

Arealanvendelse og bioøkonomi – forudsætninger for og beregninger af 2030 scenarier

Marin biomasse

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 17. marts 2022 | 21



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Kategori: Rådgivningsnotat

Titel: Arealanvendelse og bioøkonomi – forudsætninger for og beregninger af 2030 scenarier

Undertitel: Marin biomasse

Forfattere: Annette Bruhn^{1,2}, Marie Maar^{1,2}, Andreas Michael Holbach^{1,2} & Marianne Thomsen^{2,3,4}
Institutioner: Aarhus Universitet, ¹Institut for Ecoscience, ²Center for Cirkulær Bioøkonomi, ³Institut for Miljøvidenskab og ⁴Københavns Universitet, Institut for Fødevarer

Faglig kommentering: Michael Bo Rasmussen
Kvalitetssikring, DCE: Signe Jung-Madsen

Ekstern kommentering: Notatet sendes ikke til ekstern kommentering

Rekvirent: Notatet er udarbejdet som led i projektet "Arealanvendelse og bioøkonomi". Projektet ledes af Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi (IFRO), Københavns Universitet (KU) med bidrag fra Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning (KU) samt fra Institut for Agroøkologi, Institut for Bio- og Kemiteknologi og Institut for Ecoscience på Aarhus Universitet. Projektet er finansieret af Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (FVM)

Bedes citeret: Bruhn, A., Maar, M., Holbach, A.M. & Thomsen, M. 2022. Arealanvendelse og bioøkonomi – forudsætninger for og beregninger af 2030 scenarier. Marin biomasse. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 21 s. – Fagligt notat nr. 2022 | 21
https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2022/N2022_21.pdf

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Foto forside: Mette Møller Nielsen

Sideantal: 21

Indhold

1	Introduktion	4
	Definition af Marin Biomasse	4
2	Beskrivelse af de tre grundlæggende scenarier for Marin Biomasse	6
	Oversigt over antagelser og konkrete tiltag i de tre grundlæggende scenarier	7
3	Forudsætninger og beregninger	9
	Fremskrivninger af landinger af marin biomasse (Scenarie BAU)	9
	Beregning af mål for kvælstof reduktion (Scenarie B)	13
	Beregning af marint areal udlagt til produktion af vindenergi (Scenarie E)	13
4	Sammenfatning af de tre fremtidige scenarier for produktion af marin biomasse	15
5	Anvendelse af marin biomasse	18
6	Referencer	19

1 Introduktion

I dette notat beskrives forudsætningerne for og beregningerne af de scenarier, der ligger til grund for inddragelse af marin biomasse i notat om '*Arealanvendelse og biomasseproduktion i landbruget – forudsætninger for og beregninger af 2030-scenarier*'. Notatet er færdiggjort d.12.5.2021, og der tages således forbehold for nyere information. Det er beregnet, hvor meget marin biomasse, der kan produceres til bioraffinering i tre scenarier, og hvordan dette vil påvirke arealanvendelse af den danske Exclusive Economic Zone (EEZ) på 105.000 km² (10.5 mio ha). En overordnet dansk havplan kom i offentlig høring d.30.3.2021. Arbejdet med havplanen er koordineret af Søfartsstyrelsen under Erhvervsministeriet. Havplanen skal fastsætte, hvilke havområder i de danske farvande, der kan bidrage til en bæredygtig udvikling af energisektoren til søs, søtransport, fiskeri og akvakultur, indvinding af råstoffer på havet og bevarelse, beskyttelse og forbedring af miljøet, herunder modstandsdygtighed over for konsekvenserne af klimaforandringerne. Havplanen tager endvidere sigte på at bidrage til fremme af bæredygtige rekreative aktiviteter, friluftsliv m.v. Fastsættelsen af mulige aktiviteter inden for de enkelte havområder vil dermed bidrage til bedre rammebetingelser for de maritime erhverv frem imod 2030.

Lov om maritim fysisk planlægning (havplanloven) gennemfører Europa-Parlamentets og Rådets direktiv om rammerne for maritim fysisk planlægning, EU-direktiv 2014/89.

Der er ikke i Havplanen udlagt særlige områder til produktion af tang, hvorimod områder er udlagt til akvakulturproduktion af bl.a. muslinger i vand-søjlen. Havplanen er i offentlig høring i 6 måneder fra 30.3.2021 til d.30.9.2021. Herefter følger en revisionsfase. På tidspunktet for udarbejdelsen af det nærværende notat har det således ikke været muligt at tage højde for hvilke, eller hvor store, arealer, der i havplanen endeligt udlægges til mulig produktion af marin biomasse.

Data til beregning af marin biomasse produktion er baseret på landingsrapporter fra Fiskeristyrelsens Fiskeristatistik (2010-2020), relevante videnskabelige artikler og notater, samt modelberegninger af muslingeproduktionens arealkrav og potentiale for biomasseproduktion og kvælstoffjernelsespotentiale udført i en rumlig GIS-model (Holbach et al. 2020b). Denne model baseres på både feltforsøg, overvågningsdata og en dynamisk energibudget-model for blåmuslinger (Buer et al. 2020) og er grundlaget for modelværktøjet MYTIGATE: <https://au-bios-model.shinyapps.io/MYTIGATE/> (Holbach et al. 2020b).

Definition af Marin Biomasse

I princippet kan marin biomasse defineres som alt organisk materiale produceret i det marine miljø. I dette notat er Marin Biomasse afgrænset til alene at omfatte relevant biomasse, der aktuelt er i produktion eller hvor produktionen er under udvikling, og biomasse, der ikke er omfattet af kvotefiskeri, muslingeskrab eller fiskeopdræt.

Analysen er således baseret på 1) lavtrofisk akvakultur af blåmusling (*Mytilus edulis*) på liner/net til både konsum, og som 'miljømuslinger' som marint

kvælstof virkemiddel; 2) lavtrofisk akvakultur af sukkertang (*Saccharina latissima*); og 3) fiskeri af to ikke-kvote-belagte marine arter: almindelig søstjerne (*Asterias rubens*) og søsalat (*Ulva* sp.), samt 4) discard (udsmid fra fiskeriet) og 5) landinger af andre arter af invertebrater og ikke-kvoterede fiskearter. Data vedrørende 4 og 5 tager udgangspunkt i en nyligt publiceret videnssyntese omkring blå værdikæder (Petersen et al. 2021a).

Frem mod 2030 forventes, at yderligere fuld udnyttelse af eksisterende fiskekvoter og produktion af mikroalger vil bidrage med mindre volumen til den overordnede produktion af marin biomasse i Danmark (Petersen et al. 2021a), men dette er ikke medregnet i indeværende notat.

2 Beskrivelse af de tre grundlæggende scenarier for Marin Biomasse

De tre scenarier for udvikling inden for marin biomasseproduktion og arealanvendelse i det marine miljø frem mod 2030 er defineret så tæt som muligt på de tre grundlæggende scenarier for arealanvendelse på land. Dog er fremtidig udvikling i de marine biomasser ikke beregnet med afsæt i scenarier med henholdsvis 20 % reduktion og 20 % stigning i animalsk produktion. Scenarierne i Biomasse- og Ekstensiveringsscenarioerne påvirker udelukkende biomasseproduktionen af blåmuslinger (miljømuslinger), sukkertang og søsalat. Produktionsvolumen af de øvrige biomasser, linemuslinger til konsum, søstjerner, discard og andre arter af invertebrater og ikke-kvoterede arter, antages at følge samme udvikling i Biomasse- og Ekstensiveringsscenarioerne, som i Business As Usual scenariet.

Scenarie 1: Business As Usual (BAU) 2030: Produktion af relevant marin biomasse er markedsdrevet og trends observeret indenfor perioden 2010 til 2020 er fremskrevet til 2030.

Scenarie 2: Biomasse Scenarie (B) 2030: I tråd med antagelserne for de land-baserede biomasser har dette scenarie den underliggende antagelse, at biomasseproduktionen skal maksimeres og samtidig imødegå vandplanernes målsætning om reduktion i udledning af kvælstof til det marine miljø. Her er således inddraget den antagelse, at Miljøstyrelsen anerkender og implementerer produktion af både blåmuslinger og sukkertang som marine kvælstofvirkemidler i den kommende tredje fase af de nationale vandplaner for 2021-2027 (Bruhn et al. 2020a; Petersen et al. 2021b). Idet vandplanerne endnu ikke ligger i udkast, er antaget at 5 % af de nationale kvælstofreduktioner skal findes ved at implementere marine kvælstofvirkemidler med en 90/10 fordeling af den konkrete kvælstoffjernelse mellem blåmuslinger og sukkertang. I biomassescenariet vil dyrkning af både blåmuslinger og sukkertang placeres i de vandområder, hvor det er muligt at opnå den højeste arealeffektivitet, målt som kvælstoffjernelse (Holbach et al. 2020b; Boderskov et al. 2021).

Scenarie 3: Ekstensiveringsscenario (E) 2030: Ekstensiveringskonceptet fra danske landbrugsjorder er ikke direkte oversætteligt til de danske havarealer. Under den antagelse, at det overordnede formål med ekstensivering er at øge biodiversiteten og levere en række økosystemtjenester, er det marine ekstensiveringsscenario defineret som en implementering af en række naturbaserede løsninger, defineret som (Nature-based Solutions (NbS)): *“Actions to protect, sustainably manage and restore natural or modified ecosystems, which address social challenges (e.g. CC), effectively and adaptively, while simultaneously providing human well-being”* (Cohen-Shacham et al. 2016).

Ekstensiveringsscenariet er for de marine biomasser således beskrevet med implementering af sam-eksistens mellem produktion af vindenergi og produktion af blåmuslinger og sukkertang i tilsammen 10 % af den del af de indre danske farvande (vestlige Østersø/Kattegat/Bælthavet), der allerede er udlagt til, eller hvor der er givet tilladelse til fremtidig, marin energiproduktion (havvindmølleparker). Der er antaget en 50/50 arealmæssig fordeling mellem produktion af muslinger og tang, således at muslinger og tang hver især produceres i 5 % af arealer udlagt til produktion af vindenergi., altså tilsammen i 10 % af arealet. Nordsøen er udeladt af beregningerne under den antagelse,

at dyrkningsteknologien til både tang og muslinger inden for de kommende ti år endnu ikke vil være fuldt udviklet til at kunne implementeres i havområder med betragteligt større eksponering til vind, strøm og bølger.

Områder udlagt til marin energiproduktion er her defineret som havvindmølleparker, der er i drift, under opførsel eller med tilladelse til opførsel frem mod 2030.

I ekstensiveringssceneriet er det ligeledes antaget, at høst af søsalat som habitatrestaurerende virkemiddel kan implementeres i danske fjordområder med eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat, med en forventning om opskalering fra to til fem aktive høstmaskiner på landsplan frem mod 2030 (Bruhn et al. 2020b).

Oversigt over antagelser og konkrete tiltag i de tre grundlæggende scenarier

Scenarie BAU: Business As Usual 2030

1. Ingen grundlæggende ændringer i temperatur, saltholdighed, nærings-tilgængelighed i danske farvande frem mod 2030
2. Aktuel lovgivning om tilladelser til dyrkning af tang og muslinger på dansk søterritorie ændres ikke
3. Aktuel lovgivning omkring fiskeri af søstjerner og søsalat ændres ikke
4. Den kommende Havplan giver mulighed for udnyttelse af det nødvendige marine areal til dyrkning af tang og muslinger
5. Historisk fremskrivning af udbyttestigninger, landinger og areal udlagt til produktion baseres på relevante data inden for perioden 2010-2020
6. Søstjernefiskeriet er fastsat med loft begrundet i udmeldinger om mål for årlig høst på 10.000 ton, som ligger indenfor 20-40 % af den samlede årlige bestandsopgørelse for søstjerner i Limfjorden (Petersen et al. 2021a; Petersen et al. 2016).

Scenarie B: Biomassescenarie 2030

1. Ingen grundlæggende ændringer i temperatur, saltholdighed, nærings-tilgængelighed i danske farvande frem mod 2030
2. Grundlæggende fremskrivning af udbyttestigninger og landinger som i BAU. Dvs. at landinger af søsalat, søstjerner, linemuslinger til konsum, samt discard og andre arter = BAU.
3. Produktion af 'miljømuslinger' og sukkertang som kvælstofvirkemidler implementeres i den kommende tredje generation af de nationale vandplaner (2021-2027)
4. Høst af søsalat som habitatrestaurerende virkemiddel implementeres ikke i den kommende tredje generation af nationale vandplaner (2021-2027)
5. Mål om kvælstofreduktion (N-reduktion) i det marine miljø er endnu ikke endeligt fastlagt (se senere). Vandplaner for 2021-2027 forventes i høring i 2021. Derfor arbejder vi med antagelsen, at mål om N-reduktion i det marine miljø er 13.100 ton N årligt, og vil være fuldt implementeret i 2030
6. Områder til produktion af muslinger og tang som marint virkemiddel udlægges, hvor virkemiddeleffektivitet er størst

7. Produktion af miljømuslinger sker med aktuelt mest afprøvede system (langliner) med antagelse om, at prædation fra edderfugle reduceres til et minimum (Bruhn et al. 2020a)
8. Produktion af sukkertang sker med aktuelt mest cost-effektive system (5 linesystem) (Zhang et al.).

Scenarie E: Ekstensiveringsscenarie 2030

1. Ingen grundlæggende ændringer i temperatur, saltholdighed, nærings-tilgængelighed i danske farvande frem mod 2030
2. Grundlæggende fremskrivning af udbyttestigninger og landinger som i BAU. Dvs. at landinger af søstjerner og linemuslinger til konsum = BAU.
3. Høst af søsalat som et habitatrestaurerende marint virkemiddel implementeres i fjordområder med forekomst af eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat, og høstvolumen opskaleres fra to til fem aktive høstmaskiner på landsplan.
4. Dyrkningsteknologi for blåmuslinger og tang er ikke endnu udviklet til cost-effektivitet i eksponerede havområder (Nordsøen) i 2030. Derfor er arealer med vindmølleparker i den danske del af Nordsøen IKKE inkluderet. Arealerne fordeles mellem tang og muslinger, så den mest optimale arealeffektivitet opnås
5. Arealmæssig kobling af marin energiproduktion, naturbaserede løsninger til at forbedre havmiljø og klima, samt bæredygtig produktion af bioressourcer fremmes politisk for bl.a. at kunne udlægge flere/større arealer til beskyttede områder (Marine protected areas) (en tilgang, der fremmes fx i den hollandske del af Nordsøen, hvor inddragelse af aktiviteter til gavn for havmiljøet er positivt for tilladelse til opførelse af havvindparker (<https://www.power-technology.com/features/offshore-wind-farm-seaweed-wier-north-sea-farmers-aquaculture-farming/>)).

3 Forudsætninger og beregninger

Fremskrivninger af landinger af marin biomasse (Scenarie BAU)

Blåmuslinger

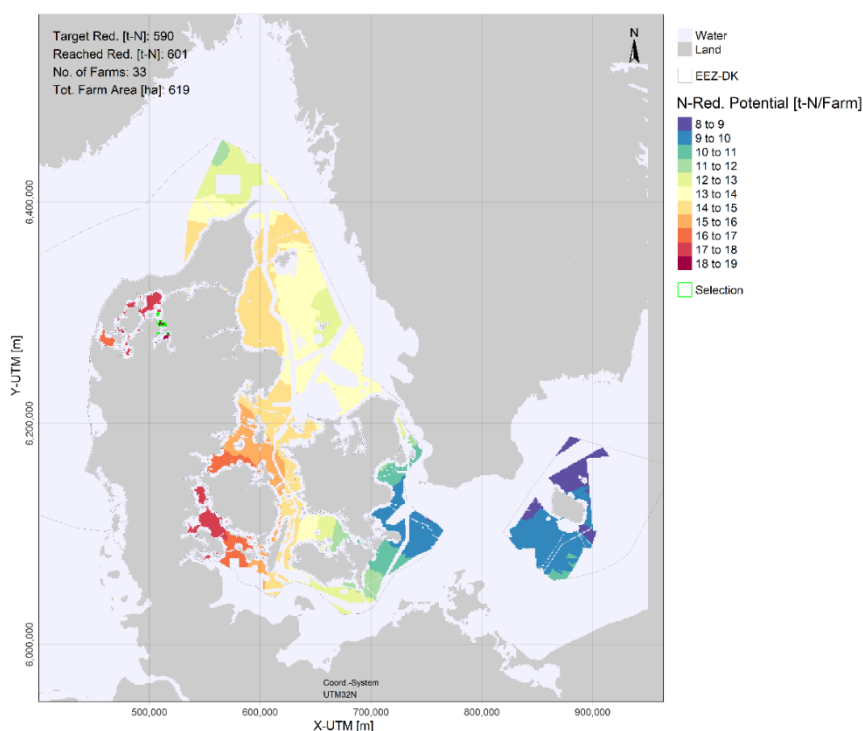
BAU: I danske farvande findes aktuelt licenser til 52 anlæg til dyrkning af blåmuslinger (*Mytilus edulis*), svarende til et samlet areal på 9,2 km², idet et anlæg svarer til 18,8 ha (Petersen et al. 2021b). Heraf er 28 anlæg aktive, med 'aktivitet' defineret som en årlig produktion på >50 ton. I 2020 var produktionen af blåmuslinger 7,3 kton på de 28 aktive anlæg, svarende til 262 ton/anlæg. Det antages, at de 24 øvrige anlæg vil aktiveres frem mod 2030, og at produktiviteten pr. anlæg er konstant. Det giver en produktion i 2030 på 13,6 kton muslinger. Heraf antages, at alene protein fra kødfractionen vil være tilgængelig. Baseret på data fra Nina Gringer, DTU, MuMiPro projektet antages, at kødfractionen udgør 46,8 % af den totale vådvægt (VV), at tørstof (TS) udgør 17,8 % af totalvægten af muslingekødet, samt at proteinindholdet i kødet svarer til 57,3 % af TS. Således vil produktionen svare til 1,1 kton TS/år og 0,65 kton rå-protein/år.

Scenarie B: I biomassescenariet er antaget, at 5 % af den årlige N-reduktion (svarende til 655 ton N/år) i danske farvande skal hentes ved hjælp af marine virkemidler, og at 90 % heraf skal hentes ved dyrkning af muslinger. Under de givne antagelser svarer det til 589,5 ton N/år. Den forventede biomasseproduktion er på den baggrund beregnet ud fra en rumlig GIS-model (MYTIGATE-modellen) (Holbach et al. 2020b; Holbach et al. 2020a), under de antagelser, at muslingeproduktionen lægges på de marine arealer, hvor arealeffektiviteten er størst, og at produktionsformen er langliner til produktion af 'miljø-muslinger' eller 'kompensations-muslinger' (Holbach et al. 2020b; Bruhn et al. 2020a). Idet MYTIGATE-modellen regner i hele muslingeproduktionsanlæg, svarer fjernelsen af N i modellen til 601 ton N, og ikke præcis de 589,5 ton N. Derfor bliver den samlede N fjernelse i B scenariet 5,1 % af den årlige N reduktion. Produktionen af miljømuslinger er antaget at foregå i tilgift til den produktion af konsummuslinger, som er anslået i BAU scenariet. Det giver i alt en årlig produktion på 55 kton muslinger (VV)/år (41 ton miljømuslinger og 14 ton konsummuslinger), svarende i alt til 2,6 kton råprotein/år. Det samlede dyrkningsareal udgør 1.555 ha, svarende til 87 standard anlæg, som alle ville være lokaliseret i Limfjorden, hvis lokalitet skulle vælges ud fra højest N fjernelseeffektivitet (Figur 1). Den årlige arealmæssige produktion for miljømuslingerne er næsten fem gange så høj som for konsummuslingerne - 14,5 ton muslinger (VV)/ha for konsummuslinger og 67 ton muslinger (VV)/ha for miljømuslinger.

Scenarie E: I ekstensiveringsscenariet er, som i B-scenariet, antaget, at produktionen af miljømuslinger vil ske i tilgift til produktionen af konsummuslinger, og at produktionsformen for miljømuslinger er langliner. Men da arealerne til produktion af miljømuslinger i dette scenarie på forhånd er givet som 5 % af de specifikke arealer, der er udlagt til produktion af vindenergi på havet og ikke som i B-scenariet de mest optimale produktionsområder, er arealeffektiviteten lavere for miljømuslingeproduktion i dette scenarie (40 ton muslinger (VV)/ha/år) end i biomassescenariet. Derfor anvendes et relativt større areal på 6.524 ha, til at opnå et årligt udbytte på ialt 234,5 kton muslinger, svarende

til 11,2 kton rå-protein. Produktionen er også her beregnet via den rumlige GIS-model (MYTIGATE modellen) (Holbach et al. 2020b).

Figur 1. Oversigt over N-fjernelseeffektiviteten af produktion af blåmuslinger i danske farvande. De grønne rammer viser, hvor produktionsanlæg til blåmuslinger skulle anlægges, hvis målet om N fjernelse skulle opfyldes mest effektivt, beregnet ud fra en rumlig GIS-model (MYTIGATE modellen) (Holbach et al. 2020b).



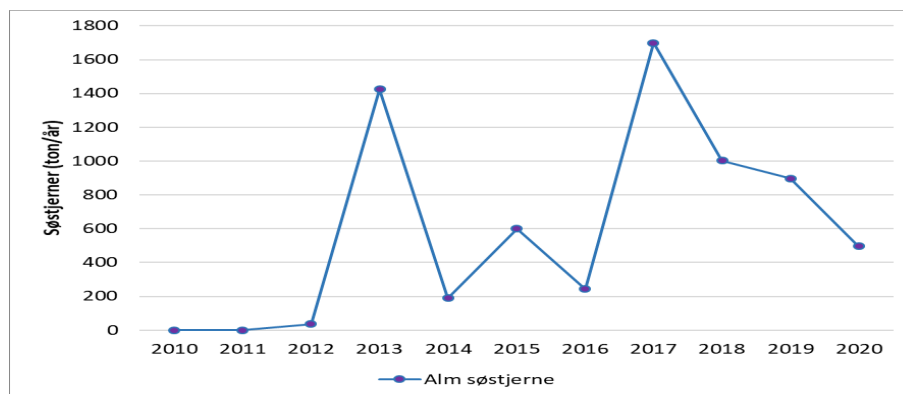
Søstjerner

Almindelig søstjerne (*Asterias rubens*) fiskes i Limfjorden og forarbejdes til søstjernemel, som anvendes til dyrefoder (van der Heide et al. 2018b; Afrose et al. 2016; Nørgaard et al. 2015; van der Heide et al. 2018a). Bestanden i Limfjordens vestlige del er estimeret til mellem 25.000 og 52.000 ton, og varierer både mellem Limfjordens forskellige områder og mellem år (Petersen et al. 2021a; Petersen et al. 2016). Siden 2010 har de årlige landinger svinget mellem 0 og 1.7 kton/år (figur 2) (Danmarks Statistik, Fiskeri og Akvakultur). Det er målet for industrien at nå en årlig landing på 10 kton, hvilket skønnes at være indenfor bestandens bærekapacitet (Petersen et al. 2016).

Landinger af søstjerner i 2030 forventes at have samme omfang i alle tre scenarier (BAU, B og E), da 1) et søstjernerfiskeri på 10 kton forventes at være indenfor bestandens bærekapacitet, og 2) søstjernerfiskeri hverken har status af kvælstof-, fosfor- eller habitatrestaurerende virkemiddel, og derfor ikke påvirkes af forudsætningerne for de to scenarier.

Indholdet af TS i søstjerner er 23 % af VV, mens indholdet af rå-protein er 36 % af TS (van der Heide et al. 2018b). Således svarer en årlig høst på 10 kton søstjerner til 0,8 kton rå-protein.

Figur 2. Landinger af almindelig søstjerne i Limfjorden 2010-2020 (Danmarks Statistik. Fiskeri og Akvakultur).



Sukkertang

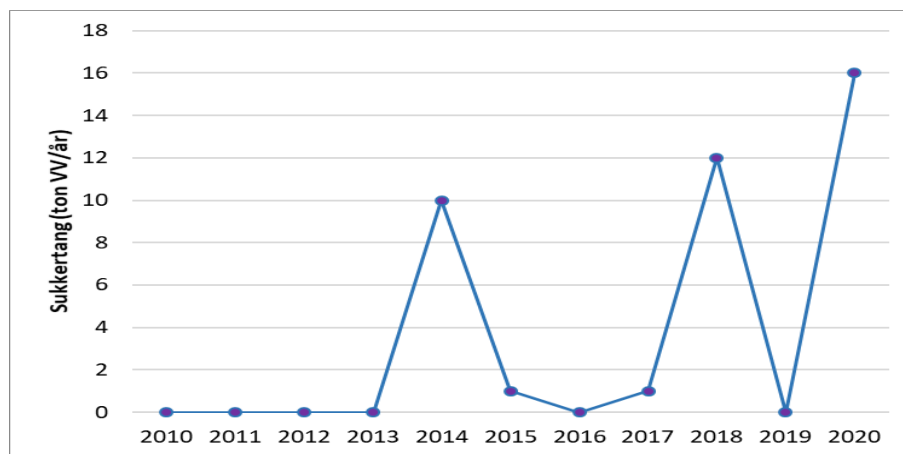
Dyrkning af den store brunalge, sukkertang (*Saccharina latissima*), har været i udvikling i Danmark siden 2008 i samarbejde mellem kommercielle aktører og forskningsinstitutioner (Zhang et al.). De indrapporterede landinger er dog af begrænset omfang, idet en stabil kommerciel produktion med aftagerkæder endnu ikke er etableret (Figur 3).

BAU scenariet: En fremskrivning af produktionen mod 2030 er baseret på antagelser om 1) fuld udnyttelse i 2030 af de arealer, der pt er enten er omfattet af en licens til tangdyrkning eller, hvor licensen på området er i proces, i alt 173,39 ha (Kystdirektoratet, 22.01.2021), og 2) en arealeffektivitet i 2030 svarende til aktuelt bedst ydende system (13,9 ton VV/ha/år) (Zhang et al. ; Bruhn et al. 2020a). Det svarer til 2,4 kton sukkertang (VV)/år. Idet sukkertang høstet i Danmark indeholder ca. 16 % TS (Zhang et al.), som indeholder ca. 10,7 % rå-protein (van der Heide et al. 2021b), svarer 2,4 kton ton VV til 40 ton rå-protein.

Scenarie B: I biomassescenariet er antaget, at 5 % af den årlige N-reduktionen i danske farvande skal hentes ved hjælp af marine virkemidler, og at 10 % heraf skal hentes ved dyrkning af sukkertang. Under de givne antagelser svarer det til 66 ton N/år. Den forventede biomasseproduktion er på den baggrund beregnet ud fra den antagelse, at tangproduktionen lægges på de marine arealer, hvor arealeffektiviteten er størst, og at produktionsformen er det mest arealeffektive system (5-line system) (Zhang et al.). Som for blåmuslinger antages det, at produktionen af sukkertang som marint virkemiddel sker i tilgift til produktionen i BAU scenariet. Det giver i alt en årlig produktion på 13,7 kton sukkertang (VV)/år, svarende til 0,2 kton råprotein/år. Det samlede dyrkningsareal vil udgøre: 1.011 ha, svarende til 56 standard anlæg.

Scenarie E: I ekstensiveringsscenarioet er, som i biomassescenariet, antaget at produktionsformen er 5-linesystemet til produktion af sukkertang, og på trods af, at arealerne i dette scenarie på forhånd er givet som 5 % af de specifikke arealer, der er udlagt til produktion af vindenergi på havet, er arealeffektiviteten sat til samme arealmæssige udbytte som i biomassescenariet. Igen er antaget, at produktionen af sukkertang i vindmølleparkerne sker i tilgift til produktionen i BAU scenariet. Derfor anvendes her et areal på 5.761 ha, til at opnå et årligt udbytte på 78,2 kton sukkertang, svarende til 1,3 kton rå-protein.

Figur 3. Høstdata for sukkertang i Danmark baseret på data fra Danmarks statistik, Fiskeri og Akvakultur (2010-2019) og Hjørnø Havbrug (2020).



Søsalat

Søsalat (*Ulva* sp.) er en hurtigtvoksende, opportunistisk grøn makroalge, der kan danne eutrofieringsbetingede masseforekomster i næringsrige og lavvandede fjorde (Bruhn et al. 2020b). Skånsom høst af søsalat kan anvendes som et habitatrestaurerende virkemiddel med målet at bedre miljøtilstanden i fjordområder med høj grad af eutrofiering (Figur 4) (Bruhn et al. 2020b).



Figur 4. Skånsom høst af søsalat sommeren 2019 med HedeDanmarks grødehøster i regi af projektet SeaSusProtein (GUDP). Foto: Michael Bo Rasmussen.

BAU scenariet og Scenarie B: Her er anvendt en antagelse om, at høst af søsalat til at forbedre den rekreative værdi af fjordområder og til anvendelse af biomassen til eksempelvis grønt protein implementeres i et omfang svarende til, at to høstmaskiner er aktive i Danmark med 90 høstdage om året og en daglig landing på 25 ton VV (Bruhn et al. 2020b). Det vil svare til en årlig landing af søsalat på 4,5k ton VV, som med et tørstof indhold på 16,66 % af VV (Bruhn et al. 2020b) og et rå-protein indhold på 19 % af TS (van der Heide et

al. 2021b) svarende til 0,14 kton rå-protein/år. Høstdata er produceret i regi af forsknings- og udviklingsprojektet: SeaSusProtein (GUDP) (landinger af søsalat 2019 og 2020).

Scenarie E: I ekstensiveringsscenariet er antaget, at skånsom høst af søsalat fremmes som et habitatrestaurerende virkemiddel til bedring af havmiljøet i fjordområder med høj grad af eutrofiering og at antallet af aktive høstmaskiner i Danmark som følge heraf stiger fra 2 til 5 aktive maskiner. Det vil, under i øvrigt samme antagelser som i BAU scenariet, svare til en årlig landing af søsalat på 11 kton VV, svarende til 0,4 kton rå-protein/år.

Discard

De inkluderede data for discard (20.000 ton/år) er baseret på Petersen et al. (2021a)

Andre arter

De inkluderede data for andre arter er baseret på Petersen et al. (2021a), og omfatter østers, stillehavsøsters, konk, taskekrabber, strandkrabber, sortmundet kutling, samt total ikke kvotebelagt fisk.

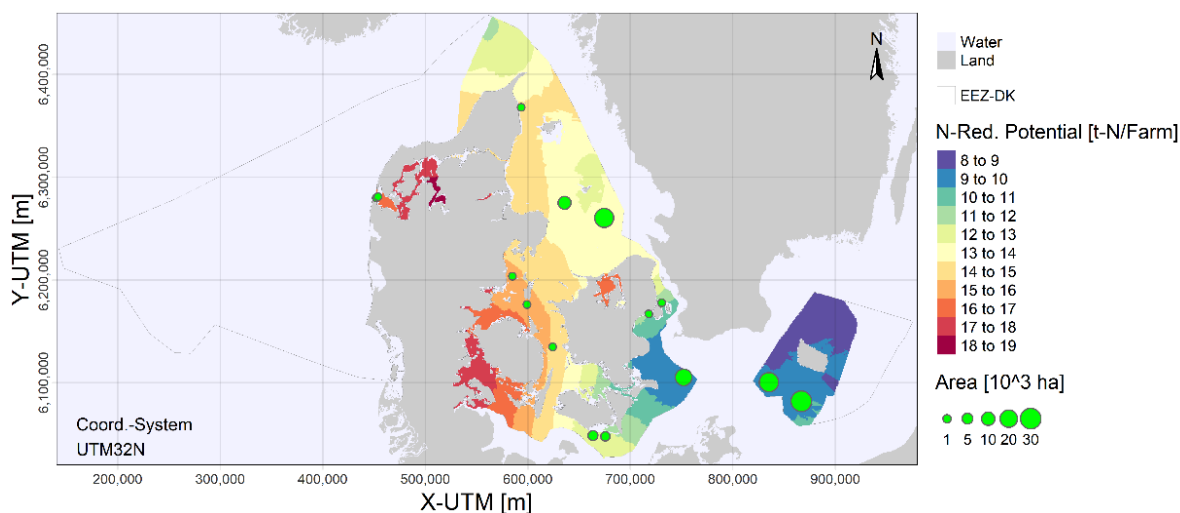
Beregning af mål for kvælstof reduktion (Scenarie B)

Mål for kvælstofreduktion i det marine miljø som resultat af de kommende vandplaner er endnu ikke endeligt vedtaget. Vandplanerne for 2021-2027 forventes i høring i 2021. Derfor arbejdes ud fra antagelsen, at mål om at den ønskede reduktion af kvælstof i det marine miljø er 13.100 ton N årligt. Dette tal er oplyst på et møde d. 6.maj 2021 mellem Miljø og Fødevarerministeriet (MFVM) og danske universiteter om klima- og kvælstofeffekterne i regeringens forhandlingsoplæg til en grøn omstilling af landbruget. På mødet præsenterede MFVM deres landbrugsudspil, herunder de nyeste vurderinger af målbelastning og indsatsbehov. Resultaterne i scenarie B, afhænger således af det beregnede N-reduktionsbehov, og vil derfor blive påvirket, hvis dette ændres i den videre proces.

I scenarie B antages, at 5 % af denne reduktion i N til det marine miljø, svarende til 655 ton N/år, vil skulle fjernes med marine virkemidler, 90 % heraf (589,5 ton N/år) gennem dyrkning og høst af muslinger, og de sidste 10 % heraf (65,5 ton N/år) gennem dyrkning og høst af sukkertang (Bruhn et al. 2020a).

Beregning af marint areal udlagt til produktion af vindenergi (Scenarie E)

Udregninger af produktion og kvælstoffjernelse af muslinger i de udvalgte arealer er foretaget ved hjælp af AU's rumlige GIS-model (Holbach et al. 2020b; Bruhn et al. 2020a; Bruhn et al. 2020b).



Figur 5. Lokationer og arealer udlagt til havvindmølleparker (eksisterende, under opførelse og med tilladelse til opførelse frem mod 2030) i den vestlige del af det Baltiske hav (grønne punkter). Data kilde: HELCOM & Danish Energy Agency (Status 26.2.2021). Samtidig er angivet N-fjernelsepotentialet med muslinger for de aktuelle områder. Her ses, at arealeffektiviteten for N-fjernelse, og muslingeproduktion, falder jo længere ind i Østersøen produktionen anlægges.

Tabel 1. Specifikke arealer udlagt til havvindmølleparker (eksisterende, under opførelse og med tilladelse til opførelse frem mod 2030) i den vestlige del af Østersøen. Data kilde: HELCOM & Danish Energy Agency (Status 26.2.2021)

Navn	Areal (ha)	Status
Bornholm I	25500,173	Planlagt
Bornholm II	29766,661	Planlagt
Hesselø	24681,563	Planlagt
Middelgrunden	0,34	Aktiv
Avedøre Holme	2,185	Aktiv
Kriegers Flak	17900	Under konstruktion
Tunø Knob	32	Aktiv
Frederikshavn Offshore	2,185	Aktiv
Nysted (Rødsand I)	2300	Aktiv
Rønland I	0,315	Aktiv
Samsø	0,315	Aktiv
Sprogø	0,27	Aktiv
Rødsand II	3170	Aktiv
Anholt	8800	Aktiv
Nissum Bredning	0,315	Aktiv

4 Sammenfatning af de tre fremtidige scenarier for produktion af marin biomasse

Bidraget fra marin biomasse i form af blåmuslinger, søstjerner, søsalat, sukkertang, andre arter og discard, forventes at være 98 kton VV i 2030, hvis vi forudsætter Business As Usual (Tabel 2. Figur 6). Hvis produktion af muslinger og tang fremmes fx som konsekvens af anerkendelse og implementering som marine virkemidler til fjernelse og genanvendelse af kvælstof fra havmiljøet, vil produktionen af marin biomasse kunne øges til henholdsvis 151 og 402 kton VV i 2030 i et Biomasse- og Ekstensiveringsscenario (henholdsvis B og E scenarie). I de hér anvendte scenarier vil produktionen af blåmuslinger ligge på henholdsvis 55 og 234 kton friske muslinger, hvilket ligger indenfor den estimerede mulige produktion på ca. 300 kton årligt i danske farvande (Petersen et al. 2021a).

Størstedelen af rå-proteinet, henholdsvis 32 og 62 %, fra marin biomasse i B og E scenarierne vil stamme fra muslinger, svarende til 2,6 og 11,2 kton/år fra henholdsvis B og E scenariet (Tabel 2. Figur 7).

Arealmæssigt vil udrulning af scenarie B kræve 2.902 ha, mens scenarie E vil udnytte 13.124 ha (Tabel 2. Figur 8). Det svarer til kun 0,02 og 0,09 % af den danske EEZ på 105.000 km². Det arealspecifikke udbytte af muslinger er langt højere end af sukkertang. I Scenarie B er dyrkning af både muslinger og tang henlagt til de havområder, hvor der er højest arealeffektivitet. Det er anderledes i scenarie E, hvor arealerne i kraft af de udlagte havvindparker er forudbestemt, og arealeffektiviteten af produktion af muslinger derfor ikke nødvendigvis er optimal i de givne vandområder. I princippet ligger intet til hinder for at implementere Scenarie B og Scenarie E simultant. Dog kan værdierne ikke umiddelbart adderes, da BAU scenariet er inkluderet i begge.

Figur 6. Det årlige udbytte af marin biomasse udtrykt i 1000 ton (kton) tørstof.

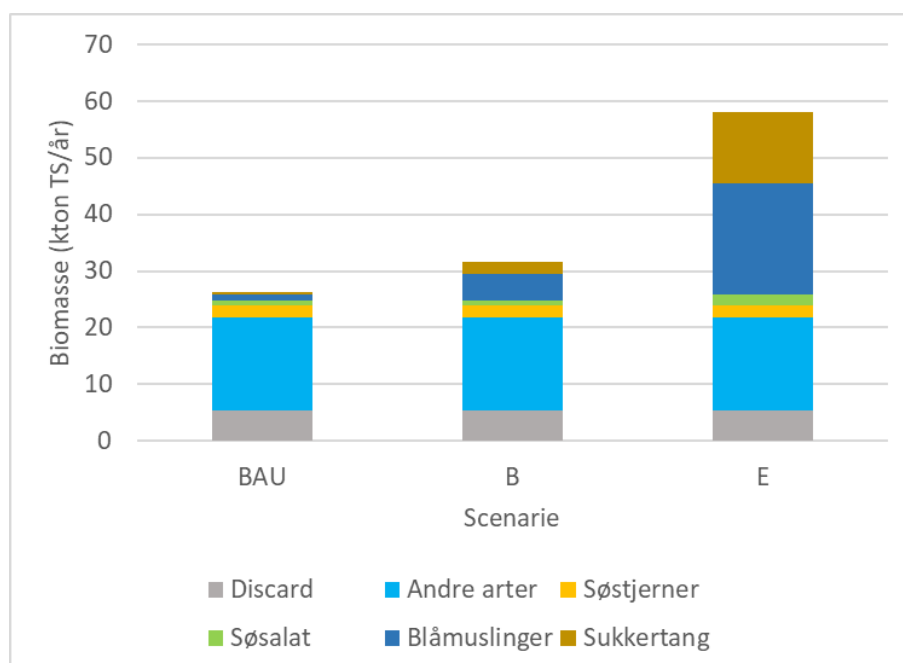
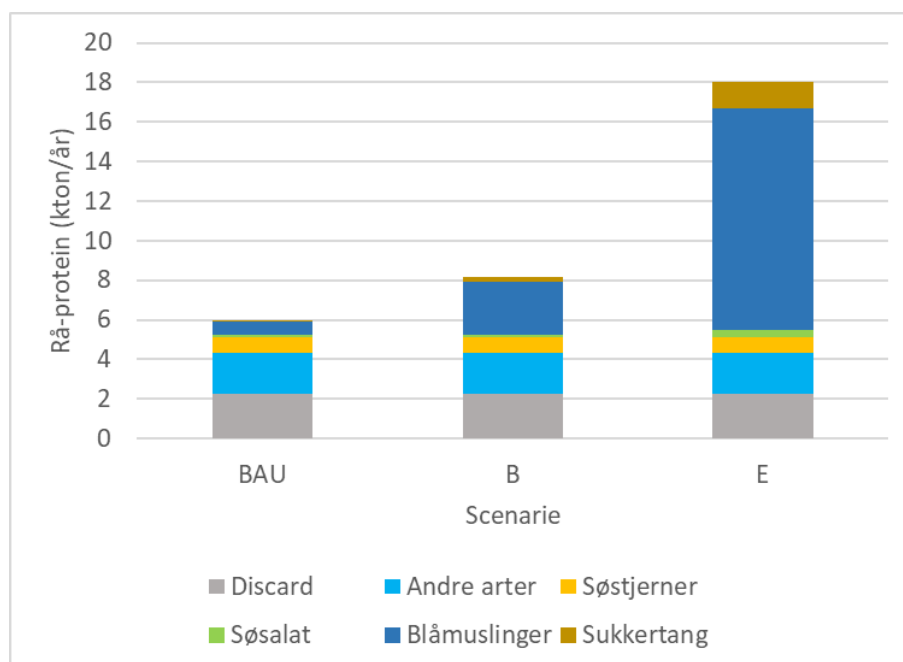


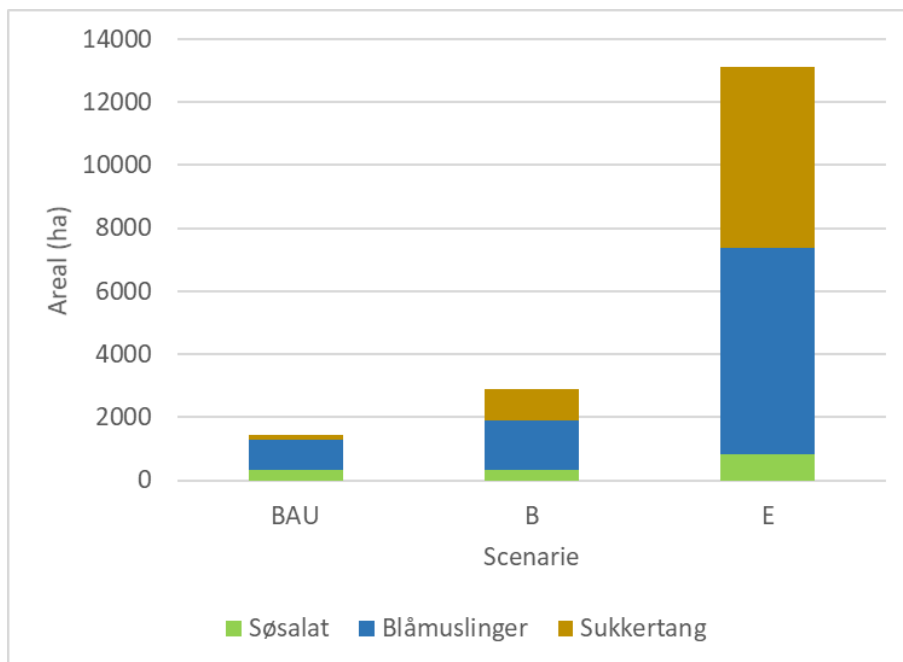
Table 2. Oversigt over det marine biomasse potentiale som 1000 ton (kton) vådvægt (VV), tørstof (TS) eller rå-protein i de tre scenarier: Business as usual (BAU), Biomasse (B) og Ekstensivering (E) scenarierne, samt angivelse af det nødvendige marine areal

Biomasse 2030 (kton VV/år)	Scenarie		
	BAU	B	E
Discard	20	20	20
Andre arter	48	48	48
Søstjerner	10	10	10
Søsalat	5	5	11
Blåmuslinger	14	55	234
Sukkertang	2	14	78
Total	98	151	402
Biomasse 2030 (kton TS/år)	BAU	B	E
Discard	5,4	5,4	5,4
Andre arter	16,4	16,4	16,4
Søstjerner	2,3	2,3	2,3
Søsalat	0,7	0,7	1,9
Blåmuslinger	1,1	4,6	19,5
Sukkertang	0,4	2,2	12,5
Total	26,3	31,6	58,0
Rå-protein 2030 (kton rå-protein/år)	BAU	B	E
Discard	2,2	2,2	2,2
Andre arter	2,1	2,1	2,1
Søstjerner	0,8	0,8	0,8
Søsalat	0,1	0,1	0,4
Blåmuslinger	0,6	2,6	11,2
Sukkertang	0,04	0,2	1,3
Total	6,0	8,1	18,0
Marint areal 2030 (ha)	BAU	B	E
Søsalat	336	336	840
Blåmuslinger	936	1555	6524
Sukkertang	173	1011	5761
Total	1445	2902	13124

Figur 7. Det årlige udbytte af marin biomasse udtrykt i 1000 ton (kton) rå-protein.



Figur 8. Behov for marine arealer til produktion af marin biomasse under antagelse af de tre anvendte scenarier.



5 Anvendelse af marin biomasse

De forskellige typer af marin biomasse indeholder proteiner, olie med høj koncentration af flerumættede omega-3 fedtsyrer, mineraler og kulhydrater (Bruhn et al. 2020a; Bruhn et al. 2020b; van der Heide et al. 2021b), men ingen lignin (Nørskov et al. 2021) (Tabel 3).

Mel af søstjerner, muslinger, andre arter og discard har et relativt højt indhold af rå-protein, og kan erstatte fiskemel i foder til både svin og høns (van der Heide et al. 2018a; van der Heide et al. 2021a; van der Heide et al. 2021b).

Tang, både søsalat og sukkertang, indeholder derudover forskellige værdistoffer, bl.a. hydrokolloider, der anvendes som geleringsmidler i bl.a. fødevarereindustrien, bioaktive stoffer og pigmenter (Holdt and Kraan 2011; Boderskov et al. 2016; Bischof et al. 2002; Bruhn et al. 2017; Manns et al. 2017; Kidgell et al. 2019) (Tabel 4).

Forskellige arter af tang kan reducere metanproduktionen hos drøvtyggere med op til 98 % (Machado et al. 2014; Maia et al. 2016). Der er særligt fokus på den tropiske rødalge, *Asparagopsis taxiformis*, hvis indhold af bromoforme forbindelser – også in-vivo – har dramatisk effekt på metanproduktion (Kinley et al. 2020). Dog er bromoform carcinogent, og har negativ effekt på ozonlaget. Foder med *A. taxiformis* er desuden netop påvist, at volde skade på vomvæggen hos drøvtyggere (Muizelaar et al. 2021). Forskellige nordiske arter af tang, som ikke indeholder bromoform (Nørskov et al. 2021) undersøges for potentiel reducerende effekt på metanproduktion hos drøvtyggere (Climate Feed, Innovationsfonden).

Tabel 3. Indhold af protein, lipid, kulhydrat, lignin og aske i de udvalgte marine biomasser angivet som % af tørstof (TS) med udgangspunkt i van der Heide et al, 2021 med mindre andet er nævnt. Tørstofindholdet er opgivet som % af vådvægt (VV). Data er angivet som et gennemsnit +/- standard deviation.

Biomasse	Protein (% TS)	Lipid (% TS)	Kulhydrat (% TS)	Lignin (% TS)	Aske (% TS)	TS (% VV)
Søsalat	19,0 ± 5,94	2,28 ± 1,87	61,6 ± 7,73	0 ^a	19,9 ± 5,28	16,66 ^b
Sukkertang	10,7 ± 7,36	3,15 ± 2,36	53,5 ± 16,4	0 ^a	21,5 ± 8,65	15,4 ^c
Blåmuslinger ^d	4,77			-	21,59	13,24
Muslingemel ^e	66,4 ± 3,86	10,1 ± 3,26	14,89*	-	8,61 ± 0,91	17,78 ^d
Søstjernemel	39,0 ± 9,69	8,27 ± 1,40	7,73*	-	45,0 ± 9,98	23 ^f
Discard ^g	41,5	14,8	28,6*	-	15,1	27,1 ^h
Krabber ⁱ	12,6	0,9	69,5*	-	17	34,1

^aNørskov et al, accepted. ^bBruhn et al, 2020b. ^cBruhn et al, 2020a. ^dMiljømuslinger – hele muslinger (kød, skal, byssus). Data fra Nina Gringer, DTU Food, MuMiPro projektet. ^eMuslingemel (kun kødfractionen, uden skal og byssus). ^fvan der Heide et al, 2018. ^g(Whiteman 2004). ^h(Johnson et al. 2017). ⁱData for baseret på krabber er anvendt for 'andre arter' samlet (Fisher et al. 2015).

* Beregnet ved at subtrahere protein, lipid og aske fra total TS.

Tabel 4. Indhold af værdistoffer i sukkertang og søsalat angivet som % af TS. Specifikt for pigmenter: C: Chlorophyll a. L: Lutein. F: Fucoxanthin.

Værdistoffer	Alginat (% TS)	Fuoidan (% TS)	Laminarin (% TS)	Ulvan (% TS)	Phenoler (% TS)	Pigmenter (ppt af TS, eller *ppt/VV.)
Søsalat	-	-	-	9-36 ^a	0,9 ^b	*C: 0,5-1,1. *L: 0,1-0,22
Sukkertang	17-30 ^c	2,3-6,2 ^d	5-20 ^c	-	0,2-5,3 ^b	C:0,25. F:0,17. ^e

^aKidgell et al, 2019. ^bHoldt & Kraan, 2011. ^cManns et al, 2017. ^dBruhn et al, 2017. ^eBoderskov et al, 2016. ^fBischof et al, 2002.

6 Referencer

Afrose S, Hammershøj M, Nørgaard JV, Engberg RM, Steinfeldt S (2016) Influence of blue mussel (*Mytilus edulis*) and starfish (*Asterias rubens*) meals on production performance, egg quality and apparent total tract digestibility of nutrients of laying hens. *Animal Feed Science and Technology* 213:108-117. doi:<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.01.008>

Bischof K, Krabs G, Wiencke C, Hanelt D (2002) Solar ultraviolet radiation affects the activity of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase-oxygenase and the composition of photosynthetic and xanthophyll cycle pigments in the intertidal green alga *Ulva lactuca* L. *Planta* 215 (3):502-509. doi:10.1007/s00425-002-0774-9

Boderskov T, Nielsen MM, Rasmussen MB, Balsby TJS, Macleod A, Holdt SL, Sloth JJ, Bruhn A (2021) Effects of seeding method, timing and site selection on the production and quality of sugar kelp, *Saccharina latissima*: A Danish case study. *Algal Research* 53:102160. doi:<https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.102160>

Boderskov T, Schmedes PS, Bruhn A, Rasmussen MB, Nielsen MM, Pedersen MF (2016) The effect of light and nutrient availability on growth, nitrogen, and pigment contents of *Saccharina latissima* (Phaeophyceae) grown in outdoor tanks, under natural variation of sunlight and temperature, during autumn and early winter in Denmark. *J Appl Phycol* 28 (2):1163-1165. doi:DOI 10.1007/s10811-015-0673-7

Bruhn A, Flindt MR, Hasler B, Krause-Jensen D, Larsen MM, Maar M, Petersen JK, Timmermann K (2020a) Marine virkemidler - Beskrivelse af virkemidlernes effekter og status for vidensgrundlag. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 122 - Videnskabelig rapport nr 368 <http://dce2audk/pub/SR368pdf>

Bruhn A, Janicek T, Manns D, Nielsen MM, Balsby TJS, Meyer AS, Rasmussen MB, Hou X, Saake B, Göke C, Bjerre AB (2017) Crude fucoidan content in two North Atlantic kelp species, *Saccharina latissima* and *Laminaria digitata* – seasonal variation and impact of environmental factors. *J Appl Phycol* 29 (6):3121-3137. doi:10.1007/s10811-017-1204-5

Bruhn A, Rasmussen MB, Pedersen HB, Thomsen M (2020b) 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://dceaudk/fileadmin/dceaudk/Udgivelser/Notatet_2020/N2020_20pdf

Buer AL, Maar M, Nepf M, Friedland R, Ritzenhofen L, Dahlke S, Friedland R, Krost P, Peine F, Schernewski G (2020). Potential and feasibility of *Mytilus spp.* farming along a salinity gradient. *Frontiers Mar Sci* 7:371

Cohen-Shacham E, Walters G, Janzen C, Maginnis S, (2016) Nature-based Solutions to address global societal challenges. Gland, Switzerland: IUCN:97

Fisher K, Rasmussen OS, Johansen NF, Cold U, Jørgensen BM (2015) Pilotprojekt for udvikling af fiskeri af strandkrabber til foderproduktion. DTU Fødevareinstituttet ISBN: 978-87-93109-17-9

Holbach A, Maar M, Timmermann K, Göke C (2020a) MYTIGATE - *Mytilus edulis* (Blue Mussel) Mitigation Farm Site Selection Tool for the Western Baltic Sea. . Aarhus University, Department of Bioscience, Web-tool, url: <https://au-bios-modelshinyappsio/MYTIGATE/>

Holbach A, Maar M, Timmermann K, Taylor D (2020b) A spatial model for nutrient mitigation potential of blue mussel farms in the western Baltic Sea. *Science of The Total Environment* 736:139624. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139624>

Holdt SL, Kraan S (2011) Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *J Appl Phycol* 23 (3):543-597. doi:10.1007/s10811-010-9632-5

Johnson BM, Pate WM, Hansen AG (2017) Energy Density and Dry Matter Content in Fish: New Observations and an Evaluation of Some Empirical Models. *Transactions of the American Fisheries Society* 146 (6):1262-1278. doi: <https://doi.org/10.1080/00028487.2017.1360392>

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>

Kinley RD, Martinez-Fernandez G, Matthews MK, de Nys R, Magnusson M, Tomkins NW (2020) Mitigating the carbon footprint and improving productivity of ruminant livestock agriculture using a red seaweed. *Journal of Cleaner Production* 259:120836. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120836>

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

Maia MRG, Fonseca AJM, Oliveira HM, Mendonça C, Cabrita ARJ (2016) The Potential Role of Seaweeds in the Natural Manipulation of Rumen Fermentation and Methane Production. *Scientific Reports* 6:32321. doi:10.1038/srep32321

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

Muizelaar W, Groot M, van Duinkerken G, Peters R, Dijkstra J (2021) Safety and Transfer Study: Transfer of Bromoform Present in *Asparagopsis taxiformis* to Milk and Urine of Lactating Dairy Cows. *Foods* 10 (3):584

Nørgaard JV, Petersen JK, Tørring DB, Jørgensen H, Lærke HN (2015) Chemical composition and standardized ileal digestibility of protein and amino acids from blue mussel, starfish, and fish silage in pigs. *Animal Feed Science and Technology* 205:90-97. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.04.005>

Nørskov NP, Bruhn A, Cole A, Nielsen MO (2021) Targeted and Untargeted Metabolic Profiling to Discover Bioactive Compounds in Seaweeds and Hemp Using Gas and Liquid Chromatography-Mass Spectrometry. *Metabolites* 11 (259): <https://doi.org/10.3390/metabo11050259>

Petersen, J.K., Bruhn, A., Behrens, J.W., Dalskov, J., Larsen, E., Thomsen, M. & Vinther, M. (2021). Vidensyntese om blå biomasse. Potentialer for ny og bæredygtig anvendelse af havets biologiske ressourcer. DTU Aqua-rapport nr. 387-2021. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 62 pp.

Petersen JK, Gislason H, Fitridge I, Saurel C, Degel H, Nielsen CF (2016) Fiskeri efter søstjerner i Limfjorden. Fagligt grundlag for en forvaltningsplan. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet 35 p (DTU Aqua-rapport; No 308-2016)

Petersen JK, Timmermann K, Bruhn A, Rasmussen MB, Boderskov T, Schou HJ, Erichsen A, Thomsen M, Holbach A, Tjørnløv RS, Canal-Vergés P, Flindt MR (2021b) Marine Virkemidler - Potentialer og Barrierer. DTU Aqua-rapport nr 385-2021 Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet 49 pp

van der Heide ME, Carlson D, Nørgaard JV (2018a) Growth performance of weaned pigs fed different levels of starfish meal. *Animal Feed Science and Technology* 238:84-90. doi:<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.02.008>

van der Heide ME, Johansen NF, Kidmose U, Nørgaard JV, Hammershøj M (2021a) The effect of deshelled and shell-reduced mussel meal on egg quality parameters of organic laying hens under commercial conditions. *Journal of Applied Poultry Research* 30 (1):100119. doi:<https://doi.org/10.1016/j.japr.2020.100119>

van der Heide ME, Møller LF, Petersen JK, Nørgaard JV (2018b) Annual variation in the composition of major nutrients of the common starfish (*Asterias rubens*). *Animal Feed Science and Technology* 238:91-97. doi:<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.02.007>

van der Heide ME, Stødkilde L, Værum Nørgaard J, Studnitz M (2021b) The Potential of Locally-Sourced European Protein Sources for Organic Monogastric Production: A Review of Forage Crop Extracts, Seaweed, Starfish, Mussel, and Insects. *Sustainability* 13 (4):2303

Whiteman (2004) Evaluation of fisheries by-catch and by-product meals in diets for red drum (*Sciaenops ocellatus*) Masters Thesis, Graduate Studies of Texas A&M University

Zhang X, Boderskov T, Bruhn A, Thomsen M Blue growth and bioextraction potentials of Danish *Saccharina latissima* aquaculture – A model of eco-industrial production systems mitigating marine eutrophication and climate change. *Algal Research* - in press