



RAPPORT L.NR. 7589-2021



Miljøpåvirkninger av tare dyrking og forslag til utvikling av overvåkingsprogram



Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Sør

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Innlandet

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Vest

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Danmark

Njalsgade 76, 4. sal
2300 København S, Danmark
Telefon (45) 39 17 97 33

Internett: www.niva.no

Tittel Miljøpåvirkninger av taredyrking og forslag til utvikling av overvåkingsprogram	Løpenummer 7589-2021	Dato 01.03.2021
Forfatter(e) Kasper Hancke, Ole Jacob Broch, Yngvar Olsen, Trine Bekkby, Pia Kupka Hansen, Reinhold Fieler, Karl Attard, Gunhild Borgersen, Hartvig Christie	Fagområde Marin biologi	Distribusjon Fri
	Geografisk område Norge	Sider 36 + vedlegg

Oppdragsgiver(e) Norges forskningsråd (NFR)	Oppdragsreferanse NFR ID: 267536
Oppdragsgivers utgivelse:	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 17058

Sammendrag

Forskningsprosjektet KELPPRO (2017-2020) har gjennom feltundersøkelser, laboratorieforsøk og numerisk modellering undersøkt miljøpåvirkninger av taredyrking på økosystemene i de åpne vannmassene og på havbunnen, og evaluert mulige positive og negative effekter på de marine økosystemer. I tillegg er det undersøkt om tareanlegg vil bidra til spredning av fremmede eller truede arter, eller genetisk materiale. Rapporten inneholder forslag til en forvaltningsstrategi og det anbefales at effekter på havbunnen, spredning av arter og spredning av genetisk materiale undersøkes nærmere om taredyrking i fremtiden utvikler seg til storskala produksjon og industri.

Fire emneord 1. Tang/taredyrking 2. Miljøpåvirkninger 3. Forvaltningsrådgiving 4. Forskningsprosjekt	Four keywords 1. Seaweed/kelp farming 2. Environmental impacts 3. Recommendations for management agencies 4. Research project
--	---

Denne rapporten er kvalitetssikret iht. NIVAs kvalitetssystem og godkjent av:

Kasper Hancke
Prosjektleder/Hovedforfatter

Mats Gunnar Walday
Kvalitetssikrer

Paul Ragnar Berg
Forskningsleder

ISBN 978-82-577-7325-0
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

© Norsk institutt for vannforskning. Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse.

Miljøpåvirkninger av taredyrking og forslag til utvikling av overvåkingsprogram

Forord

Denne rapporten er et produkt av forskningsprosjektet KELPPRO, «Kelp industrial production: Potential impacts on coastal ecosystems» gjennomført fra 2017 til 2020. Prosjektet har undersøkt hvilke effekter taredyrking kan ha på livet i havet og de naturlige marine økosystemener, og forsøker å belyse både positive og negative miljøpåvirkninger av en potensielt voksende taredyrkingsindustri. KELPPRO er gjennomført som et forskningsprosjekt med primært fokus på å levere et vitenskapelig grunnlag for miljømessige vurderinger av taredyrking som storskala industri, og hva som skal til for å sikre en langsiktig bærekraftig industri.

Prosjektet og de tilgjengelige dataene er resultatet av et tett samarbeide mellom de seks forskningsinstitusjonene Norsk institutt for vannforskning (NIVA), SINTEF Ocean, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Akvaplan-niva (ApN), Havforskningsinstituttet (HI), samt Syddansk universitet (SDU) i Danmark. I tillegg har to industripartnere bidratt til prosjektet, Seaweed Solutions (SES) og Hortimare.

Det meste av feltarbeidet er utført i tett samarbeid med Seaweed Solutions i og rundt deres taredyrkingsanlegg på østsiden av Frøya i Trøndelag. Hortimare har bidratt til diskusjoner og prosjektutvikling gjennom deltakelse i årsmøter og workshops. Vi ønsker å takke begge industripartnere for konstruktive innspill og godt samarbeid. Vi verdsetter også innspill gjennom hele prosjektforløpet fra Miljødirektoratet, Fiskeridirektoratet, Nærings- og fiskeridepartementet, samt Bellona. Vi takker Norges forskningsråd og «HAV2»-programmet for finansering av prosjektet, NFR ID #267536.

En ekstra takk til de fire master-studentene som har bidratt med felt- og laboratoriearbeid og tilført prosjektet betydelig med entusiasme og faglig tilskudd.

Oslo, 1. mars 2021

Kasper Hancke

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon.....	9
2	Bakgrunn.....	9
3	Naturlige tareskogsøkosystemer	13
4	Resultater fra KELPPRO-prosjektet	15
4.1	Potensialet for taredyrking i Norge	15
4.2	Miljøpåvirkninger på havbunnen	16
4.3	Miljøpåvirkninger på livet i de åpne vannmasser	19
4.4	Tareanleggets funksjon som «kunstig habitat»	22
4.5	Risiko for spredning av fremmede arter	23
4.6	Risiko for påvirkning av populasjonsgenetisk struktur.....	25
5	Anbefalinger til forvaltningen og forslag til utvikling av overvåkingsprogram	27
6	Konklusjon og behov for videre forskning.....	31
7	Referanser.....	33
	KELPPRO-publikasjoner og -formidling (2017-2020)	37

Sammendrag

Bakgrunn: Norge har en lang kystlinje med rent og næringsrikt sjøvann, noe som gir unike forhold for dyrking av tang og tare. For å sikre en langsiktig og lønnsom industri må taredyrking utvikles på bærekraftig vis med en forståelse for mulige påvirkninger av det marine miljø. Forskningsprosjektet KELPPRO (2017-2020) har undersøkt hvordan dyrking av tare påvirker miljøtilstanden og marint liv, på havbunnen og i de åpne vannmassene, og vurdert betydningen for spredning av fremmede og truede arter. Denne rapporten har som mål å oppsummere KELPPROs hovedresultater og etablere et kunnskapsbasert grunnlag for en bærekraftig forvaltning av en næring i vekst.

Numerisk modellering viste at det er et stort potensial for dyrking av tare i havområdene langs norskekysten, med et høstingspotensiale på 70-200 tonn per hektar. Dyrkingsforholdene langs store deler av norskekysten er gode, men varierer. Områder med stabil og god næringstilgang og områder offshore skiller seg ut som særlig velegnede og produktive.

Havbunnsundersøkelser viste at det under normale operative forhold løsrives og frigis 8-13 % av høstet biomasse per år. Hvis høstingen forsinkes til sent på sommeren kan tapet utgjøre mer enn 50 % av høstet biomasse. Den frigitte taren transporteres med vannstrømmen, og beregningseksempler har vist at >90 % av biomassen kan deponeres nærmere enn 4 km fra anlegget. Effektene på havbunnen av frigitte tare var ved normal drift minimale, og det ble ikke dokumentert effekter på biodiversiteten eller økologisk funksjon. Derimot viste eksperimenter med deponering av mye tare (>8 kg per m²), tilsvarende et 'worst-case'-scenario, en betydelig reduksjon i oksygenforholdene ved bunnen, reduksjon i biodiversiteten, samt produksjon av sulfid, som er giftig for fisk.

Nedbrytingsforsøk viste en rask nedbryting av deponert tare, og ca. 50 % var borte etter tre uker, mens >90 % var borte etter 3 måneder. Laboratoriestudier viste at nedbrytningstiden er temperaturavhengig, og lenger for butare (*Alaria esculenta*) enn for sukkertare (*Saccharina latissima*).

I vannmassene er effekter av taredyrking knyttet til konkurransen om næringssalter. Feltnmålinger viste at næringsstoffkonsentrasjonene i vannet rundt anlegg, samt planteplanktonets næringsstatus, var upåvirket av tareanlegget. Beregninger viste at dette gjelder uavhengig av tareanleggets størrelse, da naturlig forekommende mikroalger har et mer effektivt opptak av næringssalter enn tare. Kortvarig reduksjon i lystilgangen under tareanlegg (på noen dager) vil ikke ha betydning for planteplanktonets vekst. Nettoutsippet av næringssalter fra tareanlegg er negativt, og taredyrking kan potensielt bidra positivt til næringsstoff reduksjon om tilførselene er høye (eutrofi).

Det biologiske mangfoldet i tareanlegg viste at anlegg kan fungere som kunstige habitater og etablere dyresamfunn lik naturlige tareskoger, men med færre arter og individer. Plassering av anlegg vil spille en rolle for i hvilken grad disse bidrar til spredning av arter, og hvordan det biologiske mangfoldet vil påvirkes. Det etablerte prinsipp om ikke å flytte tareplanter mellom økoregioner ble bekreftet som fornuftig siden ulike populasjonsgenetiske grupperinger av sukkertare ble identifisert på tvers av økoregioner langs kysten.

Anbefalinger til forvaltningen: Rapporten inneholder forslag til en forvaltningsstrategi for fremtidig overvåking av taredyrkingsanlegg. Det er fremdeles betydelige kunnskapshull på miljøeffekter av taredyrking, inkl. betydningen over tid, for ulike breddegrader og ulike lokaliteter. Om taredyrking i fremtiden utvikles til storskala produksjon og industri, så anbefales flere studier av miljøeffekter på havbunnen, spredning av arter og av genetisk materiale for å sikre en bærekraftig næring.

Summary

Title: Environmental impacts of kelp cultivation and recommendations for a management strategy
Year: 2021

Author(s): Kasper Hancke, Ole Jacob Broch, Yngvar Olsen, Trine Bekkby, Pia Kupka Hansen, Reinhold Fieler, Karl Attard, Gunhild Borgersen, Hartvig Christie.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-7325-0

Background: Norway has a long coastline with clean and nutrient-rich seawater, which provides ideal conditions for the cultivation of kelp. To ensure a long-term and profitable industry, kelp cultivation must be developed in a sustainable way with an understanding of possible impacts on the marine environment. The research project KELPPRO (2017-2020) investigated how cultivation of kelp impacts the environmental conditions and marine life on the seafloor and in the open water masses, and it assessed whether kelp farms play a role in spreading alien or endangered species. This report summarizes the main results and establishes a knowledge base for sustainable management of the industry.

Numerical modelling showed that there is a great potential for cultivating kelp along the Norwegian coast, with a harvesting potential of 70 to 200 tonnes per hectare. Cultivation conditions along large parts of the Norwegian coast are good but also variable. Areas with stable and good nutrient supply, often at a good distance to the coast, stand out as particularly suitable and productive locations. Seafloor investigations have shown that under normal operational conditions, 8 to 13% of harvested biomass is released to the environment per year. If the harvest is delayed until late summer, the loss can be >50% of the harvested amount. The released kelp is transported with the water currents, and a case study showed that >90% of the released biomass ended up at the seafloor within 4 km of the kelp farm.

The effects on the seafloor of released kelp were minimal, and no effects on biodiversity or ecological function were documented during normal operations. In contrast, field experiments with deposition of a large amount of kelp (>8 kg fresh kelp per square meter), corresponding to “worst-case” scenarios, showed a significant worsening of bottom oxygen conditions, reduction in animal diversity, and increased production of toxic sulphide. Degradation of deposited kelp was fast, and about 50% of the biomass had disappeared after 3 weeks, and more than 90% after 3 months, indicating reversible impacts on seafloor ecosystems. Laboratory studies showed that the decomposition time was dependent on temperature and bottom oxygen and was longer for winged kelp (*Alaria esculenta*) than for sugar kelp (*Saccharina latissima*). The amount of kelp that constitutes the 'tipping point' from a bioresource for the foodweb to an ecosystem threat was not possible to quantify in this project.

In open water habitats the impact of kelp cultivation is closely linked to the competition for nutrients. Field measurements showed that nutrient concentrations in the water around kelp farms, as well as the nutrient status of the phytoplankton, were unaffected by the cultivated kelp. Calculations showed that this applies regardless of the size of the kelp farm. A short-term reduction in light availability under kelp farms (as when phytoplankton is drifting through) will not influence phytoplankton growth. The net discharge of nutrients from kelp plants is negative, and kelp cultivation might contribute positively to nutrient reduction where concentrations are too high (eutrophic conditions).

Biodiversity studies demonstrated that kelp farms can function as artificial habitats and establish ecosystems but with fewer species and individuals than natural kelp forests. The location of farms will likely play a role in the spread of species and in the impacts on biodiversity. The established principle of not moving kelp plants between ecoregions was supported since different population genetic structures for sugar kelp were identified across ecoregions.

Recommendations for a management strategy: This report contains recommendations for a management strategy for future monitoring of kelp cultivation facilities. There are still significant knowledge gaps on the environmental effects of kelp cultivation, including the significance of season, latitude, and location. If kelp cultivation develops into a large-scale industry, further studies of environmental effects on the seafloor, spread of species and of genetic material are recommended to ensure a sustainable industry.

1 Introduksjon

Taredyrking er foreløpig en liten industri i Norge, men en rapport om verdiskaping fra marine ressurser antar at taredyrking i Norge har potensiale til å utvikle seg til en produksjon på 4 mill. tonn høstet tare per år i 2030 og 20 mill. tonn i 2050 (Olafsen m.fl. 2012). Det foreligger imidlertid begrenset informasjon om miljøkonsekvenser av kommersiell taredyrking både i Norge og internasjonalt, og om hvilke effekter, positive som negative, dette kan få for marine økosystemer og annen næringsaktivitet (Hancke m.fl. 2018). Det er derfor fortsatt behov for mer kunnskap, noe som støttes av bredden av forsoningsaktører på feltet (Hancke m.fl. 2018, Norderhaug m.fl. 2020). En kartlegging og kunnskapsbasert evaluering av mulige miljøpåvirkninger er vesentlig for en bærekraftig utvikling av næringen slik at forvaltningen kan få et redskap til å forhindre uakseptable miljømessige omkostninger ved en voksende industri.

Gjennom forskningsprosjektet KELPPRO, «Kelp industrial production: Potential impacts on coastal ecosystems» (www.kelppro.net, 2017-2020), finansiert av Norges forskningsråd, er en rekke miljøpåvirkninger undersøkt, og resultatene peker på hvilke av disse som kan ha størst konsekvenser. Kunnskapen representerer et vitenskapelig grunnlag for å utvikle et overvåkingsprogram som kan følge næringsutviklingen og sikre en fremtidig bærekraftig industri, også ved en voksende produksjon, både på den enkelte lokalitet, regionalt og nasjonalt. KELPPRO-prosjektet har hatt fokus på tre hovedområder:

- 1) miljøpåvirkninger av taredyrking på havbunnen,
- 2) miljøpåvirkninger av taredyrking på livet i vannsøylen, og
- 3) taredyrkingsanleggets funksjon som «kunstig habitat» og risikoen for spredning av fremmede arter.

Formålet med denne rapporten er å formidle resultatene fra KELPPRO-prosjektet på en kortfattet måte for forvaltningen, industrien og andre med interesse innen taredyrking, samt å etablere et kunnskapsbasert grunnlag for utvikling av et overvåkingsprogram for taredyrkingen som kan sikre en bærekraftig fremtid for næringen.

2 Bakgrunn

I Norge er det etablert omfattende erfaring med forvaltning av fiskeoppdrett, inklusiv utvikling av metoder og rutiner for overvåking av miljøeffekter. Taredyrking skiller seg imidlertid på en rekke områder vesentlig fra lakseoppdrett.

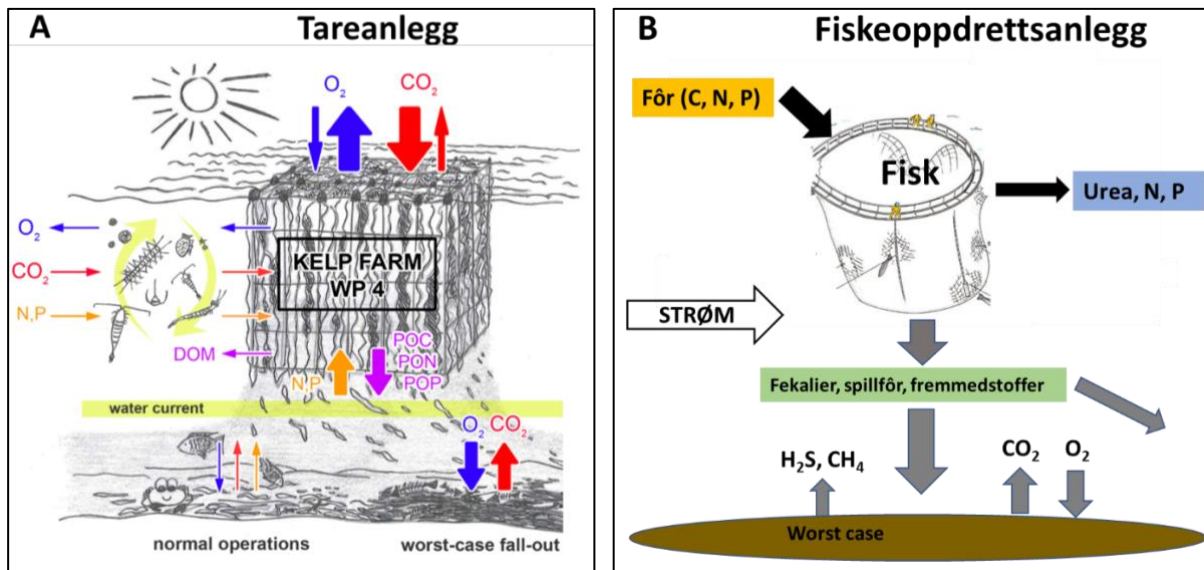
Tare i oppdrettsanlegg frigir organisk materiale og karbon i løst og i partikulær form (**Figur 1**). Dette skjer ved naturlig erosjon av tarebladene samt via fragmentering og tap av hele planter (Krumhansl & Scheibling 2012, Fieler m.fl. innsendt 2020). Potensielt kan tap av hele biomassen i et anlegg forekomme som følge av produksjonsfeil, storm eller tilsvarende. Mengden frigitt partikulært materiale øker med vekstsesongen og tarepartiklene føres med strømmen før de avsettes på havbunnen. På bunnen kan tarerestene utgjøre en matressurs for bunnlevende fauna, sammen med

organisk biomasse fra naturlig planteplankton og tareskog (Renaud m.fl. 2015). Dette kan representere en positiv effekt på livet på havbunnen. Dersom tilgangen av organisk materiale og næringsstoff derimot er for stor, kan det føre til overbelastning med økt mikrobiell aktivitet og oksygenmangel, og i verste fall forsvinner bunnfaunaen (Pearson & Rosenberg 1978, Kutti m.fl. 2007). 'Vippepunktet' for om tilførsel av taremateriale påvirker positivt eller negativt avhenger av tilført mengde og fysiske forhold, som vannutskifting og temperatur. Den andelen av taren som eroderes og som ikke blir fordøyd eller mikrobielt nedbrutt kan bli langtidslagret på havbunnen. Da langtidslagres det organiske karbon i havbunnen og prosessen bidrar til netto fangst av karbondioksid (Krause-Jensen & Duarte 2016, Frigstad m.fl. 2021).



Figur 1. Dyrket sukkertare (*Saccharina latissima*) på liner, fritthengende i vannet på omtrent 3 meters dyp. Midt-Norge. Foto: NIVA/K. Hancke, april 2018.

Tare er store makroalger (Laminariales, Phaeophyceae), som tar opp uorganisk nitrogen, fosfor og CO₂ fra sjøen til syntese av organisk stoff, som karbohydrater, ved hjelp av energi fra sollys. I prosessen frigis oksygen (**Figur 2A**). Tare i anlegg konkurrerer om disse næringsstoffene med naturlig mikro- og makroalger, og det har derfor vært spekulert i om dyrking av tare vil kunne senke konsentrasjonen av næringsstoff i sjøen til under et kritiske nivå for naturlig forekommende planteplankton eller tareskog. En slik situasjon ville potensielt kunne minske den naturlige primærproduksjonen og gi negative påvirkninger på økosystemtjenester og tilgjengeligheten av kommersielle fiskeslag (Gundersen m.fl. 2016, Hancke m.fl. 2018). Alternativt vil taredyrking kunne motvirke negativ eutrofiering, og bidra som verktøy innen bioremediering av næringsstoffbelastede områder.



Figur 2. Prinsippskisse som viser forskjeller mellom tare- og fiskeoppdrett. A: Taredyrkingsanlegg tar opp uorganisk nitrogen (N), fosfor (P) og karbondioksid (CO_2) fra sjøen til syntese av organisk stoff (tarebiomasse), ved hjelp av energi fra sollys. Tare i vekst produserer oksygen (O_2) og eksporterer erodert biomasse som partikulært organisk stoff inneholdende karbon (POC), nitrogen (PON) og fosfor (POP), hvorav en del av de opptatte næringsstoffene tilbakeføres til vannmassene. Taredyrkingsanlegg har dermed et negativt nettoutslipp. B: Fiskeoppdrettsanlegg tilsettes fiskefôr som inneholder karbon (C), N og P. En andel av disse næringsstoffene frigis til det omkringliggende miljøet enten som fôr som ikke blir spist eller gjennom fekalier som synker ned under anleggene. Fiskeoppdrettsanlegg har dermed et positivt nettoutslipp.

Et fiskeoppdrettsanlegg slipper ut fôrpartikler og komponenter som partikulært og løst karbon, urea, ammonium og fosfat til omgivelsene (**Figur 2B**). En betydelig del av karbonet er partikulært og eksporteres som fekalier og fôrspill (Wang m.fl. 2013). Organiske partikler fra både fiskeoppdretts- og taredyrkingsanlegg vil enten synke til bunns i nærheten av anlegget eller spres til større områder, alt avhengig av strøm- og dybdeforholdene på lokaliteten og synkehastigheten på partiklene. I og med at synkehastigheten er forskjellig på de partikler som eksporteres fra henholdsvis fiskeoppdretts- og taredyrkingsanlegg vil det være betydelig forskjell på hvor og hvor mye organisk materiale som bunnfeller under og rundt de to ulike typer anlegg. Partikulært materiale fra tareanlegg har lavere synkehastighet og vil generelt transporteres lengere enn partikulært materiale fra fiskeoppdrettsanlegg.

Fiskeoppdrettsanlegg slipper også ut fremmedstoffer, som for eksempel kobber, fra impregnering av nøter, og av og til også medikamenter. Tareanlegg har så langt ingen utslipp av fremmedstoffer.

Taredyrking bidrar dermed totalt sett med negative næringsstoff utslipp gjennom opptak og høsting av biomasse. Et lakseanlegg fungerer motsatt, det frigir næringsstoffer til det omkringliggende miljø som fôr som ikke er spist eller gjennom fekalier som synker ned under anleggene. De to formene for oppdrett skiller seg også vesentlig i kravene til lokalitet. Fiskeoppdrett er mer arealeffektiv, men fører til en større tilførsel av organisk stoff på havbunnen og det omkringliggende nærmiljøet enn taredyrkingsanlegg. **Tabell 1** presenterer likheter og forskjeller mellom taredyrkings- og fiskeoppdrettsanlegg i enheter tonn produsert biomasse samt arealkrav, for henholdsvis små, mellomstore og store anlegg. Per i dag finnes det i Norge bare taredyrkingsanlegg i kategorien 'små

anlegg'. Forskjeller i fysiske forhold og miljøpåvirkning mellom taredyrking og fiskeoppdrett er vist i **Tabell 2**.

Tabell 1. Produksjon av biomasse og tilhørende arealbehov for små, mellomstore og store taredyrkingsanlegg og fiskeoppdrettsanlegg. Definisjonene som gjelder taredyrkingsanlegg er utviklet i KELPPRO-prosjektet som en del av arbeidet med skalering av miljøpåvirkninger (se avsnitt 5). Per i dag finnes det i Norge bare taredyrkingsanlegg i kategorien 'små anlegg'. Definisjonene som gjelder fiskeoppdrettsanlegg er hentet fra Fiskeridirektoratet (Fiskeridirektoratet A).

	Små anlegg	Mellomstore anlegg	Store anlegg
Tare biomasse (tonn høstet per år)	30 - 300	1 000 - 3 000	10 000 - 30 000
Tare areal (ha)	0,4 - 4	13 - 40	133 - 400
Laks biomasse (tonn produsert per år)	700 - 2 500	2 500 - 5 000	5 000 - 12 000
Laks areal (ha)*	1 - 3	3 - 6	6 - 14

*Målt som areal av rammefortøyning

Tabell 2. Forskjeller i fysiske forhold og miljøpåvirkninger mellom taredyrking og fiskeoppdrett.

FYSISKE FORHOLD			
		Tare	Laks
Lokalitet	Arealkrav	Stort arealkrav ift. produksjon	Middels
	Dybde	Mer enn 10 m dybde	Mer enn 40 m dybde
	Hydrografi	Moderat strøm	Middels, god spredningsstrøm
Partikulært utslipp	Synkehastighet	Lav synkehastighet	Høy synkehastighet
	Transportavstand	Lange avstander	Mest kort, noe middels
	Spredning	Lokalt og «regionalt»	Lokalt fotavtrykk
MILJØPÅVIRKNING			
		Tare	Laks
Utslipp	N og P	Opptak	Utslipp
	Karbon (partikulært)	Liten	Stor
Økologisk effekt	Pelagisk virkning	Liten	Liten/middels (lakselus)
	Bunnpåvirkning	Liten	Stor
	Tiltrekning av organismer	Stor	Middels
	Genetisk påvirkning	Potensielt mulig	Liten ved kontroll av rømming
	Kunstig habitat	Vesentlig	Liten

3 Naturlige tareskogsøkosystemer

Seks arter av tare er naturlig forekommende langs Norges kyst. Særlig sukkertare og stortare danner store 'skoger' under havoverflaten, så langt ned som lyset rekker, det vil si ned til ca. 30 meters dyp. Disse skogene utgjør viktige habitater (leveområder) for et stort antall organismer, inkludert evertebrater som f.eks. krepsdyr og bløtdyr, samt fisk (**Figur 3**). Kunnskap om store lokale og regionale endringer og variasjoner i tid og rom av tareskogene vil bidra med viktig informasjon om interaksjoner mellom det naturlige miljøet og taredyrking, inkludert naturlig spredning av arter og genetisk materiale, samt for mulighet for å finne morplanter til dyrking.

På samme måte som det er viktig å se taredyrking i et perspektiv opp mot fiskeoppdrett, er det viktig å forvalte taredyrking i relasjon til de naturlige kystøkosystemene, og særlig tareskogøkosystemene. Tareskoger dannes av stortare i områder med mye vannbevegelse og av sukkertare i mer bølgebeskyttet farvann. Butare og fingertare vokser også der det er god vannbevegelse, men har mer begrenset forekomst. Disse artene vokser langs hele norskekysten, med unntak av butare som ikke finnes på Skagerrakkysten. I dag er sukkertare den arten som er mest benyttet til dyrking. Butare er også i produksjon, mens produksjon av fingertare og noen få andre mindre rød- og grønnalger har vært foreslått.

Norskekysten strekker seg over 13 breddegrader, og med mange tusen fjorder, øyer, holmer og skjær danner dette en kystlinje med substrat til å huse godt over 100 millioner tonn tare (Gundersen m.fl. 2011). Tareskogene er høyproduktive, og mye av den produserte biomassen transporteres ut på dypere vann der det meste går inn i næringskjedene og noe langtidslagres i sedimentene (Frigstad m.fl. 2021). Tarekarbon kan være en viktig næringskilde for bunndyr, særlig i sesonger der nedsynking av planteplankton er lav. Imidlertid er tareskogene utsatt for ulike trusler og det foregår store endringer i forekomst som kan ha betydning for hvordan taredyrking kan interagere med det naturlige miljøet. På Sør- og Vestlandet er særlig sukkertareskoger utkonkurrert av påvekst- og trådalger (Moy & Christie 2012). Dette fører til lavere produksjon og mindre transport av naturlig produsert tare ut på dypet. Påvirkningsfaktorer som klima kan føre til en naturlig seleksjon hvor bare de genetisk robuste individene eller stammene overlever og sprer seg videre.



Figur 3. Naturlig sukkertareskog (venstre) og stortareskog (høyre). Begge arter danner store skoger under havoverflaten, ned til ca. 30 meters dyp, og gir levesteder til et stort biologisk mangfold av bla. krepsdyr, bløtdyr og fisk. Foto: NIVA/H. Christie (venstre) og J.K. Gitmark (høyre).

I Nord-Norge har store arealer tareskog blitt fullstendig nedbeitet av en ekstrem oppblomstring av kråkeboller, noe som har ført til at flere titalls millioner tonn tareskog har vært fraværende i ca. 50 år (Norderhaug & Christie 2009, Gundersen m.fl. 2011). I den anledning har det blitt diskutert om slike områder vil kunne bli positivt påvirket av taredyrking ved at tareanlegget kan fungere som en «kunstig tareskog» som bidrar til økt biologisk mangfold i området. De siste ti-årene har det skjedd en gradvis gjenvekst av naturlig tareskog fra Trøndelag og over 600 km nordover. Siden sukkertare har meget god spredningsevne (Christie m.fl. 2019) er det mulig at stammer fra Trøndelag kan spre seg gradvis nordover. Slike store skiftninger i tareskogenes dynamikk har stor betydning for den naturlige nedsynking av taremateriale, men også for spredning av genetisk materiale og for alle de organismene som hører hjemme i tareskogene. En kartlegging av naturlig tare og andre habitater i områder som er aktuelle for taredyrking vil gi informasjon av betydning for vurdering av konsesjon og overvåking.

4 Resultater fra KELPPRO-prosjektet

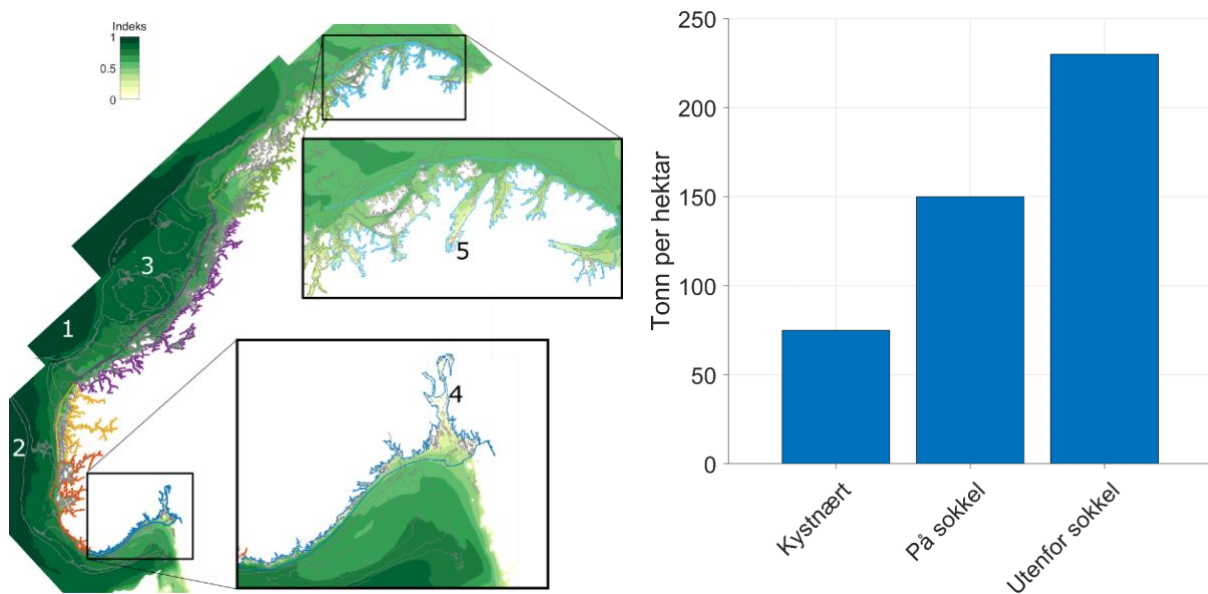
4.1 Potensialet for tare dyrking i Norge

En av oppgavene i KELPPRO var å undersøke potensialet for tare dyrking i havområdene langs norskekysten. Til dette ble det brukt en koblet biofysisk havmodell, SINMOD, med en tarevekstmodul. Forsøk har vist at det er mulig å dyrke tare langs stort sett hele norskekysten, men også at forutsetningene varierer en del (Forbord m.fl. 2020). SINMOD simulerer blant annet temperatur, vannstrøm, saltholdighet, næringssaltkonsentrasjoner og lysintensitet i havet, som alle er relevante faktorer for tarevekst. I tillegg blir vekselvirkninger mellom de laveste nivåene i den marine næringskjeden simulert. Basert på dette beregner vekstmodellen tares vekst, biomasse og kjemisk sammensetning av sukkertare.

Modellen ble brukt til å gjennomføre beregninger for fire dyrkingssesonger med utsett om høsten (september) og om vinteren (februar), og "innhøsting" i juni. Fra beregningsresultatene ble det utarbeidet en indeks som sammenligner dyrkingspotensialet på ulike steder (**Figur 4a**) (Broch m. fl. 2019). Resultatene tyder på et økende potensial når en beveger seg ut fra kysten. Dette har sammenheng med høyere næringssaltkonsentrasjoner over lengre perioder, bedre lysgjennomtrengning i vannet, samt mer stabile temperaturer enn inne ved kysten (og i fjordene). Det er imidlertid en del kystnære områder som peker seg ut som spesielt gode, for eksempel nord for Frøya og i Frohavet i Trøndelag. Dessuten viser resultatene at den beste vekstperioden er rundt to måneder tidligere i Skagerrak enn i Barentshavet, noe som også dyrkingforsøk delvis har bekreftet (Forbord m.fl. 2020).

Indeksen sammenligner det grunnleggende biologiske potensialet for dyrking på ulike steder *under ellers like betingelser*. Det er ikke tatt hensyn til dyrkingsteknologi eller andre produksjonsvalg som selvfølgelig vil påvirke det faktiske potensialet. Ved å gjøre visse antagelser om produksjonen kan vi også si noe om hvor mye sukkertare som kan dyrkes per arealenhet, igjen under ellers like betingelser. Innenfor grunnlinjen ligger potensialet i snitt på 75 tonn våtvekt per hektar per år, mens det i store områder utenfor grunnlinjen er dobbelt så høyt (**Figur 4b**). Beveger vi oss utenfor kontinentalsokkelen er potensialet enda større. Til sammenligning er den gjennomsnittlige høstingseffektivitet av tare (*Saccharina japonica*) kystnært i Kina høy, og ligger på rundt 160 tonn våtvekt per hektar per år (Zhang m.fl. 2015).

Det er predikert at Norge kan komme til å produsere 20 millioner tonn tare årlig frem mot 2050 (Olafsen m.fl. 2012). Dette vil i så fall kreve et areal på rundt 2700 km² innenfor grunnlinjen eller 1400 km² utenfor grunnlinjen. Allerede på de lokalitetene det var gitt tillatelse til tare dyrking i desember 2018, kan det dyrkes opp mot 40 000 tonn våtvekt tare. Dette tallet er beregnet ved å addere maksimalt tillatt biomasse for alle tillatelsene som er tildelt og legge til modellberegnet maksimal biomasse for de tillatelsene som er tildelt et bestemt areal.



Figur 4a) (venstre): Modellert tare dyrkingspotensiale langs norskekysten; jo mørkere grønt jo høyere potensial for biomasseproduksjon. **b)** (høyre): Gjennomsnittlig årlig produksjonspotensial kystnært (innenfor grunnlinjen, vist som tynn linje i kartet til venstre), på kontinentalsokkelen (område 3 i kartet til venstre) og for enkelte områder utenfor kontinentalsokkelen (områdene 1 og 2 i kartet til venstre).

4.2 Miljøpåvirkninger på havbunnen

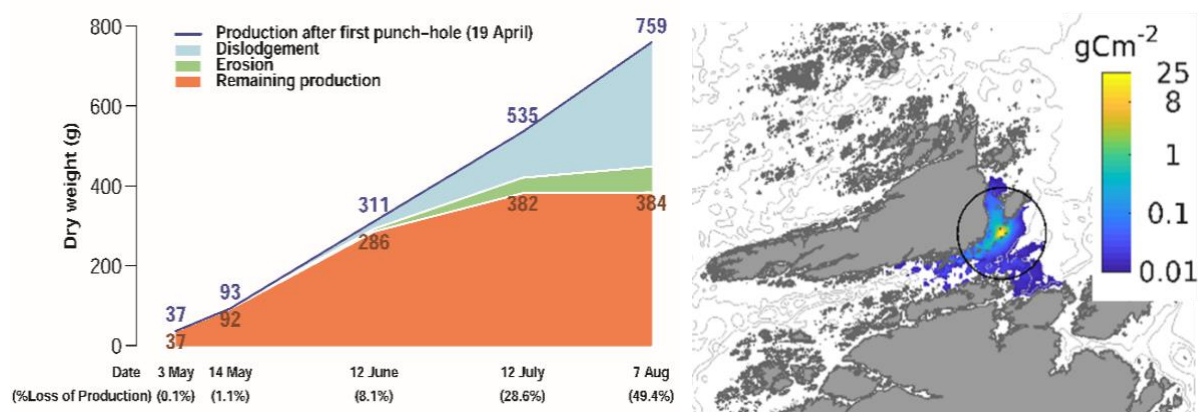
Tarebiomasse som eksporteres fra tareanlegg

Ved dyrking av tare eksporterer et tare dyrkingsanlegg kontinuerlig organisk stoff til sine omgivelser. Dette skjer via et naturlig tap (slitasje) av den ytterste del av tarebladet, eller ved at deler av eller hele tareplanter løsrives (Krumhansl & Scheibling 2012, Zhang m.fl. 2012). Disse partikkelene, som består av partikulært organisk materiale, føres med strømmen og deponeres etter hvert på havbunnen. Mengden av tare som eksporteres fra et dyrkingsanlegg er beregnet for Trøndelag og Troms og resultatene viser at tapet øker i løpet av vekstsesongen. Gjennom de første månedene tapes mindre enn 5 % av biomassen, mens det ved tidspunkt for høsting (april-juni avhengig av breddegrad) vil være et tap av organisk materiale til omgivelsene tilsvarende 8-13 % av høstet biomasse (**Figur 5a**, Fieler m.fl. innsendt 2020). Hvis ikke taren høstes, øker tapet (eksporten) av biomasse, og mot sensommeren øker tapet til ca. 50 % (målinger fra august i Trøndelag). Etter hvert tapes hele biomassen fra anlegget. Ved normal drift tilsvarer tapet av tarebiomasse en eksport av organisk materiale på 630-880 kg C per ha per år (63-88 g C per m² per år). KELPPROs undersøkelser viser at det å finne det best mulige tidspunktet for høsting er det beste verktøyet for å begrense tap av organisk materiale fra tareanlegg.

Mengde og tetthet av tare som legger seg på havbunnen

Tare som eksporteres fra tareanlegg legger seg kun i liten grad rett under anlegget, men spres gjerne 'tynt' over store områder, avhengig av hvor anlegget er plassert. Eksporterte partikler synker med ulik hastighet avhengig av partikkelstørrelse, og deponeres på havbunnen etter alt fra timer til uker, avhengig av dyp, bølgeeksponering og strømmønster. Ved bruk av numeriske modeller har KELPPRO vist at partikler fra tareanlegget deponeres over et relativt stort område, fra rett under anlegget til flere kilometer unna (**Figur 5b**). Hvor langt materialet transporteres avhenger av bunntopografien og

strømforholdene. I eksempelet i **Figur 5b** legger 90 % av materialet seg på bunnen innenfor 4 km fra anlegget. Et par kilometer fra anlegget deponeres materialet i tettheter av størrelsesorden <1 g karbon per m^2 . Hvordan materialet spres er uavhengig av totalproduksjonen. I **Figur 5a** er det antatt en høy produksjon per arealenhet på 100 tonn frisk tare per hektar. Mengden organisk karbon fra tareanlegget som avsettes på havbunnen varierer i størrelsesorden fra mg til g karbon per m^2 per år, avhengig av anleggsstørrelse og avstand fra anlegget. Denne type modelleringer gjør det altså mulig å kvantifisere deponeringen av tare og karbon på havbunnen for ulike anleggsstørrelser og plasseringer, og er et viktig verktøy i videre vurdering av effektene av tare dyrking på marine økosystemer. Tallene over gjelder ikke nødvendigvis for norskekysten generelt, men illustrerer det spesifikke eksempelet vist i **Figur 5b**.



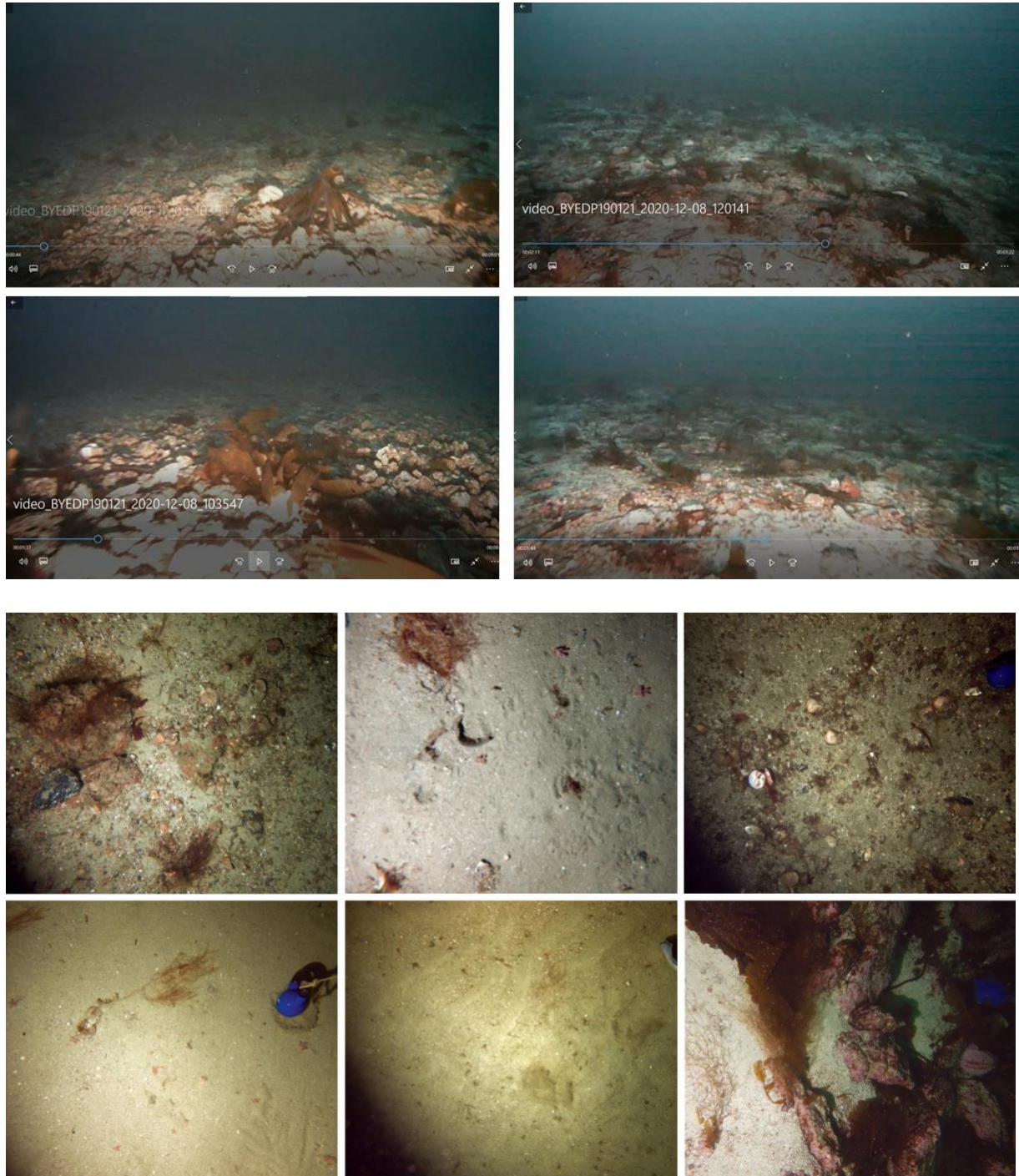
Figur 5a (venstre): Målt produsert, tapt, erodert og gjenværende tarebiomasse (g tørrvekt tare) mot tid i vekstsesongen (Fieler m.fl. innsendt 2020). Prosenttallene nederst angir % av vekst som er tapt biomasse. **b)** (høyre): Simulert romlig spredning av partikulært karbon på havbunnen (g karbon per m^2) fra Seaweed Solutions (SES) sitt tare dyrkingsanlegg ved Frøya i Trøndelag (lokalisert i midten av den sorte sirkelen). Simulert høstbar produksjon på 3000 tonn våtvekt tare ga et tap på 260 tonn fersk tare, tilsvarende ca. 9 tonn karbon, i perioden april-juni, hvorav 90% havnet innenfor en radius på 4 km (den sorte sirkelen).

Antall og sammensetning av fauna på bunnen (biodiversitet)

Tarebiomasse som kommer fra tare dyrkingsanlegget og avsettes på havbunnen vil enten bli spist og nedbrutt av faunaen som lever der, eller nedbrutt mikrobielt under enten oksiske eller anoksiske forhold. Dermed vil taren ha funksjon enten som matkilde, som stimulerer til vekst av bunndyr og fisk, eller den kan være trussel for små og store dyr som lever i eller på havbunnen, om ikke systemet har tilpasset kapasitet til å spise og omsette mengden som avsettes. KELPPRO har konkludert med at ved normal drift, for et anlegg av den størrelsen vi finner i Norge i dag, er effekten av tapt tare fra anlegg minimal. Undersøkelsene har ikke dokumentert effekter på lokale faunasamfunn, hverken tett på (mindre enn 100 m) eller lenger vekk (mer enn 1 km) fra anlegg (Borgersen m.fl. under arbeid).

Figur 6 illustrerer ulike sandholdige bunntyper og forhold i nærheten av Seaweed Solutions sitt anlegg ved Frøya, hvor mindre partikler av tare kan ses på havbunnen. 'Worst-case'-scenarier ble undersøkt ved aktivt å plassere en stor mengde tare på havbunnen (>8 kg frisk tare per m^2) for å simulere havari av et tareanlegg. Havari kan skje for eksempel som følge av en storm eller annen funksjonsfeil som gjør at store mengder tareplanter rives løs og faller ned på bunnen. Disse forsøkene viste en betydelig reduksjon i biodiversiteten (antall arter i sedimentet under taren), men en økning i antallet av individer for enkelte arter. De få artene som økte i antall var arter som er kjent

for å være tilpasset oksygenfattige bunnforhold og har toleranse for hydrogensulfid, noe som er giftig for de fleste bunnlevende evertebrater og fisk. Mengden tare som skal til for å 'tippe' effekten av tarenedfall fra å være matkilde til å være en trussel for havbunnens faunasamfunn har det ikke vært mulig å kvantifisere i disse studier og vil kreve mer detaljerte undersøkelser.



Figur 6. Ulike bunnforhold med fragmenter av løserevet og eksportert tare, fra havbunnen under Seaweed Solutions sitt anlegg ved Frøya (de fire øverste bildene) og fra områder lenger vekk fra anlegget (omkring 1 km, de seks nederste bildene). Både naturlig voksende tare og tarefragmenter kan ses i bildene. Foto: NIVA/K. Hancke & G. Borgersen.

Konsum- og nedbrytningstiden av tare på bunnen

Nedbryting av tare på havbunnen er en kombinert prosess av konsumering fra fauna og mikroorganismers nedbryting. Et tilsetningsforsøk hvor et 10 cm tykt lag med tare (>8 kg frisk tare per m²) ble deponert på havbunnen, viste rask nedbryting av frisk biomasse av sukkertare (*S. latissima*). Mer enn 50 % av tarebiomassen forsvant etter bare 2 uker, nedbrutt, spist eller fjernet av strømmen som små partikler, og mer en 90 % var borte etter 3 måneder (Hancke m.fl. under arbeid). Supplerende laboratorieforsøk på innsamlede sedimentkjerner, som ble tilsatt ulike mengder av fersk tare under ulike forhold, ble anvendt til å vurdere havbunnens kapasitet til å nedbryte organisk stoff fra tare, samt studere betydningen av tilgjengeligheten av oksygen, vanntemperatur, og om det var forskjell i respons mellom ulike arter av tare (**Figur 7**). Undersøkelsene viste at butare (*Alaria esculenta*) har en lengre nedbrytningstid enn sukkertare (*S. latissima*), og at dette antageligvis skyldes forskjellene i den kjemiske sammensetning av de to tareartene. Det ble også vist en tydelig respons av temperatur, der nedbrytningen gikk langsommere ved lavere temperaturer. Mikroorganismenes kapasitet til å bryte ned tare viste ikke tegn på metning, noe som betyr at det mikrobielle samfunn var i stand til å omsette enda større mengder tare enn tilsatt. Nedbrytingsforsøk under oksygenfrie forhold medførte en betydelig produksjon av hydrogensulfid, som er giftig for fisk og ulike bunndyr (Boldreel 2020).



Figur 7. Kjerneprøver av havbunnen, også kalt sedimentkjerner, fra en storskala undersøkelse av hvilke miljøpåvirkninger et havari på et toreanlegg ('worst-case'-scenarium) kan ha på bunnfauna og den mikrobielle omsetning av organisk taremateriale. Prøvene der ble tatt under den deponerte tare på havbunnen viste tegn på anoksiske forhold og sulfid produksjon (høyre) sammenlignet med prøver tatt i et kontrollområde uten tare og med oksygenrikt bunnvann (venstre). Forsøket ble utført ved NIVAs forsøksstasjon Solbergstrand i Oslofjorden. Foto: NIVA/K. Hancke.

4.3 Miljøpåvirkninger på livet i de åpne vannmasser

Påvirkninger på planteplanktonet og det planktoniske økosystemet

KELPPRO hadde som delmål å avklare mulige positive eller negative miljøinteraksjoner av taredyrking på planteplanktonet, og med dette hele den pelagiske næringskjeden. I perioden etter våroppblomstringen til høstomrøring (sommersituasjonen) er næringssalter normalt begrensende

resurser for planteplanktonet i kystvann, mens lys og karbondioksid er i overskudd. Det er derfor mest nærliggende å tro at taredyrking kan påvirke tilgangen av næringsressurser til planteplanktonet og indirekte også produksjonen i den pelagiske næringskjeden opp til høstbare fiskeressurser.

Mikroalger har et langt mer effektivt opptak av næringssalter enn sukkertare. Vanlige mikroalger i planteplanktonet tar opp nitrat med maksimal hastighet allerede ved nitratkonsentrasjoner så lave som 1 μM (Eppley m.fl. 1969). Sukkertare når ikke et slikt effektivt opptak selv ved konsentrasjoner så høye som 20 μM nitrat, som er det dobbelte av konsentrasjonen i overflatevann i vinterperioden (Forbord m.fl. 2021). Halvmetningskonstanten for opptak av nitrat til sukkertare er >40 ganger høyere enn den for relevante arter av mikroalger i planteplanktonet. Typiske nitratkonsentrasjoner i sommerperioden viste seg å være 0,5 μM , noe som støtter en veksthastighet tilsvarende 1-2% av den maksimale veksthastigheten til sukkertare (Njåstad m.fl., under arbeid A), mens mikroalger kan vokse ved nær maksimal hastighet. Sukkertaren som dyrkes vil da oppleve sterk næringsbegrensing, mens de naturlige populasjoner av mikroalger i sjøvannet i store trekk vil være upåvirket.

Konklusjonen er i overensstemmelse med de lave verdiene av næringssalter og biomasse til planteplanktonet i overflatevannet (0-10 m) i taneanlegget. Disse omfattet næringssaltkonsentrasjoner (nitrat, ammonium, fosfat), partikulær næring (N og P) og klorofyll *a* i vannet gjennom vekstsesongen. Dette brede settet av indikatorer for økologisk tilstand til overflatevann i taneanlegget viste samme nivå som for to nærliggende stasjoner i Frohavet utenfor og for andre lokasjoner (Olsen m.fl. 2014a, Olsen m.fl. 2014b). Det ble også vist at indikatorverdiene var like i vannet som strømmet inn og ut av taneanlegget på Frøya gjennom hele vekstsesongen. Analysene av partikulært N og P viste at planteplanktonets næringsstatus for dyreplankton var upåvirket i begge forsøkene, noe som også er viktig for virkningene på høyere trofisk nivå.

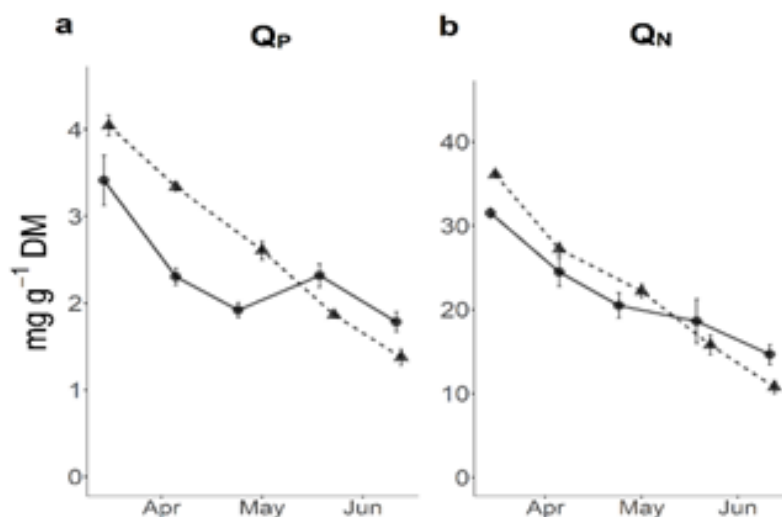
Analysene av økologisk tilstand i vannet viste at et taneanlegg ikke påvirket planteplanktonet i vannmassene negativt. Konklusjonen er uavhengig av taneanleggets størrelse, fordi den primære mekanismen er konkurranse om næringssalter. Sukkertare utkonkurreres av mikroalger i planteplanktonet fordi disse har et langt mer effektivt opptak av næringssalter. Mikroalgene i planteplanktonet bringer næringssaltkonsentrasjonene i vannet ned til nivåer der sukkertarens opptak blir tilnærmet null.

Næringsbegrenset planteplankton har et effektivt opptak av næringssalter også i mørke. Lystilgangen kan reduseres for planteplanktonet under et taneanlegg, men dette vil ikke ha noen betydning for planteplanktonets vekst om planteplanktonets opphold i anlegg strekker seg over flere dager.

Konklusjonen om at planteplanktonet ikke påvirkes negativt støttes av målingene som viste at sukkertaren ble sterkt næringsbegrenset utover i sommerperioden og at dødeligheten økte (se nedenfor). Konklusjonene gjelder for sukkertare. Det er sannsynlig at andre store brunalger, som butare (Njåstad m.fl. under arbeid B) har de samme egenskapene, men for andre algegrupper må dette verifiseres.

Hvordan kan planteplanktonet påvirke produksjonen og kvaliteten av sukkertare i sommerperioden?

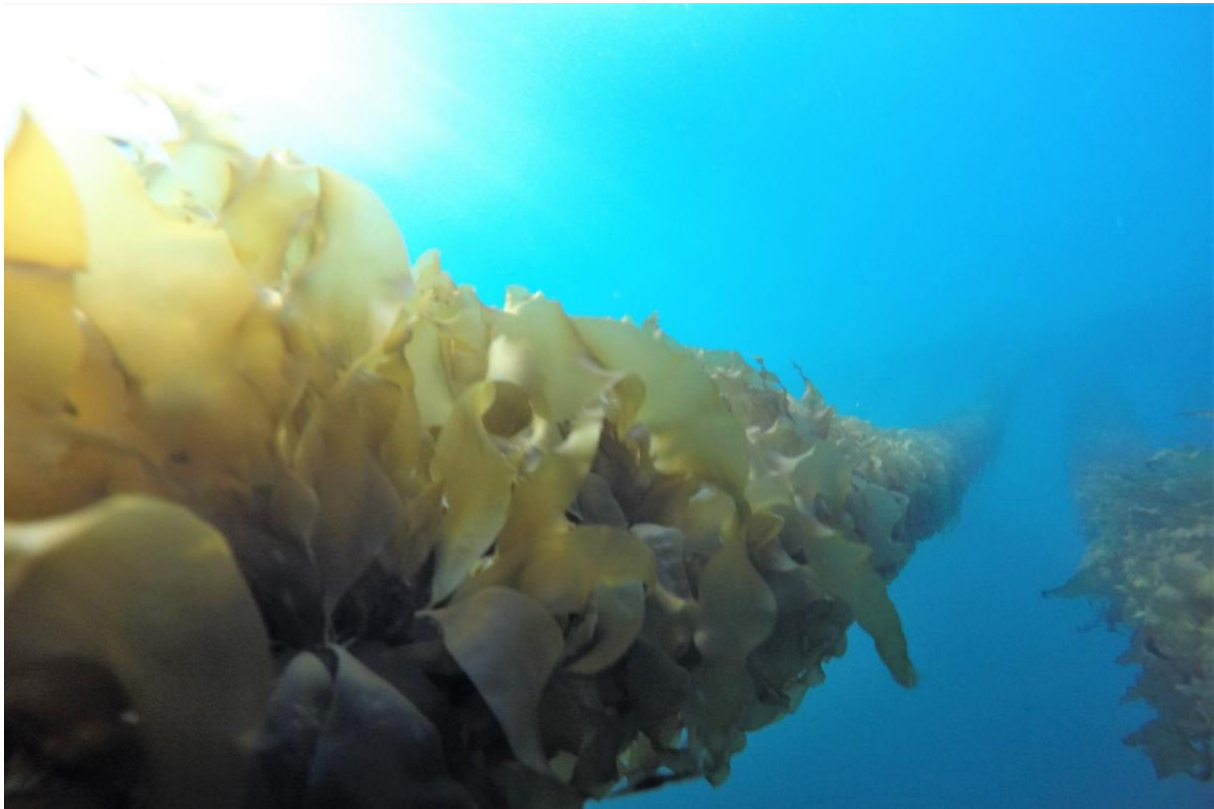
Planteplanktonet vinner som vist ovenfor konkurransen om næringssaltene, og det er en nødvendig følge at produksjonen av tare med dette påvirkes negativt. Tarens innhold av N og P i biomolekyler reflekterer dens næringsstatus og veksthastighet (Jevne m.fl. 2020). Innholdet av N og P per tørrstoff var høyt tidlig i sesongen og svært lavt i perioden mai-juni (Njåstad m.fl. under arbeid A). Sukkertaren vokste sakte i denne perioden (~2% per dag), og innholdet av N og P i taren ble redusert med samme hastighet (**Figur 8**). Dette viser at veksten i denne perioden var basert på internt N og P, det vil si at tilstrekkelige mengder N og P for å understøtte veksten ble mobilisert fra intracellulære kilder og ikke gjennom opptak fra vannet. Dette er i overensstemmelse med at konsentrasjonen av uorganisk nitrogen i vannmassene i hele perioden var så lav som 0,5 µM. Sukkertaren har ikke evne til effektivt opptak av nitrat ved så lave konsentrasjoner i vannet, og et netto opptak må ha vært tilnærmet null (Forbord m.fl. 2021). Tilsvarende resultater med lavt innhold av N og P i sukkertare i sommerperioden er funnet i en tidligere norsk regional studie (Forbord m.fl. 2020) og i innledende forsøk med butare (*Alaria* sp., Njåstad m.fl. under arbeid B).



Figur 8. Innhold av fosfor (P, figur a) og nitrogen (N, figur b), som mg per g tørrstoff i dyrket sukkertare (*Saccharina latissima*), gjennom vekstsesongen 2018. Taren ble 'sådd' ved to ulike tidspunkter, i henholdsvis august 2017 (stiplet linje) og januar 2018 (heltrukken linje). Verdier er vist som gjennomsnitt ±1 SE. (Fra Njåstad m.fl. under arbeid A).

Forsøkene viste at sukkertarens innhold av N og P var nær et antatt minimum i slutten av perioden. Taren var da sterkt næringsbegrenset, og en økende dødelighet var sannsynlig utover i sommerperioden. Det er vanlig å anta at veksten til sukkertare i anlegget i sommerperioden reduseres gjennom påvekst av mosdyr. Resultatene i KELPPRO indikerer at koloniseringen av mosdyr like gjerne kan være en sekundær effekt av ekstrem næringsmangel med forhøyet dødelighet og redusert motstandskraft til taren. En mulig sammenheng mellom ekstrem næringsmangel og påvekst av mosdyr må understøttes gjennom nye forsøk og andre taregrupper kan være forskjellige fra store brunalger som sukkertare.

Perioden fra etter våroppblomstringen til høstomrøringen vil normalt være kortere i nordlige enn i sørlige regioner (Forbord m.fl. 2020). Dette vil redusere tidsperioden med mulig næringsbegrensning i nordlige regioner sammenlignet med sørlige. Resultatet kan derfor bidra til å forklare at sukkertare synes å være bedre tilpasset miljøforholdene i nordlige regioner av Norge enn i sørlige, dette selv om en næringsbegrenset vekst er reell også i nordlige regioner (Forbord m.fl. 2020).



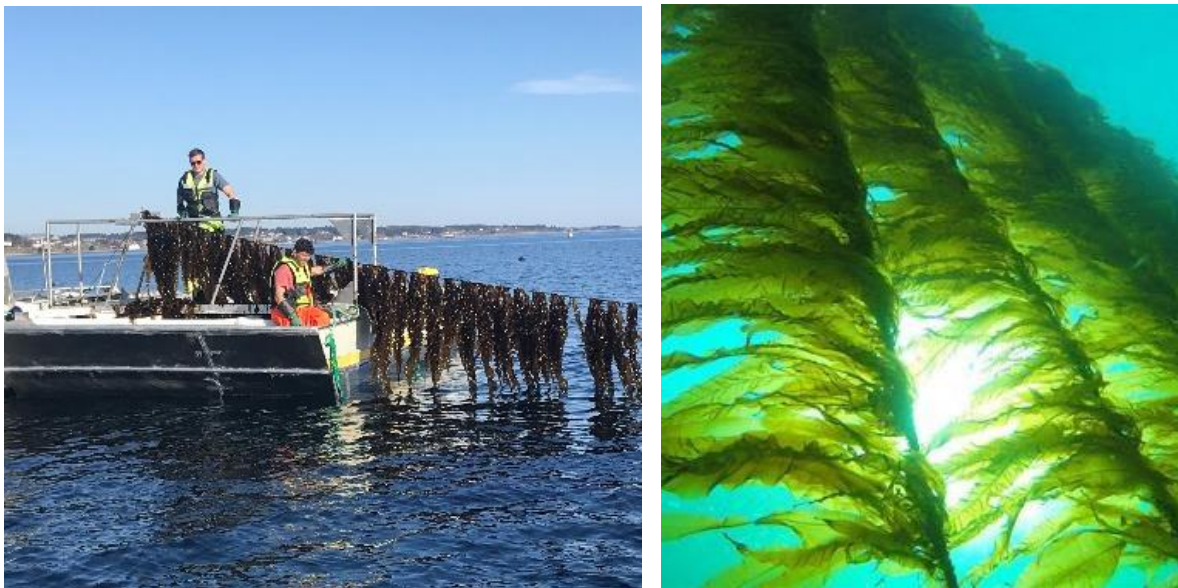
Figur 9. Sukkertare (*Saccharina latissima*), dyrket på line i april måned, fotografert noen uker før høsting. Taren henger på ca. 3 meters dyp. Foto: NIVA/K. Hancke.

4.4 Tareanleggets funksjon som «kunstig habitat»

Det er store forskjeller mellom struktur, funksjon og biomangfold i naturlig tareskog og den man finner i et tareanlegg. Naturlige tareskoger vokser på bunnen og danner komplekse økosystemer med flere arter av tang og andre alger (**Figur 3**). Disse tareskogsøkosystemene er viktige leveområder for mange dyr, tilknyttet både bunnen og selve tareplanten, spesielt tareplantens stilk og festeorgan. Dette er økosystemer som holder seg stabile år etter år, med planter i “trekroneskiktet” som gjerne lever i 3-10 år, med variasjon mellom arter, og som stadig erstattes av nye rekrutter (Rinde & Sjøtun 2005, Bekkby m.fl. 2014). Et taredyrkingsanlegg derimot består av monokulturer som henger i vannmassene, uten direkte kontakt med bunnen (**Figur 1, 9 og 10**). Dette systemet er enklere enn det man finner i naturlig tareskog, i tillegg til at det kun eksisterer i noen måneder, fra utsåing til høsting. Det er derfor et spørsmål om et taredyrkingsanlegg kan ha en rolle som kunstig habitat, «kunstig tareskog», det vil si om samfunnene i anlegget gjenspeiler det man finner i naturlig tareskog. Dette er relevant kunnskap for forvaltningen av det biologiske mangfoldet langs kysten, kanskje spesielt i de områdene der biomangfold er kraftig redusert (f.eks. i kråkebollenedbeitede områder i nord).

KELPPROs undersøkelser viser at taredyrkingsanlegget huser mange arter og at det i løpet av vekstperioden etablerer seg et økosystem knyttet til tareplantene i anlegget (Torstensen 2020, Grünfeld 2020, Bekkby m.fl. under arbeid A). Artssammensetningen liknet riktignok mer på i den naturlige stortareskogen som vokste tett rundt anlegget enn den i de naturlige tareskogene av

samme art som den som ble dyrket i anlegget (undersøkelser av både butare og sukkertare viste samme resultat). Dette antyder at betydningen av et taredyrkingsanlegg som «kunstig» tareskog avhenger av hvordan anlegget plasseres i forhold til omliggende naturlig tareskog. Dette gjør det vanskelig å konkludere på betydningen av et tareanlegg for ivaretagelse av biologisk mangfold i de områder der det ikke finnes omliggende naturlig tareskog. Undersøkelser viser at samfunnene endrer seg med tiden som taren får henge i anlegget, og at dette spesielt gjelder de organismene som sitter fast og er direkte tilknyttet tareplanten. Selv om mobile arter fort etablerer seg i taredyrkingsanlegget, vil det altså være en fordel for anleggets rolle som kunstig habitat at taren får henge ute så lenge som mulig. Denne studien undersøkte ikke spredning av arter *mellom* anlegg og det kan ikke konkluderes noe på betydningen av taredyrkingsanlegg som vektor for spredning av arter langs kysten.



Figur 10 venstre: Høsting av tare sukkertare (*Saccharina latissima*) på Seaweed Solutions (SES) sitt taredyrkingsanlegg på Frøya i Trøndelag. **Høyre:** Butare (*Alaria esculenta*) som vokser på liner under havoverflaten. Foto: NIVA/T. Bekkby (venstre) og SES (høyre).

4.5 Risiko for spredning av fremmede arter

Selv om taren i anlegget høstes etter kun noen måneder, så ligger taredyrkingsanlegget ute hele året. KELPPROs undersøkelser viste at tomme anlegg kan være et substrat som danner leveområder for flere arter (Torstensen 2020, Grünfeld 2020, Bekkby m.fl. under arbeid B). Dyresamfunnene var da mer like de som ble funnet på annet kunstig substrat i åpne vannmasser enn på samfunnene i de naturlige tareskogene. Dette viser at slike kunstige substrater, som gjerne er «åpne» substrater som ikke er okkupert av tare eller andre samfunn, er attraktive for en rekke arter. Resultatene er i tråd med andre undersøkelser som viser at det gjerne er plassmangel i tareskogen og at ledig plass fort blir tatt i bruk. Det er kjent at kunstige og sterkt modifiserte miljøer er spesielt utsatt for å bli okkupert av fremmede arter (Tyrell & Byers 2007, Airoidi m. fl. 2015). Disse «generalistene» har gjerne god spredningsevne og overlevelse når de slipper konkurranse med stedege arter, og er tilpasset et mye bredere spekter av miljøforhold enn lokalt tilpassede «spesialister».

KELPPROs undersøkelser av tomme anlegg viste store mengder av den fremmede arten japansk spøkelseskreps (*Caprella mutica*, **Figur 11**). Denne arten regnes som å ha «svært høy risiko» i Fremmedartslista på grunn av dens store invasjonspotensial og økologiske effekt. Blant annet er den kjent for å utkonkurrere andre og mer stedege arter spøkelseskreps. Arten kommer opprinnelig fra nord-Asia og er vanlig på tauverk, båter, bøyer og ulike materialer funnet i båthavner. Den japanske spøkelseskreps var fullstendig dominerende i det undersøkte toreanlegget etter høsting, men ble også funnet i fiskeanlegg og på brygger som ble undersøkt i samme området. Arten ble ikke funnet i anlegget på våren, mens taren vokste der. På våren ble det derimot funnet flere andre spøkelseskrepsarter i anlegget, arter som naturlig hører hjemme i våre farvann. I de naturlige tareskogene ble det ikke observert japansk spøkelseskreps ved noen anledninger. Ved en oppskalering av tareindustrien vil flere anlegg kunne bli liggende tett i tett langs kysten, noe som kan aktualisere muligheten for utveksling av arter mellom anlegg. Da vil det også være behov for mer kunnskap om slike anleggs mulige rolle for spredning av både naturlige, truede og fremmede arter langs kysten. Det er viktig å nevne at vi i KELPPRO bare har undersøkt ett område over to sesonger (vår og høst), og at det er behov for å undersøke flere anlegg langs større deler av kysten over en lengre periode for å konkludere på om dette er en generell utfordring.

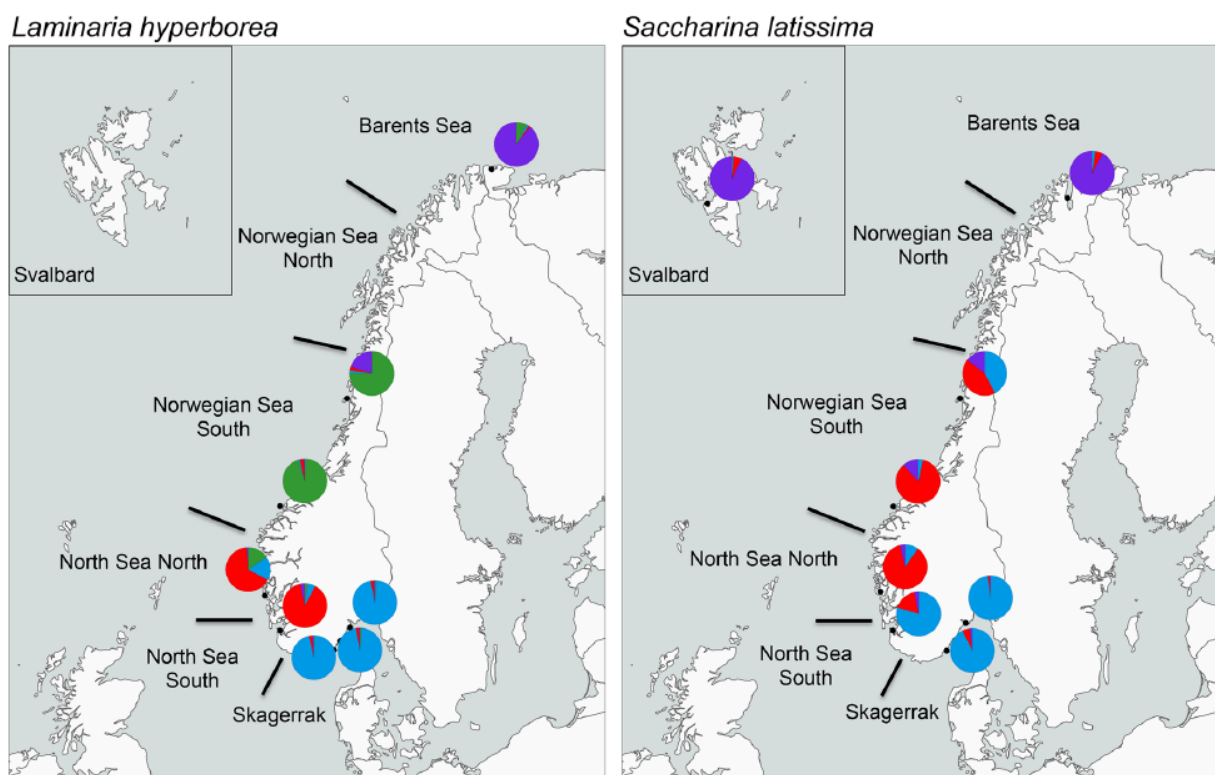


Figur 11. Den fremmede arten japansk spøkelseskreps (*Caprella mutica*), funnet på Seaweed Solutions sitt tare dyrkingsanlegg på Frøya, Trøndelag. Foto: R. R. G. Torstensen og L. A. Grünfeld/NIVA og UiO.

4.6 Risiko for påvirkning av populasjonsgenetisk struktur

På bakgrunn av den forventede veksten i norsk tareoppdrett har miljøforvaltningen satt fokus på mulige konsekvenser ved spredning av ikke-stedegne gener. Ved å flytte tareplanter mellom ulike regioner, for eksempel i framtidige avlsprogram for tare eller ved flytting av stiklinger, vil en kunne introdusere nye genkombinasjoner eller andre allelfrekvenser relativt til de naturlige populasjonene. I en rapport til Miljødirektoratet konkluderte Fredriksen og Sjøtun (2015) med at man foreløpig bør ha en restriktiv linje for å unngå en uønsket spredning av ulike genetiske varianter mellom regioner. For å oppdatere kunnskapen på området, ble det i KELPPRO gjennomført et litteraturstudium der 43 vitenskapelige arbeider på ulike tarearter ble gjennomgått, med hovedvekt på artikler som var publisert etter 2015.

De fleste av disse arbeidene støtter opp om den restriktive linjen i Norge der kun stedegne stiklinger skal brukes (for eksempel Guzinski m.fl. 2016, Luttikhuisen m.fl. 2017, Breton m.fl. 2018). Langs norskekysten er det funnet flere populasjonsgenetiske grupperinger av sukkertare og stortare som er mer beslektet innen økoregioner enn tarepopulasjoner mellom ulike økoregioner (Evankow m.fl. 2019, **Figur 12**). Også denne artikkelen anbefaler at man ikke flytter planter for langt fra sine naturlige oppvekstområder.



Figur 12. De ulike men genetisk beslektede tarepopulasjonene (% av kakediagrammene) innen de seks norske økoregionene, samt prøvetakingsstasjonene (sorte prikker) for stortare (*Laminaria hyperborea*, venstre) og sukkertare (*Saccharina latissima*, høyre), fra Evankow m.fl. (2019).

Ingen av de undersøkte studiene kommer med anbefalinger på hvordan man kan avgjøre hva som avgrenser et område og hvilke kriterier som skal til for sikkert å kunne flytte taremateriale innenfor

eller mellom områder. Det er også få studier som direkte omhandler genetiske effekter av tareoppdrett på naturlige populasjoner. En studie på dette konkluderte med at de ikke kunne påvise endrede allelfrekvenser i naturlige populasjoner som en effekt av tareoppdrett, selv med sterkt innavlede tareplanter som ble dyrket i nærhet av den naturlige taren (Zhang m.fl. 2017). Vi fant heller ikke litteratur der genetiske effekter fra oppdrett var kvantifisert, eller der slike effekter var modellert. Goecke m.fl. (2020) anbefaler at man begynner avlsprogram med utgangspunkt i lokale bestander.

Som følge av nedbeitingen av store deler av tareskogen på grunn av tidligere kråkebolleinvasjoner pågår det i dag en omfattende naturlig rekolonisering av tareskoger langs store deler av norskekysten. Dette vil sannsynligvis kunne påvirke en naturlig spredning av genetisk materiale mellom regionene, etter hvert som tareskogen sprer seg nordover. Man kan tenke seg at en slik naturlig prosess kan ha en like stor effekt i områdene den berører som eventuell flytting av tareplanter til oppdrettsformål nordover i samme område. Det finnes dessverre ikke undersøkelser på dette.

På bakgrunn av den gjennomgåtte litteraturen anbefaler vi at det utføres studier på diversiteten og populasjonsgenetiske forskjeller mellom bestander *innenfor* økoregionene i Norge, slik at man får et kunnskapsgrunnlag for å diskutere om det kan være andre geografiske enheter enn økoregioner som bør studeres nærmere med tanke på populasjonsgenetiske forskjeller. En slik kunnskap vil kunne gi svar på om utskiftning av gener mellom bestander innen økoregionene er en hyppig forekommende prosess. Dersom at dette er tilfelle, kan man tillate flytting av stiklinger og voksne tareplanter innenfor økoregionene.

5 **Anbefalinger til forvaltningen og forslag til utvikling av overvåkingsprogram**

Resultatene fra KELPPRO-prosjektet viser at de negative miljøkonsekvensene av taredyrking i normal drift vil være betydelig begrenset sammenliknet med fiskeoppdrett. Dette betyr at behovet for overvåking anbefales å være mindre omfattende for taredyrking enn for fiskeoppdrett. Det finnes en rekke etablerte metoder, parametere og grenseverdier for overvåking av miljøpåvirkninger i marine områder. Disse er utviklet for generelle påvirkninger på marine økosystemer av blant annet organisk stoff og fremmedstoffer, eller for spesielle aktiviteter på kysten slik som fiskeoppdrett (Veileder M-608 og Norsk Standard NS9410:2016).

Tareanlegg i Norge i dag ligger godt innenfor det vi vil klassifisere som små anlegg, med en produksjon på mellom 30 og 300 tonn tare (Fiskeridirektoratet B, **Figur 13**). For fremtiden er det forespeilet at mellomstore anlegg trolig vil produsere 1 000 – 3 000 tonn tare per år, og at store industriskala anlegg vil kunne produsere i størrelsesordenen 10 000 – 30 000 tonn tare per år (**Tabell 1**). Om målet skal nås om å produsere 4 mill. tonn høstet tare per år i Norge innen 2030 (Olafsen m.fl. 2012), må det etableres 100 – 200 av slike industriskala anlegg langs norskekysten. Generelt forventes risikoen for miljøpåvirkninger å øke med størrelse og tetthet av anleggene. Følgelig vil overveielser og anbefalinger knyttet til overvåking variere med anleggsstørrelser og -tettheter.

De miljøpåvirkninger som bør inngå i en eventuell overvåking kan identifiseres ved å vurdere om effektene av dem er irreversible eller reversible, lokale eller regionale, og om de er kort- eller langvarige. Langvarige, irreversible og regionale påvirkninger vil være mer vesentlige enn mer kortvarige, reversible og lokale effekter.

KELPPRO-prosjektet har vist at sedimentering av organisk taremateriale som eksporteres fra anlegg av dagens størrelse har liten påvirkning på bunnen under og rundt anleggene. Slik avsetning av tarebiomasse på havbunnen er dessuten en naturlig prosess i og utenfor tareskoger og har reversible og ofte lokale effekter. Hvis større mengder tareblader løsrives fra anlegget og akkumulerer på bunnen kan den umiddelbare påvirkningen være stor, men KELPPROs undersøkelser peker mot at dette har reversible og relativt kortvarige miljøpåvirkninger (måneder, se avsnitt 4.2). Det kan imidlertid være formålstjenlig å overvåke slike ansamlinger alt etter i hvilke områder akkumuleringen skjer. Gjennom mange år er det gjort undersøkelser av hvordan organiske kilder påvirker dyrelivet og kjemien på bunnen og nede i sedimentet. På grunnlag av denne typen forskning er det utviklet overvåkingsmetoder, parametere og grenseverdier for påvirkning (Norsk Standard NS9410:2016, Veileder M-608). En justering av de etablerte metodene for overvåking av organisk anrikning av sediment vil kunne dekke overvåkingen av bunnen under og rundt taredyrkingsanlegg hvis eller når dette er nødvendig.

Resultatene fra KELPPRO-prosjektet indikerer at taredyrkingsanlegg ikke har negativ påvirkning på det naturlige planteplankton lokalt og regionalt. Undersøkelser av konkurransen om næringsalter mellom planteplankton og sukkertare har vist at planteplankton er mest effektivt, og at taredyrkingsanlegg dermed ikke påvirker biomasse og næringsforhold for planteplanktonet i vannmassene. Således vil heller ikke høyere trofiske nivåer i den pelagiske næringskjeden bli

påvirket. Overvåking av pelagiske miljøparametere anses dermed ikke som nødvendig i forbindelse med næringsstoffkonsentrasjonen og dens betydning for oppblomstring av planteplankton. Men skulle behovet oppstå finnes det målemetoder og grenseverdier for å avklare kjemisk og økologisk tilstand til økosystemet i vannmassene (Veileder 02:2018).

KELPPRO har vist at det etablerer seg faunasamfunn i tare dyrkingsanlegg og at anlegg kan ha en rolle som kunstige habitat, selv om undersøkelsene viser færre arter og færre individer i anlegg enn i naturlige tareskoger. Samfunnene i tareanlegg ligner på de samfunnene som finnes i omkringliggende naturlige tareskog nær anlegget, og tarearten som dyrkes i anlegget virker ikke å være avgjørende for hvilke faunasamfunn som etablerer seg. Dette viser at plasseringen av anlegget spiller en rolle for hvilken betydning tare dyrkingsanlegg potensielt har for det biologiske mangfoldet i et område. Resultatene fra KELPPRO antyder også et potensial for invasjon av fremmede arter i tomme anlegg, og at anlegg dermed kan bidra til spredning av uønskede arter langs kysten. Ved en oppskalering av tareindustrien vil flere anlegg kunne komme til å ligge tett i avgrensede områder. Da vil utveksling av arter, både naturlig forekommende og fremmede, mellom anlegg kunne bli et mer aktuelt tema enn om anleggene ligger spredt, som i dag.

På bakgrunn av den tilgjengelige kunnskapen er det vanskelig å gi råd om hvordan overvåking i forhold til fremmede arter bør etableres og tilpasses regionalt. Men det vurderes at overvåking av artssamfunn, og spesielt med fokus på fremmede arter, bør inngå i en eventuell overvåkingsstrategi av tare dyrkingsanlegg for å sikre kunnskap om i hvilket omfang dette er en reell problemstilling med tanke på det biologiske mangfoldet langs kysten. Det finnes etablert metodikk for kartlegging av fremmede arter (beskrevet i bla. Rinde m. fl. 2017). Men det finnes ikke noen omforent og tilpasset metodikk for akvakulturanlegg, og det finnes ikke parametere eller grenseverdier for slike påvirkninger (men se diskusjon i OSPAR Agreement 2018-04).

Hvilken overvåking som trengs for å sikre en bærekraftig produksjon kan vurderes ut fra risikoen for påvirkning. Som utgangspunkt legger vi til grunn størrelsen av produksjonen i et anlegg og at økt størrelse kan utløse mer overvåking. Dette kan bety at flere parametere inkluderes, at et større område overvåkes, eller mer hyppig overvåking. Det samme prinsippet kan også brukes i de tilfeller der det ligger mange anlegg tett i samme område. **Tabell 3** viser overveielser og anbefalinger knyttet til overvåkingsstrategi for forundersøkelse og overvåking av tare dyrkingsanlegg av ulike størrelse.

Tabell 3. Oversikt over mulige overveielser og anbefalinger knyttet til overvåkingsstrategi. Se Tabell 1 for mer informasjon vedrørende anleggstørrelsene.

Små anlegg 30 – 300 tonn per år	Mellomstore anlegg 1 000 – 3 000 tonn per år	Store anlegg 10 000 – 30 000 tonn per år
<u>Forundersøkelse:</u> Strøm, eventuell kartlegging av naturlige tareforekomster i området.	<u>Forundersøkelse:</u> Strøm, registrering av naturlige tareforekomster og andre habitater/bunntyper i området, registrering av fremmede arter i omliggende tareforekomster.	<u>Forundersøkelse:</u> Strøm, registrering av naturlige tareforekomster og andre habitater/bunntyper i området, registrering av fremmede arter i omliggende tareforekomster.
<u>Overvåkingsprogram:</u> Enkel registrering av fremmede arter i toreanlegget. Ved stor tetthet av små anlegg kan det være aktuelt å anvende strategien til mellomstore anlegg.	<u>Overvåkingsprogram:</u> Overvåking av fremmede arter i toreanlegget, både under drift og etter høsting av tare, og i omliggende tareforekomster. Ved stor tetthet av mellomstore anlegg kan det være aktuelt å anvende strategien til store anlegg.	<u>Overvåkingsprogram:</u> Overvåking av fremmede arter i toreanlegget, både under drift og etter høsting av tare, og i omliggende tareforekomster. Eventuell overvåking av bunnforhold og av vannmassene.
<u>Spesialovervåking:</u> Ved tap av større mengder tare kan overvåking av bunnpåvirkning settes inn der taren akkumulerer.	<u>Spesialovervåking:</u> Ved tap av større mengder tare kan overvåking av organisk bunnpåvirkning settes inn der taren akkumulerer.	<u>Spesialovervåking:</u> Ved tap av større mengder tare kan overvåking av organisk bunnpåvirkning settes inn der taren akkumulerer.

Forundersøkelse. For å kunne vurdere eventuelle påvirkninger på en lokalitet er det ofte nødvendig å tilegne seg kunnskap om fysiske og biologiske forhold gjennom en forundersøkelse. For små anlegg kan forundersøkelsen bestå av en registrering av området under og rundt anlegget for å kartlegge strømforhold og identifisere forekomst eller fravær av, eller tilstanden i, naturlig tareskog. For mellomstore og store anlegg kan det også være nyttig å vite om det finnes sjøgress, ruglbunn eller andre lyskrevende arter og habitater som kan oppleve reduserte lysforhold på grunn av anlegget. For disse anleggene kan det også være nyttig med en undersøkelse av bunntyper og bunnforhold på og i nærheten av lokaliteten for å kunne vite om bunnen er bløt- eller hardbunn, erosjons- eller depositionsbunn, noe som kan benyttes til å identifisere risikoen for at partikler fra anlegget deponeres på bunnen. For mellomstore og store anlegg kan det være en fordel å sjekke for tilstedeværelse av fremmede arter i omliggende tareforekomster, slik at dette foreligger som bakgrunnskunnskap som kan brukes til å vurdere hvorvidt tare dyrkingsanlegget bidrar med spredning av fremmede arter til de omliggende naturlige tareskogene.

Overvåking. For små anlegg kan overvåkingen bestå av en enkel registrering av fremmede arter i anlegget etter hver produksjonssyklus. For mellomstore og store anlegg kan overvåkingen inkludere undersøkelser av fremmede arter både under drift og mellom driftsperioder, samt eventuelt undersøkelse av fremmede arter i omliggende tareforekomster for å kunne registrere mulig spredning fra anlegget. For store anlegg kan det vurderes overvåking av bunnforhold og vannmasser for å fange opp mulige negative effekter på pelagiske samfunn og bunnsamfunn. Ved en oppskalering av næringen kan anlegg bli liggende tett langs kysten. I slike tilfeller er det aktuelt å se overvåkingen

av flere anlegg i sammenheng, og muligens anvende strategien til mellomstore anlegg også for små anlegg. I tilfelle av spesielle hendelser, slik som hvis større mengder tare løsner fra et anlegg, eller hvis et anlegg havarerer, kan det settes inn tiltak og/eller spesialovervåking av det området hvor taren deponeres på havbunnen. Dette vil være aktuelt uansett størrelse på anlegget.

Overvåking og undersøkelser vil kunne bidra til utvikling av nye metoder, parametere og protokoller, og kan ha stor nytteverdi for innhenting av data og kunnskap som kan brukes på lengre sikt til å forme og sikre en kunnskapsbasert og adaptiv forvaltning av tare dyrkingen etter hvert som næringen utvikler seg.

Dersom myndighetene åpner for flytting av tare innenfor økoregioner eller større områder anbefales overvåking relatert til endringer i den populasjonsgenetiske strukturen. Slike undersøkelser er kompliserte og har høye kostnader og må skje på nasjonalt nivå.



Figur 13. Et tare dyrkingsanlegg sett fra havoverflaten med bøyer og rekker av blåser. Bøyene bærer en tauramme og fester anlegget til havbunnen. Blåsene er forbundet under vann med tau som igjen bærer liner der taren vokser. Foto: TANGO Seaweed/Annelise Chapman.

6 Konklusjon og behov for videre forskning

Økt satsing på dyrking av tang og tare i Norge vil øke presset på de marine økosystemene langs kysten og vil kunne utfordre eksisterende naturlige balanser. Formålet med denne rapporten har vært å formidle resultatene fra KELPPRO-prosjektet på en kortfattet måte for forvaltningen, industrien og andre interessegrupper, og levere et grunnlag for en kunnskapsbasert evaluering av mulige miljøpåvirkninger av taredyrking (se vedlegg A for publikasjonsliste for KELPPRO). Det er fortsatt behov for mer kunnskap om hvordan ulike påvirkninger varierer over tid (over sesong og mellom år), mellom regioner (breddegrad) og som funksjon av fysiske (temperatur, breddegrad, strømforhold og bølgeeksponering) og biologiske (endring og tilpasning av flora og fauna, biologisk og genetisk variasjon og funksjon) faktorer.

Per i dag tilføres det ikke næringsstoffer eller andre stoffer for å fremme veksten i et taredyrkingsanlegg, i motsetning til i fiskeoppdrettsanlegg. Nettutslippet av næringsstoff fra taredyrkingsanlegg er dermed negativt, dersom den dyrkede taren høstes. Det betyr at tarenæringen er i en annen posisjon enn fiskeoppdrettsnæringen. Storskala industriell taredyrking kan likevel påvirke marine økosystemer ved avsetning av organisk materiale på bunnen samt gjennom spredning av arter, sykdommer og genetisk materiale. Om dagens taredyrking skal utvikles bærekraftig og med en kunnskapsbasert forvaltningsstrategi må næringen og forvaltningen vurdere videre forskning og kartlegging av uavklarte miljøpåvirkninger, som ikke er behandlet i denne rapporten.

Miljøpåvirkninger på havbunnen. KELPPRO har målt og beregnet hvor mye tare biomasse som frigis fra operative anlegg og modellert sannsynlige transportveier og mønstre for avsetningen av det frigitte materiale på havbunnen. Det er utført studier av påvirkningene av tilført taremateriale til havbunnen og effektene på eksisterende fauna og mikrobielle samfunn. Det anbefales supplerende undersøkelse av fraksjonsstørrelse og synkehastighet av dyrket tare som frigis fra anlegg. Slike data vil gi bedre modeller på avsetningen på havbunnen og hvordan omsetning av tarebiomasse påvirkes av eksisterende faktorer som vanntemperatur, bunnforhold, biogeokjemiske forhold i havbunnen, og fauna. I særdeleshet anbefales økologiske studier av "worst case"-scenarier, der store mengder tarebiomasse rives løs og deponeres på et lite område av havbunnen.

De siste årene er det blitt regnet og spekulert mye på potensialet innen taredyrking som klimaløsning gjennom opptak og langtidslagring (sekvestrering) av karbon fra havet og atmosfæren. KELPPRO har kun jobbet begrenset med dette temaet, men mye tyder på at det er store muligheter for å fjerne karbon fra havet via taredyrking. Dette kan skje både gjennom høsting av den dyrkede taren (i kombinasjon med langtidslagring av karbonet i den høstede biomasse) samt gjennom naturlige prosesser for langtidslagring av tarekarbon på havbunnen og i dyphavet. Det er imidlertid store kunnskapshull, inkludert hvor stor andel av taren som unngår nedbryting og dermed langtidslagres, hvordan langtidslagringen er fordelt geografisk og hvilke fysiske og biologiske parametere som er avgjørende for lagringen.

Miljøpåvirkninger på vannmassene. KELPPRO har vist at naturlige populasjoner av planteplankton ikke er i reell konkurranse med tare i anlegg om opptak av næringsstoffer, og at næringsnettet i vannmassene er upåvirket av opptak av næringsstoffer i toreanlegg. Dette skyldes et mer effektivt næringsstoffopptak i planteplankton enn i dyrket tare, som igjen sikrer næringstilgangen til

sekundærproduksjonen, inklusiv matgrunnlaget for kommersiell fisk. På bakgrunn av KELPPROs resultater om hvor mye næring og CO₂ som tas opp fra vannmassene kan potensialet i taredyrking for reduksjon av næringssalter der tilførslene er høye (overgjødning/eutrofi) beregnes. Det har blitt spekulert i om taredyrking kan redusere havforsuring (forhøyet pH i vannet) og dermed danne nisjer der organismer som er følsomme for havforsuring skjermes. Det er lite empiri til støtte for dette, og vi anbefaler at det gjennomføres konkrete undersøkelser i felt. I KELPPRO er det ikke gjort undersøkelser på frigivelse av løst organisk karbon (DOC), også kalt gulstoff, og det anbefales å inkludere dette i fremtidige studier, da produksjonen av DOC fra tare er betydelig. Det er fremdeles uklart hvilken betydning gulstoff fra tareanlegg kan ha på formørkingen av kystvannet og den påfølgende reduksjonen i lys for både mikro- og makroalger. Dessuten vil frigivelse av gulstoff fra tareanlegg ha potensiale som klimatiltak ved å bidra til langtidslagring av karbon ("nature-based solution to climate change").

Tareanlegg som kunstig habitat. KELPPRO har dokumentert at tareanlegg kan fungere som kunstige habitater og etablere dyresamfunn lik naturlige tareskoger, samt vist at masseinvasjon av fremmede arter kan finne sted i tomme dyrkingsanlegg. Datagrunnlaget er begrenset og det antas at betydning av lokalitet og sesongvariasjon kan være betydelig. Det anbefales videre studier av om tareanlegg kan fungere som "stepping stones" for spredning av arter, både naturlig forekommende og fremmede, og av om det er forskjell mellom regioner med eller uten naturlig tareskog. Det har kun vært mulig å gjennomføre enkle undersøkelser av fisk, og datagrunnlaget i KELPPRO er for lite til å konkludere på betydningen av et taredyrkingsanlegg for fiskebestander. Det anbefales studier av i hvilken utstrekning tareanlegg tiltrekker seg ulike arter av fisk og om de kan fungere som skjulesteder for fiskeyngel. Her er det antageligvis variasjoner over både sesong og år, og det anbefales studier over lengre tidsperioder og på ulike lokaliteter.

Genetiske påvirkninger. KELPPRO har vist at det er ulike populasjonsgenetiske grupperinger av sukkertare i de ulike norske økoregioner, noe som har ført til vår anbefaling om å opprettholde rådet om ikke å flytte tareplanter mellom økoregioner. Men det er behov for ytterligere studier av diversitet og populasjonsgenetiske forskjeller mellom bestander *innenfor* økoregionene i Norge, og vurdering av i hvilket omfang andre geografiske enheter enn økoregioner kan skille genetiske populasjoner. Det finnes ennå ikke avlsprogrammer for tareplanter i Norge og empiriske studier av mulige effekter er derfor ikke mulig. Det anbefales videre forskning på genetiske forskjeller og spredningsevne blant ville bestander av tare for å sikre kunnskap om problematikken tilknyttet avl og mulig spredning av framavlet materiale til naturlige tareskoger.

Taredyrking i Norge er en relativ ny næring der forskning og utvikling er på et tidlig stadium. Det anbefales en adaptiv forvaltning som tilpasses etter hvert som næringen utvikler seg og kunnskapen øker. Det er sannsynlig at det utvikles nye typer anlegg og at næringen vil satse på andre arter av tang og tare enn i dag. Samarbeid mellom forskning, forvaltning og næringsaktører er viktig for å følge utviklingen innen tareanæringen, og å sikre akseptable rammer for en økonomisk og økologisk bærekraftig utvikling av næringen for fremtiden.

7 Referanser

Airolidi L, Turon X, Perkol-Finkel S, Rius M (2015) Corridors for aliens but not for natives: effects of marine urban sprawl at a regional scale. *Div Distr* 21:755-7658.

Bekkby T, Rinde E, Gundersen H, Norderhaug KM, Gitmark J, Christie H (2014) Length, strength and water flow – the relative importance of wave and current exposure on kelp *Laminaria hyperborea* morphology. *Mar. Ecol. Prog. Ser* 506:61-70.

Bekkby T, Torstensen RRG, Grünfeld LA, Christie H, Rinde E, Neves L, Hancke K m.fl. (under arbeid A) Abundance, biodiversity, and function of species associated with kelp farming compared to natural kelp forests. *J. Aquacult. Environ. Interact.*

Bekkby T, R Torstensen, L Grünfeld, H Christie, E Rinde, L Neves, K Hancke m.fl. (under arbeid B) Stepping stones for trouble: the alien Japanese skeleton shrimp (*Caprella mutica*) in kelp farms. *J. Aquacult. Environ. Interact.*

Boldreel EH (2020) Benthic degradation dynamics of deposits from two kelp species: Sugar kelp (*Saccharina latissima*) & winged kelp (*Alaria esculenta*). MSc thesis. University of Southern Denmark. Inst of Biology. 01.08.2020

Borgersen G, Gundersen H, Hancke K m.fl. (under arbeid). Fate and impact on sea floor biodiversity and ecosystem functioning of kelp detritus from kelp farming. *J. Aquacult. Environ. Interact.*

Breton TS, Nettleton JC, O'Connell B, Bertocci M (2018) Fine-scale population genetic structure of sugar kelp, *Saccharina latissima* (Laminariales, Phaeophyceae), in eastern Maine, USA. *Phycologia*, 57: 32-40.

Broch OJ, Alver MO, Bekkby T, Gundersen H, Forbord S, Handå A, Skjermo J, Hancke K (2019) The Kelp Cultivation Potential in Coastal and Offshore Regions of Norway. *Front. Mar. Sci.* 5:529. doi: 10.3389/fmars.2018.00529

Christie H, Andersen GS, Bekkby T, Fagerli CW, Gitmark JK, Gundersen H, Rinde E (2019) Shifts between sugar kelp and turf algae in Norway: regime shifts or flips between different opportunistic seaweed species? *Front. Mar. Sci.* <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00072>.

Eppley RW, Rogers JN, McCarthy JJ (1969) Half-saturation constants for uptake of nitrate and ammonium by marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* 14: 912-920.

Evankow A, Christie H, Hancke K, Brysting AK, Junge C, Fredriksen S, Thaulow J (2019) Genetic heterogeneity of two bioeconomically important kelp species along the Norwegian coast. *Conserv. Genet.* 20(3): 615-628.

Fieler R, Greenacre M, Matsson S, Hancke K, Neves L, Forbord S (innsendt 2020) Dynamics of erosion from cultivated kelp, *Saccharina latissima*, and implications for environmental management and carbon export. *Front. Mar. Sci.*

Fiskeridirektoratet A. Akvakulturregisteret: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Registre-og-skjema/akvakulturregisteret>

Fiskeridirektoratet B. <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Alger>

Forbord S, Matsson S, Brodahl G, Bluhm B, Broch OJ, Handå A, Metaxas A, Skjermo J, Steinhovden K, Olsen Y (2020) Latitudinal, seasonal and depth-dependent variation in growth, chemical composition and biofouling of cultivated *Saccharina latissima* (Phaeophyceae) along the Norwegian coast. J. Appl. Phycol. <https://doi.org/10.1007/s1081-020-02038-y>

Forbord S, Etter SA, Broch O, Dahlen VR, Olsen Y (2021) Initial short-term nitrate uptake in juvenile, cultivated *Saccharina latissima* (Phaeophyceae) of variable nutritional state. Aquat. Bot. 168: 103306

Fredriksen S, Sjøtun IK (2015) Risk assessment of introducing non-indigenous kelp. Norwegian Environment Agency, report M-299/2015, 12 pp.

Frigstad H, Gundersen H, Andersen GS, Borgersen G, Kvile KØ, Krause-Jensen D, Boström C, Bekkby T, d'Auriac MA, Ruus A, Thormar J, Asdal K, Hancke K (2021) Blue Carbon – climate adaptation, CO₂ uptake and sequestration of carbon in Nordic blue forests. Results from the Nordic Blue Carbon Project. TemaNord 2020:541, [dx.doi.org/10.6027/temanord2020-541](https://doi.org/10.6027/temanord2020-541)

Goecke F, Klemetsdal G, Åshild E (2020) Cultivar development of kelps for commercial cultivation - past lessons and future prospects. Front. Mar. Sci.10.3389/fmars.2020.00110

Grünfeld LH (2020) Et taredyrkingsanleggs rolle som kunstig tareskog: En sammenlikning av faunasamfunn mellom dyrket butare (*Alaria esculenta*) og naturlig tareskog. MSc-oppgave. Universitetet i Oslo.

Gundersen H, Christie H, de Wit H, Norderhaug K, Bekkby T, Walday M (2011) Utredning om CO₂-opptak i marine naturtyper. Research report, Series/Report: NIVA-rapport;607

Gundersen H, Bryan T, Chen W, Moy FE, Sandman AN, Sundblad G, Schneider S, Andersen JH, Langaas S, Walday MG (2016) Ecosystem Services In the Coastal Zone of the Nordic Countries. TemaNord 2016:552

Guzinski J, Mauger S, Cock JM, Valero M (2016) Characterization of newly developed expressed sequence tag-derived microsatellite markers revealed low genetic diversity within and low connectivity between European *Saccharina latissima* populations. J. Appl. Phycol. 28: 3057-3070.

Hancke K, T Bekkby, M Gilstad, A Chapman, H Christie (2018) Taredyrking – mulige miljøeffekter, synergier og konflikter med andre interesser i kystsonen. NIVA rapport 7265-2018, ISBN 978-82-577-7000-6

Hancke K, Bekkby T, Christie H, Borgersen G, Gundersen H, Broch OJ, Olsen Y, Fieler R, Hansen PK, Filbee-Dexter K, m.fl. (under arbeid) Ecological impacts of large-scale seaweed farming: An overview and key knowledge gaps. Front. Mar. Sci.

Hancke K, K Attard, R Glud, P Moore, G Borgersen (under arbeid) Kelp detritus being a food source or ecosystem threat: an *in situ* Eddy Covariance study. Front. Mar. Sci.

Jevne LS, Øvrelied MS, Hagemann A, Bloecher N, Steinhovden K, Båtnes AS, Olsen Y, Reitan KI (2020) Biofouling on salmon pen nets and cleaner fish shelters does not harbor planktonic stages of sea lice. Front. Mar. Sci. doi.org/10.3389/fmars.2020.00727.

Krause-Jensen D, Duarte CM (2016) Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. Nat. Geosci. 9: 737-42.

Krumhansl KA, Scheibling RE (2012) Production and fate of kelp detritus. Mar. Ecol. Prog. Ser. 467:281-302

Kutti T, Hansen PK, Ervik A, Høisæter T, Johannessen P (2007) Effects of organic effluents from a salmon farm on a fjord system. II. Temporal and spatial patterns in infauna community composition. Aquaculture 262; 355-366

Luttikhuisen PC, van den Heuvel FHM, Rebours C, Witte HJ, van Bleijswijk JDL, Timmermans K (2017) Strong population structure but no equilibrium yet: Genetic connectivity and phylogeography in the kelp *Saccharina latissima* (Laminariales, Phaeophyta). Ecol. Evol. 8: 4265-4277

Moy FE, Christie H (2012) Large scale shift from sugar kelp (*Saccharina latissima*) to ephemeral algae along the south and west coast of Norway. Mar. Biol. Res. 8: 309-321.

Norderhaug KM, Skjermo J, Kolstad K, Broch OJ, Ergon Å, Handå A, Horn SJ, Lock, EJ, Øverland M (2020) Mot ny havnæring for tare? Fisken og havet 2020-5, ISSN:1894-5031

Norderhaug KM, Christie H (2009) Sea urchin grazing and kelp re-vegetation in the NE Atlantic. Mar. Biol. Res. 5: 515-528

Njåstad E, m.fl. (under arbeid A). Effect of *Saccharina latissima* farming on surface waters ecosystem.

Njåstad E, m.fl. (under arbeid B). Comparative growth and chemical composition of cultivated *Alaria esculenta* and *Saccharina latissima*.

NS 9410:2016. Norsk standard for miljøovervåking av bunnpåvirkning fra marine akvakulturanlegg.

Olafsen T, Winther U, Olsen Y, Skjermo J (2012) Verdiskaping basert på produktive hav i 2050. Rapport fra arbeidsgruppe oppnevnt av Det Kongelige Norske Videnskabers Selskap (DKNVS) og Norges Tekniske Vitenskapsakademi (NTVA). ISBN 978-82-7719-074-3

Olsen Y, Reinertsen H, Sommer U, Vadstein O (2014a) Responses of biological and chemical components in North East Atlantic coastal water to experimental nitrogen and phosphorus addition—a full scale ecosystem study and its relevance for management. Sci. Total Environ. 473-474: 262-274.

Olsen Y, Andresen K, Etter SA, Leiknes Ø, Wang X (2014b) Miljødokumentasjon Nordmøre - Utslipp og vurdering av miljøvirkninger av næringssalter tilført fra oppdrett i Nordmøre regionen i 2011-13. Trondhjem biologiske stasjon, Institutt for biologi. NTNU internrapport

OSPAR Agreement (2018-04). OSPAR CEMP Guidelines Common Indicator: Changes to non-indigenous species communities (NIS3). <https://www.ospar.org/documents?v=38992>

Pearson TH, Rosenberg (1978) Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 16, 229–311.

Renaud PE, Løkken TS, Jørgensen LL, Berge J, Johnson BJ (2015) Macroalgal detritus and food-web subsidies along an Arctic fjord depth-gradient. *Front. Mar. Sci.*, doi.org/10.3389/fmars.2015.00031
Rinde E, Gitmark JK, Hjermann DØ, Fagerli CW, Kile MR, Christie H. 2017. Utvikling av metodikk for overvåking av fremmede marine arter. NIVA-rapport 7131, 64 s.

Rinde E, Sjøtun K (2005) Demographic variation in the kelp *Laminaria hyperborea* along a latitudinal gradient. *Mar. Biol.* 146:1051–1062.

Torstensen RRG (2020). Miljøeffekter ved dyrking av sukkertaredyrking (*Saccharina latissima*): Et taredyrkingsanleggs rolle som kunstig habitat. MSc-oppgave. Universitetet i Oslo.

Tyrell MC, Byers JW (2007) Do artificial substrates favor nonindigenous fouling species over native species? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 342:54-60.

Veileder 02:2018: Klassifisering av miljøtilstand i vann: Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver. Direktoratgruppen for gjennomføringen av vannforskriften. Direktoratgruppen for gjennomføringen av vannforskriften 2018.

Veileder M-608. Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota – revidert 30.10.2020. M-608 | 2016

Wang X, Andresen K, Handå A, Jensen B, Reitan KI, Olsen Y (2013) Chemical composition and release rate of waste discharge from an Atlantic salmon farm with an evaluation of IMTA feasibility. *Aquacult Environ Interact.* 4:147–162.

Zhang J, Fang J, Wang W, Du M, Gao Y, Zhang M (2012) Growth and loss of mariculture 755 kelp *Saccharina japonica* in Sungo Bay, China. *J. Appl. Phycol.* 24:1209–1216

Zhang N, Zhang Y, Tao L, Guo J, Sun X, Li N et al. (2015) Construction of a high density snp linkage of kelp (*Saccharina japonica*) by sequencing Taq I site associated DNA and mapping of a sex determining locus. *BMC Genomics* 16:189

Zhang J, Wang X, Yao J, Li Q, Liu F, Yotsukura N, Krupnova TN, Duan D (2017) Effect of domestication on the genetic diversity and structure of *Saccharina japonica* populations in China. *Sci. Rep.* 4, 1-11. doi:10.1038/srep4215

Vedlegg A.

KELPPRO-publikasjoner og -formidling (2017-2020)

NFR-ID: #267536, Cristin-ID: #622782, NIVA ID #17058

www.kelppro.net,

Prosjektdeltagere finansiert av prosjektet **uthevet**, studenter understreket

Oversikt over KELPPRO publikasjoner og formidling

	Fagfelle-vurdert			ISBN Rapporter & masteroppgaver	Foredrag og plakater	Pop.vit publikasjoner	Media/radio/TV
	Publisert	Innsendt	Under arbeid	Publisert			
TOTAL	6	4	8	10 (1)	52	24	11
2020	1			6	5	3	3
2019	2			0	16	12	4
2018	2			1	10	7	0
2017	1			2	21	2	4

Vitenskapelige publikasjoner, fagfelle-vurdert

Innsendt (per 31.01.2021)

1. **Fieler R, M Greenacre, S Matsson, L Neves, S Forbord, K Hancke** (*submitted*) Dynamics of erosion from cultivated kelp, *Saccharina latissima*, and implications for environmental management and carbon sequestration. *Frontiers in Marine Science*.
2. Filbee-Dexter K, CJ Feehan, ... **K Hancke**, ... T Wernberg (*submitted*) Ocean temperature controls kelp decomposition and carbon sink potential. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
3. **Gundersen H, E Rinde, T Bekkby, K Hancke, JK Gitmark, H Christie** (*submitted*) Kelp characteristics and biomass along environmental gradients and their implications for ecosystem services. *Frontiers in Marine Science*.
4. Duarte CM, JP Gattuso, **K Hancke, H Gundersen, T Bekkby**, et al. (*submitted*) Global Estimates of the Extent and Production of Macroalgal. *Science Advances*.

Publisert

1. **Attard KM and Ronnie N Glud** (2020) *Technical Note: Estimating light-use efficiency of benthic habitats using underwater O_2 eddy covariance*. *Biogeosciences* 17, 4343–4353.
doi.org/10.5194/bg-17-4343-2020
2. **Broch OJ, Alver MO, Bekkby T, Gundersen H, Forbord S, Handå A, Skjermo J and Hancke K** (2019) *The Kelp Cultivation Potential in Coastal and Offshore Regions of Norway*. *Front. Mar. Sci.* 5:529.
[doi: 10.3389/fmars.2018.00529](https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00529)
3. Evankow A, **H Christie, K Hancke**, AK Brysting, C Junge, S Fredriksen, J Thaulow (2019) *Genetic heterogeneity of two bioeconomically important kelp species along the Norwegian coast*. *Conservation Genetics*. <https://doi.org/10.1007/s10592-019-01162-8>
4. Wallhead, P.J., Chen, W., Falkenberg, L., Norling, M., Bellerby, R., Dupont, S., Fagerli, C., Dale, T., **Hancke, K., Christie, H.**, (2018). Annex 2: *Urchin harvesting and kelp regrowth in northern Norway*

- under ocean acidification and warming. In: [AMAP Assessment 2018](#): Arctic Ocean Acidification. pp. 79-90 Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Tromsø, Norway.
5. **Hancke K**, LC Lund-Hansen, M Lamare, SH Pedersen, MD King, P Andersen, BK Sorrell (2018) *Extreme Low Light Requirement for Algae Growth Underneath Sea Ice: A Case Study From Station Nord, NE Greenland*. JGR: OCEANS. DOI: [10.1002/2017JC013263](#)
 6. Murniati E, D Gross, H Herlina, **K Hancke**, A Lorke (2017) *Effects of bioirrigation on the spatial and temporal dynamics of oxygen above the sediment–water interface*. Freshwater Science 36:784-795. [doi:10.1086/694854](#)

Under arbeid for fagfelleverdert vitenskapelig tidsskrift

1. **Hancke K**, **T Bekkby**, **H Christie**, **H Gundersen**, **OJ Broch**, **Y Olsen**, **R Fieler**, **PK Hansen**, **K Filbee-Dexter**, **G Borgersen**, et al. (in prep) *Ecological impacts of large-scale seaweed farming: An overview and key knowledge gaps*. Frontiers in Marine Science
2. **Borgersen G**, **H Gundersen**, **K Hancke** et al. (in prep). *Fate and impact on sea floor biodiversity and ecosystem functioning of kelp detritus from kelp farming*. J. Aquacult. Environ. interact.
3. **Hancke K**, **K Attard**, **R Glud**, P Moore, **G Borgersen** (in prep) *Kelp detritus being a food source or ecosystem threat: an in situ Eddy Covariance study*. J. Aquacult. Environ. interact.
4. **Boldreel EH**, **KM Attard**, **K Hancke**, **RN Glud**. In prep. *Microbial degradation dynamics of kelp deposit from Alaria esculenta and Saccharina latissima*. Aquaculture
5. **Njåstad E**, **Y Olsen**, **L Neves** et al. (in prepA) *Effect of Saccharina latissima farming on surface waters ecosystem*. Environmental Aquacu. Interact. eller Frontiers of marine Science.
6. **Njåstad E**, **Y Olsen**, **L. Neves** et al. (in prepB) *Comparative growth and chemical composition of cultivated Alaria esculenta and Saccharina latissima*. Frontiers in Marine Science
7. **Bekkby T**, **R Torstensen**, **L Grünfeld**, **H Christie**, **E Rinde**, **L Neves**, **K Hancke** et al. (in prep) *Abundance, biodiversity, and function of species associated with kelp farming compared to natural kelp forests*. Frontiers in Marine Science
8. **Bekkby T**, **R Torstensen**, **L Grünfeld**, **H Christie**, **E Rinde**, **L Neves**, **K Hancke** et al. (in prep) *Stepping stones for trouble: the alien Japanese skeleton shrimp (Caprella mutica) in kelp farms*. Marine Aqua impact on marine biodiv.

Masteroppgaver

1. **Grünfeld Lars Andreas H** (2020) Et taredyrkingsanleggs rolle som kunstig tareskog: En sammenlikning av faunasamfunn mellom dyrket butare (*Alaria esculenta*) og naturlig tareskog. MSc thesis. University of Oslo. 01.10.2020. <https://www.duo.uio.no/handle/10852/82000>
2. **Lansbergen, Romy A** (2020) Fate and Release of Dissolved Organic Carbon from Kelp. MSc thesis. Technical University of Denmark. 18.08.2020
3. **Boldreel, Emma H** (2020) Benthic degradation dynamics of deposits from two kelp species: Sugar kelp (*Saccharina latissima*) & winged kelp (*Alaria esculenta*). MSc thesis. University of Southern Denmark. Inst of Biology. 01.08.2020
4. **Torstensen, Ragnhild RG** (2020) Miljøeffekter ved dyrking av sukkertaredyrking (*Saccharina latissima*): Et taredyrkingsanleggs rolle som kunstig habitat. MSc thesis. University of Oslo. 01.06.2020. www.duo.uio.no/handle/10852/79667

Rapporter med ISBN

1. **Hancke K**, **OJ Broch**, **Y Olsen**, **T Bekkby**, **PK Hansen**, **R Fieler**, **K Attard**, **G Borgersen**, **H Christie** (2021) Miljøpåvirkninger av taredyrking og forslag til utvikling av overvåkingsprogram. NIVA report xxx-xxx

2. Frigstad, H, **H Gundersen**, GS Andersen, **G Borgersen**, KO Kvile, **D Krause-Jensen**, C Boström, **T Bekkby**, MA d'Auriac, A Ruus, J Thormar, K Asdal, **K Hancke** (2020) Blue Carbon: Climate adaptation, CO₂ uptake and sequestration of carbon in Nordic blue forests. NMR TemaNord 2020:541. ISBN 978-92-893-6860-5. doi.org/10.6027/temanord2020-541
3. Engen S, Hausner V, Mikkelsen E, **Gundersen H**, **Christie H**, Falk-Andersson J, Espinasse M, Lennert AE, Olsen E, Fauchald P (2020) Sustainable coast: developing a coastal barometer for Northern-Norway. NINA Report 1736. Norwegian Institute for Nature Research. 84 pp. ISBN: 978-82-426-3490-0
4. **Hancke K**, **T Bekkby**, M Gilstad, A Chapman, **H Christie** (2018) Tare dyrking – mulige miljøeffekter, synergier og konflikter med andre interesser i kystsonen. NIVA rapport 7265-2018, ISBN 978-82-577-7000-6
5. Frigstad H, **Gundersen H**, **Hancke K**, Andersen GS, **Bekkby T**, Tveiten L. 2017. Blue carbon: Climate adaption, CO₂ uptake, and sequestration of carbon in Nordic blue forest. Annual and workshop report 2017. NIVA-rapport 7213-2017. 149 s. ISBN 978-82-577-6948-2
6. **Broch OJ**, R Tiller, J Skjermo, A Handå (2017) Potensialet for dyrking av makroalger i Trøndelag. Rapport for Trøndelag fylkeskommune, SINTEF rapport OC2017 A-200, ISBN 978-82-7174-319-2

Rapporter under arbeid

1. **Fielor R**, **T Bekkby**, **K Hancke** (in prep) Perspectives on the potential effect of non-indigenous cultivated kelp species on natural kelp forests. NIVA report xxx-xxx

Foredrag og plakater, nasjonale og internasjonale

2020

1. Skjermo J, **K Hancke**, **OJ Broch**, S Forbord, **T Bekkby**, **G Borgersen**, A Handå (2020) Offshore kelp cultivation in Norway: a Seaweed CDR project: REV-Ocean international seaweed farming workshop. Talk. **Invited speaker(s)**. 16.11.2020
2. **Gundersen H**, Andersen GS, Kvile KØ. 2020. The Nordic Blue Carbon Project: Distribution mapping of blue Carbon habitats. Talk. Nordisk Ministerråd, 27.10.2020.
3. **Hancke K**, **Gundersen H**, **Borgersen G**, d'Auriac MA, Ruus A, Andersen GS, Frigstad H. 2020. The Nordic Blue Carbon Project. Talk. Nordisk Ministerråd, 27.10.2020.
4. Torstensen, R.R.G. (2020) Miljøeffekter ved dyrking av sukkertare (*Saccharina latissima*) -- Et tare dyrkingsanleggs rolle som kunstig habitat. Havforskermøte 2020, 20.10.2020, Online.
5. **Broch OJ**, IH Ellingsen, **K Hancke** (2020) Deposition of detritus from near- and off-shore kelp farm as a contribution to CO₂ sequestration. AGU Ocean Sciences meeting, San Diego CA, scientific talk, 17.02.20

2019

6. **Hancke K**, **H Gundersen**, GS Andersen, H Frigstad (2019) Carbon cycling in Nordic blue forests with emphasis on Norwegian kelp forest. Nordic Blue Carbon workshop. Norwegian Environmental Agency, Oslo, Norway 21.11.2019
7. **Gundersen H**, Andersen GS, **Bekkby T**, **Christie H**, Frigstad H, **Hancke K**, **Rinde E**. 2019. Distribution and biomass of blue forests in the Nordic countries. Final workshop for the Nordic Blue Carbon project 21-22.11.2019, Helsefyr, Oslo, Norge.
8. **Hancke K**, **G Borgersen**, MA d'Auriac, **H Gundersen**, **GS Andersen**, H Frigstad (2019) Kelp carbon export and sequestration. Nordic Blue Carbon workshop. Norwegian Environmental Agency, Oslo, Norway 21.11.2019

9. **Hancke K** et al. (2019) Recent developments in kelp farming and mapping of blue carbon resources. Nordic Blue Carbon workshop. Norwegian Environmental Agency, Oslo, Norway 21.11.2019
10. **Hancke K** (2019) The KELPPRO project - overall aim and current status. KELPPRO annual work meeting. Oslo. 18.11.2019
11. **Hancke K** et al. (2019) Morgendagens miljøovervåkning og blått karbon. Invitert seminarinnlegg for Kunnskap- og globalseksjonen, Klima og miljødepartementet. Oslo. 11.11.2019. **Invited talk**
12. **Hancke K, H Gundersen, H Frigstad, S Langaas** (2019) Carbon sequestration in macroalgae beds and kelp forests, Tekna Senimars Oslo 17.10.19. **Invited talk**
13. **Broch, O. J., M. Alver, T. Bekkby, H. Gundersen, A. Handå, J. Skjermo, K. Hancke, and R. Tiller** (2018a), Potensialet for dyrking av makroalger i Trøndelag, med blick til Finnmark, in Forum for Biomarine Næringer, edited, Tana.
14. **Broch, O. J.** (2019), Perspektiver på tare dyrking i Norge, in Alger - framtidens industri i dag. Seminar om mikro- og makroalger, edited, Kristiansund.
15. **Hancke K** and **J Skjermo** (2019) Seaweed farming in Norway: Blue Carbon and Blue Economy perspectives. The International Blue Carbon Initiative workshop. Copenhagen, Denmark, 11.09.2019. **Invited talk**
16. **Gundersen H** (2019) Blue carbon distribution mapping. The International Blue Carbon Initiative workshop. Copenhagen, Denmark, 11.09.2019. **Invited talk**
17. **Hancke K, Å Åtland, R Fieler** (2019) Positive og negative miljøpåvirkninger av storskala tare dyrking. Aqua Nor, Trondheim, 22.08.2019
18. **Hancke K, H Gundersen, H Frigstad** (2019) Karbonlagring i tareskog/Carbon sequestration in macroalgae beds and kelp forests. Tekna Climate workshop. Trondheim, Norway. 08.05.2019. **Invited talk.**
19. **Bekkby T, Andersen GS, Angeltveit G, Broch OJ, Bøe R, Christie H, Erikstad L, Espeland SH, Fagerli CW, Fredriksen S, Gitmark JK, Gundersen H, Hancke K, Kile MR, Moy F, Moy SR, Norderhaug KM, Rinde E, Smit C, Steen H, Tveiten L.** 2019. Merverdi av storskala og langvarig innsats for kartlegging av marine natur. Talk. Havforskermøtet, Tromsø, 13.2.2019.
20. **Christie H, Rinde E, Bekkby T, Gundersen H, Fagerli CW, Strand HK.** 2019. Storskala endringer i kystnære økosystemer i Midt- og Nord-Norge. Talk. Havforskermøtet, Tromsø, 13.02.2019
21. **Christie H** (2019) Seaweeds – A new industry? Talk at Oslo Science Park, Oslo, 12.03.2019

2018

22. **Gundersen H, Andersen GS, Bekkby T, Christie HC, Fagerli CW, Filbee-Dexter K, Frigstad H, Gitmark JK, Hancke K, Kile MR, Moy SR, Ramirez-Llodra E, Rinde E, Tveiten LA, Walday MG.** 2018. Tare i tiden. NIVA institute seminar 01.12.2018.
23. **Gundersen H, Bekkby T, Rinde E, Christie H.** 2018. Large-scale changes in coastal ecosystems in Northern Norway. Talk. BlueTrans workshop. Sommarøy, Tromsø, Norge. 5-6.11.2018.
24. **Hancke, K., H Gundersen, T Bekkby** (2018) KELPPRO - Seaweed farming, good or bad news to the coast and society? RCN MARINFORSK conference, Lillestrøm, Norway. Poster 24.10.2018
25. **Broch, OJ, MO Alver, T Bekkby, H Gundersen, A Handå, J Skjermo, K Hancke** (2018) THE POTENTIAL FOR KELP *Saccharina latissima* CULTIVATION IN NORWAY. AQUA2018, Montpellier France. TALK. 27.08.18
26. **Hancke K, OJ Broch, T Bekkby, Y Olsen, R Fieler, H Gundersen, MO Alver, H Christie** (2018) Kelp industrial production: Potential impacts on coastal ecosystems. AQUA2018, Montpellier France. TALK. 27.08.18
27. **Broch OJ, M Alver, R Tiller, T Bekkby, H Gundersen, A Handå, J Skjermo, K Hancke** (2018) Potensialet for dyrking av makroalger i Trøndelag. Algesmeinar på Frøya; 21.08.2018.
28. **Hancke, K., H Gundersen, T Bekkby** (2018) Seaweed farming – good or bad news to the coast and society? Arendalsuka, session for the Norwegian Blue Forest Network. Norway. Poster 16.08.2018

29. **Broch, OJ, M Alver, T Bekkby, H Gundersen**, A Handå, J Skjermo, **K Hancke**, R Tiller (2018) Potensialet for dyrking av makroalger i Trøndelag, med blikk til Finnmark. Forum for Biomarine Næringer; 2018-05-24. Talk
30. **Hancke K, OJ Broch, T Bekkby, Y Olsen, R Fieler, S Matsson, H Gundersen, H Christie** (2018) Kelp industrial production: Potential impacts on coastal ecosystems. Talk at HAVBRUK2018, Oslo, Norway, 18.04.2018. **Invited talk**
31. **Broch OJ, I Ellingsen**, D Slagstad, A Handå (2018) Impacts of climate change on the prospects for macroalgae cultivation in northern norway. Arctic Frontiers; 2018-01-23 - 2018-02-25. Talk

2017

32. **Hancke K**, C Fagerli, **H Gundersen**, R Lansbergen, H Frigstad, M Norli, **G Borgersen**, E Rinde, K Austnes, KM Norderhaug, A King, J Johansen, R Bellerby 2017 Effects of Ocean Acidification and dissolved organic matter on coastal kelp forests. OASIS seminar. CIENS park, Oslo, 08.12.17. **Invited talk**
33. **Broch OJ**, R Tiller, A **Handå**, J Skjermo (2017) Potensialet for dyrking av makroalger i Trøndelag. Algeseminar på Val; 2017-11-23 - 2017-11-23, OCEAN NTNU. Talk
34. **Hancke K** et al 2017 Potensielle konflikter og synergier av tare dyrking men tanke på miljø og andre brukere i kystsonen. Kom-Til-Tare seminar: Forvaltning av makroalgae-produksjon i sjøen. Ålesund 22.11.17. *Workshop talk*
35. **Hancke K** et al 2017 Carbon pathways for Nordic kelp forests. Nordic Blue Carbon workshop. Oslo. 17.11.17. **Invited talk**
36. **Hancke K** et al 2017 Blue carbon – climate adaptation, CO₂ uptake and sequestration of carbon in nordic blue forests. Nordic Blue Carbon workshop. Oslo. 16.11.17. **Invited talk**
37. **Christie H, K Hancke** et al. 2017 KELPPRO Kelp industrial production: Potential impacts on coastal ecosystems. MACROSEA annual meeting. Trondheim. 26.10.17. **Invited talk**
38. **Hancke K** et al. 2017 KELPPRO Kelp industrial production: Potential impacts on coastal ecosystems. PROMAC seminar on kelp cultivation. NMBU Oslo, 26.10.17. **Invited talk**
39. Torp ØH, CW Fagerli, S Fredriksen, **K Hancke**, KM Norderhaug (2017) Factors affecting *Saccharina latissima*, concerning growth, recruitment and competition. Annual meeting for Norwegian oceanographers. Bergen, Norway. 19.10.17. *Talk*
40. Handå A, **OJ Broch, K Hancke**, AM Lien, J Skjermo (2017) Knowledge constraints and needs to foster the development of the macroalgae production sector. Workshop on European algae production. Brussel. Oct 2017. Talk
41. Handå A, **OJ Broch, K Hancke**, AM Lien, J Skjermo (2017) MACROALGAE CULTIVATION IN NORWAY RESEARCH ON INDUSTRIAL DEVELOPMENT AND ENVIRONMENTAL IMPACT. Phycomorph workshop on Environmental impact of seaweed aquaculture. Brussel. Oct 2017. Talk
42. **Gundersen H**. 2017. Carbon uptake in the blue forests. Carbon uptake in forests – The Earths "natural" buffer for climate change. The Norwegian Academy of Science and Letters. Oslo. 02.10.2017
43. **Gundersen H**. 2017. The Norwegian Blue Forest Network. KELCO workshop: the role of kelp export in shaping adjacent benthic ecosystems: steps for international collaboration. CIENS, Oslo. 19.9.2017.
44. **Broch OJ** et al. Tare dyrking til havs. Seminar Miljødirektoratet. Trondheim 02.05.2017. **Invited talk**
45. Mauritzen C, M Olsen, H **Gundersen**, E Selig, **K Hancke** 2017 NIVA's new oil: The Blue Forest. NIVA Institutt meeting. CIENS, Oslo, 06.04.17. **Invited talk**
46. **Broch OJ**, J Skjermo, A **Handå** et al 2017. Potential cultivation areas and environmental interactions. SIG Seaweed Seminar. Trondheim 04.04.2017. **Invited talk**
47. **Hancke** 2017 Miljø-effekter av makroalgedyrking: Positive og negative effekter på havbunnen, livet i vannsøylen og påvirkning et "kunstig" økosystem (tareanlegg) kan ha på lokalmiljøet. LISTER Inovasjonsseminar, Flekkefjord, 27.03.17. **Invited talk**

48. **Hancke** 2017 KELPPRO: Effects of industrial kelp production on sea floor ecosystems. KELPPRO kick-off meeting, CIENS Oslo, 22.03.17. Talk
49. **Hancke** 2017 KELPPRO Kelp industrial production: Potential impacts on coastal ecosystems. KELPPRO kick-off meeting, CIENS Oslo, 22.03.17. Talk
50. **Hancke K** 2017 Welcome and introduction to KELPPRO: An NRC project. KELPPRO kick-off meeting, CIENS Oslo, 22.03.17. Talk
51. **Hancke K** et al. 2017 Blue carbon and kelp ecosystems. SKLEC-NIVA collaboration seminar with China and Norway. **Invited talk**
52. **Hancke K** et al 2017 Ongoing and future research needs on kelp. **Invited talk** at NFR. 01.03.17

Populærvitenskapelige bidrag

2020

1. **Christie, H and K Hancke** (2021) Kelp products could surround us in the future - but how sustainable will the industry be? ScienceNordic. 09.01.2021. <https://sciencenorway.no/>
2. **Christie, H and K Hancke** (2020) Tare dyrking er i ferd med å bli stor industri. Er vi forberedt? Kronikk i Aftenposten Viten. På Trykk og online. 25.11.2020
3. **Omsted, G** (2020) Kan bærekraftig tare bli stor industri? Forskning.no. 08.11.2020

2019

4. **Bekkby T.** Blått karbon, tare dyrking og mulige effekter på marine økosystemer. 2019. Talk at Frokostseminar «Sustainable biomass in the Nordics – How should we farm the ocean?». DOGA, Oslo, 14.11.2019
5. **Hancke K** (2019) Positive og negative miljøpåvirkninger av storskala tare dyrking. On «Det grønne skiftet i havet – Hvordan få plass til en stor tareindustri?» at Arendalsuka. 14.08.19. #113030
6. **Broch, OJ** (2019) Potensialet for storskala tare dyrking og CO2 fangst. Talk at Arendalsuka at Bellonas seminar Det grønne skiftet i havet –Hvordan få plass til en stor tareindustri? 14.08.2019.
7. **Broch, O. J., M. Alver, R. Tiller, T. Bekkby, H. Gundersen, A. Handå, J. Skjermo, and K. Hancke** (2019b), Potensialet for dyrking av makroalger i Trøndelag, in Algeseminar på Frøya, edited, Frøya kultur- og kompetansesenter.
8. **Broch, M. Alver, T. Bekkby, H. Gundersen, A. Handå, J. Skjermo, and K. Hancke** (2019), Tare dyrking i Norge (Hvor bør man dyrke og hvor stort er potensialet?)
9. Hovden TS et al (2019b) Researcher believes in kelp farming. ScienceNordic.com. <http://sciencenordic.com/researcher-believes-kelp-farming>. 15.04.19
10. Hovden TS et al. (2019) Trur på enorm vekst i tareoppdrett. Forskning.no. 04.04.2019 <https://forskning.no/havet-mat-niva/trur-pa-enorm-vekst-i-tareoppdrett/1321500>
11. Hovden TS 2019 Helgelandskysten er ein biologisk og kulturell skatt. Forskning.no. 18.01.2019
12. Hovden TS and **K Hancke** (2019) Helgelandskysten verdt sin vekt i gull. Helgelands blad. 09.01.2019. s. 6-7
13. Skjermo, J. (2019a), Forskarar trur tareoppdrett kan gjere Noreg klimanøytralt, edited.
14. Skjermo, J. (2019b), Forskere tror tareoppdrett kan gjøre Norge klimanøytralt, edited.
15. Skjermo, J., P. Stevant, E. A. Skår, and **K. Hancke** (2019), Tror norsk tareoppdrett kan komme på størrelse med Hardangervidda, edited.

2018

16. **Hancke, K** 2018 Stor-skala tare dyrking: Faktorer der kan påvirke og spiller inn på naturlige økosystemer. AlgenettNord seminar. Bodø/video. 17.12.18
17. Hovden, TS and **K Hancke** (2018b) Researchers use drones to photograph seaweeds: The tidal zone from a bird's-eye view. ScienceNordic. 14.11.18
18. Hovden, TS and **K Hancke** (2018) Forskarar brukar drone for å ta bilete av tang og tare. Forskning.no 09.10.2018

19. Avset, LMM, R Lansbergen, **K Hancke** 2018 Et surere hav får denne taren til å vokse. www.forskning.no 09.04.2018
20. **Hancke K**, LC Lund-Hansen, B Sorrell 2018 Verdensrekord: Grønlandske isalger vokser næsten helt uten lys. Vitenskap.dk <https://videnskab.dk/>. 21.03.2018
21. Avset, LMM, R Lansbergen, **K Hancke** 2018 Will climate change affect Norwegian kelp forests in a positive way? ScienceNordic <http://sciencenordic.com/>. 23.02.2018
22. **Hancke K**, LC Lund-Hansen, B Sorrell 2018 Climate change boosts algae growth in the Arctic. ScienceNordic <http://sciencenordic.com/>. 21.02.2018

2017

23. Strømgren 2017 Subsea Technology for Seaweed Blue Growth. News article. Global Center of Expertise GCE Subsea. 12.06.17. <http://www.gcesubsea.no/article/17141/Subsea-Technology-for-Seaweed-Blue-Growth>
24. Avset LMM 2017 Derfor må vi ta vare på økosystemene langs kysten. Popular science online journal forskning.no. 08.06.2017. <http://forskning.no/2017/06/norskekystens-fremtid-avhenger-av-okosystemene/produsert-og-finansiert-av/norsk-institutt-for-vannforskning>

Media/radio/TV

1. Radio interview med **Hege Gundersen**. [Karbonlagring er ikke menneskeskapt](#). NRK Ekko. 22.07.2020
2. Radio interview med **Hartvig Christie** og Jorunn Skjermo. [Tarefarmer kan føre Norge - Store anlegg for dyrking av tare langt tilhavs, kan gjøre Norge selvforsynt med mat, medisiner og drivstoff](#). NRK Ekko. 20.07.2020
3. 'Ekspertintervjuet' med Kasper Hancke. Kan tare bremse oppvarmingen? The <2oC magazine. ENERGI & KLIMA 22.01.2020.
4. Radio interview med **Hartvig Christie** og **Jon Funderud**. [Tang og tare, den nye plasten](#). NRK Ekko. 09.12.2019
5. Intervjuet i Klassekampen m. **Hartvig Christie**. Tareskogens hemmelighet. 2 sider. 27.11.2019.
6. Glad for at Helgelands-kysten besto stor helsesjekk. Fiskeribladet Fiskaren. 21.01.2019.
7. Helgelandskysten besto omfattende helsesjekk. Fiskeribladet. 09.01.2019
8. TV-interview med **Kasper Hancke**, NRK-Sogn-og-Fjordane. Utvikling av taredyrking. Florø, Norway. 07.06.17
9. Radio interview med **Kasper Hancke**, NRK-Sogn-og-Fjordane. Florø, Norway. 07.06.17
10. **Gundersen H.** 2017. Kan dyrking av tare bli det store norske lakseeventyret? NRK P2 Ekko. 25.10.2017
11. **Gundersen H.** 2017. Er tare en del av det grønne skiftet? NRK radio program P2 Ekko. 11.10.2017.

Blogginnlegg og sosiale media

- **Broch OJ**: Taredyrking i Norge (Hvor bør man dyrke og hvor stort er potensialet?) #SINTEFblogg <https://blogg.sintef.no/sintefocean-nb/taredyrking-hvor-dyrke-hvor-stort-potensialet/>
- >39 posted tweets with topics from the KELPPRO project, which have resulted in >35 retweets and >117 likes (retweets of other non-KELPPRO news are not included), via the NIVAkelp Twitter account (813 followers per 15.02.2021).
- >2 Facebook posts on KELPPRO related work and >10 on associate/related projects

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnærmingssmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no