegl i et omfang, hvor det også vil have en effekt på bestanden af ænder og vadefugle i områder med masseforekomster af søsalat, vides ikke. Forekomst af epifauna i den høstede biomasse kan derimod være en udfordring i den mekaniske forarbejdning af biomassen og for anvendelsen af biomassen til fødevarer.

Ålegræs og flerårige makroalger. Hvis høst af søsalat foretages i et område med ålegræs eller flerårige makroalger, er der risiko for samtidig delvist at høste den flerårige bentiske vegetation. Derfor kan høst af søsalat ikke anbefales i områder med flerårig bentisk vegetation.

Resuspension og lysforhold. Resuspension ved både flydende og kørende høst kan have kortvarig negativ effekt på lysindstrålingen

Bundfauna. Mekanisk påvirkning ved høst kan potentielt have negative effekter på bundfauna.

Klima

CO₂. Søsalat lever ved fotosyntese og optager og binder således CO₂ i biomassen. Hvert ton søsalat tørstof indeholder 238 ±42 kg C, svarende til optag og binding af 873 ± 155 kg CO₂.

Andre drivhusgasser. Hvis man høster søsalat før det rådner, vil det indebære undgåede emissioner af både metan og lattergas, og man vil således opnå endnu en positiv klimaeffekt ved høst af søsalat (Bruhn m.fl., upublicerede data). Omfanget af de undgåede emissioner vil blive kvantificeret i projektet SeaSusProtein.

Indirekte klimaeffekt. Laboratorieforsøg har vist, at søsalat har potentiale for at reducere metanproduktionen i vommen på køer med op til 50% (Machado m.fl. 2014). Den mulige klimagevinst i form af reduceret CO₂-udledning fra landbrugets kvægproduktion vil blive kvantificeret i projektet ClimateFeed.

Pesticider

Ikke undersøgt. Viden foreligger ikke.

Øvrige (f.eks. visuelle gener)

Høst og fjernelse af søsalat, før det rådner på stranden eller på lavt vand, vil forbedre den rekreative værdi i de pågældende fjordområder, primært pga. reduktion/fjernelse af visuelle gener og lugtgener samt øget kvalitet af badevand (Andersen m.fl. 2019).

2.6 Økonomi

Forudsætninger for beregninger

Omkostningerne for høst af søsalat er beregnet på baggrund af testhøst med høstbåde, som aktuelt bruges af HedeDanmark til høst af grøde i lavvandede søer. Det er antaget, at man kan høste i 90 dage om året (sommer og efterår), at man kan høste 25 ton VV om dagen, og at en høstbåd i gennemsnit opholder sig 22 dage på en lokalitet. I omkostningerne er medregnet investeringsudgifter for anskaffelse af høstbåd og driftsudgifter, som inkluderer vedligehold af høstbåd (timer og materialer), udgifter til opstart og høst, skylning/vask og transport mellem høstlokaliteter, isætning i havn, havnepenge, løn til bådfører, brændstofudgifter til båd, krantimer til aflæsning af søsalat fra høstbåd til container på havnen, leje af containere samt transport og aflæsning af biomasse hos lokal aftager. Priser for anskaffelse og drift af høstmaskinen er indhentet hos HedeDanmark, priser for havnerelaterede udgifter er indhentet hos Skive Havn, mens udgifter til containere, transport og aflæsning er indhentet hos vognmand Bjarne Larsen i Skive. Nutidsværdien er i den velfærdsøkonomiske analyse beregnet ved at anvende en kalkulationsrente på 4 %, jf. Finansministeriets vejledning (Finansministeriet 2017, 2019).

Høst af søsalat som virkemiddel er opgjort som budget- og velfærdsøkonomiske omkostninger. De priser, der indgår i en budgetøkonomisk opgørelse, opgøres i faktorpriser, som virksomhederne (her høstvirksomheden) faktisk skal betale. Faktorpriserne (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 for-

bindelse med samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger (Finansministeriet, 2019), og for sammenligning af omkostningseffektivitet mellem virkemidler (f.eks. mellem høst af søsalat 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.

Den samlede årlige mængde høstbar N- og P- er beregnet ud fra en antagelse om 90 årlige høstdage med en høst på 25 ton søsalat (VV) om dagen. I beregningerne er anvendt et gennemsnit for N- og P-indholdet i den høstede søsalat fra de undersøgte områder i perioden juli til november (Tabel 1).

Beregnet omkostningseffektivitet

For kvælstoffjernelse er den budgetøkonomiske omkostningseffektivitet for høst af søsalat beregnet til 103 kr./kg N, mens den velfærdsøkonomiske omkostningseffektivitet er beregnet til 132 kr./kg N.

For fjernelse af fosfor er den budgetøkonomiske omkostningseffektivitet for høst af søsalat beregnet til 1049 kr./kg P, mens den velfærdsøkonomiske omkostningseffektivitet er beregnet til 1343 kr./kg P.

Andre betragtninger omkring omkostningseffektivitet

Virkemidlet kan drives kommercielt enten af den relevante kommune eller af selvstændige operatører, som kan videresælge den høstede biomasse eller selv processere den. I denne rapport er kun estimeret omkostningerne for høst af søsalat (up-stream processer). De potentielle indtægter for salg af den høstede biomasse (down-stream processer) er ikke inkluderet i beregningerne af virkemidlets omkostningseffektivitet, da der p.t. ikke er et etableret marked for søsalat i Danmark. Der er dog stor opmærksomhed på potentialet i at udnytte søsalat til fødevarer, dyrefoder, proteinproduktioner, enten i frisk eller forarbejdet form. Flere ny-opstartede projekter undersøger og dokumenterer søsalats værdi til foder og fødevarer (se afsnit 2.7 herunder).

2.7 Manglende viden

Der eksisterer flere videnshuller omkring søsalat som marint virkemiddel.

Omfang af masseforekomster af søsalat i danske fjorde. I de undersøgelser, der ligger til grund for data i dette kapitel, er undersøgt masseforekomster af søsalat i enkelte danske hot-spots. Der mangler et overordnet estimat for omfanget af eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat i danske fjorde samt for den tidlige og rumlige variation af disse masseforekomster. Dette vidensbehov dækkes ikke af igangværende projekter.

Metoder til estimat af høstbar biomasse. Vurderingen af høstbar biomasse ud fra dronebilleder og ortofotos kan optimeres, så mere nøjagtige estimater opnås. Dette vil blive undersøgt i Skive Fjord i projektet SeaSusProtein, der er støttet af GUDP (2020-2024).

Miljømæssige konsekvenser af opsamling af søsalat for sedimentkemi, bundfauna, resuspension, tryk på bund og undgåede emissioner af klimagas-serne metan og lattergas vil delvist blive undersøgt i Skive Fjord i projektet SeaSusProtein, der er støttet af GUDP (2020-2024).

Høstteknologi med sejlene maskiner vil blive testet og optimeret i Skive Fjord i projektet SeaSusProtein i samarbejde med HedeDanmark og Skive Kommune med fokus på både miljøkonsekvenser og økonomisk effektivitet. Effekt, udbytte og konsekvenser af høst med kørende maskiner bliver ikke testet eller videreudviklet i aktuelle projekter.

Værdiskabelse på baggrund af høstet søsalat vil også blive undersøgt i SeaSusProtein med fokus på ressourceoptimeret processering og ekstraktion af protein af høj kvalitet til fødevarer og foder. Fra Tang.nu (Villum Fonden og Velux Fonden 2017-2020) kommer resultater på effekten af søsalat på tarm-sundheden hos smågrise og kalve, mens projektet ClimateFeed (Innovations-fonden, 2019-2023) undersøger, om søsalat i foderet til kvæg kan reducere me-tanproduktionen og derved bidrage til at sænke landbrugets CO₂-emissioner. Viden vil foreligge ultimo 2024. Fødevarer og fodersikkerhed samt mulighed for økologisk kontrol undersøges i projektet Tang.nu, 2017-2020 (Villum Fon-den og Velux Fonden 2017-2020). Viden vil foreligge ultimo 2020.

På baggrund af de nævnte projekter bliver de samlede miljø- og klimagevin-ster ved høst af søsalat som virkemiddel dokumenteret i en Livscyklusvurde-ring (LCA).

2.8 Opsummering

Høst af eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat vil potentielt kunne have en direkte habitatrestaurerende effekt i lavvandede fjordområder. Høst af søsalat vil øge sigtddybden og lysnedtrængningen til bunden, både di-rette og indirekte gennem reduceret næringsstofbelastning og heraf følgende reduktion i klorofyl a koncentrationen i vandsøjlen. Dette vil give forbedrede lysbetingelser for naturlig vækst af både ålegræs og flerårige makroalger og for naturgenopretning ved f.eks. genplantning af ålegræs. Høst af søsalat kan reducere lokal forekomst af iltsvind og derigennem forbedre biodiversiteten i bundfauna (Tabel 2).

Høst vil samtidig fjerne N og P fra næringsbelastede lavvandede fjordområ-det (Tabel 3) og gøre næringsstofferne tilgængelige som f.eks. proteiner i fø-devarer og foder. Samtidig vil den søsalat, der forbliver i systemet under og efter høst, fortsætte med at vokse i sommerperioden og derved binde mere N og P. Således vil N- og P-bindingskapaciteten formentlig ikke svækkes ved høst.

Ved at høste søsalaten før den rådner, og de bundne næringsstoffer igen bliver frigivet til systemet, vil man, udover at undgå remineralisering af næringsstof-fer, også undgå emissioner af de potente drivhusgasser metan og lattergas (Ta-bel 2).

Høst af søsalat vil potentielt kunne drives på kommerciel basis. Salg af bio-massen er ikke inkluderet i de økonomiske beregninger (Tabel 3).

Tabel 2. Effekter på miljø og klima ved høst af eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat.

Effekter	Natur og miljø	Klima	Øvrige
Høst af eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat	+/(-)	+	+

Tabel 3. Effekter i form af N- og P-fjernelse for høst af eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat, overlap med andre virkemidler, om virkemidlet kan times i tid og rum og sikkerhed på effekten. Effekten er vurderet i flere danske fjordområder (Figur 3). Data er angivet som gennemsnit (GS) ± standard deviation (SD). Vurdering af datasikkerhed på effekter er udført som for marine virkemidler (Bruhn m.fl. 2020), hvor "God" (***) inkluderer data fra flere danske vandområder over flere sæsoner; "Middel" (**) inkluderer data fra et enkelt dansk vandområde over flere sæsoner eller fra flere danske vandområder over en enkelt sæson; og "Lav" (*) inkluderer data fra et enkelt dansk vandområde over én sæson.

Effekt og sikkerhed

Virkemiddel	N-effekt (AV±SD)	P-effekt (AV±SD)	Overlap	Kan times i tid og rum	Datasikkerhed	Økonomi uden salg
Høst af eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat	49,5 ± 35,3 kg N/ha (Min-max: 20,8-142,3 kg N/ha)	5,2 ± 2,5 Kg P/ha (Min-max: 1,9-11,0 kg N/ha)	Ja	Ja	Middel (**)	Budgetøkonomisk: 103 DKR/kg N 1049 DKR/kg P Velfærds-økonomisk: 132 DKR/kg N 1343 DKR/kg P

2.9 Referencer

Andersen MS, Levin G, Odgaard MV (2019) Economic benefits of reducing agricultural N losses to coastal waters for seaside recreation and real estate value in Denmark. *Marine Pollution Bulletin* 140:146-156. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.010>.

Briand X, Morand P (1997) Anaerobic digestion of *Ulva* sp. 1. Relationship between *Ulva* composition and methanisation. *J Appl Phycol* 9 (6):511-524.

Bruhn A, Dahl J, Nielsen HB, Nikolaisen LS, Rasmussen MB, Markager S, Olesen B, Arias C, Jensen PD (2011) Bioenergy potential of *Ulva lactuca*: growth yield, methane production and combustion. *Bioresource Technology*, vol 102.

Bruhn A, Flindt MR, Hasler B, Krause-Jensen D, Larsen MM, Maar M, Petersen JK og Timmermann K. 2020. Marine virkemidler – beskrivelse af virkemidlernes effekter og status for vidensgrundlag. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 122 s. Videnskabelig rapport nr. 368 <http://dce2.au.dk/pub/SR368.pdf>

Charlier RH, Morand P, Finkl CW (2008) How Brittany and Florida coasts cope with green tides. *International Journal of Environmental Studies* 65 (2):191-208. doi:10.1080/00207230701791448.

Charlier RH, Morand P, Finkl CW, Thys AC (2007) Dealing with green tides on Brittany and Florida coasts. *Progress in Environmental Science and Technology*, Vol I:1435-1441.

- Christiansen ER (2018) The potential of *Ulva* for bioremediation and for food and feed. Masters Thesis, Danish Technical University, National Food Institute.
- Det Bioøkonomiske Panel (2019) Proteiner for fremtiden. Miljøstyrelsen.
- Dominguez H, Loret EP (2019) *Ulva lactuca*, A Source of Troubles and Potential Riches. *Marine Drugs* 17 (6):357.
- Finansministeriet 2017: Vejledning i samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger.
- Finansministeriet 2019: Dokumentationsnotat om opgørelse af nettoafgiftsfaktoren. Notat, 26. april 2019.
- Flindt MR, Kamp-Nielsen L, Marques JC, Pardal MA, Bocci M, Bendoricchio G, Salomonsen J, Nielsen SN, Jorgensen SE (1997) Description of the three shallow estuaries: Mondego River (Portugal), Roskilde Fjord (Denmark) and the Lagoon of Venice (Italy). *Ecological Modelling* 102 (1):17-31. doi:10.1016/s0304-3800(97)00092-6.
- Fort A, Mannion C, Fariñas-Franco JM, Sulpice R (2020) Green tides select for fast expanding *Ulva* strains. *Science of The Total Environment* 698:134337. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134337.
- Høgslund S, Carstensen J, Krause-Jensen D, Hansen JLS (2019) Sammenhænge i det marine miljø - Betydning af sedimentændringer. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 74 s - Videnskabelig rapport nr 323.
- Josefson A, Krause-Jensen D, Rasmussen MB, Andersen JH, Henriksen P (2009) Udvikling af indikatorer og tilstandsvurderingsværktøj for marine Natura 2000-områder. Lavvandede bugter og vige. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet 76 s - Faglig rapport fra DMU nr 701 <http://www.dmu.dk/Pub/FR701pdf>.
- Kazir M, Abuhassira Y, Robin A, Nahor O, Luo J, Israel A, Golberg A, Livney YD (2019) Extraction of proteins from two marine macroalgae, *Ulva* sp. and *Gracilaria* sp., for food application, and evaluating digestibility, amino acid composition and antioxidant properties of the protein concentrates. *Food Hydrocolloids* 87:194-203. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.047.
- Kidgell JT, Magnusson M, de Nys R, Glasson CRK (2019) Ulvan: A systematic review of extraction, composition and function. *Algal Research* 39:101422. doi:https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101422.
- Machado L, Magnusson M, Paul NA, de Nys R, Tomkins N (2014) Effects of Marine and Freshwater Macroalgae on In Vitro Total Gas and Methane Production. *PLOS ONE* 9 (1):e85289. doi:10.1371/journal.pone.0085289.
- Siegismund HR (1982) Life cycle and production of *Hydrobia ventrosa* and *H. neglecta* (Mollusca: Prosobrancia). *Marine Ecology Progress Series* 7:75-82.
- Smetacek V, Zingone A (2013) Green and golden seaweed tides on the rise. *Nature* 504 (7478):84-88. doi:10.1038/nature12860.

Valiela I, McClelland J, Hauxwell J, Behr PJ, Hersh D, Foreman K (1997) Macroalgal blooms in shallow estuaries: Controls and ecophysiological and ecosystem consequences. *Limnol Oceanogr* 42 (5):1105-1118.

Wan AHL, Wilkes RJ, Heesch S, Bermejo R, Johnson MP, Morrison L (2017) Assessment and Characterisation of Ireland's Green Tides (*Ulva* Species). *PloS one* 12 (1):e0169049-e0169049. doi:10.1371/journal.pone.0169049.

Wijesekara I, Pangestuti R, Kim SK (2011) Biological activities and potential health benefits of sulfated polysaccharides derived from marine algae. *Carbohydrate Polymers* 84 (1):14-21. doi:10.1016/j.carbpol.2010.10.062.

Ye N, Zhang X, Mao Y, Liang C, Xu D, Zou J, Zhuang Z, Wang Q (2011) 'Green tides' are overwhelming the coastline of our blue planet: taking the world's largest example. *Ecological Research* 26 (3):477-485. doi:10.1007/s11284-011-0821-8.

Ørberg SB, Groom GB, Kjeldgaard A, Carstensen J, Rasmussen MB, Clausen P, Krause-Jensen D (2018) Kortlægning af ålegræsenge med otrofotos - begrænsninger og muligheder. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 68 s - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr 265.