

Dyrking av makroalger



- ET HAV AV MULIGHETER -

Bellona Arbeidsnotat (Aug. 2009)
Marius Dalen

INNLEDNING

Dyrking av tang og tare til industriell utnyttelse har et stort potensial i Norge. Globalt har produksjonen av slike makroalger passert 14 millioner tonn. Norsk utnyttelse av disse ressursene i dag er basert på høsting av naturlige bestander i taeskokogene på kyststrekningen fra Rogaland til Sør-Trøndelag. Taeskokogene er viktige marine økosystem og økt uttak fra disse ressursene er ikke å anbefale. Bygging av ny industri knyttet til makroalger forutsetter derfor at det etableres oppdrett av aktuelle tang- og tare arter. Norges store kyst- og havområder samt erfaring og kompetanse fra oppdretts- og offshoreindustrien gir Norge gode muligheter for å lykkes.

Makroalger benyttes til en rekke formål i dag. I hovedsak er dette knyttet direkte til konsum eller som tilsetning i matvareindustrien. For Bellona er det bruk som bidrar til å løse ulike miljøutfordringer som er av spesiell interesse:

1. Produksjon av karbonnøytralt biodrivstoff uten å fortrenge matproduksjon fra dyrkbar jord.
2. Bruk av biomasse til karbonnegativ kraftproduksjon (biomasse som brensel i kraftverk med CO₂-håndtering)
3. Bruk av makroalger til å "rense" fjordområder ved å utnytte overskuddsnæring/utslipp fra fiskeoppdrett.
4. Makroalger som råvare inn i produksjon av bærekraftig fiskefôr.

Formålet med denne rapporten er å vise mulighetene og utfordringene knyttet til dyrking av makroalger. Rapporten gir et overblikk over status for situasjonen frem til i dag, forskning innen områdene som er av spesiell interesse for Bellona og vurderinger knyttet til Norges muligheter for industriell dyrking og utnyttelse av makroalger.

Rapporten inngår i Bellonas arbeid med utnyttelse av alger, både mikro og makro, og vil således bli et fundament i det videre arbeidet for å vise hvordan et fokus på alger kan bidra til å løse aktuelle miljøutfordringer.

INNHOLDSFORTEGNELSE

INNLEDNING	3
INNHOLDSFORTEGNELSE	5
SAMMENDRAG	7
KAPITTEL 1 – MAKROALGER	9
PRODUKTIVE TAREPLANTER	10
TEMPERATURAVHENGIGHET	10
NÆRINGSINNHold I ULIKE ARTER MAKROALGER	10
KAPITTEL 2 – PRODUKSJON AV MAKROALGER GLOBALT	13
KAPITTEL 3 – METODER FOR DYRKING AV MAKROALGER	15
PRODUKSJON AV SPOREPLANTER	15
HORISONTALE LINER I SJØEN	15
TAREPRODUKSJON PÅ RINGSYSTEMER	17
DYRKING AV MAKROALGER PÅ VERTIKALE LINER I SJØEN	18
DYRKING AV MAKROALGER I ÅPENT HAV	19
KAPITTEL 4 – NÆRINGSTILGANG FOR MAKROALGEPRODUKSJON	21
KAPITTEL 5 - BRUKSOMRÅDER FOR MAKROALGER	23
MAKROALGER TIL ENERGIFORMÅL	23
PRODUKSJON AV BIOBRENSSEL	24
BIOMASSE TIL ENERGIPRODUKSJON	25
UTNYTTELSE AV BIOMASSE I ENERGIPRODUKSJON	28
UTNYTTELSE AV MAKROALGER INNEN HAVBRUK	29
MAKROALGER TIL ”RENSING” AV OVERSKUDDSNÆRING FRA FISKEOPPDRETT	30
MAKROALGER SOM RÅSTOFF I PRODUKSJON AV FISKEFÔR	32
ANNEN ANVENDELSE AV MAKROALGER	33
MAKROALGER TIL KONSUM	33
PRODUKSJON AV FYKOKOLLOIDER	33
BIOTEKNOLOGI OG MEDISIN	34
JORDFORBEDRINGEMIDDEL	34

KAPITTEL 6 - POTENSIALET FOR NORGE	35
FORTRINN FOR NORSK SATSING PÅ MAKROALGER	35
KOMPETANSE	35
TILGANG PÅ SPILLVARME	35
UTNYTTE INFRASTRUKTUR TIL HAVS	35
LANG KYSTLINJE OG STORE SJØAREALER	36
AKTUELLE ARTER FOR TAREDYR KING I NORGE	36
KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER	37
REFERANSER:	39

SAMMENDRAG

Potensialet for dyrking av marin biomasse i Norge er stort. Både naturgitte forutsetninger og eksisterende kompetanse taler for at en slik satsing kan lykkes. Dette vil imidlertid kreve en aktiv og målrettet innsats. Utvikling av dyrkingskonsepter og optimalisering av foredlingsprosesser vil kreve kompetanse fra en rekke næringer og faggrener. For å sikre progresjon i dette viktige arbeidet mener Bellona at det må:

- Etableres et nasjonalt forskningssenter for produksjon av alger.
- Etableres et eget forskningsprogram under Forskningsrådet for produksjon av alger.

Utvikling av en marin biomasseproduksjon til energiformål kan etablere en langsiktig ny næring basert på bærekraftige prinsipper. Dyrking i kystnære områder kan etableres innen relativt kort tid. Dette vil gi viktig input til videre satsing. Storstilt dyrking i åpent hav, hvor det virkelig store potensialet ligger, vil kreve en betydelig forsknings- og utviklingsinnsats.

Med tilgang på energi fra sola og næringsstoffer binder biomasse karbondioksid fra omgivelsene når den vokser. Dette gjelder både skog på land og alger i sjøen. Ved å bytte ut fossile energikilder med biomasse innen transport, oppvarming, industri og produksjon av elektrisitet, kan vi gjøre slik aktivitet karbonnøytral, det vil si å ikke bidra til netto utslipp av klimagasser.

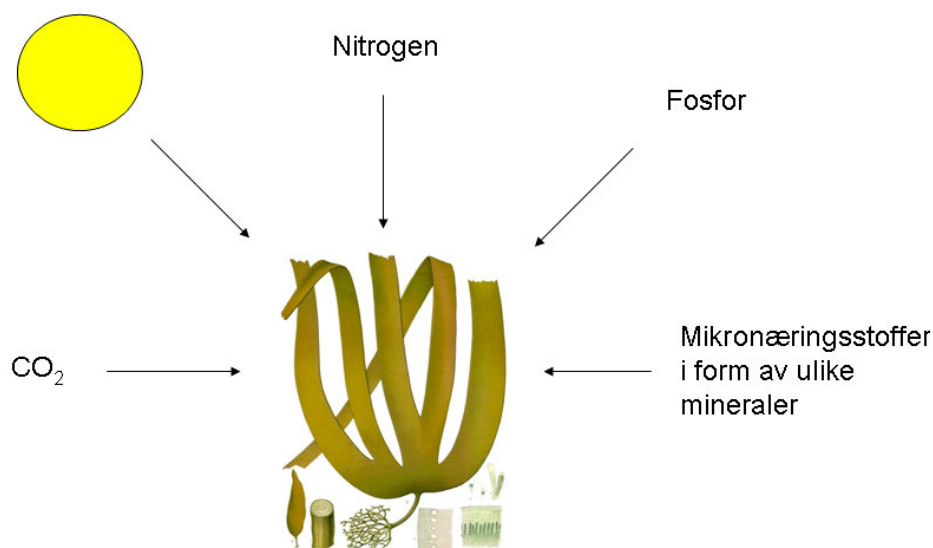
Det er en utfordring for verden å skaffe til veie nok biomasse for å oppnå et karbonnøytralt samfunn. På land vil for eksempel ønsket om mer biomasse til energiformål ofte komme i konflikt både med matproduksjon og bevaring av viktige regnskogsområder. Et betydningsfullt bidrag til denne utfordringen vil være å identifisere og utforske areal og muligheter biomasseproduksjon som ikke går på bekostning av dyrkbar matjord eller viktige biotoper på land.

Dyrking av makroalger på et sjøareal tilsvarende et hektar binder til seg i underkant av 9 tonn karbon. Av dette kan man produsere 7.500 liter bioetanol.

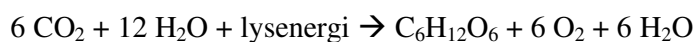
KAPITTEL 1 – MAKROALGER

Den dominerende plantegruppa i havet er alger. Algene utgjør faktisk størstedelen av jordens biomasse. Vi har to hovedgrupper med alger: planteplankton og makroalger. Planktonalger er encellet og lever i de frie vannmassene mens makroalger har en flercellet oppbygging og vokser på fast substrat fra fjæresonen og nedover i sjøsonen. Hvor dypt ned de vokser er avhengig av hvor klart vannet er og dermed lysgjennomtrengningen ned i vannmassene. I våre ytre kyststrøk med klart vann kan tare vokse ned til 30-35 meters dyp, og noen rødalger kan vokse enda dypere.

For at makroalger som tare skal vokse må visse betingelser oppfylles. Som andre fotosyntiserende planter trenger de lys, CO₂, nitrogen, fosfor og mikronæringsstoff som ulike vitaminer og mineraler. I sjøvann finnes CO₂ i oppløst form, og de fleste makroalger tar opp CO₂ i form av HCO₃⁻ ioner. I et tonn *Laminaria spp.* (Stortare, sukkertare m.m) er det bundet mellom 25 – 79 kg karbon og 2,5 – 6,2 kg nitrogen (SINTEF, 2008).



Fotosyntesen er en biokjemisk prosess der lysenergi blir omdannet til kjemisk energi. Ordet kommer av de greske ordene *photos*, som betyr lys, og *synthesis*, som betyr å sette sammen. Energien fra sollyset blir brukt til å omdanne karbondioksid (CO₂) og vann (H₂O) til glukose (C₆H₁₂O₆) og oksygen (O₂).



Omforminga av lysenergi til kjemisk energi skjer ved at lysenergien blir fanget opp av pigmenter i plantene. Ut i fra pigmentsammensetning deles makroalgene inn i de tre hovedklassene; grønnalger, brunalger og rødalger. I Norge har vi ca. 480 arter marine makroalger, av disse er ca. 205 rødalger, 175 brunalger og 100 grønnalger. Globalt er det en 4.500 – 10.000 rødalger og 1500 brunalger, der over 90 % er marine. Grønnalger holder for det meste til i ferskvann. Mer enn 100 algearter blir utnyttet kommersielt, men hovedmengden utgjøres av kun 5-10 arter.

Produktive tareplanter

Tareplanter vokser svært raskt under riktige betingelser. I forsøk utført av SINTEF fiskeri og havbruk ved Tjeldbergodden oppnådde tareplantene en vekst på opptil 2 cm om dagen (SINTEF 2009). Det er denne produktiviteten som gjør makroalger så interessante med tanke på å dyrke mye biomasse på kort tid.

Temperaturavhengighet

Den geografiske utbredelsen av makroalger i verden er hovedsakelig bestemt av sjøvannstemperaturer. Makroalger er ikke tilpasset raske endringer i temperaturen slik landplanter er. Klimaendringer med påfølgende økning i vanntemperaturer vil sannsynligvis føre til store endringer i utbredelsen av marine arter.

Butare er den mest temperaturfølsomme tarearten i Norge og dør ved temperaturer over 16-17 grader celsius. I forsøk med sukkertare hvor temperaturen varierte mellom 18,5 – 22 grader døde 10 av 12 planter i løpet av en periode på fire uker. Draughtare tåler temperaturer mellom 5 og 25 grader (Husa et al., 2007). Ved utvelgelse av art og område for dyrking av makroalger må temperaturtoleranse til valgte art og prognoser for temperaturøkning være viktige utvelgelseskriterier.

Næringsinnhold i ulike arter makroalger

Tang og tare inneholder en rekke næringsstoffer og forbindelser som gjør dem interessante for til industriell utnyttelse. Tabellen nedenfor er utarbeidet i en dansk studie (Løvstad Holdt, 2009) og gir en oversikt over innhold av proteiner, fett, karbohydrater, mineraler og vitaminer i ulike arter av makroalger som også er interessante for dyrking i Norge.

	<i>Palmaria palmata</i>	<i>Undaria pinnatifida</i>	<i>Laminaria spp.</i>	<i>Ulva spp.</i>	<i>Porphyra spp.</i>	Reference
Proteins (g/100g dw)	8,0-45					J
(crude)	45	18	6,8		29	a+b
	21		16	29	44	d+k
		12	7,4		33	G
Fats (g/100g dw)		4	1,0		2,1	B
	0,2-3,8					J
	1,7		0,5	0,5	0,7	d+k
PUFA-omega 3		2,4	2,5		1,6	G
Carbohydrates or dietary fibre (g/100g dw)	34	46	36	61	49	a+b+l
(carbohyd: dietary + crude fibres)	45	443			41	c+k
Crude fibres			7,7	3	1,1	d+k
		2,0	5,8		1,7	G
Calorific value (MJ/kg)			13	16	18	D
Mineral (mg/100g dw)						
Na (sodium)	1700-2500	1600-7000	900-6000	900-5900		e+k
		7060	3820		3630	F
		3490	1030		270	G
K (potassium)	7000-9000	5500-6300	1300-10600	730-1030		e+k
		8700	11580		3500	F
		200	394		2020	g

P (phosphorus)	360	200-600	150-800	90-270		e+k
	408	190	190		330	g+k
Ca (calcium)	213		73	54	20	d+k
	560-1200	1100-3000	500-3000	860-5600		e+k
		930	1000		390	f
		600			397	g
Mg (magnesium)	170-500	1000-3000	500-2000	2000-5200		e+k
		1180	660		570	f
		430	540		11	g
Fe (iron)	15-140	8,0-40	4,0-80	6-100		e+k
		7,6	3,3		10	f
		9,0	13		10	g
I (iodine)	10-100	25,00	200-1000	2,0-25		e
Vitamin (mg/100g dw)						
Vitamin A			140-810	590-1500		h+i
Thiamin (B1)	0,073	0,24	0,22		0,56	g+k
				0,08		i
Riboflavin (B2)	1,91	0,92	0,66		2,5	g+k
				0,57		i
Vitamin B6	8,9	0,01	0,01		11,2	g+k
Vitamin B12	6,6				0,9	g+k
Citamin C		12	13		221	g
	6,3			12,00		i+k
Vitamin D						
Vitamin E		4,0			5,7	g

a: (Lahaye et al. 1993), b: (Dawczynski et al. 2007), c: (Plaza et al. 2008), d: *Laminaria digitata*, (Marshall et al. 2007),

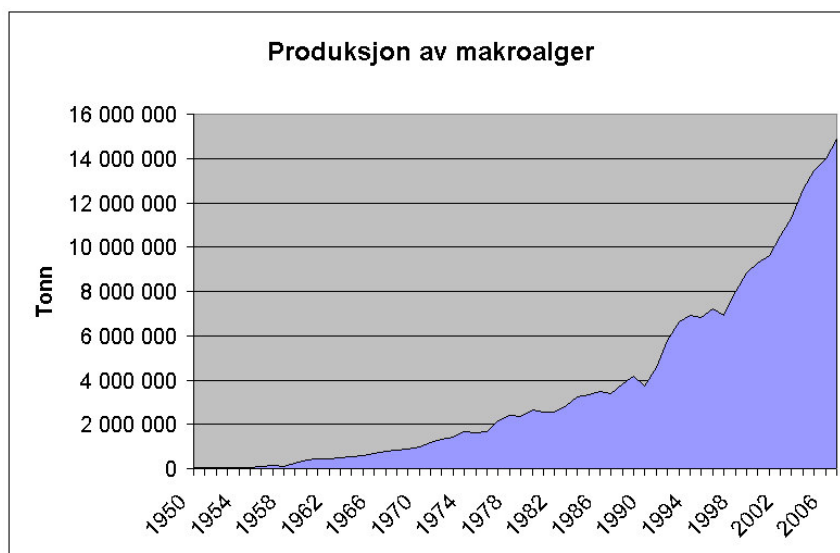
e: (Mabeau and Fleurence 1993), f: *Porphyra tenera* (Rupérez 2002),

g: *Undaria* spp. and *Porphyra laciniata*, figures calculated from wet weight to dry weight (The Titi Tudorancea Bulletin 2009),

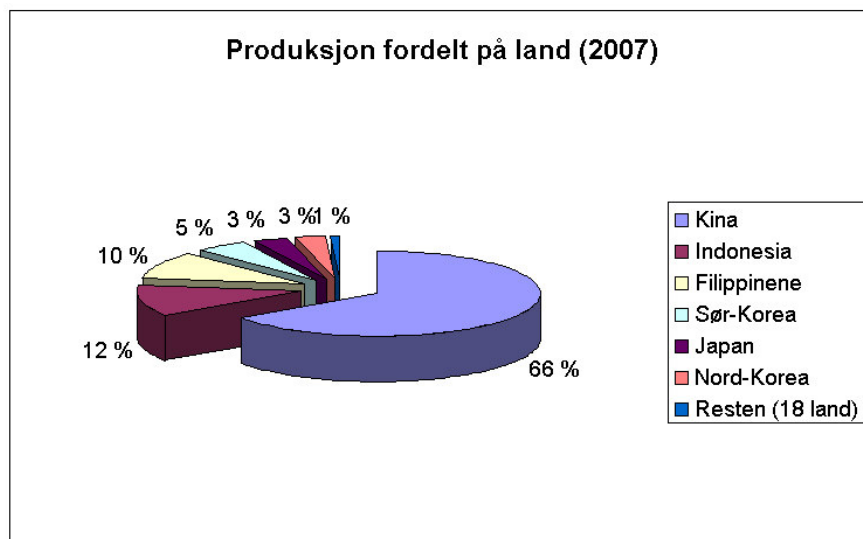
h: (Darcy-Vrillon 1993), i: reference in (Nisizawa 1987), j: (Morgan et al. 1980), k: (Envirohealthtech, 2009), l: (Ortiz et al. 2006).

Kapittel 2 – Produksjon av makroalger globalt

Det produseres store mengder makroalger som utnyttes til en rekke formål i verden i dag. Produksjonen er størst i Asia hvor man har lange tradisjoner for å benytte ulike tang- og tarearter til mat. I 2007 ble det dyrket nesten 15 millioner tonn makroalger på verdensbasis.



Om lag 90 % av makroalgene som utnyttes kommer fra oppdrett. De resterende 10 % kommer fra høsting av naturlige bestander med makroalger. I Norge høstes det 150.000 tonn stortare årlig som går til produksjon av alginat. Eksportverdien for stortare og grisetang fra Norge ligger på cirka en halv milliard kroner årlig (Steen 2009). Oppdrett av makroalger er som mye annen oppdrett i sterk vekst. Asia, med Kina på toppen, dominerer fullstendig denne statistikken. Billig arbeidskraft og lange tradisjoner knyttet til konsum og bruk av tang og tare er hovedårsakene til dette.



Kilde: FAO Fishstat

Selv om mer enn 100 arter av makroalger dyrkes kommersielt utgjøres hovedmengden av kun 5-6 arter. Størst produksjon er det av brunalgen *Laminaria japonica* som er en beslektet tareart av vår hjemlige sukkertare.

Art (engelsk navn)	Miljø	Latinsk navn	2007 (Tonn)
Japanese kelp	Marint	<i>Laminaria japonica</i>	4 613 104
Aquatic plants nei	Marint		2 337 550
Wakame	Marint	<i>Undaria pinnatifida</i>	1 765 470
Laver (nori)	Marint	<i>Porphyra tenera</i>	1 510 634
Red seaweeds	Marint		1 485 654
Zanzibar weed	Marint	<i>Eucheuma cottonii</i>	1 247 945
Warty Gracilaria	Marint	<i>Gracilaria verrucosa</i>	994 511
Red seaweeds	Brakkvann		242 821
Elkhorn sea moss	Marint	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	151 529
Fusiform sargassum	Marint	<i>Sargassum fusiforme</i>	136 260
Spiny eucheuma	Marint	<i>Eucheuma denticulatum</i>	99 105
Eucheuma seaweeds nei	Marint	<i>Eucheuma</i> spp	88 538
Spirulina nei	Ferskvann	<i>Spirulina</i> spp	66 920
Gracilaria seaweeds	Marint	<i>Gracilaria</i> spp	62 808
Andre arter			55 921
Total			14 858 770

Kilde: FAO, Fishstat dataset: Aquaculture production 1950 - 2007

nei - not elsewhere included

Det aller meste som dyrkes av makroalger i dag utnyttes enten til konsum eller som produkter som utnyttes inn i næringsmiddelindustrien og farmasøytisk industri.

Laminaria japonica finnes bare i Stillehavet men ligner på vår hjemlige sukkertare. Dette er en viktig mat-alge i Japan og blir dyrket i stor skala til produksjon av kombu og alginat i Japan og Kina.

Undaria pinnatifida er en tareart som opprinnelig hører hjemme i Japan, og er der en populær mat-alge (wakame). Imidlertid er denne arten i nyere tid blitt introdusert til Europa, og vokser nå i Middelhavet og på begge sider av den engelske kanal.

Porphyra spp. (fjærehinne) er råstoff for de populære matproduktet nori i Asia. Slekten har imidlertid en vid utbredelse og finnes både i Stillehavet og Atlanterhavet. I Norge har flere arter med fjærehinne. Den vanligste (vanlig fjærehinne) vokser langt oppe i fjæresonen på bølgeeksponerte steder.

Eucheuma spp og *Kappaphycus* spp er to slekter rødalger med uregelmessige forgreininger. De er utbredt i tropene i Stillehavet og det Indiske hav. Tre ulike arter *Eucheuma* og *Kappaphycus* er viktige i kommersiell sammenheng og blir dyrka til produksjon av karraganen.

Gracilaria spp er en artsrik slekt som er utbredt både i tempererte og tropiske strøk. Slekten består av hurtigvoksende arter med høyt innhold av agar, og som blir dyrket til agar-produksjon i land som Kina, Taiwan og Chile. Den arten som er mest vanlig i Norge er (pollris) trives best i sommervarme poller, og vokser der løstliggende på bunnen.

Kapittel 3 – Metoder for dyrking av makroalger

I Asia har man lange tradisjoner for både høsting og dyrking av makroalger. Selve dyrkingen er basert på ulike repkulturer som settes ut i sjøen. Det finnes en rekke ulike metoder hvor taren vokser på horisontale rep i overflaten, nedsenkede horisontale rep eller vertikale rep med eller uten feste i bunnen. Tare hører til de mest produktive vekster man kjenner, og i løpet av 3-4 måneders vekst i sjøen, kan de nå en lengde på 2-3 meter, og man kan høste inntil 20 kg pr. meter repkultur (Rueness et al., 2008). Dagens metoder for dyrking krever god kunnskap om makroalgenes biologi, men er relativt lite komplisert rent teknisk. Men med dagens fokus på å utnytte tang og tare til energiformål blir metodene mer teknisk krevende. Dyrkingen flyttes ut fra beskyttede kystområder hvor enkle tradisjonelle metoder har blitt tatt i bruk. Storstilte planer om industriell dyrking offshore til for eksempel biodrivstoff vil stille mye strengere krav til både prosess, logistikk og robustheten til selve anlegget.

For å lykkes med taredyrking må man beherske både innsamling og utsett av sporeplanter, dyrking i sjø og høsting av ferdig tare. I dette kapittelet presenteres noen av metodene for dyrking av makroalger samt resultater og estimater for utbytte pr. dyrket hektar og kostnader.

Produksjon av sporeplanter

Tareplanter har en livssyklus basert på to generasjoner planter; en makroskopisk og en mikroskopisk. Den store tareplanten (sporofytten) slipper sporer som vokser seg til mikroskopiske planter (gametofytter). Disse mikroskopiske trådformede plantene er enten hunner eller hanner og produserer egg og sperma som ved befruktning vokser seg til en ny stor tareplante. Ved dyrking av tare foregår den mikroskopiske fasen i et laboratorium mens den store taren dyrkes ute i sjøen.

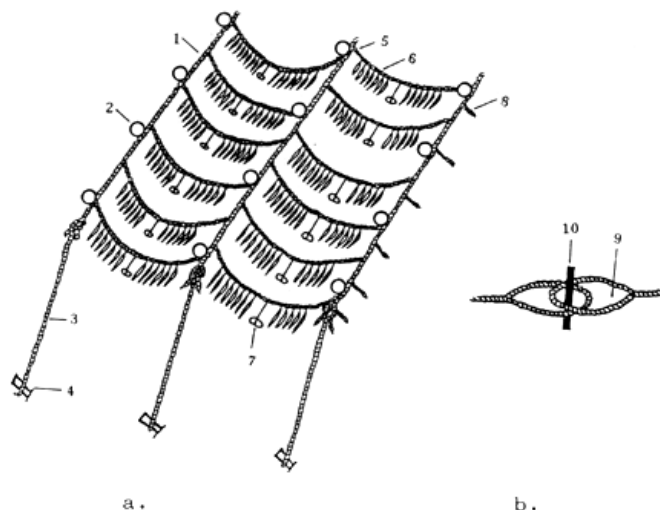
I laboratoriet prepareres en sporeløsning fra de fertile sporeplantene. Deretter overføres de til kar med sporefangere i form av tynne rep av kunstfiber som er viklet rundt rektangulære rammer eller sylindriske spoler. Sporene fester seg til repene og spirer umiddelbart til hann- eller hunnplanter. Befruktningen skjer etter 1-2 uker, og kort tid etter begynner små tarekimplanter raskt å utvikle seg. Under gunstige vekstbetingelser kan de vokse til en lengde på 1-2 cm innen 8 uker og overføres til videre vekst i dyrkingsanlegg i sjøen (Rueness et al., 2008).

Det er også mulig å satse på naturlig produksjon av sporer, befruktning og kimplanter ute i dyrkingsanlegget. Dette vil redusere behovet for kostbart og tidkrevende arbeid med produksjon i laboratorium og utplassering av nye planter i anlegget. Tomme liner plassert i sjøen sent på sommeren og høsten får naturlig tilslag av sporer fra planter i nærheten (Kelly et al., 2008)

Horisontale liner i sjøen

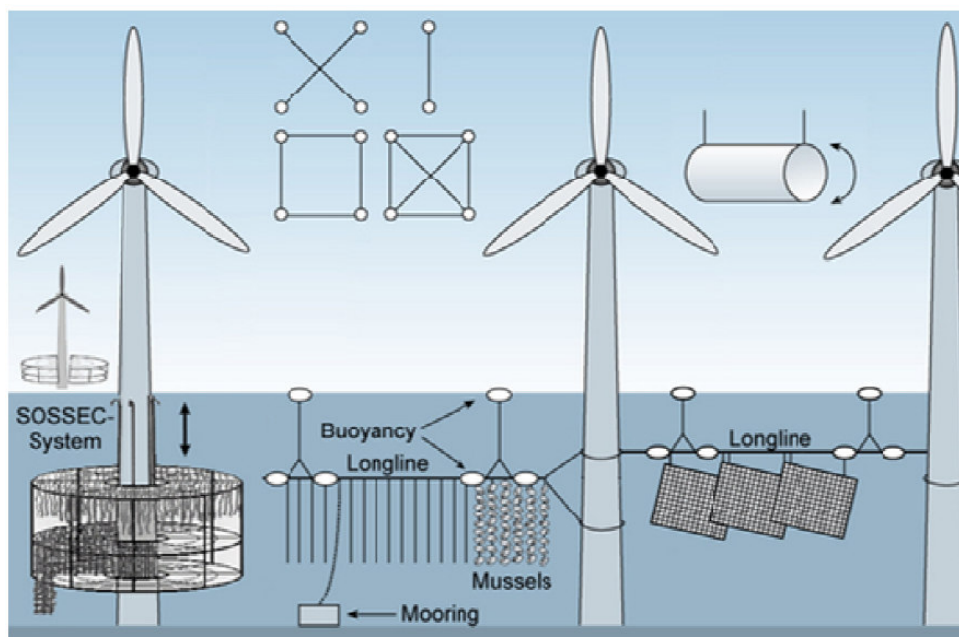
Det finnes en rekke ulike metoder for dyrking av tare på horisontale liner i sjøen. Noen har et enkelt lag mens andre kan ha flere horisontale lag under hverandre med forskjellige arter som med ulikt lysbehov. Figuren nedenfor viser et oppsett av lange liner med flottører som holder oppe repkulturer på tvers av disse. Repkulturene holdes i dette eksempelet nedsunket ved hjelp av et lodd i midten. Når det er på tide å høste taren legger man seg til med en liten båt

ved siden av repene, løfter opp repet og høster manuelt. Dette er en enkel form for produksjon som ikke har endret seg mye over tiden.



Metode for horisontal dyrking av makroalger i Kina

Denne type dyrking har stort sett vært lokalisert tett opptil land, i viker og laguner med mye tilgjengelig næring i vannmassene. Etter hvert som produksjonen har økt, har det også enkelte steder vært nødvendig i tilføre ekstra næringsstoffer til vannet for å holde produksjonen oppe. Slik dyrking er arealkrevende, og på grunn av press på kystsonen fra en rekke aktiviteter ser nye aktører nå på muligheten til å dyrke makroalger lenger ut til havs. Der kan de benytte eksisterende eller planlagt infrastruktur, som vindmøller eller plattformer, som forankringspunkt. Dette kan ha stort potensial for vindmølleparker til havs hvor det allerede legges restriksjoner på området.

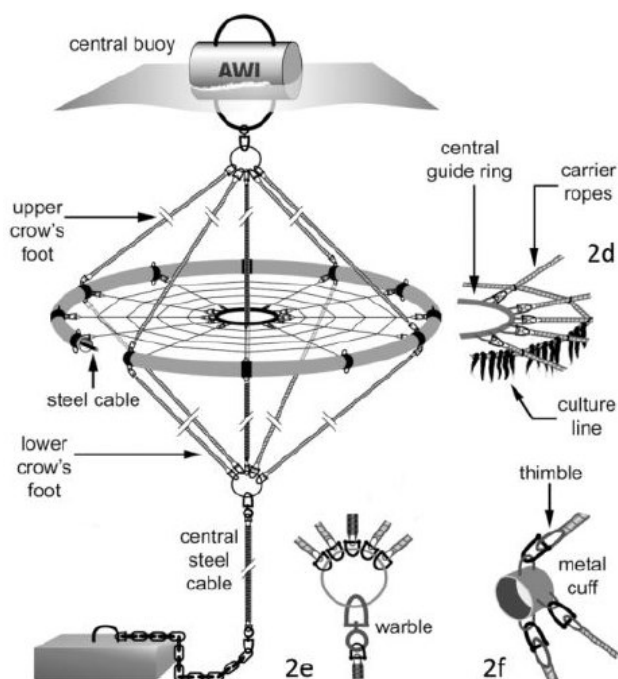


Dyrking av makroalger med vindmøller som fundament (Buck, 2004)

Ecofys (Florentinus, 2008) har i sin rapport samlet inn erfaringer fra forsøk og estimerer på utbytte fra ulike dyrkingsmetoder. I anlegg som er definert som makroalgeproduksjon på flytende horisontale liner forankret til eksisterende infrastruktur offshore, har de endt på et sannsynlig utbytte på 30 tonn tørket algemasse pr. hektar pr. år. I litteraturen har de støttet seg til flere studier. En studie anslår et utbytte på minimum 11 tonn tørket masse/ha/år som basis, men påpeker at en mer kontrollert og optimalisert test ga hele 45 tonn tørket masse/ha/år. Optimaliseringen resulterte derimot i kraftig økte kostnader og ble anslått å ikke være kommersielt interessant (Chynoweth, 2002). En annen studie anslår et høyere forventet utbytte på mellom 28 – 46 tonn tørket masse/ha/år (Carlsson et al., 2007). En nederlandsk studie (Reith et al., 2005) anslår et utbytte på 20 tonn tørket masse/ha/år for et lag horisontal dyrking uten ekstern næringstilførsel. To lags dyrking med et lag i overflaten og et nedsunket 1,5 meter med næringstilførsel, anslår de å kunne gi et utbytte på hele 50 tonn tørket masse/ha/år.

Tareproduksjon på ringsystemer

Eksperimenter på vind- og bølgeeksponerte områder langs kysten (Buck, 2006) har vist seg å gi gode resultater med tanke på biomasseutbytte. Ringene er mer robuste enn dyrking på line, som lettere kan skades som følge av dårlig vær. Et slikt system (Buck og Buchholz, 2004) bestod av en ring med 5 meter i diameter, en overflate på 19,6 m² og 80 – 100 meter tråd som substrat. Slike ringer kan festes til hverandre og/eller til sjøbunnen og kan utstyres for jevn tilførsel av ekstra næring for optimalt utbytte. Hovedutfordringen knyttet til slike systemer har vist seg å være høstingen. Håndtering og løfting for individuell høsting fra ringene er tungvint og dermed også kostbart.



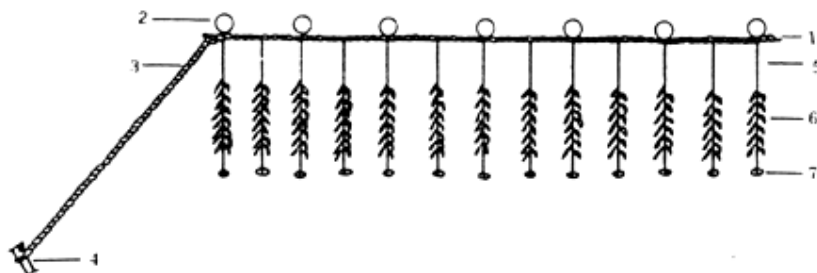
Skisse av ringsystem for dyrking av makroalger (Buck et al., 2004)

Ecofys-rapporten (Florentinus, 2008) anslår at man kan oppnå et utbytte på 30 tonn tørket masse/ha/år ved å benytte et slikt system. En studie (Reith et al, 2005) har ekstrapolert resultater fra feltforsøk og estimerer slik biomasseproduksjon i Nordsjøen til å gi et utbytte på

20 tonn tørket masse/ha/år. Ved å utnytte områder med mer næring, og eventuelt tilføre ekstra næring i midten av sirkelen, anslår de å kunne optimalisere produksjonen til 50 tonn tørket masse/ha/år.

Dyrking av makroalger på vertikale liner i sjøen

Tare dyrket på vertikale liner i sjøen kan holdes nede ved bruk av lodd (se figur) eller forankres i sjøbunnen. Denne metoden er også benyttet mye i Asia hvor man har lange tradisjoner med slik dyrking. Figuren nedenfor viser et enkelt oppsett som nok fungerer best i områder med rolige vind- og bølgeforhold.



Metoden med vertikale liner har også blitt utviklet til systemer av større dimensjoner ment for dyrking lenger ut fra kysten. Figuren nedenfor viser en skisse fra "The Ocean Sunrise project", et stortiltet makroalgedyrkingsprosjekt initiert av japanske myndigheter.



Skisse av makroalgeproduksjon på vertikale liner

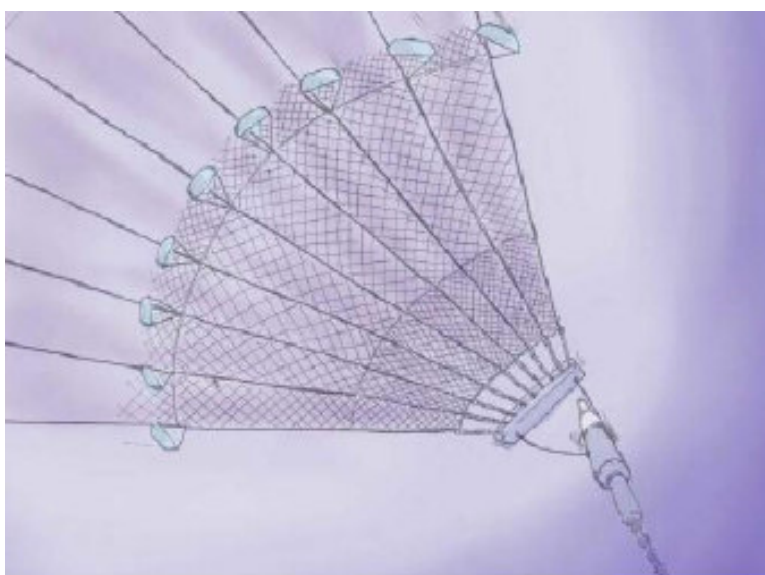
Ecofys-rapporten (Florentinus, 2008) anslår ved slik dyrking, kystnært i områder med stor menneskelig påvirkning og dermed utslipp av næringsstoffer, en produksjon på 35 tonn tørket

masse/ha/år. Tidligere nevnte studie (Reith et al., 2005) har estimert en maksimal produksjon på 50 tonn tørket masse/ha/år.

Dyrking av makroalger i åpent hav

På grunn av press på kystnære områder er det svært interessant å se på muligheten for dyrking av makroalger i åpen sjø langt fra land. For å få økonomi i en slik dyrking må det være snakk om store volumer. Store transportavstander vil sannsynligvis kreve en form for foredling av algene før transport inn til land. Dette kan utføres på spesialbygde skip eller på plattformer. Denne type produksjon ligger et stykke frem i tid, men store tilgjengelige områder gir denne metoden et enormt potensial.

I tidligere nevnte The Ocean Sunrise Project er det planlagt en storstilt satsing på denne type dyrking av makroalger til produksjon av biodrivstoff i tidsrommet frem til 2030.



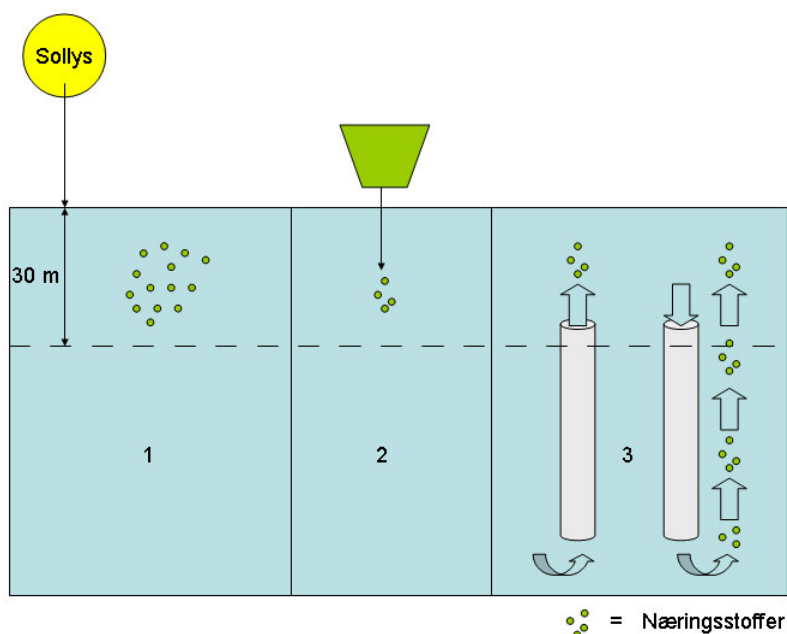
Skisse av en vifteformet offshoreenhet for makroalgeproduksjon

På tross av stort potensial har det bare vært et begrenset antall småskalaforsøk nær land. Dette resulterte i en modell som anslo et potensial på 32 til 66 tonn tørket masse/ha/år. Forfatterne av Ecofys-rapporten synes dette høres noe høyt ut, med tanke på at det er tenkt å være en ekstensiv produksjon, med lite vedlikehold og høsting kun en gang i året på grunn av avstanden til land. Rapporten nevner også et konsept utviklet av TU Delft, basert på jevn høsting av et felt på 1.000 km² med spesialbygde skip, med anslått utbytte på 30 tonn tørket masse/ha/år. Til tross for usikkerheten er de anslått et minimum og maksimalt utbytte på henholdsvis 15 og 45 tonn tørket masse/ha/år. Uten tilførsel av ekstra næring setter Ecofys den antatte produksjonen til 30 tonn tørket masse/ha/år.

Kapittel 4 – Næringstilgang for makroalgeproduksjon

For å vokse trenger makroalger energi i form av sollys, CO₂ og ulike næringsstoffer. Hovednæringsstoffene er nitrogen (N) og fosfor (P). I tillegg trenger plantene en rekke mikronæringsstoffer som jern og ulike mineraler.

Ved dyrking av makroalger kan man i mange tilfeller basere seg på naturlig tilgang av næringsstoffer i sjøvannet (1). I næringsfattige områder eller ved ønske om å optimalisere produksjonen kan det tilsettes næring i form av gjødsling av havet (2) eller ved å løfte næring opp fra dypet ved å skape omrøring i vannmassene (3).



1) Naturlig næring

Tare vokser i alle verdens hav og vi finner det nødvendige næringsstoffene naturlig i havet. I tillegg er tilgangen på sollys (ned til ca. 30m) og et substrat å feste seg på avgjørende faktorer for tarevekst.

2) Gjødsling av havområder

I spesielt næringsfattige områder kan det være nødvendig eller ønskelig å tilsette ekstra næringsstoffer for å øke produksjonen. Man må da ta utgangspunkt i det næringsstoffet som er begrensende for veksten i området. Det er blant annet gjennomført forsøk (Ironex I og II i henholdsvis 1993 og 1995, samt Eifex i 2004) som har vist at tilførsel av jern har økt algeproduksjonen i åpne havområder. Forskere fra Bjerknessenteret i Bergen har imidlertid advart mot at intensiv gjødsling av havet kan få uønskede økologiske og klimatiske effekter (Bellerby 2009). FN har vedtatt et midlertidig forbud mot gjødsling (Tollefson 2008). Dette er ment for å hindre storstilt gjødsling av verdenshavene og vil trolig ikke gjelde for en beskjeden tilførsel av nitrogen i et offshore anlegg for makroalgeproduksjon i norsk økonomisk sone. En rekke steder langs norskekysten tilføres det i dag store mengder nitrogen og fosfor fra menneskelig aktivitet som kan bidra utnyttet til dyrking av makroalger.

3) Kunstig oppstrømming av næring

Næringsstoffene i de øvre vannmassene hvor sollyset trenger ned inngår i produksjonen av alger. Dypere ned finnes det også store mengder næringsstoffer, men disse blir ikke utnyttet på grunn av manglende sollys. Ved å sette vannmassene i bevegelse kan man løfte næringen opp i sonen hvor det finnes tilgang på lys og dermed inngå i produksjonen av biomasse. En måte å gjøre dette på er å pumpe næringsrikt vann opp fra dypet. En annen måte er å pumpe ferskvann ned slik at dette skaper omrøring og stiger opp med næring fra dypet. Et forsøk gjennomført av Havforskningsinstituttet i Lysefjorden 2004 viste at ved å pumpe brakkvann i rør ned på 28 meters dyp ble algeproduksjonen innenfor et fjordareal på 9 km² tredoblet (Aure et al., 2005).

Kapittel 5 - Bruksområder for makroalger

Mennesker har lang historikk i å utnytte makroalger til mat, fyring og jordforbedring. Historiske kilder viser at folk i Asia høstet tang og tare til mat helt tilbake til før år 500 f.kr., og tusen år senere i Europa.

I dag benyttes makroalger til en rekke formål: Til direkte konsum, jordforbedringsmiddel og produkter innen farmasøytisk- og næringsmiddelindustri. En rekke forskningsinitiativer har blitt iverksatt for å utforske muligheten for dyrking av makroalger til produksjon av biobrensel.

For Bellona er det bruk som bidrar til å løse ulike miljøutfordringer som er av spesiell interesse:

- Produksjon av karbonnøytralt biodrivstoff uten å fortrenge matproduksjon fra dyrkbar jord.
- Bruk av biomasse til karbonnegativ kraftproduksjon (biomasse som brensel i kraftverk med CO₂-håndtering).
- Bruk av makroalger til ”rensing” av fjordområder ved å utnytte overskuddsnæring/utslipp fra fiskeoppdrett.
- Makroalger som råvare inn i produksjon av bærekraftig fiskefôr

Dette kapittelet vil fokusere på de fire nevnte punktene, men vil også gi en kort oversikt over annen anvendelse av makroalger.

Makroalger til energiformål

Med tilgang på energi fra sola og næringsstoffer binder biomasse karbondioksid fra omgivelsene når den vokser. Dette gjelder både skog på land og alger i sjøen. Ved å bytte ut fossile energikilder med biomasse innen transport, oppvarming, industri og produksjon av elektrisitet, kan vi gjøre slik aktivitet karbonnøytral, det vil si å ikke bidra til netto utslipp av klimagasser.

Det er en utfordring for verden å skaffe til veie nok biomasse for å oppnå et karbonnøytralt samfunn. På land vil for eksempel ønsket om mer biomasse til energiformål ofte komme i konflikt både med matproduksjon og bevaring av viktige regnskogsområder. Et betydningsfullt bidrag til denne utfordringen vil være å identifisere og utforske areal og muligheter biomasseproduksjon som ikke går på bekostning av dyrkbar matjord eller viktige biotoper på land.

Potensialet for dyrking av biomasse til havs er enormt. Ecofys Bio Energy group (Florentinus et al, 2008) lagde på vegne av det nederlandske miljøverndepartementet i 2008 en rapport for å vise det globale potensialet for dyrking av slik biomasse basert på både mikroalger og makroalger. De utviklet seks sett basert på ulike kriterier, beregnet energiutbytte pr. hektar pr. år og det totale potensialet basert på tilgjengelig areal for de fire mest aktuelle dyrkingsmetodene.

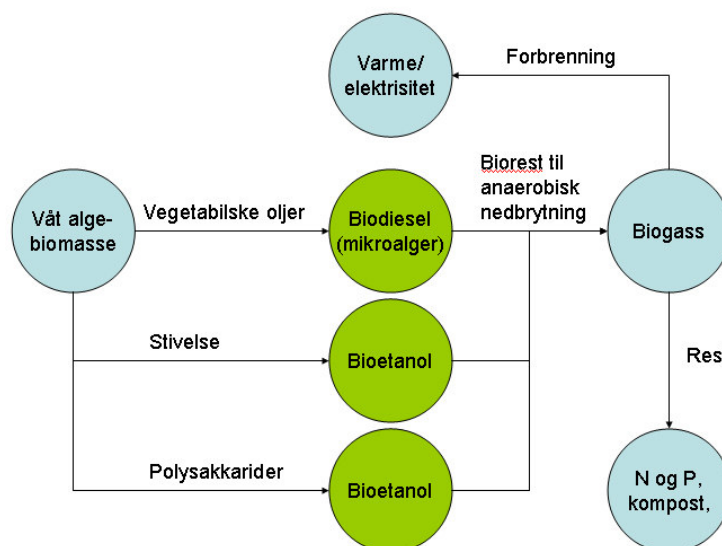
Dyrkingsmetode	Avstand til kysten	Vanndyp (m)	Utbytte (tonn tv/hektar/år)	Energiutbytte (GJ/hektar/år)	Globalt energipotensial
1: Åpen dam på land (mikroalger)	Maks 100 km	-	45	720 (200 hektoliter/ha/år olje)	90 EJ
2: Flytende poser i innsjøer og bukter (mikroalger)	Maks 100 km	Min 8	25	400 (110 hektoliter/ha/år)	
3: Horisontale liner mellom off-shore infrastruktur (makroalger)	Maks 100 km	Min 8	30	200 (6000 m3/ha/år)	110 EJ
4: Ringsystemer i bølgeeksponerte kystområder (makroalger)	Maks 25 km	Min 8	30	200 (6000 m3/ha/år)	
5: Vertikale liner kystnært i områder med menneskelig påvirkning (makroalger)	Maks 25 km	Min 20	35	220 (7000 m3/ha/år)	35 EJ
6: Flytende strukturer i åpen sjø (makroalger)	Åpen sjø	Min 100	30	200 (6000 m3/ha/år)	6000 EJ

Metode 1, 3, 5 og 6 ble vurdert som de mest lovende fremgangsmåtene. Metode én omhandler dyrking av mikroalger på land og vil derfor ikke bli omhandlet videre i denne rapporten. Dyrking av makroalger på ringsystemer langs kysten ble sett på som vanskelig gjennomførbart på grunn av arbeidskrevende (manuell) innhøsting.

De tre andre dyrkingsmetodene som omhandler makroalger er alle interessante med tanke på utviklingsmuligheter i Norge. Ringsystemer kan også være interessant dersom det utvikles bedre løsninger for innhøsting fra slike enheter.

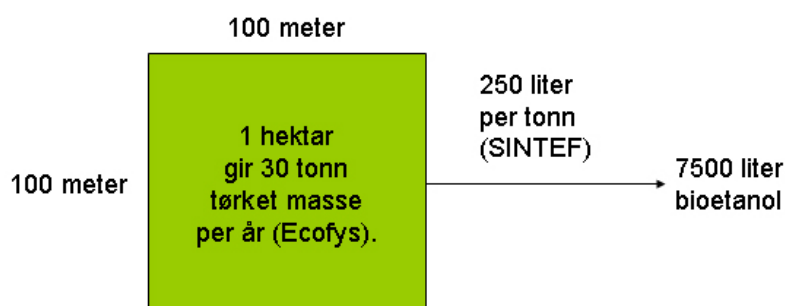
Produksjon av biobrensel

Alger inneholder både vegetabiliske oljer, stivelse og andre sukkerforbindelser som er interessante for produksjon av biodrivstoff som biodiesel og bioetanol. For makroalger er det først og fremst omgjøring av karbohydrater til bioetanol som er mest interessant.



Ved produksjon av biodrivstoff kan man videre utnytte restavfallet til biogassproduksjon. Det er gjennomført mye forskning knyttet til omdanning av slik biomasse til bioetanol ved fermentering. Foreløpige resultater presentert fra SINTEF fiskeri og havbruk sitt forsøk ved Tjeldbergodden (SINTEF, 2009) viser et utbytte på 250 liter bioetanol fra ett tonn tørket sukkertare. Et japansk prosjekt (Aizawa et al., 2009) estimerer at ett tonn råmateriale (våtvekt) fra *Sargassum horneri* kan gi et utbytte på 34 liter bioetanol. Japanske myndigheter har uttalt at de har planer om å produsere hele 6 milliarder liter bioetanol innen 2030. Dyrking og utnyttelse av makroalger som beskrevet i The Ocean Sunrise Project (Aizawa et al., 2009) vil være en viktig brikke for å oppnå denne målsettingen. Det middels til langsiktige målet i dette prosjektet er å produsere 5 milliarder liter bioetanol ved å dyrke 150 millioner tonn med *Sargassum fulvellum*. For å få til dette anslår de å måtte utnytte i underkant av 1 % av Japans økonomiske sone på 4,48 millioner km².

Tar vi utgangspunkt i SINTEF sine resultater og Ecofys sine anslag for utbytte får vi følgende:

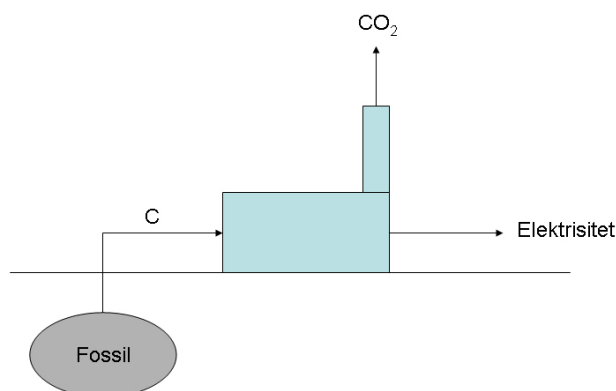


Resultatene viser at man fra 1 hektar sjøareal kan produsere 7500 liter bioetanol årlig. Ved optimalisering, plassering av dyrkingsenheter med overskudd av næring eller ved å gjødsle havområdene med ulike næringsstoffer kan dette utbyttet sannsynligvis økes.

Biomasse til energiproduksjon

Tradisjonell kraftproduksjon er i dag basert på fossile ressurser som kull, olje og gass. Når disse hentes opp fra sine naturlige lagre under bakken og forbrennes for å produsere elektrisitet, fører det til utslipp av store mengder CO₂ til atmosfæren.

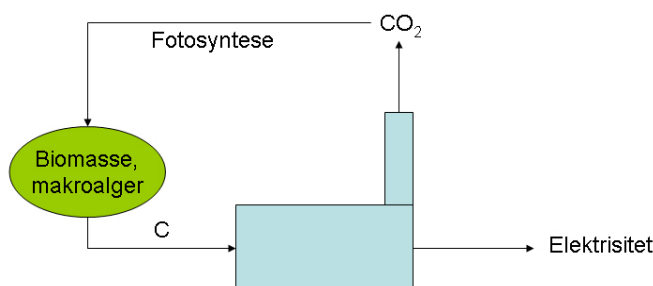
Fossil energi:



Denne transporten av karbon fra dypt nede i bakken og opp til overflaten øker konsentrasjonen av CO_2 i atmosfæren og bidrar kraftig til global oppvarming. For å oppnå et karbonnøytralt samfunn må vi bryte denne avhengigheten og satse på andre kilder til energi- og elektrisetsproduksjon.

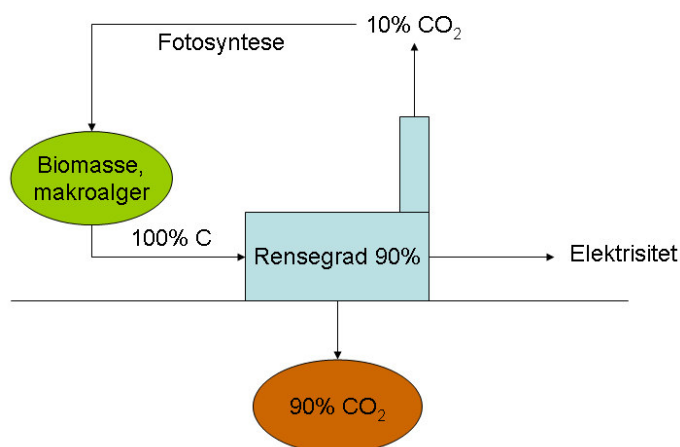
Ved å bruke biomasse som utnytter energien fra sola til vekst basert på fotosyntesen, kan vi ideelt sett oppnå karbonnøytral energiproduksjon. Karbonet som utnyttes går i et kretsløp som innebærer lagring i biomasse som skog eller alger, energiutnyttelse i kraftverket, utslipp av CO_2 som igjen inngår i fotosyntesen og lagring i ny biomasse ved hjelp av solenergi.

Energi fra biomasse - karbonnøytralt:



I en periode hvor verdens nasjoner må innfri kraftige kutt av klimagassutslipp for å forhindre et løpsk klima, må man utnytte ny teknologi på en smart måte. Ved å benytte seg av karbonfangst og lagring (CCS) i kombinasjon med biomassekraftverk, kan man aktivt fjerne karbon fra atmosfæren og lagre den under bakken. Klimamessig blir dette den rene motsatsen til tradisjonell utnyttelse av fossil energi.

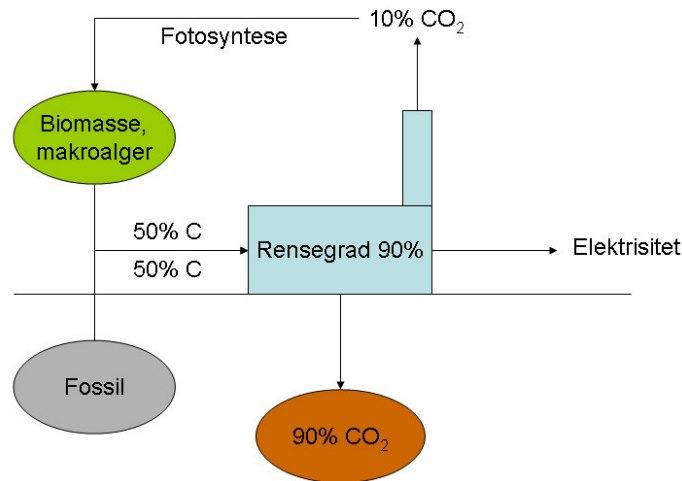
Energi fra biomasse med CCS - karbonnegativt:



Med en rensegrad på 90 prosent vil 9 av 10 karbonatom som er lagret i biomassen fjernes fra atmosfæren. På denne måten kan man oppnå en karbonnegativ produksjon av energi takket være sollys, fotosyntese og teknologi for fangst og lagring av CO_2 .

I en verden hvor etterspørselen av energi er stor og stadig voksende er det vanskelig å kutte avhengigheten til fossile ressurser på dagen. Men en innfasing av biomasse i eksisterende fossilfyrte kraftverk kan også oppnå en karbonnegativ produksjon.

Energi fra biomasse/fossilt - karbonnegativt:



I et kraftverk som er basert 50:50 på henholdsvis biomasse og fossile ressurser og med en rensegrad på 90 prosent av CO₂, vil det for hvert femte fossile karbonatom utnyttet bli lagret ni under bakken. Utfordringen er å skaffe til være nok biomasse i kombinasjon med å utvikle og innfase teknologi for fangst og lagring av CO₂. Dyrking av makroalger har et stort potensial til å dekke behovet biomasse i karbonnøytral og karbonnegativ energiproduksjon.

Kombinasjonen av dyrking av makroalger, biokraftverk og CO₂-rensing og lagring kan fjerne store mengde klimagasser fra atmosfæren.

Regneeksempel - Mengde CO₂ bundet i en hektar dyrket Laminaria:

Forutsetninger:

- 1) 1 tonn Laminaria (vått) binder 52 kg C
- 2) Tørrestoff i Laminaria er 17,3 prosent
- 3) Utbytte på 1 hektar er 30 tonn tørket masse pr. år

Atomvekt:

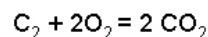
C = 12

O = 16

Molekylvekt:

C₂ = 24

CO₂ = 44



Mengde CO₂ bundet i ett tonn Laminaria (våttvekt):

$$52 \text{ kg} \times 2 \left(\frac{44}{12} \right) = \underline{381 \text{ kg}}$$

Mengde Laminaria (våt) dyrket på et hektar:

$$30 \text{ tonn} \times 100/17,3 = \underline{173 \text{ tonn}}$$

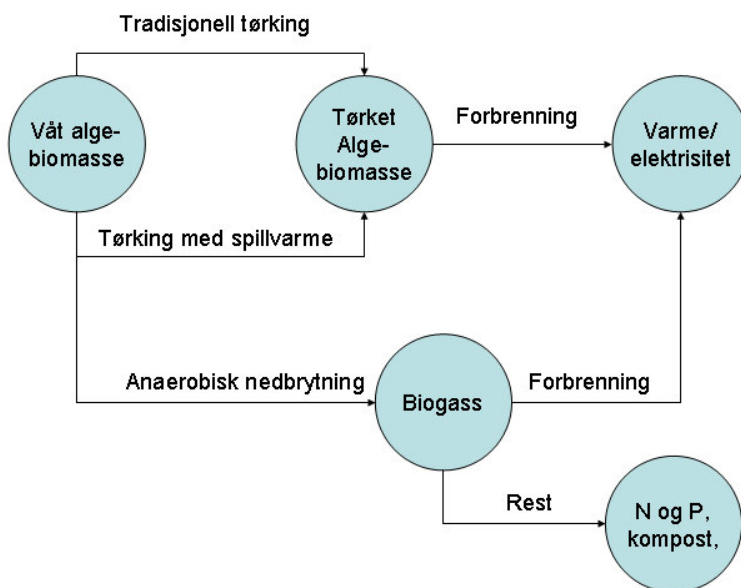
Mengde CO₂ bundet i en hektar dyrket Laminaria

$$173 \text{ tonn} \times 381 \text{ kg}/1 \text{ tonn} = 65.913 \text{ kg} = \underline{66 \text{ tonn}}$$

Regneeksempelen viser at dyrking av én hektar med makroalger i prinsippet kan fjerne 66 tonn CO₂. I sluttrapporten for Sukkertareprosjektet (Moy et al., 2008) er det anslått et tapet av sukkertare langs norskekysten på 1,6 millioner tonn tilsvarer en tapet binding av CO₂ i biomasse på 600.000 tonn.

Utnyttelse av biomasse i energiproduksjon

Det finnes flere teknologier for å overføre energien lagret i biomasse til energi i form av elektrisitet. Rapporten ”The potential of marine biomass for anaerobic biogas production” utarbeidet av The Crown Estate (Kelly et al., 2008) nevner termiske metoder som vanlig forbrenning, gassifisering, pyrolyse og hydrolifiquifaction og anaerobisk nedbryting for å produsere biogass i tillegg til tidligere nevnte produksjon av bioetanol.



Forbrenning:

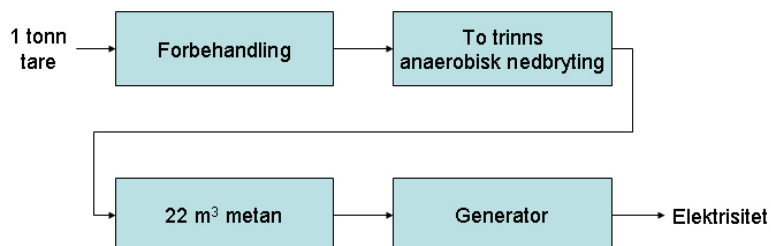
Makroalger kan tørkes og brennes direkte til produksjon av varme og elektrisitet i kraftverk. Stort vanninnhold i råmaterialet gjør imidlertid tørkingen til en energikrevende prosess. Men Norge har gode muligheter for å redusere energibruken ved å ta i bruk de store mengdene spillvarme fra industri langs kysten. Det er anslått at det renner 30 TWh spillvarme rett i sjøen fra norsk industri (Palm et al., 1999).

Taretypene *Laminaria spp.*, som vår hjemlige sukkertare tilhører, har et energiinnhold på 13 MJ/kg tørket masse (Løvstad Holdt, 2009). Dette innebærer at et areal på et hektar som produserer 30 tonn tørket masse tilsvarer en energimengde på 390.000 MJ.

Anaerobisk nedbryting:

I nedbrytingsprosessen av biomasse med fravær av oksygen produseres det biogass. Slik nedbryting med makroalger har gitt et utbytte av 55-75 prosent metan i biogassen (Mes et al., 2003). Denne kan brennes for å produsere varme eller elektrisitet, eller bli oppgradert til naturgass. Fra avfallsstrømmen (bioresten) kan nitrogen og fosfor utvinnes og utnyttes til andre formål. Den organiske avfallsstrømmen kan også brukes som kompost. En annen mulighet som har blitt foreslått er å deponere den organiske avfallsstrømmen på sjøbunnen som en metode for CO₂ deponering (Chynoweth, 2002). Anaerobisk nedbryting er en kjent teknologi og er godt utforsket i forbindelse med utnyttelse av makroalger (Chynoweth, 2002).

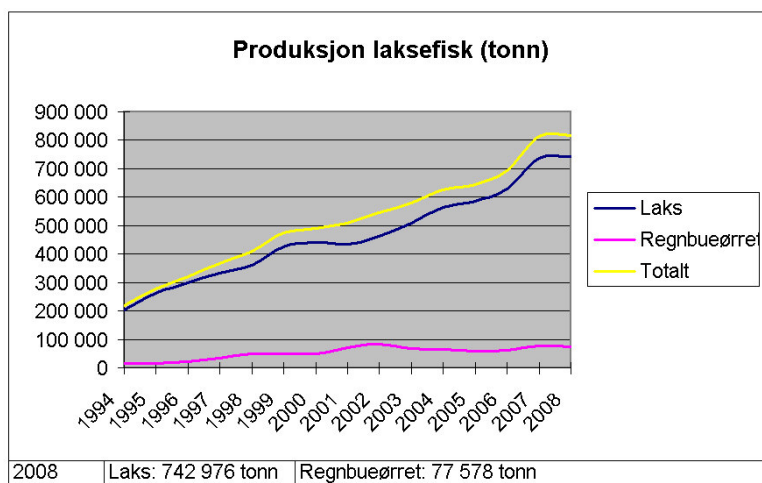
The Tokyo Gas Company Ltd.



I rapporten til The Crown Estate (Kelly et al., 2009) refereres det til produksjon av biogass ved The Tokyo Gas Company i Japan. Med en daglig input på 1 tonn tare oppnådde de et utbytte på 22 m³ metan stabilt over en periode på 150 dager. Overskuddsvarme fra generatoren ble brukt til å varme opp fermenteringstankene. Bioresten fra prosessen ble tørket og brukt som jordforbedringsmiddel.

UTNYTTELSE AV MAKROALGER INNEN HAVBRUK

Oppdrettsindustrien i Norge har vokst kraftig siden oppstarten på 70-tallet og har i dag passert tradisjonelt fiske med tanke på eksportverdi. Næringen domineres av produksjon av laksefisk og i 2008 ble det produsert 742.976 tonn atlantisk laks og 75.316 tonn regnbueørret (Fiskeridirektoratet, 2009)

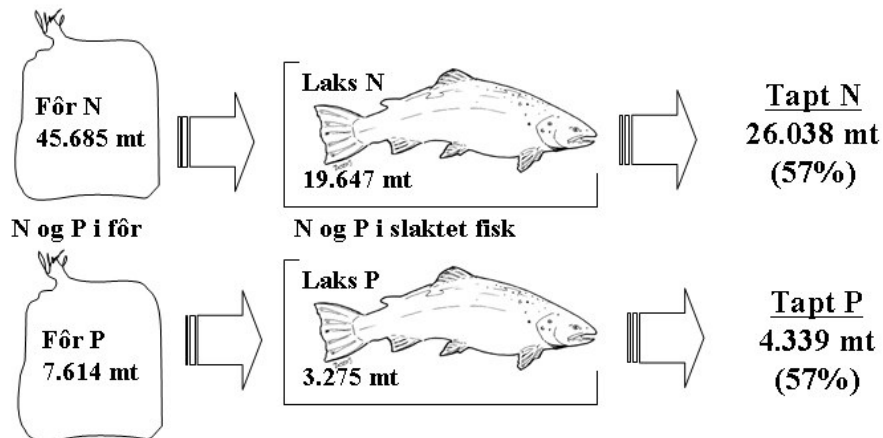


Fisk i intensiv oppdrett slik den drives i Norge er avhengig av stadig fôring for å oppnå en optimal vekst. Mye av næringen i fôret tas ikke opp i fisken men går ut i vannet og kan påvirket vannkvaliteten. Ved økt produksjon i fiskeoppdrettsnæringen vil dette utslippet stadig øke. En av hovedutfordringene for oppdrettsnæringen er tilgang på fôr. Tradisjonelle råvarer som feit småfisk er høstet maksimalt og fiskefôrindustrien må stadig se seg om etter alternative råvarer for å tilfredsstille en stadig større etterspørsel.

Makroalger til "rensing" av overskuddsnæring fra fiskeoppdrett

Mindre enn 50 prosent av mengden nitrogen og fosfor som tilføres oppdrettslaksen via fôret går til vekst. Resten går ut i vannet enten som fôrspill, ufordøyd gjennom tarmen, ekskrementer eller utskilles som nitrogenforbindelser over gjellene.

Basert på innhold av nitrogen og fosfor i fôr og oppdrettslaks samt forbruk av fôr og produksjon av oppdrettslaks i 2005 har SINTEF beregnet tap av nitrogen og fosfor fra oppdrettsnæringen (SINTEF, 2008).



Resultatene viser at hele 57 prosent av nitrogenet og fosforet i fôret ikke tas opp i fisken men går ut i sjøen. En kraftig voksende næring fører til betydelige og stadig større tilførsler av næringsstoffer til våre kystområder. I de fleste tilfeller utgjør ikke dette noe stort miljøproblem men unntak finnes og en voksende næring må ta ansvar for sine utslipp til omgivelsene. Dette er åpenbart ressurser på avveie som burde utnyttes bedre.

På oppdrag fra Statens forurensningstilsyn utfører NIVA beregninger på utslipp av nitrogen og fosfor langs norskekysten. Tabellen nedenfor viser utslipp fra norsk oppdrettsnæring (NIVA, 2007). Tallene for produksjon av laksefisk frem til 1994 er hentet fra FAOs Fishstat database for akvakulturproduksjon. Resten kommer fra Fiskeridirektoratet. Utslipp i 2007 og 2008 er beregnet av Bellona baser på tildiger års forhold mellom produksjon og utslipp.

År	Fosfor Totalt (tonn)	Nitrogen Totalt (tonn)	Produksjon av laksefisk (tonn)
1985	566	2683	34615
1990	2630	12484	149786
1991	2665	12653	160555
1992	2265	10754	130720
1993	1737	8249	163932
1994	2267	10765	219 257
1995	2902	13780	276 226
1996	3338	15845	320 523
1997	3868	18359	365 876
1998	4216	20237	410 310
1999	4202	20146	473 846
2000	4762	22804	489 594
2001	4224	20206	507867
2002	5355	25207	546055
2003	5544	26416	578475
2004	5548	26253	627216
2005	6176	29240	645387
2006	7353	34789	692590
2007	8734	41273	821687
2008	8688	41107	818382

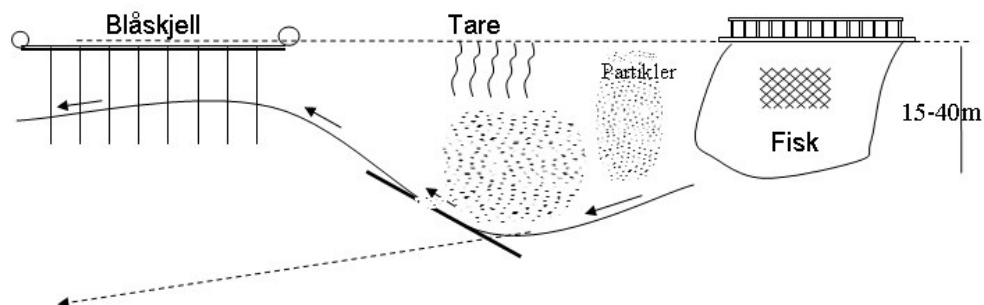
I 2008 tilførte norsk oppdrettsnæring våre kystområder 8.688 tonn fosfor og 41.107 tonn nitrogen. I 2006 utgjorde fiskeoppdrett over 50 prosent av de menneskeskapte nitrogentilførslene for området fra Lindesnes til Stad og videre nordover til russergrensa (NIVA 2007).

For hvert tonn tilvekst av tare forbrukes 4,35 kg nitrogen. Et interessant regnestykke kan være å se hva oppdrettsnæringens nitrogentilførsel kan utgjøre i tareproduksjon.

$$\frac{41.107 \text{ tonn N}}{X} = \frac{4,35 \text{ kg N}}{1 \text{ tonn tare}}$$

$$X = 9,2 \text{ mill. tonn tare (våttvekt)}$$

I følge tall presentert tidligere i rapporten kan en produksjon på 9,2 millioner tonn tare videre utnyttes til å produsere om lag 400 millioner liter bioetanol. Dette blir en teoretisk beregning men viser noe av potensialet som ligger i å utnytte avfall fra en næring til en verdifull ressurs i en annen.



Eksempel på integrert havbruk med fisk, tare og skjellproduksjon (SINTEF, 2008)

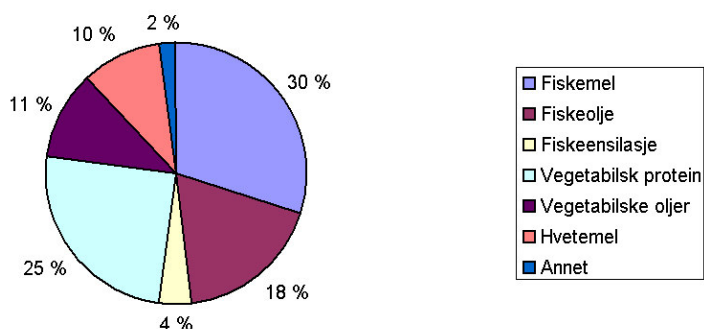
Både i Skottland og Canada har det blitt gjort lovende forsøk med tanke på slik utnyttelse av overskuddsnæring. I sistnevnte land ble kombinasjonen lakseoppdrett, blåskjell dyrking og tare dyrking testet. Resultatet viste at produksjonen av både tare og blåskjell økte betydelig (Rueness et al., 2008).

Oppdrett i Norge er basert på monokulturer hvor fokus er på å få optimal vekst for en spesifikk art. I andre land spesielt i Asia har man lange tradisjoner for oppdrett i polykulturer. Her baseres veksten på flere arter i som i samspill utnytter tilgjengelig næring. En arts avfall kan gi vekst til en annen art og på den måten øke det totale utbyttet fra virksomheten. I Norge vil både arter av tare og skjell kunne utnytte overskuddsnæringen fra fiskeoppdrett og på samme tid "rense" fjorområder for oppdrettsanleggenes utslipp.

Makroalger som råstoff i produksjon av fiskefôr

Ingen andre matproduserende sektorer vokser så fort som oppdrett. I 2006 kom 47 prosent av all fisk som ble konsumert fra oppdrett (FAO, 2008). En fortsatt vekst vil kreve tilgang på stadig mer råvarer, spesielt innen den type intensiv oppdrett av karnivor fisk som Norge bedriver.

Tidligere bestod fôret av så godt som 100 prosent marine råvarer. Dette er en knapp ressurs og de fiskeriene som utnyttes til produksjon av fiskemel og fiskeolje er i dag fullt ut beskattet, og i noen tilfeller også overbeskattet. Det forskes mye på alternative råvarer og fôrsammensetninger. Trenden har de siste år gått mot en stadig større innblanding av vegetabiliske råvarer i fiskefôret. Figuren nedenfor viser hva fôr fra Skretting inneholdt i 2008.



Av kakediagrammet kan man lese at fôret er satt sammen av cirka 50:50 marine og landbaserte råvarer.

Dyrking og høsting av tare kan bidra med et nasjonalt dyrket bærekraftig råstoff inn i produksjonen av fiskefôr.

Annen anvendelse av makroalger

Makroalger til konsum

Historiske kilder viser at mennesker i Asia høstet tang- og tare til mat helt tilbake til før år 500 f.kr. og tusen år senere i Europa. I vestlige land er det stort sett bare rødalgen søl som benyttes til mat. I Øst-Asia derimot brukes makroalger i det daglige kostholdet og bestpr i hovedsak av de følgende tre hovedproduktene:

Nori

Dette er et produkt som blir produsert av en spesiell slekt av rødalger (*Porphyra spp.*). Omtrent alt makroalgeråstoffet blir dyrket i sjøanlegg. Algene blir høstet og tørket, deretter blir de malt i stykker og blandet med vann til en tykk grøt. Dette ”nori”-råstoffet blir mekanisk presset ut til tynne flak som tørkes. Nori blir brukt mye som en del av risretter og til sushi. De viktigste artene som blir dyrka til produksjon av nori er *Porphyra tenera* og *Porphyra yezoensis*.

Kombu

Kombu er tare (hovedsakelig *Laminaria japonica*). En god del av råstoffet blir dyrket i sjøanlegg. Når tareplantene er ferdig utvokst blir de høstet, tørket og kuttet opp i biter til salg. Kombu kan etes som en rett alene, eller inngå i en rekke andre matretter. En god del *Laminaria* blir også bearbeidet til andre matprodukter. Hele den kinesiske produksjonen av kombu er basert på dyrket *Laminaria*.

Wakame

Wakame blir produsert av tarearten (*Undaria pinnatifida*) på samme måte som kombu. Omtrent alt tare-råstoffet til produksjonen av wakame blir dyrket i sjøanlegg. Wakame blir markedsført i tørket eller saltet form.

Produksjon av fykokolloider

Agar, alginat og karragenen er tre fykokolloider som utvinnes fra ulike røde og brune makroalger. Et Fykokolloid er en ikke-krystallinsk forbindelse bestående av store molekyler som løser seg i vann og gir en tykk seig løsning. Agar, alginat og karragenen er vannløslige karbohydrater som brukes som tykningsmiddel i vannløsninger for å oppnå stabilitet og gelekonsistens i ulike produkter.

Disse forbindelsene benyttes som tilsetning i matprodukter som iskrem, supper, sauser, ketchup, melkeprodukter, leskedrikker, bakervarer, majones, margarin og en rekke andre produkter. Alginat blir også brukt som tykningsmiddel i tekstiltrykkfarger og som tilsetning i farmasøytisk industri. Norge har omtrent ¼ av verdensproduksjonen av alginat, basert på høsting av naturlige bestander av stortare på kysten av vestlandet.

Bioteknologi og medisin

En bioteknologisk bruksmåte for alginat finner vi innen medisin. Ved hjelp av en spesiell teknikk kan biologisk aktive celler støpes inn i små alginatkuler, som deretter kan implanteres i menneskekroppen hvor kjemiske forbindelser vil kunne diffundere ut fra kulene. Slike innstøpte celler for eksempel bidra i behandling av kreft og sukkersyke. Agar har også viktige bruksområder innen ulike områder av biokjemi og medisin. Det blir benyttet blant annet som vekstmedium for dyrking av mikroorganismer og vevskulturer (agar) og separasjon av makromolekyl (agarose)

Mange alger inneholder også svært spennende forbindelser som har antibiotisk effekt eller kan forebygge kreft og karsykdommer. Et eksempel er bruk av en bromholdig organisk forbindelse fra rødalgen *Delisea pulchra* mot begroing av båter og marine installasjoner generelt (Rueness et al., 2008)

Jordforbedringemiddel

Tang og tare har lenge blitt brukt som jordforbedringsmiddel, både ved å direkte legge ilandførte planter på jordene eller ved mer moderne metoder for produksjon av flytende algeekstrakter og tangmel i hagebruk og landbruk. Det er også mulig å utvinne nitrogen og fosfor fra avfallsstrømmen etter produksjon av biogass.

Kapittel 6 - Potensialet for Norge

En grunn til at makroalger i all hovedsak dyrkes i Asia er at dette er en arbeidsintensiv industri og som kjent er arbeidskraft betydelig rimeligere i Østen enn i vestlige industrialiserte land. Nye og smarte løsninger for dyrking og bearbeiding kan imidlertid redusere noe av denne skjevheten. Dessuten har Norge en rekke fortrinn som kan bidra til å legge til rette for storstilt dyrking og foredling av makroalger her til lands.

Fortrinn for norsk satsing på makroalger

Kompetanse

Oppdrettsindustrien i Norge besitter mye kompetanse og erfaring innen biologisk produksjon i havet. Denne kunnskapen vil være viktig for å etablere en norsk makroalgenæring. Norsk industri leverer og utvikler både flytende og fast fundamenterte konstruksjoner til oppdretts- og offshoreindustri. Dyrking av makroalger kystnært i til dels skjermede områder kan baseres på relativt enkle og kjente oppdrettskonstruksjoner. Dyrking ute i åpne havområder, hvor det virkelig store potensialet ligger, vil derimot kreve større og mer robuste løsninger.

Norge har allerede en foredlingsindustri knyttet til høsting av stortare. Resten etter ekstraksjon av alginat kan benyttes til å produsere biodrivstoff. Eksisterende mottak, foredling og marked for tareprodukter vil gjøre det enklere å få omsetning på råvarene fra en gryende makroalgeindustri

Tilgang på spillvarme

Vanninnholdet i makroalger er høyt. Ved forbrenning av slik biomasse vil tørking av råvarene kreve store mengder energi. Fra industri langs norskekysten slippes det ut store mengder spillvarme som kan benyttes i tørkeprosessen. På denne måten kan energibehovet reduseres betraktelig.

Utnytte infrastruktur til havs

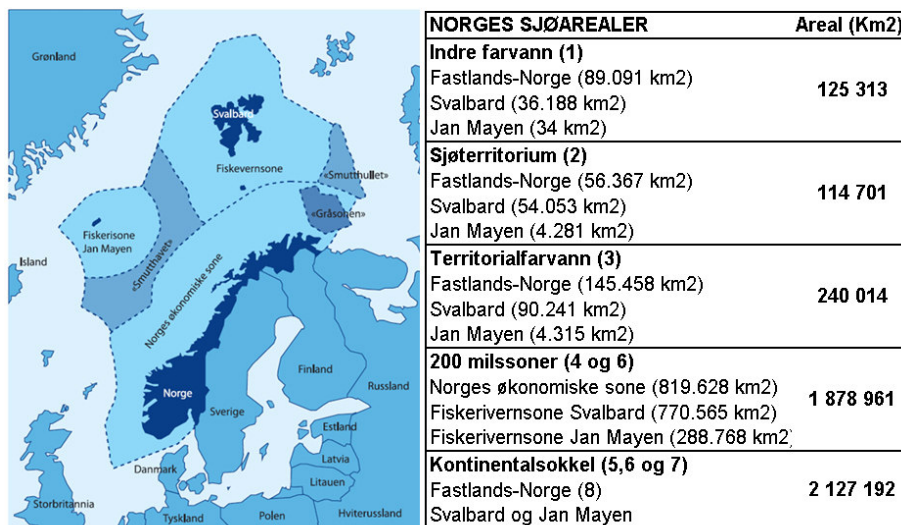
Det store potensialet for dyrking av makroalger ligger et godt stykke fra kysten i åpent hav. Et stort fortrinn vil være å kunne benytte eksisterende og planlagt infrastruktur i tilknytning til biomasseproduksjonen. Norge har store planer for å etablere vindmølleparker til havs. Skisser for hvordan disse kan utnyttes til produksjon av makroalger er vist tidligere i denne rapporten.

En annen mulighet er å benytte seg av eksisterende plattformer til havs. OSPAR-konvensjonen om beskyttelse av det marine miljø i det nordøstlige Atlanterhav krever at oljeindustrien skal rydde opp etter seg og at utrangerte stålkonstruksjoner skal fjernes. Totalt finnes det ca. 550 installasjoner i Nordsjøen (IMSA 2009) skal fjernes i løpet av de neste 30-40 årene. Dette er svært kostbart. Det er mulig at enkelte av disse installasjonene kan benyttes som forankring til storstilt algedyrking til havs. Plattformen kan gi rom til enheter for produksjon av biodrivstoff slik at man slipper å transportere all tare inn til land for videreforedling. Fra restavfallet kan det utvinnes nitrogen og fosfor som kan tilføres som næring til neste generasjon makroalger. Det bør være et stort økonomisk incentiv for

oljeindustrien å kunne utnytte plattformene til slike formål fremfor å måtte ta kostnaden ved opphugging.

Lang kystlinje og store sjøarealer

Norge har en kystlinje på over 20.000 km samt store sjøarealer innenfor vår økonomiske sone (819.628 km²) og kontinentalsokkel (2.127.192 km²).



Kilde: Statens kartverk

Lykkes Norge med offshore makroalgedyrking har vi store arealer til disposisjon for produksjon av både karbonnøytralt biodrivstoff og karbonnegativ elektrisitet.

Aktuelle arter for taredyrking i Norge

En avgjørende utfordring er å finne de artene som er best egnet til ønsket formål, være seg drivstoff, energi, fiskefôr eller andre produkter. Ulike arter har forskjellige krav til temperatur og næringstilgang. Det gjelder å finne optimale dyrkingsforhold som gir rask vekst og størst utbytte. Det er også viktig å benytte seg av arter som hører hjemme i våre havområder. Å introdusere fremmede arter kan gi svært uheldige effekter på økosystemet. Følgende arter kan være interessante for dyrking i norske farvann:

- Sukkertare (*Saccharina latissima*)
- Butare (*Alaria esculenta*)
- Fingertare (*Laminaria digitata*)
- Stortare (*Laminaria hyperborea*)
- Draughtare (*Sacchoriza polyschides*)
- Bladtare (*Sacchoriza dermatodea*)

Konklusjoner og anbefalinger

Potensialet for dyrking av marin biomasse i Norge er stort. Både naturgitte forutsetninger og eksisterende kompetanse taler for at en slik satsing kan lykkes. Dette vil imidlertid kreve en aktiv og målrettet innsats. Utvikling av dyrkingskonsepter og optimalisering av foredlingsprosesser vil kreve kompetanse fra en rekke næringer og faggrener. For å sikre progresjon i dette viktige arbeidet mener Bellona at det må:

- Etableres et nasjonalt forskningssenter for produksjon av alger.
- Etableres et eget forskningsprogram under Forskningsrådet for produksjon av alger.

Utvikling av en marin biomasseproduksjon til energiformål kan etablere en langsiktig ny næring basert på bærekraftige prinsipper. Dyrking i kystnære områder kan etableres innen relativt kort tid. Dette vil gi viktig input til videre satsing. Storstilt dyrking i åpent hav, hvor det virkelig store potensialet ligger, vil kreve en betydelig forsknings- og utviklingsinnsats.

Vi må videre:

- Skaffe til veie praktisk erfaring ved dyrking av makroalger. Derfor må det parallelt med forskning etableres flere små- og mellomskala feltforsøk. Egnede lokaliteter for slike feltforsøk vil være i områder med mye oppdrettsvirksomhet.
- Utvikle konsepter for dyrking i åpent hav, både i selvstendige strukturer og knyttet til eksisterende og/eller planlagt infrastruktur.
- Ved planlegging av vindmølleparker må man allerede i designfasen tenke på mulighetene for kombinert makroalgedyrking. Et bevisst fokus på dette og små tilpasninger kan gi et stort bidrag i retning av å realisere algedyrking til havs.
- Oljeindustriens utrangerte plattformer må vurderes i egnethet til å ombygges til enheter for dyrking av makroalger offshore. De store kostnadene ved pålagt hugging etter endt oljeproduksjon er et viktig økonomisk incentiv for slik dyrking.
- Det må utvikles konsepter for foredling av biomasse til havs enten på plattformer eller spesialbygde skip.
- Utvikle effektive høstingsmetoder for å redusere kostnadene ved dyrking.
- Kartlegge bidraget spillvarme langs kysten vil ha for tørking av biomasse som forbehandling til energiproduksjon.

Referanser:

- Aizawa, M., Asaoka, K., Atsumi, M. og Sakou, T. (2009). Seaweed bioethanol production in Japan – The Ocean Sunrise Project.
- Aure, J., Strand, Ø. og Strohmeier, T. (2005). Blåskjellføde opp fra dypet. Havforskningsnytt nr. 5 – 2005.
- Bellerby, R. (2009). Uttalelse til forskning.no.
<http://www.forskning.no/artikler/2004/april/1081245720.29>
- Buck, B. H. og Buchholz, C. M (2004). "The offshore-ring: A new system design for the open ocean aquaculture og macroalgae." Journal of Applied Phycology 16(5): 355-368.
- Carlsson, A., Beilen van, J., Möller, R., Clayton,, D. og Bowles, D. e. (2007). Micro- and macroalgae – utility for industrial applications. Bioproducts, E. R. t. E. P. o. S. R.-. and Crops, f. N.-f., CNAP, University of York: 86
- Chynoweth, D.P. (2002). Review of biomethane from marine biomass. Review of history, r. a. c. o. t. U. M. B. E. P.-. Gainesville, Florida, Department of Agricultural and Biological Engineering, University of Florida: 194
- Fiskeridirektoratet. (2009). Statistikk fra hjemmesiden.
<http://www.fiskeridir.no/fiskeridir/statistikk/akvakultur/statistikk-for-akvakultur/laks-regnbueoerret-og-oerret>
- FAO (2008). The state of world fisheries and aquaculture (SOFIA)
- Florentinus, A., Hamelinck, C., de Lint, S. og van Iersel, S. (2008). Worldwide potential of aquatic biomass. Ecofys Bio Energy group.
- Husa, V., Steen, H. og Åsen, P.H. (2007). Hvordan vil makroalgesamfunnene langs norskekysten påvirkes av økt sjøtemperatur. Kyst og havbruk 2007. Havforskningsinstituttet.
- IMSA Amsterdam. (2009). Towards an integrated ecosystems based strategy for the North Sea. Living North Sea Initiative.
- Kelly, M. S. og Dworjanyn, S. 2008. The potential of marine biomass for anaerobic biogas production. The Crown Estate.
- Løvstad Holdt, S. (2009). Nutrient reduction in aquaculture waste by macroalgae production. Institute of chemical engineering, biotechnology and environmental technology. University of southern Denmark
- Moy F, Christie H, Steen H, Stålnacke P, Aksnes D, Alve E, Aure J, Bekkby T, Fredriksen S, Gitmark J, Hackett B, Magnusson J, Pengerud A, Sjøtun K, Sørensen K, Tveiten L, Øygarden L, Åsen PA, 2008. Sluttrapport fra Sukkertareprosjektet. SFT-rapport TA-2467/2008, NIVA-rapport 5709. 131 s.

NIVA (2007). Teoretiske tilførselsberegninger av nitrogen og fosfor til norske kystområder 2006.

Palm, T., Buch, C., Kruse, B. og Sauar, S. (1999). Grønn kraft og varme – Miljøeffektive energiløsninger i det 21. århundret. Bellona Rapport Nr. 3:1999.

Reith, J. H., Deurwaarder, E. P., Hemmes, K., Curvers, A. P. W. M., Kamermans, P., Brandenburg, W. og Zeeman, G. (2005). Bio-offshore: Grootschalige teelt van zeewieren in combinatie met offshore windparken in de noordzee. Petten, Energieonderzoek Centrum Nederland.

Rueness, J. og Steen, H. (2008). Dyrking og utnyttelse av marine makroalger. Kyst og havbruk 2008. Havforskningsinstituttet.

SINTEF (2008). Presentasjon hos SINTEF fiskeri og havbruk. “Produksjon av tare og integrert havbruk”

SINTEF (2009). Artikkel på hjemmeside.

http://www.sintef.no/upload/Fiskeri_og_havbruk/Pressestoff/Pages%20from%20tare%20fra%20tidens%20krav.pdf

Steen, H. (2009). Stortare. Kyst og havbruk 2009. Havforskningsinstituttet.

Tollefson, J. (2008) UN decision puts brakes on ocean fertilization: Countries agree on moratorium for commercial schemes. Nature News 453, 704 (2008) | doi:10.1038/453704b