

RAPPORT



Dyrking og anvendelse av tare, med spesiell fokus på bioenergi i nordområdene

Aleksander Handå, Silje Forbord, Ole Jacob Broch,
Roger Richardsen, Jorunn Skjermo, Kjell Inge Reitan

SINTEF Fiskeri og havbruk

Juli 2009

SINTEF Fiskeri og havbruk AS
Marin ressursteknologi

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse:
SINTEF Sealab
Brattørkaia 17B

Telefon: 4000 5350
Telefaks: 932 70 701

E-post: fish@sintef.no
Internet: www.sintef.no

RAPPORT

TITTEL

Utredning om dyrking og anvendelse av tare,
med spesiell fokus på bioenergi i nordområdene

FORFATTER(E)

Aleksander Handå, Silje Forbord, Ole Jacob Broch, Roger Richardsen,
Jorunn Skjermo, Kjell Inge Reitan.

OPPDRAAGSGIVER(E)

Fiskeri- og kystdepartementet

RAPPORTNR.

SFH80 A092036

GRADERING

Åpen

OPPDRAAGSGIVERS REF.

Jartrud Steinsli

GRADER. DENNE SIDE

Åpen

ISBN

978-82-14-04911-4

PROSJEKTNR.

820155

ANTALL SIDER OG BILAG

32

ELEKTRONISK ARKIVKODE

SINTEF Bioenergi fra tare i nord_FKD_6Juli_2009.doc

PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.)

Trina Galloway, Forskningssjef

VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.)

Johanne Arff, Forsker

ARKIVKODE

DATO

2009-07-03

GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.)

Trina Galloway, Forskningssjef

SAMMENDRAG

Økt fokus på klimaendringer og behov for alternative energikilder har gjort taredyrkning aktuelt i våre områder. Produksjon av biodrivstoff fra tare kan ikke baseres på høsting av naturlige bestander, men brune makroalger har et stort dyrkingspotensial, spesielt i nordområdene. Blant flere aktuelle arter utmerker sukkertare (*Saccharina latissima*) seg som en egnet art til dette formålet. Forsiktige beregninger viser at man kan produsere minst 75 tonn våtvekt sukkertare pr hektar med et utbytte på 6 tonn fermenterbart sukker. Karbohydratene i makroalger kan fermenteres til biogass (metan) eller til etanol. Biogass kan ikke blandes med diesel eller bensin og krever egen infrastruktur for lagring og transport, og vurderes ut fra det å være et mindre attraktivt sluttprodukt sammenlignet med etanol. Biodrivstoff fra makroalger vil være karbonnøytralt sammenlignet med fossile energikilder, da planter binder CO₂ når de vokser og dermed ikke bidrar til økt CO₂ konsentrasjon i atmosfæren når energien forbrukes og CO₂ frigis.

Gode lokaliteter for taredyrking bør ha tilstrekkelig konsentrasjon av næringssalter, moderat til høy strømhastighet, temperatur som ikke blir for høy om sommeren og lav partikkelkonsentrasjon for å gi gode lys- og vekstforhold. Ved dyrking i moderat skala i kystnære anlegg kan tare anleggene knyttes til eksisterende akvakulturvirksomhet. Storskala dyrking av tare kan også skje i havbaserte anlegg med egen infrastruktur. Ved en utbygging av offshore vindmølleparker kan samlokalisering av taredyrking med vindmøller gi en bedre utnyttelse av infrastruktur og areal. For å lykkes med fullskala produksjon av tare til biodrivstoff, er det fortsatt mange utfordringer. På kort sikt bør hovedfokus være målrettet forskning og utvikling for å utvikle storskala dyrkingsteknologi og prosesser for behandling av råstoffet. En koordinert satsning på å utvikle storskala dyrking av makroalger vil kunne bidra til en betydelig økning av mengden biodrivstoff produsert i Norge.

Dyrking av tare har et potensial for industriutvikling, et kapitalbehov og en investeringshorisont som gjør det aktuelt å vurdere dette på lik linje med annen råstoffproduksjon. Skal taredyrking kunne bidra til å skape industriarbeidsplasser i distriktene må investeringer og lønnsomhet vurderes opp mot miljø- og distriktspolitikk og samfunnsøkonomiske forhold. Makroalger er et viktig råstoff for annen industrivirksomhet, bl.a. ekstrahering av spesialkjemikalier. Nord-Norge har en lang maritim tradisjon. Dette sammen med en lang kystlinje gjør landsdelen godt egnet til å kunne utvikle storskala tare dyrking og miljøvennlig anvendelse av biomassen til lønnsom biodrivstoff produksjon.

STIKKORD

NORSK

ENGELSK

GRUPPE 1

Tare

Seaweed

GRUPPE 2

Biodrivstoff

Biofuels

EGENVALGT

Nordområdene

Northern Norway

INNHALDSFORTEGNELSE

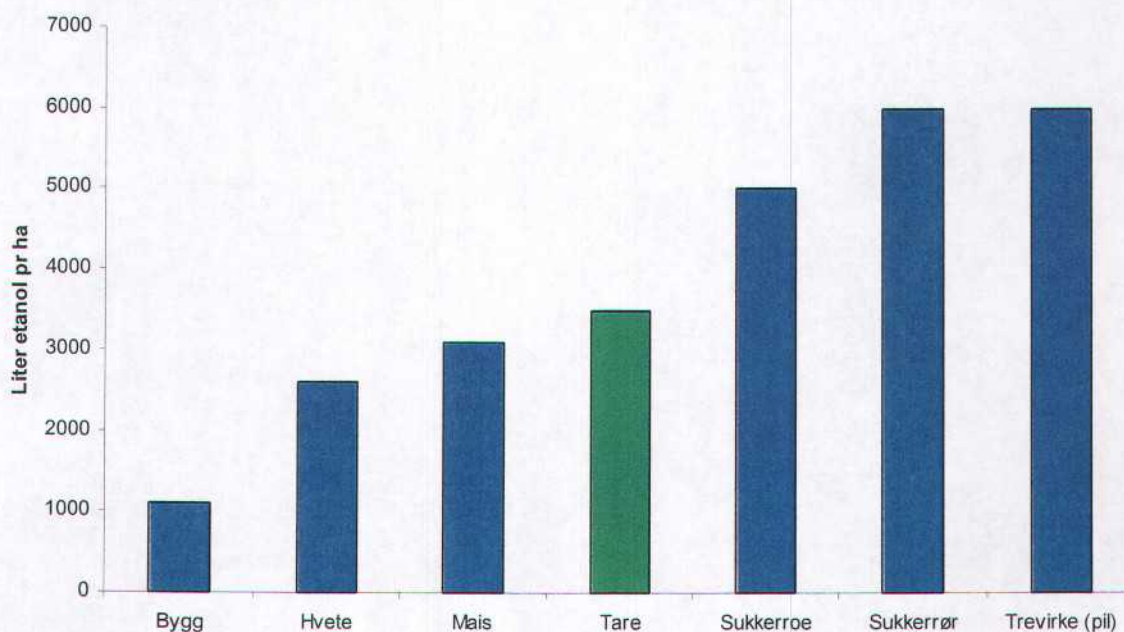
1	Innledning	3
2	Kartlegging av mulige anvendelsesområder for tare og eksisterende nærings- og FoU-aktivitet	4
2.1	Aktuelle bruksområder for marine makroalger.....	4
2.2	Mulig bruk av tare som råstoff til bioenergi	5
2.2.1	Forbehandling av biomasse.....	5
2.2.2	Biodrivstoff	6
2.2.3	Bioraffineri.....	8
2.3	Oversikt over norsk FoU-aktivitet knyttet til tareproduksjon.....	9
2.4	Oversikt over norsk næringsaktivitet innen tare	10
2.5	Relevante aktiviteter i andre land	10
3	Vurdering av mulighetsområder for tare dyrking til bioenergi i Norge.....	13
3.1	Aktuelle arter	13
3.2	Biologiske betingelser.....	14
3.3	Teknologisk status	16
3.4	Areal, produktivitet og lokalisering	16
3.4.1	Naturlig tareproduksjon langs norskekysten.....	16
3.4.2	Areal og tareproduksjon i Nord-Norge	17
3.4.3	En god lokalitet for tare dyrking	19
3.5	Mulige næringsaktører	21
3.6	Overslag over bedrifts- og samfunnsøkonomisk lønnsomhet.....	22
3.6.1	Bedriftsøkonomisk lønnsomhet	22
3.6.2	Samfunnsøkonomisk lønnsomhet	23
3.7	SWOT analyse	23
4	Overslag over hva som må til for å lykkes med bioenergi-produksjon fra tare.....	24
4.1	Forskning og utvikling (FoU).....	24
4.2	Produktivitet og kapital.....	27
4.3	Regelverk	29
4.4	Marked	29
	Konklusjon	30
	Visjon	30
	Kilder	30

1 Innledning

Norge har som mål at 5 % av omsatt drivstoff i 2010 skal utgjøres av biodrivstoff (Pressemelding fra Miljøverndepartementet 01.04.09). Regjeringen ønsker å nå dette målet gjennom å utvikle 2. generasjons biodrivstoff som ikke skal baseres på matråstoffer eller legge beslag på dyrkbar jord. Anvendelse av marine makroalger (tang og tare) kan være et velegnet alternativ til dagens bruk av trevirke og andre landplanter i bioenergiproduksjon.

Brune makroalger har en maksimal produktivitet på 1,2-1,9 kg karbon pr kvadratmeter pr år (Lüning 1990). Dette er omtrent det samme som regnskog, og 2-3 ganger mer enn sukkerrør, som er ansett som en av de beste plantene for avling til bioenergi. Utbytte av karbon pr areal er trolig høyere for tare enn for mais og noe lavere for tare sammenlignet med sukkerrør og trevirke (Figur 1). Biodrivstoff fra makroalger vil være karbonnøytralt sammenlignet med fossile energikilder, siden planter binder CO₂ når de vokser og på den måten ikke bidrar til økt CO₂ konsentrasjon i atmosfæren når energien forbrukes og CO₂ frigis.

På verdensbasis ble det i 2006 dyrket rundt 15 millioner tonn akvatiske planter med en anslått markedsverdi på 30 mrd NOK (FAO 2006). Av rundt 200 arter som dyrkes er *Saccharina japonica* den viktigste enkeltarten med en produksjon på over 4,6 millioner tonn. Til sammenligning ble det i 2007 produsert 736 000 tonn atlantisk laks i Norge (Fiskeridirektoratet: Nøkkeltall for norsk havbruksnæring 2007). *S. japonica*, eller japantare, er en art som har mange likhetstrekk med den norske sukkertaren, *Saccharina latissima*, som kan være en egnet art for dyrking i nordområdene.



Figur 1. Produksjonsutbytte av etanol pr hektar for utvalgte avlinger. Utbytte fra tare er estimert av SINTEF Fiskeri og havbruk, trevirke (Pil) av Zero (<http://www.zero.no>).

Hva er forskjellen mellom tang og tare?

Både tang og tare kommer inn under samlebegrepet makroalger (også kalt benthosalger).

Marine makroalger omfatter tre hovedgrupper: rødalger (f.eks. søl, fjærehinne), grønnalger (f.eks. havsalat, grønnhinne) og brunalger (f.eks. blæretang, grisetang, fingertare). Det er i gruppen av brunalger man finner tarene. Disse er de største makroalgene, og har typisk en stilk og et stort blad som enten er helt eller oppfliket. Tang er mer greinet, og har ofte (men ikke alltid) blærer eller andre flyteorganer. I Norge har vi ca. 480 arter marine makroalger, av disse er ca. 205 rødalger, 175 brunalger og 100 grønnalger.

2 Kartlegging av mulige anvendelsesområder for tare og eksisterende nærings- og FoU-aktivitet

2.1 Aktuelle bruksområder for marine makroalger

Det største bruksområdet for makroalger pr i dag er mat. Makroalger leveres hovedsakelig fersk for videre prosessering i lokale fabrikker. I Øst-Asia brukes flere sorter makroalger i det daglige kostholdet, mens det i vestlige land stort sett bare er rødalgen søl som brukes. Det er imidlertid en økende interesse for å bruke makroalger til mat også i vestlige land. Den ernæringsmessige verdien av makroalger skyldes først og fremst innholdet av vitaminer og mineraler, samt at noen rødalger har et høyt innhold av proteiner og frie aminosyrer.

Andre bruksområder er:

- Alginat (næringsmiddelindustrien, kosmetikkindustrien, tekstilindustrien)
- Agar (bakteriedyrkingsmedium, næring, legemidler)
- Agarose (DNA-teknologi)
- Karragenan (fortykkingsmidler, fetterstatter i mat)
- Bioprospektering (jakten på verdifulle, biologiske komponenter)
- Fôr til abalone og andre organismer
- Jordforbedringsmiddel
- Utnyttelse av næringssalter fra intensivt fiskeoppdrett (integrert havbruk)

Nye aktuelle anvendelsesområder kan være:

- Biodrivstoff (bioetanol, biogass)
- Kunstige økosystem/kunstige rev
- Fjordrestaurering

Alginatindustrien har en førstehandsverdi på om lag 1,3 mrd NOK på verdensbasis, mens verdien av agar og karragenan er henholdsvis 0,8 og 1,5 mrd NOK.

2.2 Mulig bruk av tare som råstoff til bioenergi



Figur 2. Skisse av verdikjede for bruk av tare til bioenergi

Ved bruk av tare som råstoff til bioenergi er råvareproduksjon første steg. Dette kan enten foregå ved høsting av naturlige bestander i kystnære områder, eller ved dyrking av tare i en eller flere modeller for akvakultur. Andre steg er innhøsting. I Asia, hvor det meste av akvakulturbasert produksjon foregår, gjøres innhøstingen hovedsakelig manuelt. Ved anvendelse av tare til bioenergi i nordområdene vil manuell høsting være uaktuelt av hensyn til høstevolum og det norske kostnadsnivået, slik at mekaniske løsninger må videreutvikles. Ett tredje steg vil være forbehandling i form av rensing, avvanning og avsaltying i den grad det skulle være nødvendig. Nedstrøms prosessering vil variere etter hvilken energigenereringsmodell som velges. Siste ledd i verdikjeden er å utvikle markedet, inklusiv infrastruktur og logistikk som kan ivareta den energi som produseres og mulige andre tilleggsprodukter fra samme råvarestrom.

2.2.1 Forbehandling av biomasse

Tørking av tare bør unngås på grunn av det høye vanninnholdet dersom det lar seg gjøre i forhold til videre prosessering til sluttprodukt. Foruten det høye vanninnholdet har fersk tare en negativ varmeverdi på 12,2 MJ/kg tørrvekt, som gjør tare til et dårlig forbrenningsprodukt. Tare kan fermenteres til både biogass og bioetanol i en prosess som ikke krever tørking, men tvert i mot avhenger av vann for å gi optimalt utbytte. Avsaltying er trolig heller ikke nødvendig, og teknologi for produksjon av biodrivstoff bør utvikles slik at kostbar avsaltying unngås. Det kan for eksempel være nok å tilføre små mengder ferskvann for å oppnå maksimalt produksjonsutbytte av biodrivstoff, men dette må undersøkes og testes nærmere som del av en mer omfattende teknologiutvikling dersom en slik industri skal etableres i Norge.

Hva er biodrivstoff?

Biodrivstoff er drivstoff i form av væske eller gass som er produsert av biologisk materiale. Det kan for eksempel lages av plantevekster, avfall fra husholdninger og næringsvirksomhet og overskuddsprodukter fra jordbruk og fiske. Utslipp av klimagasser ved forbruk av biodrivstoff er lavere enn ved produksjon og bruk av fossilt drivstoff.

Førstegenerasjons bioetanol er produsert av sukker- og stivelsesrike jordbruksvekster som sukkerrør, sukkerroe, mais, hvete og poteter. Førstegenerasjons biodiesel produseres hovedsakelig av oljebaserte råvarer som raps og soya.

Andre generasjons biodrivstoff skal lages av biomasse som ikke kan anvendes til mat og som ikke truer biodiversiteten. Biomassen bør heller ikke være produsert på matjord, og det totale forløpet ved produksjon og forbruk må være karbonnøytralt, dvs. utslipp av CO₂ må ikke være høyere enn det som tas opp av plantene mens de vokser. Trevirke og marine makroalger er eksempler på råstoff for bioetanol- og biogass-produksjon, mens oljerike mikroalger kan brukes som råstoff for biodiesel-produksjon.

2.2.2 Biodrivstoff

Karbohydratene i makroalger kan fermenteres anaerobisk til biogass (metan) eller til etanol for anvendelse i alkoholbasert drivstoff. Biogass kan ikke blandes med diesel eller bensin og krever egen infrastruktur for lagring og transport, mens bioetanol ikke er særlig forskjellig fra andre flytende drivstoff og kan enkelt tilpasses eksisterende infrastruktur.

Biogass

Produksjon av biogass har vært gjenstand for betydelig industriutvikling, og energieffektivitet og utbytte ved anvendelse av tare til dette formål kan i dag beregnes med nokså stor nøyaktighet. Det er ingen kjente store utfordringer knyttet til produksjon av biogass fra tare, men salt, polyfenoler og svovel vil ha innvirkning på fermenteringseffektiviteten.

Tare har ikke blitt brukt som råstoff til biogassproduksjon i særlig grad, men har blitt testet i pilotanlegg i Japan og Frankrike (SEI 2009). Anlegget i Japan ble prosjektert av Tokyo Gas Company for å fermentere 12 tonn avfallsprodukt fra agarproduksjon pr dag, med en forventet biogassproduksjon på 100 000 m³ pr år (Morand et al. 1991). Et piloteksperiment som ble kjørt over 150 dager, hvor 1 tonn kappet *Laminaria* ble tilført pr dag og videre utvannet til slam med 1-5% tørrstoff, ga en produksjon på 22 m³ metangass (60% metan og 40% karbondioksid) pr tonn tare. Tilsvarende produksjon er estimert for *Saccharina latissima* i et program for anvendelse av marin biomasse i USA (Chynoweth 2002). I Frankrike ble biogassproduksjon testet i storskala i 1984 med *Laminaria digitata* som råstoff. En kubikkmeter tare (kuttet i biter) ble tilført en 30 m³ fermenteringstank pr dag, med suksessfull nedbrytning av substrat og høyt utbytte av biogass som resultat.

Avfallsproduktene fra biogassproduksjon er en type slam som har samme anvendelsesområder som annet avfallsvann rikt på næringsstoffer. Spesielt har avfallet blitt brukt som ingrediens i dyrefôr, organisk gjødsel og jordforbedringsprodukter.

Anvendelse av biogass som drivstoff er utbredt i land som Sverige og Danmark, mens Norge fremdeles er i startfasen når det gjelder produksjon og distribusjon for transportmarkedet. I tillegg til et eget transportnett for biogass, er man avhengig av et tilstrekkelig antall sluttbrukere for å lykkes med å realisere en satsing på biogass. Bilmotorer kan bygges om for anvendelse av biogass, eller etterspørselen må økes tilstrekkelig til at bilprodusentene begynner å masseprodusere bilmodeller som går på biogass. Biogass har også et relativt lavt energiinnhold, noe som gjør at den må komprimeres til 200-300 bar i transportkjøretøyer hvis man skal opprettholde dagens kjørelengder pr tank. Spredt bosetting i store deler av Norge gjør generell bruk av biogass lite egnet med dagens teknologi. I de store byene kan biogass derimot være et alternativ, blant annet for busselskaper som kan ha felles tanksted. I byer og bynære områder kan

anvendelse av biogass ha store miljømessige gevinster i form av reduserte partikkelutslipp fra dieselmotorer. Markedet for biogass er begrenset i Norge i dag, men det vil trolig vokse i takt med økt anvendelse av bærekraftige råstoffkilder til en slik produksjon.

Etanol

Fravær av ligning og lavt innhold av cellulose sammenlignet med treverk kan gjøre tare til et attraktivt råstoff for etanolfermentering. Det finns i dag ingen billige kommersielle enzymer som kan bryte ned alginat til fermenterbare sukkermonomerer (enkeltmolekyler). Pre-prosessering ved hjelp av hydrolyse før fermentering eller bruk av tilpassede mikroorganismer er nødvendig. Industriell produksjon av alginat lyase, enzymet som bryter ned alginat, kan på sikt gi rimelig forbehandling av alginat og et betydelig høyere fermenteringsutbytte.

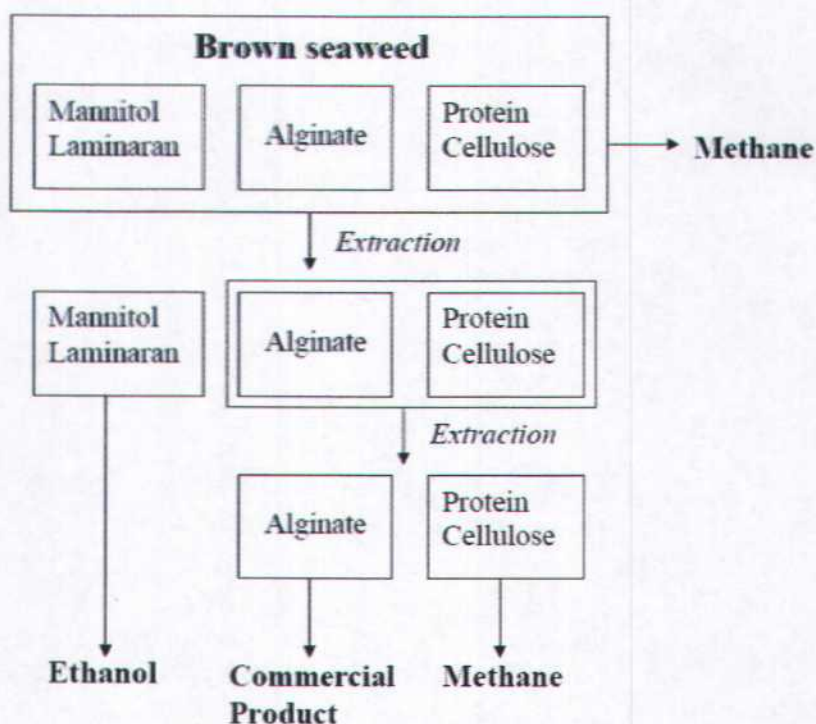
Fermentering av etanol fra makroalger er blant annet undersøkt ved NTNU/SINTEF og ved NERI/DMU i Danmark med varierende suksess. National University of Ireland Galway har i ettertid lyktes med å isolere et enzym med gode egenskaper for å bryte ned komplekse sukker til enkle forbindelser fra den aerobe soppen *Talaromyces emersonii*, og en forskningsgruppe i Kina undersøker alginat lyaser (Zhang et al. 2004).

Etanol anvendes i dag i mye større grad enn biogass som drivstoff, enten ved 5 % eller 15 % innblanding i bensin. Ved 5% innblanding endres ikke kvaliteten på bensin, som kan fylles på de fleste biler, mens det ved 15% innblanding, for å lage E85 bensin, stilles krav om forbrenningsteknologi for denne blandingen. Flere produsenter lager i dag motorer for dette formål. Markedet for etanol er stort. Det ble produsert om lag 45 millioner m³ i 2006, mens behovet er ventet å øke til i størrelsesorden 200 millioner m³ i 2020 (Bruton 2007). På bakgrunn av dette behovet vil det trolig utvikles industriliner for fermentering av tare til etanol på relativt kort sikt. Utnyttelsesgraden av taren som råstoff vil bestemmes av drivstoffpris og etterspørsel. I tillegg kan statlige og regionale insentiver være med på å øke behovet for miljøvennlige råstoffkilder.

Karbohydratene i makroalger:

- **Mannitol** er en monomerisk sukkeralkohol som finnes naturlig i blant annet alger, oliven, sopp og selleri. Den finnes i celleytoplasma og kan utgjøre opp mot 25 % av algens tørrvekt.
- **Laminaran** er en polymerisk glukose som er lagret i kloroplastene i cellene, og kan utgjøre så mye som 34 % av algens tørrvekt.
- **Alginat** er salter av alginsyre, og finnes i alle brunalger. Det er en familie av lineære polysakkarider som består av mannuronsyre- og guluronsyre-blokker. Forholdet mellom disse blokkene gir algene forskjellige strukturer og egenskaper. Alginat kan utgjøre mellom 20 og 45 % av tørrstoffet i algene.
- **Fucoidan** er et sulfert polysakkarid som finnes i brune makroalger
- **Karragenan** er et heterogent polysakkarid bygd opp av enkle sukkerarter. Det utvinnes fra rødalger

2.2.3 Bioraffineri



Figur 3. Oversikt over mulige kombinerte anvendelsesområder av tare. Fra Horn (2000).

Dagens kunnskap om tare dyrking og biodrivstoffproduksjon indikerer at en kombinert utnyttelse av råstoffet, som skissert av Horn (2000) i figur 3, kan gi lønnsomhet på et tidligere stadium enn om man velger å satse utelukkende på produksjon av biodrivstoff. Inntil effektiv fermenteringsteknologi er utviklet, og tilstrekkelig biomasse blir produsert, bør man forsøke å utnytte tare i en industriproduksjon hvor også andre råstoffkilder kan nyttiggjøres i en slags samproduksjon.

Energiproduksjon kan for eksempel kombineres med ekstraksjon av alginat. Alginat utgjør 20-30% av tørrstoffet i tare slik at en produksjon på for eksempel 75 tonn våt vekt tare pr hektar kan gi et utbytte på 4,5 tonn alginat i tillegg til 6 tonn fermenterbart sukker. Det globale markedet for alginat er på ca 30 000 tonn og har en verdi på om lag 36 000-63 000 NOK pr tonn. 500 000 tonn tare dekker alginatmarkedet, og det kan derfor ikke budsjetteres med inntekter fra alginat utover dette, sammenholdt med data for høsting av tare til samme formål. Frankrike, som høster ca 75 tonn tare årlig, vurderer å forby tarehøsting på bakgrunn av for lite kjennskap til effekter på biodiversitet ved høsting og et "føre var" prinsipp fra forvaltningen med hensyn til bærekraftig utnyttelse av marine ressurser. Et slikt forbud vil trolig medføre et økt marked for alginat ekstraksjon fra dyrket tare. Ekstraksjon av fykokolloider (alginat, agar og karragenan) er det eneste industrielle produktet av betydning fra makroalger. Markedet for fykokolloider har økt noen prosent pr år de siste årene, i konkurranse med gelatin og stivelse, og er antydnet å kunne nå et metningsnivå på sikt (Reith et al. 2005). Det er verdt å merke seg at hvert steg i en slik multiutnyttelse av tare trolig vil senke energiutbyttet.

2.3 Oversikt over norsk FoU-aktivitet knyttet til tareproduksjon

Interessen for taredyrking som råstoff for energiproduksjon er ny i Norge og størrelsen på FoU-aktivitet knyttet til dette er derfor relativt beskjeden. Vi kjenner til følgende prosjekter som er knyttet til tareproduksjon i Norge:

- Ocean Biopower– farming seaweed for energy: Brukerstyrt prosjekt finansiert av Norges Forskningsråd (2009-2010). Utvikling av dyrkingsanlegg for offshore tareproduksjon til bioenergi. FoU-partnere er SINTEF Fiskeri og Havbruk, SINTEF Materialer og kjemi, NTNU og UMB.



- Holmfjord AS: Ønsker å starte taredyrking til bioenergiproduksjon og gjødsel til jordbruk. Gjennom prosjektet "Porsangerfjorden tilbake til livet" har de drevet forsøk med dyrking av sukkertare. Holmfjord AS samarbeider Porsanger kommune og ZERO om å få til fullskala tareproduksjon. Foto: Holmfjord AS

- NIVA: Sukkertareprosjektet (2005-2008). Oppdragsgiver SFT. Utførende institusjon: NIVA. Samarbeidspartnere: Havforskningsinstituttet, UiO, UiB, UMB, Bioforsk, Agder naturmuseum, Meteorologisk institutt. Sukkertaren har forsvunnet fra store deler av Skagerrakkysten, og kartleggingen i prosjektet viser at utbredelsen på Vestlandet er sterkt redusert. Et av tiltakene for fjordrestaurering var å dyrke tare for å sette ut i de berørte områdene (Moy et al. 2008). DN og SFT planlegger videre arbeid på oppdrag fra MD.



- SINTEF Fiskeri og Havbruk: StatoilHydro finansierer et ettårig prosjekt som skal vurdere potensialet og teknologibehovet for produksjon av tarebiomasse til bioetanol (2008-2009). Foto: SINTEF Fiskeri og havbruk
- INTEGRATE: Strategisk instituttprogram som blant annet utreder og studerer taredyrking som del av integrert havbruk. SINTEF Fiskeri og havbruk driver landbasert pilotproduksjon av kimplanter på tau for utsett i sjø og dyrkingsforsøk i sjøanlegg.

Tarehistorie

Den industrielle bruken av tang og tare har røtter helt tilbake til 1600-tallet, da franske og britiske glassverk begynte å bruke tareaske som tilsetningsstoff. På begynnelsen av 1800-tallet ble tareaske tatt i bruk til fremstilling av jod, og i 1883 ble moderne tang og tare-forskning innledet da den engelske kjemikeren Edward Stanford oppdaget alginasyren. Oppdagelsen ligger til grunn for våre dagers bruk av alginater, som er blitt en kunnskapsintensiv næring hvor Norge har en internasjonalt ledende posisjon (Utdrag fra PROSMAT sluttrapport 2001).

Norsk Institutt for tang- og tareforskning (NITT) ble opprettet av Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd (NTNF) i 1949. I 1973/74 ble instituttet i sin helhet overført til Universitetet i Trondheim som Institutt for marin biokjemi. Instituttets kjemikere analyserte den kjemiske sammensetningen av de viktigste norske tang- og tarearter og av tangmel, etter først å ha utviklet de nødvendige metodene. Sammen med botanikernes kartlegging av algeforekomstene, ble innsatsen stående som et internasjonalt anerkjent modellarbeid. Kjemikeren Arne Jensen (1926-2000) ble internasjonalt kjent for sine studier av kjemisk sammensetning og praktisk anvendelse av tang og tare. Han markerte seg senere som en pådriver for norsk havbruk og havbruksforskning (Kilde: Store Norske Leksikon)

2.4 Oversikt over norsk næringsaktivitet innen tare

All kommersiell næringsaktivitet knyttet til marine makroalger i Norge i dag er basert på høsting av stortare og grisetang. I Norge har man drevet med kommersiell taretråling i ca. 35 år. Det høstes ca. 150 000 tonn stortare og 20 000 tonn grisetang hvert år langs kysten. Forekomsten av stortare langs norskekysten er estimert til rundt 50 millioner tonn stående biomasse (Steen 2009). All stortaren som høstes leveres i dag til FMC Biopolymer AS sitt anlegg i Haugesund for videreforedling til alginat og alginasyre. FMC Biopolymer AS har en omsetning på ca 2,3 mrd NOK pr år.



Taretråler med nytrålt tare. I hvert trålhal kan det høstes opp mot 2 tonn. (Foto: PRONOVA)

2.5 Relevante aktiviteter i andre land

I Asia ble det i 2006 dyrket 6,5 mill tonn brunalger til en markedsverdi av ca. 24 mrd NOK. Til sammenligning ble det dyrket 350 tonn i Europa til en verdi av 2,7 mill NOK (FAO 2006). Relevant FoU-aktivitet for tare dyrking finner vi blant annet i:



Irland: *Irish Seaweed Centre* driver blant annet med å igangsette og drive prosjekter rettet mot bruk av marine makroalger som en generell ressurs (næringsmidler, kosmetikk, jordbruk). *Sustainable energy Ireland (SEI)*, tidligere *Irish Energy Centre*, har nylig gjort en utredning av potensialet for anvendelse av marine alger som råstoffkilde for biodrivstoff i Irland (SEI 2009).

Foto: *Irish Seaweed Centre*

Spania: *Spanish Institute of Oceanography* arbeider med dyrkingsteknologi for storskala produksjon av sukkertare. De omsetter for 320 000 NOK

Skottland: *The Scottish Association for Marine Sciences (SAMS)* forsker på ulike anvendelser av tare, deriblant produksjon av bioetanol gjennom det EU-finansierte prosjektet *BioMara* som har et budsjett på 50 mill NOK (www.biomara.org).



Tyskland: *Sylter Algenfarm*. Dyrker bl. a. søl (*Palmaria palmata*) og sukkertare til kosmetikk og til mat. Kimplanteproduksjon. *Alfred-Wegner-Institute für Polar und Meeresforschung* utvikler teknologi for offshore dyrking av sukkertare (Roter Sand-prosjektet).

Foto: *Alfred-Wegner-Institute*

Danmark: *Danmarks Tekniske Universitet/Danmarks nasjonale Miljøforsknings-institutt (ForskEL)* utvikler metoder for å dyrke grønngalgen havsalat (*Ulva lactuca*). De skal også se på muligheten for å bruke biomassen til biodrivstoff.

Nederland: *Energy Research Center of the Netherlands* publiserte i 2005 en relativt omfattende rapport hvor en evaluerer planer for å kombinere dyrking av makroalger med vindmølleparker i Nordsjøen. Rapporten er skrevet i et samarbeid mellom representanter for kommersielle selskap for bioenergi og vindenergi og forskere fra Universitetet i Wageningen.



Canada: *University of New Brunswick*. "The Seaweed and Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) Research Laboratory " forsker på muligheten for å øke produksjon av marin biomasse, herunder skjell og tare, ved å utnytte nærings saltutslipp fra fiskeoppdrett.

Foto: *University of New Brunswick*

USA: Storskala høsting av *Macrocystis pyrifera*- (giant kelp, kjempetare) hovedsakelig for alginatindustrien. Kjempetare kan vokse inntil 30 cm pr dag, kan bli opptil 60 m lang og er verdens største marine plante.

Chile: Produksjonen av makroalger, basert på høsting og dyrking, har fluktuert mellom 120 000 og 316 000 tonn i perioden 1992-2002. Bruksområder er alginat og abalonefôr. I Chile planlegges et prosjekt hvor det skal dyrkes 20 000 ha med *Macrocystis pyrifera* til bioetanol. Restavfallet blir planlagt brukt til gjødsel og fiskefôr (A. Buschmann, University of Los Lagos, personlig meddelelse). I første omgang skal et mindre pilotanlegg settes opp.



Kina: Kina produserer 14 mill tonn makroalger årlig og står for 93 % av den globale produksjonen. Anvendelsen er hovedsakelig til menneskeføde og som råmateriale til kjemikalieindustrien. Forskningsinstituttet Yellow Sea Fisheries Research Institute har aktivitet på dyrking av *Laminaria japonica*, *Sargassum* og *Gracillaria*.
Foto: SINTEF Fiskeri og havbruk



Japan: I Japan er det planlagt marine dyrkingsanlegg på 40 km² med en estimert produksjon på 1 million tonn *Saccharina japonica*, mens prosjektet "Ocean Sunrise Project" har til hensikt å dyrke tare (*Sargassum*) i industriell skala til biodrivstoffproduksjon på et areal på 4,47 mill km²!

Korea: Sør-Korea har innledet FoU-samarbeid med Indonesia på dyrking av tare til biodrivstoffproduksjon. Indonesia stiller arealer på til sammen 1 mill ha til rådighet for prosjektene.

Filippinene: Filippinene er en av verdens største makroalgeprodusenter. Det dyrkes mange arter men de store volumene er av noen karragenan-rike rødalger (hovedsakelig *Eucheuma* spp) med et samlet volum på 1,3 mill tonn våtvekt.

3 Vurdering av mulighetsområder for tare dyrking til bioenergi i Norge

Brune makroalger har et stort dyrkingspotensial i nordområdene (Nordland, Troms, Finnmark og Svalbard). Disse områdene er naturlige vekstområder for mange tang- og tarearter. Potensielle arter som er aktuelle for dyrking i Nord-Norge er de arter som naturlig finnes langs den nordlige kystlinjen. Noen av disse er mindre aktuelle på grunn av lav vekstrate, dårlig egnethet for dyrkning på tau og uegnet karbohydratinnhold.

3.1 Aktuelle arter

Brunalgene (*Laminariales*) er den dominerende tareordenen i Nord-Atlanteren. De er flerårige og kan bli mange meter lange. Taren vokser raskt fra vinter til sommer og sakte fra sommer til vinter. I perioden med lav vekst akkumuleres karbohydrater som energilager for vekst resten av året.

Tarearter som kan være aktuelle for dyrkning er:

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



Sukkertare vokser på beskyttede lokaliteter og finnes vanligvis fra den nederste fjæresonen og ned til 30 meter. Den lever i gjennomsnitt fra 2 til 4 år og vokser hurtig fra tidlig vinter til april. Sukkertare høstes ikke kommersielt, men kan brukes som en grønnsak. Den har siden 2006 vært i Artsdatabankens rødlistet grunnet svekkede bestander langs kysten på sør- og vestlandet.



Butare finnes ved lavvannsmerket til 8 meters dyp på bølgeeksponerte lokaliteter. Arten kan brukes til flere formål innen mat, alginatproduksjon og kosmetikk produksjon, og er rik på karbohydrater, proteiner, vitaminer og spormetaller.



Fingertare begrenses ofte til den øvre del av den nedre fjæresonen, men kan også finnes ned til 20 meters dyp i klart vann. Taren høstes kommersielt i Storbritannia for alginatproduksjon, og i Irland og Frankrike til matformål. Den tåler mye lys, og er ofte tørrlagt ved fjære sjø.



Stortare finnes på steingrunn og andre stabile substrater fra ekstremt lavvannsmerke til rundt 8 meter i kystvann og 30 meters dyp i klart kystvann. Den vokser til en tett skog under optimale forhold og høstes kommersielt til alginatindustrien. Det vokser anslagsvis 50 mill tonn stortare langs kysten, og dette er den dominerende arten i

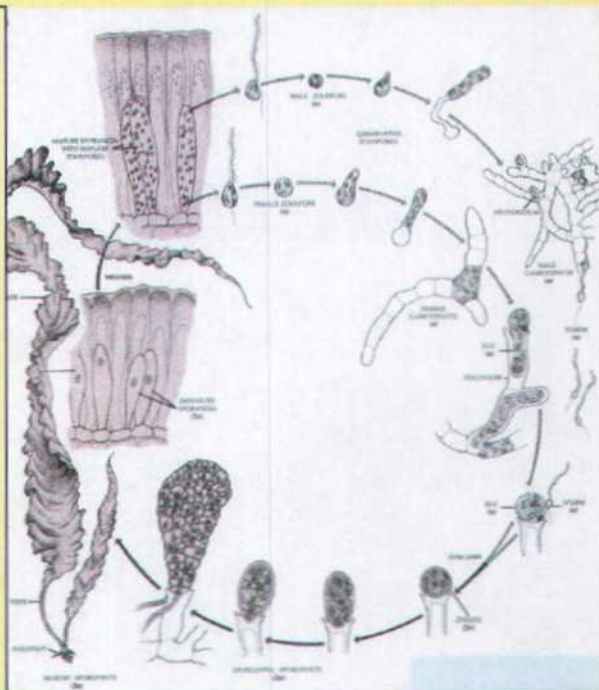
forhold til biomasse og økologisk betydning. Den har en lang vekstperiode, og når sitt maksimum etter 8 år. Dette gjør at det er en uegnet art for dyrkning.

Draughtare vokser fra ekstremt lavvannsmerke til ca 35 meters dyp. Den fester seg vanligvis på steiner, men finnes også løstliggende på små steiner eller skjell. Arten tåler sterk strøm. Sukkerinnholdet i denne arten er lite egnet for fermentering, og den egner seg ikke for dyrkning på tau.

Bladtare vokser i nordområdene, og har en optimumstemperatur på 10 grader. Det finnes lite informasjon om denne arten.

Livssyklus hos tare.

Tare har en komplisert livssyklus som omfatter et makroskopisk og et mikroskopisk stadium. På høsten utvikler taren forplantningsdyktige områder på bladet, og på senhøsten og vinteren sprer taren et stort antall zoosporer i vannet. Dette er mikroskopiske, svømmedyktige sporer som normalt spres innenfor et lite område, mer avhengig av strømforhold enn svømmedyktighet. Zoosporene faller ned på sjøbunnen og fester seg til underlaget. I løpet av vinteren spirer sporene til mikroskopiske, små hann- og hunnplanter. Dette er tares nesten usynlige fase med kjønnnet formering (gametofytt). På hunnplanten vokser det fram et egg og hannplantene slipper ut en mengde små spermatozoider (spermielignende celler). Disse skal finne veien til en hunnplante og befrukte egget. Det befruktede egget spirer straks og en ny kimplante vokser ut av egget på hunnplanten. Ved dyrking av tare må man beherske hele denne livssyklusen, og man setter de små kimplantene ut i sjø når de har oppnådd en lengde på 1-2 cm.



Livssyklus for *Laminaria* (kilde: www.kankoku.uga)

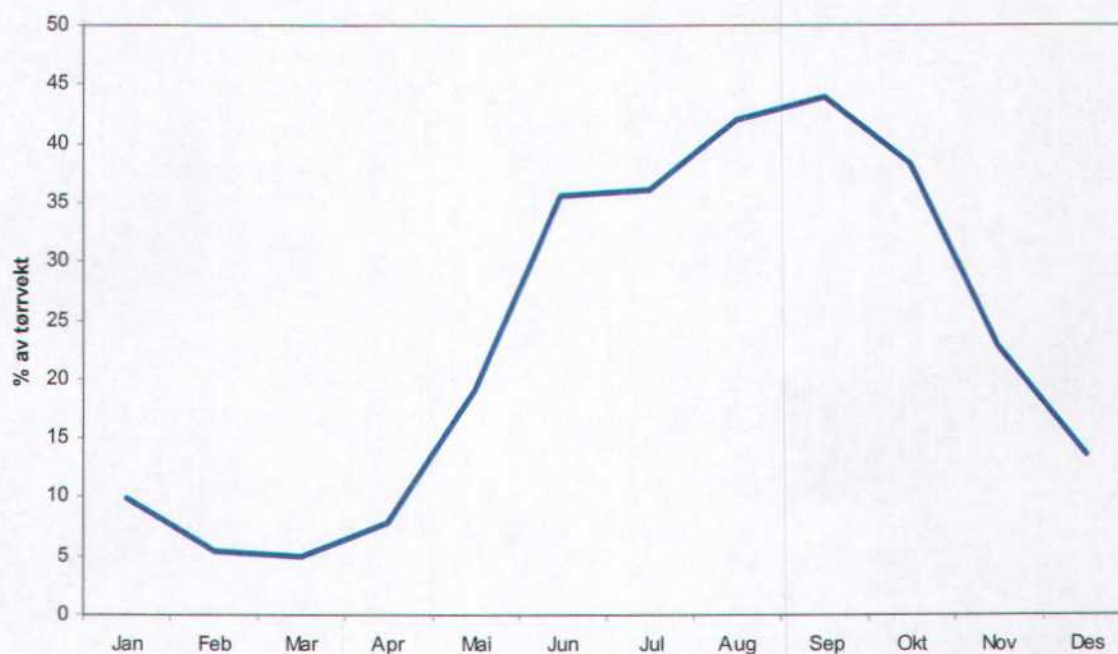
3.2 Biologiske betingelser

De viktigste faktorene for vekst hos tare:

- **Lys** er avgjørende for vekst av all marin flora, og veksten begrenses seg til det dyp der 1-5 % av overflatelyst trenger ned. Partikler i vannet fra elveavrenning, oppløst organisk materiale og algeoppblomstringer kan begrense utbredelsen av makroalger nedover i dypet.
- **Temperatur** påvirker produktiviteten hos makroalger gjennom å kontrollere hastigheten på biokjemiske reaksjoner, og er den viktigste faktoren for horisontal utbredelse. Alle alger har bestemte optimumstemperaturer, både for vekst og reproduksjon. Svalbard har et rikt makroalgemangfold, noe som sier oss at den nedre temperaturgrensen er veldig lav for enkelte arter.

- *Næring.* Uorganiske nitrogenforbindelser (nitrat, nitritt og ammonium) er de vanligste begrensende næringsstoff for vekst i de fleste marine økosystemer. I tillegg trenger makroalgene fosfat og en rekke mikronæringsstoffer (Fe, Mn, Zn) for vekst.
- *Strømforhold.* Tilførsel av næringssalter til makroalgene bestemmes av vannbevegelsene i nærheten av algene. Også økt sedimentering av partikler som legger seg på makroalgene i områder med liten vannbevegelse vil kunne bli et problem, siden det hindrer lystilgang og dermed algens fotosyntese. Gode strømforhold vil også hindre for mye pågroing av andre arter.

Tørrestoffinnholdet i tare varierer mellom arter og gjennom året. Generelt sett vil det variere mellom 8 og 25 prosent. Av dette vil normalt 20-60 prosent være karbohydrater. De viktigste karbohydrattypene i tare er mannitol, laminaran og alginat. Mannitol og laminaran er energilagringsskomponenter slik som stivelse i landplanter, mens alginat er den strukturelle komponenten, sammenlignbar med cellulose og lignin i landplanter. Karbohydrater kan omdannes til etanol (alkohol) via fermentering.



Figur 4. Eksempel på årstidsvariasjon av det samlede innholdet av karbohydratene mannitol og laminaran i tare (% av tørrvekt) (Haug og Jensen 1954).

Av de tre karbohydrattypene er mannitol og laminaran lette å fermentere, mens alginat er mer utfordrende pga den komplekse strukturen. Siden alginat kan utgjøre opp mot 100 prosent av karbohydratet i taren, spesielt tidlig om våren, er det svært viktig å finne metoder for enkelt å fermentere alginatet da dette vil muliggjøre en helårlig produksjon og høsting til bioetanol. Mannitol og laminaran finnes i størst mengder på sensommeren og høsten, og er så og si fraværende om våren (Figur 4).

3.3 Teknologisk status

Tabell 1. Utfordringer og teknologisk status for tare dyrking i Nord-Norge.

Faser	Utfordringer	Teknologisk status
Kimplanteproduksjon	Kontrollert helårlig produksjon av kimplanter.	Daglengdemanipulasjon av sporebærende vev kun utført i forsøksskala. I Kina har det vært forsøk med utvikling av vegetative gametofyttkulturer i stor skala.
Dyrking i sjø	Maksimal produktivitet og optimal kjemisk sammensetning.	Ufullstendige og manglende data om årstidsvariasjon i kjemisk sammensetning.
	Storskala dyrkingssystemer	Småskalaforforsk
Høsting og logistikk	Automatisering. Mottak.	Manuelt
Mikrobiell prosessering av tarebiomasse	Alginat er tungt fermenterbart	Ingen eksisterende teknologi for fermentering av alginat.
	Identifisering av mikroorganismer som kan produsere etanol fra tarebiomasse.	Man kan produsere etanol fra mannitol og laminaran. Lite tilgjengelig informasjon om produksjon av andre biodrivstoff og kjemikalier fra tare.

I dag dyrkes tare på taustrukturer i kystnære områder. Dyrkingen skjer i all hovedsak i Asia, der Kina står for store deler av produksjonen. Dette er en meget lavteknologisk og arbeidskrevende industri hvor det meste gjøres for hånd. I Europa har utnyttelse av tang og tare vært basert på høsting av naturlige bestander. Økt fokus på klimaproblematikk og alternative energikilder har imidlertid gjort tare dyrking aktuelt også i våre områder. Utfordringer og teknologisk status på de ulike fasene i tare dyrking og biodrivstoffproduksjon fra tarebiomasse er presentert i Tabell 1. I tillegg er det avgjørende å identifisere de best egnede artene for dyrkingsted og dyrkingsteknologi. Det vil også bli en utfordring å finne de beste lokalitetene, helhetlig vurdert, for tare dyrking.

3.4 Areal, produktivitet og lokalisering

I utgangspunktet bør tare kunne dyrkes langs hele norskekysten. Imidlertid kan temperatur, lys og tilførsel av næringssalter være begrensende for flere arter.

3.4.1 Naturlig tareproduksjon langs norskekysten

Netto primærproduksjon i tareskog er 1,2-1,9 kg karbon pr kvadratmeter pr år i følge Lüning (1990). Avhengig av art, årstid og breddegrad vil dette kunne bety en årlig naturlig produksjon på minst 40 kg biomasse våtvekt pr kvadratmeter, eller 400 tonn pr hektar. Dette er beregnet ut ifra at antatt tørrstoffinnhold på 15 % og 20 % karboninnhold av tørrstoffet. Havforskningsinstituttet (Steen 2008, 2009) anslår den stående massen av stortare langs kysten til å være rundt 50 millioner tonn og at tareskog dekker 5000-10000 km² av norskekysten. Det betyr at det i disse tareskogene står 50-100 tonn tare pr hektar. Storskala produksjon av biodrivstoff fra tare kan ikke baseres på høsting av naturlige bestander uten tilstrekkelig kunnskap om effektene på habitatene hvor det høstes, biodiversitet i tareskogene og reetablering av ny tareskog. En tenkt høsting av flere millioner tonn tare årlig vil heller ikke være forutsigbar for å sikre en tilgang på biomasse over tid. Globalt har andelen av høstet tare sunket betraktelig de siste årene, mens andelen av dyrket tare har økt tilsvarende (SEI 2009).

Tabell 2. Produksjon og stående biomasse hos noen tarearter.

Art	Biomasse eller produktivitet (tonn våt vekt pr hektar)	Vekstperiode	Land/område	Opprinnelig kilde
<i>S. latissima</i>	70-100 ^a	4,5 måneder	Sør-Trøndelag	SINTEF Fiskeri og Havbruk 2009 (Upublisert)
<i>S. latissima</i>	42-284 ^a	6 måneder	Storbritannia	Kain, sitert i Druehl et al. 1988
<i>S. latissima</i>	30-80 ^a	8 måneder	British Columbia, Canada	Druehl et al. 1988
<i>S. latissima</i>	75 ^b	12 måneder	Skottland	SEI 2009
<i>L. hyperborea</i>	50-100 ^c	Stående naturlig biomasse	Norskekysten	Estimert fra Steen 2008 og Steen 2009
<i>L. hyperborea</i>	60-160 ^c	Stående naturlig biomasse	Nordland og Finnmark	Sjøtun et al. 1993
<i>A. esculenta</i>	72-119 ^a	3 måneder	Storbritannia	Kain, sitert i Druehl et al. 1988
<i>L. groenlandica</i>	26-205 ^a	18 måneder	British Columbia, Canada	Druehl et al. 1988
Tareskog (diverse arter)	400 ^c	Årlig naturlig produksjon	Diverse steder	Estimert fra Mann 1982 sitert i Luning 1990

^a Estimert fra registrering av biomasse i dyrkingsforsøk (kg våt vekt pr meter taukultur). Det er antatt at man gjennomsnittlig kan dyrke 1 m taukultur pr m².

^b Tallene er estimert fra oppgaver om produsert biomasse i tørr vekt pr hektar pr år. Ved omregning har vi antatt et tørrstoffinnhold på 20 %.

^c Tallene er estimert fra oppgaver om naturlig stående biomasse eller årlig produksjon pr areal.

For å gi et generelt inntrykk av mulighetene for dyrking av tarebiomasse er det samlet tall for produksjon eller stående biomasse på ulike steder i Tabell 2.

3.4.2 Areal og tareproduksjon i Nord-Norge

Det har vært spekulert i om netto primærproduksjon hos *Laminaria*-slekten (som bl. a. omfatter fingertare, stortare og tidligere også sukkertare) er høyere enn hos kjempetaren *Macrocystis pyrifera*, som er ansett som en av de raskest voksende organismene som finnes, fordi *Macrocystis* bruker svært mye energi på å holde oppe sin store biomasse (Beavis og Charlier 1987).

Det er grunn til å tro at man ved dyrking av tare kan oppnå minst like høy produktivitet som i naturen, selv om små planter vokser mindre enn store målt i absolutte tall. Små planter vokser relativt sett raskest. Gjennom avl kan man søke å dyrke frem hurtigvoksende planter med høyt innhold av fermenterbare karbohydrater. I Kina har man avlet frem svært hurtigvoksende arter av den japanske sukkertaren *Saccharina japonica*. Optimalisering av høstingsstrategi kan være en annen måte å øke utbyttet av taren på.

Ved anvendelse av tare som råstoff til bioenergi, kan man ta utgangspunkt i at etanol fra tare skal utgjøre 5 % (i volum) av drivstoffet som brukes i Norge årlig. Dette utgjør rundt 245 millioner liter etanol og tilsvarer rundt 420 000 tonn karbohydrater (glukose). Til dette trengs ca. 1 - 1,4 millioner tonn tare i tørrvekt, eller rundt 5,2-7 millioner tonn tare i våt vekt, dersom karbohydrater utgjør 30-40 % av tørrstoffet, og tørrstoffet 20 % av totalvekten. Med 250 tonn tare pr hektar er arealbehovet da rundt 208-280 km². Med en produksjon på 75 tonn/ha, som er et forsiktig estimat i (jmf. tallene for sukkertare i tabell 2, og avsnitt 4.2), trengs 690-930 km².

Nord-Norge

Fastlandskysten av Nordland, Troms og Finnmark utgjør mer enn 42 prosent av den totale norske fastlandskystlinjen. Territorialfarvannet i de tre fylkene er på totalt 119 442 km², med 57 440 km²

i Nordland, 20 396 km² i Troms og 41 607 km² i Finnmark (tall fra statens kartverk). Sammenligner vi med 5 % -målet i forrige avsnitt, er det i utgangspunktet rikelig med sjøareal tilgjengelig. Det er imidlertid flere hensyn å ta. Industrialisering av tareproduksjon medfører bruk av store arealer, slik at det blir viktig å ta hensyn til farled, eksisterende akvakulturlokaliteter og estetikk ved konsesjonstildeling og forvaltning av kystnære områder, samt til andre anvendelser av kystområdene. Videre må man ta hensyn til områder som er fredet, det være seg av natur- eller kulturvern hensyn. Dog må det nevnes at fjorder eller områder som frarådes brukt til oppdrett av laks eller annen matfisk grunnet f. eks. næringsforurensning og lignende, i prinsippet kan være godt egnet til taredyrking. Taredyrking kan brukes som fjordforbedrende tiltak og vil ta opp deler av næringssaltutslipp fra vann- og avløp i bebygde strøk samt fra fiskeoppdrettsanlegg dersom plasseringen av anleggene gjøres riktig i forhold til hverandre med hensyn til strømforhold. Samtidig vil kunstige tareskoger i form av taredyrkingsanlegg gi ly til yngel av ulike fiskeslag, og på den måten stimulere den naturlige fiskeproduksjonen i området

Utslippene av nitrogen fra norsk oppdrett av laks og regnbueørret var i 2006 på litt over 28 000 tonn. Hoveddelen av dette blir tilført gjennom fiskens avføring. Hvis alt dette kunne anvendes til vekst hos tare, ville det gitt en produksjon på 10-20 millioner tonn. Potensialet for taredyrking er med andre ord svært stort, uten at det behøver å gå ut over de naturlige forekomstene av næringssalt i havet.

Tabell 3. Utslipp av nitrogen fra akvakultur Nordland, Troms og Finnmark i 2007.

	Produksjon av laks/regnbueørret (tonn)	Utslipp av nitrogen (tonn)	Potensiell tareproduksjon (tonn våtvekt)	Arealbehov for å utnytte potensialet (km ²)	Potensielt etanol (mill. l)
Nordland	133 551	5 876	2 938 122	392	137
Troms	85 328	3 754	1 877 216	250	87
Finnmark	20 208	889	444 576	59	20
Totalt	239 087	10 520	5 259 914	701	245

Tabellen er basert på solgt mengde slaktet laks og regnbueørret (Kilde: Fiskeridirektoratet; Nøkkeltall fra norsk havbruksnæring for 2007). Vi har lagt til grunn at produksjon av ett tonn laks/regnbueørret fører til utslipp av 44 kg nitrogen i løpet av et år (Olsen et al. 2008). For tareproduksjonen har vi forutsatt 20 % tørrstoff og at 1 % av dette er nitrogen. Dette vil være realistiske tall for høsting om sommeren. Til arealberegningene har vi forutsatt en produksjon på 75 tonn (våt vekt) tare pr hektar. Til etanolberegningene forutsetter vi 20 % tørrstoff hvorav 40 % er fermenterbare karbohydrater. Grunnet avrunding kan det forekomme små avvik i tabellen.

I tabell 3 har vi brutt ned utslippene av nitrogen fra de tre nordligste fylkene. Tallene er fra Fiskeridirektoratet (Nøkkeltall fra norsk havbruksnæring for 2007). Med utgangspunkt i det som potensielt slippes ut fra akvakulturnæringen, er det altså i Nordland, Troms og Finnmark et potensial til å dyrke over 5 millioner tonn tare uten at det går på bekostning av de naturlige ressursene. I tabellen er det også antydnet hvilke arealer man kan være nødt til å bruke for å utnytte potensialet i utslippene fra oppdrettsnæringen. Vi har forutsatt at man kan dyrke 75 tonn tare pr hektar.

Fra tabell 3 ser vi at hvis hele det antatte nitrogenutslippet fra oppdrett av laksefisk i Nord-Norge kan anvendes til taredyrking, gir det råstoff nok til å produsere mer enn 245 millioner liter etanol pr år, eller rundt 5 % av det totale drivstoffvolumet som forbrukes i veitrafikken i Norge i løpet av et år (2006). Det totale sjøareale som kreves er på rundt 700 km².

Ved utgangen av 2007 var det 144 akvakulturtillatelser i drift for laksefisk i Nordland, 86 i Troms og 83 i Finnmark. Tillatelsene var fordelt over henholdsvis 236, 123 og 83 lokaliteter i de tre

fylkene (Fiskeridirektoratet: Nøkkeltall fra norsk havbruksnæring for 2007). En del av disse er landbaserte anlegg, men langt de fleste er havbrukslokaliteter. Hvis vi legger til grunn at oppdrett av 2000 tonn laks krever et totalt areal på 1 km² (basert på et konkret eksempel), kan vi anslå at havbrukslokaliteter i Nordland, Troms og Finnmark legger beslag på nesten 120 km², eller 0,1 % av det totale territorialfarvannet i de tre fylkene. Altså legger havbrukslokaliteter i Nordland, Troms og Finnmark allerede beslag på et areal i størrelsesorden det man trenger for å produsere tare nok til 1 % av det årlige drivstofforbruket i veitrafikken i Norge. Hvis man kan dyrke 75 tonn tare per hektar, vil man trenge 5-6 ganger så stort areal i tillegg for å fange opp næringssaltutslippene fra (sjøbasert) oppdrett av laksefisk.

Det er mye som tyder på at samlokalisering av tareyrking og oppdrett av laksefisk er hensiktsmessig, både for økt veksthastighet hos tare, men og for å hindre uønsket næringssaltbelastning på nærliggende fjord- og kystområder. Slikt *integrert havbruk* med laks og tare har vært demonstrert med suksess i Canada. Tareyrking behøver ikke beslaglegge svært mye ekstra areal om man velger en slik produksjonsform. Samlokalisering med fiskeanlegg vil også til en viss grad kunne nyttiggjøre seg av eksisterende infrastruktur og personell. I en slik situasjon kan man tenke seg tareyrking som en biinntekt. Lakseproduksjonen blir i tillegg mer miljøvennlig og det bør undersøkes hvorvidt dette kan gi økt laksepris innenfor visse salgssegmenter.

På den ene siden må det dyrkes mye tare for å ta opp alt nitrogen som følge av utslipp, enten det er fra fiskeoppdrett, landbruk eller annen virksomhet sammen (jmf tabell 3). På den andre siden er dette en ressurs fordi man av samme grunn vil kunne produsere mye tare uten å tappe naturlige ressurser.

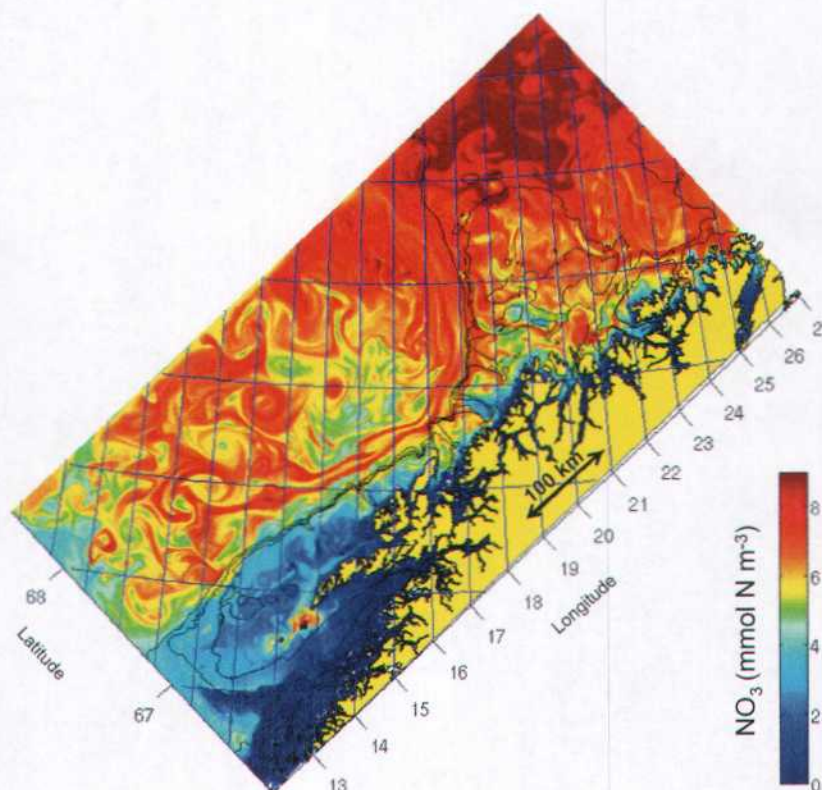
3.4.3 En god lokalitet for tareyrking

En god lokalitet for tareyrking bør ha:

- Tilstrekkelig konsentrasjon av næringssalter (minimun 3 µmol nitrat/l).
- Moderat til høy gjennomsnittlig strømhastighet (5-20 cm s⁻¹).
- Middels temperatur som ikke blir for høy om sommeren (ikke over 17 grader).
- Lav partikkelkonsentrasjon for å gi gode lys- og vekstforhold.
- Saltholdighet på 30-35 ppm.

Kombinasjonen av disse faktorene, i tillegg til mange andre, er avgjørende for om et område egner seg til tareyrking. Til å avgjøre om en lokalitet eller et område egner seg til tareyrking eller annen akvakultur, kan man ha god hjelp av en numerisk modell. Ved SINTEF Fiskeri og havbruk har man utviklet en slik modell i tre dimensjoner, som i tillegg til strøm, temperatur og spredning av næringssalt også har en komponent som simulerer konsentrasjon og vekst av plante- og dyreplankton. Et eksempel på et resultat fra denne modellen er vist i figur 5. Figuren viser et øyeblikksbilde av næringssaltkonsentrasjonen i overflaten i havet utenfor Lofoten, Vesterålen og Troms i begynnelsen av juni. Utslipp fra akvakulturlokaliteter er ikke tatt med. Blått antyder lave og rødt høyere konsentrasjoner av næringssalt.

Fra figur 5 ser vi at konsentrasjonen av næringssalter er mye lavere inne ved kysten enn ute i havet. Dette skyldes at næringssaltene langs kysten er brukt opp i løpet av den naturlige, årlige oppblomstringen av planktonalger. Denne oppblomstringen kommer vanligvis senere i Atlanterhavet enn ved kysten på grunn av et dypere blandingslag.



Figur 5. Simulert næringssaltkonsentrasjon i overflaten i havet utenfor Lofoten, Vesterålen og Troms i begynnelsen av juni. Simuleringen er gjennomført med SINMOD, en modell utviklet ved SINTEF.

Dermed kan de naturlige forekomstene av næringssalter utnyttes til taredyrking over en lengre vekstperiode i havet enn ved kysten. Partikkelkonsentrasjonen er også lavere, vintertemperaturene høyere og sommertemperaturene lavere i atlanterhavsvann enn i kystvann (Sakshaug 1994). Det er derfor grunn til å tro at offshoreanlegg vil gi gode betingelser for taredyrking. Utfordringen vil bli å finne effektive og robuste tekniske løsninger.

Ved taredyrking i både liten og stor skala må man, i tillegg til de rent biologiske betingelsene, ta med logistikk og transport i betraktningen når lokaliteter skal vurderes. Ved dyrking i liten skala vil man antagelig bli nødt til å basere seg på eksisterende infrastruktur, for eksempel i tilknytning til fiskeoppdrett. Dette vil i hovedsak dreie seg om kystnære anlegg.

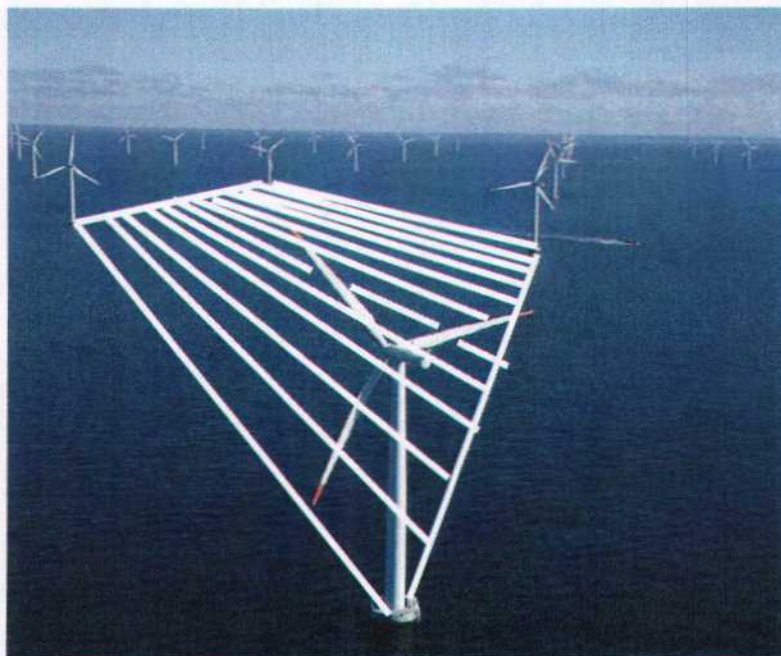
Ved storskala dyrking vil man kunne konstruere egne, havbaserte anlegg, med de fordeler det medfører. Da kan det være aktuelt å bygge opp egen infrastruktur. Hvis offshore vindmølleparker blir utbygget, vil det være mulig å samlokalisere taredyrking med vindmøller, og dermed kunne utnytte infrastruktur og areal bedre, i tillegg til å øke lønnsomheten. Idéen om å dyrke tare i forbindelse med vindmøller har dukket opp ved flere anledninger (SEI 2009).

Det må understrekes at hver enkelt lokalitet bør undersøkes før det settes i gang taredyrking. En numerisk modell kan brukes til å finne gode kandidater som siden undersøkes eksperimentelt eller på annen måte.

3.5 Mulige næringsaktører

Dyrking av tare kan utvikles med flere typer næringsaktører avhengig av hvor i verdikjeden en vurderer problemstillingen. I Norge har vi allerede etablert en sterk og globalt ledende næringsklynge av råstoffprodusenter og underleverandører av teknologi for akvakulturproduksjon av fisk. Et scenario vil åpenbart være å satse på kystnær produksjon av tare, gjerne i kombinasjon med oppdrettsanlegg, såkalt integrert havbruk. Gjennom integrert havbruk kan man komme i en "vinn-vinn"-situasjon ved at utslipp fra lakseanleggene fungerer som gjødsel for taren, og ved at produksjonen skjer ved utnyttelse av mye av den samme infrastruktur som oppdrettfirmaene allerede har i drift langs kysten. En slik modell mener vi også vil være gunstig økonomisk i de tilfeller en vil satse på en differensiert produktutnyttelse av tare som råvare for eksempel alginatproduksjon, helsekost, konsumprodukter, med mer. Da vil produksjonen med stor sannsynlighet ikke være så avhengig av skala (volum) i produksjonen, som en ren bioenergiutnyttelse vil være.

Industrimodellen for dyrking av tare vil basere seg på helt nye næringsaktører i forhold til integrert havbruk. Industrimodellen tar sikte på storskala drift med ren energiproduksjon som primær anvendelse av råvarene. I en slik modell vil aktører som allerede er etablert innen energiproduksjon være de mest aktuelle for å utvikle dette til industriell skala. Konkret bør det være et interessant scenario å kombinere havbaserte vindmøller eller andre store offshore strukturer med tare dyrking. Vindmøller til havs vil naturlig måtte disponere en del areal med ankerfester og lignende. Mellom vindmøllene, dvs. integrert i vindmølleparken strekkes hengekulturer for dyrking av tare, som dermed sparer betydelige kostnader med "gratis" forankring, samtidig som arealutnyttelsen blir maksimal. En slik modell er allerede utredet av ECN (Energy Research Centre of the Netherlands) med tanke på utplassering i Nordsjøen (Reith et al. 2005). En skisse for hvordan dette kan se ut er vist i figur 6.



Figur 6. Mulig samlokalisering av hav vindmøller og dyrkingsanlegg for tare

Nedstrømsaktivitet vil enten være basert på produksjon av metangass for videre produksjon av elektrisitet. Da vil integrering med de samme aktører som produserer elektrisitet fra

havvindmøller være svært aktuelt. Alternativt vil en kunne utnytte taren til bioetanol via fermenteringsanlegg. Bioetanol vil være av interesse for oljeselskapene som en naturlig del av sin produktportefølje. Etterspørselen etter biodrivstoff vil bare øke i fremtiden, og vi tror at det vil være stor interesse fra energiselskapene for å skaffe seg tilgang til "grønne energikilder" basert på fornybare ressurser i stedet for ensidig satsing på fossil energi.

Produksjon av tare kan utvikles i en integrert modell hvor den nye næringen kommer som et supplement til eksisterende akvakulturvirksomhet langs kysten. Nedstrømsutnyttelse til bioenergiformål vil imidlertid kreve at slik virksomhet konsentreres til enkelte områder av kysten for å oppnå nødvendig kostnadseffektivitet innen transport/logistikk av råvaren. Selve "foredlingsdelen" av verdikjeden vil måtte skje ved ett eller få anlegg som krever betydelig kompetanse og ikke minst kapital for realisering. Forutsetningen for dette har allerede et godt fundament innen nasjonalt etablert næringsliv.

3.6 Overslag over bedrifts- og samfunnsøkonomisk lønnsomhet

3.6.1 Bedriftsøkonomisk lønnsomhet

Estimering av eksakte overslag over lønnsomhet er vanskelig fordi det ikke foreligger pålitelige data for industriell skala produksjon fra dyrket tare, verken i Norge eller andre sammenliknbare land. Kostnadene for *fangst* i Norge er estimert til 170-200 NOK/tonn, dvs det er den prisen taretrålerne oppnår ved videresalg til alginatindustrien. Tall fra høsting av *Laminaria* i Frankrike anslår kostnader på 360 NOK/tonn våt vekt, dvs. 2380 NOK/tonn tørrstoff (Tabell 4). Det er ingen sikre estimer for kostnader ved etablering av dyrkingsanlegg for *Laminaria*-akvakultur i Europa. I hovedsak er det kun småskala tester som er gjennomført her. Et forsøk i Storbritannia har estimert kostnader til dyrkingstau til ca £ 2 300/ha (NOK 25 000/ha) (Kelly et al. 2008). Det virker kanskje billig for norske forhold, men er heller ikke usannsynlig fordi det er ganske enkle systemer som skal til for selve dyrkingsanleggene. Kostnadmessig ligger de store utfordringene i nødvendig mekanisering av innhøsting, transport av store volumer og ikke minst i etablering av industrielle prosessanlegg for sluttproduktene.

Det mest gjennomarbeidete estimat for break-even analyser for bruk av tare til bioenergi er gjort av det nederlandske energiforskningsinstituttet ECN. I en studie fra 2005 (Reith et al. 2005) har de evaluert planer for et offshore dyrkingsanlegg i kombinasjon med en stor vindmøllepark i Nordsjøen. Anlegget, inkludert vindmøllene, er planlagt over et område på 1.000 km². Energien utnyttes i form av biogass (metan) via anareob fermentering av taren. Gassen benyttes til produksjon av elektrisitet (i kombinasjon med vindmøllene) i et landbasert anlegg. Estimater tar utgangspunkt i en produktivitet på 20 tonn tørrvekt/ha/år for "vanlig" dyrking, og opp til 50 tonn tørrvekt/ha/år ved gjødsling av produksjonsområdet (jmf. potensialet ved integrert havbruk). Kalkylen estimerer den maksimale kostnad per tonn tørrvekt som kan tilfalle selve dyrkingen av taren gitt at hele investeringen og driften av anlegget kan gå i balanse. Resultatene viser en "break-even"-pris på i underkant av 600 NOK/tonn tørrvekt. ved et anlegg som produserer 100 000 tonn.

I den nederlandske analysen har de også gjort tilsvarende estimer for en kombinert anvendelse av bioetanolproduksjon og biogass til elektrisitetsproduksjon. Konklusjonen her er at denne modellen ikke gir betalingsevne for råstoffet ved et 100 000 tonn anlegg, mens produksjon av 500 000 tonn gir en betalingsevne til råstoffet på i underkant av 400 NOK/tonn. Altså er det etter deres beregninger betydelig dårligere lønnsomhet for anvendelse til bioetanol enn biogass, og det er betydelig større skalaeffekter for bioetanolanlegg enn biogass.

Tallene er publisert i 2005 og ikke korrigert til dagens verdi. Det anses heller ikke formålstjenlig å gå i detalj på alle forutsetningene da det stadig skjer teknologiske skift innen disse fagområdene som vil kunne endre forutsetninger og kalkyler vesentlig.

3.6.2 Samfunnsøkonomisk lønnsomhet

Spesielt i lys av en Nordområdestrategi vil de samfunnsøkonomiske effekter av en nasjonal satsing på å bygge en industriell storskala virksomhet basert på taredyrking være interessante. De biologiske forhold ligger til rette for å utnytte våre enorme havområder i kombinasjon med andre etablerte næringssystemer, som fiskeoppdrett og vindkraft, hvor vi på nasjonalt plan har komparative fortrinn.

Særlig vil nedstrømsaktivitetene i form av ny kompetansebasert industri kunne gi positive samfunnsøkonomiske ringvirkninger. Nordområdene har opprinnelig vært økonomisk basert på primærnæringene, og da særlig fiske og fangst. Fra 70-tallet er disse næringene restrukturert for å oppnå bedriftsøkonomisk lønnsomhet slik at de nå kun er en liten del av grunnlaget for økonomisk aktivitet. Nå er det i stor grad offentlig tjenesteproduksjon som må bære hovedansvaret for sysselsetting og bosetting. Eksempelvis er det i Finnmark fylke bare 1 000 personer som har fiske som eneste levevei. Det er med andre ord et stort behov for å fremme industrielle tiltak som kan balansere økonomi og sysselsettingsalternativene i Nordområdene, og fordi det er liten konkurranse fra andre (bedre) alternativer vil taredyrking og nedstrøms aktiviteter gi stor samfunnsøkonomisk effekt nettopp her.

3.7 SWOT analyse

SWOT-analyser benyttes vanligvis for evaluering av konkrete forretningsidéer, hvor hovedformålet er å beskrive *interne* styrker og svakheter i tillegg til *eksterne* trusler og muligheter. Siden vi i denne sammenheng ikke har hatt mulighet til å gå i detalj med bestemte forretningsmodeller, lar det seg vanskelig gjøre å gi en grundig SWOT-analyse. Argumenter for interne styrker og svakheter ved konseptet er imidlertid tatt frem f. eks. i avsnittene 3.6.1, 3.6.2, 4.1 og 4.2 i rapporten, og det er pekt på alternative muligheter i avsnittet om samfunnsøkonomisk lønnsomhet.

Hvorvidt taredyrking til bioenergi blir en suksess vil være avhengig av at det er økonomisk mulig å gjennomføre dette på lang sikt. Mulighetene ligger i at vi har kompetanse og komparative fortrinn for å bruke kysten til lønnsom produksjon. Biologisk ligger alt til rette for vi kan utnytte dette i samspill med annen beslektet næringsvirksomhet. Taredyrking kan som nevnt være et svært interessant supplement til oppdrett av laks og torsk.

Svakheter pr i dag finner vi blant annet når det gjelder valg av riktig type tare (vekstrater og sukkerinnhold), valg av optimale dyrkingslokaliteter og valg av dyrkingskonsept ("kombinasjonsdrift vs. Offshore "industrimodell"). Det er i tillegg betydelig usikkerhet knyttet til bedriftsøkonomisk lønnsomhet ved nedstrøms anvendelse, dvs. om det skal satses på ett hovedprodukt eller om en skal forsøke å realisere en kombinert produktportefølje som grunnlag for optimal lønnsomhet. Muligheten ligger først og fremst i at dette kan bidra til svært interessante industrielle prosjekter med betydelig potensial både bedriftsøkonomisk og ikke minst samfunnsøkonomisk. Samtidig er det en utfordring at realisering kreve arealer i fjord- eller havområdene som potensielt vil konkurrere ved annen næringsvirksomhet. Først og fremst vil dette komme i konflikt med fiskerinæringens frie bruk av havområdene, men plassert i kystnære områder vil også konflikt med fritidsaktiviteter og turistnæring være tenkelig.

4 Overslag over hva som må til for å lykkes med bioenergi-produksjon fra tare

4.1 Forskning og utvikling (FoU)

For å lykkes med en fullskala produksjon av tare til biodrivstoff, er det fortsatt mange problemstillinger og utfordringer som må løses, og på kort sikt bør hovedfokuset være på videre FoU. Et mer langsiktig mål bør være å bruke makroalger for å bidra til en signifikant økning av biodrivstoffbruken i Norge. De fleste av disse utfordringer er like for alle land med samme klima og makroalgeressurser, og disse landene burde samarbeide for å komme fram til løsninger for kommersialisering og industriell skala i alle ledd. Sentrale FoU-tema vil være:

Kimplanteproduksjon i industriell skala

Det er avgjørende å beherske en helårlig produksjon av kimplanter av aktuelle tarearter, slik at nye tareplanter kan settes i sjøen ved behov. Dette vil kreve en kontrollert produksjon av sporer ved hjelp av induksjon, eller opprettholdelse av gametofytt-stadiet i kultur. Egnede landbaserte anlegg må konstrueres spesielt for dette formålet. Kritiske faktorer for å gjøre slik kimplanteproduksjon lønnsom i stor skala vil være utnyttelse av areal vs lys, behovet for pumping og temperering av sjøvann, og effektive metoder for håndtering og transport av substratet som kimplantene vokser på (hovedsakelig tau). Stor grad av mekanisering og automatisering av kimplanteproduksjonen vil trolig bli nødvendig dersom det skal bli lønnsomt å dyrke tare til biodrivstoff og andre lavkost-produkter.

Dyrkingsfase i sjø

Arealer

Utfordringer ved dyrking av taren i sjøen er å finne lokaliteter som har optimale forhold med hensyn på lys, næring og vannstrøm. Foruten at lyset bestemmes av årstid og breddegrad er vannets innhold av partikler som absorberer lyset avgjørende for hvor dypt et anlegg kan plasseres. Det er viktig å kjenne effekten av breddegrad dersom man ønsker å dyrke tare i sjøen hele året, da daglengden har betydning for tarens vekst og utvikling. Hva som er optimale næringssaltkonsentrasjoner eller hvor sterk strøm og bølgeeksponering tarene ønsker og tåler, og hvordan disse kjemiske og fysiske forholdene påvirker innholdet av karbohydrater i tarebiomassen må undersøkes i detalj. Det er videre kjent at tare dør ved for høye temperaturer, men det antas at dette ikke blir en problemstilling i Nord-Norge.

En annen utfordring er tilgang på arealer som egner seg for taredyrking. Taredyrking er definert som akvakulturvirksomhet på linje med fiskeoppdrett i Norge og omfattet av de samme lovene og arealreguleringene. For å utnytte arealer som allerede er i bruk til akvakulturformål kan tare dyrkes i nærheten av fiskeoppdrettsanlegg. Da oppnår man også utnyttelse av gjødseleffekten fiskeoppdrettsanlegg har på miljøet til produksjon av en høstbar biomasse, men det må undersøkes hvilke effekter en slik integrering har på vekst av tareplantene og innhold av fermenterbare karbohydrater. Dersom tare skal dyrkes til biodrivstoffproduksjon vil det imidlertid behøves store arealer, og det vil bli viktig å utforme dyrkingsanleggene i disse arealene på en slik måte at de ikke hindrer annen aktivitet i området.

Utnyttelse av arealene vil være begrenset av hvor dypt taren kan dyrkes og hvor tett anleggene kan plasseres. Hvordan disse faktorene påvirker produksjonen må klarlegges og dyrkingsanleggene må designes for å optimalisere utnyttelsen av arealet.

Anleggsdesign

I dag dyrkes tare hovedsakelig på tau som festes til liner som forankres. Ved oppskalering til industriell skala og plassering på strøm- og bølgeutsatte lokaliteter stilles store krav til materialet

som anvendes. Det må designes anlegg som tåler de fysiske påkjenningene og som gir gode vekstvilkår ved at de ikke medfører skjerming av lys for deler av taren i anlegget, for eksempel på delene som henger på størst dyp. Det må også tas hensyn til at strømmen av næringssalter er tilstrekkelig i hele anlegget. Videre må høsting av tarebiomassen med båt skje på en effektiv måte. Teknologien og logistikken som anvendes i blåskjell dyrking kan trolig modifiseres og tilpasses tare dyrking.

Dyrkingsteknologi

Ved etablering av store dyrkingsanlegg for tarebiomasse til biodrivstoffproduksjon vil en helårlig produksjon og leveranse trolig være avgjørende for lønnsomhet. Innholdet av fermenterbare karbohydrater varierer i løpet av året, og det vil være svært viktig å utvikle gode strategier for utsetting og høsting av tare for å oppnå et høyest mulig utbytte og dermed en best mulig utnyttelse av anlegget. Dette er også viktig for å kunne ha en forutsigbar produksjon og leveranse av en biomasse med et kjent innhold av fermenterbare karbohydrater.

Det trengs også mer forskning på valg av arter både med hensyn på optimal vekst og biomasseproduksjon i sjø, og på egnet kjemisk sammensetning for biodrivstoffproduksjon. En strategi vil kanskje være å operere med to eller flere ulike arter, for eksempel en "sommerart" og en "vinterart", slik at man utnytter hele året til produksjon. Kanskje må det avl eller genetisk manipulasjon til for å oppnå den beste kombinasjonen, eventuelt kryssing av geografiske variasjoner av samme art.

Etter en tid i sjøen blir tarene gjerne begrodd av påvekst-organismer av ulike slag, både alger og dyr. Hvorvidt slik begroing har effekt på veksten og utviklingen av stor tare er ikke kjent, men det bør undersøkes om det finnes grenseverdier for hvor mye som tåles før veksten påvirkes samt om begroing er lokalitetsavhengig. Ved utsetting av kimplanter må det tas hensyn til at næringssalttilførselen er stor nok til at kimplantene ikke må konkurrere med andre alger (planteplankton), men kommer raskt i god vekst.

Konvertering til drivstoff

Før tarebiomasse kan konverteres til biodrivstoff kreves forbehandling som gjør karbohydratene tilgjengelige for mikroorganismene som skal utføre fermenteringen. Det er behov for tilpasning og optimalisering av metodene for denne pre-prosesseringen, som omfatter kjemisk, enzymatisk eller termokjemisk nedbryting av polysakkaridene. Polyfenolene i tare har antimikrobiell effekt og må deaktiveres eller fjernes før den mikrobielle fermenteringsprosessen kan startes. Polyfenoler fjernes kjemisk ved hjelp av formaldehyd. Formaldehyd er kreftfremkallende og det bør finnes frem til alternative kjemikalier for dette formålet.

Den videre prosesseringen av karbohydratene til biodrivstoff innebærer flere utfordringer som må løses for å gi en lønnsom produksjon. Sammenlignet med forskning på konvertering av trevirke (lignocellulose) til etanol har det vært gjort svært lite på fermentering av tarebiomasse. For etanolproduksjon fra tare er det et spesielt behov for forskning på fermenteringen av alginat. De mest effektive mikroorganismene til fermentering er gjær, men det må undersøkes om det kan finnes bakterier eller gjær som er mer effektive enn de som har vært testet til nå, og hvorvidt genetisk modifisering kan brukes til å forbedre mikroorganismene som skal anvendes til etanolfementering. Grunnleggende kunnskap om disse mikroorganismenes metabolisme er helt avgjørende.

Ved fermentering til biogass kan tarens egen flora av bakterier og gjær stå for selve fermenteringsprosessen, men mer effektive mikroorganismer kan trolig isoleres fra marine plantespisende dyr og drøvtyggere. Suksessfull biogassproduksjon fra *Laminaria*-arter er demonstrert i Japan. Produksjon av biogass fra tare i Europa må imidlertid demonstreres i

pilotforsøk, da protokoller for en slik produksjon må etableres basert på lokalites- og årstidsvariasjon i andel og sammensetning av tørrstoffet i taren. Energiutbyttet må måles i forhold til eventuell ekstraksjon av deler av taren ved samproduksjon av andre sluttprodukter, eller for anlegg tilpasset fermentering av andre råstoff i perioder hvor det ikke er tilgang på tare.

Det er ingen kjente årsaker til at man ikke skal lykkes i å fremstille kommersielle enzymer for fermentering av tare på lik linje med dagens kommersielle enzymer som er beregnet for nedbryting av polysakkarider fra terrestriske planter, gitt samme forskningsinnsats på anvendelse av tare.

Avfallsstoffer må behandles og kan ikke tømmes tilbake i havet eller direkte på landjord, men brukes for eksempel i kombinasjon med andre materialer for å lage spesielle gjødsler til hagebruk. Innblanding med sagflis for å lage fyringsbriketter er et annet alternativ mens gjødsling av sjøarealene hvor taren dyrkes kan være en mulighet som medfører en slags lukket næringscyklus for tareproduksjon (SEI 2009).

Bioraffineri

Det er også behov for forskning på tarebiomasse for utnyttelse av råstoffet til andre formål enn kun biodrivstoff. Det eksisterer mye kunnskap om sammensetningen av tang og tare, og det finnes trolig mange komponenter som kan ha økonomisk verdi. Ideen om bioraffinerier, hvor tare utnyttes for å skape flere sluttprodukter og med det bedre lønnsomhet, kan ha sine begrensninger i hvert enkelt sluttprodukts marked, som ikke har samme potensiale som etanolproduksjon. Alginatmarkedet er i dag forsynt av tare høstet fra naturlige bestander, slik at ekstraksjon av alginat fra dyrket tare bare er mulig i et lite volum. Avfallsstoffer fra alginatindustrien kan derimot antagelig anvendes til biogassproduksjon, noe som kan være en ny anvendelse for avfall fra dagens alginatindustri.

I tillegg til alginat kan man ekstrahere fucoidan (3-7% av tørrstoff), et stoff som har potensial som antioksidant og blant annet kan anvendes i kostholdsprodukter, farmasøytiske midler, hudprodukter og annen kosmetikk. Det er tatt ut flere patenter for anvendelse av fucoidan de siste årene, og det omsettes i dag blant annet av to store leverandører i Japan og Tasmania. Laminaran brukes for å innokulere et sprøytemiddel for landbruk, mens polyfenoler har nisjeområder som blant annet antioksidanter, anti-aldningsprodukter og som fysisk filter i solkremer. Integrerte ekstraksjonslinjer for alginat, fucoidan, laminaran og polyfenoler i bioraffinerier er patentert (SEI 2009).

Et annet moment er at etter hvert som oljeressursene blir mindre vil det etableres et behov for å erstatte kjemikalier som i dag utvinnes fra petroleum med tilsvarende fra marine og/eller terrestriske planter.

Konsekvenser av storskala dyrking

Ved å introdusere dyrking av en art som baserer seg på miljøets egen tilførsel av næringsstoffer er det svært viktig å klarlegge hvorvidt dette medfører økologiske effekter på miljøet. Taredyrking vil representere en stor biomasse som høster næringsalter fra sjøen for så å tas på land. Det bør undersøkes hvordan dette påvirker miljøets primærproduksjon.

Videre er det ikke kjent hvordan tareanlegg i sjøen påvirker biodiversiteten i omgivelsene og hvorvidt anleggene vil kunne representere "flytende tareskog" med en del av de samme egenskapene som tareskog har. Dyrking av tare som ledd i restaurering av økosystemer og fjorder bør utredes nærmere.

CO₂

Gjennom fotosyntese binder tare opp karbondioksid og frigjør oksygen. Om karbohydratene fermenteres til biogass eller etanol, vil CO₂ frigjøres i produksjon og ved forbrenning av drivstoffet. Dermed er transportdrivstoff fra tare i prinsippet et "karbonnøytralt" drivstoff. Imidlertid krever transport av biomassen og konverteringen av tareråstoffet tilførsel av energi. Brukes fossilt brennstoff til foredling eller transport, innebærer det et netto utslipp av CO₂ til atmosfæren. I hvilken grad man klarer å holde energiforbruket til transport eller prosessering av råstoffet så lavt som mulig avgjør hvor stor miljømessig gevinst man får.

Det er behov for å undersøke nærmere hvilke muligheter som finnes for å minimere energiforbruket gjennom hele produksjonskjeden, fra kimplanteproduksjon til ferdig drivstoff.

4.2 Produktivitet og kapital

Brune makroalger kan vise seg å være en attraktiv energikilde for produksjon av bioenergi. Industrialisering av tare dyrking for bioenergi produksjon vil gjennomgå flere stadier og vil være kapital- og tidskrevende på linje med utvikling av annen ny industri. Kapitalbehovet vil speiles i behovet for betydelig teknologiutvikling dersom Norge skal lykkes med å etablere en kostnadseffektiv produksjon langs kysten generelt og i nordområdene spesielt. Det bør gjennomføres livssyklusanalyser for hele verdikjeden for å synliggjøre energiregnskap, kostnader og potensielle inntekter fra en slik produksjon i framtiden.

Basert på resultatene fra Tokyo Gas Company gir våre estimater for tare dyrking i nordområdene en teoretisk produksjon av 165 m³ biogass pr hektar. Biogass kan ikke blandes med diesel eller bensin og krever egen infrastruktur for lagring og transport, og er således et mindre attraktivt sluttprodukt fra tare sammenlignet med etanol pr i dag og vurderes derfor ikke nærmere her.

Dersom bioetanol kan selges med en pumpepris i overkant av 14 NOK/l må kostnadene i verdikjeden (kimplanteproduksjon, dyrking i sjø, høsting, fermentering, avvanning, transport, avgifter osv.) holdes under 50.000 NOK pr hektar, eller i underkant av 700 NOK pr tonn våtvekt tare for å oppnå "break even". Til sammenligning har trålet tare i Norge en førstehandsverdi på 170-200 NOK/tonn våtvekt ved anvendelse i alginatindustrien (Tabell 4). Man må skille mellom investeringsbehov og produksjonskostnader. Investeringsbehovet vil kreve betydelig utredning og uttesting av bla. dyrkings- og høsteteknologi, valg av anleggsstørrelser, fermenteringsvolumer og fermenteringseffektivitet, avdampningsanlegg, osv. Produksjons-kostnadene for bioetanol fra tare bør komme vesentlig under 10 NOK/l om man sammenligner med bioetanol fra sukkerrør som koster 3-4 NOK/l levert med skip til Norge eller oljeprisen som gir en bensinpris på i underkant av 6 NOK/l før raffinering og avgifter. Eksempelene her er ment å gi en indikasjon på kostnadsmål som teknologiutviklingen må rettes mot når behovet for forskningskapital skal vurderes nærmere.

"Break even" er ikke å foretrekke, men total rentabilitet må vurderes opp mot distriktpolitikk og samfunnsøkonomiske sider ved en slik produksjon dersom tare dyrking kan bidra til å skape industriarbeidsplasser i distriktene. Store selskaper innen bioenergi investerer med flere års horisont, hvor tapene beløper seg til hundrevis av millioner før de forventer netto positivt driftsresultat. Reduksjon av klimagasser er en nødvendighet og regjeringen har satt mål om en reduksjon som i utgangspunktet ikke er forenelig med høy avkastning på kort sikt. På lang sikt, i takt med teknologiutvikling og erfaringsbasert produksjon, kan tare dyrking imidlertid vise seg å bli en drivverdig "grønn" industri langs kysten vår.

Tabell 4. Eksempler på kostnader for tare.

Land	Art	NOK/tonn våtvekt (ca)	NOK/tonn tørrvekt	Dyrket/naturlig	Høstemetode
Norge	L. hyperborea	170-200	900	Naturlig	Mekanisert
Frankrike	Laminaria	360	2 380	Naturlig	Mekanisert
Frankrike	Asco/Fucus	270	1 780	Naturlig	Manuell
US, kystnært	Gracilaria/Laminaria	315		Dyrket	Mekanisert
US, Offshore	Gracilaria/Laminaria	700-2500		Dyrket	Mekanisert
Irland	Asco/Fucus	450	3 000	Naturlig	Manuell
Filippinene	Chondrus crispus		1 470	Dyrket	Manuell

Økonomi og energibruk må vurderes fortløpende ved oppskalering til industriell produksjon. Det vil være mange utfordringer knyttet til en oppskalering av tareproduksjon. Lysforhold og næringssaltbegrensning vil være avgjørende for bærekapasiteten for et gitt område, og dermed virke inn på kapitalkostnaden med hensyn til investeringer i produksjonsutstyr. Etter hvert som det lykkes å løse flaskehalsene som ble pekt på under forskningsbehov i forrige avsnitt vil kapitalbehovet bli klart.

Energibruken bør analyseres for produksjon og utsett av sporeplanter, operasjon og drift, høsting, tørking, transport til prosessanlegg og utsalgssteder og prosessering. Dersom det produseres biprodukter fra etanolproduksjon må energibruken allokteres mellom disse. Mye kan endres globalt og spesielt innenfor EU med hensyn til energimarkedene og det kan legges føringer som favoriserer egen produksjon av råstoff til energiproduksjon. EU har satt seg som mål at 5,75% av alt omsatt drivstoff skal utgjøres av biodrivstoff innen 2010 mens andelen skal økes til 10% innen 2020 (European Commission 2008), og det er et mål at produksjon av biodrivstoff skal kunne dokumentere 35% reduksjon i utslipp av drivhusgasser. Samtidig er det ventet at det vil stilles krav om at en del av energikildene til biodrivstoffet skal produseres innenfor EU. Et slikt pålegg kan bidra til å stimulere utviklingen av taredyrking i Norge og Europa ytterligere da det trolig vil medføre økt råstoffpris for ellers konkurranseutsatt energiproduksjon.

Det investeres og bevilges store beløp til miljøtiltak for å begrense utslipp fra petroleumsindustrien. Det investeres milliarder i sukkerrørproduksjon i Brasil, hvor forretningsplaner viser planlagte driftsutgifter på hundrevis av millioner pr år de første årene. Produksjon av tare må vurderes på lik linje med industrialisering av utnyttelse av andre råstoffkilder, som trevirke og tørt organisk avfall, med hensyn til potensiale for industriutvikling, kapital og investeringshorisont.

Selv om vi gir en del eksempler på vekst av tare her, så må en forretningsmodell for nord-områdene baseres på pilot- og oppskalerte målinger av vekst av aktuelle arter i disse områdene for å gi så nøyaktige estimater som mulig. Talleksempelene vi har brukt er generelle antagelser som må anvendes deretter.

Eksempel på etanolproduksjon og arealbehov for taredyrking	
Areal	1 hektar
Tareproduksjon pr ha pr sesong	75 tonn
Tørrstoffinnhold	15 tonn
Fermenterbart karbohydrat	6 tonn
Etanolproduksjon pr ha tareanlegg	3500 liter
<i>Nord-Norge</i>	
0,1% av Territorialsone	ca 120 km ²
Areal avsatt til akvakultur i dag	ca 120 km ²
Etanolproduksjon pr 120 km ²	42 millioner liter
Regjeringens mål om 5% biodrivstoff i 2010	245 millioner liter

4.3 Regelverk

Regelverket rundt utnyttelse av tare vil ha forskjellige utgangspunkt for høsting av viltvoksende tare, eller dyrking av tare i systemer som defineres som akvakultur.

Høsting av tare ved bruk av taretrål er regulert med hjemmel i Havressursloven; Lov av 6.juni 2008 nr.37: *Forvaltning av viltlevende marine ressurser*. Hovedregel er at slike viltlevende ressurser tilhører staten, og Fiskeri-og kystdepartementet gir forskrifter som regulerer slik høsting.

Forskrift J-74 -2009 har spesifisert at;

*"Høsting av tang og tare i indre norsk farvann, på norsk sjøterritorium og på kontinentalsokkelen er forbudt med mindre det i medhold av denne forskrift gis tillatelse til undersøkelse og utnyttelse av tang- og tareforekomster i bestemte område"*r. (§ 4 andre ledd).

Fiskeridirektoratet kan fastsette regionale forskrifter om hvor og når det er tillatt å høste tare i den enkelte region. Fiskeridirektoratet kan, i samråd med Direktoratet for naturforvaltning, åpne for høsting av tang og tare for inntil 5 år av gangen dersom det er sannsynlig at ressursen og økosystemet i området kan tåle den belastningen høstingen innebærer. Høsting kan bare skje innenfor åpne felt, og på de vilkår som framgår av denne forskrift, de regionale forskriftene, samt forvaltningsplan for tang og tare. Kommersiell utnyttelse er altså strengt regulert ved at kun felt som er spesifikt åpnet er tillatt for høsting. Havforskningsinstituttet i Bergen har et særlig ansvar for å kartlegge ressursen og driver overvåkingsprogrammer med formål å kontrollere gjenvekst og effekter av høsting.

Dyrking av tare vil være underlagt "Akvakulturloven" : *Lov om akvakultur* av 17.juni 2005 nr. 79 fastsatt av Fiskeri og kystdepartementet.

Lovens virkeområde omfatter:(§ 2)

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

Loven omfatter all form for dyrking av planter i det marine miljø og det vil kreves tillatelse til å dyrke tare i norsk økonomisk sone. Loven gjelder ikke områdene rundt Svalbard og Jan Mayen. Vi kjenner ikke til at det er laget egne forskrifter for akvakulturanlegg for dyrking av tare i kystområdene i Norge. Det må antas at dette vil bli gjort så snart det er aktuelt med slike anlegg og at en stor del av regelverket som er utferdiget for marin akvakultur vil bli videreført også for dyrking av planter i sjø. Det betyr bl.a. at en rekke ulike forvaltningsorganer skal ha uttalerett for tillatelse gis. Det vil bli stilt krav til tekniske installasjoner, plassering av anleggene, osv. Siden dyrking av tare antas å ikke ha negative biologiske effekter (heller det motsatte), antar vi at reguleringsbehovet først og fremst vil ha tilknytning til arealbruken ved slik virksomhet, enten det skjer i kystnære farvann eller i havområdene utenfor. I nasjonal sammenheng er altså nødvendig lovverk for regulering av tare dyrking allerede etablert. Det mangler kun et supplerende forskriftsverk for etablering av off-shore storskala drift.

4.4 Marked

Markedet for biodrivstoff beskrives som "binært" fordi en antar etterspørselen som ubegrenset så snart det eventuelt er tilgjengelig på en grei måte. Derfor er det riktig og viktig at forskning og utviklingsarbeid konsentreres om utfordringer innen kultivering/dyrking og forbedring av prosess teknologi og prosessanlegg for en mest mulig rasjonell og kostnadseffektiv produksjon. Det er ikke spesielle krav for sluttproduktet fra tare, men mulig realisering er selvsagt avhengig av dette inngår i en større total (politisk) beslutning om investering i infrastruktur.

I denne sammenheng skal det heller ikke underslås at kostnadene ved bruk av biodrivstoff vanskelig kan konkurrere lønnsomhetsmessig med ennå lett tilgjengelig fossilt brennstoff, og en del som har evaluert slike planer mener man heller bør satse på bruk av tare til andre kjente og etablert anvendelse med mye bedre lønnsomhet på kort sikt. Derfor er det også av stor interesse å evaluere *kombinasjon* av flere anvendelser, som skissert i figur 3 Alginat fra tare er som nevnt en etablert milliardindustri på global basis. Det finnes også en rekke andre anvendelser for biokjemiske produkter som kan være interessante, og i den siste tiden er det flere forskningsmiljøer (også i Norge) som har fattet interesse for å ekstrahere spesielle komponenter med potensial innen farmasi.

Oppsummert er det ikke markedet for bioenergi eller andre produkter som er de største utfordringer for å tenke stor skala etablering av tare dyrking, men heller å finne den optimale produksjonsammensetning som totalt gir støtte til de betydelige utviklingskostnader som ligger i de innledende trinn i verdikjeden.

Konklusjon

Målene om økt anvendelse av fornybar energi til transportdrivstoff er ambisiøse og stiller krav til nye bærekraftige råstoffkilder. Dagens bioenergiproduksjon legger beslag på store landarealer og det er knyttet stor usikkerhet til hvilke effekter en slik produksjon har på berørte habitater og økosystemer. Marin biomasse, både makro- og mikroalger, kan vise seg å være velegnet for produksjon av biodrivstoff, men det gjenstår å demonstrere lønnsom produksjon. På kort sikt kan et alternativ være å utnytte taren til å produsere flere sluttprodukter. Nord-Norge har lang kystlinje med stort potensial for tare dyrking og lang maritim tradisjon. Dette gjør landsdelen godt egnet for å utvikle dyrking og anvendelse av marin biomasse som næring dersom det viser seg at dette kan gjøres miljøvennlig og økonomisk lønnsomt.

Visjon

5 år: EU stiller krav om egenproduksjon av biodrivstoff med tilsvarende økning av importavgifter på for eks. etanol produsert fra avlinger dyrket på matjord.

10 år: Det dyrkes tare i nærheten av alle fiskeoppdrettsanlegg for å utnytte potensialet for økt produksjon av biomasse fra utslippene av næringssalter fra disse. Tarebiomassen leveres på mottak langs kysten og anvendes til produksjon av biodrivstoff og andre produkter i større fabrikanlegg.

20 år: Vindmøller til havs og nedlagte plattformer utgjør hovedstrukturen i store offshore dyrkningsanlegg hvor det produseres tare for biodrivstoffproduksjon uten konflikter med natur og miljø som ved tilsvarende bruk av landjord for dyrking av trevirke.

Kilder

Beavis, A. og Charlier, R. H., 1987. "An economic appraisal for the onshore cultivation of *Laminaria* spp.", *Hydrobiologia* 151/152, 387-398

Bruton, T. 2007. "Research on Competitiveness of Brazilian Ethanol on World Market", Dublin : BioXL (unpublished report), 2007.

Chynoweth, D.P. 2002. *Review of Biomethane from Marine Biomass*. Gainesville : Department of agricultural and Biological Engineering, University of Florida, 2002.

Druehl, L. D., Baird, R., Lindwall, A., Lloyd, K. E. og Pakula, S., 1988. "Longline cultivation of some Laminariaceae in British Columbia, Canada", *Aquaculture and Fisheries Management*, 19: 253-263.

European Commission. 2008. "Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources",. Brussels : COM(2008):19 Final, 2008.

FAO. 2006. *Yearbooks of Fishery Statistics*. Rome : Food and Agriculture Organisation of the United Nations, 2006.

Fiskeridirektoratet 2008. "Nøkkeltall fra norsk havbruksnæring for 2007".

Haug, A. and Jensen, A., 1954. "Seasonal variations in the chemical composition of *Alaria esculenta*, *Laminaria saccharina*, *Laminaria hyperborea* and *Laminaria digitata* from Northern Norway", Norsk institutt ofr tang- og tareforskning, Report No. 4. 34 s.

Horn, S. J. 2000. "Bioenergy from brown seaweeds." PhD Thesis at Norwegian University of Science and Technology: 81 s.

Kankoku. <http://www.kankoku.uga>

Kelly, M. and Dworjanyn, S. 2008. "The Potential of Marine Biomass for Anaerobic Biogas Production: A Feasibility Study with Recommendations for Further Research",. s.l. : The Crown Estate, 2008.

Lüning, K., 1990. "Seaweeds. Their Environment, Biogeography, and Ecophysiology", Wiley Interscience.

Mann, K. H., 1982. "Ecology of coastal waters. A systems approach", Blackwell, Oxford.

Morand, P. et al. 1991. "Bioconversion of Seaweeds", [book auth.] Guiry, M. and Blunden, G. (eds). *Seaweed Resources of Europe. Uses and Potential*. Chichester : John Wiley & Sons, 1991.

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 P. A., 2008. Sluttrapport fra Sukkertareprosjektet. SFT-rapport TA-2467/2008, NIVArapport 5709. 131 s.

Olsen, L. M., Holmer, M. og Olsen, Y., 2008. "Perspectives of nutrient emission from fish aquaculture in coastal waters", Final report, FHF (Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond).

Pressemelding fra Miljøverndepartementet 01.04.2009. <http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/pressecenter/pressemeldinger/2009/krav-om-25-prosent-biodrivstoff-i-2009.html?id=552104>

Reith, J.H. and al. 2005. "Bio-Offshore: Grootschalige teelt van zeewieren in combinatie met offshore windparken in de Noordzee", s.l. : ECN Energy Research Centre of the Netherlands, 2005.

Sakshaug, E. (red.), 1994. "Økosystem Barentshavet", Universitetsforlaget.

SEI, Sustainable Energy Ireland, 2009. "A review of the potential of marine algae as source of biofuel in Ireland." 88 s.

Sjøtun, K., Fredriksen, S., Lein, T. E., Rueness, J. og Sivertsen, K., 1993. "Population studies of *Laminaria hyperborea* from its northern range of distribution in Norway", *Hydrobiologia*, 260/261: 215-221.

Statens kartverk. http://www.statkart.no/nor/Land/Fagomrader/Arealer_og_tall/Arsutgaver_av_arealstatistikken/

Steen, H., 2008 "Stortare", i Boxaspen, K., Dahl, E. Gjesæter, J. og Sunnset, B. H. (red.) 2008. Kyst og havbruk 2008. Fisken og havet, særnr. 2- 2008.

Steen, H., 2009. "Stortare", i Agnalt A.-L., Bakketeig I. E., Haug T., Knutsen J. A., Opstad I. (red.) 2009. Kyst og havbruk 2009. Fisken og havet, særnr.2-2009

Store Norske Leksikon. <http://www.snl.no>

Zero. <http://www.zero.no>

Zhang, Z. and al. 2004. "Preparation and Structure Elucidation of Alginate Oligosaccharides Degraded by Alginate Lyase from *Vibrio* sp. 510", Carbohydrate Research. 2004, 339, pp. 1475–1481.

Trondheim
Address: NO-7465 Trondheim, Norway
Phone: +47 73 59 30 00
Fax: +47 73 59 33 50

Address: P.O. Box 124, Blindern, NO-0314 Oslo, N
Phone: +47 22 06 73 00
Fax: +47 22 06 73 50