



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2018 60 stp

Fakultet for biovitenskap
Hovedveileder: Odd Ivar Lekang
Veileder: Børre Waagan

Hvordan gjøre tareindustrien mer konkurransedyktig?

Herman Søndena

Master of science in Aquaculture
Fakultet for Biovitenskap

Forord

Etter to år med mastergradsstudiet i Akvakultur ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet på Ås, avslutter studiet med denne masteroppgaven om et tema som har vært veldig spennende og givende å skrive om, en av fremtidens marine næringer og kultivering av makroalger.

Jeg vil først og fremst takke Odd Ivar Lekang og Børre Waagan for støtten og tålmodigheten gjennom denne oppgaveprosessen. For gode faglige innspill, konstruktiv kritikk og motivasjon. Jeg vil også takke familie og venner som har vist interesse for oppgaven og tema et jeg skrevet om, og gitt meg motivasjon og støtte gjennom prosessen.

Masteroppgaven har vært utfordrende, men ikke minst veldig lærerik og givende. Jeg håper oppgaven vil være et positivt bidrag til å gi nødvendig innsikt i det som fortsatt er en ganske ukjent og lite snakket om næring i Norge.

Oslo, Desember 2018

Herman Søndena

Sammendrag

Denne studien tar for seg potensialet som ligger i å industrialisere kultiveringen av makroalger i Norge, som en bærekraftig og lønnsom næring. Målet med denne studien er todelt. Studien vil se på den nyeste kunnskapen om ulike elementer i verdikjeden: stiklingproduksjon, kultivering, herunder forskjellige produksjonssystemer, bearbeiding og markedssegmentet. Det andre segmentet vil se på reguleringsformen, samt politiske ambisjoner og gjennomførbarheten av industrialisering av tareindustrien i Norge basert på. Hvor den gjennomgående problemstillingen er: Hva vil gjøre norsk tareindustri mer konkurransedyktig? Som kan oppsummeres raskt i tre deler. Beherske biologien, utvikle teknologien, og forenkle regelverket

Målet med denne studien er å skaffe innsikt over status over norsk tareindustri. Det er politiske ambisjoner om å løfte næringen til en stor milliardindustri, men næringen står ovenfor endel hinder for å komme seg dit. Både byråkratiske, biologiske, politiske og økonomiske. Funnene i denne oppgaven har vist at regelverket og byråkratiet må moderniseres og forenkles spesielt med tanken på med konsesjonssøknader. Det er behov for større grad av automatisering og digitalisering hvis næringen ønsker å bli mer industrialisert.

Det er liten grad av standardisering i form av kultiveringsanlegg. Norsk tareindustri står på mange måter ved den industrielle startstreken når en ser på konkurende nasjoner. Samtidig er en del av grepene som vil kreves for å videreutvikle næringen være relativt enkle å ta for å gjøre det lettere å fokusere på drift, som å forenkle søknadsprosessen for konsesjon utdeling. De politiske instansene må følge opp politiske ambisjoner, insentiver for å styrke markedsdelen slik at større næringsaktører vil være villig til å ta større risiko, et alternativ kan være skatte insentiver for «grønne investeringer». De biologiske vil være å ha styrke stiklingproduksjon, spesielt med tanke på den fremtidige klimarisikoen næringen må adaptere seg til. Det vil kreve at klimatilpasning er en del av kultiveringsstrategien under stiklingproduksjonen, siden varierte forhold kan kreve større fleksibilitet av lokalitet. De teknologiske funnene viser at det i liten grad finnes standardiserte metoder for taredyrking, overvåkingsutstyr, og fartøy.

Innholdsfortegnelse

Forord	3
Sammendrag	4
1.0 Innledning	8
1.1 Bakgrunn og motivasjon	8
1.2 Formål	8
1.3 Oppgavens nytteverdi og relevans	8
2.0 Makroalger	9
2.1 Hva er makroalger?	9
2.2 Det biologiske grunnlaget for kultivering av makroalger	10
2.2.1 Evne til å absorbere næringssalter	11
2.2.2 Livssyklus	13
2.3 Klassifisering av makroalger	14
2.3.1 Røde makroalger	15
2.3.1.1 Søl, <i>palmaria palmata</i>	16
2.3.2 Brune makroalger	16
2.3.2.1 Sukkertare, <i>Saccharina latissima</i>	16
2.3.2.2 Butare, <i>Alaria Esculenta</i>	17
2.3.3 Grønne makroalger	17
2.3.3.1 Havsalat, <i>Ulva lactuca</i>	17
3.0 Status på tareindustrien I Norge	18
3.1 Hvor står tareindustrien i 2018?	18
3.2 Reguleringer og tillatelser - Hvordan og hvem behandler hva?	19
3.2.1 Antall tillatelser/konsesjoner	21
3.2.2 Sysselsetting i næringen	22
3.2.3 Omsetting basert på art	23
3.3 Kultivering av makroalger – fra kimplante til produkt.	24
3.3.1 Produksjon av kimplanter	24
3.4 Anlegg design	26
3.4.1 Horisontale anlegg	26
3.4.2 Vertikale anlegg	27
3.4.3 Sirkulær anlegg	30
3.4.4 Landbaserte anlegg	31
3.4.5 Kombinasjonsanlegg med andre næringer	32
3.5 Hvordan påvirker kultivering av makroalger økosystemet?	34
3.5.1 Erosjon og bunnpåvirkning	35
3.5.2 Påvirkning av skyggelegging	35
3.6 Klimarisiko i tareindustrien	36
3.7 Makroalgenes evne til å akkumulere tungmetaller	38
3.8 Begroing	40

3.9 Kultivering av makroalger – en global industri	41
3.9.1 Kinesisk tareindustri.....	42
3.9.2 Indonesisk tareindustri	44
4.0 Makroalger: en del av bioøkonomien	45
4.1 Markedspotensialet	46
4.1.1 Markedssegmenter	48
4.1.2 Tare på tanken	50
4.1.3 Fôr	51
4.2 Prosessering/Bioraffinering	52
4.2.1 Tørrking av makroalger	53
4.3 Behov for innovasjon, og automatisering.....	54
5.0 Diskusjon	56
6.0 Konklusjon	59
Referanseliste:	61

1.0 Innledning

1.1 Bakgrunn og motivasjon

På bakgrunn av en økende verdensbefolkning, et økende fokus på grønn vekst i økonomien, og miljøvennlige løsninger i industrien ville det være spennende å utforske en av de potensielle store fremtidsnæringene innenfor marin sektor. Kultivering av marine organismer i havet er potensielt veldig energieffektivt ved valg av riktige arter.

Makroalger er anvendelige innenfor mange ulike felt, men de har i liten grad blitt kultivert til industriell eller human bruk her i Europa. Etterspørselen i Norge har blitt dekket ved taretråling. Noe som er en veldig kontroversiell form for sanking av makroalger. Hovedformålet med denne studien vil være å belyse de næringen står ovenfor i dag.

Hvilke biologiske, politiske, og teknologiske utfordringer står den norske tareindustrien ovenfor i dag, og hvilke steg må tas på veien til industrialisering?

1.2 Formål

Formålet med denne studien er å kartlegge hvilke utfordringer norsk tareindustri står ovenfor. Studien har en teoretisk tilnærming som skal bidra til mer kunnskap om fremtiden til tareindustri, samt brukes det et eksplorerende forskningsdesign. Formålet ved å benytte et eksplorerende forskningsdesign er å forbedre forskerens kjennskap innenfor det aktuelle fagfeltet som studeres. Et eksplorerende forskningsdesign tar ofte utgangspunkt i litteraturgjennomgang for å bygge opp kunnskapsnivået til forskeren for å kunne danne aktuelle hypoteser.

1.3 Oppgavens nytteverdi og relevans

Det undervises ytterst lite om kultivering av makroalger ved universiteter og læringsinstitutter med fiskeri og havbruksfaglig bakgrunn. Oppgaven vil derfor være nyttig for å kunne sette seg raskt inn i hvor næringen står i dag, hvilke utfordringer den står ovenfor, men også hvilket enormt potensiale kultivering av makroalger har i Norge.

2.0 Makroalger

I dette kapitlet undersøkes det hvorfor makroalger er velegnete organismer til kultivering, samtidig som en vektlegger de essensielle forskjellene mellom de viktigste kommersielle artene i Norge, og klassifisere egenskaper som gjør den ettertraktet til kommersiell bruk. Makroalger sammensetting og egenskaper varierer svært mye fra art til art. Det er derfor viktig å forstå biologien til makroalgene for å kunne optimalisere produksjonen.

2.1 Hva er makroalger?

Arkeologiske undersøkelser viser at makroalger har blitt anvendt til menneskemat i hele 14.000 år (Kim et al, 2017) Makroalger er makroskopiske og flercellede alger, kjent som tang og tare i dagligtalen hvor forskjellen er at tang vokser høyt oppe i tidevannssonen og tare lengre ute i tidevannssonen. (Store norske leksikon, 2018)

I vitenskapen deles makroalger inn i forskjellige kategorier basert pigmentering, og er en mangfoldig gruppe marine organismer. (Øverland et al, 2018) Det er kartlagt tre underarter: Grønne makroalger (*Chlorophyta*), røde makroalger (*Rhodophyta*) og brune makroalger (*Phaeophyta*) (McHugh 2003, Mouritsen, 2013, Øverland et al, 2018) Makroalger regner som en polyfyletisk gruppe da gruppene ikke har et felles multicellulær opphav (Kılınç et al., 2013). Klorofyll-a er et fundamentalt element i makroalgenes fotosyntetiske symbiose, og er noe vi finner felles for de tre gruppene. Klorofyll-a er bærer av grønne pigmenter, men blir ofte overskygget av andre pigmenter (Mouritsen, 2013.) Pigmentet som er ansvarlig for den brune fargen til Phaeophyta, er fucoxanthin, den røde fargen på Rhodophyta kommer fra phycobiliner, og flere pigmenter som klorofyl a og b, karotener og xantofyller, er ansvarlige for den grønne fargen til Chlorophyta (Øverland et al, 2018)

De tre ulike underartene tilhører fotosyntetiske og oksyngengenerende planter (Rindi et al 2011), hvorav grønn- og rødalgene tilhører den eldste grenen, mens brunalgene tilhører en nyere gren. Makroalgene har gjennom evolusjonen tilpasset seg livet i havet, og utviklet egenskaper som cellevegger av en substans som gir makroalgene mekanisk styrke, men også fleksibilitet til å tåle bølgeslag (Rueness and Steen, 2008).

Det som gjør makroalgene spesielt interessante for forskere er at endel alger har utviklet et kjemisk forsvar for å overleve, og her kan det ligge nye anti-bakterielle forbindelser og antivirale stoffer som forskerne ikke kjenner til i dag. I Norge har vi et rikt mangfold med makroalger, bestående av ca. 100 grønnalger, 175 brunalger, og 205 rødalger (Rueness and Steen, 2008).

2.2 Det biologiske grunnlaget for kultivering av makroalger

Marine planter er blant de mest produktive primærprodusentene på kloden. (Wernberg & Filbee-Dexter, 2018). Makroalgenes egenskaper og opptaksevne varierer ut fra hvor i den trofiske sonen de befinner seg i (Tyler & McGlathery 2006, Øverland et al, 2018). Tilgangen til næringsstoffer er en viktig faktor for å kontrollere og estimere makroalgenes vekst, og næringsinnhold (Pedersen & Borum, 1997) Makroalgene har en stor spennvidde, og kapasitet til å ta absorbere mineraler som gitt av eksogene og forutbestemte faktorer og nivåer av forskjellige mineraler i makroalgenes vev, som påvirkes av miljøbaserte elementer, f.eks. geografisk plassering, sesonger, bølge eksponering, hav temperaturer, salinitet, mineral innhold i vann og pH verdier i sjøvannet (L Mišurcová et.al 2011).

Sesongbasert variasjon i næringsinnhold samt kjemiske komponenter er også knyttet til hvilket stadium i livssyklusen makroalgene er på (Rosenberg & Ramus, 1982, Øverland et al, 2018). Makroalgenes vekstevne er knyttet til evnen å ta opp Nitrogen(N), Karbon(C) og fosfor (P) (Tyler & McGlathery 2006, Hancke et al, 2018). Lavere salinitet påvirker makroalgenes fysiologi og biokjemiske sammensetting ved å senke den fenoliske innholdet, og øke protein innholdet (L Mišurcová et.al 2011).

Overflaten til makroalger danner gunstige habitater for mikrober, hvor lasten og mangfoldet er forskjellig mellom de forskjellige algeartene og kan avvike fra de omkringliggende vannmiljøene, noe som indikerer alger-mikrobe-interaksjoner. Slike interaksjoner synes å være viktige for vertshelse og infeksjonsforsvar (Duinker et al 2016). De fleste studier om mikrobielle samfunn forbundet med makroalger har et økologisk fokus, som beskriver antall, mangfold og rolle bakterier på overflaten av alger (Duinker et al 2016)

Som en bentisk organisme er makroalger vanligvis festet til harde substrater, men noen få arter kan også vokse flytende i de øvre lagene på sjøvannoverflaten (Dębowski et al 2013). Makroalger har generelt komplekse livssykluser siden de bytter mellom to individtyper. Sporeplante, sporofytt, og kjønnsplante, gametofytt. Omvekslingen mellom de to fasene reguleres f.eks. av temperatur, og lys-periode som igjen blir tilpasset av forholdene i det lokale økosystemet (Rueness & Steen, 2008). Inneha elementære kunnskaper om makroalgenes biologi er en selvfølge for optimal utnyttelse og kultivering (Rueness & Steen, 2008).

For å kunne optimalisere kultiveringspotensialet til makroalgene er det viktig å forstå hvordan de forskjellige artene vokser. Hos tare skjer veksten i en fastsatt del ved nederste del av tarebladet hvor vi finner overgangen til tarestilken. Nytt vev vil etterhvert som veksten skjer skyve det gamle vevet ut mot tuppen av bladet før det til slutt kastes av taren. I rødalgene vil vekstene skje ved at det anlegges nytt cellevev i skuddspissene. Ergo hvis man kutter av en skuddspiss, vil rødalge fortsatt kunne vokse videre, noe som er et grunnlag for massekultivering av rødalger. (Rueness & Steen, 2008).

Et av de viktigste biologiske grunnlagene for å kultivere makroalger er livssyklusen. Livssyklusen gir oss forutsetninger for å forstå sporeløsningene, som er avgjørende for stiklingproduksjonen til anleggene.

2.2.1 Evne til å absorbere næringssalter

Næringen makroalger trenger for å vokse er næringssalter som nitrogen, fosfor og CO₂ (Tyler & McGlathery 2006, Hancke et al, 2018). Oppløst uorganisk fosfor kommer fra landbaserte kilder. Kilden til uorganisk karbon er CO₂ sluppet ut i lufta, og som oppløses i sjøvann, og på grunn av den generelt høye pH-verdien vi finner i sjøvann, skaper dette en betydelig tilgang på HCO₃⁻ for makroalgenes fotosyntese (Fernand et al 2017).

Karbonmetabolisme hos makroalger er en integrert i multicellulær prosess som i mange grupper utviser flere plantlignende egenskaper. Selv om makroalger ikke viser samme strukturelle kompleksitet av vaskulære planter, er integrasjonen av form og funksjon en viktig faktor (Wiencke and Bischof, 2012). Dermed har morfologien hos makroalger vært relatert til økofysiologiske tilpasninger, da spesielt fotosyntetisk ytelse og karbonproduksjon som en

respons på abiotiske og biotiske faktorer (Wiencke & Bischof, 2012). Siden marine makroalger har potensiale til å fikse utfordringer med uorganisk karbon, kan de brukes som karbonfelle og deretter som drivstoff (Fernand et al 2017).

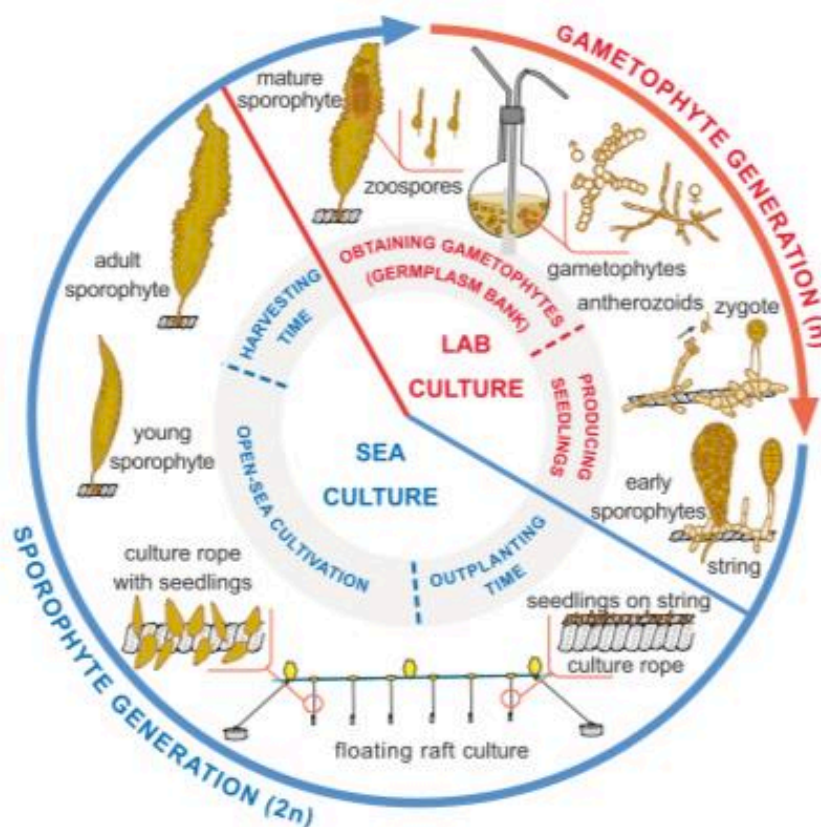
Det er flere miljøparametere som styrer hva som skal til for å oppnå en vellykket kultivering av makroalger. Temperatur, vannkvalitet, konsentrasjoner av uorganiske næringsstoffer, fotosyntetisk aktiv stråling (PAR), saltholdighet, inkludert CO₂, og fravær av miljøgifter er nødvendige for effektiv biomasseakkumulering via fotosyntesen (Fernand et al 2017). Disse miljøparameterne er dynamiske og avhenger av naturlige og menneskelige faktorer. For eksempel kan vi forvente at temperatur og lys varierer over hele dagen, og i løpet av sesongene, sammen med andre like viktige hendelser som vind, regn og tidevann, som alle vil påvirke veksten av makroalger (Fernand et al 2017). Variable miljøforhold påvirker også sluttproduktet siden den kjemiske sammensetningen av de makroalgevevene blir sterkt påvirket av variasjonene i miljøet (Marinho-Soriano et al 2006).

Makroalgers geografiske spredning er primært styrt av temperaturen i havet. Hyppige og raske variasjoner i havets temperatur er ikke gunstig for makroalgenes vekstpotensial. Hvis trenden med økende havtemperaturer fortsetter vil vi se en større utbredelse av makroalger. Av de artene vi har i norske farvann av kommersiell interesse er butare kjent som den mest følsomme for temperatur forandringer, og har ikke livsvilkår hvis temperaturer overstiger 16-17 grader, og sukkertare ved 18-22 grader. (Husa et al., 2007). Temperaturtoleranse er et viktig kriterium for valg av dyrkingsområde og art, samt må prognoser som viser temperatursvingninger for det gitte området med i prosessen. Makroalger er viktige primærprodusenter, autotrofe, og danner de livsgrunnlag for deler av livet i havet, og kan bidra til å regulere effekten av klimaendringer ved å forbruke karbondioksid for vekst. I tillegg kan karbon lagres lenge i sedimentet på grunn av begravelsen av døde alger (Raven & Falkowski, 1999). Karbonlagring og klimarisiko vil bli forklart i senere kapittel.

2.2.2 Livssyklus

Blant de aktuelle kommersielle makroalgene som undersøkes i denne oppgaven, varierer livssyklusen stort. Kultiveringssyklusen til de forskjellige artene følger livssyklusen til hver enkelt art, og vil variere fra art til art. Makroalgene er enten flerårig eller ettårig.

De flerårige har tilsvarende likt utseende året rundt, mens alger hvor tallusdelene nydannes årlig varierer utseende i sterkere grad. Makroalgene lamina er ettårig, men stipes til lamina er flerårig, på stortaren kan stilken bli opptil 20 år.



Figur 1: Illustrasjon som forklarer lab og produksjons syklus hos brunalge (Buck & Grote, 2018)

Figuren fra Buck & Grote (2018) oppsummerer trinnene i kultivering av makroalger, som omfatter produksjon av frø på line (laboratoriekulturstadiet) og deres påfølgende festing til kultiveringstau for vekst på et flytende anlegg (havkulturstadiet). Ettårige makroalger er havsalat et eksempel på. Livslengden er mindre et ett år, hvor den ene generasjonen med makroalger avløser den neste generasjonen. I denne typen ettårige makroalger skjer det en utveksling i samspill med en gametofytt, en haploid kjønnsplante, og sporofytt, en diploid

sporeplante (Buck & Grote 2018). Denne typen livssyklus kalles isomorf. Man har også de makroalgene som defineres som *årstidsanuelle*. Hvor de har stadium hvor de "oversomrer", et stadiet hvor den dipolide sporofyttgenerasjonsonen vokser i tomme kalkskall og er encellet (Buck and Grote 2018). Dette stadiet er kjent som codium-stadiet, og er et eksempel på heteromorf livssyklus som vi finner hos laminaria. Heteromorf livssyklus forekommer hyppigere i nordlige breddegrader enn ved ekvator, noe som kan indikere at makroalgene tilpasser seg sesongvariasjoner i klima. Fotoperiodisitet, temperaturen i havet og lengden på døgnet er viktige miljøfaktorer som regulerer vekslingen mellom de to fasene i livssyklusen (Buck & Grote 2018).

Den heteromorfe livssyklusen vi ser hos makroalgene forekommer ofte ved at tareplanten representerer sporofyten, mens hannlige og hunnlige kjønnsplanter, gametofyttene, er på mikrostadiet. Hvordan kultiveringskalenderen ender opp med å se ut er avhengig av arten man ønsker å dyrke, været og de lokale vannforhold (Flavin et al, 2013).

Generelt foregår kultiveringen av kimplanter fra september til november, og såing av kimplanter i løpet av oktober til november, og høsting foregår i mars til mai.

En tommelfingerregel er å få festet stiklingene før desember og deretter ha det høstet før vanntemperaturen stiger til det punktet hvor begroing begynner å forringe kvaliteten på tare, og fyttoplankton begynner å konkurrere med kelpen for næringsstoffer (Flavin et al, 2013).

2.3 Klassifisering av makroalger

Det er forskjell i sammensetningen til de forskjellige makroalgene (Øverland et al, 2014).

Det betyr at ulike typer alger må kultiveres på forskjellige måter, og at forskjellige klassifiseringene av makroalger betyr at makroalgene også har ulike kommersielle egenskaper. Som klare forskjeller i metabolitt sammensetning, (Belghit et al, 2017).

Brunalger står for grunnlaget for alginatproduksjon fra algin, og rødalger brukes til produksjon av agar til pektin. Disse forskjellene i sammensetningen er relatert til forskjeller i nærvær av sekundære metabolitter og til opphopning av miljøgifter og tungmetaller.

Den presenterte klassifisering og kjemi kan bistå i vurderingen av farer ved påføring av visse makroalger som kilder for forbestanddelere (Burg et al 2012). Klassifiseringen av makroalger kan være nyttig for å illustrere forskjellene i typer metabolske veier, og forskjellene mellom strukturelle polysakkarider og essensielle pigmenter (Burg et al 2012).

		Polysakkarider	Pigmenter
Gruppe (Phylum)	Struktur		
Brun Alger	Dobble cellevegger: indre cellulose, ytre: algin	Glucans (laminarin), Fucans (fucoïdan), mannitol	Fucoxanthin, violaxanthin
Rød Alger	Dobble cellevegger: indre cellulose, ytre: pectin	Glucans (floridean starch), Xylans, Galactans (carrageenan and other sulphated galactans), funoran	lutein, zeaxanthin, Phycobiliproteins
Grønn Alger	Single cell wall: cellulose	Xylans, Galactans (sulphated), ulvan	lutein, zeaxanthin, violaxanthin, neoxanthin

Tabell 1: Ulike store kjemiske komponenter i grupper av makroalger (Burg et al 2012).

2.3.1 Røde makroalger

Røde makroalger har hatt en mer variert utvikling enn det grønne og det brune.

Mange arter kan ikke holde seg uttørkende og dominere de tidevannsbassenger (Kılınç et al, 2013). En del røde makroalger er epifytter, dette er planter som vokser på andre planter for fysisk støtte. I dette tilfellet fordeler epifytten seg på vertens oppdrift, og løfter det nærmere sollyset. Den røde fargen på tangene skyldes den større mengden røde phycobiliner pigmenter som overstyrer det grønne pigmentet klorofyll (Kılınç et al, 2013). Mange av artene som går innunder rødalger kan bli brukt i produksjonen av agar, som blir brukt mye

som et vekstmedium for mikroorganismer og andre bioteknologiske prosesser, samt til matvareindustrien (Grote, 2017). En annen viktig rød algen er *Eucheuma* brukt i produksjonen av karragen, et viktig produkt som brukes i kosmetikk, matbehandling og industriell bruk (Kılınç et al, 2013).

2.3.1.1 Søl, *palmaria palmata*:

Søl er en bladformet rødalge, og har en maks lengde på 50cm. Den forekommer langs store deler av norske kysten og er vanlig å finne i lavvannsnivå på berggrunn (Store norske leksikon 2009b) Søl kan kultiveres på land i tanker eller karr, eller i havet, men har en kompleks livssyklus som gjør dette utfordrende (Grote, 2017). Søl har vært benyttet til humankonsum da søl inneholder mye protein, men også aminosyrer, vitaminer, og mineraler (Øverland et al, 2014, Grote 2017).

2.3.2 Brune makroalger

Brune makroalger som regel store, og varierer fra arter som stortare som kan bli rundt 20m, til mer læraktige arter på 2-4m, til de minste artene som er rundt 30-60cm (McHugh, 2003). Brunalger som sukkertare, og butare har blitt pekt på som gode kandidater å satse på når Norge skal videreutvikle tareindustrien, da algene vokser raskt (Kılınç et al, 2013)

2.3.2.1 Sukkertare, *Saccharina latissima*

Sukkertaren tilhører ordenen Laminariales. og kan bli 4 m lang, og 10–75 cm i bredden. Sukkertaren vokser på alt fra steingrunn til skjell fra lavvannslinja og ned til dyp på 30 meter. (Store norske leksikon, 2015a) *Saccharina latissima* er en raskt voksende makroalge, og utvikler seg fra en 8-10 µm meiospore til 1,5-2 m voksen i løpet av ett år (Kerrison et al, 2018) Sukkertaren er flerårig, og har et festeorgan og stilk, kalles hapter og stipes. Nederste delen av bladet kalles lamina. Overgangen mellom lamina og stipes er en stadig produsent av nytt vev, som gjøre at ytterste punkt av sukkertaren er den delen av bladet som er eldst (Kerrison et al, 2018) Sukkertaren sin vekstsyklus viser at veksten er hyppigst om vinteren og på våren, hvor den vokse opptil 1 cm i døgnet, mens på sommeren og høsten benytter sukkertaren overskuddet fra fotosyntesen til reproduksjon og lagring av energi. Sukkertare vokser raskere høyere opp i vannmassen, 2,5-3 m enn lengre ned 5-8 m (Sharma et al, 2018)

2.3.2.2 Butare, *Alaria Esculenta*

Butare vokser på eksponerte steder langs lavvannslinjen, og er en bladformet brunalge hvor stilken går gjennom den bladaktige delen, helt opp til algens spiss. Finnes naturlig langs norskekysten, men er vanligst å finne fra Vestlandet til Nord-Norge, men eksisterer ikke ved Skagerrak-kysten (Store norske leksikon, 2009a).

2.3.3 Grønne makroalger

Grønne makroalger finnes på både sandstrender og steinete strender. En stor andel grønnaalger kan tolerere lav salinitet, og vil kolonisere bakvannsområder der elveløp møter havet.

Den grønne fargen får algen av det grønne pigmentet klorofyll som kreves for å fotosyntesen som følger av lys. Det den er primært kun bruker klorofyll betyr det at grønne makroalger krever gode lysnivåer, og vil derfor ikke trives i skyggeområder eller på for dypt vann.

Den egenskapen gir dem en fordel, evnen til å leve høyere oppe uten konkurranse fra de røde eller brune makroalgene (Mouritsen, 2013).

2.3.3.1 Havsalat, *Ulva lactuca*:

Havsalat er den mest tallrike av grønnaalgene langs norskekysten, og trives helt ned til 15 meters dyp og vokser best på fjellgrunn, berg, skjell, men kan også vokse epifyttisk på større alger. Bladstrukturen består av to cellelag, og kan bli rundt 10-15 cm i diameter (Store norske leksikon, 2015b) men ikke uvanlig at havsalaten kan vokse utover dette hvis den gjødsles eller befinner seg svært næringsrikt vann. *Ulva lactuca*, havsalat, er også en potensiell kandidat til bioenergi produksjon (Bruhn et al, 2001)

3.0 Status på tareindustrien I Norge

I dette kapitlet vil en gjennomgang av status tareindustrien i Norge 2018 bli gjennomført på bakgrunn av sekundære informasjonskilder, offisiell statistikk og bakgrunnsinformasjon fra offentlige instanser. Det vil bli beskrevet hvem som er relevant reguleringsmyndighet, og hvilke ulike områder som er fordelt på reguleringsmyndighetene. Samt undersøkes hvordan ulike anleggstyper, standarder for næringen, og markedssegmenter ser ut.

3.1 Hvor står tareindustrien i 2018?

Kultivering av makroalger er en ny fremvoksende industri i Norge, og det er en voksende interesse for å utnytte tarekomponenter som karbohydrater, aminosyrer og mineraler til biodrivstoff, matvarer og fôrstoffer, terapeutiske produkter og andre verdiskapende produkter. (Sharma et al, 2018) De første forsøkene på å kultivere makroalger på en større skala begynte i Norge rundt 2005, og siden 2014 har flere tillatelser for kultivering av makroalger, inkludert i IMTA-systemer, blitt gitt noe om har ført til rask økningen i antall private aktører i næringen (Stévant et al, 2017b). Ved SINTEF i Trondheim har de uttalt ønske om å gjøre Trondheim til Norges tarehovestad, som Stavanger er Norges oljehovedstad. Det var i Trondheim tareforskningen startet opp, og hvor Norsk senter for tang- og tareteknologi ligger i dag. Forskningsmiljøene og kompetansen har lenge snakket om alle mulighetene det ligger i kultivering av makroalger. Problemstillingene knyttet opptil oppskalering og industrialisering av makroalgeproduksjonen i Norge har vært fem faktorer (Stévant et al, 2017b):

- (i) genetiske samspill mellom kultiverte og ville avlinger,*
- (ii) virkninger av tangkultivering på omkringliggende økosystemer,*
- (iii) epifytter og sykdommer*
- (iv) arealutnyttelse*
- (v) trusler fra klimaendringer*

Oppskalering fra eksperimentelle dyrkingsformer til full kommersiellproduksjon vil fortsatt kreve en grundig vurdering av risiko og fordeler knyttet til kultivering av makroalger, samt videreutvikling og tilpasse et reguleringsverk som er tilpasset denne næringen.

Produktutviklingen og innovasjonsgraden av næringen i Norge har vært begrenset, og videre

opptrapping og mer ambisiøs satsning vil bli avgjørende for den fremtidige industrielle optimaliseringen av å utnytte biomassen (Stévant et al, 2017).

Nå koordineres søknaden via nærings- og fiskeridepartementet, og vurderes i henhold til akvakulturloven. Det er flere myndigheter og instanser som er aktive i vurderingen av søknader. Fiskeridirektoratet, Kystverket, Mattilsynet, Miljødepartementet, Norges vassdrags- og energidirektorat Hvor hver av dem evaluerer sitt felt. I tillegg må tillatelser tildeles i overensstemmelse med kystsoneplanen. I Norge har det blitt primært satset på Sukkertare, grunnet høyt vekst potensiale (Handå et al 2013), og høyt næringsinnhold.

Som innenfor andre områder av akvakultur kreves det tillatelse fra fiskeridirektoratet for å sette i gang med produksjon og dyrking av vannlevende planter som makroalger, tare og tunikater. For å få en søknad vedrørende dyrking av makroalger godkjent er søknaden som vurderes nødt til å gå inn under akvakulturlovens virkeområde, jf. § 2:

«Loven gjelder produksjon av akvatiske organismer (akvakultur). Med akvatiske organismer forstås vannlevende dyr og planter. Som produksjon regnes ethvert tiltak for å påvirke levende akvatiske organismers vekt, størrelse, antall, egenskaper eller kvalitet. I tvilstilfeller kan departementet i enkeltvedtak eller forskrift bestemme hva som anses som akvakultur.»

I motsetning til blåskjell og produksjon av mollusker har ikke produksjon av vannlevende planter krav om å måtte stille med garanti for opprydding før de får starte opp.

3.2 Reguleringer og tillatelser - Hvordan og hvem behandler hva?

Behandlingen av akvakultursøknader fra og med 2010 sender søknaden til fylkesmannen hvor det blir fortatt en kvalitetssikring av søknaden, relevante sektormyndigheter som mattilsynets distriktskontor, kystverkets regionskontor, fiskeridirektoratas regionskontor, NVE, og kystforvaltningen. Fylkesmannen sender forslag ut på høring og mottar merknader, for å så avgjøre søknaden i henhold til akvakulturloven.

Mattilsynets distriktskontor ser på hvorvidt søknaden oppfyller kriteriene etter matloven og dyrevernloven. Kystverkets regionskontor ser på om søknaden oppfyller kriteriene etter

havne- og farvannsloven. Fiskeridirektoratets regionskontor kommer med uttalelse om tradisjonelle fiskeriinteresser, herunder også samiske. Fylkesmannen ser på om søknaden oppfyller kriteriene etter forurensingsloven, og vurderer samlet innspill fra naturvern-, friluft-, fiske- og viltinteresser. Kommunen sin rolle registrere søknaden og offentliggjøre den slik at den blir tilgjengelig for allmennheten til å komme med innspill. Høringsperioden er 4 uker. Det er også viktig at søknaden forholder seg til lokale arealplaner. Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) er bare involvert i saker som innebærer uttak av vann (for eksempel settefisk). I Norge har høsting av makroalger blitt regulert siden 1963, opprinnelig for å unngå konflikter med fiskere. Høsting av *Laminaria hyperborea* og *Ascophyllum nodosum* utføres av to prosessindustrier. Sjøhøsting er regulert av staten og nasjonale og regionale forskrifter definerer sektorene som er åpne for utnyttelse og er underlagt et rotasjonssystem. Før vedtaket av loven om forvaltning av ville marine ressurser i 2009, var det industrien selv som var ansvarlig for å gjennomføre evalueringsstudier av populasjon og biomasse sammen med forskere og deretter å etablere styringsreglene for å regulere aktiviteten. Dette er nå direkte under statskontroll.

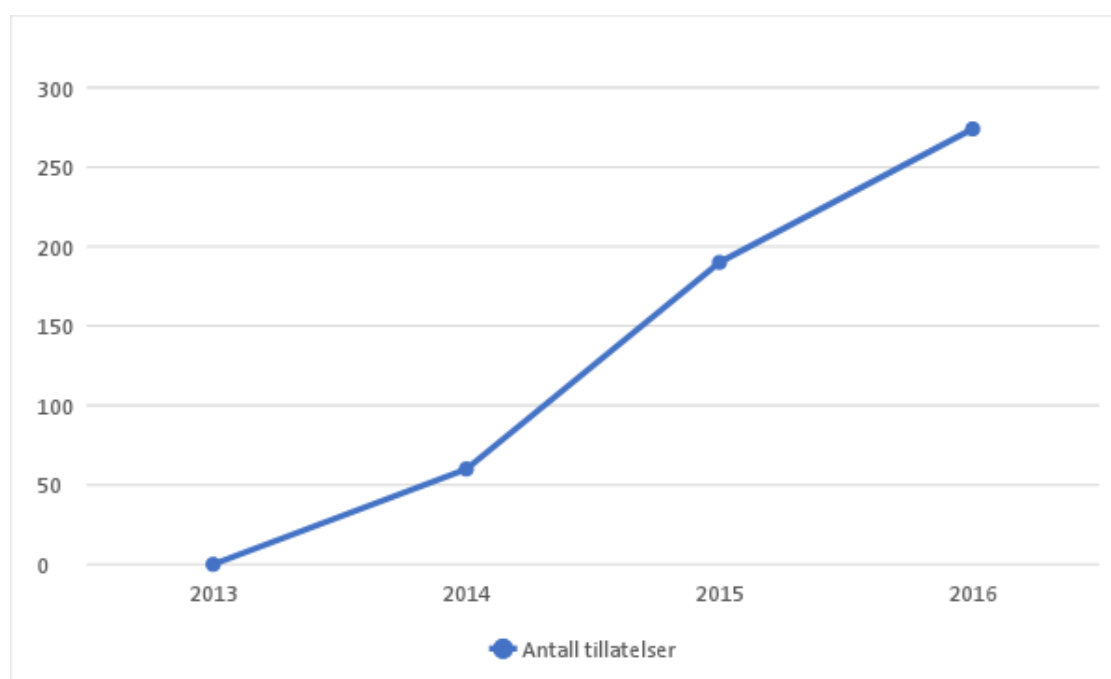
Det er Nærings- og fiskeridepartementet som er øverste myndighet. For å få godkjent en konsesjon for å dyrke makroalger må en søknad sendes til departementet, hvor tidligere nevnte instanser sjekker sitt felt. Tradisjonelt sett vil en konsesjonssøknad vurderes av fylkeskommunene. Her vil søker dokumentere at søknaden ikke er i konflikt med sentral lovgiving som matloven, forurensingsloven, havne- og farvannsloven, og vannressursloven. Miljøpåvirkningen et dyrkningsanlegg potensielt kan ha på nærliggende miljø må også ta hensyn til, her er det enda ikke fastsatt kriterier for makroalger.

Godkjente konsesjonssøknader gjelder primært for én art, på én lokasjon, noe som betyr at lovverket er per i dag ikke tilpasset integrert havbruk, alle former for akvakultur faller under akvakulturloven. Dog har salmonider og andre fiskearter, samt pigghuder, krepsdyr og bløtdyr egne tildelingsforskrifter. Det har ikke makroalger. En oppdretter som ønsker å sette i gang med kultivering av makroalger vil derfor få en separat, og skjønnsmessig vurdering fra Nærings- og Fiskeridepartementet, og tillatelser utdeles hvis det anses at kultiveringen er miljømessig forsvarlig. Mangel på en egen, og felles tildelingsforskrift, gjør at integrerte anlegg må gjennom en separat søknadsprosess for salmonider, en for bløtdyr, og en for makroalger. Bellona har tatt initiativ til et utredningsarbeid for å innhente kunnskap om

mulige effekter av full kommersiell skala på integrert havbruk som finansieres av Nærings- og Fiskeridepartementet, og Fiskeri- og Havbruksnæringens Forskingsfond.

Bellona adresserer en rekke kunnskapshull som må tettes før man kan gå videre med IMTA på industrielt nivå. Produksjonsbetingelser, mattrygghet, egnethet av lokalitetstyper og arter, og effekten IMTA vil ha på det lokale økosystemet er kunnskapshull som må tas tak før man implementerer flere tiltak som stimulerer til IMTA-anlegg, samt har de kartlagt kunnskapshull som er gunstige å tette før man går videre med utformingen av næringen. Disse innebærer optimaliseringsbetingelser for ulike IMTA-former, kartlegge markedet for IMTA produkter, livssyklusanalyse som tar for seg klimaavtrykk hvis alger blir brukt i biodrivstoff, og kartlegge populasjonsstrukturer hos arter som er aktuelle for IMTA (Karlsson-Drangsholt & Van Nes, 2017).

3.2.1 Antall tillatelser/konsesjoner



Tabell 2: *Antall tillatelser gitt til dyrking av makroalger fiskdir.no*

Det er flere steder langs norske kysten som egner seg godt til kultivering av makroalger. Modellresultatene fra SINTEF fra Trøndelagskysten viser tydelig at det er utenfor grunnlinjen det er best egnet å drive med kultivering av makroalger. Det ligger gode områder ved Frohavet, spesielt ved den midtre delen. (Broch et al 2017) Utfordringene som kommer

ved å flytte tare anlegg lengre ut eller offshore er at det kan komme i konflikt med farled, og skipsfarten.

De mest aktuelle makroalgeartene for dyrking i Trøndelag nå eller i nær fremtid er dem det finnes vel dokumenterte dyrkingsprotokoller for: Sukkertare *Saccharina latissima*, butare *Alaria esculenta*, fingertare *Laminaria digitata*, og søl *Palmaria palmata* blir pekt ut som de mest aktuelle artene for trøndelagskysten. Det er de samme artene som SINTEF anbefaler for storskala dyrking langs kysten av Møre og Romsdal (Broch et al 2016). Rapporten til SINTEF viser også at potensialet for kultivering av makroalger øker i biomasse med distansen fra kysten. Dette er pga temperaturen, og ikke minst bedre tilgang på næringssalter og lys.

SINTEF anslår at det er mulig innen grunnlinjen å kultivere i størrelsesorden fra 45 til 90 tonn per hektar per sesong, og utenfor grunnlinjen 92 til 164 tonn per hektar per sesong utenfor grunnlinjen (Broch et al, 2017) Rapporten SINTEF gjorde på bestilling for Møre og Romsdal fylkeskommune viste også at forholdene var mer stabile og gunstige utenfor kontinentalsokkelen. Tallene for Møre og Romsdal er høyere enn for Trøndelag med estimer på henholdsvis 35-74 tonn per hektar innen grunnlinjen, på sokkelen 86-130 per hektar, og utenfor sokkelen 144-220 tonn hektar (Broch et al, 2016). Ved å se på nitrogeninnholdet i biomassen kan vi få en indikator på proteininnhold i makroalgene. Tilgangen på nitrogen er generelt god flere steder langs kysten, og det er mange tenkelige områder også inne i Trondheimsfjorden (Broch et al, 2017).

3.2.2 Sysselsetting i næringen

Fiskeridirektoratet har kun sysselsettingsstatistikk fra 2015-2017, som viser henholdsvis 44 personer i 2015, 48 i 2016 , 69 personer i 2017 som går under statistikken «arbeid ved produksjon av alger». Antall bedrifter registrert hos fiskeridirektoratet i samme tidsrom er 10 i 2015 og 15 i 2016.

3.2.3 Omsetting basert på art.

Det florerer av ulike anslag hvor mye det omsettes for innenfor alger. Offisielle tall fra Fiskeridirektoratet sin statistikk database viser kun tall for omsetningsverdien for sukkertare og butare til konsum og for oppgitt mengde i tonn, verdi i 1000 kroner.

	2015		2016		2017	
Art	Mengde	Verdi	Mengde	Verdi	Mengde	Verdi
Sukkertare	49	160	33	100	140	355
Butare	2	18	26	817	9	342
Totalt art	51	178	60	917	149	697

Tabell 3: Omsetningsverdien for sukkertare og butare til konsum og for oppgitt mengde i tonn, verdi i 1000 kroner. Tall hentet fra fiskeridir.no

Butare har høyere verdi enn sukkertare, pga dens gastronomiske kvaliteter. Isteden for å kun være en smakstilsetter, benyttes sukkertare i større grad på linje med grønnsaker, salat heller enn umami. Her er det tykkelsen og teksturen på bladene som avgjør hvor velegnet taren er til matlaging. Bladene på butare er tynnere og finere enn sukkertarens blader noe som gjør den mer populær i restaurantbransjen, og blant hobbykokker. En annen grunn til at butare innehar en høyere markedsverdi er at veksten, og biomassen, per tau er mindre.

3.3 Kultivering av makroalger – fra kimplante til produkt.

Det finnes per i dag ingen standardisert metode i Europa for dyrking av makroalger, derfor forekommer det flere typer anleggsdesign. Selve fremgangsmetoden for kultivering av makroalger er ikke komplisert. Nødvendig utstyr er forankring, tauverk, og bøyer.

Det som er viktig i kultivering av makroalger er å sikre at tauverket tåler belastningen av økt biomasse, slik at tauverket ikke blir slapt og synker lavere ned hvor tilgangen på sollys er dårligere. I motsetning til blåskjellproduksjon hvor tauverket bare kan plasseres i vannet, og sporene festes naturlig, er produksjon av kimplanter til makroalger litt mer komplisert.

3.3.1 Produksjon av kimplanter

Kimplanteproduksjon foregår på et laboratorium. Her isoleres sporene og dyrkes i det tidlige vekststadiet til unge tareplanter (f.eks. Sporofytter), som senere utplasseres i sjøen.

Uansett størrelsen eller målene i kimplanteproduksjonen må hvert kimplanteanlegg utformes slik at det kan gjenskape de essensielle miljøforholdene (vanntemperatur, lys, salthold, næringsnivå) som finnes i det opprinnelige habitat til der tare skal dyrkes (Flavin et al, 2013).

Tareplanter har to generasjoner planter i sin livssyklus, mikroskopisk og makroskopisk.

Den store tareplanten, sporofytten, slipper løs sporer som spirer seg til mikroskopiske planter, gametofytter. Gametofyttene er enten hunner eller hanner. De fremstiller egg og sperma som ved befruktning vokser frem til en ny tareplante. I industriell produksjon av makroalger og dyrking foregår den første fasen i laboratorium, den mikroskopiske fasen, og den andre fasen foregår i sjøen når kimplantene er store nok til sjøsettingsfasen. Under den første fasen, i laboratoriet, bearbeides fertile sporeplanter til en oppnår sporeløsning (Rueness et al., 2008). Herfra må sporene overflyttes til beholdere med sporefangere. Sporefangere for makroalger er som oftest svært tynne tau av kunstfiber som er tvinnet rundt rektangulære innfatninger eller sirkulære spoler. Når sporene fester seg til tauverker vil de begynne å spire relativt hyppig til enten hunnplanter eller hannplanter. Denne befruktnings prosess tar 7-14 dager, og ikke lenge etter vil små tarekimplanter raskt å utvikle seg. Gitt optimale vekstrammer kan kimplanter spire ca. 1-2 cm på 8 uker, og deretter omplantes til anlegg i sjøen (Rueness et al., 2008). En annen fremstillingsmetode av kimplanter er naturlig produksjon. Det skjer ved av

hele den første fasen foregår til sjøs, hvor sporer, befruktning og kimplanter vokser frem ut på anlegget. Dette gjøres ved at tauverket plasseres i sjøen på sensommeren/høst får å få et naturlig påfeste av sporer fra økosystemet rundt anlegget, denne metoden er vanligst ved produksjon av blåskjell. (Kelly et al., 2008). Selv om metoden er langt mer kostnads- og tidsbesparende, gir det langt dårligere forutsigbarhet da man i laboratorium kan i større grad plukke ut i de plantene med best vekstvilkår, temperatur og salinitetstoleranse.

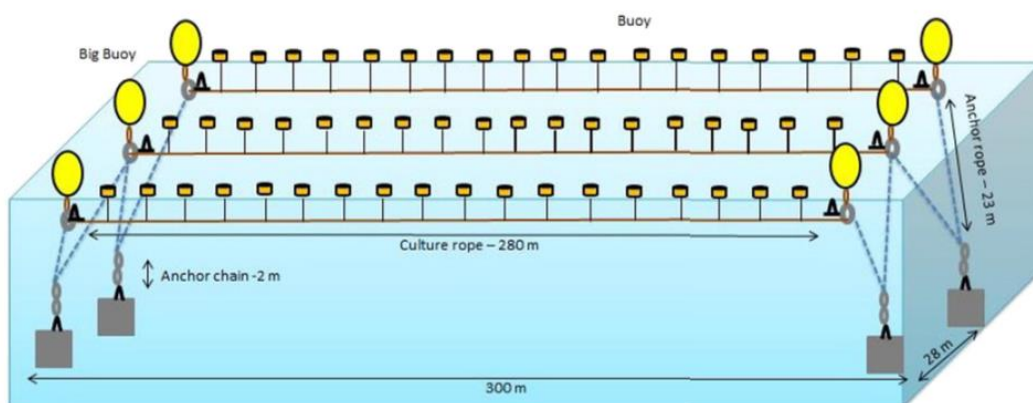
De to forskjellige dyrkingsmetodene vil ha tilnærmet lik miljøeffekt i henhold til resirkulering av materialer plassert i havet, samt transport og muligheten for videreformering av makroalger på land. Der de to metodene vil skille lag er at de vil resultere ulike resultat av energi intensitet, bruk av materialer, og næringstilgang for stiklingene i denne perioden. Enkeltcellede haploide meiosporer frigjøres fra sorus av voksen sporangialt vev av tare; disse bosette seg og utvikle seg til mannlige eller kvinnelige gametofytter. Befruktning fører til utvikling av nye diploide sporofytter som deretter vokser til voksen størrelse. For dyrking, frigjøres meiosporer eller gametofyttkulturer som dyrkes i innendørs klekkerier i 1-2 måneder (Kerrison et al, 2018). Studien til Kerrison et al (2018) har vist at sporofytt-såingsteknikken ved hjelp av et bindemiddel er en effektiv metode for å tillate tekstilunderlag å bli festet på til kultivering av makroalger. Sporofytt-såing resulterte i to ganger så mye biomasse sammenlignet med gametofytt-såing, mens meiospore-såing ga svært dårlige resultater. Prøven fra den ikke-vevde tekstil hadde høy innledende begroing. Kuralon-tvillingen var enten A) sådd med sporofytter eller B) sådd og dyrket i et tradisjonelt klekkeri. Metoden trenger imidlertid ytterligere optimalisering og testing for å sikre at den er pålitelig (Kerrison et al, 2018)

3.4 Anlegg design

Det er stor variasjon i måten et anlegg for kultivering av makroalger er designet på, og det varierer veldig fra land til land. I enkelte land består anlegget av vertikale tau som henger fra en bøye / lang line system. Et anlegg kan også bestå av nedsenkede parallelle lange liner. Måten en aktør velger å designe anlegget sitt på bør reflektere miljøfaktorene i området til lokaliteten, og teknologien som tilgjengelig for såing og høsting, f.eks. om det gjøres for hånd eller maskinelt (Flavin et al 2013) Det er fem forskjellige typer anlegg for dyrking av makroalger som går igjen i tilgjengelig litteratur og forskning. Basert på utforming, og retning på tauverk, er det fem typer anlegg som går igjen. 1. Horisontale anlegg, 2. vertikale anlegg, 3. sirkulære anlegg, 4. landbasert anlegg 5. kombinasjons/cross-over anlegg.

3.4.1 Horisontale anlegg

Horisontale anlegg stort sett lokalisert nært land, og er en enkel for tære produksjon som ikke har forandret så mye med tidens løp. Det som kjenner tegner et horisontalt anlegg er lange liner med flytebøyer som holde rammeverket oppe. Det vanligste er å ha et enkelt lag med horisontale liner, men kan også dyrket i på flere dimensjoner ettersom tarens behov for lys. (Taelman et al, 2015)



Figur 2: Ventry Harbour, Co. Kerry, Ireland. Anlegget inneholder 3 langliner, 4 anker m anker kjettinger, 8 anker tau, og bøyer. Tauverket med makroalger er forhånds vis 0,5-1m under vannoverflaten (Taelman et al, 2015)

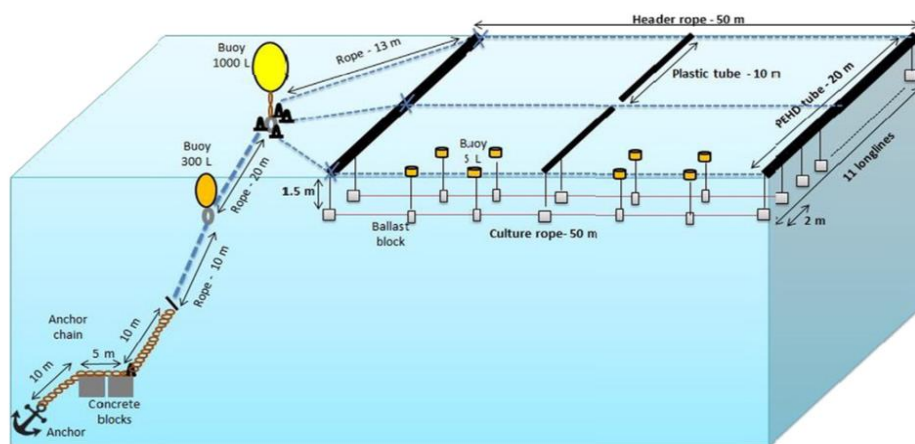


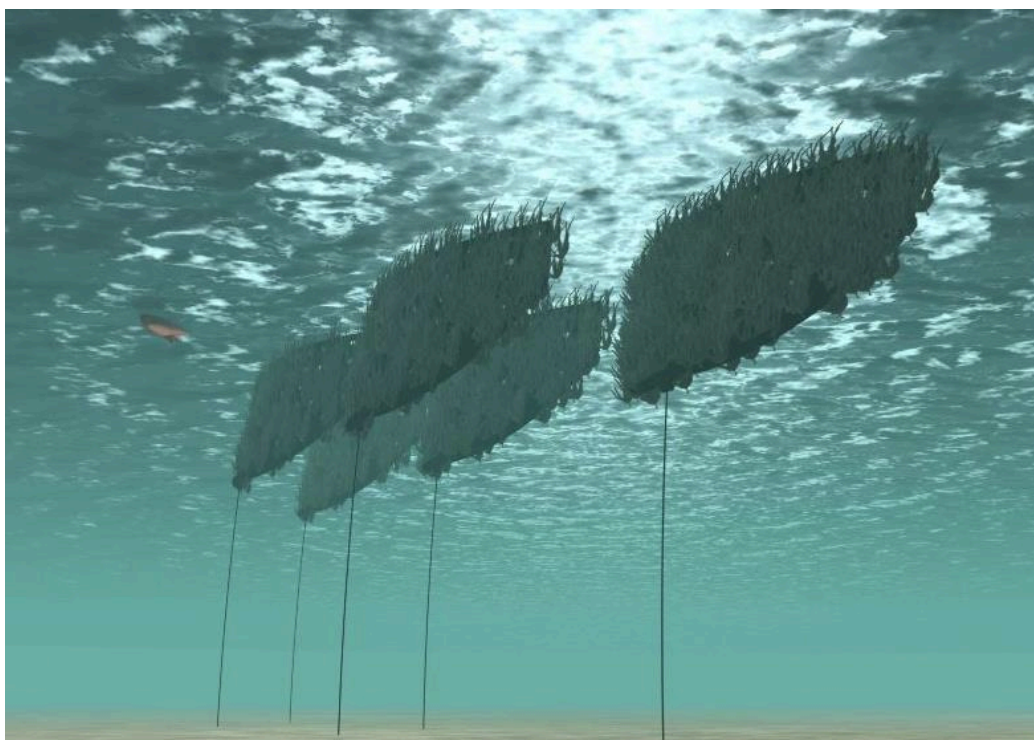
Fig. 3. Schematic representation of a raft system (20 m × 50 m, type 1) and anchoring used at the sea farm (6000 m²) near the coast of Lézardrieux, France. Only 2 culture ropes (1.5 m below the sea surface) are shown.

Figur 3: Skjematisk fremstilling av et flåtesystem (20 m × 50 m, type 1) og forankring brukt på anlegget (6000 m²) nær kysten av Lézardrieux, Frankrike. Bare to liner (1,5 m under havoverflaten) er vist. (Taelman et al 2015)

I områder med mye overflatestrømninger vil det være gunstig å velge et anlegg med horisontale langliner. Hovedårsaken til dette valget er det nedre arealutbyttet av et langlinesystem under disse forholdene fordi en stor avstand mellom tauene er nødvendig for å unngå friksjon (Taelman et al 2015)

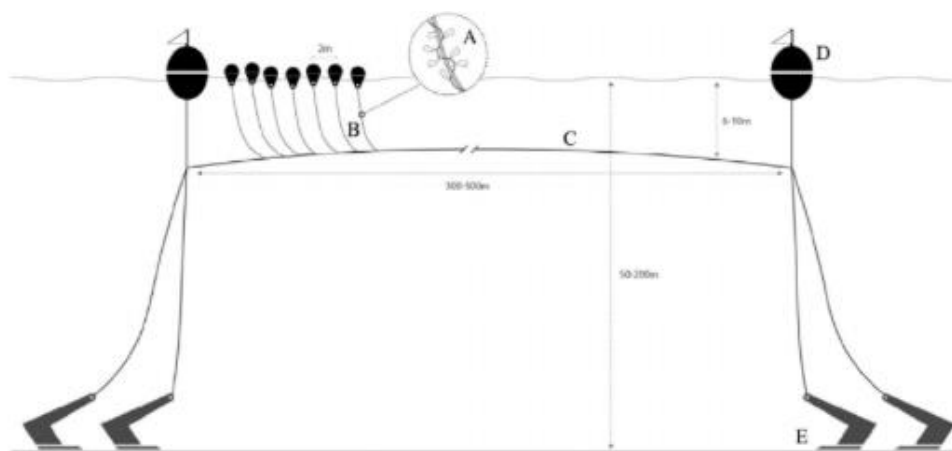
3.4.2 Vertikale anlegg

Seaweed Energy Solution (SES) er en av de mer erfarne aktørene i den norske tareindustrien. SES har utviklet og patentert en metode som går ut på å feste taresporer til vertikale flak. Flakene flyter i sjøen og forankres i sjøbunnen. Her vokser makroalger mer kompakt på flak, med hensikt at makroalgene skal være mer effektive å høste enn viltvoksende makroalger (Teknisk ukeblad, 2016) SES benytter seg av morplanter fra Frøya, disse manipuleres med lys og temperaturer for å imitere oktober-vær, slik at morplantene bli stimulert til å frembringe sporer og frø, disse frembringes ved et klekkeri i Trondheim. Frøene sås på tau som ligger i åpne sjøvannskar. Her får de spire og gro fra encellede sporer til en centimeter kimplante på åtte uker, før de plasseres på de vertikale flakene (Teknisk ukeblad, 2016).



Figur 4: Under vann: SES' patenterte metode går ut på å feste taresporer til vertikale flak, som flyter i sjøen og forankres i sjøbunnen. Foto: Seaweed Energy Solution

På Færøyene har også kultivering med bruk av vertikale anlegg fungert bra. En offshore langline makroalger dyrking riggen ble designet av Ocean Rainforest Sp / f, testet på Færøyene fra 2010, og funnet egnet for dyrking i eksponert og dypt vann steder (Bak et al, 2018)



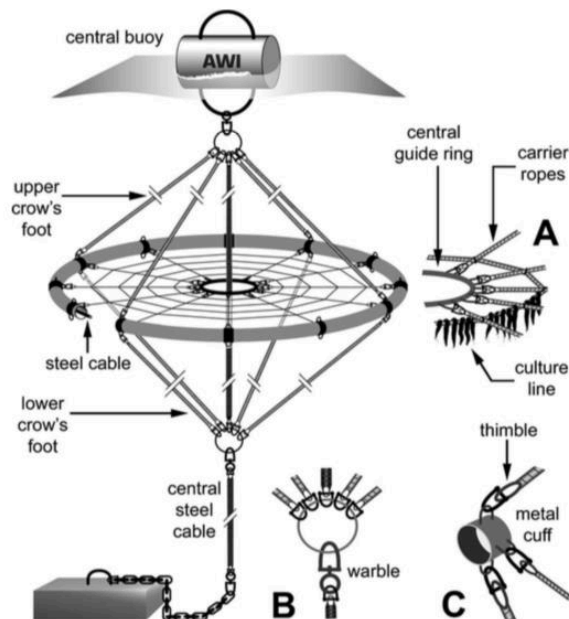
Figur 5: Test anlegg på Færøyene: Skjematisk tegning av en dyrkningsrigg (MACR) konstruert av Ocean Rainforest Sp / f. Konstruksjonen kan distribueres for kultivering av

makroalger ved bølgeeksponerte steder med en dybde på 50-200 m. Frølinjene (A) er tvunnet rundt vekstlinjer (B) som er festet med 2m intervaller til den finale linjen (C) byalooop og holdes i vertikal stilling med en bøye. To hovedflater (D) og fire stålankre (E) sikrer riktig posisjon av riggen (Bak et al, 2018.)

Metoden som ble brukt her ble utført med stiklinger, og såingsmateriale som ble produsert av firmaet Hortimare BV, og benyttet en standardprosedyre for stiklingproduksjonen. Fertile *S. latissima* og *A. esculenta* ble samlet fra villpopulasjoner i Funningsfjærdur i januar 2014. Fra fruktbar sori ble sporefrigjøringen gjort ved å forlate sori dehydreringen og i mørket til neste dag. Sporene ble frigjort til sterilt og filtrert sjøvann og plassert med lufting i rødt lys ved $10 \pm 2^\circ \text{C}$ (Bak et al, 2018). Den viktigste innretningen var innvirkning på den flerårige innhøstingen på den økonomiske utviklingen, med en reduksjon på 75% av kostnaden per kg dyrket *S. latissima*. (Bak et al, 2018)

The Macroalgae Cultivation Rig ble vist vellykket for forholdene som ble funnet på dyrkingsstedet i Funningsfjærdur. Neste skritt vil være å teste systemet på et annet sted med lignende forhold. Høstingsmetoden benyttet var flere delvise innhøstninger som ble vist seg velegnet for *Saccharina latissima* og *Alaria esculenta*, og metoden øker utbyttet per meter vekstlinje. (Bak et al, 2018) For å øke det økonomiske utbytte for kultivering av makroalger i Europa er det imidlertid behov for ytterligere tiltak både i forhold til å øke avkastningen og redusere driftskostnadene (Bak et al, 2018)

3.4.3 Sirkulær anlegg



Figur 6: Sirkulær anlegg ble test ut med *S.Laminaria* offshore. Hovedelementene i systemutformingen er: (A) sentral styringsring med festet bærebånd og line med stiklinger, (B) overgangen mellom fortøyningens sentrale stålkabel og den nedre kragefoten, (C) metallmanchetter, og sikringer er festet sammen. (Buck and Bucholz, 2004)

Sirkulære anlegg har vist seg å ha potensiale som kultiveringsplattform. Individuelle ringer med en diameter på 5 m viste en bedre ytelse i forhold til andre testede bærekonstruksjonene, som langline, nett, og stige-formasjon (Buck and Bucholz, 2004). De holdt seg stabile og på plass under alle værforhold, selv etter stormer som innebar noe slitasje. I tillegg var det enklere å overføre anlegget over på land, ringene ble deretter slept til sine fortøyningssteder og festet relativt raskt under svakt tidevann. Prøvetakning og høsting var vesentlig lettere på grunn av muligheten til å heise opp ringkonstruksjonen med en skipskran da sentral bøya har en krok som det er lett å feste tak på (Buck and Bucholz, 2004).

Landbasert dyrking av marine makroalger kan også forekomme ved bruke av sirkulære anlegg. Det kan åpne opp muligheten til å produsere høykvalitets biomasse som kreves i ulike bruksområder hele året. Havsalat er en velegnet makroalge til kultivering i sirkulære anlegg på land, og forskere har hatt fått gode resultater med et nyutviklet ringformet dyrkingssystem hvor bevegelsesmønsteret blir simulert på sirkulær måte (Sebök et al, 2018)

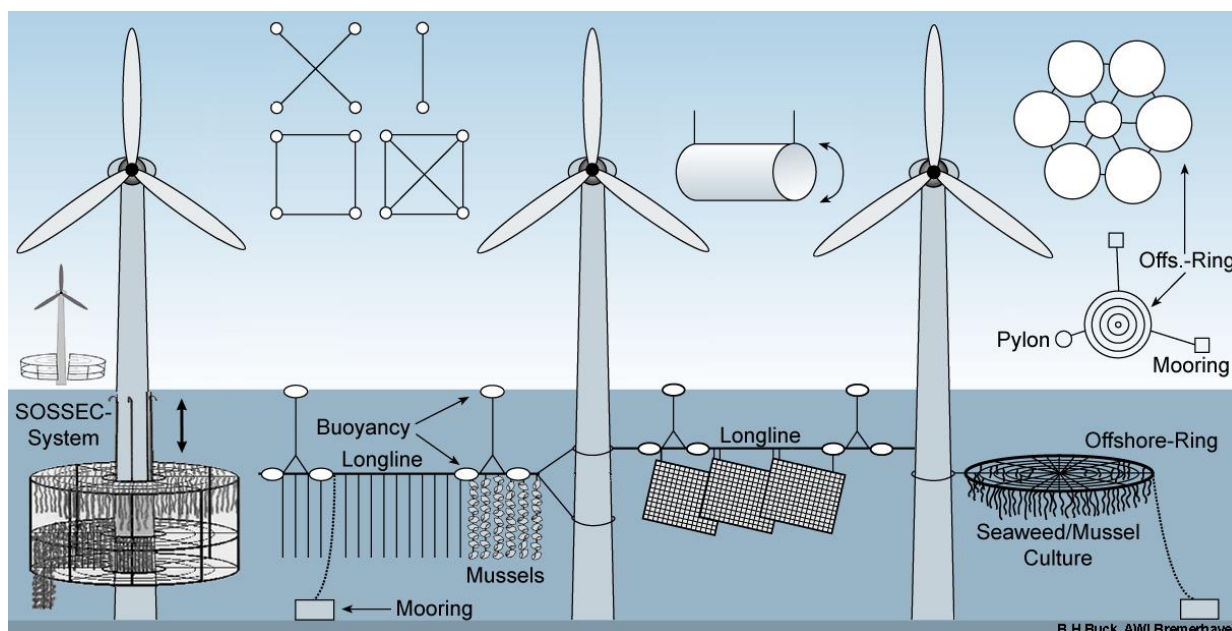
I lignende systemer har det også vært gjort forsøk med søl hvor gjennomsnitts veksten var noe redusert, mens vekstraten til havsalat var lik eller økt sammenlignet med kultiverte makroalger i tanker. Det ringformede kultiveringssystemet reduserte kostnader ved å gi økt kontroll av dyrkingsprosessen ble oppnådd ved å skille tilførsel av CO₂ og næringsstoffer, og temperaturkontrollen fra agitasjon (Sebök et al, 2017a).

3.4.4 Landbaserte anlegg

Bruken av landbaserte anlegg som tanker eller karr kan gi størst produktivitet per areal, og er en mer effektiv enn noen annen type oppdrett, fordi i denne typen system kan flere trinn styres nøyaktig, og klare å redusere arbeidsinngangen, selv om denne typen system har høye driftskostnader (Andersen, 2005). Generelt innebærer kultivering av marine makroalger i tanker luft-agitasjon av biomassen, og intermitterende lysforhold, dvs. periodisk, kort lyseksposering av tallus i området på 10 s ved vannet, etterfulgt av å doble til mørkt lys i tankens bunn og resirkulering tilbake til overflaten i løpet av 1-2 minutter (Pang & Lüning, 2004).

Landbaserte anlegg kan spille en viktig rolle hvis industrien skal oppnå kommersiell suksess. Dette med tanke på utviklingen av funksjonelle produkter fra makroalger i industriell skala til humankonsum markedet. Med landbaserte anlegg oppnår virksomhetene god kontroll over kvalitet, effektivitet, sporbarhet og sikkerhet (Sebök et al 2018, Mata et al, 2016, Hafting et al 2012). Landbaserte anlegg går for å være en miljøvennlig kultiveringsform, tiltros for at det foregår på land (Hafting et al, 2012). Imidlertid har kultiverings metode mange nærliggende utfordringer for utvikling, inkludert høye kostnader knyttet til kapital, drift, vedlikehold og utvikling av kultiverings metoden, og disse kravene begrenser utviklingen av produkter til konsum. (Hafting et al, 2012). Vekst avbrutt av reproduksjon har også blitt pekt på som er en stor ulempe i landbaserte anlegg. (McLachlan, 1991) Intensive landbaserte kultiveringssystemer av makroalger i stor skala har dog vist seg som svært produktive med fordelene av å produsere biomasse med en konsistent biokjemisk profil for utvinning av flere bioprodukter (Mata et al, 2016). En større studie gjort av tungmetaller hos makroalger i havet ble Cd, Hg og Pb funnet i alle arter som ble studert. Akkumulering av disse uønskede elementene kan lett forekomme i marine organismer, inkludert makroalger som kan være med å støtte grunnlaget for å heller kultivere grønne alger på land, enn konvensjonell kultivering (Biancarosa et al 2018)

3.4.5 Kombinasjonsanlegg med andre næringer



Figur 7: Ulike typer kombinasjonsanlegg her sammen med havvind (Buck et al. 2004)

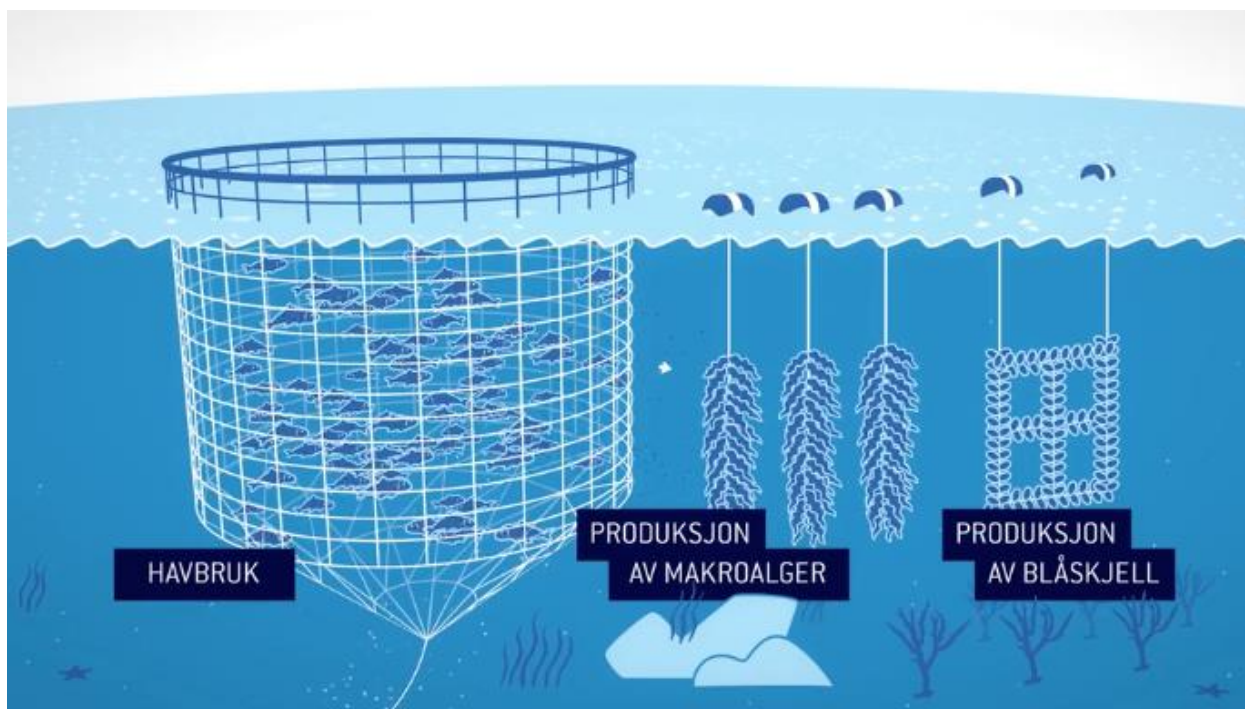
Kombinasjonsanlegg involverer samdyrking med andre typer havbruk, eller i kombinasjon med andre typer næring som f.eks offshore havvind. Integrert multitrofisk akvakultur (IMTA) er samdyrking av ulike organismer på ulike nivå i næringskjeden (Strand & Steen, 2011). Ettersom oppdrettsnæringen har hatt en ekspansivvekst, har fokuset på utslipp av organisk materiale økt. Konseptet IMTA går ut på å at organisk utslipp fra fiskeoppdrett resirkulerer på et lavere nivå i næringskjeden (Karlsson-Drangsholt & Torp, 2017), slik at oppdretterne minimerer påvirkningen anleggene har på lokalitetene mens oppdretterne på samme tid kan øke verdiskapningen ved å etablere nye produkter ved å dyrke flere organismer (Strand & Steen, 2011). Potensialet innenfor nitrogen opptak fra oppdrettsnæringen er stor.

I 2011 rapporterte havforskningsinstituttet at det høstes 150 000 tonn tare pr år som benyttes til produksjon av alginat. 150 000 tonn utgjør et nitrogen opptak på 2000-3000 tonn nitrogen, som kan konverteres til 20-30% av utslippene fra oppdrettsanleggene langs kysten. Dette regnestykket er gitt forutsetningen at alt organisk materialet fra makroalgene utvinnes. Integrert havbruk kan øke den økonomiske verdien til fiskeoppdrett ved at den øker den totale biomasse produsert på lokaliteten (Stévant et al, 2017).

Ocean forest er per i dag det mest kjente IMTA prosjektet i Norge Miljøstiftelsen Bellona gikk i sammen med oppdrettsgiganten Lerøy for å teste ut et fullskala IMTA prosjekt i Norge og dannet selskapet Ocean Forest. På nettsidene til Lerøy¹ beskriver de visjonen for prosjektet slikt:

”Visjonen til Ocean Forest er å mangedoble matproduksjon fra havet på en bærekraftig måte ved også å høste på lavere nivå i næringskjede. Denne visjonen vil redusere fotavtrykket ved produksjon av fisk samtidig som den gir store mengder råstoff for human konsum, til fôr og ren energi samt representere en betydelig fangst av CO2.”

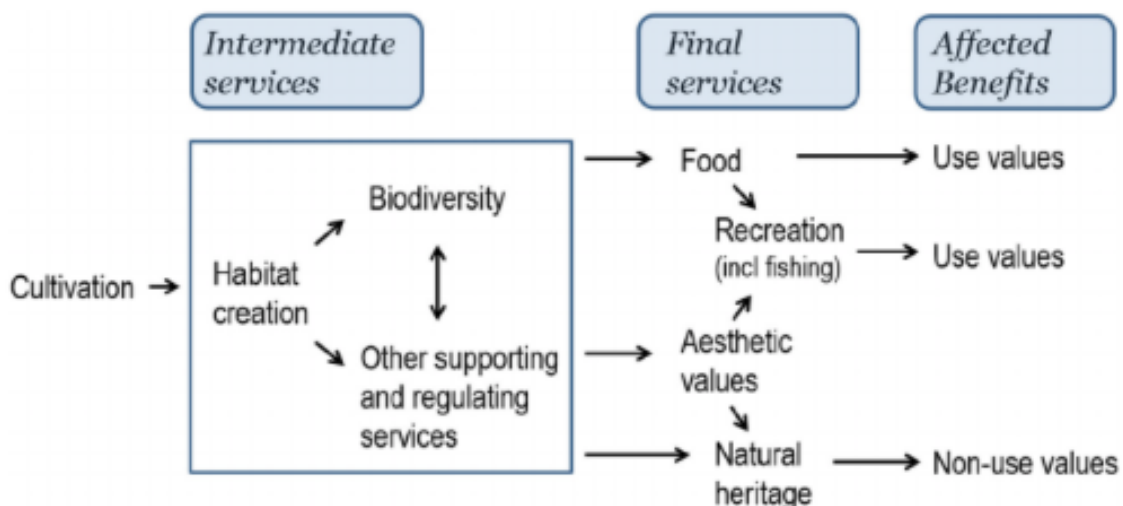
S. latissima har blitt identifisert som en potensiell kandidat som en del av integrerte multitrophic aquaculture IMTA-systemer, og presenterer gode resultater i forhold til både vekst og biofiltrasjon (Azevedo et al, 2016). Ocean Forest kultiverer de fem forskjellige arter, havsalat (*ulva lactuca*), Søl (*Palmaria pamata*), Butare (*Alaria esculenta*), Fingertare (*Laminaria digitata*), Sukkertare (*Saccharina latissima*, *Laminaria saccharina*). Tallene fra de første innhøstingene, hvor første var i 2016, og andre i 2017 viser beskjedene tall på henholdsvis 17 tonn og 40 tonn. For 2018 har Ocean Forest forhåpninger om å ha en innhøsting på 100 tonn. Daglig leder for Ocean Forest Sveier opplyser selv på nettsidene at hvis det skal bli industri av næringen må de minst opp i 1000 tonn i året. I tillegg dyrker de blåskjell som i 2014 ga nok biomasse til å produsere 6 tonn med blåskjellmel fra hovedsakelig innmaten til blåskjell, dette gjorde de i samarbeid med Pelagia Karmsund Fiskemel. Formålet til Ocean Forest med å dyrke blåskjell er å bruke det til erstatning til fiskemel, eller landbaserte ressurser. Blåskjellmel inneholder omega-3 fettsyrene, protein og alle de aminosyrene som laksen trenger derfor passer blåskjellmel godt i fiskefôr, rimelig produsere og kan bidra til å omdanne oppdrettsnæringen til en mer sirkulærindustri.



Figur 8: Ocean Forest IMTA hentet fra: https://www.leroyseafood.com/no/smakfull-sjomat/miljo_og_samfunn/oceanforest/.

3.5 Hvordan påvirker kultivering av makroalger økosystemet?

Havet, elvemunninger og kystsoner er blant de mest komplekse, dynamiske og uoppdagede miljøene på vår planet, kultivering av makroalger i nær- og offshore-områder vil trolig få innvirkning, miljø eller annet (Oirschot et al, 2017) Undersøkelser utført i Sverige indikerer at støtte-, regulerings- og forsyningstjenester trolig vil være hovedsakelig positivt påvirket av makroalge kultivering, mens noen av økosystemtjenestene sannsynligvis vil bli negativt påvirket. Noen av de viktigste fordelene er knyttet til habitatforsyning og næringssekvestrering. (Hasselström et al, 2018)



Figur: Viser årsakssammenheng fra anleggets påvirkning til økosystemtjenester (Hasselström et al, 2018)

I betraktning av det spesifikke økosystemet er disse også tjenester som er mindre enn gode på nåværende tidspunkt hvor undersøkelsen fant sted, noe som gjør disse effektene spesielt viktige i lokal kontekst. Negative utslag ble knyttet opp til rekreasjon og estetiske verdier. (Hasselström et al, 2018)

3.5.1 Erosjon og bunnpåvirkning

Makroalger som kultiveres blir sanket ved slutten av endt produksjonssyklus som er når havtemperaturen nærmer seg det høyeste i mai-juni. Underveis i kultiveringen risikerer man at enten deler av planten eller hele planter faller av dyrkingstauet som følger av f.eks bølger, fisk, fugl eller havpattedyr, eller som følge av konkurranse om plass (Walls & Johnsen, 2017). Kultivering har vist seg å ha liten påvirkning på organismer som lever i den bentiske delen nær anlegg, nærværet av anlegget påvirket ikke biomasseverdiene til ålegress, *Zostera marina*. (Walls & Johnsen, 2017)

3.5.2 Påvirkning av skyggelegging

Både ved kultivering av makroalger ved vanlige anlegg og IMTA-anlegg kan kultiveringen ha en negativ påvirkning på akvatisk vegetasjon i området tett inntil lokaliteten, dette vil kun være en utfordring hvis lokaliteten er grunn (Eklöf et al, 2006) Selv om det har vært

praktisert kultivering av makroalger i århundrer, er virkningene av makroalge kultivering på bentiske miljøer fortsatt ikke helt klar. (Oirschot et al, 2017)

3.6 Klimarisiko i tareindustrien

Som Stévant et al (2017b) adresserer er klimaendringer en av problemstillingene tareindustrien kommer til å stå ovenfor. For å sikre en bærekraftig norsk og europeisk sjømatproduksjon bør nasjonale klimastrategier og handlingsplaner inkludere både fiskeri og havbruksnæringen, og integreres på regionalt nivå i lokale klimaplaner (Blancher et al, 2019). National Aeronautics and Space Administration (NASA) og National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) rapporterte at 2016 var det varmeste året på kloden siden 1880. De 17 varmeste årene på rad, med unntak av 1998, har vært etter 2000. Siden 1880 har jordens gjennomsnittlige overflatetemperatur har økt med ca. 1,1 ° C, og hovedparten av denne oppvarmingen har skjedd de siste tre tiårene (Kim et al, 2017). Rapporten Global Carbon Budget 2018, viser utslippene av CO₂ øker med 1,6% i 2017, og at økningen vil eskalere videre til 2,7% for 2018 (Le Quéré et al, 2018). Utvikling av nye stammer med høy toleranse for temperatursvingninger vil potensielt være et viktig steg for utviklingen av en bærekraftig akvakulturindustri (Kim et al, 2017). Forskning viser også at havbruksnæringen i Europa vil også bli påvirket av økende havtemperaturer som følge av global oppvarming, som f.eks. mollusker som representerer over halvparten av den europeiske marine akvakulturproduksjonen (Blancher et al 2019).

Muligheten for å utvide og konkurrere mot andre kultiverte arter er imidlertid begrenset av tilgjengeligheten av egnede områder og konkurranse om egnede områder med andre bruksområder. Til tross for disse begrensningene, kan oppdrettspraksis bli optimalisert for å maksimere klimagevinstene, noe som kan, hvis det er økonomisk kompensert, forbedre inntektene til tareindustrien (Duarte et al 2017, Krause-Jensen et al, 2018). Ved at man priser karbonet taren fanger, og lagrer den eller ikke henter den opp fra havet (Duarte et al 2017, Krause-Jensen et al, 2018). I Europa har temperaturene på land og i vann økt jevnt de siste 25 årene, spesielt i nordøst-Atlanteren, hvor endringer har vært opptil seks ganger større enn det globale gjennomsnittet (Blancher et al 2019). Når makroalger vokser gjør de det ved å ta til seg CO₂ via fotosyntesen. På denne måten lagrer de CO₂ fra havet, og indirekte også fra atmosfæren, og selve biomassen fungerer som et karbonlager (Sebök et al, 2017, Duarte et al

2017, Krause-Jensen et al, 2018). Hvordan biomassen utnyttes og hvilken utnyttelsesgrad man klarer å oppnå etter høsting vil ha mye si for det totale klimaavtrykket. Samtidig vil også andel stiklinger, og voksne blader som faller fra påvirke sluttsummen på klimaregnskapet. Bunnforhold kan bli påvirket hvis taren blir lagret i bunnsedimentene. I det tilfellet vil bunnsedimentene tjene som et karbonlager, og kan videre bidra til overgjødning, metanproduksjon, anaerob nedbrytning. Så det totale klimaavtrykket kommer an på hvor møysommelig produksjonen forgår, samt eksterne forhold som hav, og vind forhold (Bong-Tae et al 2019). Sårbarheten til enkelte arter, som laver og sjø sennep, spesielt for høy vanntemperatur, var betydelig i alle scenarioer som ble testet av de viktigste økonomiske artene i Sør-Korea (Bong-Tae et al 2019). Studien fra Sør-Korea ekskluderte noen faktorer som sannsynligvis påvirker akvakultur i stor grad som for eksempel havforsuring av hav og havnivå, fordi estimatdata ikke var tilgjengelige. Den indirekte effekten av klimaendringer på fôr og marineplanter for akvakultur ble heller ikke studert. Havforsuringen har i følge miljødirektoratet økt i Norge hvor overvåking viser, som følger av menneskeskapte CO₂ utslipp, at pH-nivået i Norskehavet har nå sunket i tidsperioden 1981-2016 (Miljødirektoratet, 2018)

I studien til Dorte Krause-Jensen og Duarte, 2016, fant forskerne blant annet hvordan makroalger tar CO₂ ut av det globale karbonkretsløpet, karbon akkumuleres ikke i tareskogen. Resultatene viser at makroalger ofte blir revet bortsett fra steinene de er på, og så fraktes de med havstrømmer (Krause-Jensen og Duarte, 2016, Krause-Jensen et al, 2018). Mange makroalger transporteres langs bunnen før de når de store daler som tar alger dypere ned i sjøen, der de kan sedimenteres, og bli en del av havbunnen. Andre alger flyter langs sjøoverflaten, men på et tidspunkt faller havstrømmene dem under overflaten og sender det til havbunnen flere kilometer ned, og bli en av blått karbon. (Krause-Jensen og Duarte, 2016) Blått karbon er karbonet som blir lagret av verdens havet og økosystemer langs kysten. Karbonet lagres av levende organismer i havene i form av biomasse og sedimenter fra mangrover, saltmyrer, sjøgress og alger. 52,4 mill tonn CO₂-ekvivalenter slapp Norge ut i 2017 (Statistisksentralbyrå, 2018). NIVA anslår at potensialet for karbonlagring er større i tareskogen enn skogen på land (Frigstad et al, 2017). Beregninger viser at hvis Norge hadde satt av et areal på 18.000km² til kultivering av makroalger utenfor norske kysten ville det vært nok til å lagre 52,4 mill tonn CO₂-ekvivalenter hvert år (Tekfisk, Skjermo 2018).

Vesentlige mengder karbon blir eksportert fra marine plantesamfunn som tareskoger, i form av detritus ned til havbunnen. Store partikler kan nå dype habitater intakt eller kan brytes ned til mindre fragmenter gjennom slitasje eller riving av planteetere som f.eks kråkeboller (Wernberg og Filbee-Dexter, 2018). Under milde til moderate strømninger vil de fleste bladene, stilkene, og hele planter nå sjøbunnen innen kort avstand fra tareskogen, mens små partikler og avføring fra kråkeboller som inneholder tarepartikler og biter, kan reise over store avstander. Og studier viser at under disse forholdene kan så mye som 22% av karbonet lagret i taren kunne nå kontinentalsokkelen og dyphavet (Wernberg og Filbee-Dexter, 2018). Som indikerer at det lagres en betydelig mengde karbon fra tareskogen på havbunnen i dag. Beviset på at makroalger kan begrave og lagre karbon er overbevisende (Krause-Jensen et al, 2018).

3.7 Makroalgenes evne til å akkumulere tungmetaller

Makroalgers evne til å samle opp miljøgifter og tungmetaller er et verdens omspennende interessefelt. Kinesiske forskere har under søkt 92 typer rødalger, 154 brunalger, og 36 grønnalger for å blant annet undersøke arsenikk nivået da konsum av makroalger til menneskeføde er betraktelig høyere i Kina enn i Norge (Ma et al, 2018). Selv om alger er en kilde til essensielle mineraler, vitaminer og antioksidanter, har de en høy absorpsjonskapasitet som kan føre til høy akkumulering av giftige metaller (Rubio et al, 2017, Paz et al 2018, Biancarosa et al 2018). Ulike studier har vist korrelasjoner mellom innholdet av metaller i sedimenter, vann og alger. Forurensning av havmiljøet har økt betraktelig, og undersøkelsen av giftig metallinnhold i alger kan tjene som forurensningsindikator på forurensingen i havet (Paz et al, 2018).

Alger er en av de beste marine forurensning indikatorene fordi de er stabile, effektive og konsentrasjonen av forurensende stoffer er direkte relatert til miljøet (Rubio et al 2017, Paz et al, 2018) Disse organismene er dessuten i stand til å absorbere og akkumulere metaller uten å ta skade av akkumulasjonen (Paz et al, 2018) Giftige metaller som aluminium (Al), kadmium (Cd), bly (Pb) og kvikksølv (Hg) er miljøforurensende stoffer som stammer fra menneskeskapte aktiviteter som f.eks. gruvedrift eller ukontrollert bruk av plantevernmidler (Paz et al, 2018)

Det er en rekke grunner til at vi bør akkumulasjoner av miljøgifter bør evalueres.

Al er et nevrotoksisk metall uten funksjon i menneskekroppen som har en tendens til å samle seg i hjernen, bein, lever og nyrer. Langvarig eksponering for høye nivåer av Al har vært knyttet til sykdommer som Alzheimers sykdom. (Paz et al, 2018)

Cd har toksiske effekter på grunn av dets høye halveringstid og dens bioakkumulering.

Den divalente naturen til Cd gir den muligheten til å danne et stort antall stabile koordinasjonskomplekser med biomolekyler, og derved endre deres funksjon.

Dette metallet påvirker hovedsakelig nyresystemet, forårsaker irreversibel skade på nyrene, som er involvert i mekanismene for nærings reabsorpsjon (Paz et al, 2018).

Pb, et annet neurotoksisk metall, har en tendens til å akkumulere i kroppen og forårsaker alvorlig skade på sentralnervesystemet (CNS), spesielt ved utvikling av barn og foster, og kan forårsake nefropatier, endringer i mage-tarmkanalen og Alzheimers sykdom(Paz et al, 2018) Hg har en høy toksisitet og en markert tendens til å akkumulere og biomagnifisere langs trofekjeden. De toksiske effektene av dette elementet er relatert til den kjemiske form der den er funnet, samt inngangen til kroppen, for eksempel når inngangen er gjennom fordøyelseskanalen metylkvikksølv er kvikksølvforbindelsen med størst innvirkning, og dette akkumuleres i nervevevet (Paz et al, 2018)

Den første langsiktige undersøkelsen av kvaliteten på de tre spiselige tangene i Nord-Atlanteren ble nylig gjennomført sett i lys av bekymringene forskere tidligere har uttrykt for matsikkerheten. Den særegne artsspesifikke og sesongmessige variasjonen i antioksidantsystemene mellom de røde og brune tangene er sannsynligvis knyttet til deres habitat og eksponering for forskjellige miljøstressorer, og genetiske forskjeller (Roleda et al, 2019). Artsspesifikke forskjeller i noen tungmetallkonsentrasjoner kan tilskrives adsorpsjonskapasiteten, opptaksmekanismen og celleveggkjemien (Roleda et al, 2019)

Variasjonen kan være forbundet med tungmetallkonsentrasjoner ved høsting eller lokalitet (Rubio et al, 2017) Tungmetallkonsentrasjoner i *Alaria*, *Saccharina* og *Palmaria* var under den franske (CSHPF og Afssa) anbefaling. En helserisikovurdering viste at det er lav helsefare for tungmetaller ved inntak av disse makroalgene. Det anbefales imidlertid at det settes opp en EU-regulering om maksimal konsentrasjon av tungmetaller i tang, i dag er det bare Frankrike som har et slik regelverk (Roleda et al, 2019). Imidlertid kan helserisikoen ved å spise tungmetall forurensset makroalger oppstå når enten store mengder tang blir konsumert

på en gang, eller når små mengder tang blir konsumert over lengre tidsperioder, selv om tungmetallkonsentrasjonen er lav eller lavere toksisitetsnivåer (Roleda et al, 2019). Nivået på Cd var relativt lavt i grønnalger sammenlignet med rød- og brunalger. Tidligere data om makroalger samlet i Norge støtter disse funnene, da lavere nivåer av dette metallet ble funnet i grønne alger enn i de andre taksonomiske gruppene. Konsentrasjonene av Hg var relativt lave hos alle arter som ble studert, i tråd med tidligere funn. Innholdet av bly ble funnet å være lavt i rød- og brunalger, mens konsentrasjonene i grønnalger var høyere (Biancarosa et al 2018), og konsumering av makroalger fra Europa ansees å være trygt (Rubio et al, 2017, Biancarosa et al 2018, Roleda et al 2019)

3.8 Begroing

Begroing en av de største utfordringene i næringen. I Norge er begroingen hyppigst på sommeren (Andersen et al 2011, Førde et al 2016, Rolin et al 2017) Bryozoa , også kjent som mosdyr, de gjør det fleksible laget skjørt og utsatt for brudd og reduserer den kommersielle verdien av biomassen til både konsum og industrielle anvendelser. (Førde et al, 2016) begroing er en stor utfordring i global kommersiell makroalge kultivering, slike organismer nedbryter tang og reduserer verdien av biomassen (Førde et al 2016, Rolin et al 2017)

Bakterier danner også biofilm hos makroalger, den bakterielle floraen til en bestemmes av en rekke biotiske og abiotiske faktorer, som fysiologi levekår, plantens natur, og habitat, samt bakterier i vannet og hva slags bakterier som allerede eksisterer på makroalgene (Hendriksen & Lundsteen, 2014). Det er betydelig konkurranse mellom bakteriene i biofilmen, og det er anslått at det vil være vanskelig for ikke-tilpassede bakterier å bosette seg og overleve på tungeflater. (Hendriksen & Lundsteen, 2014)

Bryozoan-dekningen gjør ikke bare produktet mer følsomt, men forårsaker et betydelig tap av biomasse. Fra et kommersielt synspunkt vil den beste løsningen på dette tidspunkt være å høste avlingen i juni før bryozoa koloniene bosetter seg og sprer seg dokumentert (Førde et al 2016). Andre løsninger som å senke avlingene til større dybder i løpet av sesongen, vil ikke ha stor innvirkning ettersom bryozoerne bosetter seg og vokser også på dypet på 15 meter som dokumentert (Førde et al, 2016). Nyere forskning viser dog at, makroalger som vokser på vokste ved 15 m dyp generelt hadde mindre begroing enn makroalger kultivert på

høyere opp i vannmassen (Sharma et al, 2018).

Det er vist at dødelighetstallene generelt er høyere om høsten (august-november) hos både voksenplantene- og stiklingene. Foreløpig høy dødelighet på andre tidspunkter var mest sannsynlig på grunn av episoder med dårlig vær og forårsaket økt slit og tap av makroalgene (Andersen et al, 2011). Prøver utført i Arendal og Grimstad viste lignende tendenser av dødelighet. I september var de fleste tareplantene på riggene i Grimstad gått tapt eller ble ansett som døde (Andersen et al, 2011).

Organismer som tunikater og bryozoa sprer seg raskt på *L. Digitata*, mens bryozoa beslaglegger et stort område, som et tynt ark, er tunikater på den andre side var tykke og tunge som utgjør en stor del av den våte vekten (Rolin et al, 2017). Mønsteret er velkjent når det kommer til syklusen til makroalger, hvor det er rask vekst om våren etterfulgt av nedbryting i sensommeren, på grunn av bladbrudd og begroing er godt dokumentert i naturlige og kultiverte bestander (Rolin et al, 2017).

3.9 Kultivering av makroalger – en global industri

Den globale produksjonen i 2014 var på omtrent 28.5 millioner tonn (FAO 2016), og noe som utgjør 27% den globale akvakulturproduksjonen målt i volum. Rett under halvparten av den globale akvakultur produksjonen består av non-feed arter, hvor av makroalger utgjør den største andelen. Makroalger dyrkes i 50 land, i ulikt omfang (FAO 2016).

	Land	Volum målt i t
1	Kina	13.326
2	Indonesia	10.077
3	Filipinene	1.549
4	Sør-Korea	1.087
5	Nord-Korea	444.3
6	Japan	363.4
7	Malaysia	245.3
8	Vietnam	14.3
9	Chile	12.8
10	India	3.0

Tabell: FAO 2016

Hvilke erfaringer kan Norge hente fra de to største aktørene innenfor kultivering av makroalger? Kina er klart den største produsenten av makroalger, og har lang historie for produksjon og bruk. For å høste av erfaringene til kineserne har NIBIO et forskningsarbeid med Yellow Sea Fisheries Institute & Zhejiang Marine Culture Research Institute kjent som The Chinese-Norwegian Macroalgae collaboration. De peker på mye av det samme som SINTEF og legger frem 3 punkter den norske satsningen må ta stilling til (NIBIO, 2015):

- 1. Sette et mål for hva en vil oppnå med algeproduksjon i Norge, og nytte de algesortene som er best tilpassa storskalaproduksjon*
- 2. Designe et oppdretts som er tilpasser storskala produksjon*
- 3. Utvikle en automatisert modell for kommersielle algedyrking, med sikte på å redusere de høye produksjonskostnadene.*

I 2014 var den globale produksjonen av kultiverte makroalger på 27,3 millioner tonn våtvekt, hvorav 99,3% ble produsert i asiatiske land, dominert Kina og Indonesia (Sharma et al, 2018). Ifølge AsiaFish-prognosene vil tilbud og etterspørsel etter fisk øke mer enn dobbelt mellom 2012 og 2030 (Tran et al, 2018). Anleggene i Asia er svært sårbare for vind- og tidevannsdrevne bølger. En annen kritisk risikofaktor involvert i kultivering av makroalger i åpent hav er trusselen om å være fullstendig tap av avling på grunn av brå endringer i klimatiske faktorer, for eksempel fullstendig tap av wakame, *Undaria pinnatifida*, langs Sanriku-kysten, Japan i mars 2011 ved tsunami, og *Porphyrus yezoensis* i Jiangsu-provinsen, Kina i 2009-2010 på grunn av plutselig økning i sjøvannstemperaturer (Gupta et al, 2018). Dette har ført til at produksjonen for det meste er begrenset til skjermet og grunt vann (Kim et al., 2017). I noen tilfeller plasseres stiklingene på mer beskyttede plasser når de først blir utplassert i sjøen, før de flyttes ut til mer eksponerte farvann etter noen uker (Kim et al., 2017).

3.9.1 Kinesisk tareindustri

Kina har en lang historie for å kultivere makroalger. Makroalger utgjorde 50-60% av den totale kinesiske akvakulturproduksjonen i 1967-1980 (Feng Y.Y et al, 2004). Mellom 1950-tallet og 1980-tallet økte produksjonen i Kina fra ca. 60 til over 250 000 tonn (Duan,

2016) Kina har en lang kulinariske historie med bruk av makroalger som mat som gir en helt annen forutsetning for næringsgrunnlag for den kinesiske makroalge industrien (Simoons, 1990) Siden 1980-tallet har «mariculture» blitt vurdert av regjeringen som en stadig viktigere undersektor av akvakultur. Mariculture gir ernæringsmessige og økonomiske fordeler, og reduserer intensiteten av utnyttelse på fallende villmarks ressurser. (Feng Y.Y et al, 2004) I Kinesisk kultivering av makroalger er det flere arter med kommersiell betydning, hovedsakelig Laminaria, Undaria, Porphyra, Gelidium, Gracilaria, Eucheuma og Makrocystis. Laminaria er den viktigste økonomiske tang i Kina (Kim et al, 2017). Mariculture av Laminaria på flåter startet i 1952, og produksjonen økte jevnt frem til 1980 da den høyeste produksjonen på 252.907 tonn av tørrproduktet ble registrert. De siste årene har dyrkningsområdet og det totale volumet av Laminaria avtatt fordi kultivering av skalldyr utviklet seg så raskt at bøndene begynte å foretrekke å kultivere skalldyr enn Laminaria. I dag er årlig produksjonen av Laminaria over 200.000 tonn (Feng Y.Y et al, 2004). Kina har de siste 10 årene fire doblet produksjonen sin. Veksten kan sees i sammenheng med at produksjonsområdene flyttes lengre ut fra kysten. Kommersiell produksjon Saccharina (Laminaria), Undaria, Pyropia (porphyra) Eucheuma/kappaphycus and gracilaria står for omlag 98% av artene som produseres (Duan 2016). For utenom å gå til menneske føde brukes det også til føring av abalone (Duan, 2016). Kultivering av kinesisk laminaria stiklinger består av samlingen av zoosporene. Gametofytene og tidlige sporofytter blir dyrket i 8-10 ° C i glasshus i tre måneder. Etter det kan juvenile sporofytter nå 2-3 cm i lengden (Duan, 2016).

Eutrofiering er tidvis en utfordring i den Kinesiske tareindustrien. Eutrofiering innebærer overdreven rikdom av næringsstoffer i en vannkilde, ofte på grunn av avrenning fra land, noe som forårsaker en tett vekst av plantelivet og døden av dyrelivet fra mangel på oksygen (Xiao et al, 2017). Eutrofiering er et kjent potensielt problem for kystsamfunn i mange deler av verden (Fei, 2004). Det fremkaller planteplanktonblomstrene, inkludert 'Red Tides ', etterfulgt av store tap for omfattende akvakulturområder. Store mengder nitrogen og fosfor blir brukt til gjødsel i landbruket, og bare en liten andel av disse blir absorbert av plantene, mens resten finner veien ut. Kinas tareindustri binder årlig opp ca. 75.000 t nitrogen og 9.500 t fosfor (Xiao et al, 2017). Mens fjerning av de totale nitrogen tilførselen til havet ville kreve et arealområde 17 ganger større enn det eksisterende området, og en og en halv ganger mer for å kunne tilførselen av fosfor (Xiao et al, 2017). Og hvis den nåværende veksten i næringen fortsetter kan industrien fjerne 100% av dagens fosfor til kystnære kystvann innen 2026 (Xiao, et al 2017).

I slutten av juni 2008, bare uker før åpningen av OL i Beijing, skjedde en massiv eutrofiering som ført til algeoppblomstring som dekker rundt 600 km² langs kysten av Qingdao, vertsby for OL-seilingsregatta. Kyst eutrofiering ble raskt tilskrives skylden av internasjonale medier og forskere. Imidlertid undersøkte forskere en alternativ hypotese om at årsaken til algeoppblomstring skyldtes den raske utvidelsen av *Porphyra yezoensis* akvakultur langs kysten over 180 km fra Qingdao (Liu et al, 2009). Dette er den største oppblomstringen som er rapportert, gitt tilsvarende oceanografiske forhold til de som skjedde i 2008, kan disse grønne oppblomstringene gjenoppstå (Liu et al, 2009).

3.9.2 Indonesisk tareindustri

Indonesisk tareindustri har hatt en ekspansiv vekst på 10-15år – erfaringer å hente til Norge + spennende innovasjoner. Forskningsprogram i regi av University of the Sunshine Coast, Australia for å se på muligheten for å effektivisere og modernisere driften i Indonesia kalt: *"Improving seaweed production and processing opportunities in Indonesia"* (Australian Centre for International Agricultural Research, 2018). I Indonesia har overfiske ført til at stadig færre kystsamfunn kan livnære seg av fiske, derfor er kultivering av makroalger er kjærkommen inntekt, i de østlige kystsamfunnene er kultivering av makroalger en av få mulige inntektskilder (Mulyati & Geldermann, 2017). Indonesia er verdens nest største produsent av makroalger i verden med en årlig økning på 30% (FAO 2016). I 2014 omsatte den Indonesiske tareindustrien for 200 millioner USD. Industrien i Indonesia baserer seg rundt to hovedprodukter karragen som brukes til tykningsmiddel i rekke prosesserte matprodukter som blant annet iskrem og tannkrem og ager for sine gelatin egenskaper i mat. Det er meieriindustrien som er markedsledende på å benytte seg av høykostnads produkter i verdikjeden sin (Mulyati & Geldermann, 2017).

Indonesisk taredyrking er dominert av, rødalgene *kappphyicus alvarezii* (*Euchema cottoni*), *Euchema dentilacum* (*E.spinosum*), and *Gracilaria*. *E.cottoni* og *E.spinosum* har kommersiell interesse grunnet gunstig innhold av karragen. *Gracilaria* blir brukt til agar. (Mulyati & Geldermann, 2017), Det er forventet at den Indonesiske tareindustrien vil vokse de neste årene grunnet økene etterspørsel etter agar. Meieriprodukter som er et av de viktigste markedene for agar/karragen produsenter vokste globale med 5.5% per år fra 2006 til 2011. Legemiddelindustrien og husholdningsprodukter hadde også en økning, dog lavere med en

årlig vekst på 2% (Mulyati, & Geldermann, 2017). Verdikjeden i Indonesia består av leverandører (taredyrkere, lokale samarbeidspartnere, innkjøpere og eksportører) produsenter (karragen og agar selskaper) og kunder. De fire hovedutfordringene i den Indonesiske tareindustrien indentifisert av Mulyati, og Geldermann er:

- 1. Volatiliteten i tørket tare kan føre til nedgangstider, og slite med å innfri tidsfristen satt av kunder.*
- 2. Volatiliteten i prisen er sterkt påvirket av økonomisk lønnsomhet, siden økte råvareprisen er utfordrende å sende videre til kunden.*
- 3. Kvalitetsavvik påvirker kunde tilfredsheten over tid.*
- 4. Næringen er sårbar for eksterne faktorer som økonomisk/valuta variasjoner, samt naturlige og menneskeskapte klimaendringer.*

4.0 Makroalger: en del av bioøkonomien

Bioøkonomi er et samlebegrep for en økonomi basert på fornybare ressurser. Kultiveringen av makroalger har økt siden 1970 med en gjennomsnittlig årlig vekst på 7,7% (Wiencke & Bischof, 2012). Det domineres overveldende av makroalger mens dyrking av mikroalger i stor kommersiell skala fortsatt er i startsgropa (Wiencke & Bischof, 2012). Den kjemiske sammensetning til makroalger og hurtigvoksende egenskaper gir mange muligheter for bioraffinering (Skjermo et al, 2014). Makroalger kan spille en nøkkelrolle i utviklingen av en biobasert økonomi fordi den inneholder verdifulle komponenter som proteiner, sukkerarter, nitrogen og fosfor, hvor biomassen kan omdannes til bioetanol, flytende gjødsel og proteinrik ingrediens til fiskefôr (Seghetta et al, 2016).

Hvor blant annet karbohydrater blir benyttet som kilde i fermenterings prosessen i produksjon av biodrivstoff. Imidlertid forblir mange utfordringer med hensyn til bruk av makroalger til kjemisk produksjon, for eksempel den store sesongvariasjonen i den kjemiske sammensetningen av makroalger (Jaap et al, 2014). Skjermo et al (2014) sin utredning er utført på vegne av Innovasjon Norge "A new Norwegian bioeconomy base don cultivation and processing of seaweeds: opportunitites and R&D needs" trekker frem tre hovedforslag for å sette fart på industrialiseringen av makroalger:

Prioritert område 1 – produksjon av biomasse

Et kortsiktig mål, hvor det er størst potensial i å sette fart på industrien er:

1) Benytte seg av sukkertare ettersom det er den arten kultiverings teknologien kjenner best til.

2) Utvikle konserverings metoder som kan stabilisere biomassen, slik at marked kan ha tilgangen på råvaren året rundt ettersom høstinga skjer kun en gang i året.

3) Produsere bi-produkter som kan brukes til proteiner, biogass, eller andre produkter av lavere økonomisk verdi.

Prioritert område 2 – Bioraffineri

Prioritert område 3 – Arts variasjon, og kvalitets maksimering.

4.1 Markedspotensialet

Kultivering av makroalger for biodrivstoff, mat og gjødsel har økt dramatisk de siste årene. Etterspørselen etter slike produkter betyr at storskala dyrking i kystvann vil bli nødvendig for å gi tilstrekkelig biomasse (Mooney et al, 2018). En av primær utfordringene for industrialiseringen av makroalger er å etablere et stabilt ledd mellom primær og sekundær næringen. Det er store forhåpninger om å slå igjennom hos fôrindustrien, spesielt fôr til salmonider. Omega-3 kan utvinnes fra makroalger, og kan bidra til å redusere bruken av fisk til marine oljer. Et nytt konsept som bruker makroalger *Laminaria digitata* som substrat for å vokse heterotrofisk mikroalge arter som skal brukes som fôr tilskudd blir undersøkt (D'Este et al, 2017).

Konsulentselskapet PWC utfører årlig et sjømatbarometer, som tar tempen på fremtidsoptimismen i oppdrettsnæringen. Til *PwC Seafood Barometer 2017 - Sustainable growth towards 2050* sier 56% av lederne i oppdrettsbransjen at de tror at alger kommer til å bli en av hovedingrediensene i fremtidens fiskefôr. Det åpner potensielt store dører. Dette henger sammen med at mange fôrprodusenter opplever tilgang på fiskeolje som en flaskehals. Skretting har inngått en avtale med om å ta inn algeolje som et substitutt for omega-3 rik fiskeolje. De beskriver i et intervju med iLaks.no 3.oktober 2017 (ilaks.no, 2017) at leverandører ikke kan levere det volumet de trenger. Det volumet de blir tilbudt er 10-100 tonn, men er avhengig av 50-100.000 for å sette i gang med en bærekraftig produksjon, men har likevel satt i gang et samarbeid for å sette fart på industrialiseringen av makroalge produksjonen.

Rapporten ”Verdiskapning basert på produktive hav i 2050” av Olafsen et al, 2012, har blitt i

nyere tid, fra den tidligere rødgrønne regjeringen til dagens blå-blå regjering, blitt brukt som et politisk mål istedenfor en markedsanalyse. Spesielt iveren etter å oppfylle vekstpotensialet til laks har stått veldig sentralt i de to siste regjeringer havbrukspolitikk. Mens nye næringer har ikke blitt omfavnet av på samme vis. Rapporten legger følgende markeder til grunne for at tareindustri skal maksimere potensialet sitt: Mat, fôr, kjemikalier og bioaktive forbindelser, energi, og Norges potensielle rolle som teknologi leverandør.

	2010	2030	2050
Mikroalger	0 tonn	10 000 tonn	500 000 tonn
Makroalger	0,2 mill tonn*	4 mill tonn	20 mill tonn

*Høsting av ville bestander

Figur: Potensialet for marin verdiskapning hos alger, Hentet fra rapport «Verdiskapning basert på produktive hav i 2050», Olafsen, T. (2012). Verdiskapning basert på produktive hav i 2050

I rapporten skisseres 3 sentrale forutsetninger for å få vekst innen dyrking av makroalger:

- Anvendelse av makroalger til formål som krever store volumer utvikles fullt ut, blant annet til bioenergi og fôr.
- At en ytterligere utnyttelse av kystsonen til flytende installasjoner aksepteres, og at det utvikles arealeffektiv dyrkingsteknologi .
- Kunnskap og teknologi utvikles slik at hele biomassen utnyttes (bioraffineri) .

En annen hovedutfordringen ligger i å etablere et eksportmarkedet. Tare anses som en samle betegnelse for en gruppe akvatiske planter, på samme måte som grønnsaker favner en bred gruppe. Norsk sukkertare, søl, havsalat og butare er ikke kjente tare-arter for eksportmarkedet, da markeder hvor det konsumeres mest tare har sin egne lokale/regionale arter. Det vil kreves en kapitalintensiv strategi for å bygge opp de norske tare artene som sterke handelsnavn på liklinje med Skrei, eller norsk laks.

I Norge har hovedmotivasjonen for å utvikle taredyrking, og prosesserings teknologien i næringen, vært drevet av markedspotensialet i broen mellom karbohydrater fra tare og bruken av dette i bioenergi (Stévant et al, 2017). Markedsverdien tare har som råstoff til biodrivstoff er lav sammenlignet med andre produkter (Skjermo et al. 2014). Brunalgene som har vært

dyrket har særlig polysakkaridene og mineral innholdet sine funksjonelle egenskaper vært motivasjonen for kultivering. Næringsinnholdet hos de fleste artene har lavt lipid(fett) innhold, samtidig som de er rike på polysakkarider både i henhold til struktur og lagring, og mineraler. Andre næringsverdier som høyt protein innhold, samt amino-syrer av høy kvalitet, lipider og mineraler er veldig relevant for mat og fôrindustrien (Stévant et al 2017).

Resultater av å implementere tare i fôrproduksjon har vist seg å gi gode resultater på både marine og landlevende organismer (Stévant et al 2017) Polyphenol-rike ekstrakter fra brunalger kan ha en positiv effekt på å motvirke oksidering av fettsyrer i fisk (Wang et al 2010), og deretter forlenge holdbarheten, og øke potensiell økonomiske utbytte. En utfordring, som næringen selv bekrefter er et hinder, er det høy vann innholdet i tare, og utfordringene det skaper i henhold til oppbevaring, konservering, og transport når biomassen blir stor. Da tare ofte må fraktes ganske store avstander fra lokalitet til prosesserings sted.

4.1.1 Markedssegmenter

«Den produksjonen av alger og algeprodukter vi har i verden i dag, dekker ikke etterspørselen», sier Margarita Novoa-Garrido ved Nibio (Sysla Fisk, 05.10.2015)

Det globale markedet for funksjonelle produkter til konsum har vokst jevnt de siste årene. Denne veksten har vært drevet av fremskritt innen næringsvitenskap, samt forbrukernes etterspørsel, og alle de store industrielle mat-, farmasøytiske og kosmetiske spillerne søker å kapitalisere på denne etterspørselen med utvikling av nye produkter (Hafting et al, 2012).

Komponent	Potensielt produkt eller marked	Mulig prisleie
Hele planter	Mat	Lav-medium
Ekstrakter	Kosmetikk	Medium
Karbohydrater/polysakkarider	Fortykningsmidler, viskositetsøkende midler	Medium
Polysakkarider	Prebiotika	Medium
	Farmsøytiske produkter	Høy

	Substrat for fermentering (biodrivstoff, fôrproteiner)	Lav
Protein/aminosyrer	Fiske- og dyrefôr	Lav-Medium
	Bioaktive peptider (fôr og mat)	Høy
Polyfenoler	Antioxydanter (mat, fôr, kosmetikk)	Høy
	Antimikrobielle produkter (mat preserving, anti-begroing m.fl.)	Medium-høy
Aske	Gjødsel	Lav-medium
	Verdifulle mineraler	Medium-høy

Tabell: Markedspotensiale for makroalge produkter som kan dyrkes i Norge (Skjermo et.al, 2012)

Ettersom forbrukere har fått mer kunnskap om miljøkonsekvensene av plast på avveie har stadig flere gründere kommet til med produkter som bruker makroalger isteden for fossile råvarer. Ved universitet i Wageningen har de forsket en del på bruk av makroalger som erstatning for i fossile råvarer. Forskere ved Wageningen har utviklet et bærekraftig alternativ ved å lage plast fra forskjellige typer tang funnet i Nordsjøen. Ved å la tange gå igjennom en gjæringsprosess så frigjøres råmaterialet til produksjon av nedbrytbare, resirkulerbare emballasjematerialer. Restene fra fermenteringsprosessen kan behandles om til dyrefôr.

Eksperimentell forskning på Wageningen UR Food & Biobased Research ga to interessante bevis på konseptet - forskerne har utviklet vellykkede prosesser for å raffinere to typer tang i bioplast. Polylactic acid ekstrahert fra *Ulva lactuca* er egnede som råmateriale for biobaserte sodavann flasker. Og *Gracilaria vermiculophylla* gir polysakkarider som kan brukes til å lage ting som plastemballasjefilm.

Loliware er et sugerør som er komposterbart og kan skape ny verdi etter at den er brukt. Det kan skje ved å omdanne til plantebrensel gjennom kompostering, maskinbrensel gjennom anaerob fordøyelse eller menneskelig drivstoff gjennom å spise. Det holder formen i vann i

24t, går fra sugerør til jord på 60 dager, og har et hylleliv på 24 måneder.

De fleste av produktene er helt i starts gropa, sånn som Ooho! En spiselig vannflaske, formet som en ball. Den er 100% laget av planter og makroalger, det er Biologisk nedbrytbar i løpet av 4-6 uker. Spiselig, men har kun et hylleliv på noen få dager, men har et betraktelig min 5x CO2 avtrykk en plastprodukter, og bruker hele 9x mindre energi vs PET, det er billigere å produsere enn plast i følge informasjon fra produsenten. I Indonesia har selskapet evoware klart å lage emballasje som holdbarhet på opptil 2 år, selv uten konserveringsmiddel. I følge produsent samarbeider de med lokale taredyrkere for, siden Indonesia er et muslimsk land er emballasjen gitt halal- og sikkerhetsgarantisertifikat. Den oppløses i varmt vann, noe som gjør det til et zerowaste produkt, den er 100% biologisk nedbrytbar og fungerer som naturlig gjødsel for planter. Den har 2 års holdbarhet, den kan likhet med mange makralgeprodukter spises og den er produsert i samsvar med HACCP-standarder. Næringsrik, inneholder høy fiber, vitaminer og mineraler. Emballasjen kan smakstilsettes, og farges og samt legge til merkelogo, og er utskriftsvennlig og tåler varmemeforsegling

4.1.2 Tare på tanken

For å sikre en bærekraftig og karbonnøytral energiforsyning og for å unngå konkurranse med andre former for arealbruk, er utviklingen av økologisk og økonomisk avansert teknologi nødvendig for å lette resirkuleringen av karbon ved å fikse CO₂ og omdanne den til biomasse. Massekultivering av alger er en lovende måte å oppnå dette målet på, og kan være med på å erstatte fossile energikilder (Sebök et al, 2017b) Innenfor luftfart foreligger det et stort markedspotensial i å erstatte fossilt drivstoff. I Europa produseres omtrent 90% av råmaterialet som blir til biodrivstoff på land. Det finnes en rekke klare fortrinn i å for eksempel erstatte råvarer for raps, med alger. Alger krever ikke landareal, eller kostbar matjord, gjødsling, og ferskvann. Istedenfor samler alger opp næringsstoffer fra havet, og kan være en bidragsyter til å redusere forurensing. Samtidig kan innblanding av alger i biodrivstoff være gunstig og ha et markedsfortrinn i henhold til behovet for karbonfangst, da karbonfangst sammen med produksjon og bruk av biodrivstoff kan være med å binde CO₂ fra atmosfæren (Andersen, 2017). Høyere innblanding av biodiesel vil kunne ha drastisk effekt på utslippene (Andersen, 2017).

Å produsere bioetanol krever imidlertid vanvittige volumer sammenlignet med dagens produksjon (Alvarado-Morales et al, 2013). I Norge er bioenergi-sporet er satt på vent til et

marked for råvaren er på plass, og det utvikles nye metoder og verktøy som gjør det mulig å produsere flere millioner tonn. Og selv når dette er på plass vil bioetanol og biogass kun være en liten del av verdikjeden rundt råvaren, dersom tang og tare skal bli en norsk milliard-industri (Olafsen et al, 2012) En utfordring ved bruk av makroalger for biodrivstoff er at høsting av tang er generelt sesongmessig, og det er et behov for å bevare og lagre tang for å levere hele året produksjonsprosesser. Lage ensilasje er en mye brukt bevaringsmetode i landbruket, men det er lite forskning på å lage ensilasje av makroalger (Sebök et al, 2017). Marine makroalger gir en mulig løsning for å redusere CO₂-utslipp ved å absorbere og binde CO₂ som biomasse og dermed gi kilde til fornybar energi (Sebök et al, 2017). For å redusere globale CO₂-utslipp og for å møte de økende energibehovene til en voksende verdens befolkning, må bruk av fornybare energikilder raskt utvides (Sebök et al, 2017).

4.1.3 Fôr

Marine makroalger anses å være et lovende bærekraftig alternativ til konvensjonelle landbaserte fôrressurser som soya. Fordelene er hurtig vekst, dyrking i saltvann, og det legger ikke beslag på matjord (Øverland et al, 2018). Brune, røde og grønne marine makroalger er rike kilder til komponenter med verdifulle medisinske egenskaper, som kan utnyttes som helsefremmende ingredienser i fôr (Øverland et al, 2018). Utfordringene ved å benytte seg av makroalger i dyrefôr inkluderer det høye innholdet av tilbakevendende polysakkaridkomponenter som alginater og karragener, som ikke spaltes i noen grad av monogastriske dyrearter (Øverland et al, 2018). Noe som betyr at den vil ha lav næringsverdi. En annen utfordring med å anvende makroalger er at de akkumulerer tungmetaller, arsen og jod fra deres miljø (Øverland et al 2014, Makkar et al 2016).

Næringsverdien av makroalger er svært varierende. Protein og essensielle aminosyreinnhold kan være lave, spesielt i brune arter, og ufordøyelige polysakkarider har en negativ innvirkning på energien til den organismen som konsumerer den (Øverland et al, 2018). Ved produksjon av proteiner fra makroalger er det tre hovedalternativer. Den første og enkleste metoden er å produsere et tilsetningsstoff direkte fra biomassen. Den andre er å trekke ut proteiner fra tare og behandle dem. Den tredje er å bruke karbohydrater i tare til å produsere protein gjennom videre bearbeiding (Øverland et al, 2014). Makroalger har generelt lavt

proteininnhold rundt 10% av tørrvekten. Proteininnholdet varierer noe fra art til art, og avhengig av sesong (Øverland et al, 2014). Optimal bruk av makroalger i fôr krever egnet behandling, og bioraffineri som kan øke proteininnholdet og forbedre næringsstofftilgjengeligheten (Øverland et al, 2018)

En av de største kildene til utslipp av drivhusgasser er industrielt landbruk, da spesielt produksjon av storfe, og forskere i Australia har publisert en studie som indikerer at innblanding av tare i fôret kan redusere produksjonen av metangass (Kinley et al, 2015). Viste at en innblanding av 2% tare i fôret kan gi en reduksjon i produksjon av metangasser på opp mot 99%. Svakheten her ligger i at forsøket er utført på en kunstig kumage i laboratoriet. Det er derimot utført et par kanadiske studier som viser at man kan kutte utslippene med 20% hos storfe, og opp mot 70% hos sau, når 2% tørket tare blir blandet inn i fôret (Kinley et al, 2015). Noe som underbygges av pågående forskning i USA, ved University of California Davis campus Department of Animal Science av professor Ermias Kebreab hvor tester har vist lavere metangass utslipp fra melkekyr (University of California, 2018).

4.2 Prosessering/Bioraffinering

Nyhøstet tare har høyt vanninnhold, 74 til 89% av vekten er vann (Gallagher et al, 2018). I et bioraffineri blir vannet ekstrahert etter høsting for å redusere vekten av biomassen. Etter den prosessen fraksjonerer tungen til hovedkomponentene (dvs. sukkerarter, proteiner og mineraler), dette er den primære biorefineringen. I den sekundære prosessen omdannes disse komponentene til bulkkjemikalier og energibærere (Burg et al 2012). Makroalger har omtrent halvparten av proteininnholdet tilsvarende soyabønner, hvis høstingen skjer på våren, og det er derfor mer gunstig å ekstrahere proteiner til fôrmarkedet (Øverland et al, 2014). Hvis makroalgene høstes på høstparten vil proteininnholdet være betraktelig lavere, men inneha et høyere innhold av karbohydrater som er fermenterbare. Disse fermenterbare karbohydratene vil være gunstige til gjær produksjon eller produksjon av etanol og biogass (Øverland et al, 2014). Bioraffineri blir pekt på som største terskelen næringen må komme over for å bli lønnsom. Det er per i dag flere forskingsprosjekter på gang for å realisere dette. Et bioraffineri er et anlegg som integrerer konvertings prosesser av biomasse, og utstyr for å produsere et gitt produkt fra biomassen. I kontekst av prosessering av makroalger vil dette f.eks være biodrivstoff, verdiskapende kjemikalier, eller alginater (Smith, 2007). Det har blitt

åpnet i slutten av 2017 et nytt senter som skal ta fatt på bioraffinering. Målet med det nye norske senteret for bioprosessering og ingrediensforskning (BIOPRO) er å bidra til utnyttelse av bioressurser fra nærings- og næringsmiddelindustrien. Senter ligger på SINTEF sin sealab i Trondheim. Makroalger er et svært lovende prospekt, de skjærene i sjøen som dukker opp er omhandler stabil tilgang til biomasse relatert til bruk i bioenergi, og utvikling av bioraffineri når det kommer til storskala kultivering. En økt innsats bør investeres i makroalgers grunnleggende biologi for å muliggjøre effektive avls- og reproduksjonsmetoder (Fernand et al 2017).

4.2.1 Tørking av makroalger.

Avvanning og tørking er den mest energikrevende fasen i produksjon syklusen av proteinkonsentrat fra norsk tare (Philip et al 2018). Makroalgens høye vanninnhold er en tilbakevendende utfordring, og en av de viktigste flaskehalsene for bærekraftig bruk av ressursen (Gallagher et al, 2018). Makroalger er en svært variert gruppe organismer, og sammensetningsvariasjon mellom arter kan påvirke effekten av bearbeiding (Gallagher et al, 2018, Øverland et al, 2018) De finnes en rekke ulike metoder å tørke makroalgene, enten om det gjøres naturlig direkte av sol eller varmluft, eller mer moderne forbehandlingsteknikker, som ultralyd og mikrobølgeovn, har blitt brukt til å øke tørkehastighetene (Kadam et al, 2015) Frysetørking, sprøytetørking og ovnstørking er også metoder som er testet, men disse metodene er svært energikrevende (Sahoo et al. 2017). Etter tørking og fresing blir makroalgene til et fint pulver som tradisjonelt brukt som taremél i sammensatt dyrefôr. Ovnstørking som benytter seg av fossil energi er også energiintensiv og kostbar (Øverland et al, 2018). En studie viser at tørrvektinnholdet i brune alger ble bredt og vellykket økt ved lufttørking eller syrebehandling etterfulgt av «screw-pressing». Resultatene for *P. palmata* var ganske forskjellige, spesielt med hensyn til juiceproduksjon. For denne arten resulterte ikke syrebehandling i avvanning, men innholdet i tørrstoffet kunne økes ved skrubbing umiddelbart etter høsting (Gallagher et al, 2018). Med utvidelsen av bioraffinering, og bioteknologiske prosesser i løpet av det siste tiåret, er verdien av makroalgisk biomasse økende (Gallagher et al, 2018). For bioraffineri - og bioteknologiske applikasjoner som krever makroalger, er den mest avgjørende prosessen avvanning. Makroalger, som mikroalger og de fleste grønne planter, har vanninnhold vanligvis i området 74-89% (Gallagher et al, 2018) Avvanning på et tidlig stadium i prosessering gir bedre kvalitet og

reduserer både transportkostnader og tilhørende klimagassutslipp (Gallagher et al, 2018).

Lage ensilasje har blitt vist å være en effektiv, lav energitap metode for å bevare taren til å etablere en ikke-sesongmessig forsyning (Gallagher et al, 2018). Imidlertid skaper ensilering potensielt avløp som vannutløp fra biomassen (Gallagher et al, 2018). Dermed kan avvanning være en nyttig komponent i ensileringsprosessen. Imidlertid er reduksjoner av kun 1-2% vanninnhold mellom fersk og ensilert makroalgebiomasse rapportert for flere forsøk, selv om produksjonen av avløpsvann var høy (Gallagher et al, 2018). Selv om ensilering er en attraktiv metodikk for bevaring av makroalger, er makroalger ekstremt varierte av natur med mange forskjeller i morfologi (tynn flimsythalli gjennom til relativt tykke blad med tilhørende forskjeller i materialets fysiske natur og robusthet) og metabolitter (proteiner, lipider og spesielt karbohydrater) (Gallagher et al 2018).

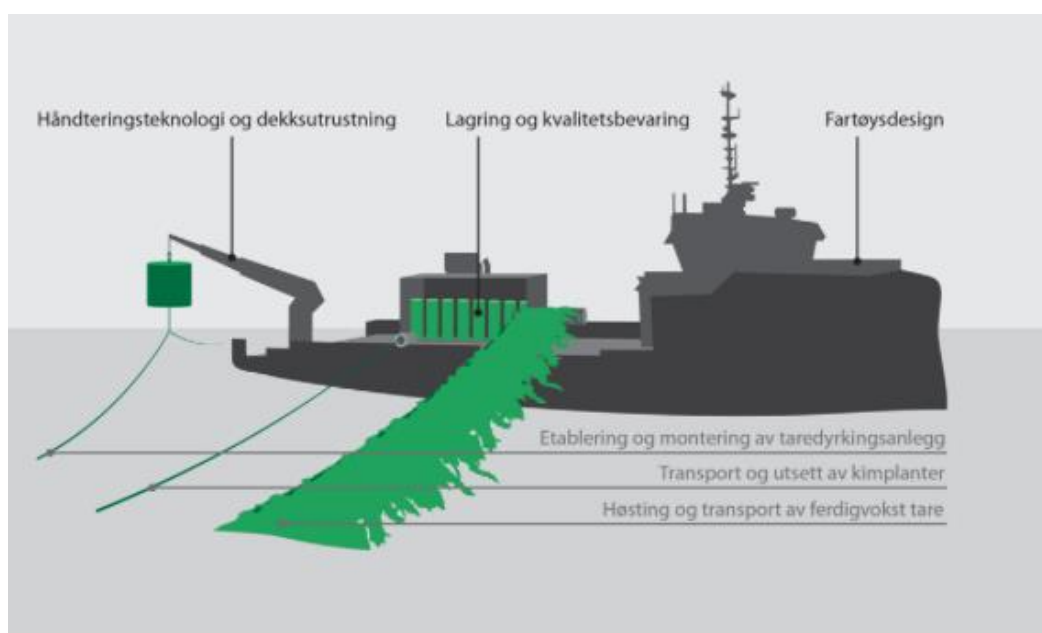
Imidlertid, mens avvanningsteknikker for mikroalger er blitt studert i stor grad, og best tilgjengelige teknologier inkluderer spiralplate-sentrifugering, varmeassistert rotasjonstrykkfiltrering, varmeintegreert tørking og fremover-osmose ved bruk av protonutvekslingsmembraner (Seghetta et al. 2017, Son et al. 2017), Forskning med makroalger er relativt mye mindre avansert (Gallagher et al, 2018). Ulike tørkemetoder viser forskjeller i vedlikehold av biomasse kvalitet, frysetørking er best for metabolittstabilitet og soltørking verste på grunn av lang tidsramme (Gallagher et al, 2018) så det er klart at kostnaden (både i finansiell og energiform) av prosessering av kelp kan reduseres betydelig ved mekanisk avvanning. Uheldigvis har etablerte metoder ikke alltid vært i stand til å levere tilstrekkelig lavt vanninnhold til å realisere disse betydelige fordelene i forhold til termiske metoder (Gallagher et al, 2018). Det ser imidlertid ut til at det ikke finnes universell form for optimal avvanning av makroalger som forbedring til ensilering (Gallagher et al, 2018).

4.3 Behov for innovasjon, og automatisering.

Som den unge industrien tarenæringen i Norge er, foreligger det et stort behov for innovasjon og effektivisering og industrialisering. Det finnes pr i dag ingen spesialiserte båter for næringen, slik som oppdrettsnæringen har egen designede fôr og brønnbåter. Til tross for den fremskyndende etterspørsel til produksjon av makroalger har det ikke vært en tilstrekkelig

radikal utvikling innen akvakulturteknologi, og ligger langt unna jordbruks og dyrehold når det gjelder produksjon og transformasjon i produksjonspraksis (Gupta et al, 2018).

Overvåking av anleggene er ikke standardisert. Per i dag er standarden å reise ut med båt og sjekke manuelt hvordan tilstanden på vekst og biomasse er. Her kan f.eks undervannsdroner eller kameraer slik som man opererer med i oppnæringsnæringen potensielt være veldig tids- og kostnadsbesparende, da unødige turer ut til anlegg kan bli redusert, og de få som jobber på i bedriften kan ta hånd om andre oppgaver.



Figur: Verdenes første rendyrkede fartøykonsept for industriell tare dyrking
Høsting for hånd er en vanskelig prosess med lav produksjonseffektivitet og høy arbeidsintensitet. Hentet fra: <http://www.sintef.no/prosjekter/tare dyrkingsfartoy-2020/>

Verdens første fartøy for industriell tare dyrking² utvikles av SINTEF og NTNU i samarbeid med forskingsinstitusjoner og næringslivet. Prosjektet er budsjettert til 17,6 millioner kroner, hvor 8,7 kommer fra Norges Forskningsråd. Hovedmålet for prosjektet er å løse dagens utfordringer ved å implementere håndteringsteknologi, dekkutrustning, løsninger for lagring og kvalitetsbevaring, og ha et moderne fartøysdesign. Disse elementene skal sørge for en forutsigbar, effektiv og kvalitetsbevarende måte. Samtidig har de satt som delmål at

² <http://www.sintef.no/prosjekter/tare dyrkingsfartoy-2020/>

prosjektet skal bli en mal for fremtidig fartøysdesign innenfor tare dyrking. Fartøyet skal være klart i 2019. I kinesisk kultivering av makroalger er den manuelle innhøstingseffektiviteten anslått til å være 16,7%. Under forsøk hvor menneskelig arbeidskraft ble erstattet med maskinell arbeidskraft ble den gjennomsnittlige maskinelle innhøstingseffektiviteten 35,8%. Innhøstningstiden kan reduseres med halvparten dersom selskapet tar de samme menneskene til jobb. Det er påvist at utformingen av maskinen er mulig (Zhang et al 2017).

5.0 Diskusjon

Norsk tareindustri står på mange måter ved den industrielle startstreken når en sammenligner oss med konkurrerende nasjoner målt i volum. Samtidig er det en del grep som vi være relativt enkle å ta for å gjøre det lettere å fokusere på drift som f.eks å forenkle søknadsprosessen for konsesjon utdeling. De politiske instansene må følge opp politiske ambisjoner, insentiver for å styrke markedsdelen slik at større næringsaktører vil være villig

til å ta større risiko, et alternativ kan være skatte insentiver for «grønne investeringer» De biologiske vil være å ha styrke stiklingproduksjon, spesielt med tanke på den fremtidige klimarisikoen næringen må adaptere seg til. Det vil kreve at klimatilpasning er en del av kultiveringsstrategien under stiklingproduksjonen, siden varierte forhold kan kreve større fleksibilitet av lokalitet, og hos organismen. De teknologiske funnene viser at det ikke finnes standardiserte metoder for taredyrking, overvåkingsutstyr, og fartøy. Selv om sist nevnte er under utvikling.

IMTA har lenge blitt snakket opp som en god løsning for å samle overskudd av næringssalter fra oppdrettsnæringen. Kultivering av makroalger bør ikke belage seg på overskudd av næringssalter fra oppdrettsnæringen da vi ser tydelig satsning fra næringen på at større delen av kultiveringen foregår på land, og flere aktører satser på teknologi som vil gjøre det mulig å ha hele driften i lukket teknologi. Makroalger vokser raskere når de holdes i nærheten av oppdrettsanlegg. Samtidig som er en av fortrinnene med kultivering av makroalger at en ikke gjødsler. Produsenter som vender seg til en hyppig vekst rate som følge at nærheten til oppdrettsanlegg vil da tenkes seg og ønske å etterhvert gjødsle for å opprettholde vekst raten.

Produktutvikling fronten virker mangelfull. Her er mye rettet mot humankonsum i Norge, og konkurrerer også mot aktører som sanker makroalger. Det er lite detaljerte markedsanalyser som er offentlig tilgjengelig som kan tyde på det er vanskeligere for mindre aktører å få en god oversikt over hvor skoen trykker på markedsfronten. Potensialet for næringen blir ofte omtalt som stort og fremtidsnæring. Veien dit virker dog noe lengre enn Olafsen et al (2012) spår i sin rapport. Samt er behovet for en økt grad av profesjonalisering, automatisering, innovasjon, produktutvikling, digitalisering, og standardisering underkommunisert. Det finnes ingen standardisert måte å gradere kvaliteten på taren til humankonsum, slik som det f.eks. er i Japan. En stor andel retter seg i dag mot humankonsum siden det er der man får størst utbytte. Fôr blir ofte pekt på som det markedet som kan få fart på industrialiseringen i næringen, og det foregår mye spennende på forsknings siden. Det vil være utfordringer knyttet til oppsamling av tung metaller og begrenset tilgang på råstoffet, spesielt siden fet fisk inneholder mye miljøgifter. Produksjonen av makroalger øker, men det vil fortsatt ta lang tid, eller kreve en ekspansiv satsning for å nå kravene til fôrprodusentene. Med økt fokus på mikroplast har oppdrettsnæringen fått satt fokus på at oppdrettsnæringen bidrar til store mengder mikroplaster i havet. Det mulig å tenke seg at det kan bli et næringsfortrinn/markedsfortrinn for aktører som leverer mikroplastfrie-produserte

makroalger. Også siden forskning har vist at makroalger kan akkumulere mikroplast (Gutow et al, 2016). En annet interessant felt er å bruke tare til å føre insekter, siden insekter er mer proteinrike og vil da få marin omega-3 i seg.

Det er også problematisk med konsekvensene økt bruk av soya medfører seg som avskoging av regnskogen i Brasil. Det vil derfor være et fortrinn å produsere proteinkildene selv. Øke selvforsyningsgraden av fôrressursene vil være positivt for å skape flere norske arbeidsplasser, samt ha bedre kontroll over matsikkerheten. Oppdrettsnæringen har også et par omdømme utfordringer de sliter med, som bruk av soya, som følger av høy plantebasert diett blir det også produsert større mengder fekalier fra laksen. Desto større andel plantebaserte ingredienser fisken spiser, desto høyere andel av fôret blir ikke fordøyd. Noe som kan gi laksen inflammasjon. Marine makroalger vil derfor kunne virke positivt på fordøyelsen, også hos husdyr som svin (Øverland et al, 2018) Det vil også være interessant å følge den pågående forskningen ved University of California hvor de tester effekten av taremel i storfe-fôr, resultatene hittil virker lovende og kuene produserer mindre metan.

Et overraskende element er at en næring som så avhengig av temperatur ikke har tatt klimarisiko, og menneskeskapte klimaendringer med i vurderingene av fremtids scenarioer. Det nevnes som en utfordring av noen forskere, det var ikke noe forskning tilgjengelig på klimarisiko og den norske havbruksnæringen, men finnes flere i Europeisk kontekst som tar for seg nord-øst Atlanteren. Klimarisiko bør i større grad inngå i forvaltningssystemet, og forskers mye mer på siden temperaturen er avgjørende for sykdomsutbrudd, begroing, og generell vekst. Regjeringen satt tidligere i år ned et utvalg kalt: «Utvalg om klimarisiko og betydningen for norsk økonomi» hvor utvalgets mandat er:

«Utvalget skal vurdere klimarelaterte risikofaktorer og deres betydning for norsk økonomi, herunder finansiell stabilitet. Utvalget skal vurdere hvordan en mest hensiktsmessig kan analysere og fremstille klimarisiko, identifisere antatt viktige globale, klimarelaterte risikofaktorer og vurdere slike faktorerers betydning for norsk økonomi og finansiell stabilitet. Utvalget skal også vurdere hvordan private og offentlige virksomheter kan få et faglig grunnlag for å kunne analysere og håndtere klimarisiko på best mulig måte.»

NOU 2018:17 tar ikke for seg oppdrettsnæringen, men diskuterer mer overordnende konsekvenser klimaendringer vil ha på norsk økonomi. Det ville derfor vært ønskelig å få en tilsvarende gjennomgang av de marine næringene. Det er tre behov som har blitt synlige for

meg hvis tareindustrien skal bli mer konkurransedyktig. Behov for forenklinger. Behov for forventningsavklaring for næringen med tanke på marked. Behov for helhetlig vurdering av klimarisiko.

6.0 Konklusjon

Det overordnede målet med denne studien var å få en oversikt over hvordan den norske tareindustrien står i dag, og hvilke steg næringen kan ta for å bli mer konkurransedyktige. Studien har blitt gjennomført ved å utføre en gjennomgang av relevant litteratur for å få økt kompetanse til temaet, og næringen samt søke relevant informasjon fra aktører i næringer, forskningsmiljøer, og offentlige institusjoner.

Det har blitt klart gjennom arbeidet med denne studien er at det er andre faktorer enn de jeg først trodde skulle være næringsdrivende for tareindustrien. IMTA og biodrivstoff har lenge

vært pekt på som de to store stegene tareindustrien skulle ta for å vokse og industrialisere seg for fullt, men her har det vært lite utvikling. Og fremtidige markedsutsikter ser ikke lovende da elektrifisering tar raskere over i samferdsel sektoren, og oppdrettsanlegg kommer i større grad til å bli lukket eller flytte lengre offshore. Fremdriften utviklingen fôrneringen har hatt virker lovende, samt seiler priset karbonlagring som mer og mer aktuelt ettersom viktigheten av å kutte klimagassutslipp eskalerer.

Ut i fra informasjonen som er samlet, lagt frem og diskutert i denne studien, følger anbefalinger for hvordan tare næringen kan bli mer konkurransedyktig.

Utrede og prise lagring av blått karbon. Det bør nedsette en nasjonal utredning om potensialet til marin karbon lagring, og hente ut karbon fra atmosfæren ved hjelp av tarens naturlige kretsløp, og lagre som på havbunnen.

Forenkle regelverket: Mange instanser som skal behandle en konsesjonssøknad. En prioritering av miljøriktig arealutnyttelse, samt forenkling av regelverket vil være positivt.

Detaljert markedsanalyse: Prognosene fra Olafsen et al (2012) fremstår allerede litt utdaterte med tanke på markedsfordeling. Andre markeder/sektorer har siden den gang seilet opp som mer aktuelle, og det vil derfor være nyttig for tareindustrien å kunne få lagd en egen detaljert markedsanalyse som spår markedstrendene frem til 2030

Mer energieffektiv avvanning: Fjerne vesken fra makroalger er energikrevende, og viser seg å være den mest energikrevende prosessen i produksjonssyklusen. FoU som stimulerer til forskning på mer energieffektive alternativer vil komme næringen til gode.

Helhetlig vurdering av klimarisiko: Klimaendringer medfører økt økonomisk risiko for næringen, en helhetlig vurdering av klimarisiko i de marine næringene vil hjelpe aktører å ta klokere valg.

Prioritere miljøriktig arealutnyttelse: Det kommer til å bli arealkonflikter med ulike marine næringer i fremtiden. Prioritere næringer som gir minst konsekvenser for økosystemet rundt vil gi tareindustrien er fordel.

Nasjonal fôr-strategi: Lage et styringsdokument som gir klare anbefalinger, og virkemidler for å stimulere til økt bruk av marine og norsk produserte fôringredienser ved å ha en klar politisk strategi for å oppnå dette målet.

Referanseliste:

Australian Centre for International Agricultural Research, 2018 [Nettside]
<https://www.usc.edu.au/research-and-innovation/sustainability-and-environment/australian-centre-for-pacific-islands-research/research-areas/tropical-aquaculture/improving-seaweed-production-and-processing-opportunities-in-indonesia> [Avlest 10/10/2018]

Alvarado-Morales M. Boldrin A. Karakashev, B. D. Holdt, L. S. Angelidaki I. Astrup T. 2013. Life cycle assessment of biofuel production from brown seaweed in Nordic conditions. *Bioresource Technology* Volume 129, February 2013, Pages 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.11.029>

Andersen, M. 2017. Opportunities and risks of seaweed biofuels in aviation - *The Bellona Foundation, Oslo, Norway & Brussels, Belgium 2017*

Andersen, A.R. 2005. Algal Culturing Techniques. Phycological society of America pp:219-230

Andersen, G.S. Steen, H. Christie, H. Fredriksen, S. Moy, F.E. 2011. Seasonal patterns of sporophyte growth, fertility, fouling, and mortality of *Saccharina latissima* in skagerrak, norway: Implications for forest recovery. *J. Mar. Biol.*, page 8pp, 2011.

Bak, G. U. 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*. Volume 33. Pages 36-47

Bartsch, I. Wiencke, C. Bischof, K. Buchholz, C. M. Buck, B. H. Eggert, A. Feuerpfeil, P. Hanelt, D. Jacobsen, S. Karez, R. Karsten, U. Molis, M. Roleda, M.Y. Schumann, R. Schubert, H. Valentin, K. Weinberger, F. Wiese, J. 2008 The genus *Laminaria* sensu lato: recent insights and developments. *Eu J Phycol* 43(1):1–86

Belghit, I. Rasinger, D J. Heesch, S. Biancarosa. Liland, N. Torstensen, B. Waagbø, R. Lock, E-J. Bruckner, G. C. 2017. In-depth metabolic profiling of marine macroalgae confirms strong biochemical differences between brown, red and green algae. *Algal Research* Volume 26,, Pages 240-24 <https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.08.001>.

Blancher, M-A. Primicerio, R. Smalås, A. Arias-Hansen, J. Aschanm M. 2019. How vulnerable is the European seafood production to climate warming? *Fisheries Research* 251-258

Bong-Tae, K. Brown, C.L. Do-Hoom, K. 2019. Assessment on the vulnerability of Korean aquaculture to climate change. *Marine policy* p 111-122

Broch, O. J. Ellingsen, I. H. Forbord, S. Wang, X. Volent, Z. Alver, M. O. Handå, A. Andersen, K. Slagstad, D. Reitan, K. I. Olsen, Y. Skjermo, J. 2013 Modelling the cultivation and bioremediation potential of the kelp *Saccharina latissima* in close proximity to an exposed salmon farm in Norway. *AQUACULTURE ENVIRONMENT INTERACTIONS*. Vol. 4: 187–206.

Broch, O. J. Skjermo, J. Handå, A. 2016. Sintef rapport - Potensialet for storskala dyrking av makroalger i Møre og Romsdal. A27869 – åpen

Broch, O. J. Tiller, R. Skjermo J. Handå, A. 2017. Sintef rapport- Potensialet for dyrking av makroalger i Trøndelag. OC2017 A-200 åpen.

Bruhn, A. Dahl, J. Nielsen, H.B. Nikolaisen, L. Rasmussen, M. B. Markager, S. Olesen, B. Arias, C. Jensen, P.D. 2001. Bioenergy potential of *Ulva lactuca*: biomass yield, methane production and combustion. *Feb*;102(3):2595-604. doi: 10.1016/j.biortech.2010.10.010

Buck, B. H. and Buchholz, C. (2004): The Offshore-Ring: A new system design for the open ocean aquaculture of macroalgae , *Journal of Applied Phycology*, 16 (5), pp. 355-368 . doi: 10.1023/B:JAPH.0000047947.96231.e.

Burg, S. van den, M. Stuiver, F. Veenstra, P. Bikker, A. López Contreras, A. Palstra, J. Broeze, H. Jansen, R. Jak, A. Gerritsen, P. Harmsen, J. Kals, A. Blanco, W. Brandenburg, M. van Krimpen, A-P. van Duijn, W. Mulder, L. van Raamsdonk, 2012. *A Triple P review of the feasibility of sustainable offshore seaweed production in the North Sea*. Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre), LEI Report 13-077. 106 blz.; fig.; tab.; ref.

D'Este, M. Alvarado-Morales, M. Angelidaki, I. 2017. *Laminaria digitata* as potential carbon source in heterotrophic microalgae cultivation for the production of fish feed supplement. Volume 26, September 2017, Pages 1-7

Dawes, C.P. 1995. Suspended cultivation of *Graclaria* in the sea. *Journal of Applied Phycology* 7: 303-313

Dębowski, M. Zieliński, M. Grala, A. Dudek, M. 2013. Algae biomass as an alternative substrate in biogas production technologies - review. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;27:596–604

Duan, D. 2016. Commercial production of Macroalgae. *Algae Biotechnology* 67-76

Duarte, C. M. Wu , J. Xiao, X. Bruhn, A. Krause-Jensen, D. 2017. Can Seaweed Farming Play a Role in Climate Change Mitigation and Adaptation? *Mar. Sci.*, 12 April 2017 | <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00100>

Duinker, A. Roiha, I.S. Amlund, H. Dahl, L. Lock, E. Kögel, T. Måge A. Lunestad, B.T. 2016. Potential risks posed by macroalgae for application as feed and food - a Norwegian perspective. National Institute of Nutrition and Nasjonalt institutt for ernærings- og Seafood Research (NIFES)

Eklöf, J. S. Henriksson, R. Kautsky N. 2006. Effects of tropical open-water seaweed farming on seagrass ecosystem structure and function. *Mar Ecol Prog Ser*;325:73–84.

FAO. (2016). «*The State of the Worlds Fisheries and Aquacultur*». Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome.

Fei, X. 2004, Solving the coastal eutrophication problem by large scale seaweed cultivation. *Hydrobiologia*, Volume 512, Issue 1–3, pp 145–151

Feng Y.Y., Hou C.L., Ping X.N . Ling D.T., Kyo I. C., 2004. Development of mariculture and its impacts in Chinese coastal waters. *Fish Biology and Fisheries*, Volume 14, Issue 1, pp 1–10

Fernand, F. Isreal, A. Skjermo, J. Wichard, T. Timmermans RK. Golberg, A. 2017. Offshore macroalgae biomass for bioenergy production: Environmental aspects, technological achievements and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 75 (2017) 35–45

Flavin, K. Flavin, N. Flahive, B. 2013. Kelp Farming Manual A Guide *to the* Processes, Techniques, and Equipment for Farming Kelp in New England Waters

Fletcher, L R.1995. Epiphytism and fouling in *Gracilaria* cultivation: an overview. Journal of Applied Phycology. Volume 7, Issue 3, pp 325–333

Frigstad, H. Gundersen, H. Hancke, K. Andersen, G. S. Bekkby, T. Tveiten, L. 2017. Blått-karbon: Klimatilpasning, karbonopptak og langtidslagring av karbon i blå skog. Års- og workshoprapport for 2017. RAPPORT L.NR. 7213-2017

Fudholi, A. Othman, Y M. Ruslan, H M. Yahya, M. Zaharim, A. Sopian, K. 2001. Design and Testing of Solar Dryer for Drying Kinetics of Seaweed in Malaysia. Recent Researches in Geography, Geology, Energy, Environment and Biomedicine

Førde, H., Forbord, S., Handå, A. Fossberg, J. Arff, J. Johnsen, G. Reitan, I K. 2016. Development of bryozoan fouling on cultivated kelp (*Saccharina latissima*) in Norway. J Appl Phycol (2016) 28: 1225. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0606-5>

Gallagher, A J. Lesley B. Turner & Jessica M. M. Adams & Sara Barrento & Philip W. Dyer & Michael K. Theodorou 2018. Species variation in the effects of dewatering treatment on macroalgae. Journal of Applied Phycology (2018) 30:2305–2316 <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1420-7>

Gao, K., McKinley R.K. 1993., Use of macroalgae for marine biomass production and CO₂ remediation: a review Journal of Applied Phycology , Volume 6, Issue 1, pp 45–60

Grote, B. 2017. Recent developments in aquaculture of *Palmaria palmata* (Linnaeus) (Weber & Mohr 1805): cultivation and uses. <https://doi.org/10.1111/raq.12224>

Gupta, V. Trivedi, N. Simoni, S. Reddy, K .R .C .2018. Marine macroalgal nursery: A model for sustainable production of seedlings for large scale farming. Algal Research 463-468.

Gutow, L. Eckerlebe, A. Gimenez, L. Saborowski.. 2016. "Experimental Evaluation of

Seaweeds as a Vector for Microplastics into Marine Food Webs." *Environmental science & technology* 50(2): 915-923.

Hafting, T. J. Craigie, S. J. Stengel, B. D. Loureiro, R. R. Buschmann, H. A. Yarish, C. Edwards, M. Critchley, T. A. 2015. Prospects and challenges for industrial production of seaweed bioactives. <https://doi.org/10.1111/jpy.12326>

Hafting, J.T. Critchley, A.T. Cornish, M.L. Hubley, S. A. Archibald, A.F. 2012. On-land cultivation of functional seaweed products for human usage. *J Appl Phycol* 24:385–392

Hancke, K. Bekkby, T. Gilstad, M. Chapman, A. Christie, H. 2018. Taredyrking - mulige miljøeffekter, synergier og konflikter med andre interesser i kystsonen. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) - Rapport.

Hasselström, L. Visch, W. Gröndahl. Nylund, M G. Pavia, H. 2018. The impact of seaweed cultivation on ecosystem services - a case study from the west coast of Sweden. *Marine Pollution Bulletin*. Volume 133, August 2018, Pages 53-64

Hendriksen, N. B. Lundsteen, S. (2014). Forekomst af mikroorganismer på tang - specielt på spiselig tang, der forekommer I danske farvande. Rapport 48 Aarhus Univeristetet, Roskilde, Danmark.

Hoek, C.van den, Mann, D.G. and Jahns, H.M. 1995. *Algae: An Introduction to Phycology*. Cambridge University Press, Cambridge. ISBN 0-521-30419-9.

Husa, V. Steen, H. Åsen, P. A. 2007. Hvordan vil makroalgesamfunnene langs norskekysten påvirkes av økt sjøtemperatur? *Kyst og Havbruksrapporten 2007*, Institute of Marine Research.

Ilaks.no.2017 [Intervju] <https://ilaks.no/venter-industrialisering-av-algeolje-innan-utgangen-av-2019/> [avlest: 9/9 2018]

Le Quéré, C., Andrew, R. M., Friedlingstein, P., Sitch, S., Hauck, J., Pongratz, J., Pickers, P. A., Korsbakken, J. I., Peters, G. P., Canadell, J. G., Arneth, A., Arora, V. K., Barbero, L.,

Bastos, A., Bopp, L., Chevallier, F., Chini, L. P., Ciais, P., Doney, S. C., Gkritzalis, T., Goll, D. S., Harris, I., Haverd, V., Hoffman, F. M., Hoppema, M., Houghton, R. A., Hurtt, G., Ilyina, T., Jain, A. K., Johannessen, T., Jones, C. D., Kato, E., Keeling, R. F., Goldewijk, K. K., Landschützer, P., Lefèvre, N., Lienert, S., Liu, Z., Lombardozzi, D., Metzl, N., Munro, D. R., Nabel, J. E. M. S., Nakaoka, S.-I., Neill, C., Olsen, A., Ono, T., Patra, P., Peregon, A., Peters, W., Peylin, P., Pfeil, B., Pierrot, D., Poulter, B., Rehder, G., Resplandy, L., Robertson, E., Rocher, M., Rödenbeck, C., Schuster, U., Schwinger, J., Séférian, R., Skjelvan, I., Steinhoff, T., Sutton, A., Tans, P. P., Tian, H., Tilbrook, B., Tubiello, F. N., van der Laan-Luijkx, I. T., van der Werf, G. R., Viovy, N., Walker, A. P., Wiltshire, A. J., Wright, R., Zaehle, S., and Zheng, B. 2018.: Global Carbon Budget 2018, *Earth Syst. Sci. Data*, 10, 2141-2194, <https://doi.org/10.5194/essd-10-2141-2018>, 2018.

Kadam, U S. Alvarez, C. Tiwari, K B. O'Donnell, P C. 2015. Processing of seaweeds. *Seaweed Sustainability. Food and Non-Food Applications*, Pages 61-78.

Karlsson-Drangsholt, A. Van Nes, S. 2017. *Miljøkonsekvensanalyse: Integrert havbruk i Norge*. Bellona

Karlsson-Drangsholt, A. Torp, K. 2017. *Livsløpsanalyse for integrert havbruk i Norge*. Bellona-rapport.

Kerrison, D P. Stanley, S M. Hughes, D A. 2018. Textile substrate seeding of *Saccharina latissima* sporophytes using a binder: An effective method for the aquaculture of kelp. *Volume 33*, July 2018, Pages 352-357

Kılınç, B. Semra Cirik, Gamze Turan, Hatice Tekogul and Edis Koru. 2013. Seaweeds for Food and Industrial Applications <http://dx.doi.org/10.5772/53172>

Kim, J. K., Yarish, C., Hwang, E. K., Park, M. Kim, Y. 2017. Seaweed aquaculture: Cultivation technologies, challenges and its ecosystem services. *Algae*, 32, 1-13.

Kinley, R. D. de Nys, R. Vucko, J. M. Machado, L. Tomkins, N. W. 2015. The red macroalgae *Asparagopsis taxiformis* is a potent natural antimethanogenic that reduces methane production during *in vitro* fermentation with rumen fluid. *Animal Production*

Science 56(3) 282-289 <https://doi.org/10.1071/AN15576>

Krause-Jensen, D. Duarte, M C. 2016. Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. *Nature Geoscience* volume 9, pages 737–742

Krause-Jensen, D. Lavery, P. Serrano, O. Marba` N. Masque, P. Duarte, C.M. 2018. Sequestration of macroalgal carbon: the elephant in the Blue Carbon room. *Biol. Lett.* 14: 20180236. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2018.0236>

Jaap, V. H. W. Huijgen, W. J. J, López-Contreras. 2014 Opportunities and challenges for seaweed in the biobased economy. *Trends in Biotechnology*. Volume 32, Issue 5, Pages 231-233

Lahaye, M. Robic, A. 2007. Structure and Functional Properties of Ulvan, a Polysaccharide from Green Seaweeds. *Biomacromolecules*, 2007, 8 (6), pp 1765–1774.
DOI: 10.1021/bm061185q

Li, Y. Mai, Y-W. Ye, L. 2000. Sisal fiber and its composites: a review of recent developments. *Compos Sci Technol* 2000; 60: 2037–2055

Liu, D. Keesing JK., Xing, Q., Shi P. 2009, World's largest macroalgal bloom caused by expansion of seaweed aquaculture in China. *Marine Pollution Bulletin* Volume 58, Issue 6, June 2009, Pages 888-895

Lüning K, and Pang S. 2003. Mass cultivation of seaweeds: current aspects and approaches *Journal of Applied Phycology* 15: 115–119,.

Ma, Z. Lin, L. Wu, M. Yu, H. Shang, T. Zhang, T. Zhao, M. 2018. Total and inorganic arsenic contents in seaweeds: Absorption, accumulation, transformation and toxicity. *Aquaculture* 497. 49-55.

Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., Giger-Reverdin, S., Lessire, M., Lebas, F. & Ankers, P. 2016. Seaweeds for livestock diets: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 212, 1-17.

Marinho-Soriano, E. Fonseca, P. C. Carneiro, M. A. A. Moreira, W. S. C. 2006. Seasonal variation in the chemical composition of two tropical seaweeds. *Bioresour Technol* 2006;97:2402–6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2005.10.014>

Mata, L. Magnusson, M. Paul, A. N. Nys, R. 2016. The intensive land-based production of the green seaweeds *Derbesia tenuissima* and *Ulva ohnoi*: biomass and bioproducts. Volume 28, Issue 1, pp 365–375. DOI 10.1007/s10811-015-0561-1

McLachlan, L. J. 1991. General principles of on-shore cultivation of seaweeds: effects of light on production. *Hydrobiologia* 221: 125-135

McHugh, D.J. 2003. A guide to the seaweed industry. FAO fisheries technical paper 441.

Mišurcová, L. Ambrožová, J. Samek, D. 2011. Seaweed lipids as nutraceuticals. *Adv. Food Nutr. Res.* 2011;64:339–355.

Miljødirektoratet, [Nettside] <http://www.miljostatus.no/tema/hav-og-kyst/forsuring-av-havet> [Avlest: 10/09-2018]

Mooney, K M. Beatty, G E. Elsäßer, B. Follis, E S. Kregting, L. O’Conner, N E. Riddell, G E. Provan, J. 2018. Hierarchical structuring of genetic variation at differing geographic scales in the cultivated sugar kelp *Saccharina latissima*. *Marine Environmental Research*. Volume 142, Pages 108-115

Mouritsen, O. G. 2013. Seaweeds, Edible, Available & Sustainable. University of Chicago Press, 283 pp. ISBN 978-0-226-04436-1.

Mulyati, H. Geldermann, J. 2017 ,Managing risks in the Indonesian seaweed supply chain. *Clean Techn Environ Policy* (2017) 19:175–189

Neto C.C. 1987. Seaweed culture in Rio Grande do Norte, Brazil. In: Ragan M.A., Bird C.J. (eds) Twelfth International Seaweed Symposium. *Developments in Hydrobiology*, vol 41. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-009-4057-4_54

NIBIO(Norsk institutt for bioøkonomi), 2015. [Nettside]
<https://www.nibio.no/nyheter/kinesiske-forskarar-vil-utvikle-algenringa-i-noreg> [08.08.2018]

NOU 2018:17 <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2018-17/id2622043/sec2>
[10.12.2018]

Olafsen, T. Winther, U., Olsen, Y. og Skjermo, J 2012. Verdiskapning basert på produktive hav i 2050 Rapport. Tilgjengelig fra:

https://www.sintef.no/globalassets/upload/fiskeri_og_havbruk/publikasjoner/verdiskapning-basert-pa-produktive-hav-i-2050.pdf (lest: 20.04.18)

Oirschot van, R. Jean-Baptiste Thomas, E J-B. Gröndahl, F. Fortuin, P.J K. Brandenburg, W. Potting, J. 2017. Explorative environmental life cycle assessment for system design of seaweed cultivation and drying. *Algal Research*, Volume 27, Pages 43-54

Paz, S. Rubio, C. Frías, I. Ángel, J. G. Gonzáles-Weller, D. Martin, V. Revert, C. Hardisson, A .2018. Toxic metals (Al, Cd, Pb and Hg) in the most consumed edible seaweeds in Europe. *Chemosphere*. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.11.165

Raven, A J & Falkowski, G P. 1999. Oceanic sinks for atmospheric CO₂. *Urey. Plant, Cell and Environment*. 22, 741–755

Redden, H., Milledge, J.J., Greenwell, H.C. et al. 2017 Changes in higher heating value and ash content of seaweed during ensiling *J Appl Phycol* (2017) 29: 1037.
<https://doi.org/10.1007/s10811-016-0975-4>

Rindi, F. Soler-Vila, A. Guiry, M.D. 2012. Taxonomy of Marine Macroalgae Used as Sources of Bioactive Compounds. . In: Hayes M. (eds) *Marine Bioactive Compounds*. Springer, Boston, MA https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1247-2_1

Roleda, M Y. Marfaing, H. Desnica, N. Jónsdóttir, R. Skjermo, J. Rebours, C. Nitscke, U. 2019. Variations in polyphenol and heavy metal contents of wild-harvested and cultivated seaweed bulk biomass: Health risk assessment and implication for food applications. *Food control* 95 121-134

Rolin, C. Inkster, R. Laing, J. McEvoy, L. 2017. Regrowth and biofouling in two species of cultivated kelp in the Shetland Islands, UK. J Appl Phycol 29:2351–2361 DOI 10.1007/s10811-017-1092-8

Rosenberg C. Ramus, J. 1982 Ecological growth strategies in the seaweeds *Gracilaria foliifera* (Rhodophyceae) and *Ulva* sp. (Chlorophyceae): Soluble nitrogen and reserve carbohydrates. Volume 66, Issue 3, pp 251–259e

Rubio, C. Napoleone, G. Luis-González, G. Gutiérrez, A. J. González-Weller, D. Hardisson, A. Revert, C. 2017. Metals in edible seaweed. Chemosphere 173 p: 572-579

Rueness, J. Steen, H. 2008. Dyrking og utnyttelse av marine makroalger.

Havforskningsinstituttet filarkiv:

https://www.imr.no/filarkiv/2008/04/1.16_Dyrking_og_utnyttelse_av_marine_makroalger.pdf/nb-no

Sebök, S. Herppich, B W Hanelt, D. 2017a. Development of an innovative ring-shaped cultivation system for a land-based cultivation of marine macroalgae. Aquacultural Engineering Volume 77, Pages 33-41

Sebök, S. Herppich, B W. Hanelt, D. 2017b. Red alga *Palmaria palmata*—growth rate and photosynthetic performance under elevated CO₂ treatment. Journal of Applied Phycology. Volume 29, Issue 1, pp 381–393

Sebök, S. Herppich, B W. Hanelt, D. 2018. Outdoor cultivation of *Ulva lactuca* in a recently developed ring-shaped photobioreactor: effects of elevated CO₂ concentration on growth and photosynthetic performance. Botanica Marina. DOI: 10.1515/bot-2018-0016

Seghetta, M. Hou, X. Bastianoni, S. Bjerre, A, Thomsen, M. 2016. Life cycle assessment of macroalgal biorefinery for the production of ethanol, proteins and fertilizers – a step towards a regenerative bioeconomy. Journal of Cleaner Production, 2016, Vol 137, p. 1158-1169

Sharma, S. Neves, L. Funderud, J. Mydland, L. T. Øverland, M. Horn, S. J. 2018. Seasonal and depth variations in the chemical composition of cultivated *Saccharina latissimi*. *Algal Research* 107-112.

Skjermo, J. 2018. Tekfisk.no

(<https://fiskeribladet.no/tekfisk/nyheter/?artikkel=63508&fbclid=IwAR3RlTYeoBtIPN4I5sdDzS1OZiNn8hvuiW4PtTQcnDtxue-PBvXyflBD8ic>) Avlest 19.11.18

Skjermo, J., Aasen, I. M., Arff, J., Broch, O. J., Carvajal, A. Christie, H., Forbord, S. Olsen, Y., Reitan, K. I. Rustad, T Sandquist, J, Solbakken, R. Seienhovden, K. Wittgens, B. Wolfff, R. Handå, A. 2014. A new Norwegian bioeconomy based on cultivation and processing of seaweeds: Opportunities and R&D needs.

Smith, W.J. 2007. Mapping the development of UK Biorefinery Complexes. NNFCC (The UK's National Centre for Biorenewable Energy, Fuels and Materials) 07-008

Simoons J.F., 1990. Food in China -A Cultural and Historical Inquiry, Food Science & Technology, 1st Edition

Strokal, M. et al 2014. Increasing eutrophication in the coastal seas of China from 1970 to 2050. *Marine Pollution Bulletin* Volume 85, Issue 1.

Stévant, P., Marfaing, H., Rustad, T., Sandbakken, I., Fleurence, J., Chapman, A. 2017a. Nutritional value of the kelps *Alaria esculenta* and *Saccharina latissima* and effects of short-term storage on biomass quality. *Journal of Applied Phycology*. Volume 29, Issue 5, pp 2417–2426

Stévant, P., Rebours, C., Chapman, A. 2017b. Seaweed aquaculture in Norway: recent industrial developments and future perspectives. *Aquacult Int* (2017) 25:1373–1390 DOI 10.1007/s10499-017-0120-7.

Strand, Ø. Steen, H. 2011. Havforskningsrapporten 2011. *Havforskningsinstituttet*. p:16-17

Store norske leksikon, Rueness, J. 2018. [Nettside] https://snl.no/tang_og_tare_-_brunalger [avlest: 4.09.2018]

Store norske leksikon, Rueness, J. 2009a. [Nettside] <https://snl.no/butare> [avlest: 7.11.2018]

Store norske leksikon, Rueness, J. 2009b. [Nettside] <https://snl.no/søl> [avlest: 23.04.2018]

Store norske leksikon, Andersen G.S. 2015a [Nettside] <https://snl.no/sukkertare> [avlest: 6.08.2018]

Store norske leksikon, Rueness, J. 2015b [Nettside] <https://snl.no/havsalat> [avlest: 6.08.2018]

Sysla fisk [Nettside] <https://sysla.no/fisk/her-dyrker-de-100-tonn-tare-i-aret/> [avlest: 05.05.2018]

Pang, S. Lüning, K. 2004. Tank cultivation of the red alga *Palmaria palmata*: Effects of intermittent light on growth rate, yield and growth kinetics. K. Journal of Applied Phycology (2004) 16: 93. <https://doi.org/10.1023/B:JAPH.0000044779.30182.d8>

Philis, G. Gracey, E O. Gansel, L C. Fet, A M. Rebours, C. 2018. Comparing the primary energy and phosphorus consumption of soybean and seaweed-based aquafeed proteins – A material and substance flow analysis. Journal of Cleaner Production. Vol 200 p: 1142-1153. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.247>

PwC Seafood Barometer 2017 - Sustainable growth towards 2050. [Rapport] https://www.pwc.no/no/publikasjoner/shipping/PwC-Seafood%20Barometer_Web_V01.pdf

Taelman, E S. Champenois, J. Edwards D M. De Meester, S. Dewulf, J. 2015. Comparative environmental life cycle assessment of two seaweed cultivation systems in North West Europe with a focus on quantifying sea surface occupation. Algal Research, 173-183.

Teknisk ukeblad, 2016. [Nettside] <https://www.tu.no/artikler/de-vokser-fra-1-centimeter-til-1-5-meter-pa-fem-maneder-na-kan-de-bli-var-nye-milliardindustri/346608> [avlest 6/7-2018]

Tseng, C K. 2001. Algal biotechnology industries and research activities in China. *Journal of applied phycology*. Volume 13, Issue 4, pp 375–380

Tran, N. Rodriguez, P U. Chan, Y C. Phillips J M. Mohan, V C. Henriksson, G J P. Koeshendrajana, S. Suri, S. Hall, S. .2017. Indonesian aquaculture futures: An analysis of fish supply and demand in Indonesia to 2030 and role of aquaculture using the AsiaFish model. *Marine Policy*. Volume 79, Pages 25-32

Tyler C.A., McGlathery,JK., 2006. UPTAKE AND RELEASE OF NITROGEN BY THE MACROALGAE *GRACILARIA VERMICULOPHYLLA* (RHODOPHYTA)
<https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2006.00224.x>

University of California Davis campus Department of Animal Science, Ermias Kebreab, 2018 [Nettside] <https://animalscience.ucdavis.edu/news/research-led-ermias-kebreab-tests-if-seaweed-cuts-methane-emissions-dairy-farms> [Avlest: 08/12-2018]

Van der Meer, J. P. Todd, E. R. 1980. The life history of *Palmaria palmata* in culture. A new type for the Rhodophyta. *Canadian Journal of Botany*, 58(11): 1250-1256,
<https://doi.org/10.1139/b80-155>

Walls, A.M. Johnson, M.P 2017. Impact of kelp cultivation on the Ecological Status of benthic habitats and *Zostera marinaseagrass* biomass. Volume 123, Issues 1–2, Pages 19-27

Wernberg, T. Filbee-Dexter,K. 2018. Grazers extend blue carbon transfer by slowing sinking speeds of kelp detritus. *Scientific Reports* 8(1) DOI: 10.1038/s41598-018-34721-z

Wiencke, C. Bischof, K. 2012. Seaweed Biology, Novel Insights into Ecophysiology, Ecology and Utilization. *Ecological Studies*, Vol. 219

Xiao, X,. Agusti, S. Lin, F. Li, K. Pan, Y., Yu,Y. Zheng, Y. Wu, J. Duarte. M,C. 2017, Nutrient removal from Chinese coastal waters by large-scale seaweed aquaculture. *Scientific Reports* volume 7, Article number: 46613

Zacharia.P.U., Kaladharan.P and Rojith.G., 2015., Seaweed farming as a climate resilient strategy for Indian Coastal Waters., The International Conference on Integrating Climate, Crop, Ecology - The Emerging Areas of Agriculture, Horticulture, Livestock, Fishery, Forestry, Biodiversity and Policy Issues., ISBN:978-81-930585-9-6., pg.59-62.

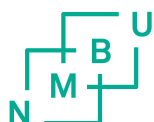
Zhang, Y. Chang, Z. Zheng, Z. Yang, J. 2017. Harvesting machine for kelp culture in floating raft. Volume 78, Part B, Pages 173-179

Zhang, X. Liu, L. Lin, C. 2013. Isolation, structural characterization and antioxidant activity of a neutral polysaccharide from Sisal waste. Food Hydrocolloids 39 (2014) 10e18

Øverland, M., Mydland, L. T. & Skrede, A. 2014. Industriell bioraffinering av tremasse og makroalger.

<https://www.innovasjon Norge.no/contentassets/95273c625e1c4b4caf8b4d0a36020dc0/2014-umbn---bioraffinering-av-tremasse-og-makroalger.pdf>

Øverland, M. Mydland, L. T. Skrede, A. 2018. Marine macroalgae as sources of protein and bioactive compounds in feed for monogastric animals. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9143>



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway