



Uit

NORGES
ARKTISKE
UNIVERSITET

Norges fiskerihøgskole

Fakultetet for biovitenskap, fiskeri og økonomi

Dyrking av makroalger – en ny vekstnæring?

—

Audun Grøntoft Kjørsvik

Masteroppgave i fiskeri- og havbruksvitenskap (30stp) - Mai 2017



Forord

Denne oppgaven markerer slutten på min studenttilværelse og er skrevet som en del av min mastergrad i fiskeri- og havbruksvitenskap ved Universitetet i Tromsø – Norges Arktiske Universitet. Mine fem år i Tromsø har gitt meg mange flotte faglige og ikke-faglige erfaringer som vil vare livet ut.

Jeg vil først og fremst takke min veileder, Peter Arbo, for støtten gjennom denne oppgaveprosessen. Uten dine forslag, faglige innspill og konstruktive kritikk ville ikke denne oppgaven blitt hva den er i dag. Tusen takk. Jeg vil også takke alle respondentene som har tatt seg tid til å besvare spørsmålene mine og gitt betydelige bidrag til oppgaven min.

Jeg vil takke hele min familie som har vist interesse for oppgaven og gitt oppløftende ord gjennom hele oppgaveprosessen. Til slutt vil jeg gi en stor takk til alle i grisebingen (dere vet hvem dere er) for fem supre år både på Fiskerihøgskolen og utenfor campus.

Tromsø, mai 2017

Audun Grøntoft Kjørsvik

Sammendrag

Målet med denne studien er å skaffe et overblikk over hvordan statusen er for den norske næringen innenfor dyrking av makroalger. Makroalger som også kalles for tang og tare er den nyeste satsingen innenfor norsk akvakultur. Dette er akvatiske plantelignende organismer som deles inn i tre hovedgrupper: Grønne, røde og brune makroalger. Historiske sett er makroalger en ressurs som er blitt utnyttet til en rekke forskjellige formål, som medisin, brennstoff, fôr, direkte konsum og ingredienser. Asiatiske land har alltid vært de største utnyttene av denne ressursen, men interessen og etterspørselen etter makroalger har også spredt seg til vestlige land. Hovedbestanddelen kom tidligere fra høsting av ville alger, men det har blitt nødvendig å dyrke makroalger for å møte den stadig økende etterspørselen og dekker nå om lag 95 % av den globale etterspørselen. Makroalger har et bredt spekter av bruksformål fra fôr- og matindustri til kosmetikk og bioenergi. Dyrking av makroalger er i dag en stor global industri og stod for om lag 25 % av den globale produserte biomassen fra akvakultur i 2014.

Den norske akvakulturnæringen har hatt eventyrlig suksess de siste tiårene, noe som også har ført til kultivering av en rekke andre marine arter. I Norge har det de siste årene vært betydelige politiske signaler og optimisme rundt dyrking av makroalger. For å kunne praktisere dyrking av makroalger kreves det konsesjon og de første kommersielle konsesjonene ble utdelt i 2014. Antallet tildelte konsesjoner og etablering av nye selskaper har siden 2014 økt betraktelig, og det er i dag 23 selskaper med konsesjon i Norge. I dag er det kun sukkertare og butare som dyrkes i betydelige volumer, men det forskes også på dyrking av flere andre arter.

Funnene i denne oppgaven har vist at norske dyrkere, så vel som europeiske, i stor grad er i en forsøksfase. En god del av utfordringene næringen har hatt er i stor grad blitt løst, men for at ambisjonene om dyrking av makroalger på industrielt nivå skal oppfylles gjenstår det fortsatt mange utfordringer ut over hele verdikjeden som må løses. Regulerende organer har også utfordringer som må løses med hensyn til å effektivisere behandlingsprosessen av konsesjonssøknader. Det er dog en rekke forskningsprosjekter, kunnskapsbaser og samarbeider mellom næringsaktører og forskningsinstitusjoner som jobber mot å løse disse utfordringene. Dyrking av makroalger har en plass i norsk akvakultur med gode framtidsutsikter. Men for å skape et nytt oppdrettseventyr slik næringen er blitt omtalt som, vil det kreves nye investeringer, forskning og kartlegging av de ulike aspektene ved alle ledd i verdikjeden.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	III
Figurer	VII
Tabeller	VII
1 Innledning	1
1.1 Problemstillinger og formål med oppgaven	4
1.2 Metode og datainnsamling	5
2 Makroalger som ressurs	7
2.1 Hva er makroalger?	7
2.2 Bruk av makroalger – et historisk perspektiv	9
2.3 Bruksformål for makroalger	12
2.3.1 Humant konsum	12
2.3.2 Ingredienser og industriprodukter	15
2.3.3 Farmasøytiske formål	17
2.3.4 Dyrefôr og landbruksformål	17
2.3.5 Bioenergi og biodrivstoff	18
2.3.6 Andre miljøformål	19
3 Dyrking av makroalger	20
3.1 Arter som kultiveres	21
3.2 Dyrkingsmetoder og teknologi	23
3.2.1 Dyrking av arter med vegetativ formering	23
3.2.2 Suspensjonskulturer for arter med og uten vegetativ formering	24
3.2.3 Dyrking basert på fullstendig livssyklus	25
3.2.4 Integrert multitrofisk akvakultur (IMTA)	26
4 Dyrking av makroalger i Norge	28
4.1 Overblikk over næringen	28
4.2 Verdikjeden	30
4.3 Dagens teknologi og behov for innovasjon og utvikling	32
4.4 Regulering av næringen	34
4.5 Forskningsprosjekter, nettverk og kunnskapsbaser	35
5 Resultater fra intervju	39
5.1 Norske aktører	39
5.1.1 Bedrift B1	39
5.1.2 Bedrift B2	40
5.2 Utenlandske aktører	42

5.2.1	Bedrift U1	42
6	Diskusjon.....	45
6.1	Etablering av selskaper.....	45
6.2	Produksjon	45
6.3	Markeder.....	46
6.4	Lønnsomhet	48
6.5	Politiske signaler og statlige reguleringer	48
7	Konklusjon	50
7.1	Begrensninger ved oppgaven og veien videre.....	51
8	Referanseliste	52

Figurer

Figur 1: Illustrasjon av det miljøvennlige produktet "Ooho!" laget av Skipping Rocks Lab (Skipping Rocks Lab, 2017).....	14
Figur 2: Metoder for å flytte og feste vegetativt voksende makroalger: a) Alger festet til steiner flyttes til nye vekstområder; b) Alger festet med strikk til småstein for forankring til mykbunn; c) Alger nedpresset mykbunn; d) Nedsenkede 'plastpølser' fylt med sand holder algene på plass på mykbunn; e) Alger frestet til liner mellom påler festet i mykbunn; f-g) Alger festet til tau som videre er festet til flåter; h) Alger festet til flytende nett som er forankret til bunnen (Sahoo og Yarish, 2005).....	24
Figur 3: Bellonas illustrasjon av hvordan en IMTA-lokalitet kan se ut (Bellona, 2013).....	27
Figur 4: Distribusjon av produksjonslokaliteter langs norskekysten i dag (Fiskeridirektoratet, 2017b).....	29
Figur 5: Verdikjeden for dyrking av makroalger, fra planlegging og konsesjonsøking til marked og salg (Broch et al., 2016).	31

Tabeller

Tabell 1: Utvikling i produksjon av de viktigste artene globalt, i tusen tonn og prosent av global produksjon, i tidsperioden 2005-2014 (FAO, 2016).	22
Tabell 2: Oversikt over antall årlige tildelinger av kommersielle konsesjoner etter type, og totalt antall konsesjoner i perioden 2014-2017 (Fiskeridirektoratet, 2017a).	28
Tabell 3: Antall selskaper som fikk tildelt konsesjon per år, og antall nye selskaper som fikk tildelt konsesjon per år i perioden 2014-2017 (Fiskeridirektoratet, 2017a).....	28
Tabell 4: Utvalg av en rekke selskaper med tilknytning til makroalger, funnet gjennom søk på www.proff.no	30

1 Innledning

Tradisjonen for utnyttelse av havet står sterkt i Norge, der skrei- og sildefisket har pågått i århundrer langs norskekysten. Akvakultur fikk sin introduksjon i Norge på 1850-tallet da den første brunørreten (*Salmo trutta*) ble klekket i fangenskap. Etter andre verdenskrig oppstod det en økende interesse for feltet, og eksperimentering med oppdrett av atlantisk laks (*Salmo salar*) fikk sitt gjennombrudd på 1960-tallet. Etter mange år med kostbare erfaringer utviklet dette seg til en levedyktig næring tidlig på 1970-tallet (Hovland *et al.*, 2014). Siden den gang har den norske oppdrettsindustrien opplevd en eksepsjonell vekst, hovedsakelig ved oppdrett av atlantisk laks. Den økonomiske veksten i næringen har skutt i været og endte i 2016 på en eksportverdi for laks og ørret på 65,4 milliarder kroner, ny rekord og en økning på 31 prosent siden 2015 (Intrafish, 2017).

Med bakgrunn i suksessen med oppdrett av laks og ørret har det også oppstått interesse for å kultivere andre marine arter (Sjømat Norge, 2012). Dette har dog blitt utført med varierende grad av suksess. Torsk (*Gadus morhua*) regnes som en av våre beste og viktigste matfisker, og det oppstod stor interesse for oppdrett av denne arten tidlig på 1980-tallet. Store ressurser ble investert, men på grunn av lave markedspriser, uforutsigbar produksjon og biologiske utfordringer hadde nærmest alle yngelproduzentene gitt opp innen midten av 1990-tallet. Interessen for oppdrett av torsk har i dag blusset opp igjen, noe som kan skyldes gode tider i laksenæringen, begrensning i tilgjengelige laksekonsesjoner og løsning av en del av de biologiske utfordringene som har stått i veien for oppdrett av denne arten (Karlsen og van der Meeren, 2009).

Det har også vært betydelig interesse for oppdrett av kveite (*Hippoglossus hippoglossus*) i Norge. De siste tiårene har det vært drevet forskning på området av både offentlige og private aktører. Det har imidlertid vist seg at kveite er en langt mer krevende art å kultivere enn laksefisk. Likevel er man i dag i ferd med å overvinne mange av de begrensende faktorene knyttet til produksjonen av egg, yngel og stamfisk, og det har vært forventet sterk vekst for denne arten (Pethon, 2012). Siden starten av 2000-tallet økte salget av slaktet kveite fra ca. 400 tonn til en topp på nesten 2800 tonn i 2011, men de siste årene har produksjonen vært synkende (Statistisk Sentralbyrå, 2016).

Det har også i flere år vært drevet oppdrett av skalldyr i begrenset omfang i Norge, der fleste artene fortsatt er i en forsøksfase. Denne typen oppdrett har blitt ansett som å ha stort potensiale til å bli en betydelig kystnæring. Den første offentlig koordinerte satsingen var

«Skjellprosjektet» i perioden 1994 – 2003. Blåskjeloppdrett ble introdusert i Norge på starten av 1970-tallet, og har vært preget av prøving og feiling fram til slutten av 1990-tallet. Siden tidlig på 2000-tallet har det vært vekst i produksjonen, men veksten har ikke svart til forventningene. Til tross for flere tilbakeslag, dårlig lønnsomhet og konkurser blant flere anlegg, er det likevel positive forventninger til fremtidig blåskjeloppdrett (Hallenstvedt, 2013).

Den nyeste satsingen innenfor marin akvakultur i Norge er oppdrett av tang og tare, også kalt makroalger. Utnyttelse av makroalger til både gjødsel, dyrefôr og humant konsum strekker seg helt tilbake til de første bosettingene langs kysten av Norge (Meland og Rebours, 2012a). Dette var basert på høsting av vill tare, og det er dette hovedtyngden av råstoffet i Norge kommer fra også i dag, med en årlig høsting på rundt 200 000 tonn (Hanssen, 2016).

Interessen for og etterspørselen etter makroalger har sin grobunn i de mange og diversifiserte formålene som makroalger kan brukes til, deriblant bioenergi, humant konsum, fôringredienser og opptak av nærings saltutslipp fra lakseoppdrett. Oppmerksomheten rundt dyrking av makroalger skjød fart i løpet av 2009, særlig på grunn av klimadebatten. Det økte fokuset på klimaendringer og et stadig økende behov for alternative energikilder, satte makroalger på agendaen. Fiskeri- og kystdepartementet finansierte i 2009 den første utredningen om dyrking av makroalger med spesielt fokus på bioenergi i nordområdene. Utredningen ble gjennomført av SINTEF Fiskeri- og havbruk AS, som drøftet makroalgers mulige anvendelser og fremtidige muligheter for dyrking og utnyttelse av denne ressursen (Handå *et al.*, 2009). Siden har det blitt satt i gang flere større prosjekter med fokus på dyrking av makroalger, der Møreforskning og SINTEF har vært sentrale. Forskningsleder i SINTEF, Aleksander Handå, har uttalt at det bør være mulig å 20-doble dagens produksjon til fire millioner tonn innen 2030, der rundt halvparten av dette kan produseres i sammenheng med lakseoppdrett (Hanssen, 2016). Det anslåtte potensialet for årlig produksjon er 20 millioner tonn innen 2050, noe som tilsvarer en årlig verdiskapning på 40 milliarder kroner (Olafsen *et al.*, 2012).

De siste årene har interessen steget ytterligere og de politiske signalene har vært hyppigere, noe som antyder stor optimisme rundt dyrking av makroalger. I 2011 uttalte daværende statssekretær i Fiskeri- og kystdepartementet, Kristine Gramstad, i en åpningshilsen til Norsk senter for tang- og tareteknologi:

«Dyrking av makroalger representerer et spennende skjæringspunkt mellom bedre ressursutnytting, nye sjøbaserte produkter og mulig fornybar energiproduksjon.»

Året etter, i 2012, uttalte den forrige fiskeriministeren, Lisbeth Berg-Hansen følgende:

«Vi må bli flinkere til å se muligheter i nye næringer. Som tareproduksjon, marin bioprospektering og reiseliv.»

(Dalen, 2013).

Det siste året har også den nåværende fiskeriministeren, Per Sandberg, fremhevet sin optimisme for dyrking og bruk av makroalger. I forbindelse med presentasjonen av regjeringens havstrategi i Tromsø i februar 2017, trakk fiskeriministeren fram dyrking av makroalger som et viktig satsingsområde for fremtiden (Berge, 2017).

Per i dag er det kun en håndfull selskaper med konsesjon innenfor dyrking av alger. Sammenlignet med Asia, hvor dyrking av makroalger er en stor og etablert næring, er det lett å betrakte den norske næringen som en 'entreprenørnæring'. Entreprenørskap kan defineres som individer eller organisasjoner som bidrar til fornyelse og endring i det økonomiske miljøet. Entreprenørskap dreier seg om å skape nye muligheter så vel som å utnytte de omstendighetene som ligger til grunn (Henrekson, 2007). Dette kan kobles til de stadige politiske signalene om mulighetene langs Norges lange og rene kyst, med store muligheter for både oppdrett, fiske og andre former for marin næringsaktivitet. I motsetning til laksepionérene kan imidlertid ikke algedyrkere i Norge betraktes som pionérer innenfor feltet, da dyrking av makroalger har tradisjoner langt tilbake i tid flere steder i verden. Det samme gjelder teknologien som brukes i dag. Den har blitt brukt i lang tid i andre deler av verden, men er relativt ny i Norge. På denne måten kan de norske algedyrkerne omtales som innovatører. De har modifisert eksisterende teknologi og metoder og tilpasset dem til norske farvann og arter hvor de tidligere ikke er blitt brukt. Oppstarten av dyrking av makroalger i Norge kan dermed ansees som en innovativ utvikling av en næring som tidligere ikke har eksistert i Norge.

Slike framvoksende næringer er gjerne videreutviklet fra eksisterende næringer eller helt nye næringer med opphav i teknologisk innovasjon, en endring i forholdet mellom relative kostnader, nye kundebehov eller andre økonomiske eller sosiale endringer. Strukturelle karakteristikk for oppstartsfasen i framvoksende næringer kan være teknologisk og strategisk usikkerhet, høye innledende kostnader, nyetablerte selskaper som kommer inn i næringen, kortvarig oppstartsfase og subsidier til aktørene (Sabot *et al.*, 2013).

Å bygge opp en ny næring innebærer at flere individuelle entreprenører, støttet av ny infrastruktur, skiller seg ut i forhold til eksisterende aktører. Det er imidlertid ikke bare de kommersielle aktørene som utgjør en ny næring, og nye næringer oppstår sjeldent kun gjennom enkeltaktører. Det vil også være behov for støtte fra andre næringer, finansielle institusjoner, offentlige organer og utdannings- og forskningsinstitusjoner. Individuelt sett må entreprenørene kunne mobilisere kapital, skaffe kunnskap om hvordan utføre relevante operasjoner på en effektiv måte og takle uforventede trusler og muligheter i miljøet (Ytrøy, 2008). Entreprenørskap kan på denne måten betraktes som en kollektiv prosess.

1.1 Problemstillinger og formål med oppgaven

Bakgrunnen for denne studien er interessen rundt dyrking av makroalger, som omtales som en fremtidig vekstnæring i Norge. Det tas stadig flere initiativer – både på nasjonalt nivå og i mitt hjemfylke Møre og Romsdal. Her ble det nylig lagt fram en omfattende rapport om potensialet for dyrking av makroalger langs Mørgekysten (Broch *et al.*, 2016).

Hovedformålet med denne studien vil være å få et overblikk over hvordan den norske næringen innenfor dyrking av makroalger står i dag.

Dette leder til problemstillingene for oppgaven, som formuleres på følgende måte:

- Hva er status for dyrking av makroalger i Norge i dag?
- Hvilke muligheter og utfordringer står den norske næringen ovenfor?

Med disse problemstillingene vil jeg finne ut hvor mange aktører som praktiserer dyrking av makroalger i dag, spesielt i kommersiell skala. Hvor stor produksjon og omsetning har de norske aktørene? Hvem er kundene? Hvilke priser får de norske aktørene for råstoffet sitt? Jeg vil også kartlegge hvilke nye initiativer som er på gang i form av forskningsprosjekter, samarbeider og nyetableringer av selskaper. Videre vil jeg se på hva som har vært norske aktørers utfordringer i løpet av deres drift, og hvordan de har forsøkt å overkomme disse. Norske dyrkere er 'nybegynnere' i en næring som består av en rekke land og aktører som har langt mer erfaring. For å sette den norske næringen i perspektiv, vil jeg også prøve å finne svar på hvordan utenlandske aktører praktiserer dyrking av makroalger, og hva den norske næringen kan lære av dette.

1.2 Metode og datainnsamling

I et forskningsprosjekt kreves det teknikker og fremgangsmåter som viser vei. Å stole kun på instinkter og personlige ferdigheter vil ikke være tilstrekkelig, man må også ha kjennskap til de forskningsmetodene og -teknikkene som er tilgjengelige (Ringdal, 2000).

For å besvare forskningsspørsmål er det viktig å konstruere et overliggende og tydelig forskningsdesign. Det eksisterer fire forskjellige typer forskningsdesign: Beskrivende, forklarende, eksplorerende eller en kombinasjon av disse (Saunders *et al.*, 2012). I mitt tilfelle, hvor kunnskapsgrunnlaget for temaet er begrenset, vil et eksplorerende forskningsdesign være det mest aktuelle. Formålet med et eksplorerende forskningsdesign er å øke forskerens kunnskapsnivå innenfor det som skal undersøkes. Et eksplorerende design starter dermed ofte med en litteraturgjennomgang for å utvide forskerens forståelse og evne til å lage aktuelle hypoteser, eller nærmere forskningsspørsmål. På grunn av ønsket om å kartlegge dagens status for næringen i Norge, samt se til utlandet for å identifisere likheter og forskjeller mellom norske og utenlandske aktører, vil en casestudie være aktuell. Casestudier baserer seg på å samle en mengde med informasjon og data fra sekundærkilder med hensyn til et begrenset fenomen. En vil derfra kunne gå over til innsamling av data fra primærkilder, noe som ofte foregår ved hjelp av visse former for intervjuer eller deltakende observasjon (Johannesen og Tufte, 2002).

Hvordan man går fram og hvilken metode man benytter for å samle inn data til studien er en essensiell del av forskningsdesignet, og vil være avhengig av studiens formål. Empiriske data for den norske næringen innenfor dyrking av makroalger er svært begrenset. Det eksisterer kun tall for høsting (kvantum og verdi), sysselsetting og antall operative selskaper med konsesjon for 2015. Det eksisterer noe mer historiske data for land utenfor Norge, men dette er også begrenset, spesielt for europeiske land. Oppgaven vil derfor delvis baseres på den informasjon som måtte finnes i form av sekundære kilder som forskningsartikler, offentlige dokumenter og statistikk, aviser og tidsskrifter. Men jeg baserer meg også på primære informasjonskilder ved direkte innsamling fra aktuelle informanter.

Med valg av et eksplorerende design og begrenset mengde av empiriske data har jeg valgt en kvalitativ metode for oppgaven. Kvalitativ metode skiller seg fra kvantitativ metode, som baseres i stor grad på systematisering av kvantifiserbare størrelser, ved å omfatte forskjellige former for innsamling, bearbeiding og analyse av data fra samtaler, intervjuer, observasjoner og skriftlig tekst (Skolbekken *et al.*, 2009).

Den mest brukte kvalitative metoden for datainnsamling er dybdeintervju, som gir forskeren anledning til å stille oppfølgende spørsmål for å få mer utfyllende svar. Ifølge Bryman og Bell (2007) kan man skille mellom strukturerte og ustrukturerte intervju. En tredje intervjutype er en blanding av disse og kalles for semi-strukturerte. Semi-strukturerte intervjuer er basert på en intervjuguide, men er mer en liste med spørsmål og generelle tema som skal dekkes gjennom samtalen med intervjuobjektet (Thagaard, 1998). Semi-strukturerte intervjuer har dermed mer åpne spørsmål med større muligheter for oppfølgingsspørsmål tilpasset intervjuobjektets uttalelser.

Det har vist seg å være utfordrende å få både norske og spesielt utenlandske aktører i tale. Av de jeg har henvendt meg til via epost og telefon, er det kun noen få som har besvart henvendelsene mine. Enda færre har vært villige eller hatt tid til å besvare spørsmålene mine. I alt fikk jeg kontakt med to norske aktører og en utenlandsk. En av de norske begrunnet forsinkelser og vanskeligheter for å besvare spørsmålene mine med at de var midt i høsting av biomassen, som er den travleste perioden av dyrkingsprosessen. Samme begrunnelse fikk jeg også fra to utenlandske aktører. En tredje mente han var en for liten aktør i forhold til min oppgave og ville dermed ikke besvare spørsmålene mine. Resultatet av det begrensede utvalget har ført til et tynnere datagrunnlag enn det jeg gjerne skulle hatt og oppgaven har blitt mer amputert enn planlagt. Samtlige av de norske aktørene som jeg kontaktet er imidlertid av de første som fikk kommersiell konsesjon Norge, og som fortsatt er operative. De burde dermed være en god pekepinn på hvor langt norske aktører har kommet når det gjelder de teknologiske og biologiske aspektene ved dyrking av makroalger..

2 Makroalger som ressurs

I dette kapitlet vil jeg ta for meg hva begrepet makroalger dreier seg om. Jeg vil oppsummere hva makroalger er og hva slags arter som er spesielt interessante kommersielt sett. For å oppsummere makroalgers betydning som ressurs gir jeg en historisk oversikt over hvordan og til hva makroalger er blitt brukt til opp gjennom tidene i forskjellige deler av verden. Videre vil jeg gjøre rede for hvilke kommersielle produkter og anvendelser makroalger brukes til i dag.

2.1 Hva er makroalger?

Makroalger nevnes i norsk dagligtale som ‘tang og tare’ eller ‘seaweeds’ på engelsk, og er gjerne en fellesbetegnelse på de store fastvoksende algene. Disse algene finnes i alle kystnære områder rundt om i verden, i alle klimasoner fra tropiske til polare. På verdensbasis fins det om lag 10 000 forskjellige arter, og det oppdages fortsatt nye arter som lever under ekstreme forhold (Mouritsen, 2013).

Makroalger lever i en rekke forskjellige økologiske nisjer. Enkelte arter lever kun helt i overflaten på de grunneste partiene i fjæra, mens andre lever på mange meters dyp. I enkelte områder kan kystnære arter av makroalger strekke seg flere mil ut i havet. For at makroalger skal kunne vokse, stilles det to grunnleggende vilkår til miljøet. De trenger sjøvann eller brakkvann og tilfredsstillende tilgang på sollys for å drive fotosyntese. Et tredje alminnelig levevilkår, spesielt for artene som omtales som tang og tare, er et fast forankringspunkt i form av stein eller berggrunn. Som et resultat av dette vokser makroalger vanligvis i den kystnære sonen, og gjerne på steinete berggrunn framfor mykbunn. Enkelte arter vokser også i de frie vannmasser. Brunalgen *Sargassum* for eksempel, har tilpasset seg en fullstendig planktonisk levemåte. Disse er frittflytende og er avhengige av luftfylte blærer for å opprettholde et akseptabelt dybdenivå. Andre arter har tilpasset seg steinfylte tidevannsbassenger hvor de må motstå hurtige endringer i temperatur og salinitet, og i noen tilfeller til og med uttørking (Kılınç *et al.*, 2013).

Makroalger er akvatiske plantelignende organismer som deles inn i tre brede grupper basert på deres pigmentering; grønne makroalger (*Chlorophyceae*), røde makroalger (*Rhodophyceae*) og brune makroalger (*Phaeophyceae*). Siden disse tre gruppene ikke har en felles multicellulær stamfar, regnes makroalger som en polyfyletisk gruppe. (Kılınç *et al.*, 2013). Felles for alle arter i denne diversifiserte gruppen er innhold av klorofyll-granulater

som inneholder klorofyll-a. Denne substansen er grønn og er en del av makroalgers fotosyntetiske system som konverterer sollys til kjemisk energi og driver deres metabolske funksjoner. Dette grønne pigmentet er dog ofte tildekket av andre pigmenter som overskygger den grønne fargen (Mouritsen, 2013).

Grønne makroalger kan bli funnet både på sand- og steinbunn. Mange av artene innenfor denne gruppen kan tåle lav salinitet og dermed kolonisere brakkvannsområder, for eksempel der hvor elver møter havet. Siden grønnalgene kun bruker klorofyll-a behøver disse artene store mengder lys og vil dermed ikke trives i skyggeområder eller ved for store dyp.

Eksempler på utnyttede grønnalger er *Ulva sp.*, *Enteromorpha sp.*, *Monostroma sp.*, *Caulerpa sp.* og *Codium sp.*. Disse er alminnelige kilder til mat, og blir konsumert både rå, tørket og kokt (Kılınç *et al.*, 2013).

Røde makroalger har hatt en mer diversifisert evolusjon enn grønne og brune. Manger arter tåler ikke uttørking og dominerer i steinfylte tidevannsbassenger, mens andre tåler uttørking og kan bli funnet spredd utover tørrlagte strender ved lavvann. Enkelte røde makroalgearter er epifyttiske, og lever på andre marine planter hvor de nyttiggjør seg av vertens oppdrift som løfter dem nærmere sollyset. Den røde fargen i disse makroalgene kommer av større mengder av røde fykobiliner som overskygger det grønne pigmentet i klorofyll. Majoriteten av biomassen fra røde makroalger i verden dekkes av familiene *Corallinaceae* og *Gigartinaceae*. En rekke arter av rødalger, deriblant *Gelidium*, *Gracilaria* og *Pterocladis* brukes til produksjon av agar som blir mye brukt til vekstmedium for mikroorganismer og andre anvendelser innen bioteknologi, og matvarer. Et annet bruksformål for disse familiene er produksjon av karragenan som er en viktig ingrediens i kosmetikk, næringsmiddelforedling og industrielle formål så vel som en matkilde. Noen av de viktigste artene av røde makroalger på verdensbasis er *Betaphycus gelatinae*, *Eucheuma denticulatum*, og flere slekter innenfor familien *Kappaphycus* inkludert *K. alvarezii* (Kılınç *et al.*, 2013).

Brune makroalger er vanligvis store opptil 20 meters lengder, men også helt ned til 30 – 60 cm (McHugh, 2003). De viktigste bruksområdene for brunalgene er som matvarer og som råmateriale for ekstraksjon av hydrokolloidet alginat. De mest nyttige brunalgene vokser i kalde farvann både på den nordlige og sørlige halvkule, og trives best i farvann opp til om lag 20 grader celsius. Brunalgene finnes også i varmere farvann, men disse artene er ikke like godt egnet, hverken til mat eller til alginatproduksjon (Kılınç *et al.*, 2013).

Norge har Europas største ville bestander av makroalger, og man regner med at det finnes ca. 480 forskjellige arter i norske farvann. Blant disse er det regnet omlag 205 rødalger, 100 grønnalger og 175 brunalger. Brunalgen stortare (*Laminaria hyperborea*) utgjør mer enn 80 % av makroalgebiomassen langs Norskekysten og har en estimert bestand på 50 millioner tonn. Makroalgene i de økologiske samfunnene langs kysten, har viktige roller både som primærprodusenter og sørger for miljøer med gode næringsforhold, og skjul for en rekke marine organismer. På denne måten utgjør disse økologiske miljøene noen av de mest produktive og artsrike samfunn i kystnære områder (Steen, 2009) forsørge.

2.2 Bruk av makroalger – et historisk perspektiv

Marine makroalger representerer ikke bare et grunnlag for habitater som forsørger et mangfold av organismer, men har blitt samlet av mennesker i tusenvis av år som en viktig, direkte kilde til næringsrik mat og andre bruksformål. Den tidligste dokumenterte bruken som kilde til mat og medisin kan dateres 14 000 år tilbake i tid (Dillehay *et al.*, 2008). Ved en utgraving i Monte Verde i sørlige Chile er det funnet rester etter flere arter av makroalger i ildsteder og mortere, som er datert hele 12 000 år tilbake. Bruken av makroalger bygger på urgamle tradisjoner og kan spores tilbake til det fjerde århundre i Japan og det sjette århundre i Kina. De tidligste kjente medisinske formålene for makroalger, kan knyttes til grunnleggende klassisk medisin i Kina, Japan og India. Ifølge den legendariske keiseren Shen Nung, som levde for 5000 år siden, kunne makroalger blant annet brukes til å mykne, berolige og avlaste muskelspenning så vel som å krympe byller og tumorer (Mouritsen, 2013).

I Japan, Kina og Korea har marine alger i lang tid blitt behandlet med ærbødighet og respekt, og i tidligere tider til og med blitt assosiert med velvære. Det har vært perioder der makroalger har vært reservert til adelen. I klassisk japansk poesi fra det 6. og 7. århundre finner man vers hvor det fortelles om fiskernes koner som sanker makroalger for saltproduksjon og betaling av skatt. Den tekniske bruken av tang- og tareekstrakter som tyknings- og geleringsmidler går flere århundrer tilbake, og metodene for ekstraksjon av agar ble først beskrevet i Kina i 1658. Metodene ble kort tid etterpå introdusert også i Japan, hvor agar blir kalt for *kanten* (Mouritsen, 2013).

I forhold til den østlige og sørøstlige delen av verden har utnyttelsen av denne ressursen i Europa og Nord-Amerika vært svært begrenset. Men også i den vestlige verden har bruken av makroalger eksistert i århundrer, både til huslige og industrielle bruksformål. I Europa er det

spesielt Irland, Wales, Scotland, Frankrike, Island og Norge som har historiske koblinger til makroalger, som gjennom tidene har vært en viktig sosioøkonomisk faktor i disse områdene (Mouritsen, 2013).

Irlands historiske tilkobling til makroalger stammer tilbake til det 12. århundre, hvor irske munkene samlet rødalgen søl (*Palmaria palmata*) for å dele ut til de fattige. Irene brukte makroalger til flere formål, som blant annet mat, tyggetobakk og medisinske formål slik som ormekurer, forkjølelser og til og med for kvinners hjemlengsel. Fra rundt år 1600 og fram til i dag har Irland utnyttet makroalger i kommersiell skala, hvor de systematisk har høstet marine alger til gjødsel, ekstraksjon av jod, natrium- og kaliumkarbonat for glass- og såpeproduksjon og mer nylig til andre teknologiske innovative produkter. Irlands forbindelse med makroalger er bokstavelig talt innskrevet i navnet på en av de mindre artene av rødalger, som på engelsk kalles for Irish moss (*Chondrus crispus*). Arten kalles krusflik på norsk og blir funnet langs store deler av både Europas og Nord-Amerikas kystlinje (Mouritsen, 2013). Til tross for Irlands lange historiske utnyttelse av makroalger blir denne ressursen blant folk flest assosiert med fattigdom og sult, et resultat av den store hungersnøden i Irland i tidsperioden 1845-1849 (Mouritsen, 2013). Nabolandet Wales har derimot ikke de samme negative stigma og makroalger er den dag i dag brukt i salater, kjeks og som tilbehør til stekt kjøtt (Mouritsen, 2013).

Også i den franske provinsen Bretagne er det arten søl som har hatt størst betydning. Den har i stor grad blitt brukt som dyrefôr helt fram til i dag. Både i Bretagne og i andre deler av Frankrike har diverse brunalger blitt brukt til å gjødsle åkre siden 1300-tallet. Detaljerte reguleringer som bestemte hvem som hadde rettighetene til å samle og høste makroalger i Frankrike, antyder at denne ressursen har hatt en betydelig sosioøkonomisk betydning i disse områdene (Mouritsen, 2013).

Den industrielle fremveksten i Europa startet på 1600-tallet. Bønder langs den franske kysten begynte å utvinne soda (natriumkarbonat) ved å brenne brunalger. Soda ble brukt til å glasere keramikk og til glassproduksjon. Det ønskede produktet, sodaaske, ble utvunnet ved å tørke og brenne brunalgene. Asken ble deretter vannet ut, og de ønskede saltene i asken ble skilt ut ved å koke ned denne askeløsningen. Soda ble opprinnelig produsert av asken fra *Salsola*-planten, som ga et bedre resultat enn brunalger. På grunn av store forekomster, god tilgjengelighet og lave produksjonskostnader var kvaliteten fra brunalger likevel akseptabel til produksjon av ordinært glass (Indergaard, 2011).

Arkeologiske funn fra den yngre steinalderen tyder på at bosettingene langs de nordlige kystlinjene i Europa var nært bundet til og svært avhengig av havet som kilde til mat. Blant de nordiske landene er det Island som har den best dokumenterte bruken av makroalger historisk sett, blant annet i Eigill Skallagrimssons saga fra norrøn tid (Indergaard, 2010). Søl har siden 700-tallet blitt brukt som handelsvare og ble hyppig byttet mellom kystnære og innenlandske folkeslag. Kostnadene ved å leie en gård ble ofte uttrykt i form av en viss mengde med makroalger, noe som gjorde denne ressursen i praksis til en hard valuta. Skrevne kilder, hovedsakelig sagaer og lovsamlinger, beskriver bruken av makroalger som menneskeføde på Island så langt tilbake som til det 10. århundre. Islendere og nordmenn konsumerte fersk søl bakt inn i brød og tørket søl som en form for snacks på denne tiden (Mouritsen, 2013).

I Norge kan bruk av makroalger til konsum dateres tilbake til vikingtiden, hvor søl ble medbrakt på lange sjøreiser som viktig vitaminkilde (Chapman, 2016). Fra rundt år 1750 har tare også hatt en viktig rolle i industrien, der tare ble brent for å framstille kaliumkarbonat til såpe- og glassindustrien. Mellom år 1800 og 1913 økte eksporten av kaliumkarbonat fra 1500 til 6000 tonn, produsert av 150 000 tonn tare. Fra år 1870 ble kaliumkarbonat brukt til produksjon av jod, før det ble erstattet av 'chilesalpeter' i 1933 (Meland og Rebours, 2012a). Forskning på alginat i Norge ble etablert i starten av 1900-tallet. Ren alginatsyre ble vellykket produsert av bedriften Protan AS i 1943, i samarbeid med Norsk institutt for tareforskning (NITT). Produksjonen var basert på drivende og håndkuttet fingertare (*Laminaria digitata*). Eksporten av alginat tredoblet seg mellom 1954 og 1960, fra 100 til 300 tonn. Siden 1963 har stortare vært den viktigste arten som råmateriale til alginatproduksjon i Norge, dette på grunn av mekanisering av høstingen og store tilgjengelige volumer. Protan AS heter i dag FMC Biopolymer, er eid av FMC-konsernet og er Norges største aktør innenfor høsting av makroalger og produksjon av alginat (Meland og Rebours, 2012a).

Fra og med 1930 var tangmel fra arten grisetang (*Ascophyllum nodosum*) et viktig produkt til produksjon av dyrefôr og gjødsel i den norske landbruksindustrien. Algene ble kuttet for hånd, tørket i fjæra og deretter malt opp. Flere selskaper produserte på 1960-tallet tangmel og ekstrakter til agrikultur og næringsformål (Aasland, 1997). I dag er Kristiansunds-bedriften Algea AS, som ble etablert i 1937, eldste gjenværende bedrift og er eid av italienske Valagro Group (Meland og Rebours, 2012a).

2.3 Bruksformål for makroalger

I dette kapittelet vil jeg gjennomgå de vanligste bruksformålene makroalger går til i dag og hvilke som kan være aktuelle i framtiden. Dette inkluderer humant konsum som majoriteten av den globale biomassen går til, ingredienser og industriprodukter, bruksområder innen farmasi, bioenergi og biodrivstoff samt andre miljøformål.

2.3.1 Humant konsum

Svært få arter inneholder stoffer som er giftige for mennesker og som må tas i betraktning før konsum. Sett bort ifra disse artene egner makroalger seg på generelt grunnlag svært godt til humant konsum og inneholder store mengder nyttige næringsstoffer (Hafting *et al.*, 2015b).

Næringsinnhold: Næringsverdien i makroalger varierer fra art til art, fra sesong til sesong og geografisk sett (Patarra *et al.*, 2011; Stengel *et al.*, 2011). Mange ulike arter inneholder høye verdier av både karbohydrater, mineraler, vitaminer og andre næringsstoffer (MacArtain *et al.*, 2007). Mineralinnholdet er generelt høyt og mangfoldig. For eksempel er natrium og kalium til stede i betydelige mengder. Forholdet mellom disse mineralene ligger vanligvis på 1:5 (Na:K), noe som gjør makroalger til egnede kandidater som salterstatninger i mat (Mouritsen, 2012). Kalsiuminnholdet (Ca) i enkelte makroalger kan være høyere enn i vanlige meieriprodukter, og jern- og kobberinnholdet er til stede i høyere nivåer enn hos mange jordbruksprodukter, som kjøtt og spinat. Brunalger er særlig gode kilder til magnesium, kopper, jern og jod. Mange arter kan også inneholde flere former for antioksidanter, som vitaminer og beskyttende pigmenter, derav vitamin A, B, C og E. Noen arter inneholder også vitamin B12, noe som gjør makroalger til en av få vegetabiliske kilder til dette næringsstoffet. (Hafting *et al.*, 2015b). Innholdet av fettsyrer ligger vanligvis mellom 2 – 4 % av tørrvekt, der nesten halvparten er flerumettede fettsyrer med en god balanse av både omega-3 og omega-6. Makroalger kan inneholde en rekke essensielle fettsyrer som bevares godt gjennom tørking, som er den vanligste konserveringsformen for makroalgeprodukter (Hafting *et al.*, 2015b). Proteininnholdet varierer betydelig mellom de forskjellige artene, og brunalger har generelt et lavere proteininnhold (<15 % av tørrvekt) enn rød- og grønnalger (Patarra *et al.*, 2011). Enkelte makroalger kan ha svært høyt proteininnhold, som for eksempel rødalgen *nori* som har et proteininnhold opp til 47 % (Hafting *et al.*, 2015b).

Et stort antall forskningsartikler har identifisert interessante muligheter for makroalger som funksjonelle matvarer og ingredienser. Holdt og Kraan (2011) definerer funksjonelle matvarer eller funksjonelle matingredienser som er dokumentert til å gi spesifikke helsegevinster utover grunnleggende ernæring.

Matprodukter på markedet i dag: Makroalger har blitt konsumert som menneskemat siden forhistorisk tid og har overlevd inn i det moderne kjøkken hovedsakelig i Øst- og Sørøst-Asia. Matretter som tydelig bruker makroalger som ingrediens, har blitt mer og mer utbredt i hele verden de siste årene. Matretter som for eksempel sushi, har bidratt til å gi større oppmerksomhet rundt makroalger utenfor Asia. Dette har også bidratt til at det globale markedet for makroalger til humant konsum er verdsatt til nærmere 10 milliarder USD (Hafting *et al.*, 2015b; Mouritsen, 2012). Den økende populariteten ved sushi og andre asiatiske retter de siste tiårene, er en av de største faktorene for introduksjon av makroalger som menneskemat i Europa. Den økende interessen for bruk av makroalger som sunn og kortreist mat er også årsaken til en fornyelse av gamle mattradisjoner langs kyst-Europa (Chapman *et al.*, 2015).

Det har vært flere profilerte personligheter som har promotert bruken av sjømat i vesten. To av disse forkjemperne for makroalger er Dr. Ole Mouritsen (Danmark) og Dr. Prannie Rhatigan (Irland). Begge har publisert bøker som illustrerer hvor enkelt makroalger kan inkluderes i ikke-asiatiske retter (Hafting *et al.*, 2015b; Mouritsen, 2012; Rhatigan, 2010).

Den siste tiden har det vært betydelige innsats for å utvide utvalget av produkter hvor makroalger er tydelig profilert, der det viktigste markedsføringsbudskapet her er at produktet inneholder makroalger. Majoriteten av disse produktene blir markedsført og solgt i Asia, men det dukker også opp stadig flere selskaper som tilbyr produkter laget eksklusivt av diverse makroalger i vesten (Hafting *et al.*, 2015b). Enkelte små bedrifter i Frankrike, Island og Irland selger arter som søl, sukkertare (*Saccharina latissima*), butare (*Alaria esculenta*) og fjærehinne (*Porphyra sp.*) i tørket form, og produserer forskjellige matvarer basert på disse artene (Chapman *et al.*, 2015). Det norske selskapet The Northern Company har et tilsvarende konsept hvor de tilbyr forskjellige norske arter i hel, tørket form, pulverform, 'flak' og salterstatninger (The Nordic Company, 2017).

Flere *nori*-baserte 'snacks' basert på ovnsstekt og krydret tare har vært populære på det asiatiske markedet i flere tiår. Denne typen produkter har også den siste tiden gjort seg bemerket i Nord-Amerika, hvor de er blitt markedsført som en sunnere erstatning for

potetchips. Man kan også finne makroalger som ingrediens i frokostblandinger, granola-bars, chips og kjeks. Andre produkter basert på makroalger som har funnet veien til vesten er te i både varmt og kaldt format, nudler som inkluderes i vestlige pastaretter, og en rekke salterstatninger og kryddere i form av pulver (Hafting *et al.*, 2015b).

I Norge har det også vært flere innovative initiativer med sikte på å benytte tare til human konsum. Frøya Tare As, som holder til på den lille øya Sula i Frøya kommune, tilbyr pasta laget med butare og rugkjeks med søl, samt tørkede produkter av stortare og fingertare (Frøya Tare As, 2017). Det er også flere nyetablerte studentprosjekter på gang. Tre studenter med bakgrunn i biomarin innovasjon og markedsføring fra Ålesund har ved NTNU nylig startet studentbedriften «Kelp». Bedriften lager knekkebrød der tare fungerer som erstatning for salt. En annen studentbedrift, også ved NTNU, har som mål å brygge et 'fullkomment havøl' hvor de nå forsøker å brygge et næringsrikt øl med tare som ingrediens (Mikkelsen, 2017).

Et annet eksempel på hvordan makroalger kan brukes til human konsum, i kombinasjon med å være miljøvennlig, er produktet «Ooho!» laget av det britiske selskapet Skipping Rocks Lab. Produktet deres er en boble med vann, med en membran laget av tareekstrakt som innkapsler vannet. Denne innovasjonen er ment som en erstatter for tradisjonelle plastflasker og er ifølge bedriften 100 % laget av planter, tang og tare. Produktet er også biologisk nedbrytbart, spiselig og billigere å lage enn plast (Skipping Rocks Lab, 2017).



Figur 1: Illustrasjon av det miljøvennlige produktet "Ooho!" laget av Skipping Rocks Lab (Skipping Rocks Lab, 2017).

2.3.2 Ingredienser og industriprodukter

Majoriteten av høstede makroalger på verdensbasis går til direkte humant konsum, mens majoriteten av det resterende råstoffet går til ingrediensindustrien. De tre hydrokolloidene alginat, karragenan og agar er de viktigste kommersielle produktene.

Alginat: Alginat er polysakkarider som kan isoleres fra de fleste typer brunalger. I makroalgene fungerer disse som en hovedbestanddel i celleveggen (Arlov, 2016). Hos visse arter som *Laminaria*, *Lessonia*, *Macrocystis* og *Sargassum*, kan alginatet utgjøre opptil 45 % av tørrvekten på råstoffet, og det er disse artene som blir brukt for å ekstrahere alginat (Augst *et al.*, 2006; Reddy og Yang, 2015). Produksjonen av alginat finner sted hovedsakelig i Kina, Norge, USA, Canada, Frankrike og Japan (Capuzzo og McKie, 2016). Kina er den største produsenten og produserte i 2009 27 000 tonn alginat med en estimert verdi på 318 millioner USD. Det meste av det årlige høstede kvantum av makroalger i Norge i dag (150 000 – 200 000 tonn), kommer fra ville bestander av stortare og grisetang, og går til alginatproduksjon. FMC Biopolymer er i dag Norges største produsent av alginat og alginatlignende produkter og omsetter for over en milliard i året (Barstad, 2014).

På grunn av stabiliserende, innkapslende, fortykkende og geledannende egenskaper, blir alginat i dag brukt på over 600 forskjellige måter (Arlov, 2016). I matindustrien blir fortykningsegenskapen brukt blant annet i sauser, desserter og syltetøy. En tilsetning av alginat kan for eksempel gjøre glasurer mindre klebrige, som gjør det mulig å bruke plastemballasje rundt produktene. I tillegg forbedrer alginat teksturen, konsistensen og glansen i yoghurter. Det mest kjente bruksformålet i matindustrien er nok knyttet til de geledannende egenskapene. Alginater er tilgjengelige i et vidt spekter av viskositeter, gir formbestandighet i matvarer under varierende temperaturer, og har dermed svært mange forskjellige bruksområder som gelatineringsmiddel (McHugh, 2003).

Alginat har også egenskaper som ikke angår viskositet og geledannende egenskaper som er relevant for matindustrien. Alginat brukes i diverse matvarer som stabilisator, og er ofte brukt i iskrem hvor alginat brukes til å forhindre dannelse av iskrystaller i isen ved temperatursvingninger (McHugh, 2003).

Alginat blir også mer og mer brukt i helseindustrien på grunn av dets gode egenskap til å absorbere fuktighet. Dette kan for eksempel brukes til å tildekke sår og holde de tørre (Reddy og Yang, 2015). I tillegg til overnevnte bruksområder, brukes alginat også innenfor stofftrykking, papirproduksjon, i sveisetråder og som formslippmiddel (McHugh, 2003).

Karragenan: Hydrokolloidet karragenan blir utvunnet av såkalte karragenalger, som er en fellesbetegnelse på enkelte rødalger som brukes til utvinning av denne forbindelsen. I likhet med alginat har karragenan geledannende egenskaper og brukes hovedsakelig i matindustrien (McHugh, 2003). Karragenan blir i likhet med alginat brukt som gelatineringsmiddel og emulgator, og er svært reaktiv med melkeproteiner. Karragenan blir dermed mye brukt i meieriprodukter i små konsentrasjoner for å forhindre at bestanddelene i disse produktene skiller seg. Karragenan blir også brukt i ferdigmat for stabilisering, fortykning og gelatinerings, og er blant annet blitt brukt i den amerikanske matindustrien siden 1950-tallet. På grunn av den globale konsumentdrevne etterspørselen etter bekvemmelige matvarer, innbydende teksturer og nye produkter blir karragenan brukt verden over som tilsetningsstoff i matindustrien (Guiry, 2017a).

Det har også blitt mer og mer vanlig å bruke karragenan som fetterstatning i matvareprodukter. Med egenskapen til å binde vann som gjør produkter saftigere, samtidig som det inneholder svært lite energi, kan karragenan brukes i for eksempel produksjon av pølser med mindre fett (Store Norske Leksikon, 2016a). Karragenan har også blitt brukt som bindemiddel i katt- og hundemat, i parfymerte geleer brukt til luftrensning og som tykningsmiddel i tannkrem (McHugh, 2003).

Agar og agarose: Agar er det tredje hydrokolloidet og utvinnes i likhet med karragenan fra forskjellige arter av rødalger. Dette hydrokolloidet ble oppdaget ved en tilfældighet i Japan, hvor noe tareekstrakt ble forlatt utenfor en fjellstue og frøs over natten. Ved tining av ekstraktet oppdaget fjellstueverten at urenheter i tareekstraktet ble skilt ut, og ved gjentakelser av frysing og tining oppstod et kvalitetsprodukt egnet for japanske gaver. Denne metoden brukes fortsatt i dag for produksjon av agar til humant konsum, og det er til dette formålet 90 % av produsert agar brukes til i dag. De siste 10 % går til bakteriologiske formål (Lewis *et al.*, 2011), blant annet som substrat for dyrking av bakteriekulturer. Per i dag er det ingen moderne mikrobiologiske laboratorier som kan unnvære agar, og selv med dagens teknologi er det ikke funnet noen tilfredsstillende erstatninger (Guiry, 2017b).

Agarose er et derivat fra agar som også blir mye brukt på laboratorier, spesielt innenfor molekylærbiologisk produksjon og forskning. Forbindelsen er vannopløselig ved oppvarming og geledannende ved avkjøling. Denne geleen brukes som støttemedium ved elektroforese og kromatografi, hvor makromolekyler og nukleinsyrer fraksjoneres (Store Norske Leksikon, 2016b).

2.3.3 Farmasøytiske formål

Selv om den moderne farmasøytiske industrien i hovedsak er basert på landbaserte planter, har også bioaktive sammensetninger fra andre marine organismer blitt forsket på for deres terapeutiske potensial de siste 50 årene (Jha og Zi-Rong, 2004; Blunt *et al.*, 2015; Hafting *et al.*, 2015a). Blant marine alger er det dog kun noen få arter som er blitt studert for dette formålet, der makroalger er et nytt tillegg til innsatsen i bioprospekteringen rundt om i verden (Hafting *et al.*, 2015a; Demunshi og Chugh, 2009).

Makroalger inneholder unike bioaktive sammensetninger av stoffer som ikke finnes i landbaserte kilder. Dette er blant annet særegne proteiner, polyfenoler og polysakkarider. *In vitro*- og dyreforsøk tyder på at makroalger har et helsefremmende potensiale som kan inkludere sammensetninger mot kreft, og stoffer med antivirale, antikoagulerende egenskaper. Det kan også være helsefremmende for tarmsystemet og forebygging mot metabolsk syndrom (Teas *et al.*, 2009; Teas *et al.*, 2013, Holdt og Kraan, 2011; Kulshreshtha *et al.*, 2014; Kulshreshtha *et al.*, 2015; Murphy *et al.*, 2014; Hafting *et al.*, 2015a).

2.3.4 Dyrefôr og landbruksformål

Husdyr som sau, kyr og hester har i lang tid blitt fôret med makroalger, spesielt i europeiske landområder hvor brunalger har skylt i land. I dag er tilgjengeligheten til makroalger til dyrefôrproduksjon økt i stor grad. Dette har sammenheng med produksjon av tangmel som er tørkede makroalger som males opp til et fint pulver. Norge var en av de tidlige nasjonene innenfor produksjon av tangmel, der grisetang har vært en sentral art. Grisetang er også blitt brukt i tangmelproduksjon i Frankrike, Island og Storbritannia. Siden grisetang er så tilgjengelig i Nord-Atlanteren er det denne arten som har fått mest eksperimentell oppmerksomhet i forhold til effektivitet som dyrefôr. Analyser viser at grisetang inneholder brukbare mengder med mineraler som kalium (K), fosfor (P), magnesium (Mg), kalsium (Ca), natrium (Na), klor (Cl) og svovel (S), samt sporstoffer og vitaminer (McHugh, 2003).

Studier med fokus på dyrefôr til storfe og sau har vært de mest vellykkede. En studie som pågikk over syv år viste at melkekyr som fikk fôr med makroalger økte produksjonen av melk på 6,8 %, noe som førte til en 13 % høyere inntekt. En annen studie med fokus på sau med to grupper på 900 hunnsauer, viste at de som ble fôret med tangmel over en periode på to år, opprettholdte vekten langt bedre gjennom vinterfôringen og produserte mer ull enn de på konvensjonelt fôr (McHugh, 2003).

Alginat fra makroalger ble tidligere brukt som bindemiddel i våtfôr til oppdrettsfisk, men ettersom oppdrettsnæringen i større grad har gått over til tørrfôr har ikke dette bindemiddelet lenger vært nødvendig. Dagens situasjon dreier seg heller om makroalger som et alternativ til fiskemel. Fiskemel er ekstensivt brukt i fôr til oppdrettsfisk, og det er blitt stadig tydeligere at fangstene på artene som brukes til fiskemel ikke vil være bærekraftige på dagens nivå i framtiden. Det har derfor vært økende interesse for å finne alternativer til fiskemelet, som ikke går på bekostning av næringsverdien i fisken. Konvensjonelle avlinger som korn og oljefrø har blitt foretrukket i denne sammenheng, men den økende bruken av planteoljer i fiskefôr har ført til endringer i den ernæringsmessige kvaliteten i fisken. Laksen nyttiggjør seg av oljen fra disse plantene, men dens evne til å omdanne planteoljer til marine omega-3-fettsyrer er begrenset (Mørkøre *et al.*, 2014). Både mikro- og makroalger er de laveste nivåene i den marine næringskjeden, og de er dermed kilde til en rekke essensielle næringsstoffer som aminosyrer og fettsyrer, som fisk ikke har evne til å syntetisere selv. Dette gjør alger aktuelle som ingrediens i fiskefôr (The Fish Site, 2013). Bedriften Ocean Harvest Technology utviklet i 2014 et fiskefôr basert på makroalger. Laks som ble fôret med dette fôret viste seg å ha stor nytte av dette og inneholdte 62 % mer omega-3 enn fisk som ble fôret med konvensjonelt fôr. I tillegg til økt vekstrate ble fiskens immunsystem også forsterket (Pucci Foods, 2014)

2.3.5 Bioenergi og biodrivstoff

De økende bekymringene for fossile drivstoffers høye produksjonskostnader og ikke minst påvirkningen på miljøet har ført til økt interesse for produksjon av energi og drivstoff fra biomasser. Den globale produksjonen av biodrivstoff har vært i hurtig vekst det siste tiåret. Det er imidlertid blitt stilt spørsmål ved bærekraften, spesielt til første generasjons biodrivstoff som produseres av matplanter som korn, sukkerrør og planteoljer. Disse kildene til biodrivstoff vil være begrenset på grunn av konkurranse i forhold til mat- og fiberproduksjon med tanke på landareal og høyt behov for ferskvann og gjødsling (Singh *et al.*, 2011). Ettersom makroalger ikke konkurrerer om landareal og ferskvann slik som landbaserte avlinger, kan de bli en viktig kilde til produksjon av tredje generasjons biodrivstoff. I tillegg til å ha høy produktivitet og rask vekstrate, har de også høyt innhold av polysakkarider. Dette gjør det mulig å fermentere makroalger for å produsere bioethanol og butanol, eller for å generere biometan via anaerob utråtning (Bruton *et al.*, 2009; Capuzzo og McKie, 2016).

2.3.6 Andre miljøformål

Opptak av karbondioksid: Siden tidlig på 1970-tallet har utslipp av globale drivhusgasser doblet seg, hovedsakelig på grunn av en økning i bruk av fossilt brennstoff og økonomisk vekst i utviklingsland. Av disse drivhusgassene står karbondioksid (CO₂) for 75 % av de totale utslippene (Marchal *et al.*, 2011), og hver dag absorberer havet over 20 millioner tonn av denne drivhusgassen som har en forsurende effekt på havet (Bellona, 2013). I tillegg til miljøvennlige formål som klimavennlige energi- og drivstoffkilder, har makroalger også andre nyttige miljøformål. Siden makroalger vokser ved hjelp av fotosyntese, binder de karbondioksid og frigjør oksygen gjennom hele sin livssyklus. Det er for eksempel antatt at makroalger kan oppta hele 66 tonn karbondioksid per hektar (Bellona, 2013). Når kultiverte makroalger senere blir høstet og brukt til produksjon av for eksempel biodrivstoff slippes karbondioksidet fritt. Dette gjør biodrivstoff fra makroalger til et karbonnøytralt alternativ til fossile energikilder (Handå *et al.*, 2009). Potensialet for lagring av karbon i makroalger blitt understreket av Havforskningsinstituttet, som har estimert Møre og Romsdals tareskogers evne til å oppta mellom 560 og 1000 g C m⁻² årlig (Chapman *et al.*, 2014; Pedersen *et al.*, 2012).

Midlertidige habitater: I likhet med kunstige rev vil det ved dyrking av makroalger oppstå et nytt og midlertid habitat for en rekke andre organismer, som fisk og andre planktoniske organismer. Dette habitatet vil vokse både i strukturell kompleksitet og størrelse i korrelasjon med veksten hos makroalgene (Skjermo *et al.*, 2014). Naturlige bestander av makroalger er biologiske primærprodusenter og forsørgere for en rekke organismer. På samme måte kan disse kunstige habitatene ha lignende positive miljøeffekter, som å gi ly til yngel av forskjellige fiskeslag og stimulere den naturlige fiskeproduksjonen. Dette vil gi en økning i det biologiske mangfoldet lokalt. (Handå *et al.*, 2009; Chapman *et al.*, 2014). Som eksempel er det observert både leppefisk og rognkjeks rundt enkelte forsøkslokaliteter for dyrking av sukkertare. Dette er fiskearter som blir mye brukt i produksjon av laks som alternativ til andre avlusningsmetoder. Høsting av disse artene av rensefisk har utsatt bestandene for et stadig økende press. Ved å utnytte slike sekundæreffekter, hvor hele økosystemer oppstår under produksjonen, får man muligheten for å samkultivere flere arter fra forskjellige nivåer i næringskjeden, også kalt integrert multitrofisk akvakultur (IMTA). Slike anlegg har også den egenskapen at makroalger kombinert med blåskjelloppdrett kan ta opp overflødige næringsalter som slippes ut fra åpne lakseoppdrettsanlegg (Chapman *et al.*, 2014).

3 Dyrking av makroalger

Ettersom mennesker fra Asia har migrert til andre deler av verden, har etterspørselen etter makroalger til humant konsum fulgt etter. Dette har ført til at verdens etterspørsel etter makroalger ikke kan dekkes av råstoff som høstes av ville alger, og forskning på livssyklusene til de forskjellige artene har ført til utviklingen av dyrking av makroalger (McHugh, 2003). Denne industrien dekker over 95 % av det internasjonale markedets etterspørsel (Nayar og Bott, 2014). Den suksessfulle utviklingen av industrialisert storskala dyrking av makroalger i utlandet, har ført til distribusjon av matvarer basert på disse marine plantene til markeder over hele verden (Hafting *et al.*, 2015b). Dyrking av makroalger har siden 1970-tallet hatt en enorm vekst globalt sett, og vokste i gjennomsnitt med 7,7 % hvert år siden 1970-tallet og fram til 2010 (Nayar og Bott, 2014).

Majoriteten av det produserte volumet av makroalger kommer fra akvakultur, og rundt 50 nasjoner praktiserer dyrking av makroalger i dag (FAO, 2016). Den globale produksjonen lå på 23,8 millioner tonn i 2012. 98,7 % av den globale biomassen ble produsert av åtte asiatiske land, med Kina og Indonesia i spissen, som produserte 53,6 % og 27,4 % respektivt (Radulovich og Reddy, 2015). I 2014 stod dyrkede makroalger for om lag 25 % av den globale biomassen produsert gjennom akvakultur med rundt 27 millioner tonn (FAO, 2016).

Nasjoner i Øst- og Sørøst-Asia dominerer i dag den årlige produksjonen av dyrket makroalger og stod for 99,6 % av den globale produksjonen i 2010, både i verdi og volum (Nayar og Bott, 2014). De mest vellykkede artene innenfor asiatiske dyrking av makroalger er rødalgen *Porphyra*, og brunalgene *Saccharina japonica* og *Undaria pinnatifada*. De største oppdretterne av rødalger er Kina, Japan, Korea og Filipinene, mens brunalger blir dyrket intensivt i Kina, Japan og Korea. Grønnalger blir dyrket i kun begrenset omfang, hovedsakelig i Korea, Japan og Filipinene (Mouritsen, 2013). Kina, den største produsenten av dyrket makroalger og stod i 2010 for 58 % av globalt kvantum og 45 % av den globale verdien (Nayar og Bott, 2014).

Siden majoriteten av råstoffet fra makroalger i Europa kommer fra ville ressurser er det ingen Europeiske land som kommer inn i listen over de største produsentene av makroalger gjennom akvakultur. Av de rundt 50 nasjonene som i dag praktiserer dyrking av makroalger i verden, er Danmark den høyest rangerte nasjonen på 18. plass. Deretter kommer Frankrike (25.), Irland (28.) og Spania (32.) (Capuzzo og McKie, 2016).

Dyrking av makroalger er fortsatt ikke særlig utviklet i Europa og er fortsatt i startfasen. Potensialet for dyrking av makroalger i vestlige land er imidlertid stort, og det er blant annet estimert et dyrkningspotensial på 25 millioner tonn innenfor 10 % av Nederlands kystlinje mot Nordsjøen (Van Hal *et al.*, 2014). Det er også høye ambisjoner for dyrking av makroalger i Norge, hvor det estimeres en total produksjon på 20 millioner tonn makroalger innen år 2050. Slike volumer vil gi en årlig verdiskapning på 40 milliarder norske kroner (Olafsen *et al.*, 2012).

Siden makroalger vokser raskt, er svært fotosyntetisk effektive og vokser i de fleste hav rundt om i verden, er det knyttet en rekke fordeler til disse marine algene. I motsetning til produsert biomasse på land, har ikke makroalger behov for tilskudd av ferskvann eller ekstern gjødsling for å vokse, så lenge vannmiljøet på dyrkingslokaliteten er tilstrekkelig næringsrikt. Dyrking av makroalger forårsaker heller ingen indirekte arealbruk. Makroalger er dermed en mye mer bærekraftig biomasse i forhold til for eksempel første- og til og med andregenerasjons biodrivstoffkilder. I forhold til mikroalger gir de også høyere produksjonsvolumrater (biomasse/volum/tid) og biomassetetthet, samtidig som de er relativt tolerante i forhold til miljøbetingelsene i vekstområdet (Van Hal *et al.*, 2014).

3.1 Arter som kultiveres

Fordelt mellom de tre makroalgegruppene eksisterer det et estimert antall arter på mellom 8 000 og 10 500 på verdensbasis. Til tross for dette er det kun et fåtall av disse som utnyttes og enda færre som dyrkes. Ifølge tall fra FAO (2016) eksisterer det omfattende dyrking av 37 arter. Likevel er det kun noen få slekter og arter som står for majoriteten av den globale produksjonen av makroalger (Tabell 1) (Radulovich og Reddy, 2015). Det er i all hovedsak røde og brune makroalger som dyrkes i dag, og disse står for 97,4 % av dagens globale produksjon. I tidsrommet mellom 2010 og 2014 var det røde makroalger som økte mest i produksjon med 87 %, mens brune økte med 47 % i samme periode. Grønne makroalger og 'andre arter' har imidlertid falt med henholdsvis 30 % og 79 % i samme tidsperiode (Capuzzo og McKie, 2016). Om man ser tilbake til 1970-tallet, kan man se en gjennomsnittlig årlig økning på 7,7 % fram til 2014. Det er dog ikke lenger tilbake enn til tidlig 2000-tallet at veksten virkelig skjøt fart, der produksjonen fra 2005 til 2014 ble mer enn fordoblet. Dette skyldes i stor grad framskritt innen selektiv avl (Skjermo, 2016).

Tabell 1: Utvikling i produksjon av de viktigste artene globalt, i tusen tonn og prosent av global produksjon, i tidsperioden 2005-2014 (FAO, 2016).

Art og artsgrupper	2005		2010		2014	
	Tusen tonn	% av total	Tusen tonn	% av total	Tusen tonn	% av total
<i>Kappaphycus alvarezii</i> og <i>Eucheuma spp.</i>	2444	18 %	5629	30 %	10992	40,25 %
<i>Laminaria (Saccharina) japonica</i>	4371	32 %	5147	27 %	7655	28,03 %
<i>Gracilaria spp.</i>	936	7 %	1696	9 %	3752	13,74 %
<i>Undaria pinnatifida</i>	2440	18 %	1537	8 %	2359	8,64 %
<i>Porphyra spp.</i>	1287	10 %	1637	9 %	1806	6,61 %
<i>Sargassum fusiforme</i>	86	1 %	78	0 %	175	0,64 %
<i>Spirulina spp.</i>	48	0 %	97	1 %	86	0,31 %
Andre arter	1892	14 %	3172	17 %	482	1,77 %
Totalt	13504	100 %	18993	100 %	27307	100 %

Basert på volum er det i dag to algetyper som dominerer den globale produksjonen (Tabell 1). Rødalgen *Eucheuma*, som omfatter både *Eucheuma spp.* og *Kappaphycus alvarezii*, ligger helt i toppen, og kultiveres hovedsakelig for produksjon av hydrokolloider i tropiske farvann. Filippinene var lenge den største produsenten av denne gruppen makroalger, men ble passert av Indonesia i 2007 (Skjermo, 2016). Disse artene har hatt en enorm vekst siden starten av 2000-tallet og økte med ca. 350 % mellom 2005 og 2014 (FAO, 2016). På andreplass i produsert volum ligger brunalgen japantare (*Saccharina japonica*), som hovedsakelig går til humant konsum og noe til alginatproduksjon. Kina er den største produsenten av denne arten og produserer rundt seks millioner tonn årlig (Skjermo, 2016).

Med tanke på økonomisk verdi er det rødalgen *Porphyra spp.*, også kalt *nori*, som ligger i toppen. Denne familien av rødalger ligger på fjerdeplass i produsert volum med underkant av to millioner tonn årlig, men har en markedsverdi på hele 1,3 milliarder USD. I Norge ligger for eksempel prisene i butikkene på rundt 2000 kroner per kilo og er blant annet mye brukt i tilberedelse av sushiretten *maki* (Skjermo, 2016).

I Norge som ellers i Nordvest-Europa er det rød- brunalgene som har størst potensial for dyrking i norske farvann. Til tross for at det finnes ca. 480 forskjellige arter av makroalger i Norge (Steen, 2009), fokuseres det kun på noen få for dyrkingsformål. Av disse er det tarearter som sukkertare, butare og fingertare som tilsynelatende er de mest effektive og utpeker seg som de mest aktuelle. I tillegg finnes det aktuelle rødalger som fjærehinne (*Porphyra spp.*) langs norskekysten med stort økonomisk potensial. Det er i dag pågående

forskning for å tilpasse dyrkningsprotokollene til disse artene. En annen rødalge som er spesielt interessant for dyrking er *Palmaria palmata*, også kalt søl, som har vært en viktig matkilde både i Norden og Storbritannia siden vikingtiden (Skjermo, 2016).

3.2 Dyrkingsmetoder og teknologi

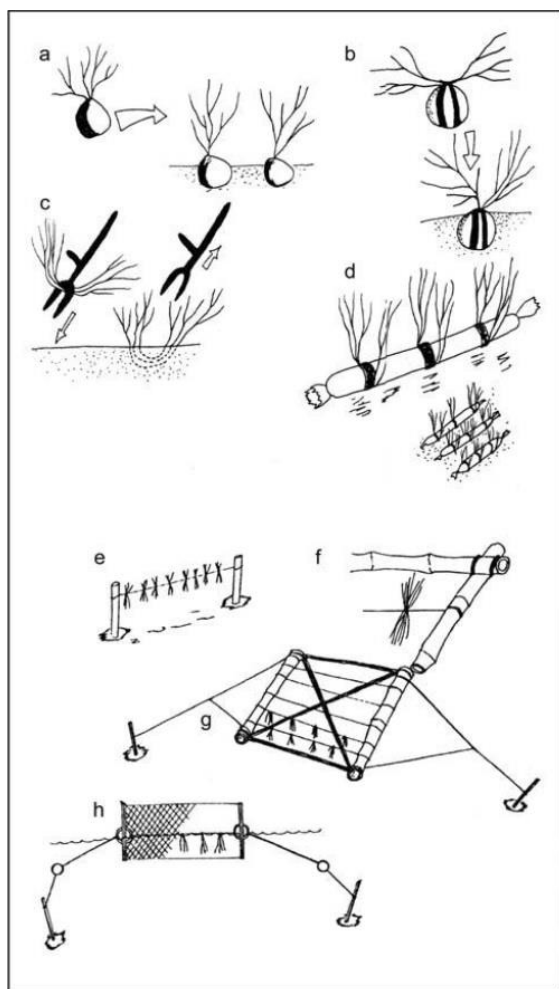
Ettersom ulike arter krever forskjellige teknikker for dyrking, eksisterer det en rekke forskjellige metoder og teknikker for dyrking av makroalger. Valg av metode kommer an på hvor store de blir, hvor mye håndtering de forskjellige artene tåler og i hvilken form de vokser. Brunalger er som regel helt avhengige av et fast substrat å feste seg til for å vokse, mens rødalger kan vokse både fastsittende og frittflytende (Indergaard og Jensen, 1991). Videre skilles det mellom de artene som vokser vegetativt, hvor små deler av en voksen plante brytes av og settes ut, og de artene hvor det må tas hensyn til artens fulle livssyklus (Indergaard, 2010).

Det er en del generelle forutsetninger som må innfris for at algene skal kunne vokse: Vann som vekstmedium, en kilde til lys for fotosyntese, riktig mengde næringsstoffer og riktig temperatur (Iersel, *et al.*, 2009). Forholdet mellom disse forutsetningene vil imidlertid variere fra art til art, for eksempel med tanke på mengde sollys som er nødvendig. Der enkelte arter er tilpasset skyggelagte områder eller større dyp hvor lys er mindre tilgjengelig, er andre tilpasset grunt vann og områder med stor tilgang på sollys (Titlyanov og Titlyanova, 2010).

Aktuelle arter for dyrking velges gjerne ut med hensyn til lokasjon og fasiliteter som er tilgjengelige for dyrking, slik som sjø- eller landbaserte anlegg i kalde eller varme farvann. Den endelige dyrkingsmetoden velges gjerne også på bakgrunn av metodenes kostnadseffektivitet og til hvilket formål biomassen skal brukes (Titlyanov og Titlyanova, 2010).

3.2.1 Dyrking av arter med vegetativ formering

Ved dyrking av makroalger som bruker vegetativ formering blir småalger, avskjært fra en større voksen alge, gjerne festet til linesystemer på grunt vann. Linene er så festet til påler som er stukket ned i mykbunn på 0,5 – 1 meters dybde på lavvann og ikke mer enn 3 meter ved høyvann. Disse line- og pålesystemene danner firkantede arealenheter i et større system hvor settealgene vokser fra 50-100 gram, til de blir høstet etter rundt 45 dager med en vekt på



Figur 2: Metoder for å flytte og feste vegetativt voksende makroalger: a) Alger festet til steiner flyttes til nye vekstområder; b) Alger festet med strikk til småstein for forankring til mykbunn; c) Alger nedpresset mykbunn; d) Nedsenkede 'plastpølser' fylt med sand holder algene på plass på mykbunn; e) Alger frestet til liner mellom påler festet i mykbunn; f-g) Alger festet til tau som videre er festet til flåter; h) Alger festet til flytende nett som er forankret til bunnen (Sahoo og Yarish, 2005).

inntil 1 kilo. De beste og raskest voksende algene blir valgt ut for å lage nye settealger til neste utsett. Denne metoden ble først anvendt i stor skala på 1970-tallet på Filippinene ved dyrking av *Eucheuma* og er nå også godt etablert blant annet i Indonesia og andre naboland (Indergaard, 2010).

3.2.2 Suspensjonskulturer for arter med og uten vegetativ formering

Tanker: Enkelte arter lever eller kan leve, naturlig frittflytende. For å dyrke disse artene vil det være viktig å kunne kontrollere området hvor de dyrkes, både for effektiv vekst og for å hindre at de flyter vekk. Til dette brukes gjerne tanker eller utendørs dammer. I tanker har man full kontroll over miljøet makroalgene vokser i. Vannet sirkuleres for å fordele algene jevnt utover vannmassene og gjødsling styres enkelt. På denne måten kan man legge til rette for vekstforhold som optimaliserer forholdet mellom veksthastighet og utbytte. Denne typen

dyrking har størst økonomisk interesse ved storskala dyrking av rødalger som krusflik. Dette foregår for eksempel i Canada og Normandie, og er spesielt tilegnet karragenanproduksjon. Slike systemer er svært effektive hvor det er oppnådd 50 kg/m² årlig produksjon av rødalgen pollris (*Gracilaria gracilis*). Til tross for svært effektiv produksjon er landbasert dyrking av makroalger i tanker både teknisk avansert og svært kapitalkrevende både for etablering og drift (Indergaard, 2010).

Dammer: Ved å dyrke makroalger i dammer utendørs unngår man disse høye kostnadene, hvor tidevannet kan stå for vannutskifting og behovet for et teknisk støtteapparat er mindre nødvendig. Produktiviteten i slike systemer blir imidlertid lavere på grunn av begrenset vannsirkulasjon og større sårbarhet for utbrudd av uønskede organismer. Slike systemer

brukes blant annet i Taiwan i polykulturelle systemer hvor produksjon av alger, fisk og reker kombineres (Indergaard, 2010).

3.2.3 Dyrking basert på fullstendig livssyklus

For de fleste arter som kultiveres i dag er det nødvendig å gjennomføre artenes fullstendige livssyklus (Indergaard, 2010). Makroalger bruker dannelse av sporer for å formere seg. Sporedannelsen kan manipuleres slik at algene produserer sporer hele året, ved å endre algenes 'døgnrytme'. Disse sporene blir deretter sådd på tau eller tekstiler i landbaserte tanker hvor de vokser til små kimplanter som er store nok til å settes ut på for eksempel langliner i sjø, eller vokse videre i landbaserte tanker. Denne fasen av dyrkingen krever høy grad av kontroll over temperatur- og vannmiljø, kunstig belysning og manuell arbeidskraft. Spore- og kimplanteproduksjonsfasen er dermed en svært kostbar fase av dyrkingen (Skjermo, 2016).

Langlinesystemer: I langlinesystemer blir substratet som kimplantene har vokst på oppdelt i mindre deler, og deretter tvunnet inn i kordellene på flettet/tvunnet tau som settes vertikalt, horisontalt eller diagonalt i vannsøylen. I farvann hvor det er begrensede mengder med næringsstoffer benyttes kunstig gjødsling, noe som har gitt resultater på 3,5 – 4 kg biomasse per kilo tilsatt gjødsel. Slike langlinesystemer ble først utviklet i Kina på 1950-tallet og brukes i dag til dyrking av blant annet japantare. Dyrking på slike liner er blant annet den dominerende dyrkningsmetoden i Kina, hvor det ble produsert over syv millioner tonn i 2015 (Indergaard, 2010; FAO, 2016).

Denne metoden er også vel utprøvd i Norge som har resultert i god vekst hos algene. Det har dog vært en del utfordringer knyttet til denne dyrkningsmetoden, der begroing av blåskjellyngel og mosdyr på vårparten kan være problematisk.

Norskekysten, som til tider er nokså værhardt kan være problematisk for slike systemer da de er sårbare for påkjenninger fra havstrømmer, vind og tidevann. Langlinesystemer i norske farvann fungerer best i værmessig rolige områder, der havstrømmene ligger jevnt rundt 2-3 knop. Dette sørger for at vannutskiftingen er tilstrekkelig og algene strekkes ut, samtidig som linerekkene med alger holdes i orden (Indergaard, 2010).

Nettsystemer: Dyrking av makroalger på nettsystemer foregår ved at sporer og kimplanter blir festet til nett og i likhet med langlinesystemer plassert i sjøen på dyp som passer arten som kultiveres. Nettene blir dermed liggende enten helt i overflaten eller like under overflaten

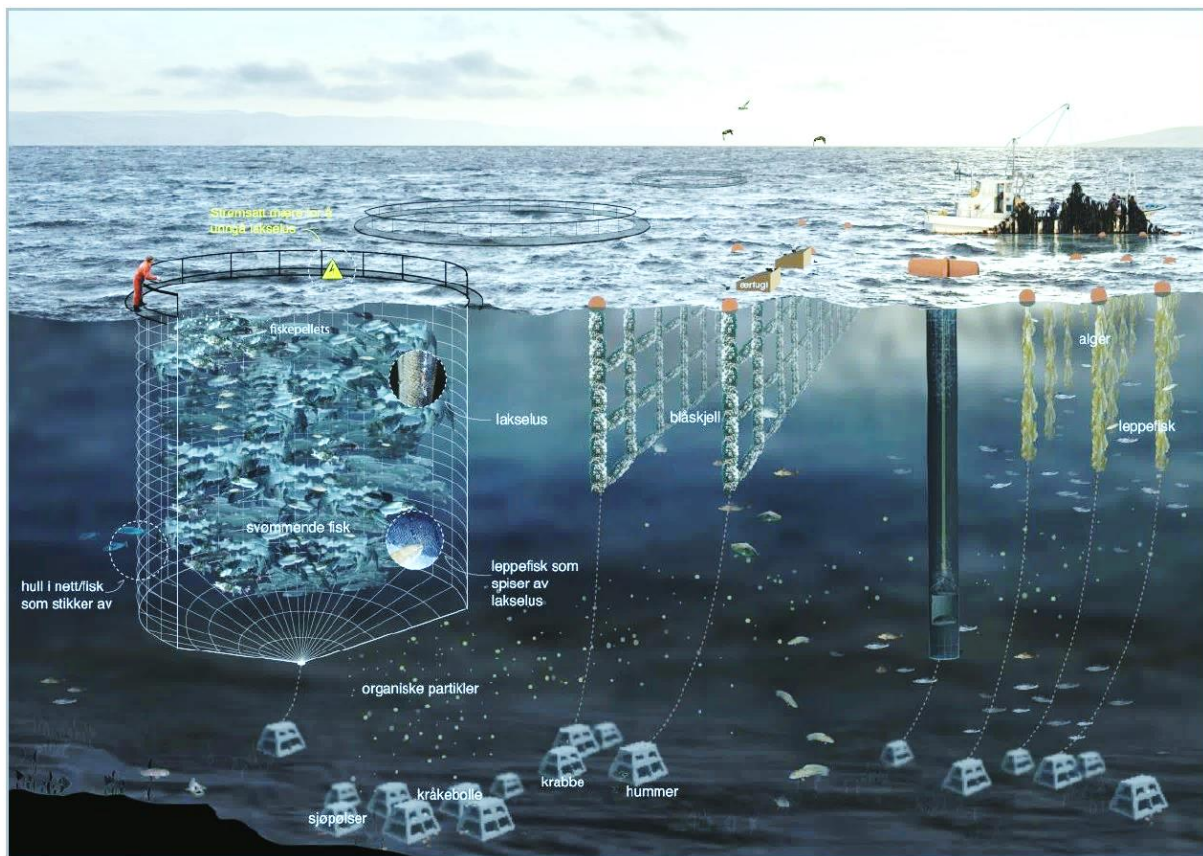
(Radulovich og Reddy, 2015). *Porphyra spp.* er en av artene som vanligvis blir dyrket ved hjelp av denne metoden. På grunn av artens livssyklus med heteromorf generasjonsveksling er *Porphyra* en nokså komplisert art å kultivere. Dyrkingsprosessen foregår gjerne i tre faser før den blir høstet og videre prosessert. Disse fasene er henholdsvis den såkalte conchocelis-fasen, oppsamling av sporer og utsett og dyrking i havet (Steinhovden og Forbord, 2013). Voksne blader av *Porphyra* som kan sees i fjæra er ukjønnnet, men danner sporer. Disse sporene vokser videre opp til en ny alge (Steinhovden og Forbord, 2013), som lenge ble ansett som en egen art (Indergaard, 2010). Denne nye algen danner videre hann- eller hunnsporer som befrukter hverandre på cellulært nivå og kalles for conchocelis. Disse celletrådene blir dyrket i store tanker hvor de utvikler seg til sporer som videre kan sås på spesielle dyrkingsnett. Så fremt sporene av *Porphyra* blir tørket til mellom 20 % og 30 % fuktighet overlever de nedfrysning. Dette gir muligheten til å produsere et større antall nett med sporer enn hva som settes i sjøen. På denne måten har man en buffer som tilrettelegger for mer kontinuerlig dyrking, og ekstra nett om en avling skulle svikte (Indergaard, 2010).

3.2.4 Integrert multitrofisk akvakultur (IMTA)

Den enorme veksten i oppdrettsnæringen har ikke kommet uten problemer. Ett av de store miljøproblemene er utslipp av næringsstoffer og organiske partikler (f.eks. rester av fiskefôr og ekskrementer) fra de åpne oppdrettsmerdene. Fôret til laksen inneholder en mengde forskjellige næringsstoffer. Forskning har vist at av total tilførsel av fôr i lakseoppdrett ble 70 % av karbonet (C), 62 % av nitrogenet (N) og 70 % av fosforet (P) sluppet ut av merdene (Wang *et al.*, 2012). Ved slakting blir altså 40-50 % av nitrogenet fra fôret igjen i laksen, mens resten slippes ut i havet som oppløst uorganisk nitrogen eller organisk partikulært nitrogen (Broch *et al.*, 2016). Slike utslipp av næringsstoffer i både partikulær og oppløst form kan føre til uønskede miljøforhold i sjøen rundt oppdrettsanleggene. De organiske partiklene fra fiskefôr og avføring synker til bunns og kan påvirke det biologiske mangfoldet på en negativ måte, mens de oppløste næringsstoffene kan føre til uønskede planktonoppblomstringer (Chapman *et al.*, 2014).

Til dette er integrert multitrofisk akvakultur (IMTA) ansett som en potensiell løsning, hvor makroalger spiller en viktig rolle. IMTA innebærer en samkultivering av flere arter på flere trofiske nivåer. Artene nyttiggjør seg av hverandre ved at en arts avfall blir en annens matkilde. I Norge er det kombinasjonen mellom lakseoppdrett, blåskjeloppdrett og dyrking

av makroalger som er aktuell. I denne kombinasjonen vil blåskjellene nyttiggjøre seg av de organiske partiklene som slippes ut, mens makroalger nyttiggjør seg av de oppløste næringsstoffene som nitrogen og fosfor. Det er godt dokumentert at de næringsstoffene som frigjøres fra oppdrettsanlegg egner seg godt for produksjon av tare, og at mellom 30 % og 100 % av det oppløste nitrogenet kan bli redusert ved hjelp av tare. Dette har stort potensial fordi i likhet med laks, har også både blåskjell og makroalger kommersiell verdi i tillegg til de miljømessige fordelene. Dette vil med andre ord gi bedre utnyttelse av oppdrettslokalitetene, gi flere kommersielle produkter og legge til rette for flere arbeidsplasser (Bellona, 2013).



Figur 3: Bellonas illustrasjon av hvordan en IMTA-lokalitet kan se ut (Bellona, 2013).

4 Dyrking av makroalger i Norge

Jeg vil i dette kapitlet gi en oversikt over makroalgenæringen i Norge på bakgrunn av den informasjonen jeg har funnet gjennom sekundære informasjonskilder. Kapitlet tar for seg et overblikk over næringen på bakgrunn av informasjon fra Fiskeridirektoratet. Videre beskrives verdikjeden slik som den er i dag, teknologien som brukes i Norge i dag, statlig regulering av næringen og pågående forskningsprosjekter, nettverk og kunnskapsbaser.

4.1 Overblikk over næringen

Dyrking av makroalger på eksperimentelt nivå i Norge begynte omkring 2005, og selv om de fleste prosjekter fram til i dag kan ansees som pilotprosjekter, ble de første kommersielle konsesjonene tildelt i 2014. Som ellers i Europa har det i Norge vært størst fokus på dyrking av tarearter, og da spesielt sukkertare. Dette på grunn av muligheten for produksjon av høy biomasse og det høye innholdet av næringsstoffer disse artene gir. Selv om det er tildelt kommersielle konsesjoner for en rekke forskjellige arter, er det kun sukkertare og butare som utgjør nevneverdige volumer. I 2015 ble det høstet totalt 51 tonn av dyrkede makroalger, der sukkertare stod for 96 % av den kultiverte biomassen (49 tonn våt vekt), mens butare stor for de resterende 4 % (2 tonn våt vekt). (Stévant *et al.*, 2017). Verdien på dette lå på til sammen 178 000 NOK, der sukkertare stod for 160 000 NOK og butare 18 000 NOK. Fordelt på antall tonn høstet biomasse, hadde altså butare ni ganger så høy markedsverdi som sukkertare. Av sysselsetting var det i 2015 totalt 44 personer i arbeid med produksjon av alger, derav 32 menn og 12 kvinner (Fiskeridirektoratet, 2016).

Tabell 2: Oversikt over antall årlige tildelinger av kommersielle konsesjoner etter type, og totalt antall konsesjoner i perioden 2014-2017 (Fiskeridirektoratet, 2017a).

Type konsesjon	2014	2015	2016	2017	Totalt (24.04)
Alger tidlig fase (antall tildelt per år)	6	2	25	5	38
Alger til fôr/konsum (antall tildelt per år)	49	107	52	1	209
Alger til fôr/konsum + Alger tidlig fase (antall tildelt per år)	55	109	77	6	247
Totalt (inkludert tidligere år)	55	164	241	247	247

Tabell 3: Antall selskaper som fikk tildelt konsesjon per år, og antall nye selskaper som fikk tildelt konsesjon per år i perioden 2014-2017 (Fiskeridirektoratet, 2017a)

	2014	2015	2016	Totalt
Antall selskaper	8	12	9	3
Nye selskaper siden 2014	0	8	5	2
Totalt (inkludert tidligere år)	8	16	21	23

Siden 2014 og fram til i dag har antall tildelte kommersielle konsesjoner økt med nesten det femdobbelte, fra 55 konsesjoner i 2014 til 247 i dag. Per 24. april 2017 er det 23 selskaper som er blitt tildelt konsesjon for dyrking av makroalger i Norge, enten for dyrking til fôr/konsum eller for makroalger i tidlig fase. Konsesjonene er fordelt på et stort antall arter (Fiskeridirektoratet, 2017), men det er fortsatt kun noen få som blir kultivert i betydelig omfang. Operasjonelle kommersielle konsesjoner både til fôr/konsum og tidlig fase er i dag fordelt på til sammen 44 lokaliteter (Fiskeridirektoratet, 2017b). Lokalitetene er spredt langs norskekysten og strekker seg helt fra Sogn og Fjordane på Vestlandet, langs Trøndelagskysten i Midt-Norge og opp til Nordland og i Nord-Norge (figur 4). Det er én nyoppstartet lokalitet i Troms samt stort potensiale for dyrking av makroalger både lengre nord i Finnmark, så vel som på Mørkekysten (Stévant *et al.*, 2017).



Figur 4: Distribusjon av produksjonslokaliteter langs norskekysten i dag (Fiskeridirektoratet, 2017b).

Det har vært en rekke etableringer av nye selskaper relatert til makroalger i løpet av de siste par årene. Med et enkelt søk på www.proff.no kan man blant annet finne 14 nye

enkeltmannsforetak og aksjeselskap, med ‘seaweed’, ‘tang og tare’ eller ‘kelp’ som del i firmanavnet (tabell 5). Samtlige av disse er stiftet mellom 2015 og 2017. Historisk statistikk for kultivert volum og verdi av makroalger i Norge er svært begrenset, og Fiskeridirektoratet har så langt kun publisert tall for 2015.

Tabell 4: Utvalg av en rekke selskaper med tilknytning til makroalger, funnet gjennom søk på www.proff.no.

Selskapsform	Firmanavn	Etablert (år)
Aksjeselskap	Austevoll Seaweed AS	2015
Aksjeselskap	Vesterålen Seaweed AS	2016
Aksjeselskap	The Northern Seaweed Company AS	2016
Aksjeselskap	Tango Seaweed AS	2016
Annen juridisk person	Tang og Tare Ungdomsbedrift	2016
Aksjeselskap	Skår Seaweed Group AS	2016
Enkeltmannsforetak	Seaweed Norway Production Bente Iren Hansen	2016
Aksjeselskap	North Atlantic Seaweed AS	2016
Aksjeselskap	Marstein Seaweed AS	2016
Aksjeselskap	Lofoten Seaweed Company AS	2016
Annen juridisk person	Kelp Studentbedrift	2016
Aksjeselskap	Hardanger Seaweed Farm AS	2016
Aksjeselskap	Arctic Seaweed AS	2016
Enkeltmannsforetak	Arctic Seaweed - Aluwini	2016
Aksjeselskap	Seaweed Norway AS	2017
Aksjeselskap	Barents Seaweed AS	2017

4.2 Verdikjeden

Som nevnt tidligere har makroalger et bredt spekter av bruksområder, der det enkleste formålet er i fersk form som mat til restaurant- og hotellmarkedet eller vanlige matbutikker. Med næringens og myndighetenes ambisjoner om ei næring der makroalger kultiveres i stor skala vil det imidlertid være flere markeder som tar av råstoffet, og som kompliserer verdikjeden. En typisk verdikjede består av en rekke steg der et råstoff blir produsert, høstet og prosessert, før det enten blir brukt i produksjon til andre industrielle komponenter eller til forbruksvarer til utsalgssteder (van den Burg *et al.*, 2013). Ettersom næringen i Norge er helt i startfasen er ikke en komplett verdikjede utviklet. På industrielt nivå vil det være flere ledd i verdikjeden, som innebærer spesifikke prosesser (figur 5), i motsetning til den typiske verdikjeden beskrevet ovenfor.



Figur 5: Verdikjeden for dyrking av makroalger, fra planlegging og konsesjonsøking til marked og salg (Broch *et al.*, 2016).

Første ledd omhandler planlegging av produksjonen og utarbeide søknader til konsesjoner for dyrking av makroalger i sjø. Dette vil blant annet innebære å finne lokaliteter som egner seg både til produksjon på en viss størrelse, og etablering og oppankring av anlegg på disse lokalitetene. Her må det tas hensyn til blant annet tilstrekkelige dybde- og strømforhold for å redusere risikoen for at løsnede algedeler danner tykke, uønskede bunnsedimenter (Broch *et al.*, 2016). Søknadsprosessen blir nærmere beskrevet i kapittel 4.4.

I neste steg i verdikjeden produseres sporer og kimplanter. Det eksisterer allerede en rekke protokoller for spore- og kimplanteproduksjon for en rekke arter. Disse kan og er til en viss grad blitt tilpasset norske forhold, men det gjenstår fortsatt å optimalisere disse for videre å kunne skalere opp til industrielt nivå. Tiden det tar fra sporene utvikler seg til kimplanter som kan settes ut i sjøen, tar i dag opptil to måneder. Dette har vært en flaskehals i produksjonen, og det pågår forskning for å forkorte og effektivisere dette leddet i verdikjeden (Broch *et al.* 2016). En mulig løsning er å lage et system for produksjon av kimplanter året rundt, som vokser på tarens blader i sjøen (Skjermo *et al.*, 2014).

Generelt sett er erfaringene fra dyrking av makroalger langs norskekysten begrenset. Erfaringer fra dyrking av sukkertare i sjø tyder likevel på at det mest hensiktsmessige tidspunktet for utsett av kimplanter i sjøen, er i løpet av høsten fram til november eller i februar. Sjøanleggene som brukes er forankret i bunnen, og synlig i overflaten ved hjelp av bøyer og blåser. Kimplantene er så festet på tau enten horisontalt, vertikalt eller diagonalt i vannsøylen og blir høstet i april/mai. Innen juni måned kan den kultiverte biomassen utgjøre opptil 10 kg per meter tau, noe som gjør innhøstingen til en energikrevende prosess. Per i dag gjøres dette for hånd, men ved storskala industriell produksjon av makroalger vil det være nødvendig å mekanisere denne prosessen. Dette er det pågående forskning og utvikling for, som inkluderer både forskningsinstitusjoner og aktører i næringen (Broch *et al.*, 2016).

Ved dyrking i industriell skala vil det etter høsting være behov for konserveringsmetoder og lagring av algene, for eksempel ved tørking, frysing eller ensilering som er de mest aktuelle metodene. Konservering åpner for salg av større mengder råstoff til prosessindustrien i Norge, men også til større kundegrupper i utlandet (Broch *et al.*, 2016). Til tørking kan det brukes

forskjellige typer eksisterende teknologi, og det har vært svært liten forskjell i sluttproduktet mellom luft- og frysetørking (Oterhals, 2016). Ensilering er også et alternativ som kan brukes både til stabilisering av den høstede biomassen og som forbehandling før videre prosessering. Valg av konserveringsmetode vil komme an på hvilket formål biomassen skal brukes til, men også kostnadene som tilløper ved de forskjellige metodene. Tørking er blant annet energikrevende og kostnadene vil følge deretter. Dette vil være en avgjørende faktor i forhold til lønnsomhet når konserveringsmetode skal velges, og ved tørking vil det være gunstig å kunne utnytte spillvarme fra eksisterende industri (Stévant *et al.*, 2015).

Når det gjelder prosessering av makroalger er Norge allerede en av de største i Europa, spesielt innenfor produksjon av alginat hvor FMC Biopolymer og Algea AS er eksempler på tunge aktører i næringen. Med potensial til å produsere en rekke ulike produkter av makroalger, er det viktig å kunne prosessere råstoffet på en helhetlig måte. Dette krever prosesseringsanlegg som ivaretar makroalgenes ønskede egenskaper. Også ved dette leddet i verdikjeden pågår det forskningsprosjekter med formål å skaffe den kompetansen og kunnskapen som behøves for å utvikle effektive løsninger og praktiske anlegg (Broch *et al.*, 2016).

Det meste av dagens dyrkede biomasse går til humant konsum og matmarkeder, men det ligger også potensiale til en rekke andre industrielle markeder. Disse er markedene krever imidlertid lavere priser, noe som problematisk på dagens produksjonsnivå hvor produksjonskostnader er høye og volumene er små. Markedene er derfor en del av verdikjeden som må videreutvikles.

4.3 Dagens teknologi og behov for innovasjon og utvikling

For de mest aktuelle makroalgeartene for dyrking i Norge, sukkertare, butare, fingertare og søl, eksisterer det allerede metoder for dyrking i utlandet. Metodene er dog ikke optimalisert for norske forhold, noe som gjør dagens produksjon både kostbar og uforutsigbar. For at dyrking av makroalger i Norge skal bli en lønnsom og bærekraftig næring er det derfor nødvendig å utvikle kunnskapsgrunnlaget, men også forbedre nivået på teknologien og tilpasse den til norske forhold (Broch *et al.*, 2016).

Dagens dyrkingsanlegg for makroalger bygges opp av den enkelte bedrift som benytter komponenter fra ulike leverandører (Broch *et al.*, 2016). Foreløpig er dyrking av makroalger i

forutsigbart volum og ønsket kvalitet en stor utfordring, sannsynligvis på grunn av dårlig optimaliserte dyrkingsmetoder for norske forhold og arter. For en effektiv dyrking vil det være nødvendig med spesielt tilpasset utstyr for alle leddene i verdikjeden, både dyrkingsfasene på land og i sjø, høsting av biomassen, prosessering og konservering av biomassen og pakking (Broch *et al.*, 2016). I en tidligere SINTEF-utredning ble det også diskutert hvilke temaer som burde prioriteres innenfor forskning og kunnskapsbygging. Disse temaene var kartlegging av interaksjoner i miljøet, dyrkingsprotokoller for de mest aktuelle artene, utvikling av kommersielle volum- og høyverdiprodukter og utvikling av teknologi for helhetlig prosessering av råstoffet med spesielt fokus på bioraffinering (Skjeremo *et al.*, 2014).

Deling av kunnskap og samarbeid mellom aktørene er viktig for å utvikle utstyr og innovative løsninger som trengs for å lykkes med industriell dyrking av makroalger i Norge.

(Regjeringen, 2017). Dette gjenspeiles i prosjektet «Utvikling av konseptfartøy og kvalitetsbevarende teknologi for industriell tare dyrking», hvor Forskningsrådet har tildelt 8,7 millioner kroner i støtte til Kristiansunds-bedriften Møre Maritime AS og en rekke andre samarbeidsbedrifter samt SINTEF og NTNU. Målet med prosjektet er å etablere det første rendyrkede fartøykonseptet for industriell tare dyrking i verden (Regjeringen, 2017).

Selskapet Hortimare AS har blant annet bidratt til innovasjon innen systemer for utsåing som lett kan appliseres i storskala dyrking. Produksjon av sporer og kimplanter tar fortsatt tid (4-6 uker), men metoden for utsåing på tau er forenklet. Framfor den tradisjonelle metoden hvor hyssing sådd med sporer blir tvunnet inn i kordellene på større tau, bruker Hortimare AS et spesielt utviklet bindemiddel for å feste sporene på tauet. Denne metoden gir både forbedret sporetetthet og reduserte kostnader ved utsåing (Hortimare, 2017).

I 2010 lanserte Seaweed Energy Solutions et nytt konsept for dyrking av makroalger langs norskekysten. Konseptet ble kalt for 'Seaweed Carrier' og er ment til å tåle røffe påkjenninger på åpent hav ved hjelp av enkle og robuste strukturer. I motsetning til tradisjonelle dyrkingsmetoder basert på liner og nett er Seaweed Carrier utformet slik at den etterligner tarens form, og skal kunne følge bevegelsene i vannet ved å være forankret i ett enkelt punkt. På denne måten kan denne formen for dyrking flyttes fra kystnære områder til områder offshore hvor konkurransen om areal er mindre. 'Seaweed Carrier' er flaklignende strukturer som i grunn kopierer en svært stor algefarm og beveger seg fritt fram og tilbake i vannmassene. 'Seaweed Carrier' åpner for å kultivere tare på både dypere og mer utsatte

havområder i stor skala, noe som er nødvendig for å gjøre tare til en bærekraftig kilde til energi (Seaweed Energy Solutions, 2010).

4.4 Regulering av næringen

Akvakultur i Norge reguleres av Nærings- og fiskeridepartementet som øverste myndighet, og det ble i 2010 foreslått å regulere dyrking av makroalger under «Forskrift om tillatelse til akvakultur av andre arter enn laks, ørret og regnbueørret». For å kunne kultivere makroalger må man altså søke om konsesjon til overnevnte departement, en prosess som vanligvis tar minst 5 måneder. Ordinære akvakulturkonsesjoner vurderes av fylkeskommunene, og søkeren må kunne dokumentere at søknaden er støttet av lokale arealplaner og ikke står i konflikt med beskyttede miljø- og kulturområder. Det må også dokumenteres at de nødvendige tillatelsene er i overensstemmelse med Lov om matproduksjon og mattrygghet mv. (matloven), Lov om vern mot forurensninger og om avfall (forurensningsloven), Lov om havner og farvann (havne- og farvannsloven) og Lov om vassdrag og grunnvann (vannressursloven). Det må også tas hensyn til hva slags innvirkning et dyrkningsanlegg vil ha på miljøet, selv om det ikke er fastsatt spesifikke kriterier for dyrking av makroalger (per 2012). Innfridde konsesjoner gjelder for én art på én lokasjon, og om det ikke blir produsert mer enn én tredjedel av den totale tillatte produksjonskapasiteten, kan konsesjonen oppheves (Meland og Rebours, 2012b).

En søknadsprosess for konsesjon til dyrking av makroalger starter med at søker sender en komplett søknad til fylkeskommunen der den omsøkte lokaliteten ligger. Fylkeskommunen sender så søknaden videre innen to uker til kommunen der lokaliteten ligger. Her blir søknaden i samarbeid mellom søker og lokaliseringkommune klargjort for offentlig utlegging i fire uker, og en uttalelse om forholdet til kommunale planer og interesser gis. Søknaden sendes samtidig videre til statlige sektormyndigheter, som allerede på dette tidspunktet kan starte sin behandling av søknaden. Sektormyndighetene skal fatte vedtak og/eller gi en uttalelse innen fire uker fra merknader fra offentlig utlegging og eventuell kommunal uttalelse er mottatt. Søknaden blir så sendt videre til de organer som behandler søknaden med hensyn til gjeldende lover og interesser som berøres. Fylkesmannen vurderer søknaden etter forurensningsloven samt gir en uttalelse om naturvern-, friluft-, fiske- og viltinteresser. Mattilsynets distriktskontor vurderer søknaden etter matloven (eventuelt også dyrevelferdsloven) og fatter vedtak med hensyn på disse. Kystverkets regionkontor vurderer

søknaden etter havne- og farvannsloven, mens Fiskeridirektoratets regionkontor gir en uttalelse om tradisjonelle fiskeriinteresser. Disse fire organene har en tidsfrist på fire uker før saken sendes videre til endelig avgjørelse. I motsetning til ordinære akvakulturkonsesjoner der endelig avgjørelse blir gitt av fylkeskommunen, er det Nærings- og fiskeridepartementet som foretar den endelige avgjørelsen når det gjelder konsesjoner for dyrking av makroalger. Departementet fatter vedtak med hensyn til akvakulturloven og andre vedtak og uttalelser som er gitt gjennom søknadsprosessen. Det endelige vedtaket sendes så tilbake til søker med kopi til sektormyndigheter og lokaliseringskommunen innen fire uker (Dalen, 2016).

4.5 Forskningsprosjekter, nettverk og kunnskapsbaser

PROMAC er et forskningsprosjekt ledet av Møreforskning og fokuserer på energieffektive metoder for prosessering og raffinering av makroalger til humant konsum og dyrefôr. Tre forskjellige arter med betydelig potensial for dyrking i Norge blir vurdert i prosjektet som alternative kilder til proteiner og energi i dyrefôr. Artenes egenskaper med hensyn til helsefordeler i mat til mennesker blir også kartlagt (*PROMAC*, 2015a). Prosjektet har følgende sentrale fokusområder:

- En vurdering av variasjoner i råmaterialets sammensetning og råvarekvalitet, både fra ville og kultiverte makroalger med hensyn til biologiske faktorer og miljøfaktorer.
- Utvikle prosesser for forbedring av de ønskede råvarekvalitetene. Dette innebærer primærprosesser som vasking, dehydrering og modning.
- Etablere egnede fraksjonerings- og ekstraksjonsmetoder for å berike gunstige proteiner eller fjerning av antinæringsstoffer fra råmaterialet.
- Evaluering av prosesserte makroalgers nærings- og helseverdi med hensyn på forskjellige dyregruppers distinkte fordøyelsessystemer (*PROMAC*, 2015a).

Disse fokusområdene belyses gjennom følgende seks arbeidspakker:

- Råmaterialer og kjemisk sammensetning.
- Produkt og prosesser – direkte anvendelser.
- Raffinerte produkter – prosesser og anvendelser.
- Nærings- og helseverdier ved makroalgeprodukter.
- Overskuddsenergi fra industrielle prosesser
- Analyse av produkters livssyklus og modellering av verdikjede (*PROMAC*, 2015b).

Prosjektet inkluderer også analyse av de logistiske og økonomiske aspektene ved verdikjeden samt en vurdering av produkters livsløp. Prosjektets fulle tittel er «Energieffektiv prosessering av makroalger i blå-grønne verdikjeder». Det er finansiert hovedsakelig av Forskningsrådet med 35 millioner kroner og pågår i perioden 2015 til 2018 (PROMAC, 2015a). Med Møreforskning i front består prosjektet av et bredt spekter av internasjonale forskere med tverrfaglig spisskompetanse fra institusjoner både i Norge, Frankrike, Island og Sverige. En rekke aktører fra næringen er også samarbeidspartnere i prosjektet (SINTEF, 2015).

BIOFEED er et forskningsprosjekt i regi av Norges miljø- og biovitenskapelige universitet i samarbeid med Seaweed Energy Solutions (SES) og Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). Målet er å utvikle et nytt fôr til lakseoppdrett ved integrert bioprosessering av biomasse som ikke egner seg til humant konsum, slik som grantrær og brunalger. Prosjektet utvikler grunnleggende forskning og metoder for utvikling av slikt fôr og er samkjørt med flere pågående forskningsprosjekter som blant annet Foods of Norway, NorZymD¹ og MARPOL². *BIOFEED* er spesielt rettet inn mot atlantisk laks og kan dokumentere effekter på vekst, retensjon av næringsstoffer og fiskens gastrointestinale helse. Prosjektet utvikler også retningslinjer for overvåkning av de langsiktige påvirkningene som storskala dyrking av makroalger har på det marine miljøet (Brodin, 2016).

SIG (Special Interest Group) Seaweed er en interessegruppe og møteplass for bedrifter og FoU-institusjoner på tvers av næringsområder, med aktivitet og interesse innenfor dyrking, prosessering og anvendelse av makroalger. *SIG Seaweed* ble etablert i september 2014 i samarbeid mellom Industrial Biotech Network-Norway (IBNN) og SINTEF Fiskeri og havbruk AS, og koordineres av Jorun Skjermo fra SINTEF Ocean. Målet til *SIG Seaweed* er å stimulere til økt antall industriprosjekter ved å styrke makroalgenæringens kunnskapsbase og øke verdiskapningen innenfor makroalgenæringen. *Sig Seaweed* jobber også for å tydeliggjøre næringens økonomiske betydning, både for samfunnet generelt, beslutningstakere i politikken og spesielt for næringen. Gruppen har i dag en rekke samarbeidsorganisasjoner både fra næringen og FoU-institusjoner (IBNN, 2016).

Norsk senter for tang- og tareteknologi er et kompetansesenter og møteplass hvor FoU-institusjoner og aktører i næringen kan møtes med sikte på å utvikle en fremtidsrettet industri

¹ Nasjonalt prosjekt for oppdagelse av enzymer med fokus på lignocellulose og proteiner.

² Nasjonalt prosjekt med fokus på enzymatisk modifisering av marine polysakkarider.

basert på dyrking av makroalger. Formålet er å bidra til å etablere en kompetanseplattform med fokus på dyrking, høsting, bearbeiding og anvendelse av makroalger på et industrielt nivå. Senteret består av FoU-institusjoner som SINTEF Fiskeri og havbruk AS, SINTEF Materialer og kjemi, NTNU Institutt for bioteknologi og NTNU Institutt for biologi. Kompetansesenteret ble åpnet allerede i 2011 og har knyttet seg til en rekke nasjonale og internasjonale samarbeidspartnere. Ønsket er å bidra både til offentlig sektor og norsk industri for å realisere en ny næring innenfor dyrking og prosessering av makroalger (SINTEF, 2017).

NetAlgae er et interregionalt nettverk som fremmer den marine algeindustrien gjennom bærekraftig utvikling. Målet med prosjektet er å danne et nettverk av relevante interessenter innen den europeiske makroalgesektoren, og ved å sammenligne informasjon fra de ulike regionene kunne etablere modeller for best mulig praksis. Ambisjonene er å kunne foreslå praksis for kommersiell utnyttelse av tilgjengelige makroalgeressurser på en vellykket og bærekraftig måte. Prosjektet som helhet har fem hovedsakelige målsetninger. (1) Det skal utføres en grunnleggende studie av algeindustriene i alle involverte nasjonaliteter på tvers av prosjektområdet. (2) Videre skal det gjøres en vurdering av regulerings, administrasjons- og forvaltningssystemer for algeindustrien. (3) For å kunne utnytte algeressurser bærekraftig skal det utvikles retningslinjer for beste praksis. (4) Det skal også utvikles en database for den europeiske algeindustrien, og (5) opprette en industriportal og utvikle forretningsverktøy for algeindustrien i hele Europa (NetAlgae, 2017).

Det Kongelige Selskap for Norges Vel er en åpen og uavhengig medlemsorganisasjon som gjennom iverksetting, utvikling og gjennomføring av prosjekter i samarbeid med oppdragsgivere og samarbeidspartnere, jobber mot bærekraftig næringsutvikling for livskraftige lokalsamfunn. Norges Vel har bred generell marin kompetanse og flere satsingsområder innenfor havbruk og fiske. Når det gjelder makroalger har Norges Vel erfaring fra tidligere engasjement rundt algedyrking på Madagaskar og har siden 2010 vært aktiv i arbeidet med å fremme alger som en ny kystnæring i Norge. Gjennom prosjektet «Alger som næring i Norge» arbeider Norges Vel gjennom et verdikjedeperspektiv som omfatter alt fra forskning og utvikling til salg av dyrkede makroalger. Norges Vel mener, basert på eksterne analyser, at en realistisk salgsverdi av makroalger innen 2030 kan nå 8 milliarder kroner. For at et slikt mål skal nås kreves det effektiv og åpen kommunikasjon mellom samtlige aktører i næringen. Norges Vels rolle for å oppnå dette har vært å legge til rette for møteplasser for aktørene samt organisering av pilotprosjekter og relasjonsbygging

mellom miljøer som er relevante for makroalgenæringen. Organisasjonen har blant annet stiftet Norsk Algeforening (Norges Vel, 2017), som jobber for å skape oppmerksomhet rundt dyrking og bruk av både mikro- og makroalger (Norsk Algeforening, 2015).

Norsk Algeforening (2015) lister opp sine mål som:

- *«Samle og involvere aktører og beslutningstagere i algenæringen.*
- *Integrere FoU og næringsliv med mål om teknologi-, næringsutvikling og verdiskaping innenfor algenæringen.*
- *Synliggjøre og formidle algers betydning og nytte overfor publikum, opplæring og kunnskapsinstitusjoner og beslutningstagere.*
- *Fremme det kommersielle markedet for algeprodukter og tjenester*
- *Legge til rette for samarbeid, nye partnerskap som i verdikjeden*
- *Norsk Algeforening skal være pådriver og bidra til å utvikle regelverk og rammebetingelser knyttet til algenæringen.*
- *Legge til rette for kunnskapsdeling og kompetanseutvikling innenfor næringen.»*

Dette er bare et utvalg av de forskningsprosjektene, kunnskapsbasene og algenettverkene som eksisterer i Norge dag. I tillegg til disse er det en rekke andre pågående forskningsprosjekter, algenettverk og kunnskapsbaser både i Norge og ellers i Europa.

5 Resultater fra intervju

I dette kapitlet vil jeg oppsummere svarene jeg fikk fra aktører i næringen som var villige å svare på spørsmålene mine. Enkelte respondenter ba om anonymisering og å holde enkelte detaljer konfidensielle. Jeg har dermed valgt å anonymiser samtlige av respondentene.

5.1 Norske aktører

5.1.1 Bedrift B1

Bedriften ble etablert i 2009 av en gründer med bakgrunn fra sjømatnæringen og disponerer i dag to konsesjoner for dyrking av sukkertare, med kapasitet på 320 og 330 dekar.

Produksjonslokalitetene til bedriften befinner seg langs trøndelagskysten utenfor Trondheim og Frøya, mens administrative lokaliteter er plassert både i Trondheim og Oslo. Bedriften er et aksjeselskap, der nevnte gründer og et stort sjømatkonsern er største aksjonærer. Per i dag driftes bedriften av sju personer, der fem er heltidsansatte i tillegg til to deltidskonsulenter.

På spørsmål om hva som var motivet bak etablering av bedriften, svarte informanten:

«Realisere det store og nesten uutnyttede potensialet for storskala dyrking av tare i Europa. Hovedfokuset til å begynne med var på industrielle markeder med produksjon av bioenergi som bruksformål.»

Selv om det initiale fokuset var på bioenergi kunne informanten fortelle at majoriteten av dagens produserte biomasse går til små og store aktører i matindustrien. Dette på grunn av store biologiske og teknologiske utfordringer som ennå står uløst med hensyn til industriell algeproduksjon til energiformål.

Selskapet er i dag helintegrert og utfører alle operasjoner i verdikjeden, fra produksjon av kimplanter og dyrking i sjø, til videreforedling og salg av biomassen. Informanten ba om å holde produksjonstall konfidensielle, men kunne fortelle at den forventede produksjonen i 2017 ville komme opp mot det dobbelte fra 2016.

Ved spørsmål om hva som var selskapets største kostnadsfaktor svarte informanten:

«Både lønn og faste kostnader som anlegg og kontor, og innleie av tjenester som sjøoperasjoner og prosessering.»

Utfordringene har vært mange for selskapet siden de startet med dyrking og makroalger. I dag står selskapet overfor utfordringer både i forhold til markedet for mat og for industrielle formål. For produksjon av makroalger til matmarkedet er det utvikling av markedet selv og salg som er hovedutfordringene, mens for industrielle formål er det en rekke utfordringer som krever løft i teknologien, videre FoU og fortsatte investeringer for å finne løsninger.

På spørsmål om hva som har vært deres største utfordringer og hvordan de hadde forsøkt å løse dem, svarte informanten:

«Mange biologiske og tekniske flaskehalsar gjennom hele verdikjeden som har blitt løst gjennom store FoU-prosjekter. For høyverdi matprodukter er de fleste flaskehalsene løst tilstrekkelig godt og markedet er nå største flaskehals. For industrielle markeder (energi, fôr, alginat, osv.) er det fortsatt store uløste biologiske og tekniske utfordringer, grunnet behov for langt større volum og mye lavere kostnader.»

For å forsøke å løse disse utfordringene kunne informanten fortelle at det hadde vært behov for en kombinasjon av innovative løsninger og gradvis oppbygging av praktisk kunnskap og biologisk kontroll.

På spørsmål om hvor informanten tror selskapet er om fem år, svarte han:

«Fullt kommersiell drift til matmarkeder. På god vei mot tekniske løsninger for produksjon til industrielle løsninger (pilotskala).»

5.1.2 Bedrift B2

Selskapet har i dag lokaliteter både i Norge og i Europa, med forskningsfasiliteter i Nederland og prøvelokaliteter og 'klekkeri' både på Færøyene og i Norge. Den europeiske delen av selskapet ble etablert i 2008, og de var operasjonelle i 2009. Den norske grenen av selskapet ble etablert i 2012 og er heleid av moderselskapet som videre består av private investorer. Informanten har en sentral posisjon i bedriften med bakgrunn fra salg, entreprenørskap og plantevitenskap med kompetanse innenfor blant annet alge- og taregenetikk. Selskapet sysselsetter i dag ni fast ansatte, i tillegg til noen midlertidige ansatte.

På spørsmål om hva motivet for etablering av selskapet var, svarte informanten:

«Nye, sirkulære og bærekraftige tilnæringer for produksjon av verdifulle komponenter og råmaterialer for mat og fôr. Det langsiktige målet er å være profittdrevet.»

Med sikte på å rette seg inn mot et globalt marked, ble den norske delen av selskapet etablert i 2012 med produksjonslokaliteter og kontorer på Vestlandet. Deres innledende produksjon av tare i Norge var i samarbeid med norske lakseoppdrettere, og de hadde sin første suksessfulle produksjon allerede i 2010.

Selskapet har i dag ni separate konsesjoner for dyrking av alger til fôr/konsum i Norge av artene butare, fingertare, havsalat, stortare, sukkertare og søl. I tillegg har de fire konsesjoner av alger i tidlig fase. Disse konsesjonene er fordelt på tre produksjonslokaliteter langs kysten av Vestlandet, som totalt dekker et areal på rundt 300 hektar.

Selskapet produserer ikke makroalger i høstbar størrelse for salg. Hele deres biomasse av høstbar størrelse som produseres i Norge går i dag til interne forskningsformål. Selskapets omsetning er i dag basert på produksjon og salg av kimplanter til andre dyrkere i Europa og har en årlig omsetning på rundt 500 000 EUR. Informanten kan likevel informere om at majoriteten av den høstede biomassen som kommer fra deres kimplanter ender opp som mat til mennesker og dyrefôr. Informanten forteller at biomassen også vil gå til ekstraksjonsprosesser på lengre sikt.

Majoriteten av selskapets kunder er i dag dyrkere av makroalger i Nordvest-Europa og prisen de har fått for produktene sine har ifølge informanten hatt en stigende utvikling siden oppstart.

Listen over utfordringer selskapet har hatt er lang, men mange av disse har også blitt løst. Innenfor dyrkingsprosessen har både forplantning, avl, utsåing, valg av vekstsubstrat og dyrkingsinstallasjonenes slitestyrke vært sentrale utfordringer. Disse er blitt løst på forskjellige måter. Utfordringene innenfor avl har i stor grad blitt løst gjennom selektering av avlsmateriale, mens utfordringene rundt utsåingskostnader har blitt løst ved å utvikle eget system for påføring av sporer direkte på linene som settes i sjøen. Gjennom samarbeid med det internasjonale makroalgeprosjektet AT-SEA har selskapet utviklet egnede vekstsubstrat som reduserer kostnadene for denne prosessen. Innenfor høsting av biomassen er mekanisering av prosessen en utfordring som ennå ikke er løst, men som det jobbes med i dag. For midlertidig lagring av biomassen etter høsting har bedriften tatt i bruk ensilering. Når det gjelder behovet for utvikling av innovative og teknologiske løsninger for å løse

utfordringene de har hatt, trekker informanten fram utvikling av ulike ekstraksjonsprosesser og mekanisering i produksjonen.

Av utfordringer som fortsatt står igjen utpeker informanten kvalitet på biomassen og reguleringen av næringen som betydelige, men de nærmest forestående utfordringene for selskapet i dag er markedet og finansiering. Ved spørsmål om hvor informanten tror bedriften er om fem år, svarer han:

«Å være hovedleverandør for kimplanter av makroalger til dyrkere innenfor Nordvest-Europa.»

5.2 Utenlandske aktører

5.2.1 Bedrift U1

Selskapet er lokalisert på Færøyene, hvor de har kontorer, dyrkingslokaliteter og lagring- og prosesseringsfasiliteter. Selskapet jobber også med utvikling av fasiliteter for tørking og ensilering av biomassen. Informanten er en av de opprinnelige gründerne i selskapet og har bakgrunn fra administrasjon, bedriftsøkonomi og internasjonal handel. På grunn av mangelen på spesifikk regulering av dyrking av makroalger på Færøyene, innehar selskapet ingen konsesjoner for sin produksjon. Selskapet har derfor operert i samarbeid med et lokalt oppdrettsselskap for laks og produserer sin biomasse under deres konsesjon. Lovgivning rundt regulering av makroalgedyrking på Færøyene er ifølge informanten under utvikling, og de forventer å kunne søke etter egne konsesjoner i løpet av 2017.

Selskapet ble etablert i 2007 og er et andelsselskap med totalt 11 aksjonærer, der direktør i bedriften er største aksjonær med 60%. Resterende aksjonærer er personer som også har vært i selskapet siden starten. Selskapet sysselsetter i dag seks faste ansatte og er en av de største aktørene innenfor dyrking av makroalger i Europa i dag. Ideen til etablering av selskapet kom fra én av gründerne, og på spørsmål om hva motivet bak etableringen var, svarte informanten:

«Motivet bak oppstarten av selskapet var å bidra til verdenssamfunnet ved å kultivere tare for opptak av CO₂.»

Selskapet fikk sin første forsøkslisens for dyrking av makroalger i 2009. Selskapets første tekniske tester av anlegg i sjø ble startet i 2010, mens biologiske tester med tare i sjøen ble

startet først i 2013. I dag dyrker selskapet artene stortare, sukkertare og butare, men har også pågående FoU innenfor dyrking av arten søl. Selskapet benytter egenutviklede dyrkingssystemer som er spesielt utviklet for å motstå naturkreftene i eksponerte havområder. De har eget anlegg for produksjon av sporer og kimplanter og har muligheten til å så sine egne liner. De siste tre årene har de likevel hatt et tett samarbeid med en ekstern bedrift som har levert såmateriale. Bakgrunnen for outsourcing av denne prosessen er at dette eksterne selskapet har god kompetanse og større kapasitet enn de har selv. Selskapet høster biomassen to ganger på samme avling fra mai og gjennom sommeren til august/september, før de selv prosesserer biomassen. Selskapet opererer med såkalt Storage Stable Condition (SSC), som innebærer at biomassen blir prosessert enten gjennom frysing, tørking eller ensilering innen 24 timer etter høsting.

Selskapet hadde i 2016 et produksjonsvolum på rundt 5000 kilo tørr vekt og en salgssomsetning på rundt én million DKK. Dette er volum og verdier informanten forventer å fordoble i løpet av 2017. På spørsmål om selskapets største kostnadsfaktor forteller informanten at dette er den energikrevende tørkeprosessen. Han trekker også fram lønnskostnader, men mener dette er noe som lettere kan reduseres ved en oppskalering av produksjonen, siden dette uansett vil kreve en høyere grad av mekanisering og reduisering av manuell arbeidskraft.

Selskapet står selv for salg av biomassen sin og selger primært til europeiske aktører innenfor matindustrien, der de viktigste nasjonalitetene er Storbritannia, Nederland, Tyskland og Danmark. De har også opplevd noe interesse fra Canada og USA, men i svært begrenset omfang. Formålet biomassen deres går til i dag er i hovedsak produksjon av mat, men noe går også til kosmetikkindustrien.

Ved spørsmål om hva som har vært selskapets største utfordringer og hvordan de har forsøkt å løse disse, svarte informanten:

«Det har vært utfordringer over hele linjen, der de største har vært å redusere kostnadene ved produksjon helt fra utsåing til Storage Stable Condition.»

Videre oppsummerer han utfordringene med tre fokuspunkter: Forbedring av produksjonsutbytte ved dyrkingen, redusere de operasjonelle kostnadene og reduisering av kapitalutgifter. Dette er ifølge informanten hovedutfordringene selskapet står ovenfor også i

dag. For å løse disse utfordringene har det vært nødvendig med utvikling av innovative og teknologiske løsninger, der det selvutviklede dyrkingssystemet for eksponerte havområdet har vært essensielt. Informanten er likevel klar på at han ikke er bekymret for det teknologiske aspektet ved dyrking av makroalger, på grunn av den høye kompetansen innenfor akvakultur som foreligger i dag. Spørsmålet ifølge informanten er heller om de framtidige teknologiske løsningene vil bli billige nok.

Informanten er positiv i sine framtidsutsikter, og er rimelig sikker på at selskapet om fem år har et årlig produksjonsvolum på mellom 25 og 50 tonn. En del av dette vil gå til matindustri, men hovedbestanddelen vil gå til fôrmarkedet og til bioraffineringsprosesser for ekstraksjon av produkter med både høy og lav verdi. Selskapet er blant annet tungt involvert i FoU-prosjekter i sammenheng med slike bioraffineringsprosesser.

6 Diskusjon

Jeg vil i dette kapitlet diskutere likhetene og forskjellene mellom svarene jeg fikk av respondentene med hensyn til etablering av selskapene, produksjon, markeder, lønnsomhet, politiske signaler og statlig regulering av næringen.

6.1 Etablering av selskaper

Antallet nye selskaper som har blitt etablert de siste to årene har vært betydelig (tabell 4). En del av disse er nok ikke myntet på dyrking av makroalger der enkelte fokuserer på produksjon av algebaserte produkter, men det gir likevel en pekepinn for optimismen rundt denne næringen som helhet. Tildelingen av konsesjoner for dyrking av makroalger nådde en topp i 2015 på 109 separate konsesjoner. Disse ble fordelt på 12 selskaper hvor 8 av dem ikke hadde konsesjon fra før (Tabell 3). Siden den gang har tildelinger av nye konsesjoner vært synkende,

Samtlige av de intervjuede aktørene, både i Norge og i utlandet ble etablert mellom 2007 og 2009, omkring samme tidspunkt som da den første statlige finansierte utredningen for dyrking av makroalger ble utført i Norge. Motivene for etablering var nokså forskjellige mellom de intervjuede aktørene, men samtlige tok utgangspunkt i bærekraft og miljø. Fra bærekraftig produksjon av mat og fôr, til dyrking av makroalger for produksjon av bioenergi, og dyrking av alger for opptak av CO₂. Likevel hadde alle selskapene nå størst – om ikke all – omsetning basert på salg til mat- og fôrindustrien.

Selskapsstrukturen hos de intervjuede aktørene var temmelig lik. Samtlige var organisert som aksjeselskaper, med relativt få aksjonærer og et antall fast ansatte på mellom seks og ni personer. De norske selskapene som ble intervjuet er blant de som har drevet på lengst i Norge, og som tilsynelatende burde ha kommet lengst i utviklingen. Likevel er de snart 10 år etter etablering fortsatt små og helt klart i startfasen når det gjelder dyrking av makroalger.

6.2 Produksjon

Blant de intervjuede aktørene var det noe forskjellige driftskonsepter. To var basert på salg av høstet biomasse klar for videre prosessering, mens én baserte sin omsetning på salg av kimplanter til andre dyrkere. Samtlige av selskapene hadde et driftskonsept som strakk seg

helt fra produksjon av sporer og kimplanter, til salg av produktene sine. Likevel hadde to av dem valgt å outsource enkelte av trinnene i produksjonen, noe som kan tyde på at enkelte aktører spesialisere seg innenfor visse prosesser ved dyrking av makroalger.

For dyrking av makroalger på global basis benyttes det en rekke forskjellige metoder, fra nokså primitive pålesystemer i Asia til moderne teknologiske systemer for dyrking i eksponerte farvann. Dyrking i Norge ser ut til å ha plassert seg midt mellom disse ytterpunktene. Det produserer i all hovedsak makroalger på flytende langlinesystemer i Norge. Aktøren på Færøyene brukte tilsvarende metoder, men hadde videreutviklet det til å tåle røffe påkjenninger i eksponerte farvann. Færøyene har en produksjonsmessig fordel ved at havtemperaturen er stabil hele året på mellom 8-12 grader Celsius. Dette reduserer begroing i sommermånedene og tillater dyrkeren å høste biomassen to ganger i løpet av sju måneder. Slike konsepter har også norske selskaper jobbet med, og forskning tilsier at det er offshore at dyrkingspotensialet er størst (Broch *et al.*, 2016). Med dyrkingsteknologi som tåler de røffe påkjenningene i eksponerte havområder vil også norske dyrkere kunne få lignende produksjonsfordeler, hvor havtemperaturene er mer stabile.

I en fase hvor dyrkingen i stor grad ennå er forskningsbasert, med høye investeringer og prøving og feiling, er det vanskelig å beregne realistiske produksjonskostnader. Men av hva som ble oppgitt ligger de opp mot 200 NOK/kg i dagens produksjonsskala.

Tall for høstet kvantum og verdi fra dyrking av makroalger i 2016 er foreløpig ikke offentliggjort, men antall tildelte konsesjoner har siden 2015 nesten fordoblet seg. Det er også slik at kun 10 av 16 selskaper som hadde fått tildelt konsesjoner i 2015 var operative på denne tiden. De aller fleste av disse har fortsatt konsesjonen de den gang fikk tildelt. Sannsynligvis er flere av disse blitt operative i det siste. I så fall kan vi anta at både høstet kvantum og verdi er blitt høyere siden den gang, og vil fortsette å øke i 2017.

6.3 Markeder

Til tross for ambisjoner om dyrking av makroalger til forskjellige formål, ser det ut til at hovedbestanddelen av den høstede biomassen både på Færøyene og i Norge går til fôr- og matindustrien. Begge de norske informantene ser markedet som dagens største utfordring for utvikling av matprodukter av høy verdi. Enkelte makroalger inneholder relativt sjeldne næringsstoffer i planteverdenen, noe som kan åpne for utvikling av produkter for nisjemarkeder. Innhold av vitamin B12 i enkelte arter, gjør disse til en sjelden vegetabilsk

kilde til dette næringsstoffet. Dette gjør makroalger til en verdifull B12-kilde til for eksempel vegetarianere og veganere. Det vil likevel kreves en nøyere kartlegging av de forskjellige markedene innenfor matindustri, inklusive markedene for videreforedling, forbrukere og HORECA-segmentet³.

Samtlige av aktørene spår positive utsikter fem år fram i tid, spesielt innenfor dyrking av makroalger til mat hvor de fleste begrensede utfordringer er blitt løst. I forhold til industriell produksjon er de kortsiktige framtidsutsiktene fortsatt nokså beskjedne, men de var alle optimistiske. Både B1 og U2 var klare på at de ville fordoble fjorårets produksjon i 2017.

Norges største produsent av alginat, FMC Biopolymer, har blant annet bidratt til å skape et industrieventyr basert på stortare. De har hele verdikjeden for produksjon av alginat her til lands som inkluderer både høsting, prosessering, salg og FoU. Alginat fra FMC Biopolymer blir regnet som verdens mest etterspurte alginatprodukter, og selskapet uttalte i en høringsuttalelse til Nærings- og fiskeridepartementet at bedriftens alginatfabrikk ikke klarer å møte etterspørselen etter produktet deres (Kvilhaug, 2015). Med allerede en av Europas største industrier innenfor produksjon av alginat, er markedet for slike hydrokolloider allerede godt etablert i Norge, og burde være godt rustet til å ta imot større volumer fra kultivert biomasse. FMC Biopolymer har selv uttalt at bedriften har betydelige potensial for verdiskaping i årene framover, og støtter seg til rapporten «Verdiskaping basert på produktive hav i 2050», der den estimerte omsetningsverdien fra makroalger skal nå 40 milliarder kroner i 2015 (Kvilhaug, 2015).

Det er også en økende etterspørsel etter makroalger som grønnsaker fra havet i Europa. Denne etterspørselen vokser med 7-10 % årlig og kommer hovedsakelig fra HORECA-segmentet, matvareprodusenter og dagligvarekjeder (Capuzzo og McKie, 2010). Det burde dermed være mulig å kunne produsere langt større kvantum til forskjellige formål, uten å være bekymret for å ikke få solgt biomassen sin. Det må imidlertid utføres kartlegging av markedene for de forskjellige formålene, og legge til rette for aktørene slik at de fr solgt biomassen.

³ HORECA: Segment i matindustrien som inkluderer hotell, restaurant og catering.

6.4 Lønnsomhet

Av de norske intervjuede selskapene er det ingen som har publiserte regnskaper for 2015 og 2014 som er positive. Ettersom salg av biomasse fortsatt er svært begrenset, og investeringer i forskning og utvikling fortsatt er svært høye, er dette å forvente. Enkelte av de intervjuede bedriftene forventer en dobling av produksjonen i 2017 i forhold til 2016, noe som muligens vil føre til regnskaper som kommer nærmere et bærekraftig nivå.

Aktøren på Færøyene estimerte en produksjonskostnad på ca. 150 DKK/kg etter tørking av biomassen, mens norske aktører oppga kostnader som lå både over og under dette estimatet. Ifølge informantene var produksjonskostnader vanskelig å beregne på grunn av den tidlige fasen i produksjonen med mye investeringer innen forskning og utvikling.

Ingen av de norske selskapene kan vise til regnskap med positive årsresultat de siste tre årene. Selskapenes likviditet og soliditet er imidlertid relativt gode, noe som tyder på at de har betydelig finansiering i ryggen og har kapital til å fortsette med nødvendige investeringer for videre utvikling.

Av empirien som er publisert av Fiskeridirektoratet for 2015 er det ingen tall for hvor mye biomasse som virkelig ble produsert, kun det som ble høstet. Svinn i produksjonen er derfor en ukjent faktor som kan ha stor betydning for lønnsomheten. Ettersom tall for produksjon i 2016 heller ikke er publisert ennå er det vanskelig å si noe om næringens utvikling på bakgrunn av produksjonstall.

6.5 Politiske signaler og statlig regulering

Det overordnede budskapet fra myndighetene er stortilt satsing på en blå-grønn og bærekraftig næring. Dette skal gjøres ved å utvikle ny teknologi, prosesser og protokoller for dyrking, prosessering og videreforedling av makroalger, gjennom eksisterende kunnskap fra eksisterende marine næringer som offshore og fiskeoppdrett. Politiske signaler for denne strategien og også spesifikt for dyrking av makroalger har vært mange. Og mediedekningen av et nytt oppdrettseventyr har vært tung. Slik optimisme har også vært tilfelle ved oppstart av kultivering av andre marine arter, uten at de har nådd opp til de forventningene som blir lagt til grunn. En overoptimisme betyr at det er et element av selvbedrag hos gründerne. De tror det skal gå mye lettere enn det gjør i virkeligheten. Dette kan være viktig for å fremme

entreprenørskap, men det betyr samtidig mye bortkastede ressurser og mange skuffelser. Myndighetene bidrar her ved å skissere svært optimistiske vyer.

Siden 2015 har det vært en nedgang i tildelte konsesjoner for dyrking av makroalger. Ettersom dette er ei svært ny næring vet selv ikke de som søker konsesjon hvordan fremtidige industrielle dyrkingsfelt vil se ut, i hvilken grad det vil påvirke eksisterende næringsaktivitet og hvordan miljøbetingelsene langs kysten vil påvirke produksjonsanlegg på denne skalaen og omvendt. Det er ingenting som tilsier at myndighetene vet dette bedre enn næringen, og derfor vil det være vanskelig for myndighetene å vite hva som må tas hensyn til i behandlingen av konsesjonssøknader for dyrking av makroalger. Fylkesmannen i Vest-Agder, Bjørn Petter Stokke, illustrerte denne usikkerheten overfor søknadsbehandlingen på et tareseminar avholdt i Flekkefjord den 27. mars 2017, hvor han innledet presentasjonen sin med en blank PowerPoint-forside⁴.

For søknader på over 100 dekar stilles det også krav til program for miljøovervåkning, som skal utarbeides i samarbeid mellom Fiskeridirektoratet lokalt og den lokale fylkesmann. Det er ingen felles krav eller retningslinjer for utarbeiding av slike miljøovervåkningsprogram.

Mens konsesjoner for oppdrett av fisk behandles hos fylkeskommunene, har Nærings- og fiskeridepartementet besluttet at konsesjonssøknader for dyrking av makroalger skal behandles av departementet selv. I praksis betyr dette at en eventuell klage må tas i kongelig statsråd, noe som ikke legger til rette for en kjapp og smidig prosess.

Det eksisterer altså misnøye i forhold til hvordan konsesjonssøknader behandles i dag, både uttrykt av myndighetene selv, men helt sikkert også hos næringsaktører som venter på å få søknadene sine behandlet. Søknadsprosessen kan bidra til at spesielt små nyetablerte aktører står i fare for å bruke alt for store ressurser før de i det hele tatt får satt en taustump i sjøen. Det kan vise seg at den langsomme og vanskelige behandlingen av konsesjonssøknader i praksis motarbeider myndighetenes egne ambisjoner for denne fremtidsrettede næringen.

⁴ Liv Birkeland, Prosjektleder i Lister nyskaping AS. Dialog over Epost 23.04.2017

7 Konklusjon

Det overordnede målet med denne studien var å få et overblikk over hvordan den norske næringen innenfor dyrking av makroalger står i dag. Studien har blitt gjennomført ved å utføre en større gjennomgang av relevant litteratur for å få bedre kjennskap til temaet, og deretter søke relevant informasjon fra aktører i næringen. Med hensyn til dette ble følgende problemstillinger stilt i kapittel 1.1:

- Hva er status for dyrking av makroalger i Norge i dag?
- Hvilke muligheter og utfordringer står den norske næringen ovenfor?

Det er i dag 23 selskaper som innehar kommersielle konsesjoner. Dagens dyrkingsanlegg er fordelt på 44 produksjonslokaliteter distribuert fra Sogn og Fjordane i sør til Troms i nord. Denne fremtidsrettede næringen vokser for hvert år både gjennom nyetableringer av selskaper og tildeling av konsesjoner for dyrking av makroalger. Selskapene som opererer innenfor næringen i dag bærer imidlertid preg av å fortsatt være i et forsøksstadium. Selskapene er små, har relativt få ansatte og har begrenset produksjon preget av mye FoU. Det er kun artene sukkertare og butare som produseres i nevneverdige volumer i dag. Ettersom dyrking av makroalger til industrielle løsninger fortsatt har både biologiske og teknologiske utfordringer som må overkommes, går det meste av høstet biomasse til menneskemat.

Mange av de ulike utfordringene næringen står ovenfor blir i dag forsøkt overkommet gjennom en rekke forskningsprosjekter, kunnskapsbaser og nettverk som samler næringsaktører og forskningsinstitusjoner. Ut ifra mine resultater er det teknologiske utfordringer, da spesielt mekanisering som er den nærmest forestående utfordringen med hensyn til oppskalering til dyrking på industrielt nivå. Mens for dyrking av alger til mat er det markedet selv som er utfordrende. Det vil kreve forskning og kartlegging av hele verdikjeden for å legge til rette for en bærekraftig næring innenfor dyrking av makroalger.

For sammenligning med dyrking av makroalger i Norge og utlandet ble det kun sett til én aktør lokalisert på Færøyene. Hovedforskjellen dem imellom var at det færøyske selskapet dyrket makroalger i eksponerte havområder med stabil vanntemperatur. I Norge ligger de fleste dyrkingsanlegg tett til kysten hvor temperaturene er mer varierende. Dette fører til at det færøyske selskapet kunne høste to ganger av samme avling i løpet av sommeren, mens i Norge høstes det kun en gang pga. begroing i sommermånedene. Å kunne dyrke makroalger lengre til havs i mer stabile temperaturer kan være et alternativ for å øke produksjonsutbytte og øke dagens lave lønnsomhet.

Samtlige av intervjuede selskaper spådde positive framtidsutsikter som står i stil med optimismen fra det offentlige. Offentlige organer mangler imidlertid nødvendig kompetanse for å effektivt kunne behandle konsesjonssøknader for dyrking av makroalger. Kompetanse for dette burde opparbeides slik at konsesjoner kan behandles på en smidig og effektiv måte. På grunn av økende etterspørsel og de mange formålene makroalger har, kombinert med en sterk konkurransekraft ovenfor andre vegetabiliske ressurser, er det liten tvil om at dyrking av makroalger har en plass i norsk akvakultur. Framtidsutsiktene er gode, men for å skape et nytt oppdrettseventyr slik næringen er blitt omtalt som, vil det kreves nye investeringer, forskning og kartlegging av de ulike aspektene ved alle ledd i verdikjeden.

7.1 Begrensninger ved oppgaven og veien videre

Som nevnt i kapittel 1.2 har det vært utfordrende å få kontakt med næringsaktører. Dette har ført til at oppgaven er blitt noe amputert. Datainnsamlingen i denne studien ble utført i en periode som ikke var optimal for aktørene i næringen, som førte til et svært begrenset utvalg til intervjudelen.

Tall for produksjonskostnader og priser aktørene har fått for biomassen sin har jeg valgt å utelukke fra oppgaven. Dette på grunn av krav om konfidensialitet fra enkelte aktører og begrenset respons på akkurat dette.

Å trekke generelle konklusjoner for dagens status hos næringen som helhet blir derfor problematisk. For å gjøre dette burde det gjennomføres en mer omfattende kartlegging av både norske selskaper som er operasjonelle i dag, så vel som nyetablerte selskaper med konsesjon. På denne måten kan det lettere konkluderes med hensyn til næringens helhet. Det burde også utføres en kartlegging av hele verdikjeden, inkludert relevante støttenæringer.

For å kunne sammenligne den norske aktørers drift og praksis med utenlandske aktører, burde det også gjøre en kartlegging av aktørene ellers i Europa, som gjerne dyrker tilsvarende arter som her i Norge.

8 Referanseliste

- Augst, A. D., Kong, H. J. og Mooney, D. J. (2006). «Alginate Hydrogels as Biomaterials» *Macromolecular Bioscience*. Vol 6. pp. 623-633.
- Arlov, Ø. (2016). «Nytt øre ved hjelp av alger». SINTEF.
<http://www.sintef.no/siste-nytt/nytt-ore-ved-hjelp-av-alger/>
- Aasland, T. (1997). «Utfordringen fra havet – Om utnyttelse av norske tang- og tareressurser». Didakta Norsk Forslag AS.
- Barstad, S. (2014). «Gull i grønne tareskoger». Aftenposten. Hentet 01.04.2017.
<http://www.aftenposten.no/okonomi/Gull-i-gronne-tareskoger-95353b.html>
- Bellona. (2013). «Tradisjonelt og Integrert Havbruk. Dagens miljøutfordringer og morgendagens løsninger». Bellona Rapport 2013.
- Berge, A. (2017). «-Tidligere var vi jegere. Den nye generasjonen kommer til å være havbønder.» Artikkel i Ilaks. Hentet 10.05.2017.
<http://ilaks.no/tidligere-var-vi-jegere-den-nye-generasjonen-kommer-til-a-vaere-havbonder-2/>
- Blunt, J. W., Copp, B. R., Keyzers, R. A., Munro, M. H. G. og Prinsep, M. R. (2015). «Marine Natural Products». *Natural Product Reports*. Vol 32. pp. 116-211.
- Broch, O. J., Skjermo, J. og Handå, A. (2016). «Potensialet for storskala dyrking av makroalger i Møre og Romsdal». Rapport. SINTEF Fiskeri og havbruk AS.
- Brodin, J. K. (2016). «The BIOFEED Project». Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Hentet 25.04.2017.
<https://www.nmbu.no/fakultet/biovit/om/institutt/iha/forskning/biofeed>
- Bruton, T., Lyons, H., Lerat, Y., Stanley, M. og Rasmussen, B. (2009). «A review of the potential marine algae as a source of biofuel in Ireland». Sustainable Energy Ireland.
- Capuzzo, E. og McKie, T. (2016). «Seaweed in the UK and abroad – status, products, limitations, gaps and Cefas role». Centre for Environment, Fisheries & Aquaculture Science.
- Chapman, A., Stévant, P., Schipper, J., Kråkås, Ø., Aspøy, B. og Stavland, A. (2014). «Markedsvurdering for bærekraftig algedyrking i integrert multitrofisk akvakultur (IMTA)-anlegg». Rapport MA 14/15. Møreforskning.

- Chapman, A., Stévant, P. og Larsen, W. E. (2015). «*Potensial for makroalger som mat i en nordisk sammenheng*». Rapport. Møreforskning.
- Chapman, A. (2016). «*Promac: Med tang og tare på menyen*» i «*Riss 2016 – The Times They Are a-Changin'*». pp. 28-31.
- Dalen, M. (2013) «*Akvakultur av tare og IMTA – Fiskeri- og kystdepartementets rolle*». Presentasjon for Norsk Algeforening.
- Dalen, M. (2016). *Akvakultur av makroalger – regelverk, status og nasjonalt fokus*». Nærings- og fiskeridepartementet. Presentasjon under Dialogseminar – Marin Bioøkonomi; tang og tare vår nye næring i havrommet. Kristiansund. 19.10.2016.
- Demunshi, Y. og Chugh, A. (2009). «Patenting trends in marine bio-prospecting based pharmaceutical sector». *Journal of Intellectual Property Rights*. Vol 14. pp. 122-130.
- Dillehay, T. D., Ramirez, C., Pino, M., Collins, M. B., Rossen, J. og Pino-Navarro, J. D. (2008). «Monte Verde: Seaweed, food, medicine, and the peopling of South America». *Science*. Vol 320. pp. 784-786.
- FAO. (2016). «*The State of the Worlds Fisheries and Aquaculture*». Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome.
- Fiskeridirektoratet. (2016). «*Akvakulturstatistikk (Tidsserier): Alger*». Hentet 19.04.2017.
<http://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Alger>
- Fiskeridirektoratet. (2017a). «*Akvakulturregisteret*». Hentet 15.04.2017.
<http://www.fiskeridir.no/content/download/7499/94172/version/159/file/Akvakulturregisteret.xlsx>
- Fiskeridirektoratet. (2017b). «*Yggdrasil akvakultur*». Fiskeridirektoratets kart for akvakultur. Innstilt for produksjonslokaliteter med konsesjon til Fôr/konsum og alger tidlig fase.
<https://kart.fiskeridir.no>
- Frøya Tare As. (2017). «*Butikk*». Hentet 15.03.2017.
<http://froyatare.no/butikk/>
- Guiry, M. D. R. (2017a). «*Carrageenans*». The Seaweed Site. Hentet 02.04.2017.
http://www.seaweed.ie/uses_general/carrageenans.php
- Guiry, M. D. R. (2017b). «*Agars*». The Seaweed Site. Hentet 03.04.2017.
http://www.seaweed.ie/uses_general/agars.php

- Hafting, J. T., Craigie, J. S., Stengel, D. B., Loureiro, R. R., Buschmann, A. H., Yarish, C. og Critchley, A. T. (2015a). «Prospects and Challenges for Industrial Production of Seaweed Bioactives». *Journal of Phycology*. Vol 51. pp. 821-837.
- Hafting, J. T., Cornish, M. L., Deveau, A. og Critchley, A. T. (2015b). «*Marine Algae: Gathered Resource to Global Food Industry*». The Algal World. Springer Books. pp. 403-428.
- Handå, A., Forbord, S., Broch, O. J., Richardsen, R., Skjermo, J. og Reitan, K. I. (2009). «*Utredning om dyrking og anvendelse av tare, med spesiell fokus på bioenergi i nordområdene*». Rapport. SINTEF Fiskeri og havbruk AS.
- Hallenstvedt, A. (2013). «*Skalldyroppdrett*». Store Norske Leksikon. Hentet 25.02.2017.
<https://snl.no/skalldyroppdrett>
- Hanssen, T. M. (2016). «*Bør kunne 20-doble produksjonen av tang og tare*». Forskning.no. Hentet 25.02.2017.
<http://forskning.no/hav-og-fiske-oppdrett/2016/04/bor-kunne-20-doble-produksjonen-av-tang-og-tare>
- Henrekson, M. (2007). «*Entrepreneurship and institutions*». Stockholm: Research Institute of Industrial Economics. IFN Working Paper No. 707.
- Holdt, S. L. og Kraan, S. (2011). «Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation». *Journal of Applied Phycology*. 23:543-597
- Hortimare. (2017). «*Hortimare Varieties & Plantlets*». Tilsendt Bedriftsbrosjyre.
- Hovland, W., A., H., Hersoug, A., Kolle, N. og Møller, D. (2014). «*Norges Fiskeri- og Kysthistorie*». Vol 5. Fagbokforlaget.
- IBNN. (2016). «*SIG Seaweed*». Industrial Biotech Network-Norway. Hentet 22.04.2017.
<http://indbiotech.no/content/sig-seaweed>
- Iersel, S., Gamba, V. L., Rossi, A., Alberici S., Dehue B., Staaij J. V. D. og Flammini A. (2009). «*Algae-Based biofuels. A review of challenges and opportunities for developing countries*». ECOFYS, GBEP & FAO.
- Indergaard, M. og Jensen, A. (1991). «*Utnyttelse av marin biomasse*». NTH. Trondheim. pp. 77-92.
- Indergaard, M. (2011). «*Tang og tare - i hovedsak norske brunalger: Forekomster, forskning og anvendelse*». Rapport/avhandling. NTNU.

- Intrafish. (2017). «Eksportverdien for laks og ørret økte med 31 prosent i 2016». Hentet 22.02.2017. Intrafish Media.
<http://www.intrafish.no/pressemeldinger/1203362/eksportverdien-for-laks-og-orret-okte-med-31-prosent-i-2016>
- Jha, R. K. og Zi-Rong, X. (2004). «Biomedical compounds from marine organisms». *Marine Drugs*. Vol 2. pp. 123-146.
- Karlsen, Ø. og van der Meeren, T. (2009). «Oppdrett av torsk». Havforskningsinstituttet. Temasider. Hentet 23.02.2017.
http://www.imr.no/temasider/akvakultur/torskeoppdrett/oppdrett_av_torsk/nb-no
- Kılınç, B., Cirik, S., Turan, G., Tekogul, H. og Koru, E. (2013). «Seaweeds for Food and Industrial Applications» i «Food Industry». pp.735-748.
- Kulshreshtha, G., Burlot, A.-S., Marty, C., Critchley, A., Hafting, J., Bedoux, G., Bourgougnon, N. og Prithiviraj, B. (2015). «Enzymeassisted extraction of bioactive material from *Chondrus crispus* and *Codium fragile* and its effect on Herpes simplex virus (HSV-1)». *Marine Drugs* Vol 13. pp. 558–580.
- Kulshreshtha, G., Rathgerber, B., Stratton, G., Thomas, N., Evans, F., Critchley, A., Hafting, J. og Prithiviraj, B. (2014). «Feed supplementation with red seaweeds, *Chondrus crispus* and *Sarcodithea gaudichaudii*, affects performance, egg quality, and gut microbiota of layer hens». *Poultry Science*. Vol 93 pp. 1–11.
- Kvilhaug, O. D. (2015). «Deltakelse i høsting av tang og tare». Høringsuttale fra FMC Biopolymer AS til Det Kongelige Nærings- og Fiskeridepartement. Hentet 02.05.2017.
<https://www.regjeringen.no/no/dokument/dep/nfd/horinger/horingsdokumenter/2015/horing---deltakelse-i-hosting-av-tang-og-tare/Download/?vedleggId=24e2567c-586b-49f6-bc17-9017ca4d9ea0>
- Lewis, J., Salam, F., Slack, N., Winton, M. og Hobson, L. (2011). «Product options for the processing of marine macro-algae – Summary Report». The Crown Estate.
- MacArtain, P., Gill, C. I., Brooks, M., Campbell, R. og Rowland, I. R. (2007). «Nutritional value of edible seaweeds». *Nutrition Reviews*. Vol 65. pp. 535-543.
- Marchal, V., Dellink, R., van Vuuren, D., Clapp, C., Château, J., Lanzi, E., Magné, B. og van Vliet, J. (2011). «OECD Environmental Outlook to 2050. Chapter 3: Climate Change». Pre-release version. OECD.

- McHugh, D. J. (2003). «*A guide to the seaweed industry*». FAO Fisheries Technical Paper.
- Meland, M., og Rebours, C. (2012a). «*The Norwegian Seaweed Industry*». Netalgae. Olafsen, T., Winther, U., Olsen, Y. og Skjermo, J. (2012). «*Verdiskaping basert på produktive hav i 2050*». Rapport fra en arbeidsgruppe oppnevnt av Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab (DKNVS) og Norges Tekniske Vitenskapsakademi (NTVA), 77.
- Meland, M., og Rebours, C. (2012b). «*Introduction to the management and regulation of the Norwegian seaweed industry*». Bioforsk Fokus (2). pp. 278-279
- Mikkelsen, S. (2017). «*Studenter lager øl og knekkebrød av tare*». Universitetsavisa. Hentet 15.03.17. <http://www.universitetsavisa.no/student/2017/03/06/Studenter-lager-%C3%B8l-og-knekkebr%C3%B8d-av-tare-64443.ece>
- Mouritsen, O. G. (2013). «*Seaweeds: edible, available and sustainable*». The University of Chicago Press.
- Murphy, C., Hotchkiss, S., Worthington, J. og McKeown, S. R. (2014). «The potential of seaweed as a source of drugs for use in cancer chemotherapy». *Journal of Applied Phycology*. 26:2211–64.
- Mørkøre, T., Ytrestøyl, T., Ruyter, B., Torstensen, B. E. og Thomassen, M. S. (2014). «*Kvalitetsaspekter hos laks som matvare ved endret fettsyresammensetning*». Rapport Nofima.
- Nayar, S. og Bott, K. (2014). «Current Status of Global Cultivated Seaweed Production and Markets». *World Aquaculture*. Vol 45. pp. 32-37.
- NetAlgae. (2017). «*NetAlgae Project & Network*». Hentet 23.04.2017. <http://www.netalgae.eu/netalgae-project.php>
- Norges Vel. (2017). «*Alger – Vi vil skape en ny og viktig kystnæring*». Hentet 22.04.2017. <http://www.norgesvel.no/alger-som-naering-i-norge.300952.no.html>
- Norsk Algeforening. (2017). «*Velkommen til Norsk Algeforening!*». Hentet 22.04.2017. <http://www.norskalgeforening.no>
- Oterhals, S. W. (2016). «*Tørketeknologi og logistikk for marint råstoff*» Innlegg på Workshop Tørkehotell for marint råstoff.
- Patarra, R.F., Paiva, L., Neto, A.I., Lima, E. og Baptista J. (2011). «Nutritional value of selected macroalgae». *Journal of Applied Phycology*. 23:205-208.

- Pedersen, M.F., Nejrup, L.B., Fredriksen, S., Christie, H. og Norderhaug, K.M. (2012). «Effects of wave exposure on population structure, demography, biomass and productivity of the kelp *Laminaria hyperborea*». *Marine Ecology Progress Series*. Vol 451. pp. 45-60
- Pethon, P. (2012). «Kveite». Store Norske Leksikon. Hentet 25.02.2017.
<https://snl.no/kveite>
- PROMAC. (2015a). «About PROMAC» Hentet 23.04.2017.
<http://promac.no/about-the-project/>
- PROMAC. (2015b). «Work Packages». Hentet 23.04.2017.
<http://promac.no/work-packages/>
- Pucci Foods. (2014). «A new seaweed-based feed promises a better future for salmon aquaculture». Hentet 15.03.2017. <http://puccifoods.com/pucciseafood-new/blog/seaweed-farmed-salmon-new-seaweed-based-feed-promises-better-future-salmon-aquaculture/>
- Radulovich, R. og Reddy, C. R. K. (2015). «Farming of Seaweeds 2015». Kapittel i: Tiwari, B. og Troy, D. «Seaweed Sustainability Food and Non-Food Applications». Elsevier. pp. 27-59.
- Reddy, N. og Yang, Y. (2015). «Innovative Biofibers from Renewable Resources». Springer Heidelberg, Berlin. pp. 127-130
- Regjeringen. (2017). «Ny vekst, stolt historie. Regjeringens havstrategi». Rapport. Nærings og fiskeridepartementet & Olje og energidepartementet. Hentet 03.03.2017.
https://www.regjeringen.no/contentassets/0942063f7496484090ecf0c32e80221c/nfd_havstrategi_uu.pdf
- Rhatigan, P. (2010). «The Irish Seaweed Kitchen». Booklink. pp.288.
- Ringdal, K. (2000). «Enhet og mangfold». Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS. Bergen
- Sabol, A., Šander, M. og Fučkan, Đ. (2013). «The Concept of Industry Life Cycle and Development of Business Strategies». Active Citizenship by Knowledge Management & Innovation: Proceedings of the Management, Knowledge and Learning International Conference, pp. 635–642
- Sahoo, D. og Yarish, C. (2005). «Mariculture of Seaweeds». Chapter 15 in Anderson, R (2005). «Algal Cultivating Techniques». Elsevier Academic Press.

- Saunders, M., Lewis, P. og Thornhill, A. (2012). «*Research methods for business students*». 6th ed. Pearson Education Limited, Essex.
- Seaweed Energy Solutions. (2010). «*SES Patents First Mass-Scale Seaweed Cultivation Structure*». Hentet 17.04.2017. <http://www.seaweedenergysolutions.com/en/news/ses-patents-first-mass-scale-seaweed-cultivation-structure>
- Singh, A., Nigam, P.S. og Murphy, J. D. (2011). «Renewable fuels from algae: An answer to debatele land based fuels». *Bioresource Technology*. Vol 102. pp. 10-16.
- SINTEF. (2015). «*About PROMAC*». Hentet 23.04.2017. <http://www.sintef.no/prosjekter/promac>
- SINTEF. (2017). «*Norsk senter for tan- og tareteknologi*». Hentet 23.04.2017. <http://www.sintef.no/ocean/satsinger/norsk-senter-for-tang-og-tareteknologi/#/>
- Sjømat Norge. (2012). «*Norsk Havbruk*». Fiskeri- og havbruksnæringens landsforening og Eksportutvalget for fisk. Hentet 23.02.2017. http://sjomatnorge.no/wp-content/uploads/2014/04/eff_fhl_komplett_lowres.pdf
- Skipping Rocks Lab. (2017). «*Ooho!*» Hentet 16.03.2017. <http://www.skippingrockslab.com/ooho!.html>
- 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., Steinhovden, K. B., Wittgens, B., Wolff, R. og Handå, A. (2014). «*A new Norwegian bioeconomy based on cultivation and processing of seaweeds: Opportunities and R&D needs*». Rapport. SINTEF Fiskeri og Havbruk AS.
- Skjermo, J. (2016). «*Havet som ressurs – fremtidig potensiale i dyrking av tang og tare*». Universitetsforlaget AS. Praktisk Økonomi & Finans. Vol 3. pp. 265-273
- Skolbekken, J-A., Sogne-Møller, V., Ruyter, K. og Hovland, B. I. (2009). «*Veiledning for forskningsetisk og vitenskapelig vurdering av kvalitative forskningsprosjekt innen medisin og helsefag*». De nasjonale forskningsetiske komiteer.
- Statistisk Sentralbyrå. (2016). «*Akvakultur. Salg av slaktet matfisk, etter fiskeslag (F)*». Hentet 25.02.2017. <https://www.ssb.no/statistikkbanken/SelectVarVal/Define.asp?MainTable=Akvakultur04&KortNavnWeb=fiskeoppdrett&PLanguage=0&checked=true>

- Steen, H. (2009). «*Tang og tare*». Havforskningsinstituttet. Temasider. Hentet 05.03.2017
https://www.imr.no/temasider/alger/tang_og_tare/nn-no
- Stengel, D. B., Connan, S. og Popper, Z. A. (2011). «Algal chemodiversity and bioactivity: sources of natural variability and implications for commercial application». *Biotechnology Advances*. Vol 29. pp. 483-501.
- Stévant, P., Emblemsvåg, M., Walde, P. M., Sandvik, R., Chapman, A. og Velle, L. G. (2015). «*Kartlegging av kunnskap for tørking av makroalger*». Arbeidsrapport MA 15-10. Møreforskning.
- Stévant, P., Rebours, C. og Chapman, A. (2017). «*Seaweed aquaculture in Norway: recent industrial developments and future perspectives*». Springerlink.
- Store Norske Leksikon. (2016a). «*Karragenan*». Hentet 02.04.2017.
<https://snl.no/karragenan>
- Store Norske Leksikon. (2016). «*Agarose*» Hentet 03.04.2017.
<https://snl.no/agarose>
- Teas, J., Hurley, T. G., Hebert, J. R., Franke, A. A., Sepkovic, D. W. og Kurzer, M. S. (2009). «Dietary seaweed modifies estrogen and phytoestrogen metabolism in healthy postmenopausal women». *Journal of Nutrition*. Vol 139. pp. 939–944.
- Teas, J., Vena, S., Cone, D. L. og Irhimeh, M. (2013) «The consumption of seaweed as a protective factor in the etiology of breast cancer: Proof of principle». *Journal of Applied Phycology*. Vol 25 pp. 771-779.
- Thagaard, T. (1998). «*Systematikk og innlevelse. En innføring i kvalitativ metode*». Bergen: Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS.
- The Fish Site. (2013). «*The Use of Algae in Fish Feeds as Alternatives to Fishmeal*». Hentet 15.03.2017. <http://www.thefishsite.com/articles/1767/the-use-of-algae-in-fish-feeds-as-alternatives-to-fishmeal/>
- The Nordic Company As. (2017). «*Fremtidens mat*». Hentet 14.03.2017.
<http://www.fremtidensmat.no/>
- Titlyanov, E. A. og Titlyanova, T. V. (2010). «Seaweed Cultivation: Methods and Problems». *Russian Journal of Marine Biology*. Vol 36. pp. 227-242.

- Van den Burg, S., Stuiver, M., Veenstra, F., Bikker, p., Contreras, A. L., Palstra, A., Broeze, J., Jansen, H., Jak, R., Gerritsen, A., Harmsen, P., Kals, J., Blanco, A., Brandenburg, W., van Krimpen, M., van Duijn, A. P., Mulder, W. og van Raamsdonk, L. (2013). «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.
- Van Hal, J. W., Huijgen, W. J. J. og Lopez-Contreras. (2014). «Opportunities and challenges for seaweed in the biobased economy». *Science and Society*. Vol 32. pp. 231-233.
- Wang, X., Olsen, L. M., Reitan, K. I. og Olsen, Y. (2012). «Discharge of nutrient wates from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture». *Aquaculture Environment Interactions*. Vol 2. pp. 267-283.
- Ytrøy, E. H. (2008). «Blue mussel farming – a comparison of the Norwegian and the Canadian Industries». Masteroppgave i fiskerivitenskap. Norges Fiskerihøgskole.