

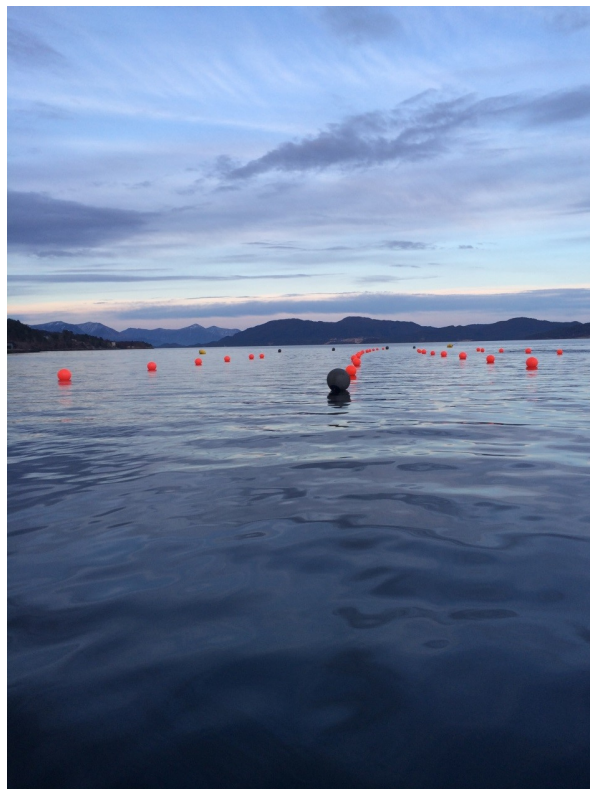
A27869 - Åpen

# Rapport

## Potensialet for storskala dyrking av makroalger i Møre og Romsdal

### Forfatter(e)

Ole Jacob Broch, Jorunn Skjeremo, Aleksander Handå





SINTEF Fiskeri og havbruk AS

Postadresse:

Postboks 4762 Sluppen

7465 Trondheim

Sentralbord: 40005350

Telefaks: 93270701

fish@sintef.no

www.sintef.no

Foretaksregister: NO 980 478 270 MVA

# Rapport

## Potensialet for storskala dyrking av makroalger i Møre og Romsdal

### EMNEORD:

Havmodellering

Akvakultur

Makroalger

Lokalisering

Dyrkingspotensial

Industriell dyrking

Arealplanlegging

### VERSJON

1

### DATO

6. oktober 2016

### FORFATTER(E)

Ole Jacob Broch, Jorunn Skjermo, Aleksander Handå

### OPPDRAGSGIVER(E)

Møre og Romsdal fylkeskommune

### OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

Bengt Endreseth og Rebekka Varne

### PROSJEKT

6022276 (TAREAL)

### ANTALL SIDER OG VEDLEGG

66

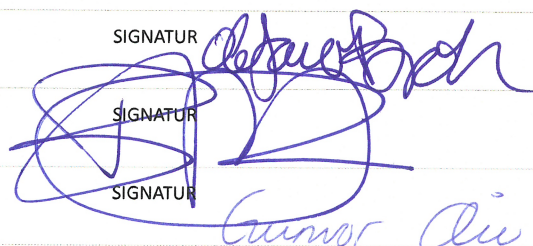
### SAMMENDRAG

Rapporten er en utredning om potensialet for storskala dyrking av makroalger i Møre og Romsdal fylke. Dyrking av makroalger både innenfor og utenfor grunnlinjen blir vurdert. Hoveddelen av de nye forskningsresultatene er basert på simuleringer med en koblet fysisk-biologisk havmodell. Hovedresultatene og -konklusjonene blir gjennomgått i et utvidet sammendrag

### UTARBEIDET AV

Ole Jacob Broch

### SIGNATUR



### KONTROLLERT AV

Rachel Tiller

### SIGNATUR

### GODKJENT AV

Gunvor Øie

### SIGNATUR



### RAPPORTNUMMER

A27869

### ISBN

978-82-14-06099-7

### GRADERING

Åpen

### GRADERING DENNE SIDE

Åpen

# Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	16.06.2016	Dette dokumentet ble opprettet
0.2	17.08.2016	Intern versjon til KS og gjennomlesning
0.3	23.08.2016	Skisseversjon til gjennomlesning av oppdragsgiver
0.4	26.09.2016	Oppdatert intern versjon til KS
0.5	29.09.2016	Oppdatert versjon til oppdragsgiver
1.0	06.10.2016	Endelig versjon til oppdragsgiver
1.1	10.10.2016	Revisjon, oppretting av trykkfeil

## Innhold

<b>Sammendrag og anbefalinger</b>	<b>5</b>
<b>Summary in English</b>	<b>9</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>13</b>
1.1 Bakgrunn	13
1.2 Oppdragsbeskrivelse og oversikt over utredningen	14
<b>2 Metoder</b>	<b>15</b>
2.1 Koblet hydrodynamisk-økologisk modell (SINMOD)	15
2.2 Vekstmodell for makroalger	18
2.2.1 Sukkertare	18
2.2.2 Begroing	19
2.3 Simuleringer	19
2.4 Beregning av produksjonspotensial og vurdering av velegnede områder for makroalgedyrking	20
2.4.1 Indeks for grunnleggende potensial for dyrking av sukkertare	20
2.4.2 Andre arter enn sukkertare	21
2.4.3 Biomasseestimer	21
<b>3 Potensialet for makroalgedyrking i Møre og Romsdal</b>	<b>22</b>
3.1 Dyrking av makroalger i sjø	22
3.2 Aktuelle makroalgearter for industriell dyrking i Møre og Romsdal og betingelser for god vekst hos disse	22
3.3 Egnede sjøarealer for makroalgedyrking i Møre og Romsdal	25
3.4 Aspekter knyttet til dyrkingsmetoder og -strategier	31
3.4.1 Utsett- og høstetidspunkt	31
3.4.2 IMTA og andre produksjonsteknikker	33
3.5 Arealkonflikter og sambruksmuligheter	34
3.6 Logistikk og infrastruktur	35
3.7 Potensialet for storskala makroalgedyrking i Møre og Romsdal	37
3.7.1 Eksempler på dyrkingsområder og -anlegg	41
3.7.2 Sammenligning av ulike estimer for dyrkingspotensial	42
3.7.3 Potensialet i andre deler av landet	42
<b>4 Behov for FoU og utdanning samt kunnskapsoverføring fra andre marine næringer (marin, olje og gass) for å utvikle industriell tare dyrking i Møre og Romsdal</b>	<b>46</b>
4.1 FoU-behov innen biologi og miljø	47
4.2 FoU-behov innen teknologi	47
4.3 Utdanning og kompetanseoverføring	48
<b>5 Bruksområder for industrielt dyrket biomasse fra makroalger</b>	<b>48</b>
<b>6 Begrensninger og gyldighet av modellresultatene</b>	<b>51</b>
<b>7 Konklusjoner og anbefalinger</b>	<b>52</b>
7.1 Hovedkonklusjoner	52
7.2 Anbefalinger og videre bruk av resultatene	53
<b>Referanser</b>	<b>55</b>

<b>Tillegg A</b>	<b>Vekstmodell for sukkertare</b>	<b>59</b>
A.1	Effekt av strømfart . . . . .	59
A.2	Effekt av saltholdighet på opptaks-, fotosyntese- og vekstrater . . . . .	59
<b>Tillegg B</b>	<b>Tilleggsresultater og -figurer</b>	<b>60</b>
B.1	Mellomårlig variasjon i vekstpotensial . . . . .	60
B.2	Konfliktareal . . . . .	61
B.3	Dyrking ved ulike bunndyp . . . . .	64
B.4	Sammenligning av modellopløsninger . . . . .	66

VEDLEGG

---

Ingen

---

## Sammendrag og anbefalinger

Denne utredningen er bestilt og finansiert av Møre og Romsdal fylkeskommune. Oppdraget har vært å utrede potensialet for storskala dyrking av makroalger i Møre og Romsdal, og da spesielt utenfor grunnlinjen. I dette ligger både å identifisere generelt gode områder for algedyrking og å se på det faktiske potensialet for biomasseproduksjon. Aktuelle arter for dyrking i Møre og Romsdal blir drøftet, og potensielle arealkonflikter med fiskerisoner og farledsareal blir undersøkt. Videre er hensikten med utredningen å peke på muligheter for kompetanseoverføring fra olje, gass og maritim industri og behov for utdanning for arbeid innen makroalgeindustrien.

Hovedformålet med rapporten er å identifisere gode områder for makroalgedyrking og å kvantifisere dyrkingspotensialet. Til å identifisere gode områder for dyrking av makroalger er det benyttet en matematisk havmodell (SINMOD) for kysten av Midt-Norge og en matematisk vekstmodell for sukkertare. Modellsystemet kan simulere de viktigste miljøbetingelsene for vekst av makroalger som *lysinensitet*, *næringssalttilgang*, *temperatur*, og *strømfart*. Taremodellen simulerer vekst og sammensetning av sukkertare som funksjoner av disse betingelsene. Det er utarbeidet en indeks for det grunnleggende dyrkingspotensialet som tar hensyn til dyrking over tre årssykluser og utplanting og innhøsting over hele dette tidsrommet. Det er også utarbeidet estimater for faktisk dyrkingspotensial i form av mulig dyrket biomasse per arealenhet.

## Konklusjoner

Makroalger vokser naturlig på bunnen i grunne områder. Ved dyrking settes det ut flytende strukturer av tau, flak eller nett i overflatelaget som kan forankres i bunnen. Dette åpner for dyrking også i områder der bunndypet er for stort for naturlige forekomster.

Med tanke på industriell dyrking nå eller i nær fremtid er det følgende arter, som det finnes veldokumenterte dyrkingsprotokoller for, som er mest aktuelle:

- sukkertare (*Saccharina latissima*, brunalge)
- butare (*Alaria esculenta*, brunalge)
- fingertare (*Laminaria digitata*, brunalge)
- søl (*Palmaria palmata*, rødalge).

På lengre sikt kan også fjærehinne (*Porphyra umbilicalis*, rødalge) og havsalat (*Ulva lactuca*, grønnalge) bli aktuelle.



*Sukkertare (til venstre) og butare.*

Konklusjoner basert på modellsimuleringene:

- Dyrkingsbetingelsene er best og mest stabile på og utenfor kontinentalsokkelen, *utenfor grunnlinjen*. Betingelsene er her mest stabile med hensyn til sesongvariasjoner, mellomårlige variasjoner og valg av dyrkingslokaliteter.

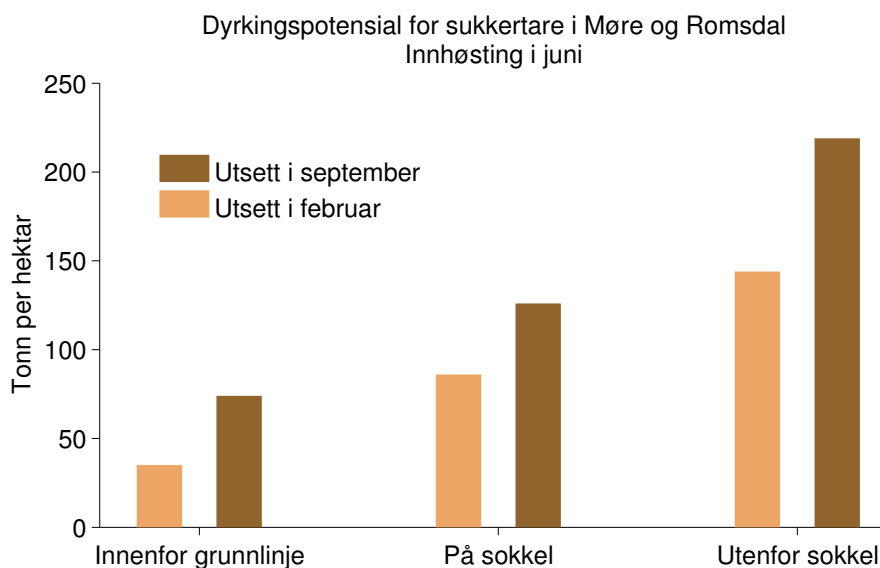


*De brune feltene viser hvor det er best å dyrke sukkertare i følge resultatene fra havmodellsystemet.*

- Det er gode vekstbetingelser også langs kysten og i fjordområder, men her ser den mellomårlige variasjonen ut til å være større.
- For dyrking av sukkertare vil det antagelig oppnås størst biomasse ved å plante ut fra august til oktober eller i februar. For andre arter vil dette kunne forholde seg annerledes.



- Avhengig av dyrkingsperiode tyder resultatene fra modellsimuleringene på at dyrkingspotensialet for sukkertare i gjennomsnitt er 35–74 tonn per hektar innenfor grunnlinjen, 86–130 tonn per hektar på sokkelen og 144–220 tonn per hektar utenfor sokkelen. Alle tall er i våtvekt.



Potensialet for arealkonflikter består først og fremst i utfordringer med farled, fiskerisoner (passive og aktive redskap) og høstesoner for stortare, og da hovedsakelig innenfor grunnlinjen. I disse tilfellene bør det være mulig å unngå konflikter med områder satt av til farled og akvakultur gjennom arbeid med (inter)kommunale sjøarealplaner. På kontinentalsokkelen og utenfor sokkelen kan det oppstå konflikter med olje- og gassinstallasjoner. Disse konfliktområdene utgjør imidlertid en svært liten del av det totale tilgjengelige arealet, og anses derfor for å være av liten betydning.

På samme måte som innen akvakultursektoren generelt er det både muligheter og behov for kompetanseoverføring fra andre marine næringer. Spesielt industriell dyrking av makroalger utenfor kysten krever kompetanse innen operasjoner, utrustning og forankringsteknologi.

Det vil derfor være behov for arbeidskraft med kompetanse fra videregående skole og oppover til å utføre oppgaver langs hele verdikjeden innen makroalgesektoren, fra arealplanlegging og konsesjonsøking, via dyrking og høsting, til prosessering av råstoffet.



*Verdikjeden i produksjon og anvendelse av biomasse fra dyrkede makroalger.*

## Anbefalinger

Industribasert dyrking av makroalger er nytt i Norge. Tidligere utredninger har pekt på et stort potensial for denne næringen nasjonalt, og en fremtidig årlig omsetning på 40 milliarder kroner per år har vært antydnet (“Verdiskapning basert på produktive hav i 2050”, DKNVS og NTVA, 2012). Møre og Romsdal har naturgitte og samfunnsmessige forhold som gjør det mulig å realisere en stor del av dette potensialet. Dette krever

imidlertid at det tilrettelegges for og satses på makroalgedyrking. Det er som tidligere nevnt utenfor grunnlinjen at dyrkingspotensialet er størst. Derfor vil et program rettet mot *offshore tare dyrking i Møre og Romsdal* være en naturlig fortsettelse av arbeidet i denne studien:

- Det anbefales å gjennomføre dyrkingsforsøk med sukkertare på kontinentalsokkelen utenfor de nære kystområdene. Et slikt forsøk vil innebære tekniske utfordringer som forankring på større dyp (100–300 m). Det gir mulighet til å verifisere dyrkingspotensialet i Møre og Romsdal. Det vil også demonstrere kraften i tverrfaglig samarbeid mellom biologer, industri og forskningsmiljøer innen havromsteknologi. Den biologiske og teknologiske kunnskapen som høstes gjennom et slikt prosjekt vil være unik.
- Aspekter knyttet til logistikk og livssyklusanalyse (LSA) i hele verdikjeden fra produksjon av kimplanter til prosessering bør utredes. Videre må den geografiske plasseringen av anlegg for de ulike leddene i verdikjeden analyseres nærmere i sammenheng med dyrkingspotensialet og hvordan det varierer i tid og rom. Spesielt er det viktig å nevne energi- og industripotensialet i store eksisterende anlegg i Spjelkavik (Tafjord), på Aukra (Nyhamna) og Tjeldbergodden (Aure).
- Det økonomiske potensialet til en makroalgeindustri i Møre og Romsdal bør utredes mer detaljert, og verdiskapningspotensialet og sosiale ringvirkninger analyseres.

Havområde i Møre og Romsdal fylke	Estimert tilgjengelig areal (km <sup>2</sup> )	Potensial for tare dyrking (t ha <sup>-1</sup> )	CO <sub>2</sub> -opptak (t ha <sup>-1</sup> )
Innenfor grunnlinje	6271	35–74	7–15
Innenfor grunnlinje, uten konfliktareal	ca. 990	38–73	7–15
Sokkel utenfor grunnlinje	ca. 17 600	86–126	14–23
Sokkel utenfor g.l., uten konfliktareal	ca. 17 150	87–127	14–23
Havområde utenfor sokkel	> 20 000	144–219	20–34

## Summary in English

This study was financed by the county authorities of Møre and Romsdal. The assignment was to give an account of the potential for large scale macroalgal cultivation in Møre and Romsdal county with particular emphasis on the potential outside the territorial zone. Both the identification of good locations for cultivation and estimates for the actual biomass production potential have been of interest. Relevant species for cultivation in Møre and Romsdal are discussed, and areal conflicts between fisheries, faraway and potential macroalgal cultivation sites are examined. Part of the purpose of this report is to point out possibilities and needs for education and transfer of knowledge and competence from oil, gas and other maritime industries to the macroalgal based industry.

In order to identify suitable areas for macroalgal cultivation and to quantify the cultivation potential a mathematical ocean model (SINMOD) for the coast of Central Norway was used. A growth model for sugar kelp was coupled with the ocean model. The model system simulates the most important environmental variables for the growth of macroalgae such as *light intensity*, *nutrient concentrations*, *temperature* and *water current speeds*. The kelp model simulates growth and composition of sugar kelp as functions of these conditions. In the report, an index for the basic cultivation potential is developed, taking into consideration deployment, cultivation and harvesting over three complete annual cycles.

## Conclusions

Macroalgae grow naturally on the sea floor mostly in shallow regions. For cultivation purposes, structures of ropes, sheets or nets in the surface layer are used as cultivation substrates, and these may in principle be anchored to the bottom anywhere.

With a view towards industrial cultivation now or in the near future, the following species, for which there exist well documented cultivation protocols, are the most relevant:

- sugar kelp (*Saccharina latissima*, brown alga)
- dabberlocks (*Alaria esculenta*, brown alga)
- oarweed (*Laminaria digitata*, brown alga)
- dulse (*Palmaria palmata*, red alga).

Other types of red (*Porphyra umbilicalis*) and green (*Ulva lactuca*) algae may be suitable at a later stage.



*Sugar kelp (left) and dabberlocks.*

Conclusions based on the model simulations:

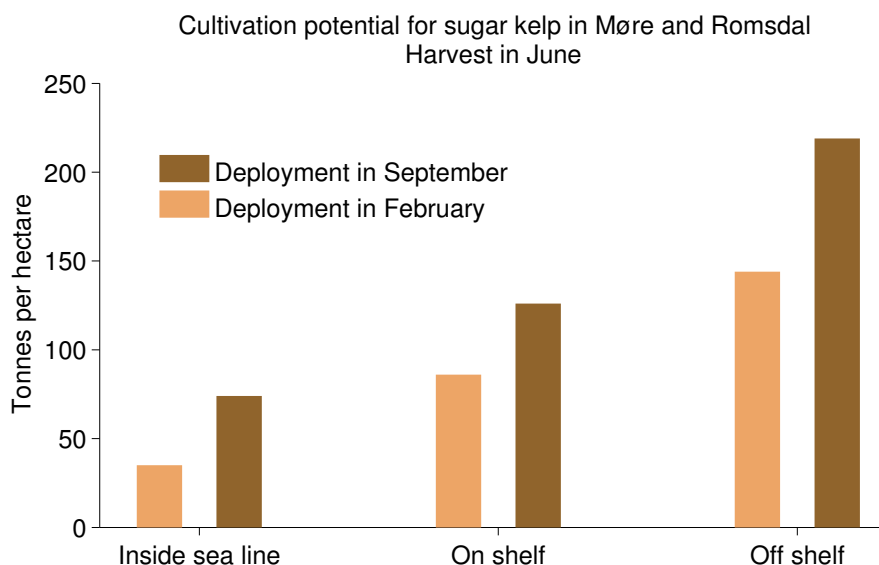
- The basic conditions for cultivation seem to be best and most stable on and outside the continental shelf *outside the territorial zone*. The conditions are more stable with regards to seasonal, interannual and spatial variations than closer to the coast.



*The brown regions indicate the best areas for cultivation of sugar kelp, according to the ocean model.*

- The conditions for cultivation along the coast are also good, but the interannual variation seems to be greater.
- For cultivation of sugar kelp, the greatest biomass may probably be achieved by deploying the cultures from August to October, or in February. This pattern may be different for other algal species.
- The model results indicate that, depending on the cultivation period, the average potential biomass yields

are 35–74 tonnes per hectare inside the territorial zone, 86–130 tonnes per hectare on the continental shelf, and 144–220 tonnes per hectare outside the shelf.



Potential areal conflicts arise mostly in the interface between fareways, fisheries zones and zones for harvesting of natural populations of cuvie (*Laminaria hyperborea*). It should be possible to avoid conflicts by working on interregional marine area plans. On and outside the continental shelf, there may be potential conflicts between cultivation areas and oil and gas installation. However, these installations cover only a minor fraction of the available area.

There are needs and opportunities for transfer of knowledge from other marine industries. Industrial macroalgal cultivation off shore require competence within operations, outfitting and anchoring technologies. Therefore, there will be a need for a work force educated at high schools and above to solve a variety of tasks from planning and developing concession applications, through cultivation and harvesting to processing of the raw material.



*The value chain in the production and utilization of macroalgal biomass.*

## Recommendations

The industry based on cultivated macroalgal biomass is relatively new in Norway. Previous studies have indicated a great potential for this industry nationally, and a future gross turnover of 40 billion NOK per annum have been estimated (“Value creation based on productive seas in 2050”, DKNVS and NTVA, 2012). The natural and societal conditions of Møre og Romsdal make it possible to realize a major part of this potential. There is also a need to prioritize this macroalgal cultivation. The greatest potential can be found outside the coast. Therefore, a program targeting *offshore cultivation of macroalgae in Møre og Romsdal* is a natural continuation of the study presented in this report.

- It is recommended that cultivation trials with sugar kelp and dabberlocks are performed at the continental shelf outside the near coastal region. Such trials will entail technical challenges including the anchoring of structures at great depths (100–300 m). Such experiments may be used to verify the cultivation potential, and will demonstrate the power of inter-disciplinary collaboration between biologists, industries and research institutions within ocean space technologies.
- Aspects related to logistics and life cycle assessments (LCAs) for the entire value chain from the production of seedlings to the processing of large amounts of biomass must be elucidated. The location of facilities for the different links in the value chain must be analysed in-depth with a view to how the cultivation potential is changing with time and in space. The potential of existing, large scale industrial plants such as the ones in Spjelkavik (Tafjord), at Aukra (Nyhamna) and at Tjeldbergodden (Aure) is important.
- The economic and societal potential of an industry based on cultivated macroalgal biomass in Møre og Romsdal must be analysed.

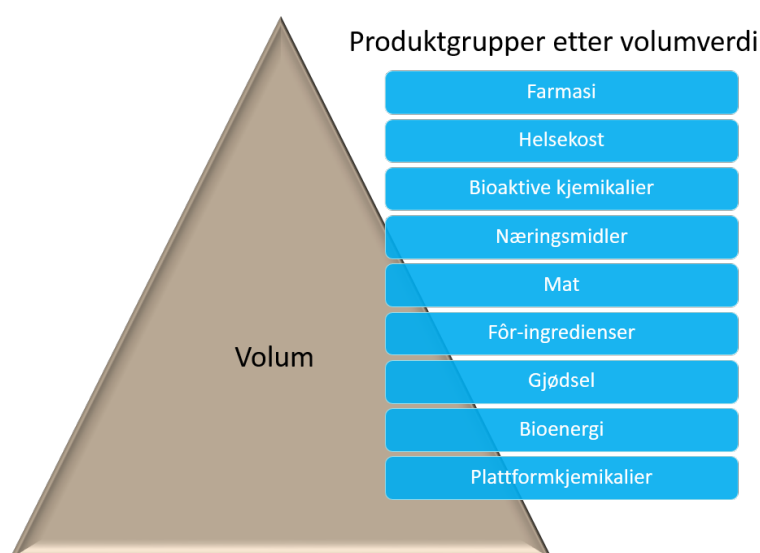
<b>Sea area in the county of Møre og Romsdal</b>	<b>Estimated available area(km<sup>2</sup>)</b>	<b>Potential for kelp cultivation (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>CO<sub>2</sub>-uptake (t ha<sup>-1</sup>)</b>
Inside the territorial zone	6271	35–74	7–15
Inside the territorial zone without conflict areas	ca. 990	38–73	7–15
Continental shelf outside TZ	ca. 17 600	86–126	14–23
Continental shelf outside TZ without conflict areas	ca. 17 150	87–127	14–23
Outside the continental shelf	> 20 000	144–219	20–34

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Behovet for mat, fôr og råstoff til ulike produkter vil øke dramatisk i takt med den globale befolkningsveksten og klimaendringer i årene som kommer. Dyrking av havet vil bli svært viktig for å dekke disse behovene. Norge ønsker å være verdens fremste oppdrettsnasjon og drive en bærekraftig produksjon [1]. Utvikling av ny kunnskap og teknologiske løsninger som industrien kan ta i bruk vil kreves for at vi skal nå dette målet. Dyrkede makroalger representerer en type biomasse som i industriell sammenheng er relativt ny, og mulighetene for innovasjon og næringsutvikling basert på dyrking og helhetlig utnyttelse av dette råstoffet er store (figur 1.1).

Tang og tare er næringsrike planter som kan høstes eller dyrkes og brukes som mat (grønnsaker) eller som ingredienser i ulike matprodukter. De mest aktuelle matalgene i Norge er brunalgene butare (*Alaria esculenta*) og sukkertare (*Saccharina latissima*), som begge dyrkes kommersielt i små volum med utsikter for industriell oppskalering. Rødalgen søl (*Palmaria palmata*) er foreløpig på forskningsstadiet når det gjelder dyrkingsmetodikk. For å realisere storskala dyrking er det viktig å identifisere og allokere egnede sjøarealer og utvikle ny teknologi for industriell kostnadseffektiv produksjon.



Figur 1.1: Produktgrupper fra dyrkede makroalger.

Den totale globale akvakulturproduksjonen i 2014 var på rundt 100 millioner tonn [19]. Av dette utgjorde akvatiske planter rundt 27 millioner tonn (hovedsakelig marine brunalger og rødalger), hvorav Europa bidro med kun 0,1 %. Makroalgeindustrien vokser globalt med 7,7 % årlig. Økt etterspørsel og muligheter for helhetlig utnyttelse av biomassen har økt interessen for industriell produksjon av makroalger også i Europa. Norge har lang tradisjon for å høste av havet, også makroalger (se for eksempel Egilssoga), og er internasjonalt ledende innen lakseoppdrett. Forutsetningene for å etablere en lønnsom makroalgeindustri er derfor meget gode. For å lykkes er det avgjørende å utvikle ny teknologi for stabil og forutsigbar dyrking av et fåtall arter (inkludert beslutningsstøtteverktøy for lokalisering og drift av anlegg), og å utvikle og kommersialisere nye produkter fra disse artene.

Rapporten “Verdiskaping basert på produktive hav i 2050” [40] anslår en seksdobling i årlig omsetning i havbruksnæringen innen 2050, med en økning fra 1,2 milliarder NOK i 2010 til 40 milliarder NOK for makroalgeindustrien. Den norske makroalgeindustrien (høsting) sysselsetter i dag rundt 400 personer. Med utvikling av industriell dyrking og tilhørende prosessering og leverandørindustri til hele verdikjeden er potensialet for nye arbeidsplasser stort. Det å etablere virksomhet innen dyrkning og prosessering av makroalger har med dette et stort innovasjons- og verdiskapingspotensial for utvikling av nye og bærekraftige produkter og nærings-

virksomheter både i grønn og blå sektor. Hittil har det imidlertid skjedd relativt lite i Møre og Romsdal.

Møre og Romsdal er et av de største oppdrettsfylkene i Norge målt i volum og verdi. I fylket er det derfor gode forutsetninger for å bygge videre på de nye mulighetene som har åpnet seg innen dyrking og prosessering av makroalger spesielt, og mer generelt innen akvakultur av arter på lavt trofisk nivå. “Havrommet” er et begrep som stadig oftere trekkes frem av sentrale nasjonale politikere som et av Norges viktigste fremtidige satsingsområder. Begrepet gir ulike assosiasjoner, men peker nok mest av alt mot havet som et rom av *muligheter*. Dyrking av makroalger vil gi nye arbeidsplasser i fylket, og vil føre til et behov for kompetanseoverføring fra olje- gass og subseaindustrien. I Møre og Romsdal finnes det også flere industriparken (Tjeldbergodden, Nyhamna, Tafjord) som gir muligheter til ikke bare å dyrke, men også å prosessere og foredle biomasse fra makroalger i fylket.

## 1.2 Oppdragsbeskrivelse og oversikt over utredningen

Denne utredningen er bestilt og finansiert av Møre og Romsdal fylkeskommune. Oppdraget har vært å utrede potensialet for storskala tare dyrking i Møre og Romsdal med tanke på:

- gode områder for dyrking av makroalger i Møre og Romsdal basert på det grunnleggende biologiske potensialet
- potensialet for storskala dyrking av makroalger i Møre og Romsdal, primært potensialet utenfor grunnlinjen, på kontinentalsokkelen og utenfor
- egnede makroalgearter for industriell dyrking
- potensielle arealkonflikter med andre næringer og interesser (farled, fiskeri, olje og gass)
- bruksområder for industrielt dyrket biomasse fra makroalger
- behov og muligheter for utdanning på nivå opp til bachelorgrad
- behov og muligheter for kompetanseoverføring fra andre marine næringer som olje og gass til makroalgedyrking
- å sammenligne mulighetene og potensialet i Møre og Romsdal med noen andre deler av landet.

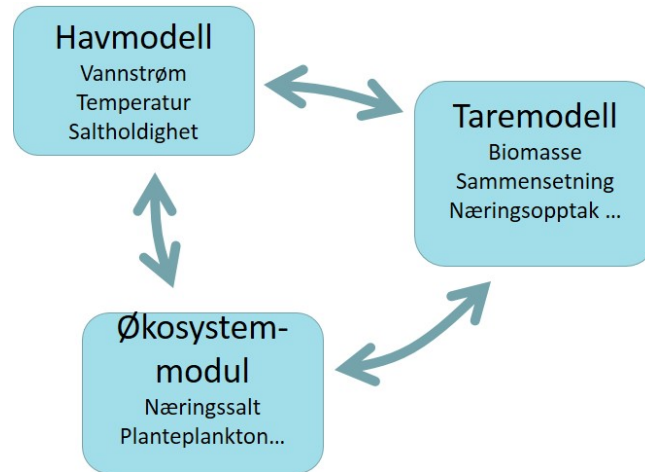
Dette er ikke en analyse av økonomiske aspekter eller det totale verdiskapningspotensialet ved industriell tare dyrking. Imidlertid bør utredningen og de perspektivene den løfter frem være nyttige for arealplanlegging og videre arbeid med utvikling av marine næringer i Møre og Romsdal og Norge for øvrig. Den danner et nødvendig grunnlag for videre arbeid med verdiskapningspotensialet, ringvirkninger, logistikk og livssyklusanalyser (LSA).

I kapittel 2 beskrives *metodikken*. Det dreier i seg i hovedsak om bruk av et havmodellsystem (SINMOD) koblet med en vekstmodell for sukkertare. I kapittel 3 beskrives *resultatene* fra simuleringene med modellsystemet og potensialet for storskala makroalgedyrking. Det er her hoveddelen av de nye resultatene i denne utredningen finnes. Det tas hensyn til konflikter med *fiskeri, farled og olje- og gassinstallasjoner*. Kapittel 4 tar for seg behov og muligheter for *utdanning og kompetanseoverføring fra andre næringer*. *Bruksområder* for industrielt dyrket tarebiomasse beskrives i kapittel 5. En drøfting av resultatenes *gyldighet og begrensninger* gis i kapittel 6. *Konklusjoner og anbefalinger* fra utredningen sammenfattes i kapittel 7. Noen detaljer om vekstmodellen for sukkertare beskrives i tillegg A, mens det i tillegg B kan finnes noen flere figurer og tabeller.

Litteraturhenvisninger angis som tall i hakeparentes: [28]. Selve referanselisten er alfabetisk.

Selv om “kontinentalsokkel” kan gi ulike ressurs- og geopolitiske assosiasjoner, benytter vi her begrepet til å skille mellom området utenfor grunnlinjen ut til rundt 500 m dyp (figur 2.3) der havbunnen utenfor kysten av Møre og Romsdal stuper relativt bratt ned mot bunnen av Norskehavet. Vannmassene i områdene innenfor og utenfor sokkelkanten er av ulik opprinnelse og har ulike oseanografiske egenskaper [47].





Figur 2.1: Til å vurdere dyrkingspotensialet for makroalger og identifisere gode dyrkingsområder er det benyttet et koblet biologisk-fysisk havmodellsystem, SINMOD, som simulerer grunnleggende fysiske og biologiske prosesser i havet. Denne modellen har vært koblet med en tarevekstmodell.

Alle kartene i rapporten er orientert slik at nord peker oppover mot høyre i stedet for rett opp (bortsett fra det i sammendraget). Dette skyldes projeksjonen som er brukt i havmodellen (figur 2.2). Vi har valgt å presentere kartene slik for å få en bedre oppløsning med den plassen som er tilgjengelig på sidene.

Takk til: Silje Forbord, Inga Marie Aasen, Morten Alver, Ingrid Ellingsen, Knut Torsethaugen, Dag Slagstad, Rachel Tiller.

## 2 Metoder

Vurderingen av potensialet for makroalgedyrking ble basert på resultater fra havmodellsystemet SINMOD koblet med en vekstmodell for sukkertare.

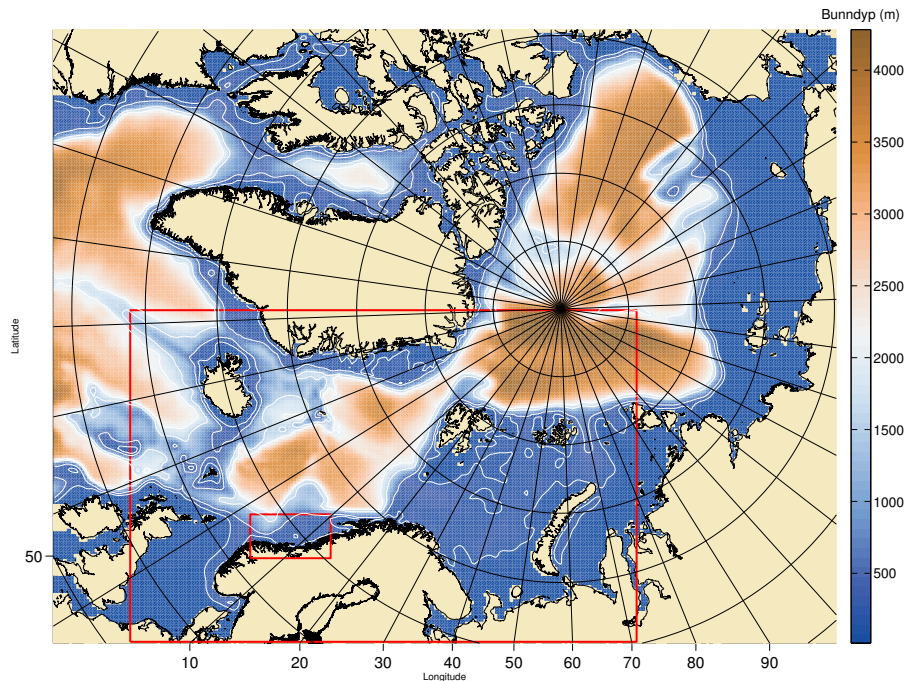
Det koblede havmodellsystemet simulerer de grunnleggende fysiske og biologiske forholdene i havet i tre dimensjoner: strømmer, temperatur, saltholdighet, konsentrasjon og produksjon av plante- og dyreplankton, næringssaltkonsentrasjon. I tillegg simuleres altså vekst av sukkertare. Fordelen med et slikt modellsystem er ikke bare at man får eksplisitt informasjon om *hvor* forholdene kan være gode eller mindre gode, men man får også med tidsutviklingen, altså hvordan de ulike miljøbetingelsene varierer med skiftende årstider og ulike år. Spesielt kan man simulere hvordan tarebiomassen kan variere med ulike høste- og utplantingstidspunkt. En kortfattet beskrivelse av hvordan makroalger dyrkes i sjø blir gitt i avsnitt 3.1.

### 2.1 Koblet hydrodynamisk-økologisk modell (SINMOD)

Den hydrodynamiske komponenten av SINMOD er basert på de primitive Navier-Stokes ligningene som løses ved hjelp av et endelig differanse-skjema. Modellen bruker z-koordinater, hvilket betyr at alle dybdelagene, bortsett fra overflate- og bunnlagene, har en fast tykkelse. Tykkelsen på overflatelaget bestemmes av tidevannselevasjon og atmosfærisk trykk, mens tykkelsen på bunnlaget bestemmes ut fra bunndypet. Se for eksempel [53].

Det brukes fast rutestørrelse i modellen. Altså har alle rutene i et modellområde den samme horisontale utstrekningen.

Modellsystemet er nøstet, hvilket vil si at et modellområde får grensebetingelser fra en grovere modell som dekker et større område. I simuleringene som ble gjort i dette prosjektet, ble det nøstet fra en modell i 20 km oppløsning til 4 km og ned til 800 m horisontal oppløsning (figur 2.2). Det ble også gjort en simulering med en modell i 267 m oppløsning (figur 2.2). Grensebetingelsene til 20 km-modellen blir spesifi-



Figur 2.2: Modellområdet i 20 km horisontal oppløsning som genererer grensebetingelser til 4km-modellen (det store røde rektangelet), som igjen genererer grensebetingelser til 800 m-modellen (det lille røde rektangelet). Fargene viser bunndyp.

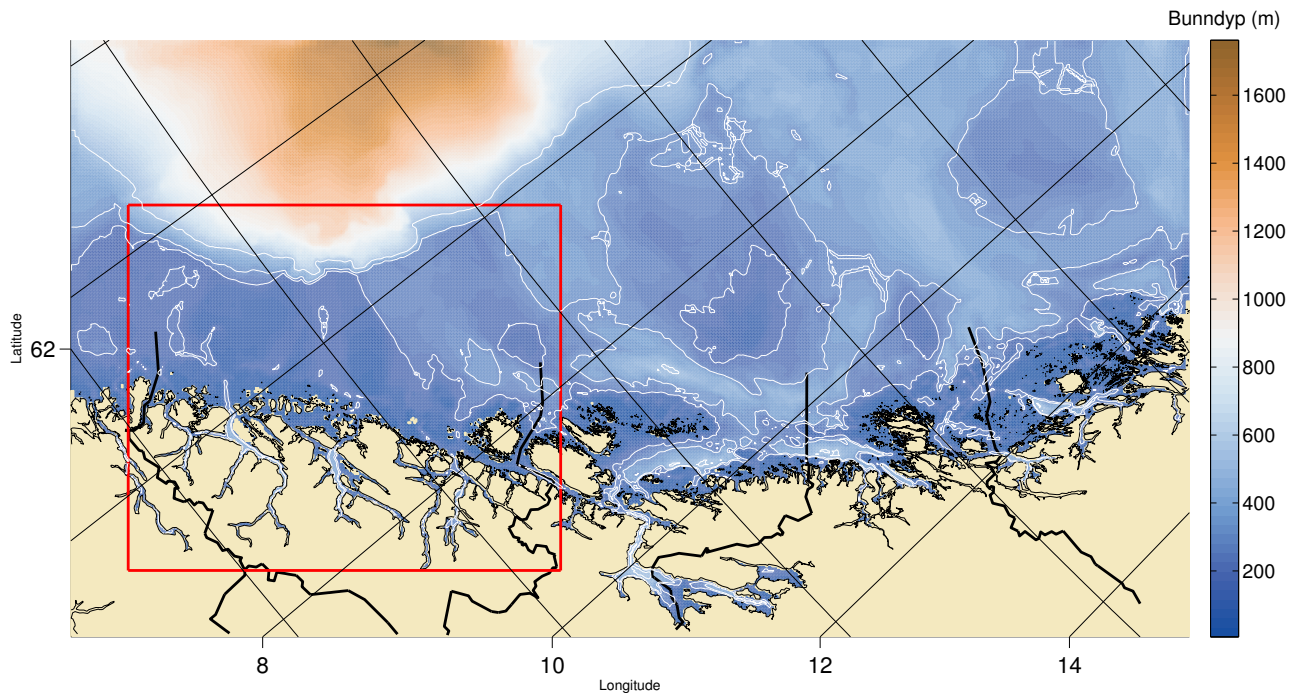
sert. Tidevannskomponentene  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$  og  $N_2$  ble benyttet med data fra den globale TPXO 6-2-modellen (<http://www.coas.oregonstate.edu/research/po/research/tide/global.html>).

De to modelloppsettene som ble benyttet dekker kysten av Midt-Norge fra Nordfjord til Sandnessjøen i en horisontal oppløsning på 800 m og kysten av Møre og Romsdal, inkludert havområdene ut til sokkelkanten, i en oppløsning på 267 m. Se figur 2.3. Det ble benyttet henholdsvis 31 og 38 dybdelag i 800 og 267 m-modellene med lagtykkelse som varierte fra 1 m mot overflaten til 100–500 m mot bunnen.

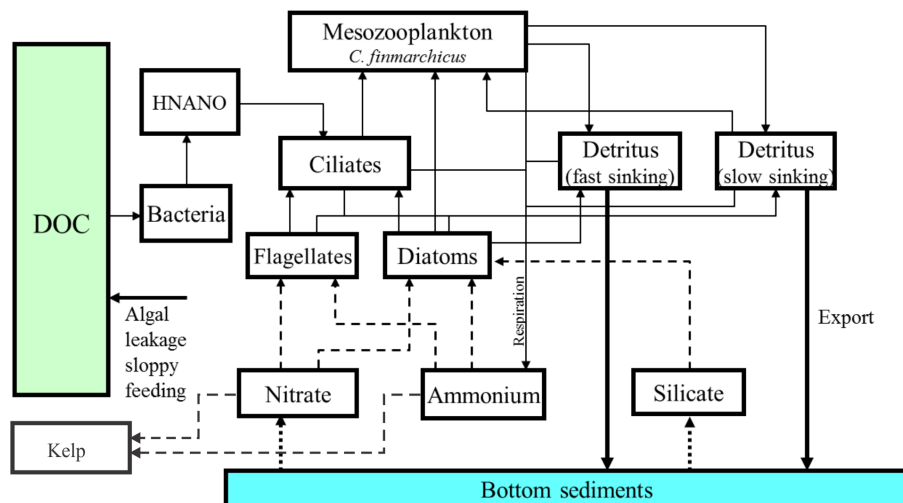
De atmosfæriske drivkreftene ble hentet fra ECMWFs ERA-Interim-data [16]. Dette er data som er reanalyisert ved hjelp av en global værmodell.

Daglig elveavrenning er hentet ut fra tidsserier fra NVE ([www.nve.no](http://www.nve.no)). Denne databasen inneholder 70 serier som dekker hele kysten. En videre oppdeling er gjennomført der større elver er slått sammen. Fordelingen er beregnet ut i fra klimatologiske middel for hvert enkelt nedbørsområde. I alt 239 utslippspunkt for Møre og Romsdal fylke ble brukt.

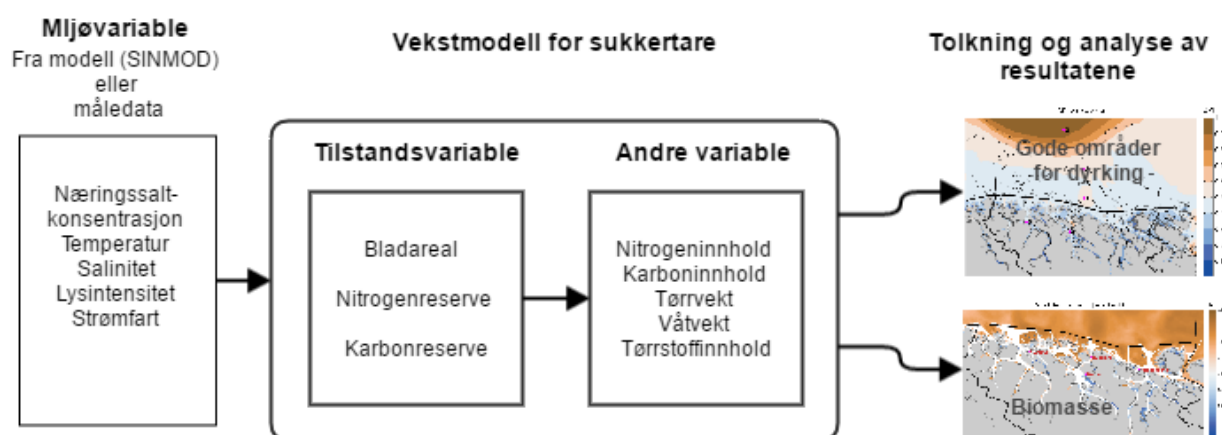
Økosystemkomponenten til SINMOD simulerer grunnleggende biologiske og biogeokjemiske prosesser i havet og har variable for oppløst næringssalt (nitrat, ammonium og silikat), bakteriell nedbrytning, heterotrofe nanoflagellater, planteplankton (kalkalger og flagellater), ciliater og dyreplankton (figur 2.4). Det er også variable for detritus, og remineraliseringsprosesser ( $\text{NH}_4^+$  til  $\text{NO}_3^-$ ) er representert. En detaljert gjennomgang av SINMODs økosystemmodell, inkludert parametre for ulike biologiske rater (fotosyntese, opptak og så videre) kan finnes i Wassmann et al. 2006 [59]. Økosystemmodellen er satt opp i et *eulersk* rammeverk. Dette innebærer at de ulike variablene beskriver *konsentrasjoner* i modellrutene. Modellen er nitrogenbasert, og det brukes et fast karbon-nitrogenforhold på 7,6 [59], bortsett fra i taremodellen.



Figur 2.3: Modellområdet i 800 m som ble brukt i simuleringene med det koblede fysikk-biologi-tare-modellsystemet. Det røde rektangelet viser omrisset av det høyoppløste modellområdet i 267 m oppløsning. De hvite kurvene er 200, 300 og 500 meters dybdekonturer. Fargene viser bunnndyp.



Figur 2.4: Oversikt over økosystemkomponenten til SINMOD og de viktigste koblingene mellom variablene. Modifisert etter [59].



Figur 2.5: Skjematisk fremstilling av vekstmodellen for sukkertare og hvordan resultatene fra denne blir brukt til å estimere dyrkingspotensialet.

## 2.2 Vekstmodell for makroalger

### 2.2.1 Sukkertare

I simuleringene som er gjennomført her er det brukt en vekstmodell for sukkertare (*Saccharina latissima*) [13] koblet med sinmod [12]. Tarevekstmodellen simulerer vekst og størrelse hos sukkertare som funksjoner av tid og miljøbetingelsene (figur 2.5). Prosesser som fotosyntese, opptak av karbon og næringssalter og tap av vev blir simulert. Siden tarevekstmodellen kjøres koblet med den romlig eksplisitte modellen SINMOD, får vi romlig informasjon om tarevekst.

*Tilstandsvariablene* i vekstmodellen for sukkertare er

- bladstørrelse  $A$
- nivået til nitrogenreserven  $N$
- nivået til karbonreserver  $C$ .

Det er disse variablene som er grunnlaget for alle andre beregninger basert på modellen. Følgende variable, som blir beregnet ut fra faste parameterverdier og tilstandsvariablene, er også interessante:

- nitrogeninnhold
- karboninnhold
- bladets tørrvekt
- bladets våtvekt
- tørrstoffinnhold (forholdet mellom de to foregående variablene).

En detaljert beskrivelse av modellen og parametervalgene er gitt i [13, 12]. Modellen er opprinnelig utviklet basert på publisert vitenskapelig litteratur og er senere tilpasset videre eksperimentelle data og delvis validert mot resultater fra feltforsøk [12].

Siden vi vurderer dyrkings- og vekstpotensialet i et stort geografisk område fra innerst i fjordene til Norskehavet utenfor kontinentalsokkelen vil de oseanografiske forholdene (fysiske, biologiske og biogeokjemiske) også variere mye. Tidligere har tarevekstmodellen ikke tatt hensyn til variasjoner i saltholdighet. I denne studien har

vi innført en korreksjonsfaktor som reduserer opptaksraten for næringssalt, fotosynteseraten og vekstraten som en funksjon av saltholdigheten dersom saltholdigheten er lav (under 25 ‰). Det er også gjort noen mindre justeringer av modellen med hensyn til hvordan vannstrømmen påvirker næringssaltopptaket. Se tillegg A for detaljene.

### 2.2.2 Begroing

Man kan beskrive modeller kun ut fra *hva de gjør*, ikke *hva de ikke gjør*, og derfor kan vi ikke sette opp en liste over prosesser det ikke blir tatt hensyn til eller variable som ikke er inkludert i modellen. Vi vil likevel nevne en viktig faktor som det ikke blir tatt hensyn til i noen av simuleringene som er gjennomført her, og det er effekten av begroingsorganismer.

Begroingsorganismer, spesielt ulike typer mosdyr, forekommer både i naturlige tarepopulasjoner [5] og i dyrkede kulturer [25, 21] (se figur 2.6) og kan føre til redusert vekst, økt tap av biomasse [21] og økt mortalitet [5]. Studier har vist at begroing tiltar frem mot og utover sommeren. Derfor vil vi i denne utredningen kun vurdere vekst frem til begynnelsen av juni, og gjennomgående anta at all biomasse blir høstet i første uken av juni eller tidligere. Graden av begroing avhenger blant annet av temperaturhistorikk [50, 49] og lokalitet [35], og det finnes lokaliteter der begroing er et mindre problem enn andre steder. Å vurdere begroingsproblematikken er svært krevende og må baseres på prøvedyrking. Begroing kan vise seg å være et mindre problem ved dyrking til havs, på sokkelen eller lenger ute.

## 2.3 Simuleringer

Det ble gjennomført to simuleringer: en simulering med modellen i 800 m oppløsning og en med modellen i 267 m oppløsning. I begge tilfeller ble det brukt et fullstendig koblet fysikk-økosystem-sukkertare-oppsett.

Modellen for Midt-Norge i 800 m oppløsning ble kjørt fra og med juli 2012 til og med juni 2015. Hensikten med dette var å simulere fullstendige dyrkingsssesonger (sensommer/høst til sommer) og å få informasjon om den mellomårlege variabiliteten i dyrkingspotensialet. Hver modellrute ble gitt de samme startverdiene for bladareal, nitrogen- og karbonreserver. Det ble brukt modellruter fra overlaten ned til 75 m dyp for å undersøke potensialet for dyrking på ulike dyp. Selv om sukkertare ikke forekommer dypere enn rundt 20-30 m i naturlige bestander, er det teoretisk mulig å dyrke dypere enn dette dersom de rette miljøbetingelsene er til stede. Følgende startverdier ble brukt:

- bladareal:  $A_0 = 0,2 \text{ cm}^2$
- nitrogenreserve:  $N_0 = 0,02$  (tilsvarer nitrogeninnhold på 1,8% av tørrvekten)



Figur 2.6: Begroing på dyrkede sukkertareplanter. Plantene ble satt ut i februar. Det venstre bildet viser tilstanden i juni, mens bildet til høyre er tatt i august. Bildene er fra [25].

- karbonreserve:  $C_0 = 0,4$  (tilsvarer karboninnhold på 32% av tørrvekten)

Bladstørrelsen som ble brukt som startverdi ( $A_0$ ) tilsvare grovt sett størrelsen til sukkertareplanter når de settes ut i sjø på taukulturer [20, 12]. Størrelsen til og sammensetningen av taresporofyttene vil naturlig variere som følge av en rekke faktorer, for eksempel tid fra sporeslipp til utsåing [20]. Et av hovedmålene med denne studien er å sammenligne det grunnleggende potensialet for taredyrking ved ulike lokaliteter og å identifisere gode områder for dyrking. Derfor er det naturlig å anta at forholdene for øvrig er helt like. Det ble antatt at det kun var en enkelt “tareplante” i hver modellrute, slik at simulert næringssaltkonsentrasjon og lysintensitet ikke ble påvirket av taren. Ved begynnelsen av en ny måned ble det initialisert (“satt ut”) et nytt tredimensjonalt sukkertarefelt. Totalt ble det altså simulert 36 “utsett” av sukkertare.

Modellen for Møre og Romsdal i 267 m oppløsning ble kjørt fra begynnelsen av januar til juni 2013. Året 2013 ble valgt for at simuleringen med den fine modellen skulle overlapse med simuleringen med den grove modellen i tid, men ellers var året valgt tilfeldig. Hensikten med simuleringen var å få bedre romlig oppløsning spesielt for kystområdene innefor grunnlinjen (figur 2.3). De samme startbetingelsene som ovenfor ble brukt, og det ble antatt dyrking ned til 16 m dyp.

## 2.4 Beregning av produksjonspotensial og vurdering av velegnede områder for makroalgedyrking

Vurderingen av gode områder og potensialet for storskala makroalgedyrking ble basert på resultater fra simuleringer med SINMOD. Estimaten for biomasseproduksjon ble basert utelukkende på resultatene fra vekstmodellen for sukkertare (2.4.3 nedenfor). Grunnen til dette er at man kan sammenligne dyrkingsbetingelsene ved å sammenligne simulerte (eller målte) miljøvariable ved ulike lokaliteter direkte, men for å estimere biomasse må man eksplisitt omregne disse betingelsene til biomasse, og da trengs det en form for vekstmodell eller veldig gode dyrkingsdata. Det finnes ennå ikke gode vekstmodeller for andre (norske) arter enn sukkertare. Modeller for butare (*Alaria esculenta*) og søl (*Palmaria palmata*) blir imidlertid utviklet i det pågående (2016–2019) forskningsprosjektet MACROSEA - “Kunnskapsplattform for industriell dyrking av makroalger” (finansiert av Norges Forskningsråd, prosjektnummer 254883).

### 2.4.1 Indeks for grunnleggende potensial for dyrking av sukkertare

For å vurdere velegnetheten til ulike områder i Møre og Romsdal ble det etablert en *indeks* som sammenligner det grunnleggende dyrkingspotensialet for sukkertare innen et utsnitt av modellområdet i 800 m horisontal oppløsning (figur 2.3). I hver horisontal modellrute blir tørrvekten til enkeltplanter vurdert som følger. Den simulerte ukentlige tørrvekten til tarebladet blir addert gjennom alle uker, frem til og med første uken i juni samme eller neste år. Dette blir gjort for alle de månedlige “utsettene” av plantene fra 1. juli 2012 til 1. mai 2015. Tørrvekten for plantene ned til 25 m dyp blir addert. Vekten av en plante blir aldri fulgt lengre enn til den første uken i juni. Juni blir satt som grense fordi det *generelt* sett er problematisk å dyrke gjennom sommeren grunnet blant annet begroing (avsnitt 2.2.2).

Formelt kan man uttrykke indeksen som følger. La  $B_i(x, y, z, t)$  betegne den simulerte tørrvekten av bladareal i modellruten med romlige koordinater  $(x, y, z)$ , der  $i$  løper fra 1 til 35 og betegner utsettene fra og med 1. juli 2012 til og med 1. mai 2015. Vi lar  $t_i$  være tidspunktet for utsett  $i$ ; f.eks. tilsvare  $t_2$  1. august 2012. For  $t < t_i$  settes  $B_i(x, y, z, t) = 0$ . La

$$\tilde{I}(x, y) = \sum_{i=1}^{35} \int_{t=t_i}^{t=\text{neste juni}} \int_{z=1}^{25} B_i(x, y, z, t) dz dt. \quad (1)$$

Da beregnes den romlige indeksen  $I(x, y)$  som

$$I(x, y) = \frac{\tilde{I}(x, y)}{\max_{x,y} \tilde{I}(x, y)}. \quad (2)$$

Dermed har vi  $0 \leq I \leq 1$ . Se figur 3.6.

Tørrvekten ble brukt da det er denne som sier noe om den egentlige biomasseproduksjonen. Våtvekt, altså biomassen inkludert vannet, er veldefinert, men vanskelig å anslå presist ved måling siden den våte biomassen også nødvendigvis må inneholde vann på overfalten av plantene samt begroingsorganismer som kan utgjøre en betydelig del av biomassen [35]. Fra et ressursutnyttelsesperspektiv er det selvfølgelig ingenting i veien for å utnytte biomassen til begroingsorganismer.

Merk at denne indeksen ikke sier noe om egentlig biomasseutbytte eller hvordan produksjonspotensialet blir påvirket av ulike dyrkingsstrategier. Det er utelukkende det grunnleggende - naturgitt om man vil - potensialet som blir sammenlignet.

Det hefter fortsatt endel usikkerhet ved biomasseestimer, spesielt med tanke på gode øvre estimer for produksjonspotensialet ved en lokalitet. Det er mange faktorer som vi vet spiller inn, men som ennå ikke er kvantifisert tilstrekkelige gjennom dyrkingsforsøk. Se avsnitt 3.1.

#### 2.4.2 Andre arter enn sukkertare

For andre arter enn sukkertare er det ikke brukt en eksplisitt dynamisk modell. Egnede arter for dyrking i Møre og Romsdal blir drøftet i avsnitt 3.2, og viktige miljøbetingelser for vekst hos disse blir diskutert.

#### 2.4.3 Biomasseestimer

Med utgangspunkt i simuleringene med modellene i 800 og 267 m oppløsning ble potensialet for dyrking av sukkertare beregnet som biomasse per arealenhet ( $\text{t ha}^{-1}$ ). Det ble antatt at dyrkingen foregikk i taukulturer. Se avsnitt 3.1. Resultatene for enkeltplanter ble oppskalert til biomasse per hektar ved å multiplisere tørrvekten til en enkelt plante i en modellrute med antall planter per hektar i den ruten. Antall planter per hektar ble beregnet ut fra følgende antagelser.

- Plantene ble dyrket fra 1 til 6 m dyp på vertikalt hengende tau.
- Tettheten av vertikale tau var  $\rho = 0,2 \text{ tau m}^{-2}$ .
- Det ble antatt at antall planter per meter taulengde  $N$  var gitt ved

$$N(m) = 261(1 - 0,1294)^m, \quad (3)$$

der  $m$  betegner antall måneder i kultur.

Antallet planter ble altså antatt å minke med tiden. Her ble kun de plantene som bidro vesentlig til biomassen tatt med. Antallet planter per meter taulengde i kultur varierer mye, og det er mange faktorer som sammen avgjør det presise tallet. Blant miljømessige betingelser kan nevnes strøm, temperatur, begroing, bølger og uvær. Blant faktorerene som er knyttet til selve produksjonsteknikken, vil ikke minst tilstanden til kimplantene som settes ut ha betydning. Videre vil tettheten av planter ved påsåing i laboratoriefasen avhenge av typen tau/substrat som brukes. Det vil videre være en betydelig variasjon i plantenes størrelse og forutsetning for å vokse [25]. Det er ikke gitt at en høy tetthet av kimplanter alltid vil gi et bedre resultat.

Dersom  $B_{\text{ind}}(x, y, k)$  betegner den simulerte biomassen (tørr eller våtvekt) til en enkeltplante i posisjon  $(x, y)$  og dybdelag nummer  $k$  kan vi beregne biomassen per arealenhet i en posisjon  $(x, y)$  som

$$B(x, y) = \sum_k B_{\text{ind}}(x, y, k) N \rho \Delta z_k / 100, \quad (4)$$

der divisjonen med 100 inngår fordi vi omregner fra totalt antall gram per meter til  $\text{t ha}^{-1}$ .  $B$  uttrykker altså biomasseutbyttet per arealenhet. Tilsvarende kan man beregne opptak av karbon, nitrogen og  $\text{CO}_2$  per arealenhet.

Denne måten å oppskalere på ble benyttet i [12], og spesielt tilsvarer antall planter per meter tau verdiene som ble benyttet der (henholdsvis 75 og 150 planter per meter tau ved dyrking fra september og februar til juni).

Verdien vi benytter må betraktes som en gjennomsnittsverdi [12]. Tallet 0,1294 må sees på som en månedlig mortalitetsrate. Den eksakte verdien er tilpasset antagelsen om henholdvis 75 og 150 planter per meter tau ved høsting i juni og utsett i september og februar. Det er her antatt en betydelig høyere mortalitetsrate enn det som er benyttet i andre modellstudier, for eksempel [44]. I tillegg kommer biomassetap i form av nedbrytning av bladet fra enkeltplanter.

Med tanke på at store kulturer kan redusere næringssaltkonsentrasjonen betydelig [12], må biomasserestatene sees på som et øvre estimat. Det ville vært praktisk svært krevende å beregne et mer realistisk estimat med toveis tilbakekobling mellom tarekulturen og økosystemmodellen (taren tar opp næringssalt, noe som fører til lavere næringssaltkonsentrasjon og dermed lavere vekstpotensial), siden det ville kreve svært mange uavhengige simuleringer med hele det koblede modellsystemet: ved storskala dyrking i alle eller en stor andel av modellrutene ville næringssaltet bli oppbrukt. Det er heller ikke tatt hensyn til lysskygging ved tette kulturer i estimatene her. En vurdering av effekten av skygging og opptak av næringssalter blir gjort i [12].

### 3 Potensialet for makroalgedyrking i Møre og Romsdal

#### 3.1 Dyrking av makroalger i sjø

For å dyrke makroalger i sjø er det viktig å kjenne og beherske hele livssyklusen til planten. Tang og tare danner sporer når de blir fertile. For sukkertare kan man ved å endre døgnlengden via lysstyring i laboratorium manipulere plantene til å danne sporer året rundt [20]. Etter sporeslipp vil sporene feste seg til et “fast” underlag, som for eksempel tau, tekstiler eller flak av plastmateriale, og videre vokse til små planter (kimplanter) som kan settes ut i sjøanlegg. For sukkertare varer denne perioden i 4–6 uker. Det forskes for å korte ned og effektivisere denne fasen. Det er også mulig å sprøyte sporer direkte på vekstsubstratet ved utsett i sjø.

I sjøanlegg festes vekstsubstratet vertikalt, horisontalt eller på skrå i vannsøylen. For at plantene skal vokse bra må anleggene plasseres slik at det når tilstrekkelig med sollys ned til plantene, og i Norge er det oppnådd best resultater ved å dyrke fra 1–8 meters dyp under overflaten. Dyrkingsanleggene forankres på sjøbunnen og er synlige på overflaten som bøyer på rekke og rad. Miljøbetingelsene vil ha betydning for selve utformingen av et anlegg, som dimensjonering av forankring og lignende. Ved dyrking i stor skala må man ta hensyn til at det skal være praktisk mulig å sette ut store mengder kimplanter. Biomassen utgjør gjerne 2–10 kg per meter tau ved innhøsting, og dette stiller krav til effektiv innhøstingsteknologi, som er under utvikling. Figur 3.1 viser lab- og sjøfasen i makroalgedyrking.

Erfaringsgrunnlaget fra dyrking av makroalger langs norskekysten er begrenset [20, 25, 21, 22], men så langt synes det hensiktsmessig å sette ut kimplanter om høsten (frem til november) eller i februar, og høste inn fra april til juni. Se også figur 3.10. Dyrkingsstrategien er avhengig av hva biomassen skal anvendes til. Dyrking i åpent hav vil kreve andre typer anlegg enn dyrking i beskyttede områder nær land. Vi kan ikke gå nærmere inn på fordeler og ulemper ved ulike dyrkingsmetoder eller -teknologier her.

Dyrking av makroalger i sjø krever fasiliteter for kimplanteproduksjon og vekstsubstrat (se figur 4.1). Fordi stedege fenotyper bør benyttes for å unngå genetisk blanding med lokale populasjoner, er det hensiktsmessig at slike fasiliteter finnes lokalt for å redusere transportavstanden til utsett.

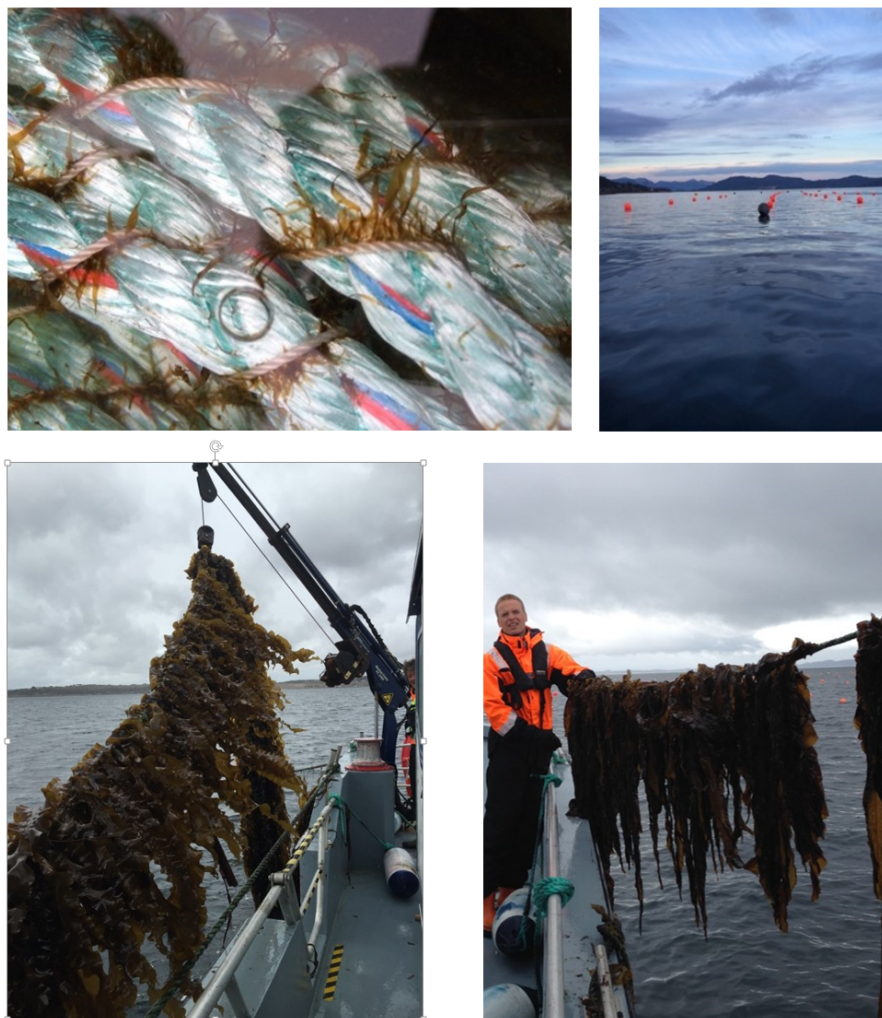
#### 3.2 Aktuelle makroalgearter for industriell dyrking i Møre og Romsdal og betingelser for god vekst hos disse

I Norge finnes det over 500 arter av marine makroalger: rundt 210 rødalger (*Rhodophyceae*), 100 grønnalger (*Chlorophyceae*) og 200 brunalger (*Phaeophyceae*) [46]. Tang og tare hører inn under brunalgene. Det blir for omfattende å vurdere egnetheten til alle disse artene, og i tillegg finnes det for de aller fleste artenes del svært lite kvantitativ informasjon om vekstrater og hvilke kombinasjoner av miljøbetingelser som gir gode vekstforhold.

På den annen side er det bare gjennomført dokumenterte dyrkingsforsøk med noen få av de norske algeartene. Det finnes god dokumentasjon for dyrking av følgende arter:

- sukkertare (*Saccharina latissima*, brunalge) [48, 20, 25, 43, 35]



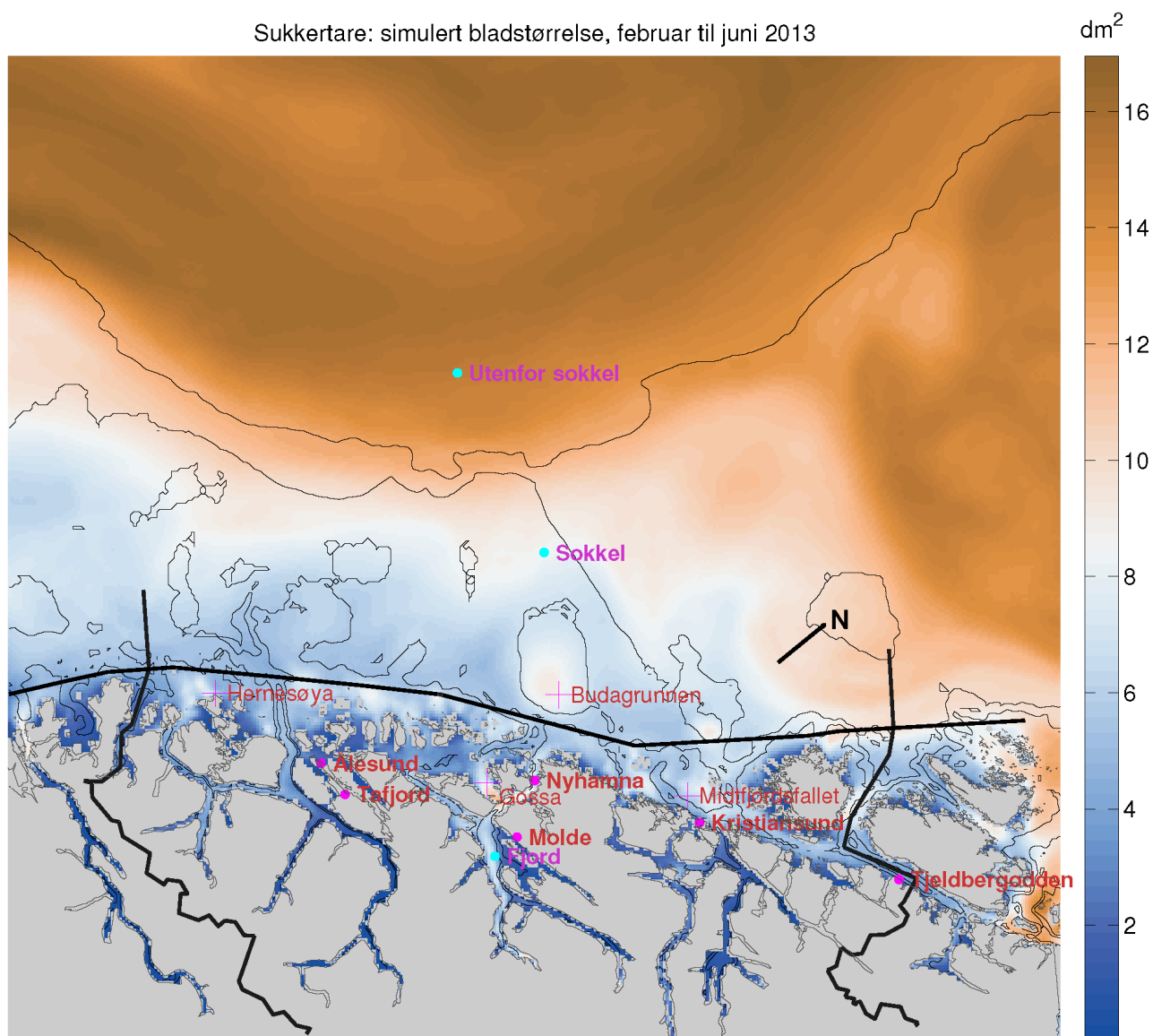


Figur 3.1: Øverst fra venstre med klokken: Kimplanter på tau av 2 mm tykkelse tvinnes rundt bæreline for utsett i sjø; tare dyrkingsanlegg på Nordmøre, 2014; forsøksdyrking av butare, Frøya; forsøksdyrking av sukkertare, Frøya. Alle foto: SINTEF Fiskeri og havbruk.

- fingertare (*Laminaria digitata*, brunalge) [17]
- butare (*Alaria esculenta*, brunalge) [7, 43]
- søl (*Palmaria palmata*, rødalge) [60, 48]
- fjærehinne (*Porphyra umbilicalis*, rødalge) [10, 33]
- havsalat/andre grønnalger (*Ulva lactuca*, *Ulva spp*) [39] .

Med tanke på industriell dyrking i sjø nå eller i nær fremtid er det disse artene, som det allerede finnes dyrkingsteknologi for, som blir vurdert her. Grønnalger, som for eksempel havsalat (*Ulva lactuca*), har ikke vært dyrket i sjø i Norge, men egner seg godt for dyrking i landbaserte anlegg, og da gjerne i sammenheng med smoltproduksjon og annen fiskeoppdrett [37]. Dyrking av grønnalger i åpne sjøkulturer har vært foreslått, og kan bli aktuelt i fremtiden. Grønnalger for industriell dyrking i sjø blir imidlertid ikke vurdert her. Rødalgen fjærehinne (*Porphyra*) dyrkes i stor skala i Asia og bør være interessant i fremtiden, men blir ikke vurdert her da den ennå ikke har vært dyrket i sjø i Norge. Det er dermed fire makroalgearter som er mest aktuelle for industriell dyrking i Møre og Romsdal i dag (tabell 3.1). Det utelukker som sagt ikke at flere arter kan være aktuelle i fremtiden.

Sukkertare: simulert bladstørrelse, februar til juni 2013



Figur 3.2: Oversikt over kysten av og havområdene utenfor Møre og Romsdal. Fylkesgrenser og grunnlinjen er tegnet inn (tykke, svarte linjer). De tynne svarte linjene antyder 100, 200 og 500 meters dybdekonturer. Fargene viser simulert bladareal hos sukkertareplanter ved 5 m dyp ved dyrking fra februar til juni 2013. De tre punktene “fjord”, “sokkel” og “utenfor sokkel” viser posisjonene der det er hentet ut tidsserier i figur 3.3. De fire “eksempelanleggene” (merket med +) blir presentert i delavsnitt 3.7.1.

Tabell 3.1: Makroalgearter som er aktuelle for industriell dyrking i Møre og Romsdal. Tallene indikerer grove intervaller for god respons (vekst, fotosyntese, opptak) til de ulike variablene. Tallene i hakeparentesene er referanser til kilder der variabelverdiene kan finnes eller blir drøftet nærmere. De presise verdiene for optimal vekst er ikke kjent for de fleste arter. Spørsmålsteget antyder at tallene ikke er kjent, eller at de er kvalifisert gjetning basert på delvis usikre kilder.

Art	Temperatur	Salinitet	Næringssalt	Vannstrøm
Søl ( <i>Palmaria palmata</i> )	6 – 14 °C ?	$S > 25$ [60] ?	?	?
Sukkertare ( <i>Saccharina latissima</i> )	10 – 15 °C [11, 13]	$S > 25$ [8]	$> 4\text{mmol DINm}^{-3}$ ?	0–0,25ms <sup>-1</sup> [29]
Butare ( <i>Alaria esculenta</i> )	< 16 °C [38]	$S > 25$ ?	?	> 0,1ms <sup>-1</sup> ?
Fingertare ( <i>Laminaria digitata</i> )	5 – 15 °C [29]	$S > 25$ [29]	$\geq 10\text{mmol DINm}^{-3}$ [29]	> 0,25ms <sup>-1</sup> [29]

Langs norskekysten vokser makroalger i en begrenset sone ned til 40–50 m dyp [46]. Under naturlige forhold vokser makroalgene stort sett på en type fast underlag, men de kan også feste seg til mindre steiner og lignende. I biomasse er det stortare (*Laminaria hyperborea*) som dominerer de naturlige bestandene. Den totale, stående biomassen av stortare langs norskekysten er anslått til 50–60 millioner tonn våtvekt [54]. I [45] ble den stående biomassen av stortare langs den ytre delen av kysten av Møre og Romsdal fra Lepsøya til anslått til mellom 2,1 og 4,3 millioner tonn våtvekt. Ved dyrking brukes tauverk, flak av ulike typer plastmateriale eller andre strukturer som er forankret i sjøbunnen som dyrkingssubstrat (se 3.4). Dermed er det i utgangspunktet betydelig større arealer tilgjengelig for dyrking enn for høsting av naturlige bestander.

De følgende miljøvariablene er viktige for vekst av (marine) makroalger:

- lysintensitet
- næringssaltkonsentrasjon
- temperatur
- vannstrøm
- saltholdighet.

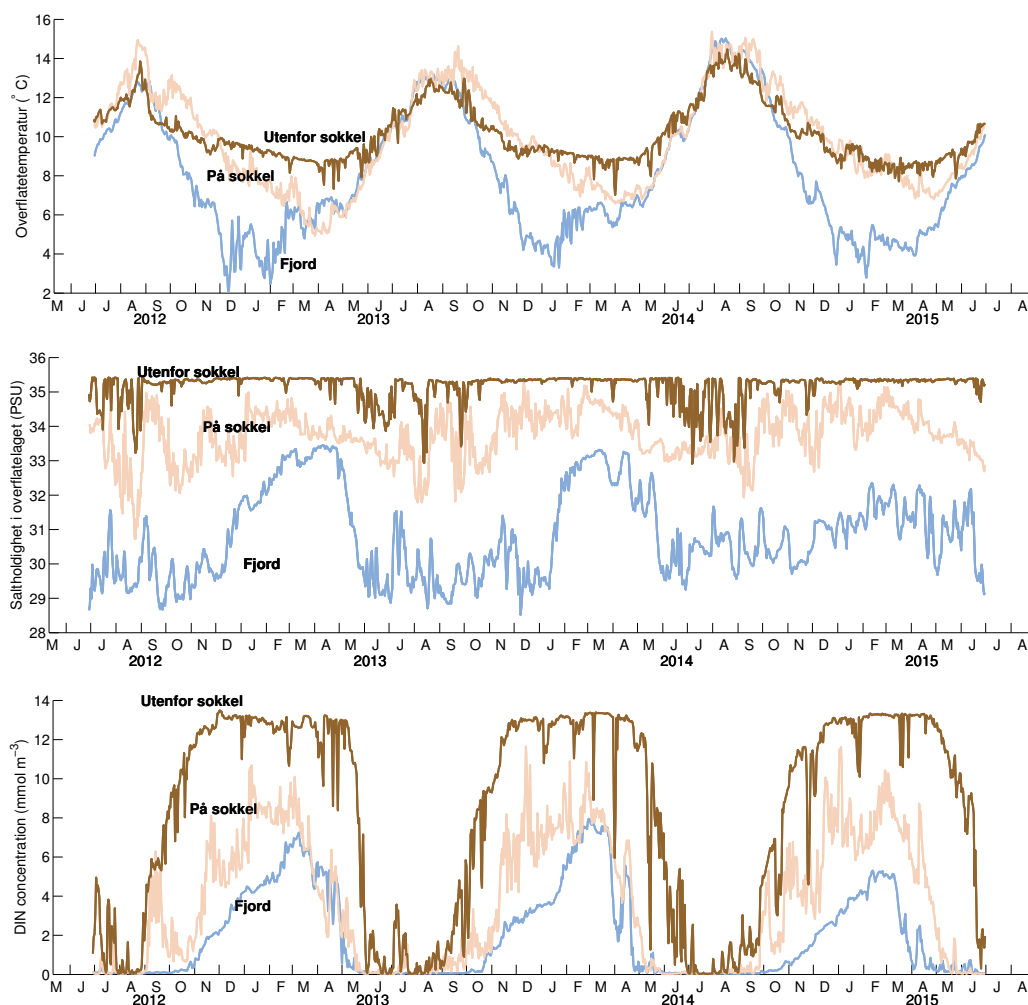
Dette er ikke en uttømmende liste over alle mulige variable som kan ha betydning for vekst hos makroalger, men omfatter de variablene man normalt vil kunne måle/observere og som vil kunne ha betydning for så å si alle arter [61].

Det er viktig å skille mellom miljøbetingelser som gjør det mulig for en art/populasjon å rekruttere/reprodusere (naturlige habitater) og å vokse (kulturer). Industriell dyrking av makroalger forutsetter gode vekstbetingelser etter at plantene er satt ut i sjø, mens selve reproduksjonsfasen og rekruttering av nye individer til dels er irrelevant.

Ser man et øyeblikk bort fra å skille detaljert mellom dyrkingsforholdene ved ulike lokaliteter, er det god tilgang på næringssalt som kanskje er viktigst for å øke veksten, og dernest er det viktig at sjøtemperaturen ikke blir for høy. Det er generelt verre at temperaturen blir for høy enn at den blir for lav. Generelt sett ser det ut til at temperaturforholdene for dyrking av makroalger i Møre og Romsdal, spesielt tare, er gode (figur 3.3).

### 3.3 Egnede sjøarealer for makroalgedyrking i Møre og Romsdal

Tidsseriene over simulert temperatur, saltholdighet og nitratkonsentrasjon i figur 3.3 viser følgende. For det første er variasjonen i temperatur lavere jo lenger ut fra land man kommer. På stasjonen utenfor sokkelen holder temperaturen seg mellom 8 og 14 grader, mens den på stasjonen fra Romsdalsfjorden (“Fjord”) spenner fra 2 grader om vinteren til opp mot 15 om sommeren. Dernest ligger saltholdigheten naturligvis høyest utenfor sokkelkanten, med verdier mellom 33 og 35,4 ‰. Posisjonene til de tre stasjonene er angitt i figur 3.2. De lavere verdiene på sokkelen og langs kysten skyldes den norske kyststrømmen, mens de lavere verdiene fra

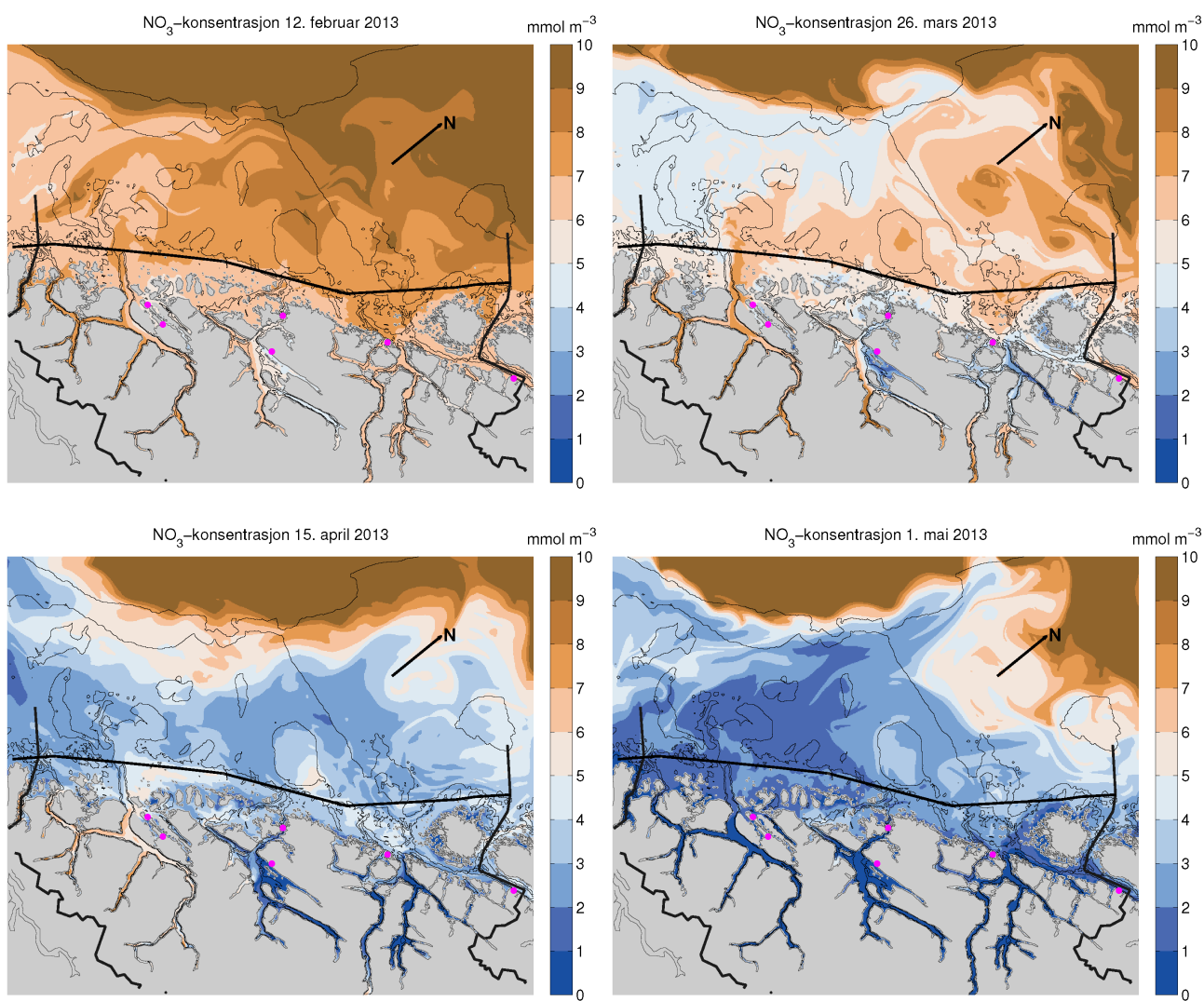


Figur 3.3: Eksempel på tidsserier for simulerte miljøbetingelser i tre ulike vannmasser: fjordvann (blå kurve), vann på kontinentalsokkelen utenfor grunnlinjen (lysebrun kurve), atlantisk vann utenfor kontinentalsokkelen (mørkebrun kurve). Tidsseriene er basert på resultater fra modellen i 800 m oppløsning. Øverst: overflatetemperatur; midten: saltholdighet i overflatelaget; nederst: nitratkonsentrasjon i overflatelaget. Tidsseriene er hentet ut fra modelldata for posisjonene tegnet inn i figur 3.2.

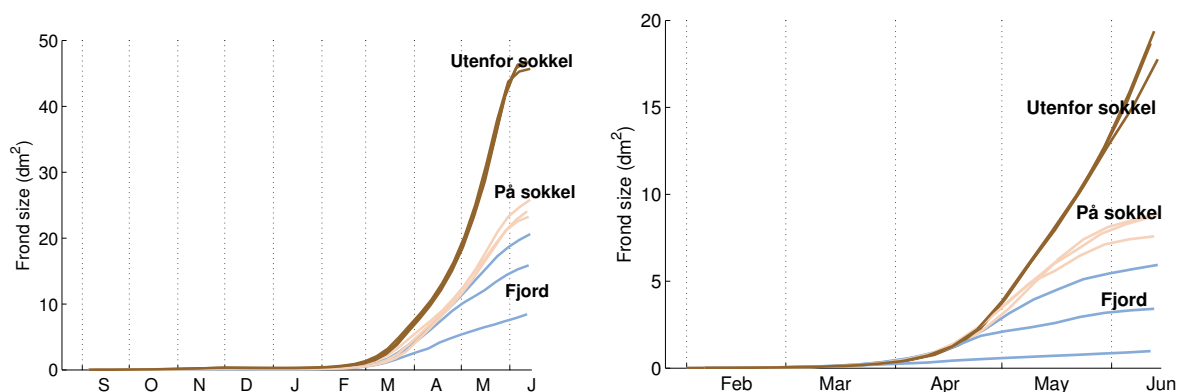
fjordposisjonen skyldes ferskvannsavrenningen fra elver og land for øvrig. For det tredje er de høyeste nitratkonsentrasjonene dobbelt så høye utenfor kontinentalsokkelen som i fjordområdene, og konsentrasjonene holder seg høye store deler av tiden. I Romsdalsfjorden følger tidsutviklingen den normale utviklingen med en relativt brå nedgang i næringssaltkonsentrasjonen om våren, som sammenfaller med mer ferskvann i overflaten og dermed sterkere lagdeling av vannmassene i fjorden og gode forhold for planktonalger som bruker opp nærings saltene i overflatelaget. Legg merke til vintersesongen 2014–2015 der ferskvannsavrenningen er stor gjennom hele vinteren, hvilket fører til lavere maksimumskonsentrasjoner av nærings salt.

Et ekko av disse miljøbetingelsene finner vi i figur 3.5. Her ser vi den simulerte tidsutviklingen for bladareal til sukkertareplanter ved de tre posisjonene i figur 3.2, for to utsettidspunkt (september og februar) og for alle årene 2012–2015. Legg spesielt merke til at veksten varierer mye mer i fjorden enn på sokkelen og utenfor. Spesielt ser vi at veksten var dårlig i 2014–2015-sesongen, hvilket stemmer bra med de lavere nærings saltkonsentrasjonene den sesongen.

Figur 3.4 viser hvordan nitratkonsentrasjonen i overflatelaget langs kysten av Møre og Romsdal endrer seg i tid og rom. Konsentrasjonene i fjordene og langs kysten (i den norske kyststrømmen) er lavere enn utenfor sokkelen. Utover våren ser vi hvordan den årlige oppblomstringen av planktonalger først fører til reduksjon av



Figur 3.4: Romlig fremstilling av simulert nitratkonsentrasjon i overflaten ved fire ulike tidspunkt. Fra simuleringer med modellen i 267 m oppløsning. Vi ser tydelig hvordan nitratkonsentrasjonen i overflatelaget langs kysten gradvis reduseres utover våren.



Figur 3.5: Simulert bladstørrelse hos sukkertare på de tre lokalitetene brukt i figur 3.3 (se også figur 3.2): i (ytre) Romsdalsfjorden (blå), på kontinentalsokkelen (lysebrun) og utenfor kontinentalsokkelen (mørkebrun). Den venstre figuren viser tidsutviklingen ved dyrking fra september til juni, mens den høyre figuren viser utviklingen ved dyrking fra februar til juni. De tre kurvene for hvert tilfelle viser ulike år (sesongene 2012-2013, 2013-2014, 2014-2015). Resultatene er tatt fra 4,5 m dyp.

nitratkonsentrasjonen nærmest land, og senere også lenger ute. Dette skyldes blant annet en sterkere lagdeling av vannmassene i kyststrømmen og i fjordene.

Det er store sesongmessige variasjoner i vekstmønsteret og -hastigheten til enkelte norske makroalgearter. Disse variasjonene skyldes dels ytre årsaker som liten tilgang på lys midtvinters og liten tilgang på næringssalt om sommeren (3.3) og dels indre/fysiologiske årsaker, som for eksempel at økende daglengde fører til reduksjon av veksthastigheten i sukkertare og stortare [34].

Figur 3.5 viser simulert tidsutvikling for bladstørrelse hos sukkertare satt ut i september (til venstre) og februar (til høyre). Modellresultatene følger kvalitativt sett det samme mønsteret for vekst i bladstørrelse som man vanligvis observerer eksperimentelt. Vekstraten er lav og kan til og med være negativ sent på høsten, selv om dette er vanskelig å se fra figur 3.5, men er tydelig i [25] og [35]; se også figur 3.10. Den er fortsatt lav etter nyttår, men tar seg opp på vårparten. Den *relative vekstraten* er størst i mars-april. Den *absolutte veksten* i bladareal og biomasse er imidlertid størst i løpet av mai.

Det poengteres ofte at veksten hos sukkertare er raskest i tidlig om våren. Det dreier seg som regel om den relative vekstraten. Med tanke på industriell dyrking er det imidlertid den absolutte biomassen som til slutt er viktig: biomassen i et dyrkingsanlegg kan dobles fra 2 til 4 tonn i april, men kan videre øke fra 4 til 7 tonn i mai. Derfor er det en fordel å kunne holde biomasse i sjøen så lenge som mulig, men dog ikke så lenge at biomassen og dens kvalitet reduseres.

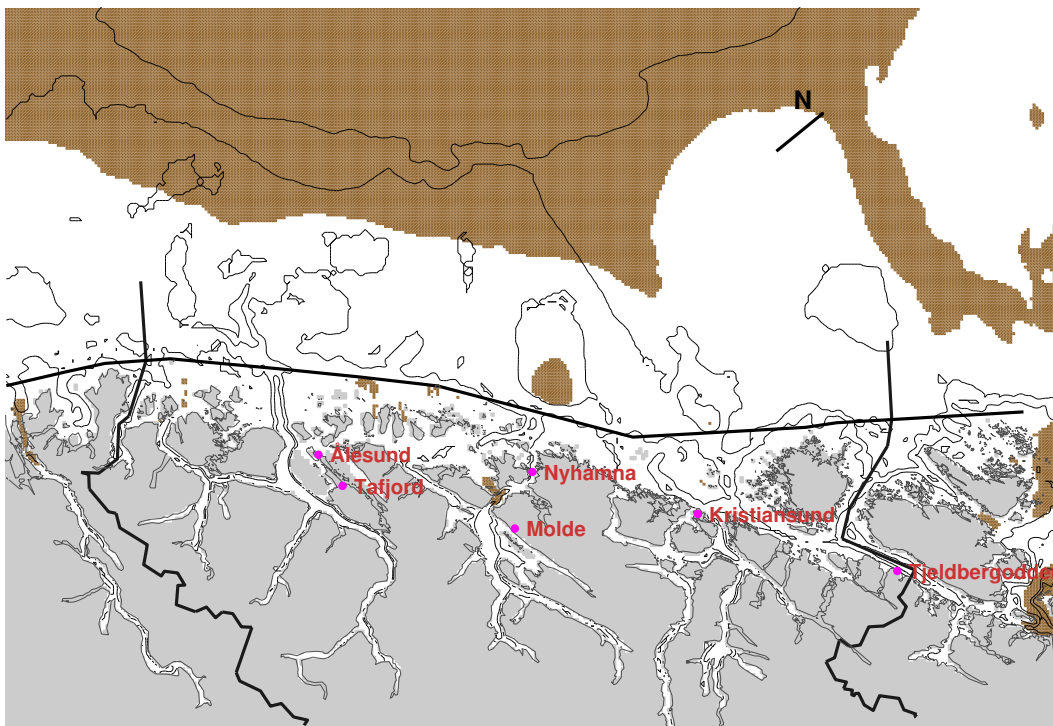
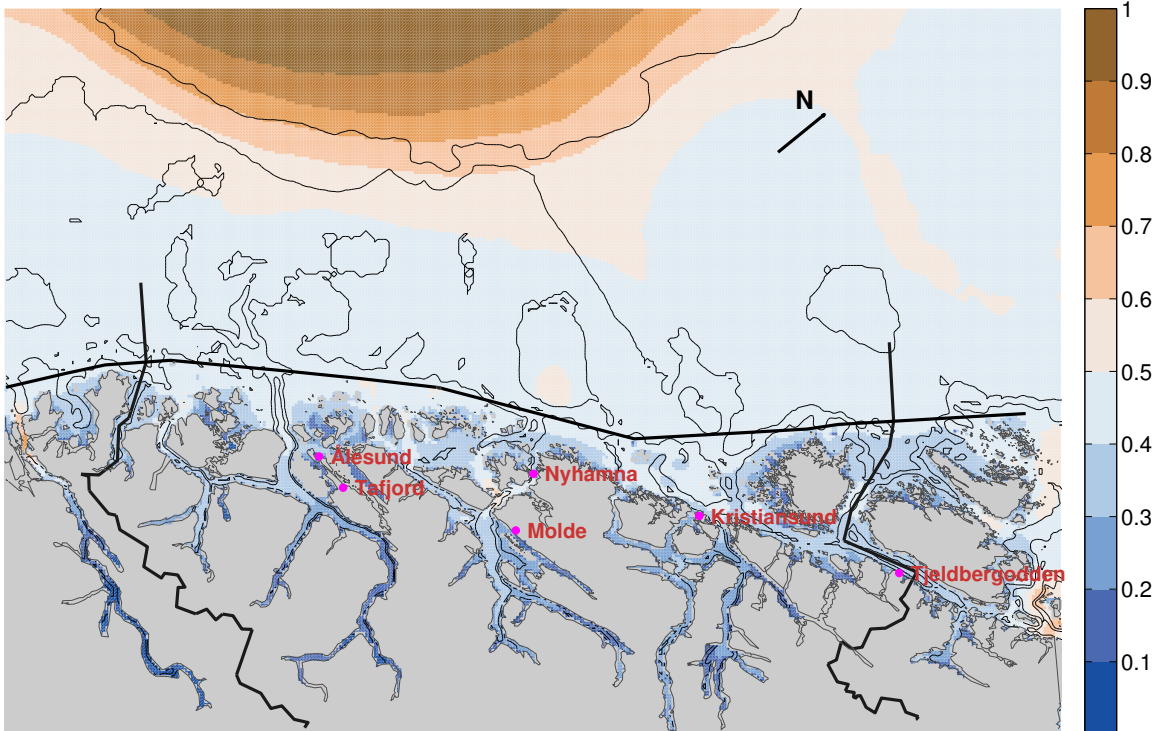
Mens det er en viss mellomårlig variasjon i "høstet" bladareal ved alle lokalitetene, antyder resultatene i figur 3.5 at den mellomårlige variasjonen i plantestørrelse (og dermed biomasse) er størst i fjordområdene, mindre på sokkelen og ganske liten utenfor sokkelkanten. Se også figur B.1 i tillegg B.

Figur 3.6 (øverst) viser et kart over indeksen over potensialet for sukkertare dyrking beskrevet i avsnitt 2.4.1. Indeksen forteller her ingenting om hvor mye biomasse det faktisk er mulig å dyrke, men er i stedet en objektiv måte å sammenligne de naturgitte dyrkingsforholdene på ulike lokaliteter på. Karakteren 1 er best. Dersom vi ser hele sjøarealet i Møre og Romsdal, inkludert det utenforliggende området på kontinentalsokkelen og utenfor, under ett, er det utvilsomt best å dyrke utenfor sokkelen. I det nederste panelet i figur 3.6 er de områdene med indeks i øvre kvartil (altså de "25% beste områdene") tegnet inn. Selv om området utenfor sokkelen dominerer bildet, er det gode forhold også på sokkelen, spesielt på Budagrunnen (på sokkelen utenfor Nyhamna). Videre er det gode forhold sør for Aukra, og utenfor Lepsøya og Harmsøya.

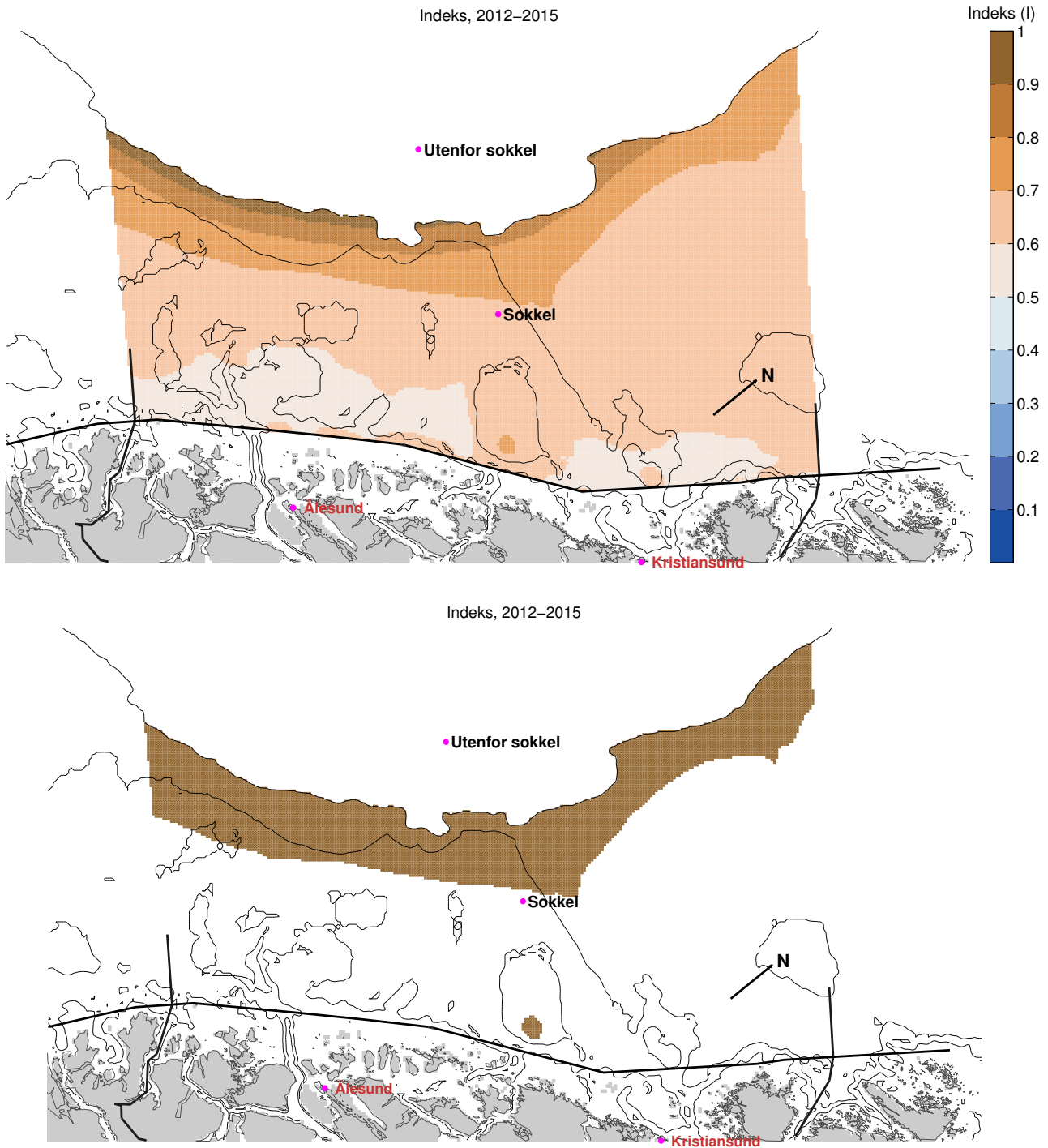
Ser vi på forholdene på sokkelen for seg (figur 3.7 der indeksen er beregnet kun med utgangspunkt i området på sokkelen utenfor grunnlinjen), er dyrkingsforholdene best i sokkelskråningen og rett innenfor. Det er også gode områder på Budagrunnen og langs grunnlinjen rett nord for Ålesund. Frøyabanken er også et godt område.

Indeks, 2012–2015

Indeks (I)

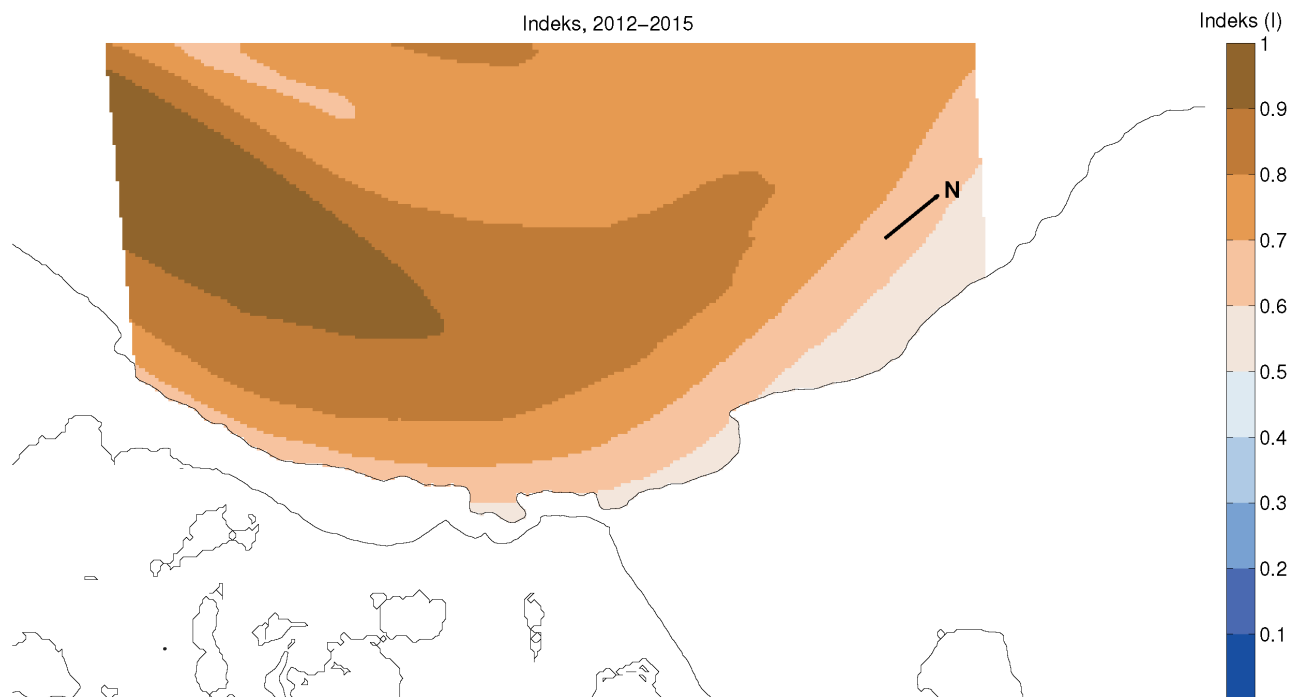


Figur 3.6: Gode områder for tare dyrking i sjøområdet utenfor Møre og Romsdal. Øverst: indeks over dyrkingspotensialet. Denne indeksen er basert på utplanting og innhøsting i alle måneder fra juli 2012 til juni 2015 over hele vannsøylen ned til og med 25 m dyp. Se delavsnitt 2.4.1. Nederst: de brune feltene angir de 25 % beste områdene basert på indeksen over (øvre kvartil). De tynne, sorte kurvene er 100, 200 og 500 meters dybdekonturer.



Figur 3.7: Indeks over dyrkingspotensial for sukkertare på sokkelen utenfor Møre og Romsdal. Legge merke til at indeksen er basert kun på områdene på sokkelen utenfor grunnlinjen, og at fargeleggingen dermed er annerledes enn i den foregående figuren. Øverst: indeks over dyrkingspotensialet. Denne indeksen er basert på utplanting og innhøsting i alle måneder fra juli 2012 til juni 2015 over hele vannsøylen ned til og med 25 m dyp. Se 2.4.1. Nederst: de brune feltene angir de 25 % beste områdene basert på indeksen over (øvre kvartil). De tynne, sorte kurvene er 100, 200 og 500 meters dybdekonturer.





Figur 3.8: Indeks over dyrkingspotensial for sukkertare utenfor sokkelen til Møre og Romsdal. Se delavsnitt 2.4.1. Legge merke til at indeksen er basert kun på områdene utenfor sokkelen, og at fargeleggingen dermed er annerledes enn i figurene 3.6 og 3.7.

I området utenfor sokkelen varierer indeksen mindre enn på sokkelen, altså er forholdene mer stabile her (figur 3.8). Her er det sørvestre området best. Det er imidlertid viktig å være klar over at i figur 3.8 er området utenfor sokkelen kunstig avgrenset av modellområdets utstrekning.

Ser vi på området innenfor grunnlinjen for seg, er variasjonen i dyrkingsforholdene relativt sett større (figur 3.9, til venstre) enn på og utenfor sokkelen. Dyrkingsforholdene later til å være best i kystområdet utenfor fjordene. Det er spesielt gode områder langs kanten av grunnlinjen, vest for Gurskøya utenfor Lepsøya, sør for Aukra og nordvest for Kristiansund.

Det er verdt å merke seg at kulturer av tare og andre makroalger vil kunne dra fordel av betingelser som kan motvirke oppblomstringer hos planteplankton. Det er til dels på og spesielt utenfor kontinentalsokkelen at vi finner slike betingelser: blandingsdypet er større, noe som fører til mer tilgjengelig nærings salt, vintertemperaturene er høyere og sommertemperaturene lavere. Videre er lysgjennomtrengningen i det atlantiske havvannet generelt bedre enn i fjord- og kystvann [30], noe havmodellen er i stand til å reprodusere.

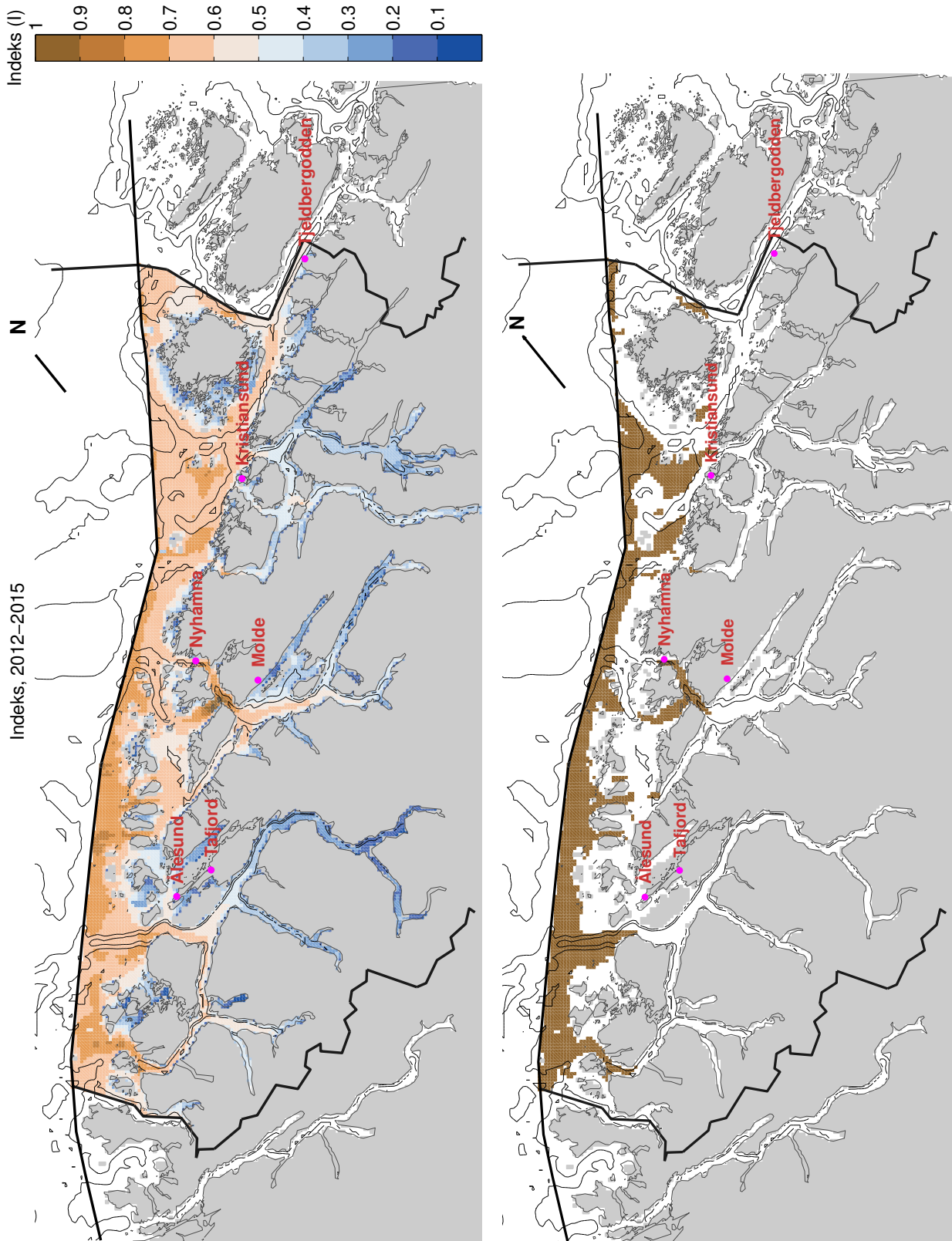
På Frøyabanken og i sokkelområdet nordvest for Smøla ser det ut til at forholdene er mindre bra enn lenger sør og litt lenger nord (det runde, hvite feltet). Det er snarere slik at feltene i sør og nord er spesielt gode områder. Atlantisk vann med høyere nærings saltkonsentrasjon enn kystvannet følger bunntopografien inn på sokkelen.

### 3.4 Aspekter knyttet til dyrkingsmetoder og -strategier

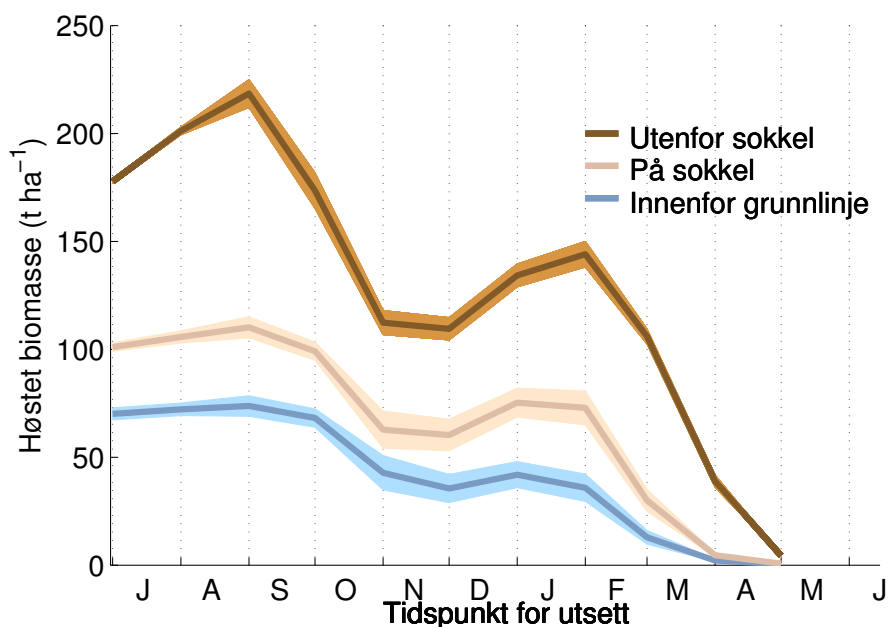
#### 3.4.1 Utsett- og høstetidspunkt

Sesongmessige variasjoner i miljøbetingelsene fører til at tidspunkt for utsett og innhøsting av taren har betydning for biomassen og dens sammensetning.

Figur 3.10 viser *gjennomsnittlig høstbar biomasse i juni som funksjon av tidspunktet sukkertaren*. Biomassen er beregnet som beskrevet i delavsnitt 2.4.3.



Figur 3.9: Gode områder for taredyrking innenfor grunnlinjen i Møre og Romsdal. Til venstre: indeks over dyrkingspotensialet. Legge merke til at indeksen er basert på områdene innenfor grunnlinjen, og at fargeleggingen dermed er annerledes enn i figurene 3.6, 3.7 og 3.8. Til høyre: de brune feltene angir de 25 % beste områdene basert på indeksen til venstre (øvre kvartil).



Figur 3.10: Høstbar biomasse av sukkertare i juni som en funksjon av tidspunktet plantene ble satt ut i sjø på. De tynne, markerte linjene viser gjennomsnittet for sjøarelaet innenfor grunnlinjen i Møre og Romsdal (blått), området på sokkelen utenfor grunnlinjen i Møre og Romsdal (lysebrunt) og området utenfor sokkelen utenfor Møre og Romsdal (brunt). Gjennomsnittet er videre tatt over årene 2012–2015. De lysere feltene rundt hver av kurvene viser standardavviket over de tre dyrkingssesongene.

Ved utsett sent om høsten eller vinteren ser vi at den mellomårlege variasjonen er størst. Dette kan ha sammenheng med at vekst over lengre tid jevner ut mellomårlege variasjoner i miljøbetingelsene over kortere tid.

Selv om det ser ut til å være ugunstig å sette ut i november og desember i alle de tre områdene, er det utenfor sokkelen at dette gjør seg mest gjeldende. Dette skyldes at temperaturen i det atlantiske vannet utenfor sokkelen er høyere enn vanntemperaturen langs kysten før til høyere respirasjonsrater utenfor sokkelen enn langs kysten, mens fotosynteseraterne er lave begge steder på grunn av lav lysintensitet. Videre vil småplanter ha relativt høyere vekstrater, slik at småplanter som vokser dårlig frem til februar likevel til en viss grad kan “hente inn” litt av forspranget. Det kan se ut til at det lønner seg å vente til februar dersom man ikke får plantet ut før midten oktober. Dette blir delvis bekreftet av empiriske resultater [25].

Veksten hos sukkertare blir delvis styrt av ytre lyssignaler som daglengde eller endringer i daglengde [34]. Dette er det tatt hensyn til i vekstmodellen som er brukt [13]. Ikke alle makroalgearter vil respondere likt til daglengden, og det er derfor lite trolig at figur 3.10 er representativ for andre arter enn sukkertare, kanskje bortsett fra enkelt andre tarearter. Dette kan være en stor fordel, fordi man ved å dyrke ulike arter med forskjellig sesongmessig vekstsyklus kan få en jevnere tilgang på biomasse over et lengre tidsrom. For eksempel kan det vise seg at enkelte arter vil vokse bedre om sommeren enn de norske brunalgene.

### 3.4.2 IMTA og andre produksjonsteknikker

I vurderingen av dyrkingspotensialet ved ulike lokaliteter har vi ikke tatt hensyn til næringsstoffbidrag fra lakseoppdrett. Når tare (eller andre arter fra et annet nivå i næringskjeden enn laks) dyrkes samlokalisert med laks kalles dette gjerne Integrert Multi-Trofisk Akvakultur (IMTA) [56]. Rundt 40-50 % av nitrogenet som inngår i fôret til laks blir igjen i laksen ved slakt. Resten slippes ut som oppløst uorganisk nitrogen (hovedsakelig  $\text{NH}_4^+$ ) eller som organisk partikulært nitrogen [58]. Deler av fôrressurene kan gjenvinnes ved dyrking av makroalger, og ved å dyrke tett nok på et lakseoppdrettsanlegg vil man også få en betydelig større biomasse enn man ellers ville fått. Dermed oppnås bedre arealutnyttelse. Denne effekten av IMTA er imidlertid arealbegrenset [22] og

vil ikke gjøre seg gjeldende for store dyrkingsanlegg for makroalger.

Det har ikke vært en del av oppdraget å vurdere potensialet for IMTA. En utredning om IMTA-potensialet i Møre og Romsdal burde gjennomføres. Det har vært gjort estimater [58], men en analyse av samlokaliseringmuligheter, hvor stor økning i biomasseutbytte man får og så videre, mangler. Det er først og fremst innenfor grunnlinjen at IMTA (definert slik at lakse- og makroalgeanleggene er samlokalisert) vil ha en hensikt.

### 3.5 Areakonflikter og sambruksmuligheter

Her ser vi på konflikter mellom velegnede områder for tare dyrking og andre nærings- og samfunnsinteresser. Vi vil begrense oss til geografisk overlapp mellom tare dyrkingsområder og følgende forvaltningsområder:

- fiskerisoner
- høstefelt for stortate
- farled
- olje- og gassinntallasjoner.

Dette er ingen analyse av sosiale, politiske eller forvaltningsmessige problemstillinger knyttet til disse konfliktene. Det er heller ingen rangering av ulike interessers sosiale eller finansielle verdi eller betydning. En perspektivrik bok om arealkonflikter og -problematikk er “Kampen om plass på kysten” [26].

Det er hovedsakelig innenfor grunnlinjen at farled, høstefelt og fiskerisoner skaper konflikter (figur 3.11). Fiskerisonene omfatter i denne sammenhengen områder for fiske med aktive og passive redskap, og omfatter også gyteområder for fisk. Kartdataene er lastet ned fra Fiskeridirektoratets kartverktøy ([www.fiskeridir.no](http://www.fiskeridir.no)) den 10. august 2016. Omfanget av tare høstingssonene er her overvurdert som *alt sjøareal med bunndyp mindre enn 30 meter*. På den måten unngås antagelig enhver direkte konflikt med naturlige makroalgebestander. Fra tabell 3.2 ser vi at det tilgjengelige arealet innenfor grunnlinjen i Møre og Romsdal reduseres med mer enn 80 % dersom vi tar bort fiskerisoner, farled og tare høstingsområder<sup>1</sup>. Enkelte viktige fiskeriområder strekker seg også utenfor grunnlinjen (figur B.3), men det er gode områder for dyrking utenom disse områdene, og det skal være mulig å unngå større konflikter her. Det er mindre enn 3 % av arealet på sokkelen som er avsatt til farled og fiskeri (tabell 3.2). Farledsarealet utelukker ikke absolutt all annen aktivitet. Kystverket må imidlertid søkes om tillatelse.

Eksisterende havbruksanlegg utgjør selvfølgelig også en åpenbar potensiell konflikt innenfor grunnlinjen og spesielt i endel fjorder. Her er det kommunale og interkommunale planer som må tilrettelegge for å inkludere dyrking av makroalger i havbruksarealet. En mulighet for sambruk av sjøareal oppstår gjennom IMTA, som nevnt i avsnitt 3.4.2, og lokalt kan utslipp fra oppdrettsanlegg utgjøre en betydelig ressurs for dyrking av makroalger i Møre og Romsdal [31, 22]. Med tanke på god arealutnyttelse og å minimere konflikter, vil det være hensiktsmessig å ta hensyn til spesielt gode dyrkingsområder i sjøarealplanene.

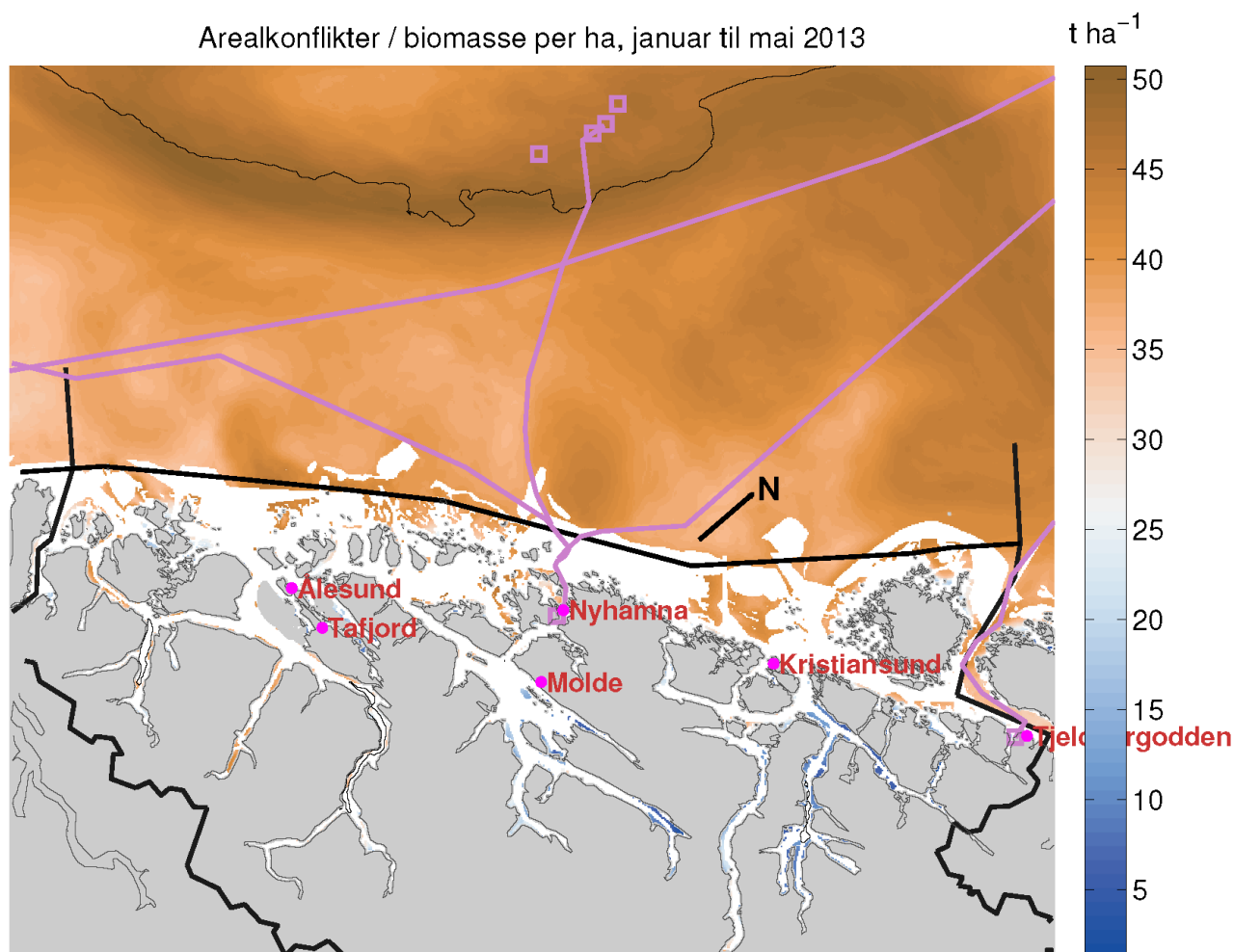
Farledsareal, fiskerisoner og potensielle naturlige tarebestander er tegnet inn separat i figurene B.2–B.4 i tillegg B.

Olje- og gassinntallasjoner er tegnet inn i figur 3.11. Innenfor sokkelkanten begrenser dette seg til olje- og gassledninger som i den store sammenhengen ikke dekker noe areal av betydning. Ved for eksempel oppankring av dyrkingsanlegg i sjøbunnen må det tas hensyn til olje- og gassledninger. Det er lett å finne gode områder for dyrking av makroalger som ikke kommer i konflikt med olje- og gassinntallasjoner.

Vi kan ikke gå inn på arealkonflikter uten også å nevne muligheter for sambruk av areal. Slike sambruksmuligheter oppstår for eksempel ved vindmølleparker til havs eller oljeplattformer og annen petroleumsvirksomhet. Rotorbladene på vindmøllene krever at de blir plassert et godt stykke fra hverandre. Det vil være et stort ubrukt areal mellom vindmøllene, samtidig som arealet til vindmølleparken likevel må avsettes. Deler av arealet mellom

<sup>1</sup>Merk at disse arealberegningene er basert på dybdematriksen til modellområdet for den hydrodynamiske modellen i 800 m oppløsning. Fordi enkelte smale fjorder, sund og bukter av tekniske grunner ikke er tatt med i modellen, blant annet fordi rutestørrelsen i flere tilfeller er for grov, vil arealberegningene her avvike fra arealberegninger basert på offisielle kartdata.

Arealkonflikter / biomasse per ha, januar til mai 2013



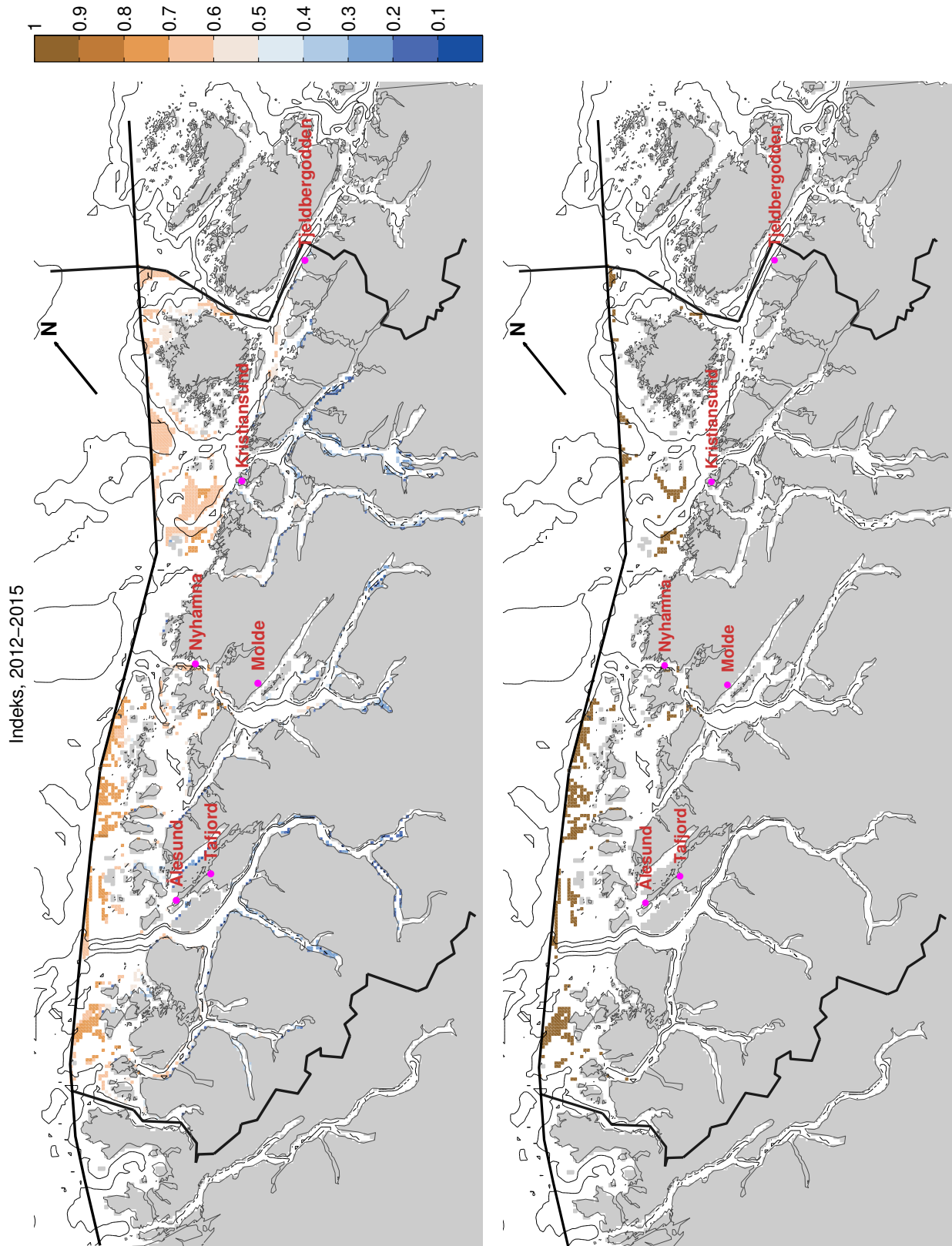
Figur 3.11: Mulige arealkonflikter for tare dyrking. De hvite feltene viser farledsareal, konfliktsoner eller områder med naturlige bestander av makroalger. De lilla kurvene antyder olje- og gassinstallasjoner. Fargene i kartet for øvrig angir dyrkingspotensial for sukkertare fra januar til mai ( $t\ ha^{-1}$ ). Den tynne, svarte kurven antyder 500 meters dybdekontur. Det potensielle arealet for høsting av naturlige stortarebestander er estimert som alt areal med bunndyp mindre enn 30 m. Data for farled, fiskerisoner (både aktive og passive fiskeredskap) og olje- og gassinstallasjoner ble hentet fra Fiskeridirektoratets kartverktøy 10. august 2016.

vindmøllene bør kunne utnyttes til dyrking av makroalger. Makroalgekulturene vil også til dels kunne fungere som “bølgebrytere”.

Når konfliktareal tas bort, er det mindre areal tilgjengelig for makroalgedyrking. Figur 3.12 viser indeksen for dyrkingspotensial innenfor grunnlinjen når konfliktareal er tatt bort (til venstre) i tillegg til de arealene der indeksen er i øvre kvartil (til høyre). Det er kun mindre områder *utenfor* grunnlinjen som blir berørt av konflikter, og de tilsvarende figurene for sokkelen utenfor grunnlinjen kan finnes i tillegg B (figur B.5).

### 3.6 Logistikk og infrastruktur

Næringen basert på dyrkede makroalger i Norge er relativt ny og liten i dag. Et viktig bidrag til å øke verdiskapningen i og utvikle denne næringen videre vil være å benytte eksisterende industriell infrastruktur. Med den nåværende teknologien må slik infrastruktur finnes på land. I Møre og Romsdal finnes flere store industri-anlegg og -områder som kan benyttes i flere ledd i verdikjeden for produksjon og prosessering av biomasse fra makroalger:



Figur 3.12: Indeks over dyrkingspotensial for sukkertare i Møre og Romsdal, innenfor grunnlinjen, der konflikt-områder som farledareal og fiskerisoner *ikke* er tatt med i beregningen. Dette er altså en rangering av velegnetheten for de områdene som er tilgjengelige når konfliktarealer er tatt bort. Til høyre: de brune feltene angir de 25 % beste områdene basert på indeksen til venstre (øvre kvartil).

- Tjeldbergodden biopark på Tjeldbergodden (Aure). Spillvarme til produksjon av kimplanter til utsett i sjø.
- Nyhamna prosessanlegg på Aukra. Spillvarme til tørking og prosessering av biomasse.
- Tafjord fjernvarme/forbrenningsanlegg i Spjelkavik. Spillvarme til tørking og prosessering av biomasse.

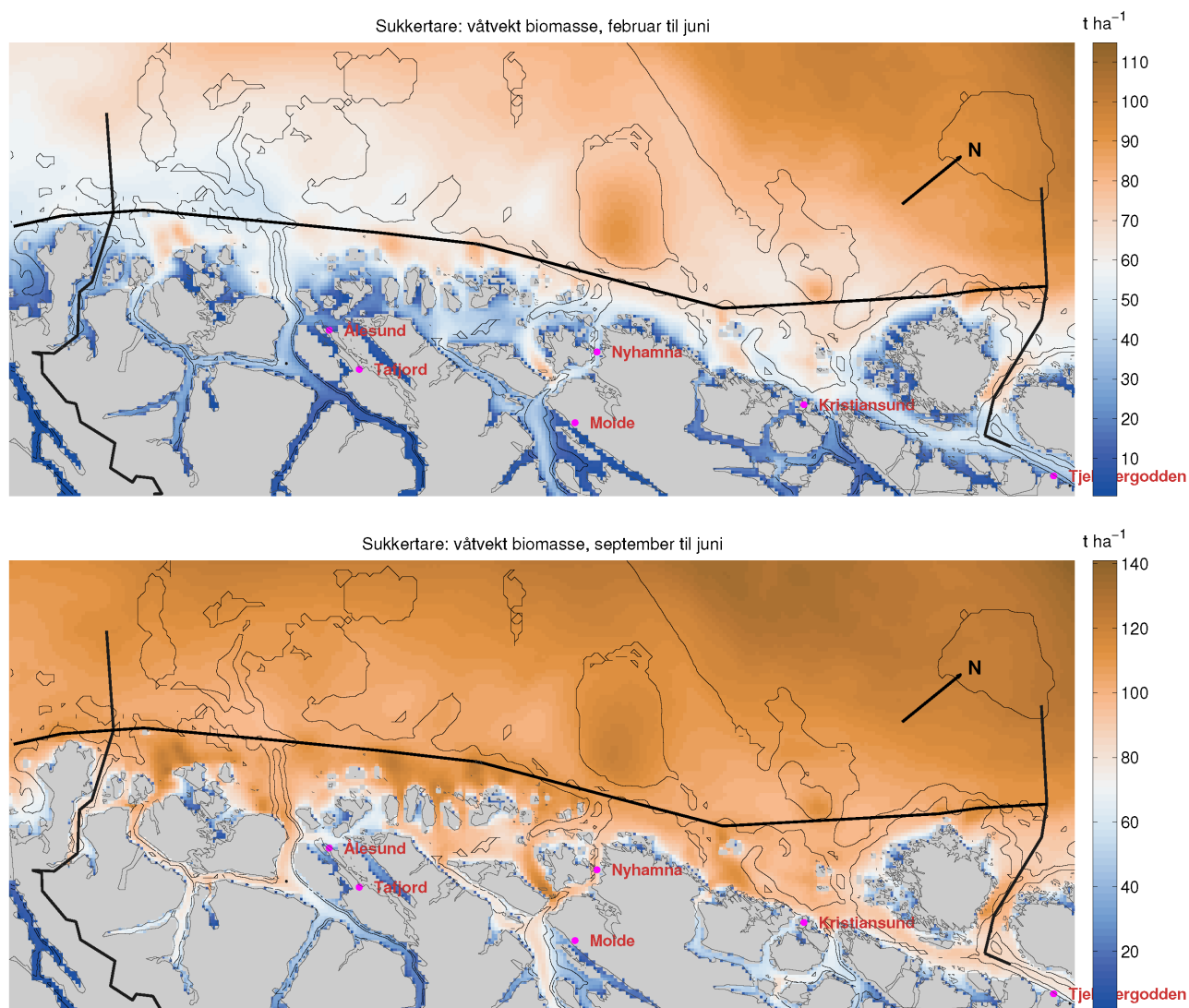
Se figur 3.2. Disse industrianleggene er plassert slik at avstanden til de beste dyrkingsområdene er reeltivt kort.

Resultatene i avsnitt 3.3 peker mot at dyrkingspotensialet for sukkertare er aller best utenfor kontinental-sokkelen. Her har Møre og Romsdal en geografisk fordel i forhold til de andre fylkene i Sør-Norge med et stort sokkelareal (rundt 17 000 km<sup>2</sup>), men likevel med en relativt kort avstand fra land til sokkelkanten. Kun i Vesterålen-området er avstanden til sokkelkanten kortere. Her er imidlertid bunndypet utenfor sokkelen svært stort (2000 - 3000 m).

### **3.7 Potensialet for storskala makroalgedyrking i Møre og Romsdal**

*Merk at arealene som brukes her er basert på dybdefeltet som er brukt i havmodellen SINMOD og at disse grunnet modellopløsningen kan avvike noe fra offisielle tall, som for eksempel hos Kartverket.*

Tabell 3.2 oppsummerer hovedresultatene for dyrkingspotensialet for makroalger i Møre og Romsdal. Potensialet er gjennomgående større jo lenger ut fra kysten man kommer. Som diskutert tidligere henger dette sammen med de fysiske og biogeokjemiske betingelsene. Tarevekstmodellen, som ligger til grunn for alle tallene og nesten alle figurene, kan være mer sensitiv til enkelte variable enn tareplanter vil være i virkeligheten.

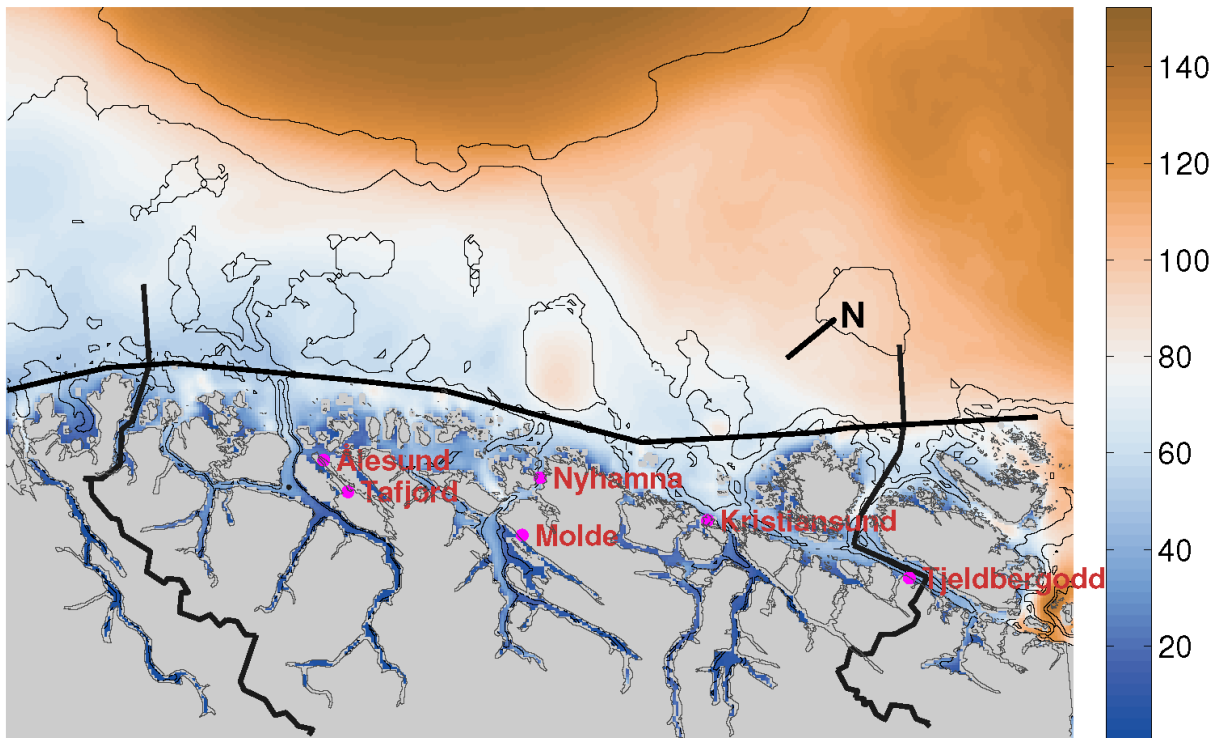


Figur 3.13: Dyrkingspotensialet for sukkertare i kystsonen og på sokkelen til Møre og Romsdal. Fargene angir tonn våtvekt per hektar ved dyrking fra februar til juni (øvest) og september til juni (nederst). Tallene er basert på simuleringene med modellsystemet SINMOD som beskrevet i kapittel 2. Det er gjennomsnittet for de tre sesongene 2012–2013, 2013–2014 og 2014–2015 som er fremstilt. Legg merke til at fargeskaleringen er ulik i de to plansjene. De tynne, svarte kurvene er 100, 200 og 500 meters dybdekonturer.



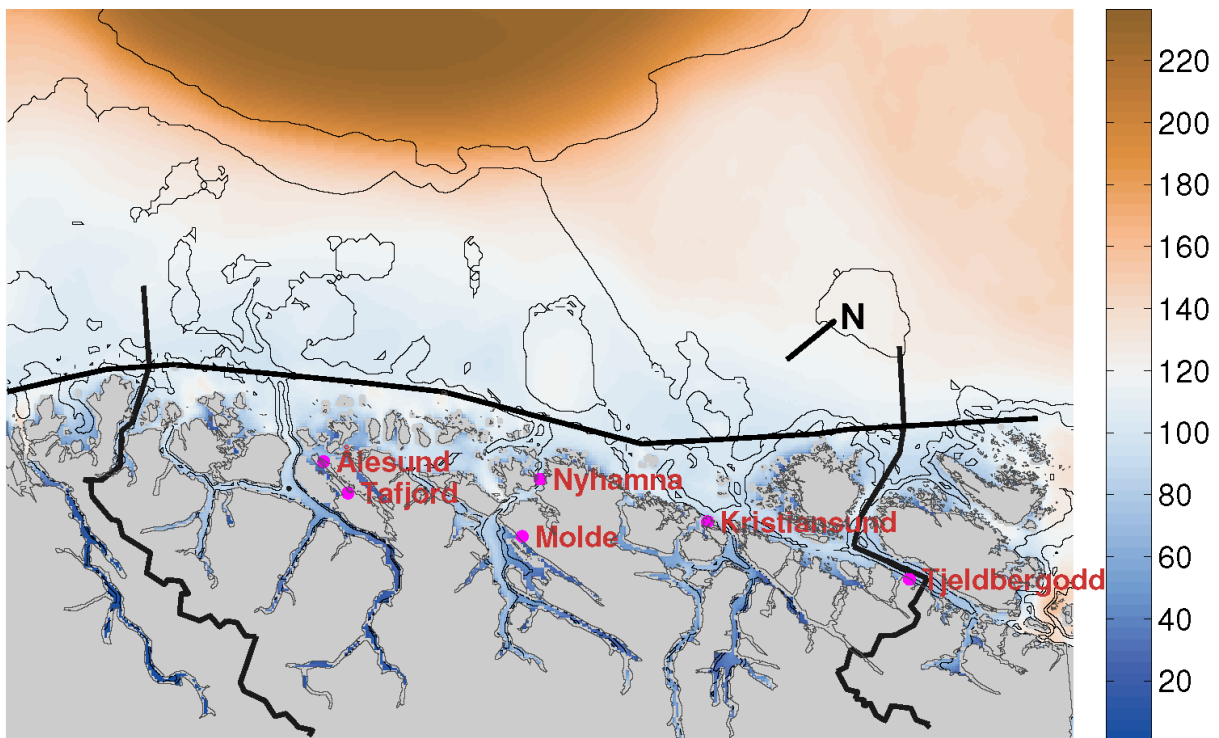
Sukkertare: våtvekt biomasse, februar til juni

t ha<sup>-1</sup>



Sukkertare: våtvekt biomasse, september til juni

t ha<sup>-1</sup>



Figur 3.14: Dyrkingspotensialet for sukkertare Møre og Romsdal, inkludert området utenfor kontinentalsokkelen (den øverste tynne, svarte kurven). Fargene angir tonn våtvekt per hektar ved dyrking fra februar til juni (øvest) og september til juni (nederst). Se for øvrig figur 3.13.

Tabell 3.2: Oppsummering av hovedresultatene fra avsnitt 3.7. Tallene angir gjennomsnittlig potensial innen hvert delområde og over de tre sesongene 2012–2013, 2013–2014 og 2014–2015. Intervallene antyder potensial ved dyrking fra februar til juni (den laveste verdien) og fra september til juni (den høyeste verdien). Fosforverdiene er ikke simulert dynamisk i vekstmodellen, men er regnet om fra nitrogeninnholdet via et antatt N:P-forhold (altså forhold mellom nitrogen og fosfor i tarevevet) på 11 [57]. Merk at sjøarealene (bortsett fra totalt areal innenfor grunnlinjen) er beregnet ut fra dybdematriksen til den hydrodynamiske modellen med 800 m horisontal oppløsning. Mindre bukter, sund og de smaleste fjordene er ikke tatt med, slik at spesielt arealet innenfor grunnlinjen er betydelig mindre enn det reelle arealet oppgitt hos Kartverket.

Havområde i Møre og Romsdal fylke	Totalt tilgjengelig areal (km <sup>2</sup> )	Potensial for tare dyrking (t ha <sup>-1</sup> )	Tørrstoffinnhold (%)	Karbonopptak (t ha <sup>-1</sup> )	Nitrogenopptak (t ha <sup>-1</sup> )	Fosforopptak (kg ha <sup>-1</sup> )	CO <sub>2</sub> -opptak (t ha <sup>-1</sup> )
Innenfor grunnlinje	6271	35–74	15–16	1,8–4,2	0,07–0,15	6,4–13,6	6,7–15,3
Innenfor grunnlinje, minus konfliktareal	ca. 990	38–73	15–16	1,9–4,1	0,08–0,15	7,2–13,9	7,0–15,1
Sokkel utenfor g.l.	ca. 17 600	86–126	14–15	3,9–6,3	0,18–0,27	16,4–24,5	14,2–23,1
Sokkel utenfor g.l., minus konfliktareal	ca. 17 150	86–127	14–15	3,9–6,3	0,18–0,27	16,4–24,5	14,3–23,2
Hav utenfor sokkel	> 20 000	144–219	12–13	5,4–9,2	0,36–0,55	32,7–50	19,7–33,7

I den øverste delen av figur 3.12 kan det se ut som om det er svært små arealer tilgjengelige innenfor grunnlinjen i Møre og Romsdal etter at farled, fiskerisoner (passive og aktive redskap) og høstesoner for storetare er tatt bort. Dette er bare delvis riktig ettersom det gjestående arealet er på nesten 1000 km<sup>2</sup> og rommer de fleste av lakseoppdrettsanleggene i fylket. Dersom hele arealet ble brukt til taredyrking og det maksimale potensialet var samtidig realiserbart i hele området, ville man i følge tabell 3.2 kunne dyrke mellom 3,5 og 7 millioner tonn tare der årlig.

Dyrkingspotensialet øker stort sett med *bunndypet*, selv om utbyttet i de dype fjordene ikke følger denne trenden. Ser vi på dyrking fra februar til juni og midler over de tre årene 2013–2015, får vi dyrkingspotensialer på 34 t ha<sup>-1</sup> for bunndyp mindre enn 50 m, 54 t ha<sup>-1</sup> for bunndyp fra 50–100 m og 68 t ha<sup>-1</sup> for bunndyp over 200 m. Alle tallene er tonn våtvekt. Se for øvrig figurene B.6–B.8 i tillegg B.

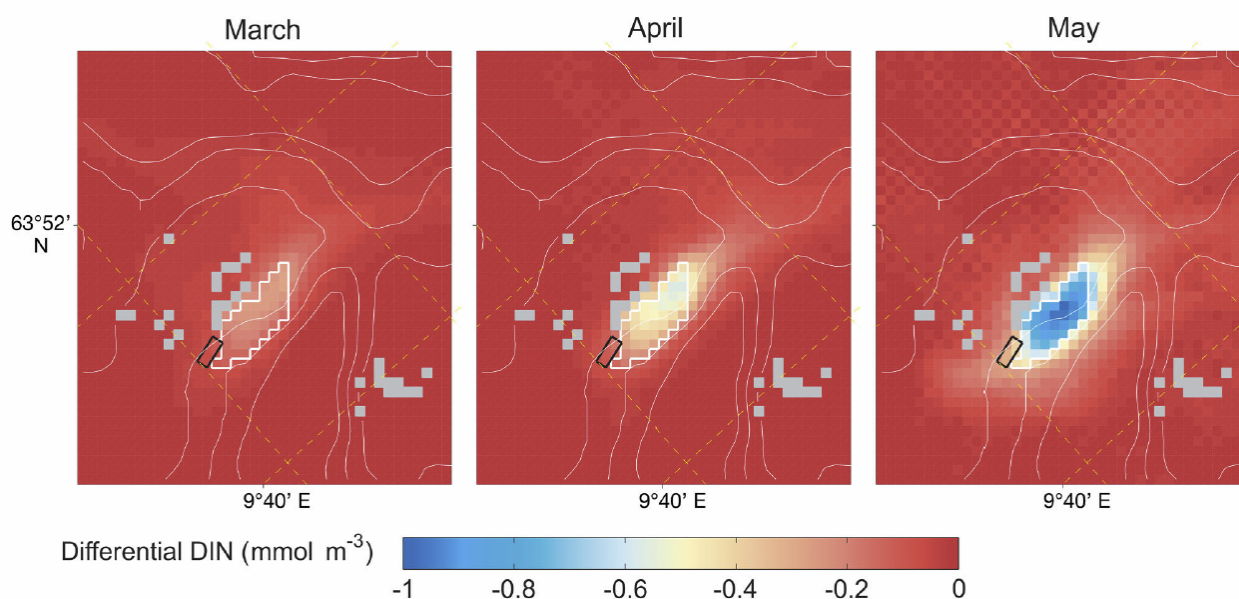
Resultatene for produksjonspotensial i denne rapporten må betraktes som overslag. Hovedhensikten har vært å sammenligne potensialet i ulike områder av Møre og Romsdal under ellers like betingelser. Som nevnt vil valg av dyrkingsmetode og grad av erfaring spille inn i praksis. Man kan ikke anslå det totale dyrkingspotensialet i et større område ved å multiplisere det gjennomsnittlige produksjonspotensialet med det tilgjengelige arealet. Grunnen til dette er at algene tar opp næringssalt når de vokser, og dermed vil den totale mengden tilgjengelig næringssalt i et område reduseres. Dermed reduseres vekstpotensialet. Et eksempel på dette er vist i figur 3.15 (tatt fra [12]). Figuren viser nedgangen i total konsentrasjon av oppløst nitrogen ved taredyrking i forhold til en situasjon uten dyrking. Dette er gjennomsnittstall for mars, april og mai. Den gjennomsnittlige nedgangen er størst midt inne i anlegget. Dette skyldes at vannet som når plantene i midten av anlegget først må strømme gjennom de ytre delene av anlegget, der andre planter tar opp næringssalt på veien. Figurene er basert på resultater fra en simulering som tok hensyn til opptak av næringssalt og interaksjoner mellom tare, næringssalt og planteplankton. Vi ser også hvordan situasjonen endrer seg betydelig fra mars til mai. Dette skyldes at biomassen i mai er større og at kulturen tar opp mer næringssalt enn i mars og april. Samtidig tømmes overflatelaget for næringssalt grunnet den naturlige, årlige planktonalgeoppblomstringen.

På grunn av dette må *bærekraften* for taredyrking i et område også undersøkes: Hvor stor makroalgebiomasse kan man dyrke, og hvor tett, uten at det påvirker den naturlige primærproduksjonen hos planteplankton negativt? For tarekulturers del tyder modellsimuleringene i [12] på at et dyrkingsanlegg kan være ganske stort (opp mot 100 ha) uten at det fører til betydelig reduksjon av produksjonen midt inne i anlegget. Naturlige bestander av stortare må også nødvendigvis ta opp betydelige mengder nitrogen [45]. Videre må man se produksjonspotensial og miljøeffekter i sammenheng med tilgjengelig areal og logistikk. På kontinentalsokkelen er det store arealer tilgjengelig, og ved å redusere intensiteten (produksjonen per arealenhet) og øke produksjonsarealet kan samme biomasse oppnås med lavere lokalt press på miljøet.

Dyrking i åpent hav utenfor kysten er først og fremst en teknisk utfordring og ingen biologisk begrensning. Det har tidligere vært testet teknologi for dyrking av sukkertare i Nordsjøen [14], og plantene tålte belastninger i høy sjø og sterke strømmen [15]. Fordi sukkertare og mange andre makroalger til en viss grad tilpasser seg det fysiske vekstmiljøet ([32], morfologisk tilpasning), er det en fordel å sette plantene tidlig ut i sjøen slik at de kan tilpasse seg fra et tidlig stadium [15]. Større planter som forflyttes fra et beskyttet til et mer eksponert miljø vil ha en tendens til å knekke eller å miste festet helt [28]. Hvor tett plantene vokser kan også ha betydning [15]. Dersom plantene vokser for tett, vil de kunne gnisse mot hverandre, miste vev eller miste festet. Det er derfor viktig at dyrking av sukkertare på den norske kontinentalsokkelen utprøves i praksis. En teknisk utfordring vil være forankring og utforming av anlegget. Utsett og innhøsting i et krevende miljø kan også innebære utfordringer. Kompetanse fra offshore- og subseaindustrien er verdifull i denne sammenhengen (se avsnitt 4.3).

### 3.7.1 Eksempler på dyrkingsområder og -anlegg

Tallene i tabell 3.2 representerer gjennomsnitt over hele reioner og over tre årssykluser. Mellomårlige og romlige variasjoner kommer derfor ikke frem (men se figur B.1. I tabellene 3.3–3.6 er det samlet tall fra simulerte produksjonsdata for fire fiktive anlegg der modellresultatene antyder at det er gode dyrkingsforhold. Tre er lagt innenfor grunnlinjen i de “brune” sonene i figur 3.12. Det fjerde området er lagt til Budagrunnen innenfor det brune området i figur 3.7. Tall for våtvekt biomasse, tørrvekt biomasse, totalt nitrogen og totalt karbon er tatt



Figur 3.15: Differanse i simulert konsentrasjon av oppløst uorganisk nitrogen mellom et modellscenario med og et modellscenario uten tarekultur. Differansen er størst i områdene med blå farge. Tareanlegget var antatt å dekke 100 ha (= 1 km<sup>2</sup>) med samme plantetetthet som er brukt i biomasseestimatene i denne rapporten (delavsnitt 2.4.3). Den hvite kurven antyder konturen av taredyrkingsanlegget. Figuren er hentet fra [13].

med. Tall for avstand fra anleggene til Tjeldbergodden og industrianleggene til Tafjord i Spjelkavik og industri-parken i Nyhamna er tatt med for å antyde muligheter og utfordringer knyttet til transport. Anleggene er plassert inn i Fiskeridirektoratets kartverktøy i figur 3.16 for å gi et inntrykk av deres utbredelse. Tallene i tabellene er oppgitt som tonn per hektar. Anlegget på Budagrunden er på rundt 600 ha (tilsvarer 6 km<sup>2</sup>), og ville potensielt ha kunnet produsere 66–75 600 tonn tare fra september til juni (tabell 3.6).

### 3.7.2 Sammenligning av ulike estimater for dyrkingspotensial

Det er ingen som vet nøyaktig hvor mye det kan dyrkes av tare eller andre makroalger per enhet sjøareal i Norge. En rekke estimater har vært gitt, og vi presenterer noen av dem i tabell 3.7. De fleste estimatene er basert på oppskalering av dyrkingsforsøk i liten skala. Biomasseestimatene spriker svært, antagelig på grunn av svært varierende dyrkingsforhold og -teknikker. Noen av de mest interessante tallene kommer fra dyrking i Kina, der det dyrkes flere hundre tusen tonn på relativt lite sjøareal [62]. Det er verdt å merke seg at produksjonstallene i tabell 3.7 spenner over omtrent det samme intervallet som estimatene for produksjonspotensial i denne rapporten.

### 3.7.3 Potensialet i andre deler av landet

Makroalger vokser naturlig langs hele norskekysten, og betingelsene for dyrking er prinsipielt til stede stort sett over alt. Imidlertid har bestanden av for eksempel sukkertare gått kraftig tilbake langs kysten av Sør-Norge [36, 5, 9]. Dette er antagelig forårsaket av et samspill mellom flere faktorer som temperaturøkning, formørkning av vannmassene og begroing. Økende vanntemperaturer kan gjøre det problematisk å dyrke arter som sukkertare, fingertare og butare. Vanntemperaturene er høyest i august–september. Høye vanntemperaturer kan derfor være en trussel for rekruttering i naturlige bestander, men vil antagelig ikke utgjøre noe stort problem for dyrking på sokkelen i Midt-Norge dersom man forutsetter høsting tidlig om sommeren. Plantene må eventuelt settes ut i oktober og ikke september (figur 3.10).



Figur 3.16: Figuren viser plassering og utstrekning av hypotetiske anlegg plassert i de “brune” sonene i figur 3.7 og 3.12. Figurene er tegnet i Fiskeridirektoratets kartverktøy ([www.fiskeridir.no](http://www.fiskeridir.no)). Øverst fra venstre med klokken: anlegg på 50 ha tegnet inn utenfor Mulaen på Hernesøya; anlegg på 90 ha tegnet inn i Grunnefjorden sørvest av Aukra; anlegg på 600 ha tegnet inn på Budagrunden utenfor Hustadvika; anlegg på 90 ha tegnet inn ved Midtjordsfallet utenfor Kristiansund. Posisjonene og simulerte produksjonstall fra disse anleggene finnes i tabellene 3.3 til 3.6. Anleggene er tegnet inn i figur 3.2.

Tabell 3.3: Simulerte produksjonsdata for et tare dyrkingsanlegg plassert utenfor Hernesøya.

<b>Anlegg</b>	Nerlandsøya	<b>Posisjon</b>			62,37°N 5,50° E
<b>Avstand til (km)</b>					
Tjeldbergodden	213				
Spjelkavik	42				
Nyhamna	108				
<b>Dyrkingssesong</b>		2012–2013	2013–2014	2014–2015	
<b>Biomasse (t ha<sup>-1</sup>)</b>					
<b>September-april</b>	Våtvekt:	45	45	42	
	Tørrvekt:	4,6	4,3	4,0	
	Nitrogen:	0,11	0,11	0,11	
	Karbon:	1,22	1,08	1,0	
<b>September-juni</b>	Våtvekt:	113	108	122	
	Tørrvekt:	17,5	16,7	18,2	
	Nitrogen:	0,26	0,22	0,27	
	Karbon:	6,0	5,7	6,15	
<b>Februar-juni</b>	Våtvekt:	60	51	90	
	Tørrvekt:	8,3	7,9	13,3	
	Nitrogen:	0,13	0,10	0,20	
	Karbon:	2,69	2,73	4,45	

Tabell 3.4: Simulerte produksjonsdata for et tare dyrkingsanlegg plassert på sørvestsiden av Aukra.

<b>Anlegg</b>	Aukra	<b>Posisjon</b>			62,77°N 6,80° E
<b>Avstand til (km)</b>					
Tjeldbergodden	132				
Spjelkavik	70				
Nyhamna	15				
<b>Dyrkingssesong</b>		2012–2013	2013–2014	2014–2015	
<b>Biomasse (t ha<sup>-1</sup>)</b>					
<b>September-april</b>	Våtvekt:	46	44	35	
	Tørrvekt:	4,7	4,3	3,4	
	Nitrogen:	0,12	0,11	0,09	
	Karbon:	1,21	1,11	0,9	
<b>September-juni</b>	Våtvekt:	129	118	92	
	Tørrvekt:	18,3	17,5	14,2	
	Nitrogen:	0,30	0,25	0,21	
	Karbon:	6,0	5,	4,9	
<b>Februar-juni</b>	Våtvekt:	84	69	57	
	Tørrvekt:	10,7	10,1	8,2	
	Nitrogen:	0,19	0,14	0,12	
	Karbon:	3,32	3,4	2,7	

Tabell 3.5: Simulerte produksjonsdata for et tare dyrkingsanlegg plassert ved Midtfjordsfallet utenfor Kristiansund.

<b>Anlegg</b>	Midtfjordsfallet			<b>Posisjon</b>	63,14°N 7,56° E
<b>Avstand til (km)</b>					
Tjeldbergodden	68				
Spjelkavik	123				
Nyhamna	56				
<b>Dyrkingssesong</b>		2012–2013	2013–2014		2014–2015
<b>Biomasse (t ha<sup>-1</sup>)</b>					
<b>September-april</b>	Våtvekt:	102	86		102
	Tørrvekt:	16,2	14,2		15,8
	Nitrogen:	0,21	0,17		0,23
	Karbon:	5,7	5,0		5,4
<b>September-juni</b>	Våtvekt:	129	118		92
	Tørrvekt:	18,3	17,5		14,2
	Nitrogen:	0,30	0,25		0,21
	Karbon:	6,0	5,		4,9
<b>Februar-juni</b>	Våtvekt:	63	45		80
	Tørrvekt:	9,4	7,76		12,0
	Nitrogen:	0,13	0,094		0,18
	Karbon:	3,2	2,8		4,0

Tabell 3.6: Simulerte produksjonsdata for et tare dyrkingsanlegg plassert på Budagrunnen utenfor Nyhamna.

<b>Anlegg</b>	Budagrunnen			<b>Posisjon</b>	63,04°N 6,67° E
<b>Avstand til (km)</b>					
Tjeldbergodden	120				
Spjelkavik	93				
Nyhamna	30				
<b>Dyrkingssesong</b>		2012–2013	2013–2014		2014–2015
<b>Biomasse (t ha<sup>-1</sup>)</b>					
<b>September-april</b>	Våtvekt:	47	42		36
	Tørrvekt:	4,6	3,9		3,3
	Nitrogen:	0,12	0,11		0,09
	Karbon:	1,2	0,9		0,8
<b>September-juni</b>	Våtvekt:	126	111		122
	Tørrvekt:	18,9	17,1		17,4
	Nitrogen:	0,29	0,23		0,29
	Karbon:	6,9	5,9		5,7
<b>Februar-juni</b>	Våtvekt:	89	81		117
	Tørrvekt:	12,2	12,6		16,4
	Nitrogen:	0,20	0,16		0,28
	Karbon:	4,0	4,4		5,3

Tabell 3.7: Estimert dyrkingspotensial for noen makroalger. Alle tallene er oppgitt som tonn våtvekt per hektar, og er eventuelt regnet om til denne enheten fra de oppgitte referansene.

Art	Biomasse	Referanser, kommentarer
<i>Saccharina japonica</i>	32	[62]; gjennomsnittlig for Sanggou-bukten i Kina; omregnet fra tørrvekt biomasse med antatt tørrstoffinnhold på 15 % (vår antagelse)
<i>Saccharina latissima</i>	220	[48], oppskalering basert på småskala forsøk
<i>Palmaria palmata</i>	180	[48], oppskalering basert på småskala forsøk
<i>Saccharina latissima</i>	22,5–27,6	[41], oppskalering fra dyrking på mindre areal
<i>Saccharina latissima</i> , tare	200	[35], oppskalering
<i>Laminaria hyperborea</i>	90–270	[3] sitert og omregnet i [45] til en årlig biomasseproduksjon på 9–27 kgm <sup>-2</sup> . Fra Møre og Romsdal.
<i>Saccharina latissima</i>	95	[43], omregnet fra dyrket biomasse på 19,95 tonn per 0,21 hektar.
<i>Alaria esculenta</i>	63	[43], omregnet fra dyrket biomasse på 13,3 tonn per 0,21 hektar.
<i>Saccharina latissima</i>	32–220	Gjennomsnittsverdier fra denne rapporten.

Generelt finnes det produktive områder langs hele norskekysten, og det vil være gode forhold for taredyrking disse stedene. Som nevnt ovenfor er det utenfor grunnlinjen at dyrkingsforholdene ser ut til å være best. Dette skyldes til dels innstrømming av næringsrikt atlantisk vann med stabil temperatur over sokkelen. Møre og Romsdal er det fylket i Sør-Norge der avstanden fra land til sokkelskråningen er kortest, og dermed reduseres transportavstanden for kimplanter ut og høstet biomasse inn betydelig. Dette gir Møre og Romsdal en geografisk fordel sammenlignet med andre deler av landet. Bare i Vesterålen er avstanden til sokkelskråningen kortere.

#### 4 Behov for FoU og utdanning samt kunnskapsoverføring fra andre marine næringer (marin, olje og gass) for å utvikle industriell taredyrking i Møre og Romsdal

Det finnes dyrkingsmetoder for de mest aktuelle makroalgeartene som sukkertare, butare, fingertare, havsalat, søl og fjærehinne, men de er ennå ikke optimale for norske forhold. Produksjonen er for uforutsigbar og kostbar, og det er behov for forskning både for å utvikle kunnskapsgrunnlaget og for å heve teknologi-nivået. På oppdrag fra Innovasjon Norge forbedres og utvikles ny teknologi og muligheter for kommersialisering av disse artene utredet. En utredning fra 2014 [52] oppsummerte følgende forskningstemaer som viktige for en god ny marin industri basert på dyrking av makroalger:

- Protokoller for dyrking av et lite utvalg arter for norske forhold
- Dyrkingsteknologi for industriell produksjon i sjø
- Kartlegging av miljøinteraksjoner (positive og negative)
- Prosessteknologi for helhetlig utnyttelse av råstoffet i bioraffineri
- Nye volum- og høyverdi produkter for kommersialisering

Nedenfor blir FoU-behov innen biologi (avsnitt 4.1) og teknologi (avsnitt 4.2) diskutert, mens behov og muligheter for utdanning og kompetanseoverføring fra andre marine næringer drøftes i avsnitt 4.3, mens produkter er behandlet i seksjon 5 (bruksområder).





Figur 4.1: Verdikjeden i produksjon og anvendelse av biomasse fra dyrkede makroalger.

#### 4.1 FoU-behov innen biologi og miljø

God kunnskap om artenes biologi og metoder for dyrking på land (kimplantefase) og i sjø (biomasseproduksjon) er avgjørende for å oppnå god kvalitet og forutsigbare mengder til ønsket tid på året. Se avsnitt 3.1. Mye kunnskap har blitt overført fra andre land, men det jobbes også med å utvikle metoder som er bedre tilpasse våre forhold og stedege arter, samt med å effektivisere dyrkingen og oppskalere den til industriell skala på artenes premisser.

Som ved all akvakultur er ren artskunnskap også nødvendig innen makroalgedyrking, men forståelse for økologi og samspill med miljøbetingelsene er påkrevd i enda større grad enn ved oppdrett av fisk. Ved dyrking av tang og tare tilfører man ikke fôr, men utnytter naturens premisser på en annen måte enn ved lakseoppdrett der valg av lokalitet styres særlig av krav til god vannutskifting. Ved tare dyrking er man derfor i mye større grad avhengig av lokalitetens faktiske egenskaper for god biomasseproduksjon. Kunnskap om hvordan vi både kan utnytte naturgitte fortrinn og samtidig spille på lag med naturen for å dyrke vekster uten at det fører til varige endringer i økosystemet er derfor svært viktig.

Økologikunnskap er også nødvendig for å forebygge negative effekter av makroalgedyrking på det marine miljøet. Slik som landbruk og fiskeoppdrett setter fotavtrykk vil også dyrking av makroalger kunne påvirke miljøet av ulik grad og varighet, men foreløpig har man ikke god nok kunnskap om potensielt negative og positive effekter av tare dyrking. For å unngå negative effekter er det antatt at følgende faktorer er viktige:

1. Lokalitetsvalg - plassering av sjøanlegg på lokaliteter med tilstrekkelig dybde og strøm til å redusere risiko for at nedfall av planter og plantedeler danner tykke bunnsedimenter.
2. Dyrkingsstrategi - at tid for utsett og innhøsting av biomasse tilpasses livssyklus og årstid for å redusere risiko for at sporer eller kjønnsmodne planter/plantedeler spres i omgivelsene.

Det er også viktig å bygge opp kunnskap om de positive miljøeffektene av makroalgedyrking, slik at man kan utvikle og utnytte dyrkingskonsepter optimalt. Ett eksempel er integrert multi-trofisk akvakultur (IMTA); se delavsnitt 3.4.2. Et annet er funksjonen av tareanlegg som “kunstig rev” og oppholdssted for fiskeyngel av for eksempel rognkjeks, som er viktig som renseskilt for lakseoppdrett.

#### 4.2 FoU-behov innen teknologi

Anleggene som brukes for dyrking av makroalger blir i dag bygd opp av den enkelte bedriften ved hjelp av komponenter som kjøpes fra ulike leverandører. Det kreves utstyr både for dyrkingsfase på land og i sjø, samt for innhøsting, stabilisering (konservering) og pakking. Videre kreves prosesseringsanlegg som gir mulighet for utnyttelse av hele råstoffet til produksjon av ulike produkter. Innen både dyrkingsteknologi, høsting og prosessering er det behov for forskning og utvikling, og det pågår nå flere forskningsprosjekter på disse områdene for å skaffe den nødvendige kunnskapen for å utvikle praktiske anlegg og effektive løsninger for å redusere dyrkingskostnadene. Kunnskaps- og teknologioverføring fra maritim, olje og gass-næringene, samt den eksisterende akvakulturnæringen, til makroalgedyrking vil være mulig innen flere områder, der et også bør legges vekt på utvikling av ny teknologi:

- Hydrodynamikk, konstruksjon og installering av anlegg i strøm- og bølgeeksponerte havområder
- Drift og overvåkning av installasjoner i havet

- Transport av store volumer til sjøs
- Utvikling av høstefartøy
- Prosessering ombord i fartøy
- Raffinering
- Logistikk

Alle disse områdene er kritiske for kostnadseffektiv tare dyrking og -prosessering. Spesielt blir logistikk fremhevet som et viktig tema for fremtidig utvikling innen havbruk i rapporten “Havteknologi” [27]. De pågående forskningsprosjektene MACROSEA og PROMAC (begge finansiert av Norges Forskningsråd) dreier seg om henholdsvis dyrking og prosessering av makroalgebiomasse. SINTEF Fiskeri og havbruk leder et Senter for Forskningsdrevet Innovasjon, EXPOSED, med fokus på oppdrett på eksponerte lokaliteter.

### 4.3 Utdanning og kompetanseoverføring

Det finnes noe kompetanse på dyrking av makroalger i Norge, men den besittes hovedsakelig av forskningsmiljøene. Ved NTNU utdannes det nå jevnlig masterstudenter innen dyrking og anvendelse av tang og tare, og slike kandidater vil kunne utføre undervisning på for eksempel akvakulturlinjer ved videregående skoler og høyskoler. Studentene får praktisk erfaring ved å delta i prosjekter ved SINTEF og NTNU. Flere kandidater fra NTNU og UiO jobber i selskaper som driver kommersiell dyrking av makroalger, for eksempel Seaweed Energy Solutions. Val Videregående Skole i Nord-Trøndelag har makroalgedyrking som eget fag og nettbasert kurs, mens flere videregående skoler har matfag der makroalger benyttes i matlagingen.

Det antas at det kan bli konkurranse med de andre marine (maritim, olje, gass) utdanningene og næringene om flinke studenter og høyt utdannede fagfolk, da tareindustrien foreløpig er helt ny og sannsynligvis både temmelig ukjent og forbundet med stor usikkerhet blant unge. På den andre siden er den nye makroalgeindustrien et godt eksempel på “blå bioøkonomi” og vil kunne spille en sentral rolle i “det grønne skifter”. Dette er positive begreper som bør brukes for å understreke at det er attraktivt å jobbe i denne nye marine næringen og for å motivere ungdom til å søke seg dit.

Når det gjelder konkret utdanning rettet mot videregående skole og tekniske fagskoler, må man se på hvilke arbeidsoppgaver kandidatene er tiltenkt. Det er behov for mange av de samme arbeidsoppgavene innen tareindustrien (transport (arbeidsfartøy), ankre opp, vedlikehold) som i lakseindustrien, og tillegg kommer en rekke mer spesialiserte oppgaver som vil være av betydning, for eksempel utsåing og innhøsting som i utgangspunktet fordrer spesialkompetanse eller spesialiserte utdanningsløp. Det vil kunne være behov for kandidater med interesser både i praktisk og teoretisk retning. I den fasen industrien er i i dag, ser man for seg kandidater med allsidige interesser da inntjeningsgrunnlaget virker for lite til å ha et stort antall spesialiserte ansatte. Det vil i tillegg til kandidater fra videregående skole og høyskoler (lavere grad) også være behov for spesialister med utdanning på master- og doktorgradsnivå.

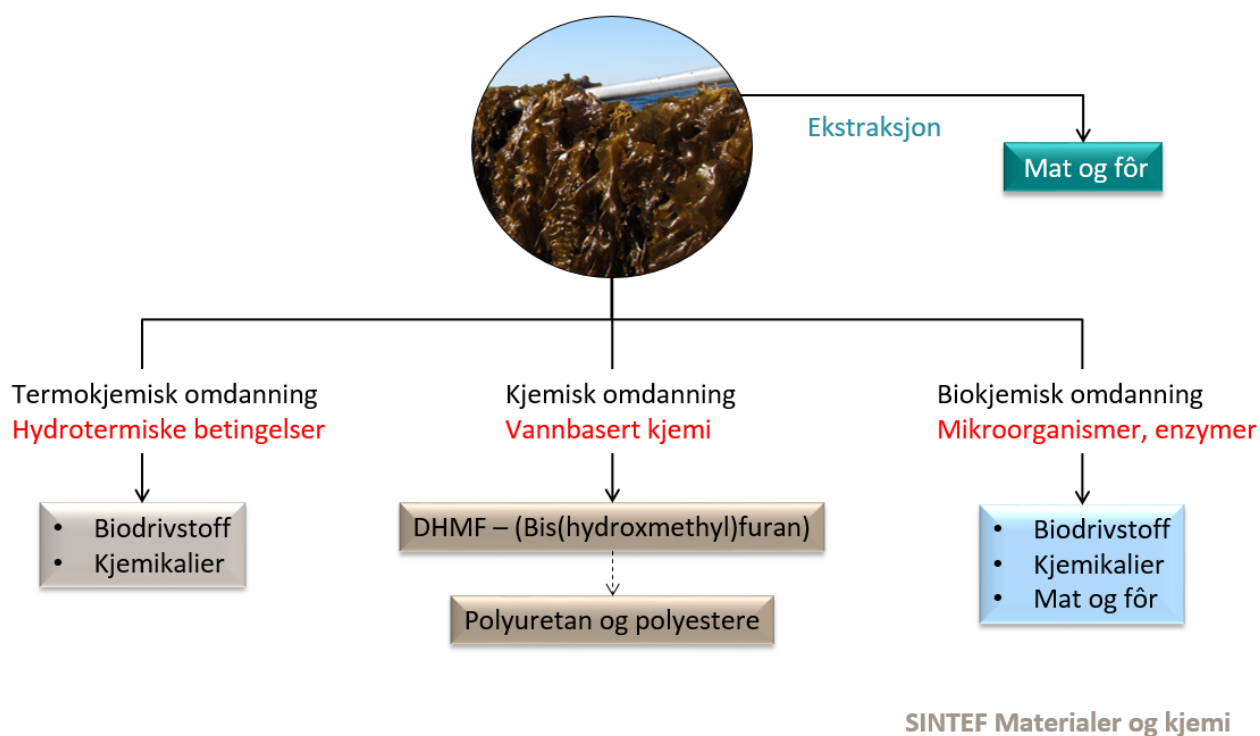
Tabell 4.1 tar for seg muligheter og behov for utdanning av personell og kompetanse- og teknologioverføring fra olje- og gassindustrien og andre marine næringer innen konkrete oppgaver/aktiviteter innen makroalgeindustrien. Det finnes en rekke detaljer om potensial og behov for kompetanseoverføring mellom ulike marine næringer i rapporten “Havteknologi” [27]. Flere av aktivitetene i tabell 4.1 er også tatt derfra eller inspirert av den rapporten. Dette er ingen uttømmende liste, og flere av oppføringene må betraktes mer som grupper av oppgaver snarere enn enkeltaktiviteter.

## 5 Bruksområder for industrielt dyrket biomasse fra makroalger

Det finnes mange bruksområder for dyrket tare og etterspørselen er økende. Den enkleste formen for anvendelse er brukt fersk som mat eller i matretter, enten for salg i butikker, eller til hotell- og restaurantmarkedet. Ved høsting av store mengder dyrkede makroalger kreves lagring før bruk, og tørking, frysing eller ensilering er

Tabell 4.1: Oversikt over verdikjeden for makroalgedyrking og noen sentrale arbeidsoppgaver og aktiviteter. Under “utdanning” indikeres et behov og muligheter for personell med utdanning fra videregående skole (VGS) eller høgskole opp til lavere grad (bachelor). I kolonnen “kompetanseoverføring” markeres (“X”) de områdene der overføring fra olje-, gass- og subseaindustriene vil være relevant og/eller nødvendig. Se for øvrig [27] for en detaljert utredning om potensialet for kompetanse- og teknologioverføring mellom ulike marine næringer.

Ledd i verdikjeden	Aktivitet	Utdanning	Kompetanseoverføring
Planlegging	Utarbeide konsesjonssøknader	Bachelor	
	Finne egnede lokaliteter		
	Etablering og oppankring av anlegg	VGS, bachelor	X
Kimplanteproduksjon	Vedlikehold av kulturer	Bachelor	
	Produksjon av materiale for utsett	Bachelor	
Dyrking i sjø	Utsett av planter i anlegg	Bachelor	
	Røkting	VGS, bachelor	
	Drift og overvåkning av installasjoner	VGS, bachelor	X
	Operasjoner i krevende miljø	Bachelor	X
Høsting	Høsting	VGS, bachelor	X
	Operasjoner i krevende miljø		X
	Transport av store volumer til sjøs		X
	Logistikk	Bachelor	X
Forbehandling og lagring		VGS, bachelor	
Prosessering		VGS, bachelor	X
Distribusjon	Distribusjon til industrielle formål	VGS, bachelor	X
	Distribusjon til konsum (dagligvare, hotell, restaurant)		
Marked	Kontakt dyrking-videreforedling	VGS, bachelor	
	Kontakt mot forbrukere	VGS, bachelor	
	Kontakt mot dagligvare, hotell, restaurant	VGS, bachelor	
	Administrasjon og ledelse	Bachelor	



Figur 5.1: Bruksområder for biomasse fra dyrkede makroalger og noen viktige prosessledd.

de mest relevante konserveringsmetodene. Salting, marinering og formalinbehandling er metoder som også benyttes. Konservering muliggjør salg av biomasse til prosessindustrien og større kundegrupper i utlandet, samt nettsalg.

Konservert biomasse åpner for bruk i prosessering til bulkprodukter som fôrprotein, plantegjødsel og drivstoff, samt for ekstraksjon av biologisk aktive forbindelser. Sammensetningen av biomassen varierer gjennom året (tabell 5.1), men selv om innholdet av enkelte attraktive forbindelser er høyest om høsten er det mest relevant å ta utgangspunkt i hva makroalgene inneholder om våren/tidlig sommer, da det så langt har vist seg vanskelig å dyrke tare utover sommeren og høsten på grunn av begroingsorganismer (se delavsnitt 2.2.2). Mai-juni er det mest aktuelle høstetidspunktet dersom man skal høste mest mulig biomasse.

For at det skal være interessant å erstatte eksisterende ingredienser i for eksempel fiskefôr med makroalge-deriverte produkter forutsettes konkurransedyktig pris eller at produktet får bedre egenskaper i form av forbedret virkning, smak og omdømme. Proteinetsprisen og -prisene øker på verdensbasis og dyrkede makroalger blir regnet som en høyaktuell fremtidig proteinkilde. Protein er dog et lavprisprodukt (tabell 5.1), og lønnsomhet i å dyrke tare til proteinproduksjon forutsetter derfor både lave dyrkingskostnadene og at man utvinner andre, høyere prisede produkter av taren i tillegg, såkalt bioraffinering.

Komponenter med biologisk aktivitet er attraktive for bruk i helsekost, kosmetikk og farmasøytiske produkter og har høy pris. Det finnes bedrifter i for eksempel Danmark, England og Frankrike som bruker makroalger til produksjon av slike høyverdi produkter, og som kan være aktuelle kjøpere av biomasse dyrket i Møre og Romsdal. Det finnes også 2-3 bedrifter i Norge som vil være aktuelle kjøpere, men det antas at antallet vil øke etterhvert som norske bedrifter etablerer seg med utviklet prosesseringsteknologi.

Norges Forskningsråd har finansiert et stort pågående prosjekt rettet mot prosessering av biomasse fra makroalger (søl, sukkertare, butare), PROMAC, som ledes av Møreforskning med flere nasjonale og internasjonale

Tabell 5.1: Sammensetning av sukkertare, som prosent av tørrstoffet, og priser på de ulike produktene [2]. Prisene på polyfenoler og mineraler er tatt fra [42]. Sukkertare inneholder rundt 10–12 % tørrstoff pr kg våtvekt. Bruks- og markedsområder er basert på [52].

Forbindelse	Innhold (% av tørrvekt) sommer / høst	Pris (€ kg <sup>-1</sup> )	Bruksområde og marked
Alginat	30/20	3–10	Fortykningsmidler, prebiotika
Laminaran	2/25	20–500	Fortykningsmidler, prebiotika
Mannitol	10/15	5	
Fucoidean	5/3	50–500	
Cellulose	6/4		
Protein	11/7	1–2	Dyre- og fiskefôr, boiaktive peptider
Polyfenol	0,7/0,8	500	Antioksidanter (mat/fôr, kosmetikk), konserveringsmiddel
Fucoxanthin	0,2/0,2	100–3000	
Lipid	1,5/1,0	50–100	
Mineraler	32/24	0,05	Gjødsel
Hele planten	Tørket og rå	4–5	Mat

nale parntere fra forskningssektoren og industri ([www.promac.no](http://www.promac.no)).

## 6 Begrensninger og gyldighet av modellresultatene

Som med begrensede, enkeltstående empiriske undersøkelser må man være forsiktig med å trekke for omfattende konklusjoner fra modellsimuleringer. Det er derfor vi gjennomgående har skrevet at modellresultatene *antyder* eller *peker mot* fremfor at de viser. Så lenge romlige modeller, altså modeller som eksplisitt simulerer romlig fordelte variable, tar hensyn til relevante, grunnleggende prosesser og i rimelig grad er i stand til å reprodusere empiriske resultater der de finnes, kan de brukes til å utforske scenarier. Et godt eksempel på dette er en studie der resultater fra en havmodell ble brukt til å vurdere mulige habitater for brunalger i tropene. Modellresultatene stemte bra med de kjente habitatene, og antydte også store, uoppdagede områder med dypvannshabitater for brunalger [24]. Noen av resultatene ble senere bekreftet.

En stor del av denne rapporten dreier seg om dyrking av tare i områder der dette ikke har vært utprøvd i praksis. Følgelig er det empiriske grunnlaget ikke-eksisterende. Med utgangspunkt i den rådende kunnskapen om vekst hos sukkertare og andre makroalger, og hvordan denne påvirkes av ulike miljøbetingelser, tyder modellsimuleringene på et stort, men varierende, vekstpotensial for disse artene i kyst- og havområdene i Møre og Romsdal. Hovedanliggendet har vært å påpeke dette. I tillegg er det antydte hvor vekstpotensialet ser ut til å være godt, og hvor det er mindre godt. Kun dyrkingsforsøk vil kunne bekrefte modellresultatene.

Det er publisert flere studier der resultater fra modellsystemet SINMOD er validert mot empiriske data og rådende kunnskap om viktige fysiske og biologiske variable i havet. Se for eksempel [53, 18] for isdynamikk og sirkulasjon i Barentshavet og [51, 6] for sirkulasjon på sokkelen i Nord-Norge. Nylig har SINMODs populasjonsmodell for raudåte blitt validert mot felldata [4]. Tarevekstmodellen er delvis validert mot data fra dyrkingsforsøk, og simulerer vekst og størrelse hos sukkertare bra [12, 25, 22]. Det er ikke mulig å tallfeste usikkerheten i modellen over en region uten et større empirisk datagrunnlag.

Modellens romlige oppløsning, altså størrelsen på modellrutene (i vårt tilfelle 800 eller 267 m), har betydning for hvilke oseanografiske fenomener som kan reproduseres med en hydrodynamisk modell. Generelt kan man si at 800 m oppløsning er for grovt til å løse opp detaljene i hydrodynamikken i fjordene i Møre og Romsdal. Hydrodynamikken har stor betydning for resultatene fra økosystemmodellen og tarevekstmodellen. Dermed har modellopløsningen betydning også for simuleringsresultatene for tare, og da spesielt for områdene i fjordene

og i smale bukter og sund. Resultatene fra modellen i 267 m antyder litt bedre vekstforhold i noen av fjordområdene enn resultatene fra 800 m-modellen (figur B.9). *Dermed kan dyrkingspotensialet i fjordene være bedre enn det som er oppgitt basert på modellen i 800 m oppløsning, og forskjellen på fjord og sokkel er antagelig mindre.* Når vi likevel har valgt hovedsakelig å bruke resultatene fra den grovere modellen, er det fordi den grove modellen ble kjørt for et lengre tidsrom og fordi hovedfokuset i rapporten skulle være dyrkingspotensialet utenfor kysten. Figur B.9 viser at begge modellopløsningene gir tilsvarende resultater i de ytre kystområdene, på kontinentalsokkelen og utenfor.

Modellen ble kjørt over tre fulle år: fra og med juli 2012 til og med juni 2015. Selv om dette er en relativt omfattende simulering for denne typen modeller, gir dette likevel et begrenset utgangspunkt for å vurdere trender og mellomårlig variabilitet. Det ville krevd minst en ti års simulert periode for å vurdere mellomårlige variasjoner. Det er interessant å se på trender over lengre perioder blant annet for å avdekke potensielle effekter av klimaendringer på marin primærproduksjon og potensial for dyrking av makroalger.

## 7 Konklusjoner og anbefalinger

### 7.1 Hovedkonklusjoner

Makroalger vokser naturlig på bunnen i grunne områder. Ved dyrking settes det ut flytende strukturer av tau eller flak og netts i overflatelaget som kan forankres i bunnen. Dette åpner for dyrking også i områder der bunn-dypet er for stort for naturlige forekomster.

Med tanke på industriell dyrking nå eller i nær fremtid er det følgende arter, som det finnes veldokumenterte dyrkingsprotokolle for, som er mest aktuelle:

- sukkertare (*Saccharina latissima*, brunalge)
- butare (*Alaria esculenta*, brunalge)
- fingertare (*Laminaria digitata*, brunalge)
- søl (*Palmaria palmata*, rødalge).

På lengre sikt kan også fjærehinne (*Porphyra umbilicalis*, rødalge) og havsalat (*Ulva lactuca*, grønnsalg) bli aktuelle.

Konklusjoner basert på modellsimuleringene:

- Dyrkingsbetingelsene er best og mest stabile på og utenfor kontinentalsokkelen (utenfor grunnlinjen). Betingelsene er her mest stabile med hensyn til sesongvariasjoner, mellomårlige variasjoner og valg av dyrkingslokaliteter.
- Det er gode vekstbetingelser også langs kysten og i fjordområder, men her ser den mellomårlige variasjonen ut til å være større.
- For dyrking av sukkertare vil det oppnås størst biomasse ved å plante ut fra august til oktober eller i februar og høste i juni. For andre arter vil dette kunne forholde seg annerledes.
- Avhengig av dyrkingsperiode tyder modellsimuleringene på at dyrkingspotensialet for sukkertare i gjennomsnitt er 35–74 tonn våtvekt per hektar innenfor grunnlinjen, 86–130 tonn våtvekt per hektar på sokkelen og 144–220 tonn våtvekt per hektar utenfor sokkelen.
- Ett enkelt anlegg på 600 ha anlegg på sokkelen ser ut til å kunne produsere 66–76 000 tonn sukkertare ved dyrking fra september til juni.

Potensialet for konflikter med andre interesser og næringer oppstår først og fremst gjennom farledsareal, fiskerisoner, høstesoner for naturlige bestander av stortare og olje- og gassinstallasjoner. Konfliktarealene finnes først og fremst innenfor grunnlinjen, mens olje- og gassinstallasjoner finnes både innenfor og utenfor grunnlinjen, på og utenfor sokkelen. Olje- og gassinstallasjoner antas å dekke et så lite areal at det ikke har stor betydning for det totale dyrkingspotensialet i Møre og Romsdal. Med andre konflikter forholder det seg annerledes. En stor del av arealet innenfor grunnlinjen er farledsareal, fiskerisoner eller tarehøstesoner. Gitt det generelt gode dyrkingspotensialet for makroalger, vil selv små arealer kunne dekke etterspørselen etter makroalgebiomasse akkurat nå. I fremtiden, med et økende behov for råstoff, vil dyrking utenfor kysten kunne bli nødvendig. Dette stiller krav til logistikk, teknologi og kompetanse, men gevinsten vil samtidig kunne være en betydelig økning i produksjonspotensialet.

Møre og Romsdal har flere store industrianlegg som har overskuddsenergi til prosessering av råstoff fra makroalger. Videre finnes fasiliteter for landbasert akvakultur og kimplanteproduksjon på Tjeldbergodden. Denne tunge infrastrukturen vil kunne ha stor betydning for utvikling av verdikjeden til makroalgebiomasse, spesielt for å igangsette industriprosjekter og lokal prosessering av råstoff fra makroalger.

På samme måte som innen akvakultursektoren generelt er det både muligheter og behov for kompetanseoverføring fra andre marine næringer. Spesielt industriell dyrking av makroalger utenfor kysten krever kompetanse innen operasjoner, utrustning og forankringsteknologi. Akvakulturnæringen er godt utbygd i Møre og Romsdal, fiskeflåten likeså. Dette innebærer et stort potensial for kompetanseoverføring og -sambruk. Det vil være behov for arbeidskraft med kompetanse fra videregående skole og oppover til å utføre oppgaver langs hele verdikjeden innen makroalgesektoren, fra arealplanlegging og konsesjonsøking, via dyrking og høsting, til prosessering av råstoffet.

Industrien basert dyrking av makroalger er relativt ung i Norge. Tidligere utredninger har pekt på et stort potensial for denne næringen nasjonalt, og en fremtidig årlig omsetning på 40 milliarder kroner per år har vært antydning [40]. Møre og Romsdal har naturgitte og samfunnsmessige forhold som gjør det mulig å realisere en stor del av dette potensialet.

## 7.2 Anbefalinger og videre bruk av resultatene

Dersom makroalgeindustrien i Møre og Romsdal skal bli levedyktig, må det legges til rette for dyrking, høsting og prosessering av biomasse, og det må satses på denne næringen. Det er i dag flere selskaper som dyrker tare i Hordaland, Sogn og Fjordane og Trøndelag. Med tanke på det tilsynelatende gode dyrkingspotensialet og den gode infrastrukturen i fylket, er mulighetene svært gode også i Møre og Romsdal. Et program rettet mot *offshore tare dyrking i Møre og Romsdal* er derfor en naturlig fortsettelse av arbeidet i denne studien.

Her følger noen konkrete anbefalinger til videreføring av arbeidet i denne rapporten.

### Dyrkingsforsøk

Det må gjennomføres dyrkingsforsøk med sukkertare på kontinentalsokkelen utenfor de nære kystområdene. Et slikt forsøk vil innebære tekniske utfordringer som forankring på større dyp (100–300 m). Det gir mulighet til å verifisere dyrkingspotensialet i Møre og Romsdal. Det vil også demonstrere kraften i tverrfaglig samarbeid mellom biologer, industri og forskningsmiljøer innen havromsteknologi. Den biologiske og teknologiske kunnskapen som høstes gjennom et slikt prosjekt vil være unik.

Et slikt dyrkingseksperiment bør gå over flere år for å undersøke mellomårlige variasjoner i utbytte og se på muligheter for utsett og høsting fra anlegget flere ganger gjennom en dyrkingssesong.

Det er viktig at de viktigste fysiske, biologiske og kjemiske miljøbetingelsene overvåkes grundig.

### Begroing

Begroing på biomassen er en av hovedutfordringene innen industriell dyrking av makroalger. Det er mulig at dette kan være et mindre problem ved dyrking langt fra kysten, men forholdene for ulike begroingsorganismer ved kysten, på sokkelen og i norskehavet bør utredes. Dette må gjøres i sammenheng med dyrkingsforsøk. I

tillegg må det innhentes informasjon om konsentrasjonene av planktoniske stadier av de begroingsorganismene som er mest aktuelle. Matematisk modellering kan gi et grunnlag for feltstudier av begroingsproblematikken.

### **Miljøeffekter og konsekvensutredninger**

Mulige positive og negative miljøeffekter av industriell tare dyrking må kartlegges, og det må gjennomføres konsekvensutredninger. I denne sammenheng må også *bærekraften* for tare dyrking i et område undersøkes: Hvor stor biomasse kan man dyrke, og hvor tett, uten at det påvirker den naturlige primærproduksjonen negativt? Undersøkelser av bærekraften har også en økonomisk dimensjon fordi produksjonen vil gå ned dersom bærekraftsnivået overskrides.

Norges Forskningsråd utlyste midler til forskning på miljøeffekter av lavtrofisk akvakulturproduksjon (for eksempel skjell, alger) gjennom programmet HAVBRUK2 med søknadsfrist 7. september 2016.

### **Verdiskapningspotensial, logistikk og økonomi**

Det økonomiske potensialet til en makroalgeindustri i Møre og Romsdal bør utredes mer detaljert. Verdiskapningspotensialet og sosiale ringvirkninger bør analyseres. Forvaltningsmessige aspekter må utredes.

Aspekter knyttet til logistikk og livssyklusanalyse (LSA) i hele verdikjeden fra produksjon av kimplanter til prosessering bør utredes. Videre må den geografiske plasseringen av anlegg for de ulike leddene i verdikjeden analyseres nærmere i sammenheng med dyrkingspotensialet og hvordan det varierer i tid og rom. Spesielt er det viktig å nevne det store energi- og industripotensialet i store eksisterende anlegg i Spjelkavik (Tafjord), på Aukra (Nyhamna) og Tjeldbergodden (Aure).

### **Interaktiv formidling av resultatene**

Denne rapporten dokumenterer metodikken og generelle resultater fra modellsimuleringer. Simuleringsresultatene er imidlertid svært omfattende, og en interaktiv nettportal eller app for lesebrett/smarttelefon der brukerne kan utforske resultatene på egenhånd, for eksempel ved å få tegnet opp produksjonspotensial og vekstsyklus for et selvvalgt punkt i et kart, vil være nyttig for dyrkere, forvaltere og politikere. En slik portal vil også kunne bygges ut med tilleggsinformasjon og forbedrede modell- og felldata når de blir tilgjengelige. Endelig vil man kunne eksportere ulike sammensatte data som kartlag til GIS-verktøy.



## Referanser

- [1] Meld. St. 16: Forutsigbar og miljømessig bærekraftig vekst i norsk lakse- og ørretoppdrett, 2014-2015.
- [2] I. M. Aasen, O. Berglihn, and B. Wittgens. Seaweed biorefineries - value chain analyses and cost assessments. In *XXII Int. seaweed symposium, Copenhagen, June 2016*.
- [3] M. I. Abdullah and S. Fredriksen. Production, respiration and exudation of dissolved organic matter by the kelp *Laminaria hyperborea* along the west coast of Norway. *J. Mar. Biol. Ass. UK*, 84:887–894, 2004.
- [4] M. O. Alver, O. J. Broch, W. Melle, E. Bagøien, and D. Slagstad. Validation of an Eulerian population model for the marine copepod *Calanus finmarchicus* in the Norwegian Sea. *J. Mar. Sys.*, 160:81–93, 2016.
- [5] G. S. Andersen, H. Steen, H. Christie, S. Fredriksen, and F. E. Moy. Seasonal patterns of sphorphyte growth, fertility, fouling, and mortality of *Saccharina latissima* in skagerrak, Norway: Implications for forest recovery. *J. Mar. Biol.*, page 8pp, 2011.
- [6] Anon. LOfoten and VEsterålen CURrents (LOVECUR). comparison of hindcasts with measurements. Revision 2. Technical report, Forristall Ocean Engineering, Inc., 2011.
- [7] J. F. Arbona and M. Molla. *Cultivation of brown seaweed Alaria esculenta*. Irish Sea Fisheries board, Aquaculture explained 21 edition, 2006.
- [8] I. Bartsch, C. Wiencke, K. Bischof, C. M. Buchholz, B. H. Buck, A. Eggert, P. Feuerpfel, D. Hanelt, S. Jacobsen, R. Karez, U. Karsten, M. Molis, M. Y. Roleda, H. Schubert, R. Schumann, K. Valentin, F. Weinberger, and J. Wiese. The genus *Laminaria sensu lato*: recent insights and developments. *Eur. J. Phycol.*, 43:1–86, 2008.
- [9] T. Bekkby and F. E. Moy. Developing spatial models of sugar kelp (*Saccharina latissima*) potential distribution under natural conditions and areas of its disappearance in Skagerrak. *Est. Coast. Self Sci.*, 95:477–483, 2011.
- [10] N. A. Blouin, J. A. Brodie, A. C. Grossman, P. Xu, and S. H. Brawley. *Porphyra*: a marine crope shaped by stress. *Trends in Plant Science*, 16:29–37, 2011.
- [11] J. J. Bolton and K. Lüning. Optimal Growth and Maximal Survival Temperatures of Atlantic *Laminaria* Species (Phaeophyta) in Culture. *Mar. Biol.*, 66:89–94, 1982.
- [12] O. J. Broch, I.H. Ellingsen, S. Forbord, X. Wang, Z. Volent, M. O. Alver, A. Handå, K. Andresen, D. Slagstad, K.I. Reitan, Y. Olsen, and J. Skjermo. Modelling the cultivation and bioremediation potential of the kelp *Saccharina latissima* in close proximity to and exposed salmon farm in Norway. *Aquacult. Environ. Interact.*, 4:187–206, 2013.
- [13] O. J. Broch and D. Slagstad. Modelling seasonal growth and composition of the kelp *Saccharina latissima*. *J. Appl. Phycol.*, 24:759–776, 2012.
- [14] B. Buck and C. M. Buchholz. The offshore ring: A new system design for the open ocean aquaculture of macroalgae. *J. Appl. Phycol.*, 16:355–368, 2004.
- [15] B. H. Buck and C. M. Buchholz. Response of offshore cultivated *Laminaria saccharina* to hydrodynamic forcing in the North Sea. *Aquaculture*, 250:674–691, 2005.
- [16] D. P. Dee, S. M. Uppala, A. J. Simmons, et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 137:553–597, 2011.

- [17] M. Edwards and L. Watson. *Cultivating Laminaria digitata*. Irish Sea Fisheries Board, Aquaculture explained 26 edition, 2011.
- [18] I. Ellingsen, D. Slagstad, and A. Sundfjord. Modification of water masses in the Barents Sea and its coupling to ice dynamics: a model study. *Ocean Dyn.*, 59:1095–1108, 2009.
- [19] Food and Agriculture organization of the United Nations. Fao yearbook - fishery and aquaculture statistics summary tables. <ftp://ftp.fao.org/fi/stat/summary/default.htm>, 2014.
- [20] S. Forbord, J. Skjermo, J. Arff, A. Handå, K. I. Reitan, R. Bjerregaard, and K. Lüning. Development of *Saccharina latissima* (Phaeophyceae) kelp hatcheries with year-round production of zoospores and juvenile sporophytes on culture ropes for kelp aquaculture. *J. Appl. Phycol.*, 24:393–399, 2012.
- [21] H. Førde, S. Forbord, A. Handå, J. Fossberg, J. Arff, G. Johnsen, and K. I. Reitan. Development of bryozoan fouling on cultivated kelp (*Saccharina latissima* in norway. *J. Appl. Phycol.*, 28:1225–1234, 2016.
- [22] J. Fossberg, A. Handå, S. Forbord, O. J. Broch, H. Førde, M. Bergvik, A. L. Fleddum, J. Skjermo, and Y. Olsen. The potential for upscaling of kelp (*Saccharina latissima*) cultivation in salmon-driven integrated multi-trophic aquaculture (imta). Submitted.
- [23] V. A. Gerard, K. DuBois, and R. Greene. Growth responses of two *Laminaria saccharina* populations to environmental variation. *Hydrobiologia*, 151/152:229–232, 1987.
- [24] M. H. Graham, B. P. Kinlan, L.D. Druehl, L. E. Garske, and S. Banks. Deep-water kelp refugia as potential hotspots of tropical marine diversity and productivity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 104:16576–16580, 2007.
- [25] A. Handå, S. Forbord, X. Wang, O. J. Broch, S. W. Dahle, T. S. Størseth, K. I. Reitan, Y. Olsen, and J. Skjermo. Seasonal- and depth-dependent growth of cultivated kelp (*Saccharina latissima*) in close proximity to salmon (*Salmo salar* aquaculture in norway. *Aquaculture*, 414-415:191–201, 2013.
- [26] B. Hersoug and J. P. Johnsen, editors. *Kampen of plass på kysten. Interesser og utviklingstrekk i kyst-soneplanleggingen*. Universtietsforlaget, 2012.
- [27] E. A. Holte, S. A. Sønvisen, and I. M. Holmen. Havteknologi. potensialet for utvikling av tverrgående teknologier tog teknologisk utstyr til bruk i marin, maritim og offshore sektorer. Technical Report MT2015 F-182, SINTEF MARINTEK, 2016.
- [28] S. Kawamata. Adaptive mechanical tolerance and dislodgement velocity of the kelp *Laminaria japonica* in wave-induced water motion. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 211:89–104, 2001.
- [29] P. D. Kerrison, M. S. Stanley, M. D. Edwards, K. D. Black, and A. D. Hughes. The cultivation of European kelp for bioenergy: site and species selection. *Biomass and bioenergy*, 80:229–242, 2015.
- [30] J. O. Kirk. *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambridge, 3rd edition, 2011.
- [31] Ø. Knutsen and O. J. Broch. Miljødokumentasjon nordmøre: Utslipp av næringssalter og agens i en økosystemmodell. In A. K. Woll, editor, *Miljødokumentasjon Nordmøre - samlingsrapport*. Møreforskning, 2014.
- [32] M. A. R. Koehl, W. K. Silk, H. Liang, and L. Mahadevan. How kelp produce blade shapes suited to different flow regimes: A new wrinkle. In *Integrative and Comparative Biology*, pages 1–18. Oxford University Press, 2008.
- [33] A. Q. Lavik. Developing a laboratory cultivation protocol for local species of porphyra spp. Master's thesis, NTNU, May 2016.
- [34] K. Lüning. Environmental and internal control of seasonal growth in seaweeds. *Hydrobiologia*, 260/261:1–14, 1993.

- [35] S. Matsson, S. Mogård, R. Fieler, H. Christie, and L. Neves. Pilotstudie på dyrking av tare i troms. Technical report, Akvaplan-niva, 2015.
- [36] F. E. Moy and H. Christie. Large-scale shift from sugar kelp (*Saccharina latissima*) to ephemeral algae along the south and west coast of Norway. *Mar. Bio. Res.*, 8:309–321, 2012.
- [37] F. E. Msuya and A. Neori. The performance of spray-irrigated *Ulva lactuca* (ulvophyceae chlorophyta) as a crop and as a biofilter of fishpond effluents. *J. Phycol.*, 46:813–8137, 2010.
- [38] I. M. Munda and K. Lüning. Growth performance of *Alaria esculenta* off Helgoland. *Helgoländer wiss. Meeresunters*, 29:311–314, 1977.
- [39] M. M. Nielsen, A. Bruhn, M. B. Rasmussen, B. Olesen, M. M. Larsen, and H. B. Moller. Cultivation of *Ulva lactuca* with manure for simultaneous bioremediation and biomass production. *J. Appl. Phycol.*, 24:449–458, 2012.
- [40] T. Olafsen, U. Winther, and J. Skjermo. Verdiskapning basert på produktive hav i 2050. Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab (DKNVS) og Norges Tekniske Vitenskapsakademi (NTVA), 2012.
- [41] J. S. Pechsiri, J.-B. E. Thomas, E. Risen, M. S. Ribeiro, M. E. Malmstrøm, G. M. Nylund, A. Jansson, U. Welander, H. Pavia, and F. Grøndahl. Energy performance and greenhouse gas emissions of kelp cultivation for biogas and fertilizer recovery in sweden. *Sci. Tot. Env.*, 573:347–355, 2016.
- [42] R. Pierre. Presentation at the SIG seaweed workshop in Trondheim, December 12, 2015, 2015.
- [43] G. K. Reid, T. Chopin, S. M. C. Robinson, P. Azevedo, M. Quinton, and E. Belyea. Weight ratios of the kelps, *Alaria esculenta* and *Saccharina latissima*, required to sequester dissolved inorganic nutrients and supply oxygen for Atlantic salmon, *Salmo salar*, in Integrated Multi-Trophic Aquaculture systems. *Aquaculture*, 408-409:34–46, 2013.
- [44] J. S. Ren, J. Stenton-Dozey, D. R. Plew, J. Fang, and M. Gall. An ecosystem model for optimizing production in integrated multitrophic aquaculture systems. *Ecological Modelling*, 246:34–46, 2012.
- [45] E. Rinde, H. Christie, T. Bekkbye, and V. Bakkestuen. Økologiske effekter av taretråling. analyser basert på gis-modellering og empiriske data. Technical Report LNR 5150-2006, NIVA, 2006.
- [46] J. Rueness. *Alger i farger*. Almater Forlag, 1998.
- [47] R. Sætre, editor. *The Norwegian Coastal Current*. Tapir academic press, 2007.
- [48] J. C. Sanderson, M. J. Dring, K. Davidson, and M. S. Kelly. Culture, yield and bioremediation potential of *Palmaria palmata* (Linnaeus) Weber and Mohr and *Saccharina latissima* (Linnaeus) C. E. Lane, C. Mayes, Druehl and G. W. Sautners adjacent to fish farm cages in northwest scotland. *Aquaculture*, 354-355:128–135, 2012.
- [49] M. I. Saunders, A. Metaxas, and R. Filgueira. Implications of warming temperatures for population outbreaks of a nonindigenous species (*Membranipora membranacea*, bryozoa) in rocky subtidal ecosystems. *Limnol. Oceanogr.*, 55:1627–1642, 2010.
- [50] R. E. Scheibling and P. Gagnon. Temperature-mediated outbreak dynamics of the invasive bryozoan *Membranipora membranacea* in Nova Scotian kelp beds. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 390:1–13, 2009.
- [51] J. Skarðhamar and H. Svendsen. Circulation and shelf-ocean interactions off North Norway. *Cont. Shelf Res.*, 25:1541–1560, 2005.

- [52] J. Skjermo, I. M. Aasen, J. Arff, O. J. Broch, A. Carvajal, H. Christie, S. Forbord, Y. Olsen, K. I. Reitan, T. Rustad, J. Sandquist, R. Solbakken, K. B. Steinhovden, B. Wittgens, R. Wolff, and A. Handa. A new Norwegian bioeconomy based on cultivation and processing of seaweeds: Opportunities and R&D needs. Technical Report A25981, SINTEF, 2014.
- [53] D. Slagstad and T. A. McClimans. Modelling the ecosystem dynamics of the Barents sea including the marginal ice zone: I. physical and chemical oceanography. *J. Mar. Sys.*, 58:1–18, 2005.
- [54] H. Steen. Stortare. In *Havforskningsrapporten*, page 195. Havforskningsinstituttet, 2015.
- [55] C.L. Stevens, C.L. Hurd, and P. E. Isachsen. Modelling of diffusion boundary-layers in subtidal macroalgal canopies: The response to waves and currents. *Aquat. Sci.*, 65:81–91, 2003.
- [56] M. Troell, A. Joyce, T. Chopin, A. Neori, A. H. Buschmann, and J.-G. Fang. Ecological engineering in aquaculture - potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture*, 297:1–9, 2009.
- [57] X. Wang, O. J. Broch, S. Forbord, A. Handå, J. Skjermo, K. I. Reitan, O. Vasstein, and Y. Olsen. Assimilation of inorganic nutrients from salmon (*Salmo salar*) farming by the macroalgae (*Saccharina latissima*) in an exposed coastal environment: implications for integrated multi-trophic aquaculture. *J. Appl. Phycol.*, 26:1869–1878, 2014.
- [58] X. Wang, L. M. Olsen, K. I. Reitan, and Y. Olsen. Emission of nutrient wastes from norwegian salmon aquaculture: nutrient loading of receiving waters and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquacult. Environ. Interact.*, 2:267–283, 2012.
- [59] P. Wassmann, D. Slagstad, C. W. Riser, and M. Reigstad. Modelling the ecosystem dynamics of the Barents Sea including the marginal ice zone II. Carbon flux and interannual variability. *J. Mar. Sys.*, 59:1–24, 2006.
- [60] A. Werner and M. Dring. *Cultivating *Palmaria palmata**. Irish Sea Fisheries Board, Aquaculture explained 27 edition, 2011.
- [61] C. Wiencke and K. Bischof, editors. *Seaweed Biology - Novel insights into ecophysiology, ecology and utilization*. Springer, 2012.
- [62] J. Zhang, W. Wu, J. S. Ren, and F. Lin. A model for the growth of mariculture kelp *Saccharina japonica* in Sanggou Bay, China. *Aquacult. Environ. Interact.*, 8:273–283, 2016.

## A Vekstmodell for sukkertare

Vekstmodellen for sukkertare som er brukt i denne studien er stort sett publisert i artiklene [13, 12]. I tillegg er det gjennomført noen forbedringer som beskrives her.

### A.1 Effekt av strømfart

La  $J_N$  betegne opptaksraten for oppløst, uorganisk nitrogen som funksjon av nivået på indre nitrogenreserver og ytre nitrogenkonsentrasjon (se faktoren i ligning (8) i [13]). Den faktiske opptaksraten,  $J$ , ble tidligere modifisert som følge av vannstrøm ved å sette

$$J = f_{\text{current}} J_N, \quad (5)$$

der

$$f_{\text{current}}(U) = 1 - e^{-U/U_0}. \quad (6)$$

Her betegner  $U$  strømfarten og parameteren  $U_0 = 0,03$  angir en strømfarten som gir  $J = 0,6321 J_N$  [55, 13]. I den versjonen av modellen som er brukt i denne rapporten, har vi benyttet en modifisert versjon:

$$f_{\text{current}}(U) = a (1 - e^{-U/U_0}) + b, \quad (7)$$

der

$$a = 0,7165, \quad b = 0,2835, \quad U_0 = -\frac{0,3}{\ln(1 - (0,6321 - b)/a)} \approx 0,045.$$

Som tidligere har vi  $f_{\text{current}}(0,03) = 0,6321$ , men nå er  $f_{\text{current}}(0) = b = 0,2835$ . Tankegangen bak dette er at veldig lav eller så å si ingen vannstrøm gir et grunnlag for betydelig opptak av næringssalter [12] som følge av annen vannbevegelse, som f.eks. bølger. Effekten av ren bølgeeksponering blir ikke kvantifisert nærmere her, men kan trekkes inn ved å endre parametrene  $a$ ,  $b$  og  $U_0$  som funksjoner av vindfeltet og bølgeeksponeringen.

### A.2 Effekt av saltholdighet på opptaks-, fotosyntese- og vekstrater

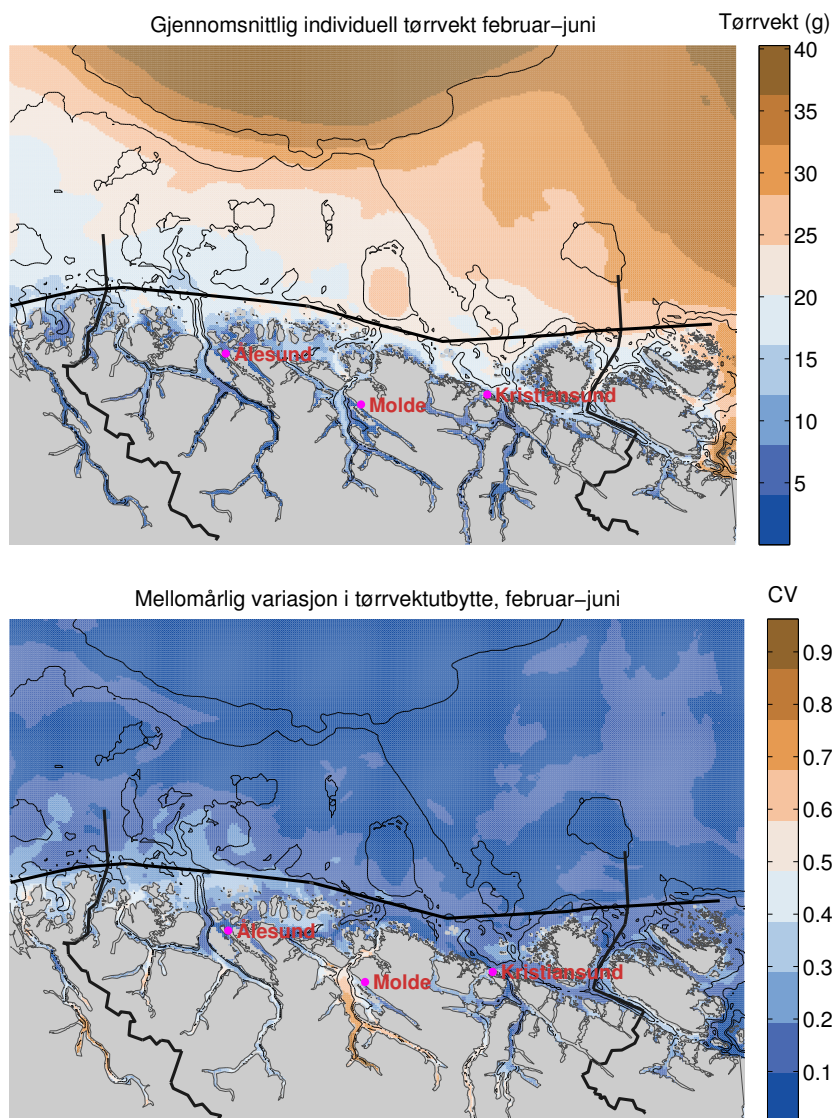
For å ta hensyn til effekten av varierende saltholdighet, har vi innført en faktor som reduserer fotosynteseraten, opptaksraten for næringssalt og veksraten som en funksjon av saltholdigheten. Denne faktoren er løselig basert på informasjon i Bartsch et al. 2008 [8], som antyder at flere tarearter har et relativt smalt toleransevidu for saltholdighetsendringer:

$$f_{\text{salinity}} = \begin{cases} 1, & 25 \leq S \\ 1 + 0,5(S - 25)/9, & 16 \leq S < 25 \\ 0,5S/16, & 0 \leq S < 16 \end{cases} \quad (8)$$

Det har vært antydnet en mulighet for økotypisk differensiering mellom sukkertarepopulasjoner fra ulike saltholdighetsregimer [23]. I simuleringene som er gjennomført her har vi ikke tatt hensyn til dette.

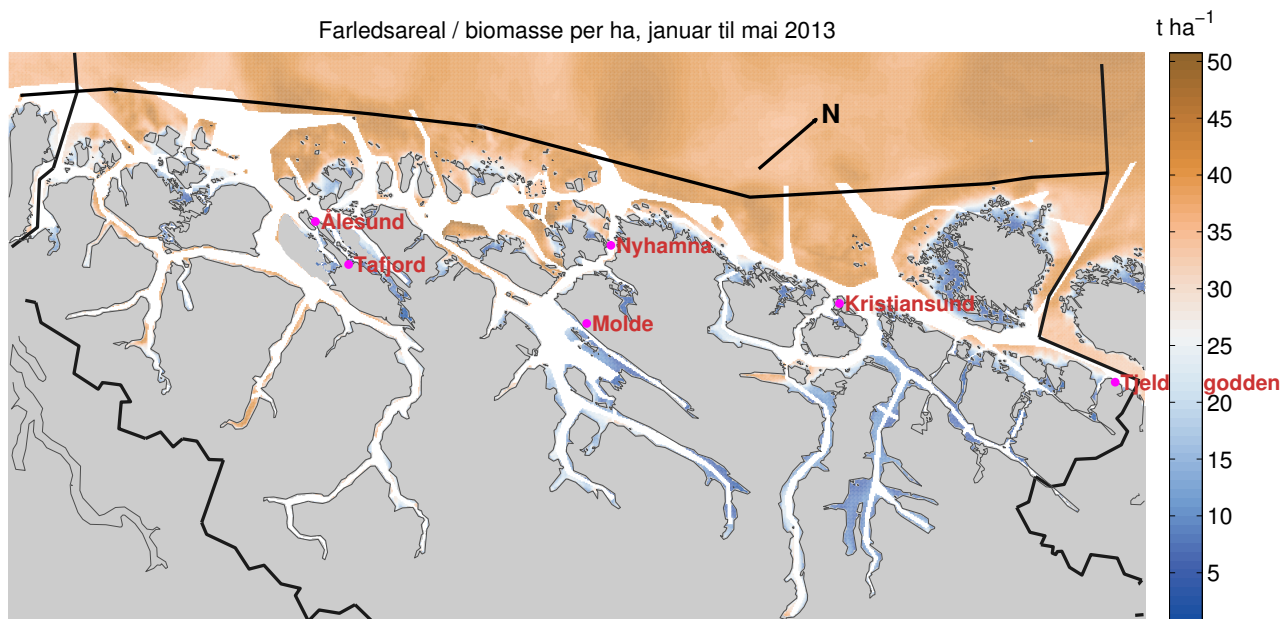
## B Tilleggsresultater og -figurer

### B.1 Mellomårlig variasjon i vekstpotensial

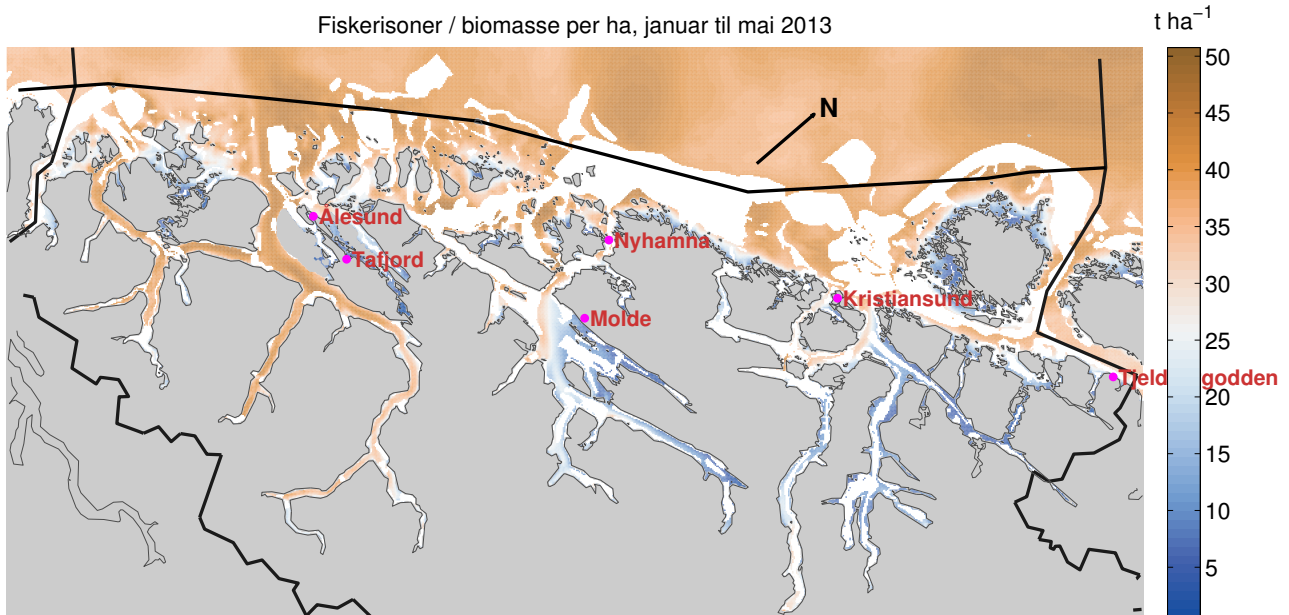


Figur B.1: Romlig fordeling av gjennomsnittlig (2013 til 2015) simulert tørrvekt av enkeltblader hos sukkertare (øverst) og relativ mellomårlig variasjon (2013 til 2015) for tørrvekt. Resultatene forutsetter dyrking fra februar til juni på 4,5 m dyp. Den relative mellomårlige variasjonen er gjennomgående størst langs kysten og i fjordområdene og ganske liten på og utenfor kontinentalsokkelen. Variasjonen er uttrykt ved variasjonskoeffisienten (standardavviket delt på middelet over de tre årene i hver modellrute). Resultatene er fra modellen i 800 m horisontal oppløsning.

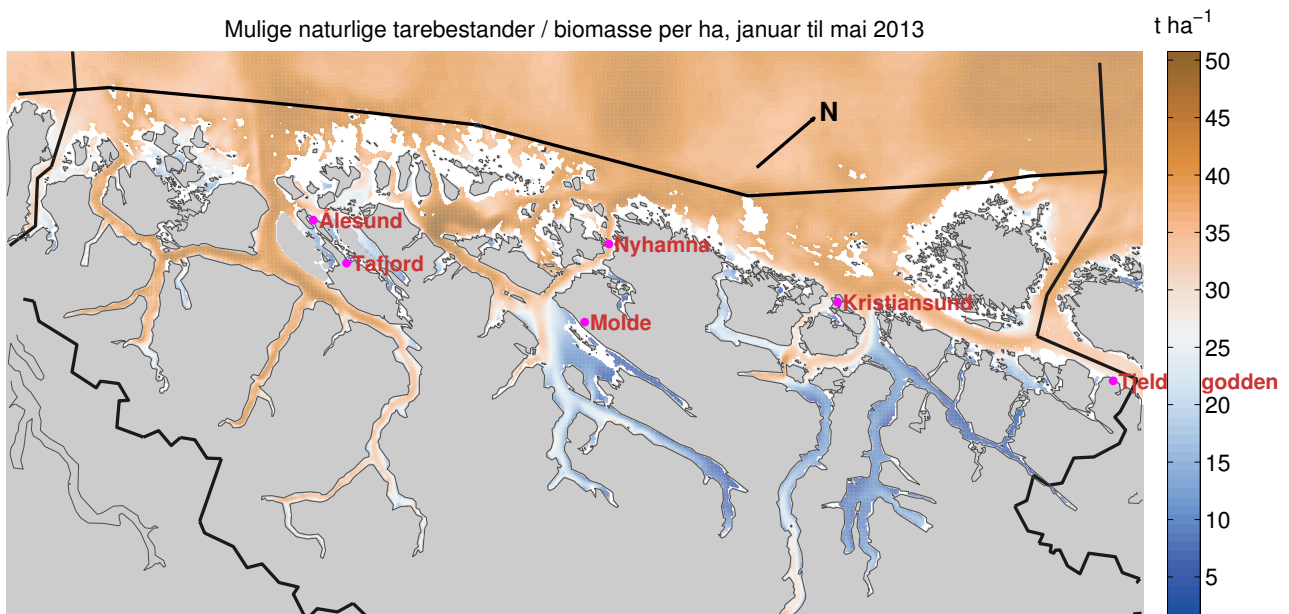
## B.2 Konfliktareal



Figur B.2: Farledsareal i Møre og Romsdal (de hvite feltene). Fargene i kartet antyder høstbar biomasse av sukkertare ved dyrking fra januar til mai 2013. De tykke, svarte linjene viser fylkesgrenser og grunnlinjen. Data for farled, fiskerisoner (aktive og passive fiskeredskap) og olje- og gassinstallasjoner ble hentet fra Fiskeridirektoratets kartverktøy 10. august 2016 (<http://www.fiskeridir.no>).

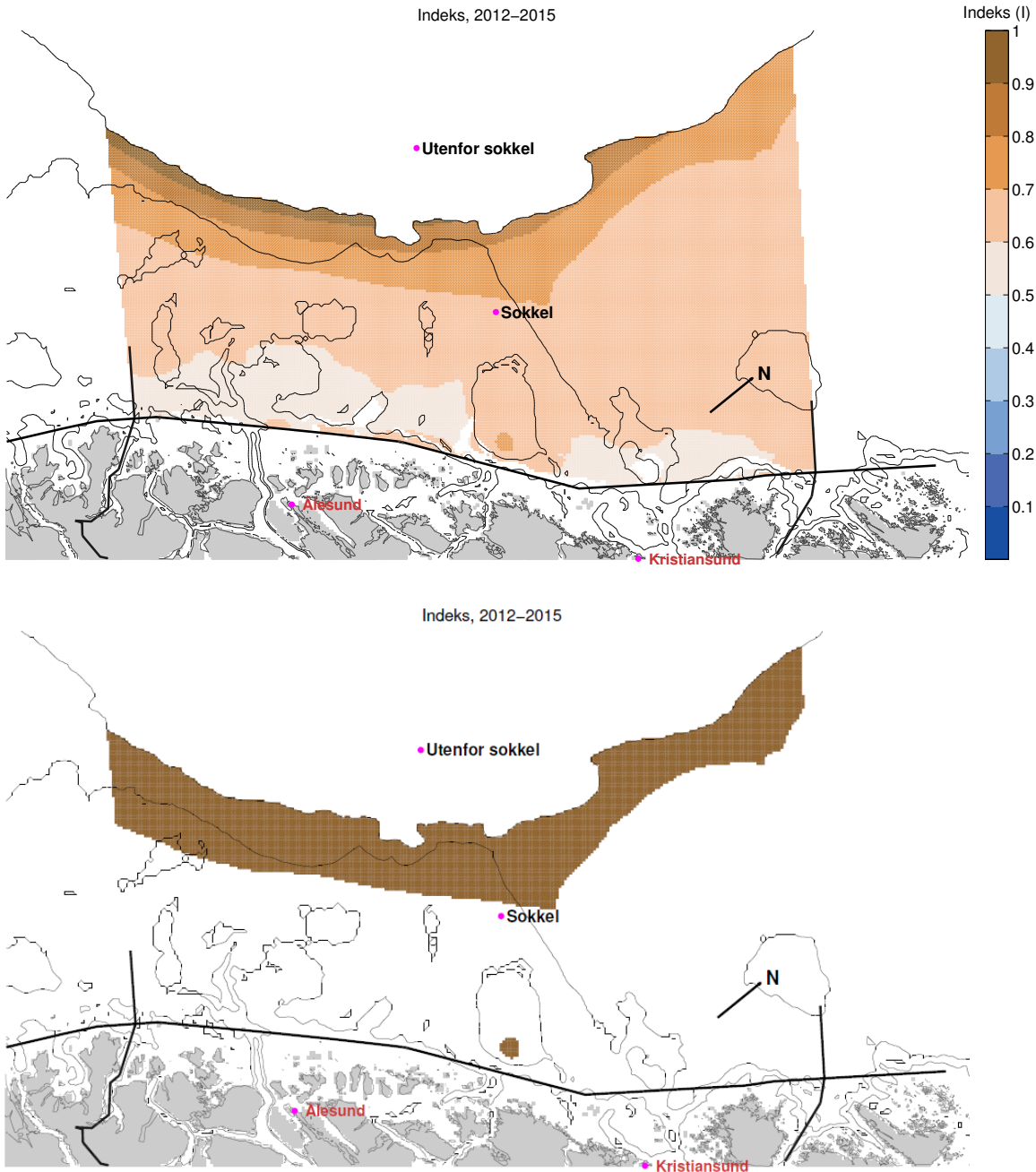


Figur B.3: Fiskerisoner i Møre og Romsdal (de hvite feltene). Fargene i kartet antyder høstbar biomasse av sukkertare ved dyrking fra januar til mai 2013. De tykke, svarte linjene viser fylkesgrenser og grunnlinjen. Data for farled, fiskerisoner (aktive og passive fiskeredskap) og olje- og gassinstallasjoner ble hentet fra Fiskeridirektoratets kartverktøy 10. august 2016 (<http://www.fiskeridir.no>).



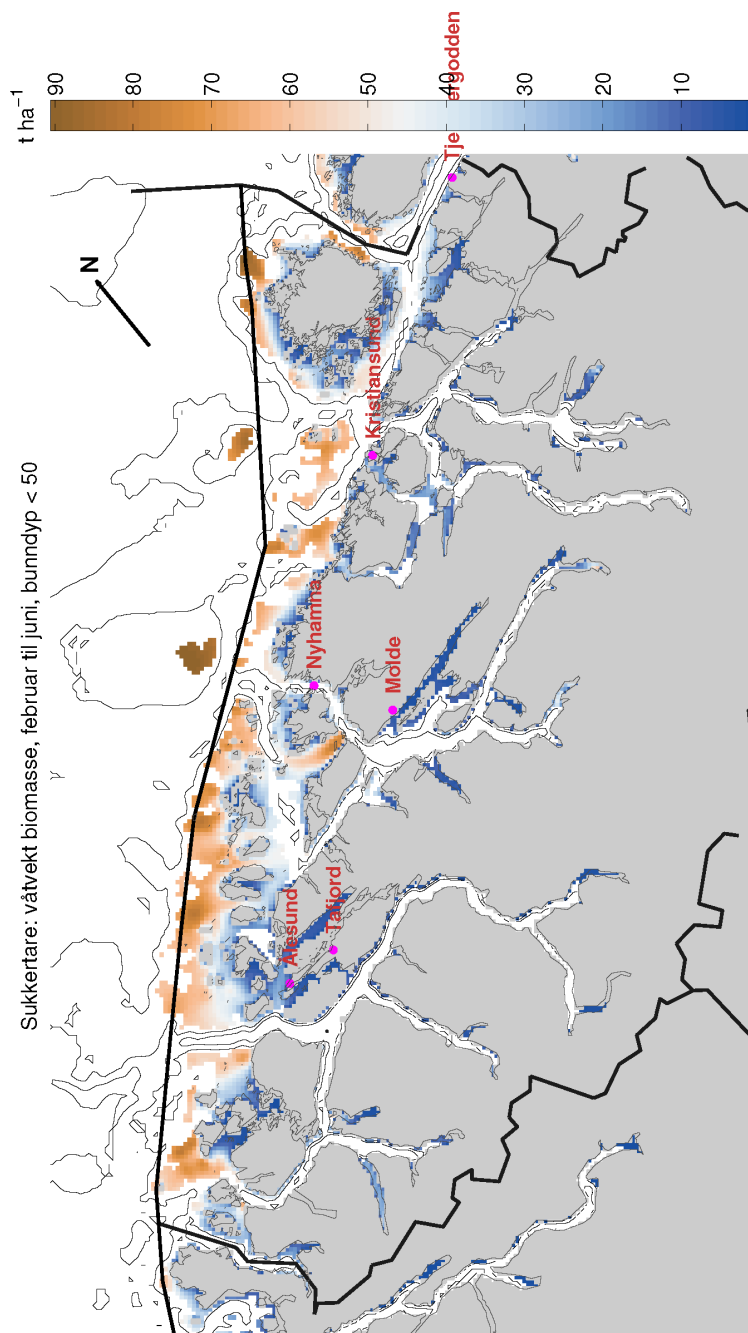
Figur B.4: Områder der det *kan* finnes naturlige bestander av tang, tare og andre makroalger i Møre og Romsdal (bunndyp < 30 m) antydnet i hvitt. Fargene i kartet antyder høstbar biomasse av sukkertare ved dyrking fra januar til mai 2013. De tykke, svarte linjene viser fylkesgrenser og grunnlinjen.



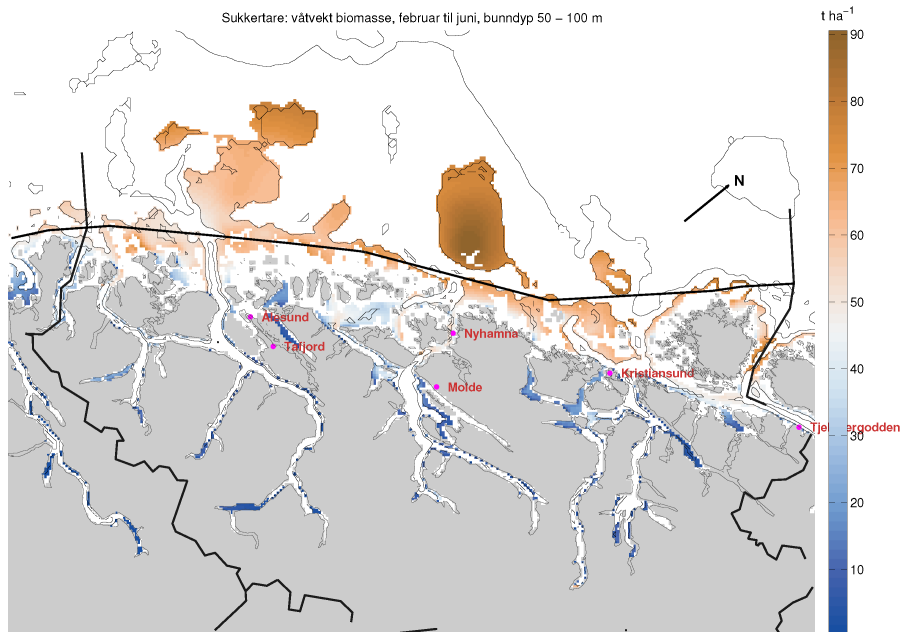


Figur B.5: Indeks over dyrkingspotensial for sukkertare i Møre og Romsdal, på sokkelen utenfor grunnlinjen, der konfliktområder som farledareal og fiskerisoner *ikke* er tatt med i beregningen. Dette er altså en rangering av velegnetheten for de områdene som er tilgjengelige når konfliktarealer er tatt bort. Nederst: de brune feltene angir de 25 % beste områdene basert på indeksen (øvre kvartil).

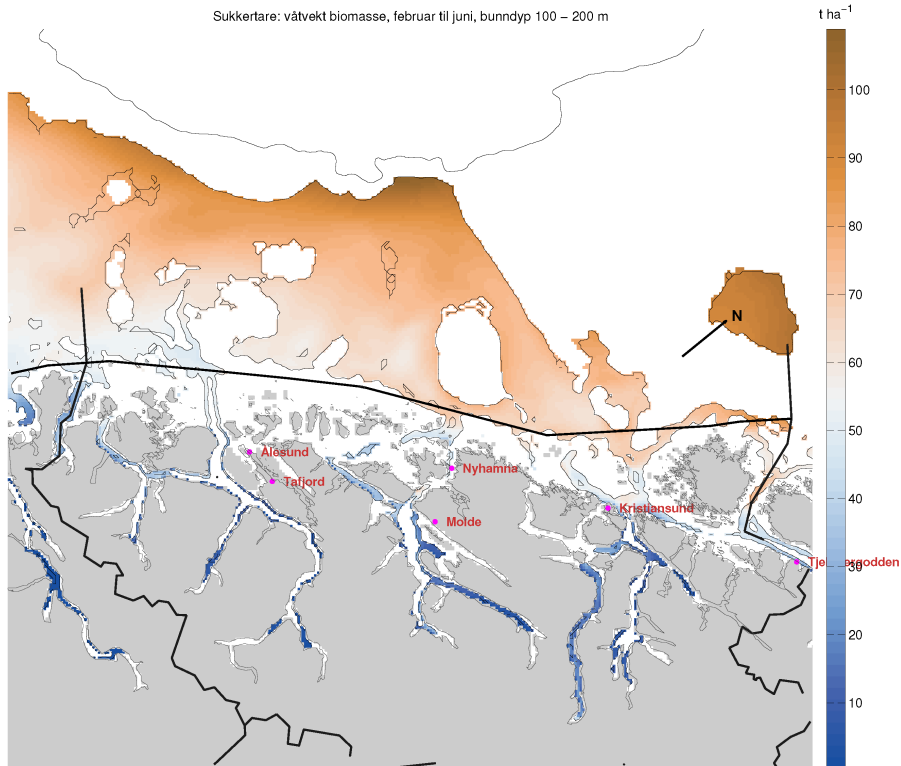
### B.3 Dyrking ved ulike bunndyp



Figur B.6: Høstet biomasse ( $t ha^{-1}$ ) ved dyrking i overflaten i områder der bunndypet er grunnere enn 50 m.

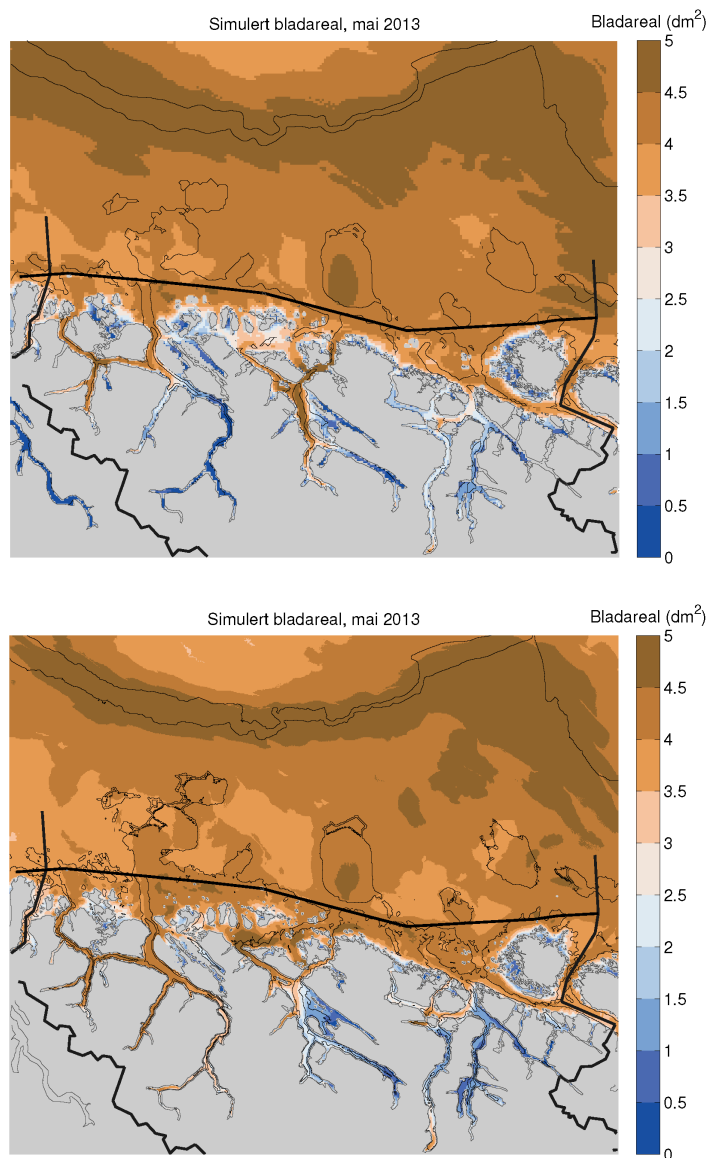


Figur B.7: Høstet biomasse (t ha<sup>-1</sup>) ved dyrking i overflaten i områder der bunndypet ligger mellom 50 og 100 m.



Figur B.8: Høstet biomasse (t ha<sup>-1</sup>) ved dyrking i overflaten i områder der bunndypet ligger mellom 100 og 200 m.

## B.4 Sammenligning av modellopløsninger



Figur B.9: Sammenligning av resultatene fra tarevekstmodellen i ulike romlige oppløsninger. Øverst: modellområdet for Midt-Norge i 800 m horisontal oppløsning (utsnitt). Nederst: modellområdet for Møre og Romsdal i 267 m horisontal oppløsning. Fargene er skalert likt i de to figurene. Simuleringsdataene er ikke lagret for nøyaktig samme dato, og man kan derfor ikke forvente at figurene her er helt like.





Teknologi for et bedre samfunn  
[www.sintef.no](http://www.sintef.no)