

Forvaltningsgrundlag for bæredygtig høst af vilde bestande af tang - kystnær blæretang og sargassotang

Mette Møller Nielsen, Peter Søndergaard Schmedes og Aris Thomasberger

DTU Aqua-rapport nr. 422-2023



Forvaltningsgrundlag for bæredygtig høst af vilde bestande af tang – kystnær blæretang og sargassotang

Mette Møller Nielsen, Peter Søndergaard Schmedes og Aris Thomasberger

DTU Aqua-rapport nr. 422-2023

Kolofon

Titel:	Forvaltningsgrundlag for bæredygtig høst af vilde bestande af tang – kystnær blæretang og sargassotang
Forfattere:	Mette Møller Nielsen, Peter Søndergaard Schmedes og Aris Thomasberger
DTU Aqua-rapport nr.:	422-2023
År:	Det videnskabelige arbejde er afsluttet i april 2023. Rapporten er udgivet i maj 2023.
Reference:	Nielsen, M.M., Schmedes, P.S. & Thomasberger, A. (2023). Forvaltningsgrundlag for bæredygtig høst af vilde bestande af tang – kystnær blæretang og sargassotang. DTU Aqua-rapport nr. 422-2023. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 53 pp. + bilag
Forsidefoto:	Kortlægning af blæretang med drone. Foto: Aris Thomasberger, DTU Aqua
Udgivet af:	Institut for Akvatiske Ressourcer, Øroddevej 80, 7900 Nykøbing Mors
Download:	www.aqua.dtu.dk/publikationer
ISSN:	1395-8216
ISBN:	978-87-7481-352-1

DTU Aqua-rapporter er afrapportering fra forskningsprojekter, oversigtsrapporter over faglige emner, redegørelser til myndigheder o.l. Medmindre det fremgår af kolofonen, er rapporterne ikke fagfællebedømt (peer reviewed), hvilket betyder, at indholdet ikke er gennemgået af forskere uden for projektgruppen.

Forord

Dette projekt har modtaget økonomisk støtte fra Den Europæiske Hav- og Fiskerifond og Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (tidligere: Miljø- og Fødevareministeriet) via programmet "Fiskeri, natur og miljø", indsatsområde: "Marin biodiversitet og økosystemer".

Alle offentliggjorte DTU Aqua forskningsrapporter kan downloades i elektronisk format fra DTU Aquas hjemmeside: www.aqua.dtu.dk/Publikationer.

Originaltekster og illustrationer fra denne rapport kan gengives til ikke-kommercielle formål, forudsat at der gives klare kildeoplysninger.

Nykøbing Mors, april 2023

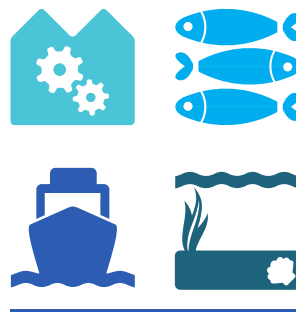
Mette Møller Nielsen, Peter Søndergaard Schmedes og Aris Thomasberger

DTU Aqua
Sektion af Kystøkologi
Øroddevej 80
7900 Nykøbing Mors
Tlf.: 96 69 02 83
post@skaldyrcenter.dk
www.aqua.dtu.dk/forskning/skaldyr



Den Europæiske Union
Den Europæiske Hav- og Fiskerifond

HAV & FISK



Indhold

Dansk resume	5
English Summary	7
1. Baggrund for projektet	9
1.1 Formål	9
2. Høst af vilde bestande af blæretang	11
2.1 Baggrund	11
2.2 Områder og forsøgsdesign	12
2.3 Høst-effekter på individ-niveau	14
2.3.1 Metoder	14
2.3.2 Resultater	15
2.4 Høst-effekter på bestands-niveau	20
2.4.1 Metoder	20
2.4.2 Resultater	21
2.5 Langtidseffekter på bestanden og metode-forskelle	24
2.6 Betydningen af naturlig rekruttering	25
2.7 Tangbiomassens kvalitet	27
2.7.1 Metoder	27
2.7.2 Resultater	27
2.8 Diskussion	29
2.8.1 Droner som værktøj	29
2.8.2 Konsekvenser af høst af blæretang	31
2.8.3 Rekruttering	33
3. Sargasso-tang	34
3.1 Baggrund	34
3.2 Identifikation af sargassotangs hotspot udbredelse	34
3.3 Høsteffekter på sargassotang (PS)	36
3.3.1 Metoder	36
3.3.2 Resultater	37
3.4 Estimering af biomasse-potentialet	39
3.5 Test af skånsomt høstredskab	41
3.6 Opsamling – biomassepotentiale og høsteffekt for sargassotang i Limfjorden	45
4. Forvaltning af vilde tang-ressourcer	46
4.1 Nuværende regler og praksis	46
4.2 Forvaltning af vilde tangressourcer	48
4.2.1 Regulering i andre lande	48
4.2.2 anbefalinger til danske forvaltningstiltag	49
4.3 Manglende viden	50
Referencer	52
Bilag A: Billedeksempler – Knebel Vig	54
Bilag B: Billedeksempler – Isefjorden	57

Dansk resume

Makroalger (tang) vokser i havvand og udgør en vigtig fødekilde og habitat for marint liv i kystzonen. Samtidig er vildtvoksende tang en eftertragtet biomasseressource som i en række lande indsamles og anvendes i produktion af kommercielle produkter. I Danmark er udnyttelsen af vildtvoksende tang endnu relativ lille, om end stigende i de senere år i takt med et generelt øget fokus på tang som bæredygtig ressource. Det er dog stort set udokumenteret, hvilken konsekvens høst af kystnær tang har for genvæksten af de høstede arter og der findes i dag ikke en forvaltningspraksis, som regulerer høst af kystnær tang og sikrer beskyttelse af bestandene. Formålet med nærværende projekt var derfor at tilvejebringe videnskabelig dokumentation for høsteffekten af tangarter, som vokser kystnært i Danmark, og på den baggrund give anbefalinger til forvaltningen af den kystnære tangressource.

I projektet blev der i perioden 2020-2022 foretaget feltstudier for at undersøge vækstresponsen hos tangarten blæretang (*Fucus vesiculosus*) i kystzonen på tre forskellige lokaliteter i Danmark (Fegge Klit, Knebel Vig og Isefjorden) ved brug af forskellige høstbehandlinger. Vækstresponsen blev monitoreret både på individ- og bestandsniveau. Til sidstnævnte blev droneteknologi afprøvet og vurderet som redskab. De forskellige høstbehandlinger bestod i at klippe blæretangen ved enten bladspidserne (TIPS), klippe den helt ned til stænglen (FULL) eller fuldhøste hvert tredje individ (THIRD). Disse blev sammenholdt med en ikke-høstet kontrolgruppe.

Med resultaterne fra dette studie står det klart, at der er forskelle på genvækstresponsen hos blæretang afhængig af høstmetode, lokalitet og hvilken skala der vurderes på. På individniveau udviste kontrol-gruppen stort sæsonafhængigt udsving i form af tilvækst og tab af biomasse grundet naturlig slitage. FULL-høstede individer formåede ikke at gendanne den fulde biomasse i løbet af 1-2 år, hvorimod TIPS-høstede individer gendannede tilsvarende biomasse efter 0,5-1,5 år. Antallet af nye skudvækster samt deres akkumulerede længdetilvækst var størst hos TIPS-høstede blæretang.

På bestandsniveau var genvækstresponsen hurtigere. For alle høst-behandlinger undtagen den fulde høst (FULL), kunne man i Knebel se at den stående biomasse allerede i august havde nået den tilsvarende (eller højere) biomasse end der havde været før høsten. Dvs. bestanden på bare 3 måneder var i stand til at generere den tabte biomasse. For områder med fuld høst (FULL) var biomassen først fuld tilbage i november, dvs. efter 5 måneder. Isefjorden, som blev høstet allerede i marts, var alle høst-områder vokset tilbage til indledende stående biomasse i september svarende til 6 måneder efter høst. Dog med en tendens til lidt længere responstid i forsøgs-områderne med fuld høst (FULL).

Forskellene i individ-responser og bestandsresponserne, viser at gendannelsen af stående biomasse i et høstfelt i mindre grad skyldes genvæksten af høstede individer, men snarere at en underskov af mindre individer kan vokse op og at nye individer kan rekrutteres ind i området. Projektets undersøgelser tog note af den mængde af selvsåede ny blæretang, der naturligt fandt sted i alle høstplots og fandt at rekrutteringen var afgørende for bestandens evne til at komme sig efter høst.

På trods af den hurtige tilbagevenden af den indledende stående biomasse, viste et studie af langtidseffekterne i Isefjorden dog, at kontrol-områder og TIPS-høstede områder havde signifikant større stående biomasse end FULL-høstede områder efter 1 år. Så sammenholdt med fuldt høstede områder har områder, hvor der kun er høstet spidser altså en bedre evne til at udvikle sig over lang tid.

På baggrund af gennemførte studier vurderes det, at sunde bestande af blæretang tolererer en vis grad af udnyttelse ved menneskelig høstaktivitet, men at høstede bestande er mindst 2 år om at reetablere sig. Konkret anbefales det 1) at høst kun udføres i områder med større bestande som vurderes at have en sund selvregulerende rekruttering, 2) at der anvendes en skånsom høstmetode, hvor kun den ydre del af planten beskæres, 3) at der opereres med en zoneopdeling med mindst 20-30 meter imellem høstfelter, hvorefter disse braklægges i 3-5 år, og 4) at høsten udføres i perioden marts til maj inden eller tidligt i den primære vækstsæson og inden den primære fertile periode indtræder.

Foruden studiet på blæretang, blev der også lavet undersøgelser af den invasive sargassotang (*Sargassum muticum*). Artens hot-spot udbredelse blev dokumenteret og i udvalgte områder blev artens genvækstpotentiale efter høst undersøgt og slutteligt blev et større høstforsøg udført med det formål at teste anvendelsen af et skånsomt høstredskab til at reducere forekomsten. Hot-spot studiet i Løgstør Bredning indikerede, at sargassotang har toppet dens spredning i bredningen og at de områder, hvor arten har formået at etablere sig med relative tætte bestande, er relativt få. En feltundersøgelse i et hot-spot område i 2022 viste et biomassepotentiale på omtrent 12-17 tons friskvægt sargassotang per hektar. I et af de identificerede hot-spot områder blev der i juni 2022 foretaget en større høstaktivitet ved brug af en flydende grødeskærer. Her opnåedes kun en meget lav høsteffektivitet ($0,04 \text{ kg m}^{-2}$), da løvet havde meget få luftblærer, hvilket dels betød at planterne sank til bunds efter høst og dels gjorde det vanskelig for skærene at klippe planterne. Den høstede biomasse bestod af 76% sargassotang, 16% fucusarter, 3% filamentøse røde alger samt 4% mindre marine dyr.

Undersøgelser af genvækstresponset hos sargassotang efter høst ved forskellige høstintensiteter viste, at gendannelsen af sargassotangen var lavest jo længere ned individerne blev klippet. Dog dannede 63-97 % af individerne nye skud på stænglen eller ved holdfastorganet i løbet af 35 dage uafhængigt af høstmetode, hvilket tyder på, at en enkelt fuldhøstning af sargassotang i en sommerperiode ikke er nok til at begrænse individets gendannelse af løv.

English Summary

Macroalgae (seaweeds) grow in seawater and constitute a fundamental source of nutrition and habitat for marine life in the coastal zone. Meanwhile, wild seaweed is an attractive biomass resource exploited in several countries where the biomass is collected from wild stocks and used in commercial products. In Denmark the production volume from wild harvesting of seaweeds is still relatively small but increasing due to the awareness of it being a sustainable resource. However, there has been very little documentation of the regrowth and recovery on harvested wild seaweeds in Danish coastal waters. At present, legislative management of wild harvesting of seaweeds in the coastal zone is not implemented to a degree that coastal seaweed habitats are protected. The aim of present project was to provide more scientific documentation for the impact of harvesting of two seaweed species growing in coastal zone of Denmark. On this basis we provide recommendations for managing the exploitation of coastal seaweeds to ensure integrity of this important habitat.

Field studies were conducted in 2020-2022 to investigate the response in regrowth of Bladderwrack (*Fucus vesiculosus*) in the coastal zone at three different locations in Denmark (Fegge Klint, Knebel Vig and Isefjorden) by applying different harvest intensities. The response in regrowth was monitored on individuals and at population level. Drone technology was used for monitoring the impact on population level. The different harvest intensities applied consisted of cutting the Bladderwrack at different tissue sections; near the tips of the fronds (TIPS), cutting the individual at the stem (FULL) or in the given area cutting every third individual at the stem (THIRD). The harvest groups were compared to a non-harvested control group.

The results of this study showed that Bladderwrack regrowth was depended in the harvest treatment, geographical location, and the scale of investigation. At individual level the control group displayed large seasonal variation in biomass increment and loss due to natural erosion of the fronds. The FULL-harvested individuals did not recover the same level of biomass as before the treatment even after 0.5-1.5 years duration. The TIPS-harvested individuals displayed the largest number of new shoots as well as the accumulated growth of new shoots induced by the harvest treatment.

At population level the drone imaging analysis detected an even faster response in regrowth. For all, but the FULL-harvested populations plots, the standing stock biomass in Knebel Vig recovered or even exceeded the level before applying the harvest treatments in August, which means that those plots had generated new biomass within three months. The FULL-harvested plots needed five months to recover, thus in November those plots were estimated to have a similar level of standing stock biomass as before the harvest. At the field site in Isefjorden, where the harvest treatments were performed in March, similar level of standing stock biomass was estimated for all plots after six months in September, with a tendency that FULL-harvest plots needed an extra couples of months to recover.

There was a difference in the regrowth response of single individuals versus at regrowth at population level, which suggest that the regrowth of harvested individuals have only a smaller contribution to the overall biomass recover after harvesting at population level. This result sug-

gests that proliferation of smaller individuals under the canopy of adult Bladderwrack has an important contribution to the immediate biomass recovery after harvesting as well as the recruitment of new individuals into the site. The project took note of the level and growth of new recruitment of Bladderwrack – a result that points out that new recruitment has major importance for self-sustaining Bladderwrack populations.

Despite a fast recovery of standing stock biomass in harvested plots a long-term monitoring showed that both control plots and TIPS-harvested plot generated a significantly higher standing stock biomass compared to the FULL-harvested plots. This emphasizes that TIPS-harvested areas with Bladderwrack have better capacity to recover standing stock biomass.

Based on conducted investigations it is estimated that healthy populations of Bladderwrack tolerate some level of human harvesting activity if the harvest site is allowed at least 2 years fallow for recovery. Specifically, it is recommended that 1) harvest activity is only performed in areas with bigger populations estimated to have a self-regulating recruitment, 2) only the sustainable harvest method of cutting the tips of the fronds are being used, 3) that sites with harvest activity is divided into zones of at least 20-30 meters distance with a fallow period of 3-5 years, and finally 4) the harvest activity is conducted in the period of March to May which is before or early in the primary growth season and before the primary season for maturing the reproductive organs.

In addition to the study on Bladderwrack, field investigations on the invasive *Sargassum* seaweed (*Sargassum muticum*) were conducted. Hot-spot areas for the species were identified by meta-analysis in which both the biomass potential and its response in regrowth were documented.

Comparing the current size and latest historical trend of its hot-spot area in Løgstør Bredning indicates that the species has peaked and is now reducing the accumulated size of hot-spots in this water body. From a field investigation in 2022 based on the linear relationship of areal coverage and biomass yield it was estimated that a hot-spot area holds 12-17 tons of fresh weight *Sargassum* seaweed. In one of the identified hot-spot areas a larger harvest activity was conducted in June 2022 by use of a floating weed-cutter. The harvesting trial performed a low harvest efficiency of 0.04 kg m⁻² which was attributed the unexpected low number of bladders on the fronds which impede this action of the cutting device and caused the biomass stay low in the water column instead of floating to the surface. The manually collected harvest was shown to consist of 76% *Sargassum* seaweed, 16% *Fucus*-species, 3% filamentous red seaweeds, and 4% marine animals.

The response in regrowth after applying two different harvest intensities on *Sargassum* individuals showed that the recovery in frond height was lowest for the individuals with the lowest cutting height. Thirty-five days after the harvest treatment it was observed that 63-97 % of all individuals generated new shoots along the fronds or at the holdfast organ, which indicates that a single full harvest of the fronds is not stressful enough to prevent regrowth of *Sargassum* fronds.

1. Baggrund for projektet

Der vokser store mængder af tang lige under havoverfladen langs de danske kyster – en tangressource som flere private og virksomheder i det seneste årti har fået øjnene op for og bruger i eget køkken eller til kommerciel virksomhed. Da brugen af de danske tangressourcer er et relativt nyt fænomen, findes der ikke dokumentation for, hvordan høst af danske tangbestande kan udføres bæredygtigt i kystnært farvand. Endvidere er det stort set udokumenteret, hvorledes høst af tang påvirker udbredelsen af forskellige tangarter og deres levesteder.

I de seneste 10 år er der spiret flere virksomheder frem i Danmark, som baserer deres økonomi på tang som ressource, en trend som også ses europæisk og globalt grundet efterspørgsel på sunde lokale fødevarer. Flere danske virksomheder høster selv vild tang og efterspørger dansk tang. De arter, der høstes mest fra vilde bestande i Danmark, er *Fucus*-arterne savtang og blæretang. Den nuværende metode, som virksomhederne anvender til kystnær høst af tang i Danmark, udføres ofte ved afrivning eller afklipning af dele af tangplanten på et relativt stort areal for at dække behovet for biomasse. Det kræver tilladelse at anvende tang til kommerciel brug, men kun i de tilfælde, hvor der høstes til økologisk brug, er der et egentligt kontrolprogram i selve høst-områderne. Det videnskabelige grundlag, myndighederne skal støtte sig til, er i øjeblikket stort set ikke-eksisterende for danske farvande, og vurderingen af miljøeffekterne overlades som det er nu primært til producenterne selv. Der er derfor behov for mere viden på området for at fremme en forsvarlig udnyttelse af denne marine ressource i kystnære lavvandede områder i Danmark.

Tang indgår som biologisk kvalitetselement i Vandrammedirektivet og Habitatdirektivet og dens økologiske status er således væsentlig for vurderingen af vores vandområders økologiske tilstand. For at kunne opnå god økologisk tilstand er det derfor væsentligt at forstå, hvilken betydning menneskeskabte påvirkninger som høst har på tangen som kvalitetselement. Den begrænsede regulering af høst af vilde tangbestande står derfor også i skærende kontrast til den beskyttelse tangforekomster tildes i forbindelse med erhvervsfiskeri af f.eks. muslinger og østers jf. muslingepolitikken. Her indgår udbredelsen af tang i fiskeriets regulering, så den kumulative arealpåvirkning i et fiskeriområde ikke overskrider 15% over en 5-årig periode. Denne beskyttelse af tangforekomsterne har tidligere været medvirkende til at begrænse fiskeriet i Løgstør Bredning (Nielsen et al. 2018). **Det faktum, at ét erhverv på den ene side begrænses i sin udvikling for at beskytte tangforekomster, mens den direkte udnyttelse af tangen selv som ressource ved høst af vilde bestande er forholdsvis ureguleret, understreger nødvendigheden af at skabe mere viden om de faktiske effekter af tang-høst på vilde bestande.** Det er derfor relevant at underbygge det faglige grundlag for en bæredygtig høststrategi efter tang i kystnære områder.

1.1 Formål

Det overordnede formål med projektet er at tilvejebringe et vidensgrundlag for forvaltning af høst af vilde tangarter (makroalger) i udvalgte lavvandede kystområder i Danmark, hvor der allerede i dag forekommer kommerciel udnyttelse af forskellige tangarter. Projektets fokus har været at vurdere bestandspåvirkningen ved brug af gængse høstmetoder af tang-arten blæretang, der er en af de arter, der pt. høstes mest til kommercielle formål i Danmark. Et mindre delstudie har undersøgt høst af den invasive tang-art sargassotang med det formål at undersøge

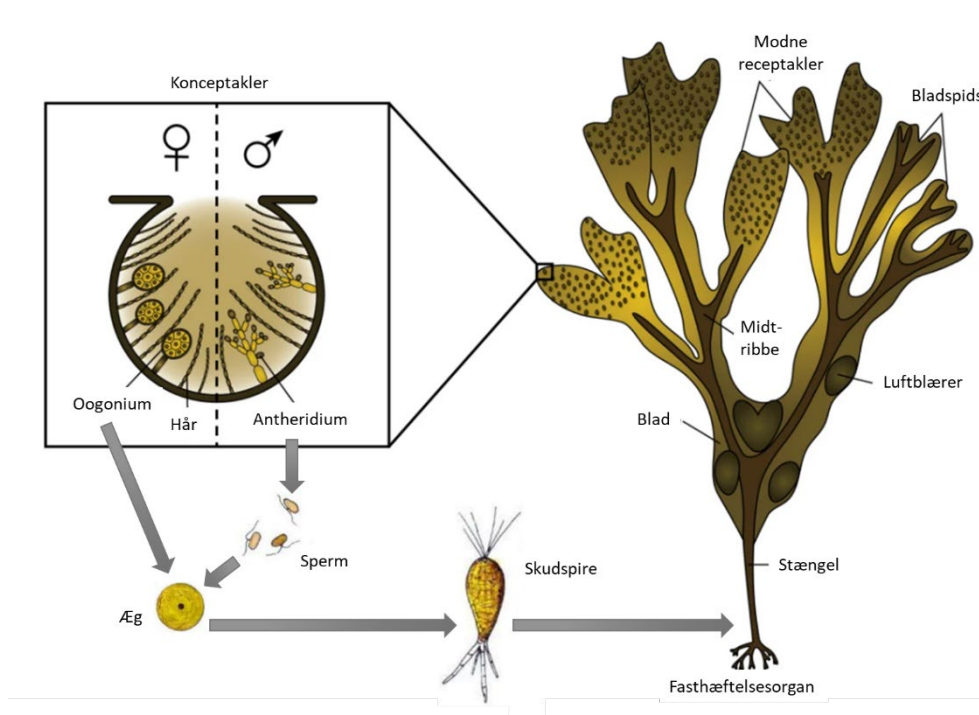
høst-effekter på arten og teste et skånsomt høstredskab, der vil kunne anvendes til høst og evt. bekæmpelse af arten.

Resultaterne fra projektet er omsat til anbefalinger til forvaltningsmæssige tiltag, der kan fremme/sikre en skånsom høst-praksis af tang i kystnære områder.

2. Høst af vilde bestande af blæretang

2.1 Baggrund

Blæretang (*Fucus vesiculosus*) er en Danmarks mest karakteristiske tangarter. Den er meget almindelig på lavt vand i tidevandszonen, hvor den som regel kan kendes på dens flydeblærer og mørke gulbrune løv, der nærmest har læderagtig karakter i frisk tilstand (figur 2.1). Den stående biomasse har en vigtig økosystemfunktion, da den danner habitat og fødegrundlag for en række arter. Blæretang og andre *fucus*-arter såsom savtang vokser på sten og danner tætte bestande fra kystlinjen og ud fra kysten til et par meters dybde. Den nederste del af plantens stængel og fasthæftelsesorgan er flerårigt. Stængelen vokser til tvedelte forgreninger og en mangeårig blæretang kan bestå af hundrevis af enkelte forgrenede blade. Det er i det yderste af bladspidserne, at både dannelsen af ny biomasse og de reproduktive organer dannes. Ved slid af bladspidser eller hele stængler kan blæretang danne nye skudvækster på mindre stængler i slidfladen samt på stængler ved fasthæftelsesorganet (discen) for at opretholde produktivitet. Ved modenhed frigives æg i vandet som efter befrugtning fastgør sig til havbundens substrat, hvilket er en vigtig del af artens regenerative selvopretholdelse (figur 2.1).



Figur 2.1. Livscyklus for blæretang. Ved modenhed danner blæretang receptakler i bladspidserne. Receptaklerne består af kugleformede gruber (konceptakler) hvori hanlige og hunlige kønsceller dannes. Ved modenhed spredes æg og sperm-celler til vandmasserne og efter befrugtning af ægget dannes en ny skudspire.

Som så mange andre tang-arter, er blæretang de senere år blevet genstand for en øget kommerciel interesse, men kendskabet til effekterne på bestanden er stort set ukendt. Et af projektets primære formål har derfor været at skabe en bedre forståelse af, hvilke effekter det har på et blæretangsbed, hvis det bliver udnyttet til kommerciel høst.

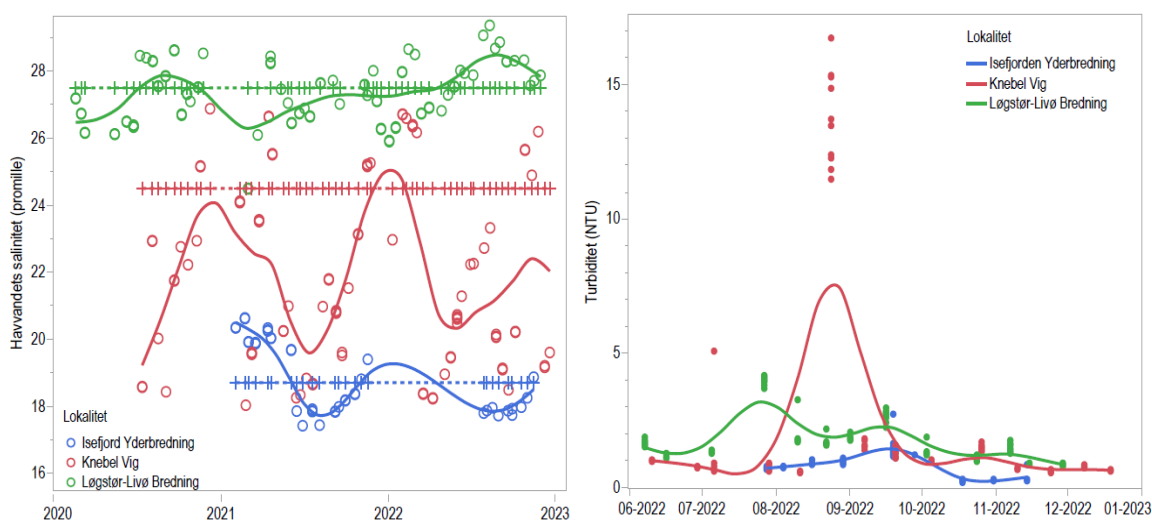
Ved projektets begyndelse i 2020 og på baggrund af dialog med fire ud af fem kendte mindre virksomheder, som høster og forarbejder blæretang fra udvalgte danske kyster, blev det oplyst at den anvendte høstmetode foregår ved at vade i det kystnære vand og med saks og håndkraft høste mellem 100-500 kg friskvægt tang på en dags indsats. I afsnit 4.1 uddybes gældende forvaltning af lovlige høstmetoder af tang i den kystnære zone. Da ikke-økologisk certificeret tang ikke skal registreres hos en myndighed i Danmark, kendes den nøjagtige årlige høstmængde ved danske kyster ikke, men den nuværende mængde anslås at være ca. 1-10 tons friskvægt.

De områder, hvor der aktuelt foregår kommerciel høst og de høst-metoder firmaerne har angivet som deres primære høstmetoder, er, i dette projekt, brugt som baseline for at undersøge tangens evne til at reetablere sig efter høst.

2.2 Områder og forsøgsdesign

Feltstudier til undersøgelse af høsteffekt af blæretang i kystnært farvand (0,5-1 meters vanddybde) blev igangsat i foråret 2020 på to lokaliteter hhv. Fegge Klit (Løgstør Bredning, Limfjorden) og Knebel Vig (Djursland: 56°13'N 10°28'E) samt på en tredje lokalitet, Isefjorden (55°49'N 11°43'E) i foråret 2021.

Områderne blev udvalgt dels på baggrund af, hvor der i dag udføres kommercielle høst-aktiviteter (Djursland og Isefjorden) og dels for at kunne dokumentere potentielle geografisk-betingede forskelle i høsteffekter. Lokaliteterne er forskellige med hensyn til graden af eksponering (bølgepåvirkning), turbiditet og saltholdighed (figur 2.2), samt mængden af kystnære sten (substrat).



Figur 2.2. Venstre: Havvandets saltholdighed (promille) i den øverste meter af vandsøjlen i perioden 2020-2023 ved de tre forskellige lokaliteter. Cirkler repræsenterer målte værdier, men krydser (+) udtrykker gennemsnittet over perioden. Højre: Havvandets turbiditet integreret for de øverste 2,4 meter af vandsøjlen i løbet af 2022 på de tre lokaliteter. Data er indsamlet fra den nærmeste NOVAVA-station (nationale miljøovervågningsprogram) baseret på udtræk fra Miljødata.dk.

I hvert område blev der udført studier på blæretang i forhold til såvel individresponsen som bestandsresponsen ved udførelse af tre forskellige høstmetoder (to for individresponsen) sammenholdt med en kontrolbehandling uden høst. Formålet med feltstudierne var at undersøge vækst

hos høstet blæretang under naturlige forhold evalueret over lang tid ved forskellig grad af høstintensitet. Blæretang høstes kommercielt oftest i forårsmånederne som samtidig er artens primære vækstsæson og foråret er derfor valgt som høsttidspunkt i dette studie. Oprindeligt skulle høsten i Knebel Vig have været foretaget i marts 2020, men grundet restriktioner ifm. Covid-19 kunne høsten ikke planlægges og gennemføres inden maj. De indsamlede vækstdata fra feltstudierne danner grundlag for ny viden om tangartens evne til at gendanne stående biomasse, som udgør en vigtig funktion i økosystemet.

De tre forskellige høstmetoder var som følger:

Beskæring af den yderste del af bladspidserne på hver forgrening (TIPS)

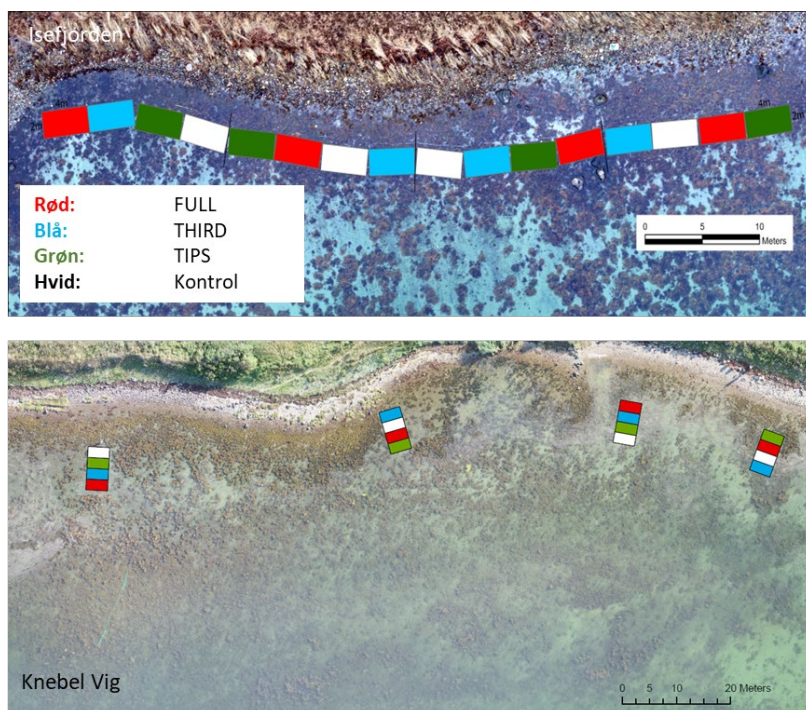
Denne høstintensitet repræsenterede den gængse metode til høst af biomasse af højeste renhed til f.eks. fødevarerbrug og udføres ved at klippe 10-15 cm af bladspidserne, som udgør 50-70 % af individets biomasse. Denne høstbehandling medfører en relativ stor reduktion i antallet af veludviklede blærer, som primært findes i denne vævssektion.

Beskæring over fasthæftningsorgan (FULL)

Denne høstintensitet repræsenterer en høstmetode med henblik på at maksimere biomasseudbyttet ved en given høstindsats og kan finde anvendelse i tilfælde, hvor formålet er at skaffe en stor mængde biomasse, f. eks til fremstilling af fodertilskud eller udtræk af bestemte molekyler i pharma eller kosmetik-industrien. Ved fuldhøst klippes individet ca. 10 cm over fasthæftningsorganet hvorved omtrent 90% af biomassen fjernes. Fuldhøst efterlader et individ bestående af afklippede stængler med eventuelle sideskud og med et intakt fasthæftelsesorgan.

Beskæring af hvert tredje individ (THIRD)

Samme beskrivelse som FULL, men hvor kun hver tredje plante høstes. Derved opnås en fortynding af blæretang i et høst-område og høstmetoden repræsenterer derfor en mere skånsom høst end FULL.

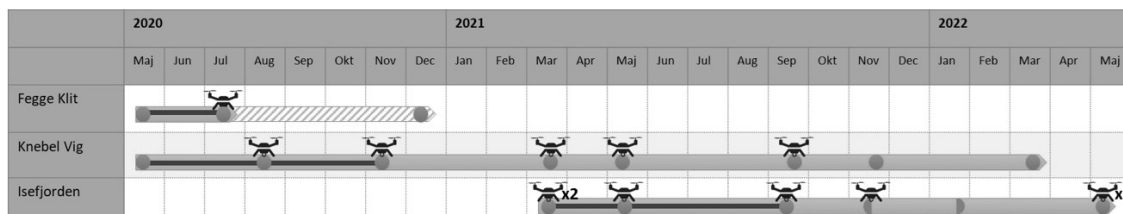


Figur 2.3. Placering af forsøgsfelter i hhv. Isefjorden (øverst) og Knebel Vig (nederst). Forsøgsområderne er farvekodet ift. Den anvendte høstmetode jf. forklaring ovenfor.

På lokaliteten Fegge Klit var bestanden af blæretang meget sporadisk i en tynd zone langs kysten med lav arealdækning og det gav ikke mening at afmærke forsøgs-felter som i Knebel og Isefjorden (2*4 m). Derfor blev der i stedet indsamlet 160 sten med fastsiddende blæretang, som derefter blev placeret i otte konstruerede felter af 1x1 m, med hver 20 individer i hvert felt. Af de 8 felter, blev der i de 4 høstet bladspidser (TIPS), mens de øvrige 4 blev bevaret som kontrol (n=4).

I Isefjorden og ved Fegge Klit lå forsøgs-felterne parallelt med kysten som perler på en snor, mens de i Knebel blev grupperet i 4 transekter vinkelret på kysten (figur 2.3). Ved forsøgets start blev felterne høstet med den angivne høst-behandling (figur 2.3), hvorefter genvæksten blev fulgt over den efterfølgende periode. For at vurdere tangens evne til at reetablere sig efter en høst-situation blev der foretaget studier dels på individ-niveau for at se den biologiske respons på det enkelte individ og dels med drone-flyvninger over forsøgs-felterne for at vurdere responset på bestands-niveau.

Figur 2.4 angiver perioderne for undersøgelserne på de forskellige lokaliteter samt tidspunkter for dataindsamling på individ-niveau og bestandsniveau.



Figur 2.4. Perioder for forsøgenes varighed på de enkelte lokaliteter (lysegrå barer) samt tidspunkter for dataindsamling for genvækstrespons på individ-niveau (●) og bestandsniveau via droneflyvninger (✈). For Isefjorden blev et af tilsynene på individ-niveau delt over to datoer i vinteren 2021/22 (◐). Derudover blev der for to af tidspunkterne foretaget to droneflyvninger på samme dag hhv. før og efter høst (✈x2). For Fegge Klit er data efter juli 2020 begrænset grundet tab af forsøgs-planter som følge af kraftig storm i efteråret. Mørkegrå barer indikerer perioden hvorfra den individuelle genvækst er sammenlignet mellem lokaliteter.

2.3 Høst-effekter på individ-niveau

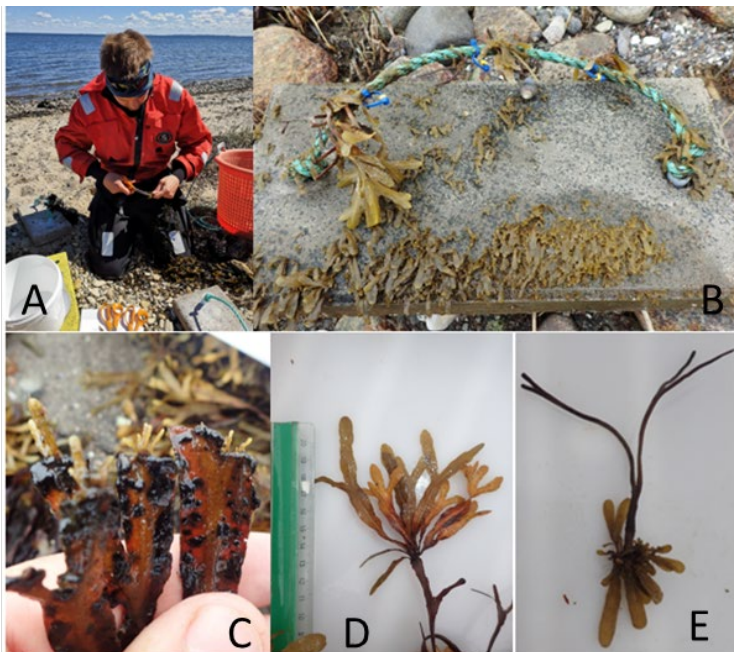
2.3.1 Metoder

I Knebel Vig og i Isefjorden, blev der hvert sted indsamlet 27 individer af blæretang på omtrent samme vanddybde. Ved indsamlingen blev individernes fasthæftelsesorgan forsigtigt løsnet fra substratet for at sikre planterne var så intakte som muligt. Herefter blev deres længde, vådvægt og generel karakteristisk noteret og hvert individ fik påsat et unikt ID-nummer, så de kunne identificeres ved senere tilsyn.

De 27 individer blev inddelt i tre grupper med hver 9 individer (n=9): to høstgrupper og en kontrolgruppe. Individene i de to høstgrupper blev klippet svarende til de to høstbehandlinger FULL og TIPS beskrevet tidligere, dvs. enten blev de klippet 10 cm over fasthæftelsesorganet (FULL) eller de fik beskåret bladspidserne (TIPS). Herefter blev individene igen vejede. Kontrolplanterne forblev uberørte og fungerede således som en reference-situation for individresponsen hos blæretang, der ikke høstes.

Da individene var fjernet fra deres naturlige substrat for at få målinger på deres vægt, var det nødvendigt at fasthæfte dem til et kunstigt substrat efterfølgende, hvorfra de ved hvert tilsyn igen kunne fjernes og opmåles og vejes. Derfor blev individene påsat et reb, der var fæstnet en

betonflise, så deres position i vandet var så naturlig som mulig (figur 2.5A-B). På hver flise blev der påsat tre individer og der var således tre fliser med hver tre individer per behandling (FULL, TIPS, kontrol).



Figur 2.5. A: Dataindsamling og klargøring af de forskellige høstbehandlinger af individuelle blæretang. B: Eksempel på en betonflise med tre FULL-høstede individer, hvor der også ses vækst af de vildt-såede rekrutterede blæretang på betonflisen. C-D: eksempel på skuddannelse i vævssektion CUT efter forskelligt tidsforløb. E: eksempel på skuddannelse ved vævssektion DISC.

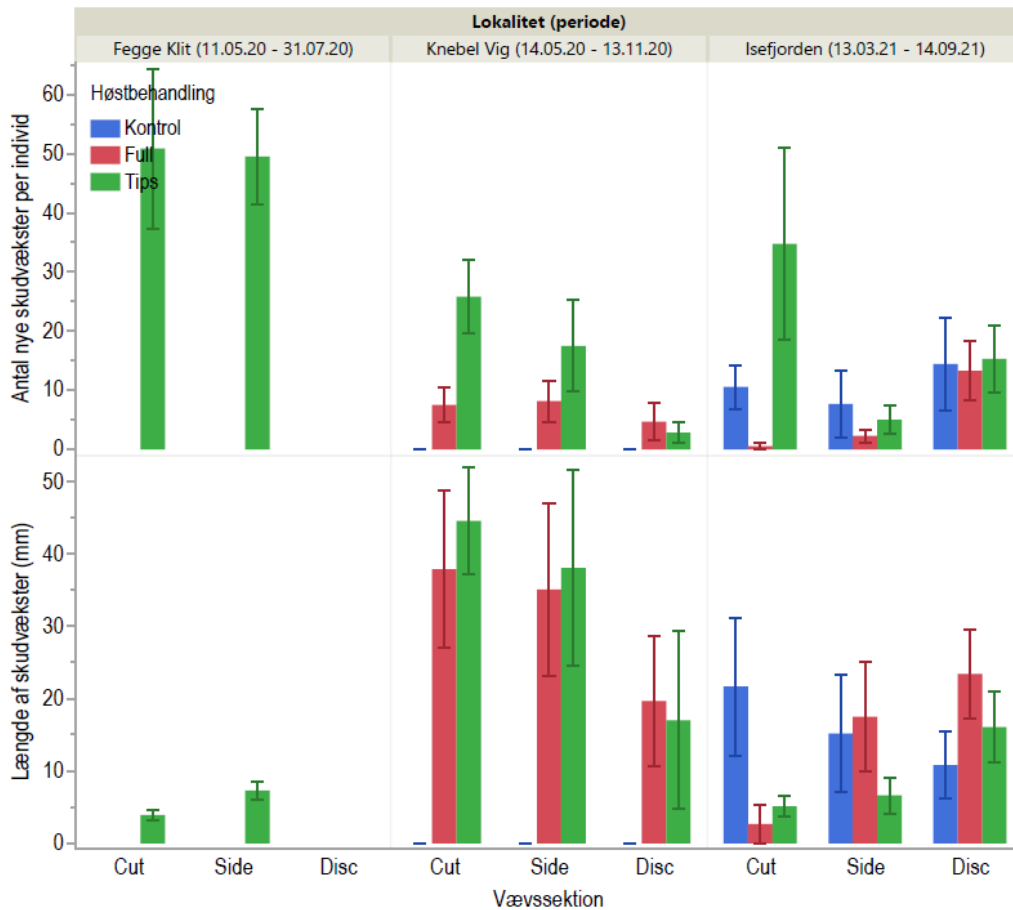
For Knebel Vig og Isefjorden blev fliserne for hver høstbehandling placeret i et høstplot af 8 m² (2*4 m), hvor hele plottet var høstet tilsvarende de enkelte individer, så de omkringværende vækstbetingelser var repræsentative for de nummererede individer. På lokaliteten Fegge Klit blev der på samme vis indsamlet individer, men da der her kun blev testet to scenarier (TIPS og KONTROL) blev der kun indsamlet 18 individer. Den øvrige fremgangsmåde var dog den samme som for Knebel og Isefjorden.

Forsøgsområderne ved Knebel Vig og Isefjorden blev genbesøgt flere gange om året (figur 2.4) og alle de identificerede individer genfundet for at følge genvæksten. Studiet ved Fegge Klit blev opgivet efter prøvetagningen i juli, da forsøgsopstillingen herefter blev ødelagt af stormvejr. Ved hvert besøg blev der indsamlet data på individernes længde og vægt samt antal og længde af nye skud i tre forskellige vævssektioner: bladspidserne (CUT) (f.eks. figur 2.5C-D), stænglen (SIDE), og fasthæftelsesorganet (DISC) (f.eks. figur 2.5E).

2.3.2 Resultater

Resultaterne er overordnet delt op i tre dele: 1) skudresponser, 2) biomasse-udvikling og 3) øvrige observationer. For at kunne sammenholde skudrespons på tværs af lokalitet, blev der kigget på en periode på 6 måneder efter høst-indgrebet for Knebel (14.5.2020-13.11.2021) og Isefjorden (13.03.2021-14.09.2021). Da en storm betød en kompromittering af forsøgsområdet ved Fegge Klit er der for denne lokalitet kun data fra de første 2,5 måned (11.05.2020-31.07.2020).

For den fulde periode af forsøgene i Knebel Vig og Isefjorden er der derudover kigget på biomasse-udviklingen på de høstede individer og slutteligt er der inddraget et afsnit der beskriver yderligere observationer fra de forskellige lokaliteter, der kan være relevante for at forstå dynamikken af et naturligt blæretangsbed i større detaljegrad.



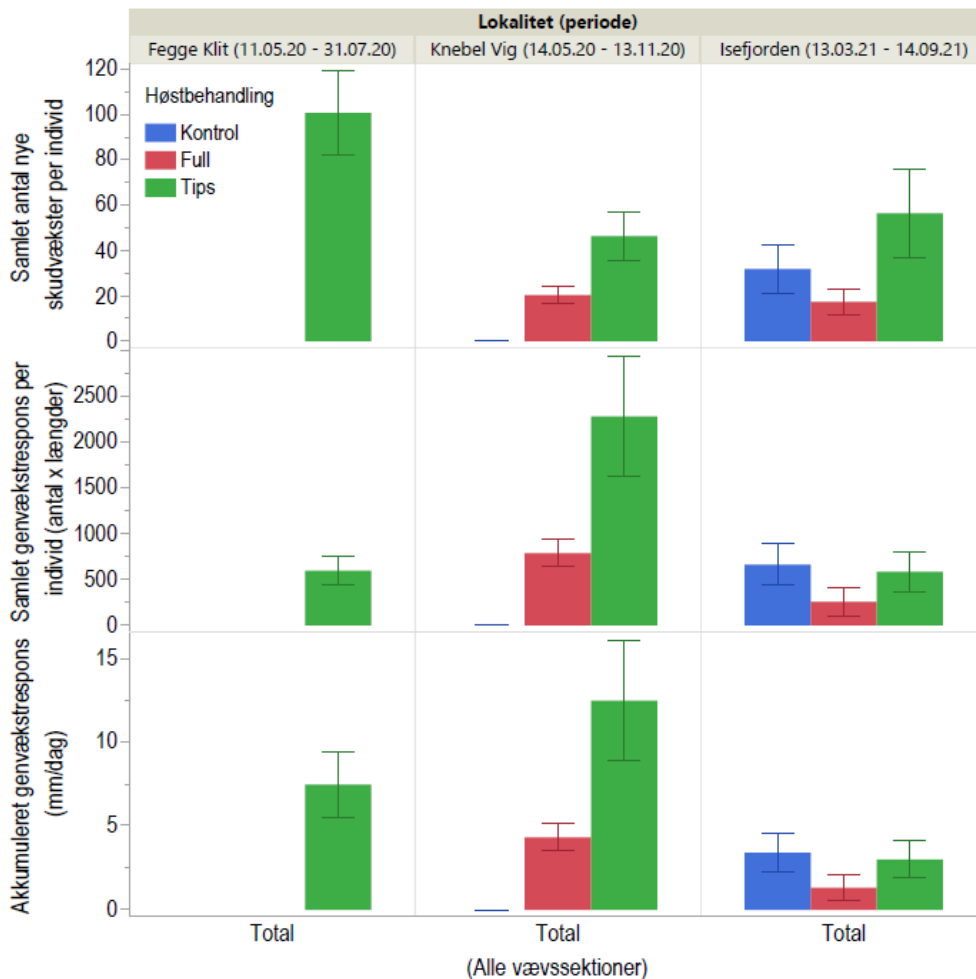
Figur 2.6. Øverst: Antallet af nye skudvækster for perioden i forskellige vævssektioner (Cut, Disc, Side) total) på blæretang. Nederst: Længden af skudvækster i de forskellige vævssektioner. Data-punkter repræsenterer gennemsnittet \pm SE (n=7-9).

Skudresponser

Skudresponserne på individniveau viste generelt en forøget skuddannelse på individer, der havde fået høstet skudspidserne (TIPS) end hos fuld-høstede individer (FULL). Nye skud på kontrolplanter blev kun registreret i Isefjorden. Vævssektionen hvorfra skuddannelsen sås var mindre afhængig af høst-metoden, dog med en lille tendens til flere skud i bladspidserne hos TIPS-høstede individer (figur 2.6). Både skudantallet og skuddenes længde varierede på tværs af lokaliteter, med de største registreringer i Knebel Vig efterfulgt af Isefjorden og Fegge Klit (figur 2.6, øverst), hvorimod individerne i Fegge dannede klart flere skud end på de øvrige lokaliteter (figur 2.7, øverst, kun TIPS).

Det samlede billede på tværs af lokalitet ses tydeligst i den akkumulerede genvækstrespons (figur 2.7, nederst), hvor skudantal og skudlængder er kombineret og samlet udregnet som en respons pr. dag (mm/dag). Her er der således taget højde for den noget kortere respons-periode

for Fegge end for de øvrige lokaliteter. Her ses ligeledes det generelle billede af en øget genvækstrespons hos TIPS-høstede individer kontra FULL-høstede individer.



Figur 2.7. Det totale genvækstrespons hos blæretang på de tre lokaliteter. Øverst: Det samlede antal nye skudvækster for alle vævssektionerne (CUT, SIDE, DISC) for de forskellige høstbehandlinger samt kontrollen. Midt: Det samlede genvækstrespons udtrykt som summen af de tre produkter (antal x længde) for alle vævssektionerne. Nederst: Det akkumulerede genvækstrespons udtrykt som daglig vækstrate (mm per dag) for hele individet i de forskellige behandlinger. Data repræsenterer gennemsnittet \pm SE (n=6-9).

Fegge: Omtrent to en halv måned efter TIPS-høstbehandlingen blev udført viste individerne i Fegge (fig. 2.6, øverst, grønne søjler) gennemsnitligt at have dannet 50 nye skud i vævssektion CUT og på stænglerne (SIDE), med gennemsnitlige længder på hhv. 4 mm og 8 mm i de respektive vævssektioner. Der blev ikke observeret nye skud fra vævssektionen DISC. Der blev ligeledes ikke observeret nye skud i kontrol-planterne i samme periode. De relative lave skudlængder i sammenligning med de øvrige lokaliteter tilskrives det korte tidsforløb (80 dage) i Fegge før lokaliteten blev opgivet. Kigger man derimod på den akkumulerede genvækstrespons pr. dag på 7,5 mm er Fegge mere på linje med de øvrige lokaliteter (fig. 2.7, nederst).

Knebel Vig: I perioden for sammenligningen viste TIPS-høstede blæretang i Knebel Vig gennemsnitligt ~26 skud i CUT og ~18 skud i SIDE (figur 2.6, øverst), hvilket er væsentligt mere

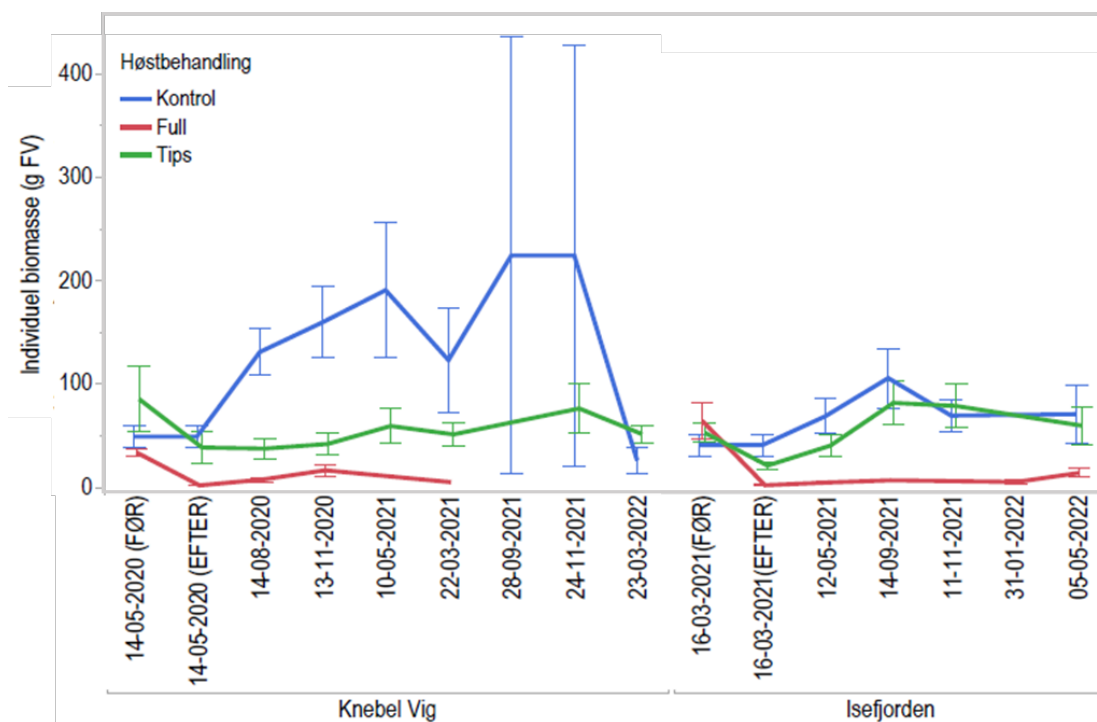
skuddannelse til sammenligning med de FULL-høstede blæretang på ~8 skud både i CUT og SIDE. Til sammenligning blev kun få skud observeret i vævssektionen DISC. Som i Fegge blev der ikke observeret nye skud på kontrol-planterne. Hos alle individerne i begge høstbehandlinger (FULL og TIPS) havde skudvæksterne i vævssektionerne CUT og SIDE vokset gennemsnitligt 39,7 mm i perioden, mens skuddene på fasthæftelsesorganet (DISC) kun var ca. halvt så store (figur 2.6, nederst). Samlet set viste det akkumulerede vækstrespons for TIPS-høstet blæretang at være 12,5 mm/dag, hvilket er betydeligt større end det akkumulerede vækstrespons på 4,5 mm/dag hos de FULL-høstet blæretang (figur 2.7).

Isefjorden: Figur 2.6 viser, at antallet af nye skudvækster i CUT for hhv. de TIPS-høstede, FULL-høstede og kontrol-individerne gennemsnitligt var ~35, <1 og ~11. Derudover viser figur 2.6, at der i vævssektionen SIDE og DISC hos alle høstgrupperne gennemsnitligt var hhv. ~4 og ~14 skudvækster. Skudvæksterne havde groet til en gennemsnitlig længde på ~15 mm i alle vævssektionerne hos kontrol-planterne (figur 2.6, nederst), som svarer til en akkumuleret vækstrate på 3,4 mm/dag (figur 2.7, nederst). Længden af skudvæksterne hos FULL-individerne i SIDE og DISC var hhv. 17,5 mm og 23,3 mm, hvilket var længere end tilsvarende for TIPS-individerne (6,6 mm og 16 mm). Det akkumulerede vækstrespons for individerne i TIPS og FULL var hhv. ~3 og 1,3 mm/dag og tilsvarende værdier blev fundet for kontrol-individerne (~4 mm/dag) (figur 2.6, nederst). Dette respons hos kontrol-planterne tilskrives, at hvis blæretang naturligt bliver slidt over vinteren på grund af fysisk påvirkning (f.eks. iskuring) kan det give anledning til induktion af et genvækstrespons som er sammenligneligt med det som induceres ved menneskeskabt høstaktivitet i foråret.

Biomasse-udvikling

Foruden skudopgørelser, blev de enkelte individer ved hver gensyn på lokaliteterne vejet for at vurdere udviklingen i biomasse over den fulde periode for forsøgene. Udviklingen i biomasse for Knebel Vig (maj 2022-marts 2022) og Isefjorden (marts 2021-maj 2022) er vist i figur 2.8. For begge lokaliteter var der undervejs i perioden et tab af planter, hvilket giver øgede variationer i data over tid.

For begge lokaliteter reduceredes biomassen naturligt ved høst-indgrebet og herefter udviklede biomassen sig forskelligt afhængig af høst-behandling og lokalitet. Fælles for de FULL-høstede blæretang på begge lokaliteter var, at de ikke gendannede samme individuelle biomasse som udgangspunktet efter 1-2 år. De individer, der kun havde fået klippet bladspidserne (TIPS) derimod nåede samme biomasse som den oprindelige før høst efter henholdsvis 1,5 år 0,5 år i Knebel Vig (maj 2020-november 2021) og Isefjorden (marts 2021-september 2021). Kontrol-planterne på begge lokaliteter viste både vækst og tab over perioden. I Knebel Vig udviste kontrol-planterne for perioden maj 2020 til november 2021 en tendens til at forøge den individuelle biomasse fra ~55 gram per plante til ~200 gram per plante, hvorefter biomassen faldt til 26 gram per plante frem mod marts 2022. Variationen i den gennemsnitlige individuelle biomasse var dog relativ stor hos kontrol-planterne, hvilket skyldtes, at én af kontrol-planterne var meget busket og opnåede en biomasse på over 400 gram friskvægt i november i 2021, hvorefter individet tabte en stor del af sin biomasse og blev reduceret til en friskvægt på 14 gram i marts 2022. På grund af aldring og slitage fra fysisk påvirkning kan de enkelte blæretang lide et stort tab af biomasse, hvilket påvirker større individer relativt mere end mindre individer. I Isefjorden havde kontrol-planterne ligeledes en forøgelse i vægt frem mod efterårsmånederne, hvorefter et fald blev observeret hen mod vinteren.



Figur 2.8. Individuelle biomasseudvikling hos blæretang udsat for forskellig høstbehandling hhv. udført i maj 2020 (Knebel Vig) og marts 2021 (Isefjorden). Datapunkter repræsenterer gennemsnittet (\pm SE, $n = 2-9$) for given dato.

Øvrige observationer

Knebel: På grund af generelt lavvande og is-formation var kystzonen i Knebel Vig i januar og februar 2021 præget af is-skuringer, som viste sig at slide på udsatte individer i kystzonen. Dette bevirkede en induktion af skudvækster i bladspidserne hos nogle individer. Is-skuringen forårsagede også at nogle af de mærkede blæretangsindivider fastgjort i rebet på betonfliserne eroderede væk.

Omtrent 16 måneder efter påbegyndelse af feltstudiet viste flere af de høstede individer i september 2021 i Knebel Vig sig at have udviklet receptakler, det reproduktive organ, som blæretang danner i bladspidserne. F.eks. viste et enkelt fuldhøstet individ, receptakler på 8 ud af 10 nye skud. Der blev ikke observeret receptakler på individer i kontrolgruppen, men da det kun var muligt at genfinde to kontrolindivider på dette tidspunkt, kan det ikke danne grundlag for en egentlig sammenligning.

Isefjorden: Seks måneder efter høstbehandlingerne blev udført i Isefjorden havde ingen af de høstede individer udviklet receptakler. Det samme var tilfældet to måneder senere (november 2021), hvorimod kontrol-planterne på dette tidspunkt i mange bladspidser havde udviklet anlæg til et stort antal receptakler. Efter 14 måneder (maj 2022) var det tydeligt, at kontrol-individerne havde et større antal receptakler end individerne i høstgrupperne. I høstgrupperne var receptaklerne overvejende at finde på bladspidserne på skud, der ikke var blevet klippet ved den indledende høst, selvom enkelte receptakler også blev observeret på de nye skud. Kontrol-individerne bar i gennemsnit 36 receptakler per plante, mens TIPS- og FULL-høstede planter bar 27 og 11 receptakler pr. plante.

2.4 Høst-effekter på bestands-niveau

2.4.1 Metoder

Til at vurdere høst-effekter på større skala end individ-niveau, blev der anvendt droneflyvninger. I Isefjorden blev der gennemført i alt 7 flyvninger som en del af projektet. De første to, i marts 2021 henholdsvis før og efter første høst og derefter tre i maj, september og november 2021 for at monitorere genvæksten over året. De sidste to flyvninger blev foretaget i maj 2022 henholdsvis før og efter en endelig høst. I Knebel Vig blev 6 flyvninger gennemført, heraf den første i august 2020. Pga. covid-19 relaterede restriktioner var dette først fire måneder efter den første høst. Derefter blev der foretaget flyvninger for at monitorere genvækst i november 2020, marts 2021, maj 2021, september 2021 og marts 2022. Ved Fegge Klit blev den første flyvning af samme årsager som for Knebel først foretaget i juli og da forsøgsområdet ved Fegge Klit senere blev kompromitteret af kraftig storm i efteråret 2020, er data fra drone-flyvninger fra Fegge Klit ikke inddraget i denne rapport.

Dronen der blev brugt i undersøgelserne, var en DJI Phantom 4 Professional udstyret med et RGB-kamera med nedenstående specifikationer:

- Effektiv sensoropløsning: 20 mio. pixel
- Billedsensor: 1-inch CMOS
- Blændeåbning: f. 2.8-11
- Brændvidde: 8.8/24 mm (*field of view*: 84°).

Alle droneflyvninger blev planlagt ved brug af softwaren UgCS® ver. 4.7.685 med en flyvehøjde på 30 m og en flyvehastighed på 3 m/sek., svarende til en geometrisk opløsning (*Ground Sample Distance*) på 8,22 mm pr. pixel og en billeddimension på 35,8x23,8m. Flyvningerne var planlagt, så alle billeder havde et 75% overlap til siden og i front. Agisoft Metashape Professional® ver. 1.7.4 blev brugt til at generere georefererede ortomosaikker ud fra enkelt-billederne, hvorefter en *Maximum Likelihood Classification* (MLC) (ArcGIS Pro® 2.9.2) baseret på farvesignalet i den røde, grønne og blå kanal (RGB-signal) blev brugt til at kreere klassificerede rasterlag, som dækningsgraden af blæretang blev baseret på. I *maximum likelihood* klassifikationen blev der anvendt 10 træningspunkter for hver klasse ("sand" og "blæretang") som var ligeligt fordelt over det fulde område – hvert træningspunkt havde et areal på ca. 0,8 m² svarende til ca. 10.000 pixel.

Sammenhæng mellem biomasse og dækningsgrad

Til at vurdere sammenhængen mellem dækningsgraden baseret på drone-flyvningerne og den stående biomasse af blæretang, blev der foruden forsøgs-felterne, estimeret dækningsgrad i cirkulære plots af 0,8 m². Hertil blev anvendt plastikringe med synk, der blev spredt udover bedet (i områder udenfor forsøgsfelterne) med så stor variation i dækningsgrad som muligt (figur 2.9). Når ringene var lagt ud, blev der fløjet med dronen i 30 m højde, hvorefter de enkelte ringe blev høstet for al tang og den høstede biomasse blev vejjet. Fra drone-flyvningerne blev dækningsgraden bestemt efter samme metode som indenfor forsøgs-områderne (se ovenfor).



Figur 2.9. Udlægning af plastikringe med synk til bestemmelse af arealspecifik stående biomasse. I hver ring blev den stående biomasse høstet og vejet og korreleret til dækningsgrad baseret på droneflyvninger og efterfølgende klassificering.

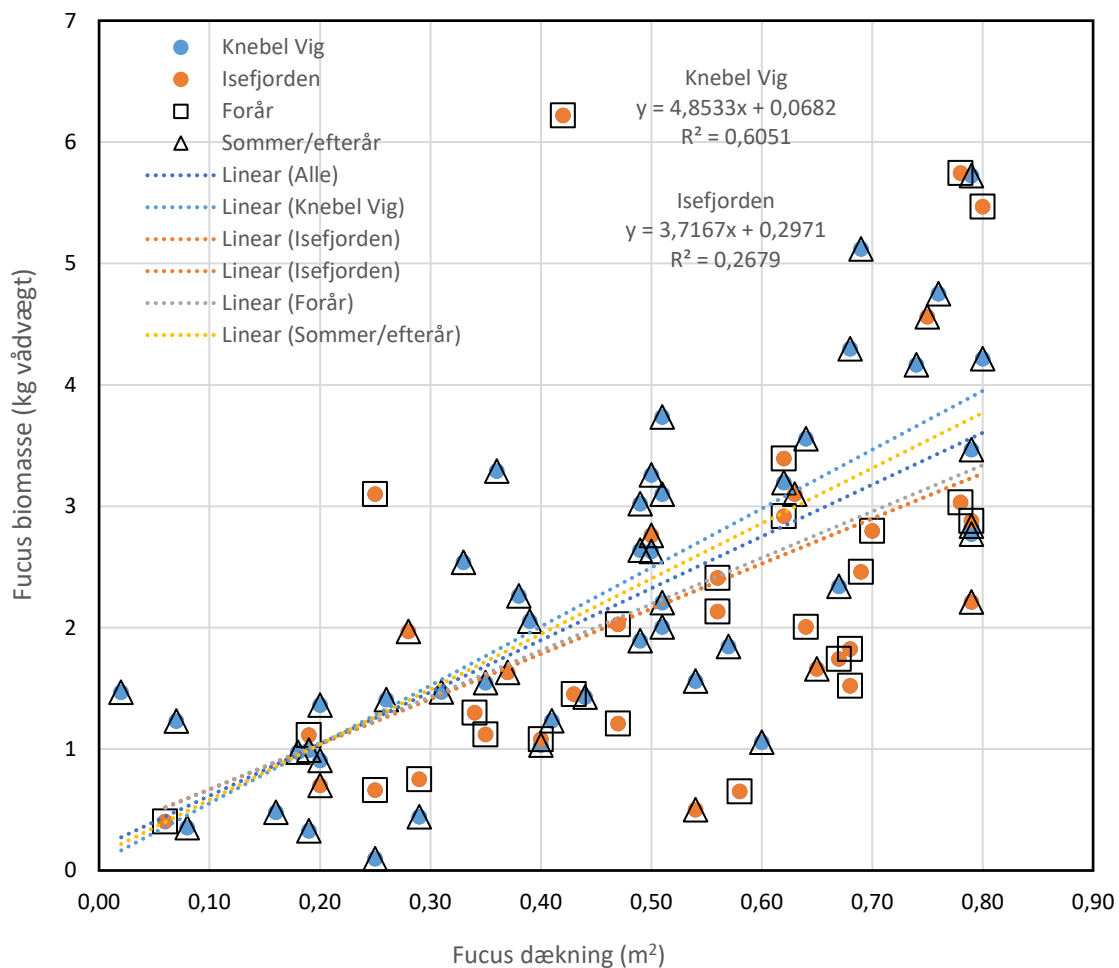
I alt blev der udlagt 81 ringe, 45 i Knebel Vig og 36 i Isefjorden. For at fange eventuelle årstidsafhængige forskelle i sammenhængen mellem stående biomasse og dækningsgrad vurderet fra drone-billederne blev der foretaget flyvninger både i foråret (marts/maj, $n=27$) og i sensommeren/efteråret (august/september/november, $n=54$).

2.4.2 Resultater

Korrelationen mellem den stående biomasse (kg) i bedene og den målte dækningsgrad (m^2) baseret på klassificeringen af drone-billederne er vist i figur 2.10. Dækningen er vist som areal dækket af blæretang (m^2) inden for de enkelte ringe på $0,8 m^2$. Af figuren fremgår dels den overordnede korrelation på tværs af lokaliteter og sæson (*alle*), samt de lokalitets- (*Knebel Vig, Isefjorden*) og sæsonspecifikke (*forår, sommer/efterår*) korrelationer. Overordnet var der kun små forskelle i korrelationerne, mindst mellem de sæsonspecifikke, mens der var lidt større forskelle når man kiggede på tværs af lokaliteter.

De lokalitets-specifikke korrelationer blev overført til forsøgs-felterne for på den måde at kunne estimere genvæksten af blæretang-biomassen efter de forskellige høst-behandlinger og sammenligne det med kontrol-situationer, hvor der ikke blev foretaget nogen høst. For Isefjorden blev dette fulgt over en periode på godt et år med en indledende høst i marts, mens genvæksten i Knebel Vig blev fulgt over en periode på knap 1,5 år med en indledende høst i maj (figur 2.11).

I Knebel Vig blev der høstet i Maj 2020, men pga. covid-10 relaterede restriktioner, blev der ikke foretaget droneflyvninger før august. Derfor er der for maj kun inddraget et datapunkt baseret på visuelle vurderinger fra felten før høst (figur 2.11). Dette punkt bruges i det følgende som vurdering af hvorvidt og hvornår den stående biomasse er fuldt reetableret om end data ikke er fremkommet på sammenlignelig vis (visuel vurdering vs. klassificering af drone-billeder).

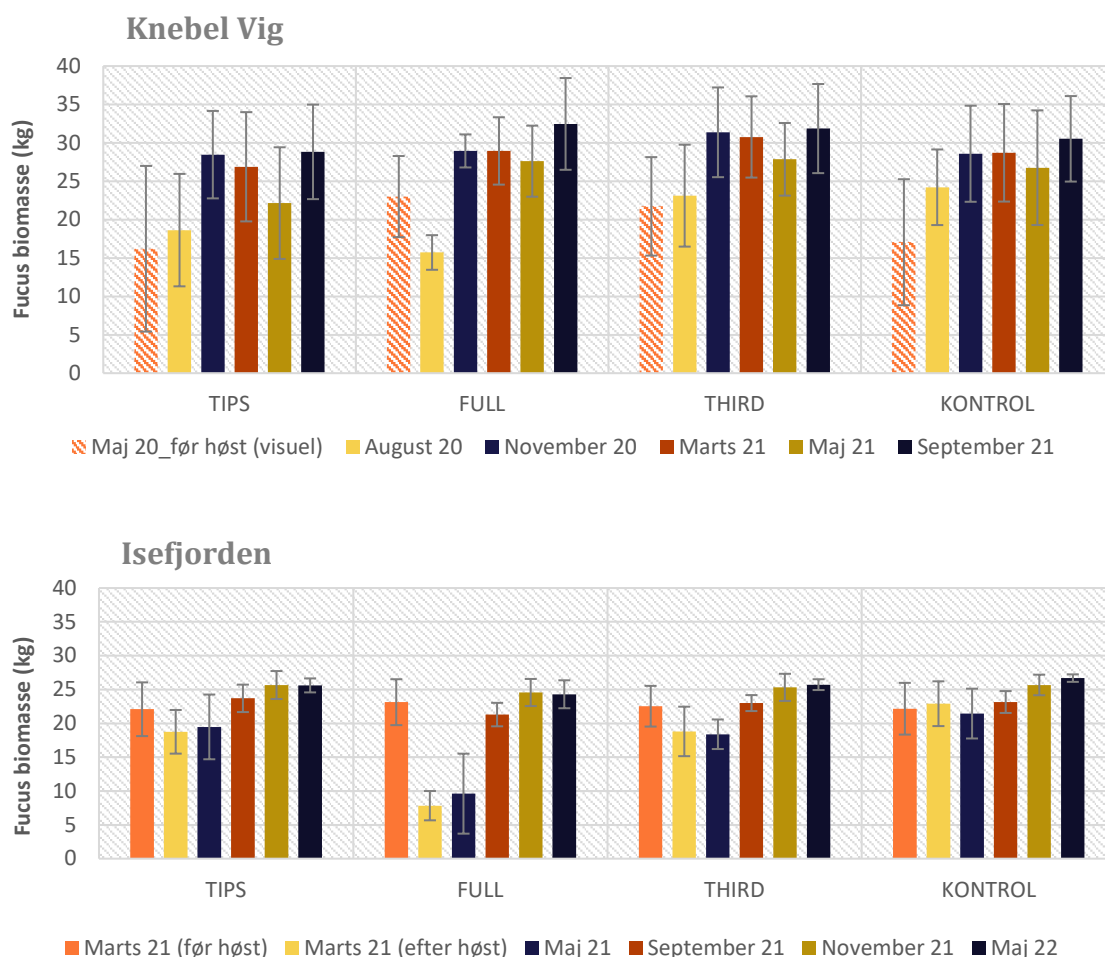


Figur 2.10. Korrelation mellem dækningen af blæretang indenfor 0,8 m² ringe og den stående biomasse (kg vådvægt). Data er analyseret på tværs af lokalitet (Knebel Vig og Isefjorden) og sæson (Forår og sommer/efterår).

For alle høst-behandlinger undtagen den fulde høst (FULL), kunne man i Knebel se at den stående biomasse allerede i august havde nået den tilsvarende (eller højere) biomasse end der havde været før høsten. Dvs. bestanden på bare 3 måneder var i stand til at generere den tabte biomasse. For områder med fuld høst (FULL) var biomassen først fuld tilbage i november, dvs. efter 5 måneder. Fra november 2020 og frem til september 2021 forblev den stående biomasse mere eller mindre konstant i alle forsøgs-områder, hvilket tyder på, at bestanden i området er på det maksimale af, hvad området kan understøtte. Den maksimale biomasse i området lå omkring 31 kg per. forsøgsområde svarende til 3,88 kg m⁻². Den maksimale biomasse i Isefjorden var lidt lavere, ca. 3,13 kg m⁻² (25 kg pr. forsøgs-område).

I Isefjorden, som blev høstet allerede i marts, var alle høst-områder vokset tilbage til indledende stående biomasse i september svarende til 6 måneder efter høst. Dog med en tendens til lidt længere responstid i forsøgs-områderne med fuld høst (FULL). Hvorvidt det er et udtryk for en længere genvæksttid i Isefjorden end i Knebel Vig er dog usikkert, da der ingen datapunkter er for Isefjorden mellem maj (2 måneder efter høst) og august (6 måneder efter høst).

I Knebel Vig sås den største vækst i perioden august-november, mens største vækst i Isefjorden var i perioden maj til september, mens perioden frem til november var noget mindre. Dog var der i sæsonen efter høståret (maj 21-september 21) også i Knebel Vig vækst i perioden maj til september. Overordnet vurderes den primære vækstsæson for blæretang begge steder at være i perioden maj til november, mens væksten over vinteren og frem til det sene forår (maj) er begrænset. F.eks. var der kun begrænset vækst i Isefjorden i perioden fra marts til maj, mens der i denne periode – året efter høsten – var tendens til negativ vækst.



Figur 2.11. Udvikling i den stående biomasse (kg vådvægt) i de tre typer af høst-områder samt kontrol-områder uden høst (areal = 8 m²). Øverst data fra Knebel Vig marts 2020 til september 2021. Nederst data fra Isefjorden marts 2021 til maj 2022. Første datapunkt for Knebel Vig (*Maj 20_før høst (visuel)*) er baseret på visuelle vurderinger af dækningsgraden i forsøgs-områderne og ikke drone-billeder som de øvrige punkter. Data er repræsenteret som middel±SD (n=4).

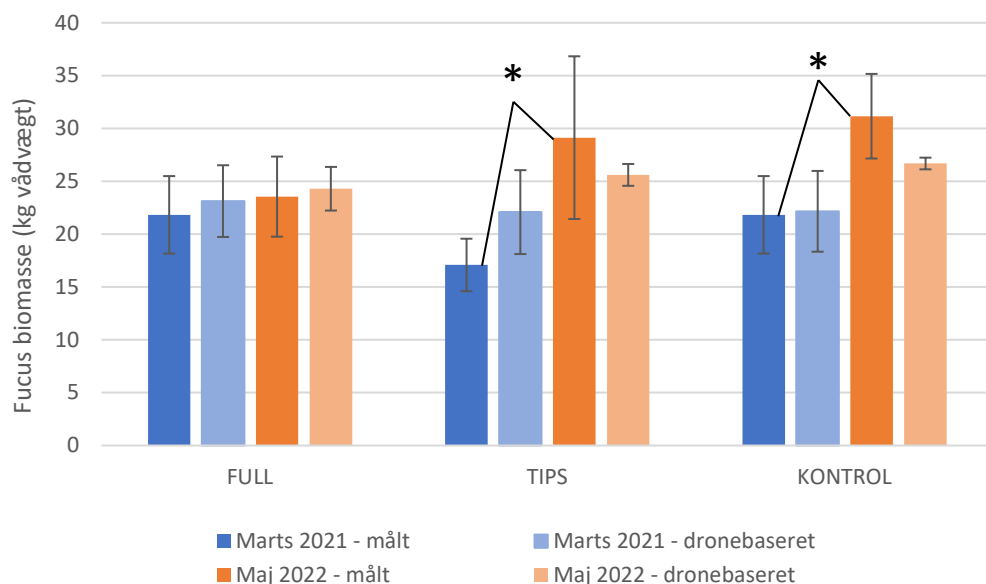
2.5 Langtidseffekter på bestanden og metode-forskelle

Ved at sammenholde data fra marts 2021 med data fra maj 2022 kan vi se om de områder, der har været høstet, responderer anderledes end, hvad der havde været tilfældet, hvis der ingen høst havde været foretaget. I vurderingen er der dels kigget på biomasse-estimerne baseret på drone-billederne fra sektion 2.4, men derudover er der inddraget data for de reelle høstmængder fra forsøgs-felterne fra de to tidspunkter. På den baggrund foretages samtidig en vurdering af dronen som værktøj til at estimere stående biomasser af blæretang.

Målte biomasser

For marts 2021 er de stående biomasser for de fuldhøstede felter (FULL) angivet som reelle høstede mængder. Samme data er anvendt til at repræsentere den stående biomasse i kontrol-felterne, da disse ikke blev høstet i marts 2021, men forblev urørte kontroller. Den stående biomasse for TIPS-felterne er beregnet ud fra, hvor meget der reelt blev høstet i felterne ved forsøgets start plus en estimeret mængde af den tilbageværende stående biomasse efter spidserne blev fjernet. Den tilbageværende biomasse (40% af total) blev vurderet på baggrund af en ratio mellem den hele plante og de høstede spidser, som fremkom ved vejning af de individuelle forsøgsplanter før og efter høst fra sektion 2.3.1.

For maj 2022 er alle stående biomasser reelle målte værdier, men da der på dette tidspunkt var en kraftig begroning af epifytter på planterne, er værdierne korrigeret herfor ved at fratække 12,5% biomasse, svarende til den andel epifytterne udgjorde af den samlede biomasse.



Figur 2.12. Stående blæretangs-biomasse i forsøgs-felterne (8 m²) med forskellig høstbehandling i henholdsvis marts 2021 (blå) og maj 2022 (orange). Biomassen er opgjort både via reelle målinger (målt) og via dronetmetoden beskrevet i sektion 2.3.3 (dronebaseret). Data er repræsenteret som gennemsnit ± SD (n=4). Tilfælde med parvise signifikante forskelle mellem metode (målt/dronebaseret) eller periode (marts 2021/maj 2022) er indikeret med *.

Kigger man alene på de fuldt høstede områder i perioden marts 2021 til maj 2022, er der ingen signifikant forskel på den målte stående biomasse (t-test, p=0,18) og på den baggrund kan det se ud som om, at fuld høst ingen effekt har på bestanden efter godt et år (figur 2.12). Tager

man derimod i betragtning, hvordan bestanden i samme periode udviklede sig i kontrol-felterne, får man et andet billede. Her var der en signifikant (t-test, $p=0,01$) forøgelse af den målte biomasse fra 21,8 til 31,2 kg, svarende til en forøgelse på 43%. Desuden var der tegn på, at kontrolplanterne generelt var fri for begroning, mens fuldt-høstede planter havde tendens til begroning af røde filamentøse alger på stænglen. Det samme var gældende for TIPS-felterne – her forøgedes den målte stående biomasse fra 17,1 kg til 29,1 kg i perioden svarende til en stigning på 70% (t-test, $p=0,02$). Så sammenholdt med fuldt høstede områder har områder, hvor der kun er høstet spidser altså en bedre evne til at udvikle sig over lang tid, endda med en tendens til bedre vækst end hvis bedene havde været urørt.

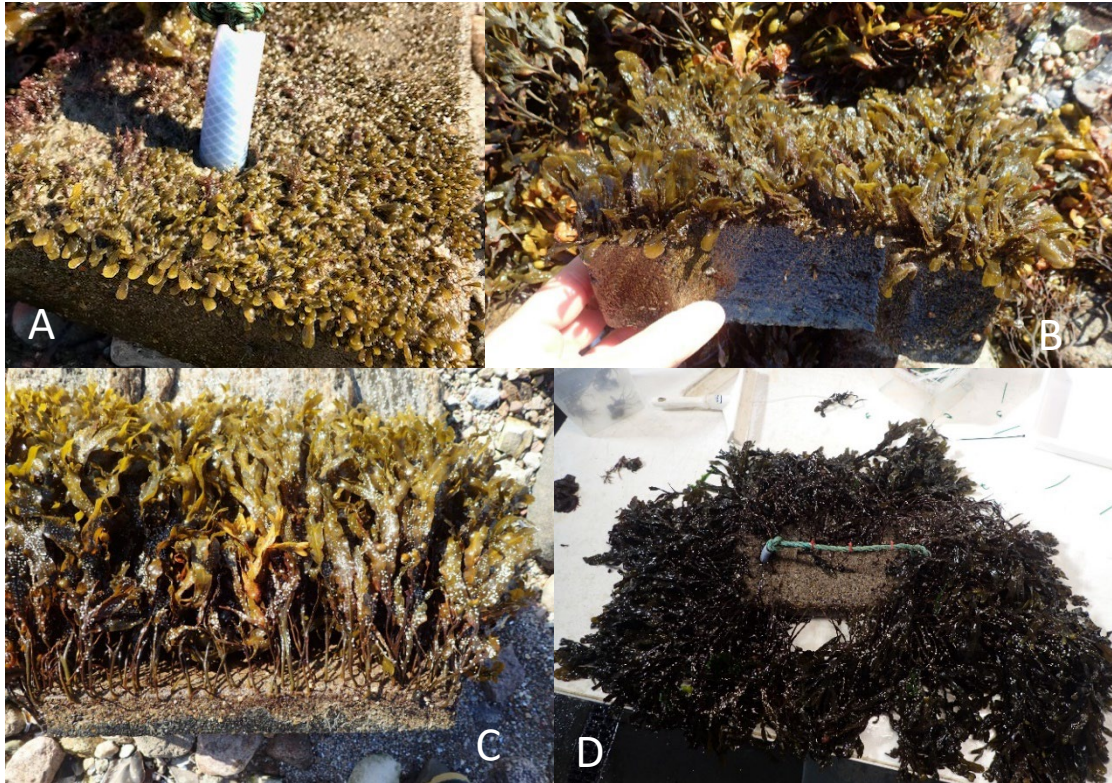
Dronebaserede biomasser

I figur 2.12 er de stående biomasser for samme perioder, men baseret på *maximum likelihood* klassifikation af drone-billederne og den efterfølgende korrelation mellem dækning og biomasse (figur 2.10) tilsvarende vist. Når man sammenholder de stående biomasser opgjort med dronen med de målte biomasser, var der for ingen af behandlingerne eller på nogen af tidspunkterne signifikante forskelle at spore. Dette viser, at dronen er et validt værktøj til at opgøre stående biomasser af blæretang i området i Isefjorden. Responserne for de enkelte høst-handlinger over tid var således identiske med de målte responser, om end den signifikante forøgelse, der blev målt i biomassen i TIPS og KONTROL-felterne fra marts 2021 til maj 2022, ikke var signifikant, når den blev vurderet på baggrund af drone-metoden.

2.6 Betydningen af naturlig rekruttering

I Knebel Vig og Isefjorden blev der observeret forskellig grad af rekruttering af vildsåede blæretang i løbet af feltstudierne på sten og på de betonfliser som blev brugt i monitoringen af genvækstresponset. Overordnet vurderes den nye rekruttering af blæretang på disse betonfliser at have høj tæthed (figur 2.13), hvilket afspejler, at fliserne blev udlagt i områder med store tætte blæretangs-bede. På baggrund af denne observation blev der udlagt yderligere betonfliser i marts 2021 i Knebel Vig i et forsøg på at indsamle indikationer på et mere præcist tidspunkt for rekrutteringen. Det samme gjaldt for Isefjorden, hvor der derudover blev udlagt enkelte betonfliser i en stigende afstand til de etablerede blæretangs-bede i et forsøg på at forstå rekrutteringens afhængighed af afstanden til bedet.

På de oprindeligt udlagte fliser i Knebel Vig, voksede der over en 1,5 års periode fra maj 2020 til slutningen af september 2021 vildsåede blæretang frem, som opnåede en gennemsnitslængde på 25 cm (figur 2.13C). Frem til marts 2022, hvor feltstudiet blev afsluttet efter næsten 2 år, opnåede planterne en længde på 38 cm (figur 2.13D). Tilvæksten hos ny-rekrutterede blæretang det første år er altså i absolutte tal væsentligt mindre end hvad individerne opnår i deres anden sæson, hvilket er i overensstemmelse med tidligere studier (Al-Janabi 2016, Carlson 1991).



Figur 2.13. Eksempler på rekruttering af vild-sæede blæretang på lokaliteten Knebel Vig d. 20 august 2020 seks måneder efter påbegyndelse af feltstudiet (A), efter tolv måneder (B), efter 18 måneder d. 28 september 2021 (C) og efter 24 måneder d. 23 marts 2022 (D).

På betonfliserne udlagt i Knebel Vig i marts 2021 blev der seks måneder senere i september observeret en ny rekruttering fra årets selvsåede blæretang med en gennemsnitlig længde på 3,6 cm. Efter yderligere cirka to måneder i slutningen af november havde de vildsæede skud groet til en gennemsnitlængde på 8 cm og senere i marts 2022 på 10 cm. Disse observationer indikerer, at rekrutteringen af nye blæretang sker i perioden forår og tidlig sommer (april-juni) hvorefter denne generation vokser op til en størrelse på 3-8 cm inden efteråret. Igennem vinterhalvåret er længdetilvæksten stadigvæk positiv, men med lavere rate, hvorefter blæretang vokser til en moden længde på op til 38 cm i dets andet leveår.

I Isefjorden blev der observeret en generation af vildsæede blæretang på betonfliserne udlagt i marts 2021, som havde vokset til en gennemsnitlig længde på 4,5 cm i slutningen af januar 2022. I maj 2021 blev der udlagt én ren betonflise inde i det etablerede bed samt ca. 20-30 meter længere ude fra kysten udenfor bedet. I november samme år blev der observeret små skud på fliserne inde i bedet, men ikke på flisen uden for bedet. Dette er en enkeltstående observation, men resultatet indikerer, at sandsynligheden for at årets rekruttering af nye skud kan være lavere eller udeblive, hvis afstanden mellem egnede substrater og en frø-spredende bestand bliver for stor. De lokale forhold, som kan påvirke vandføringen i perioden hvor frø-spredningen finder sted, vil tilsvarende formodentligt have stor betydning for spredning af nye frø i et vandområde.

2.7 Tangbiomassens kvalitet

2.7.1 Metoder

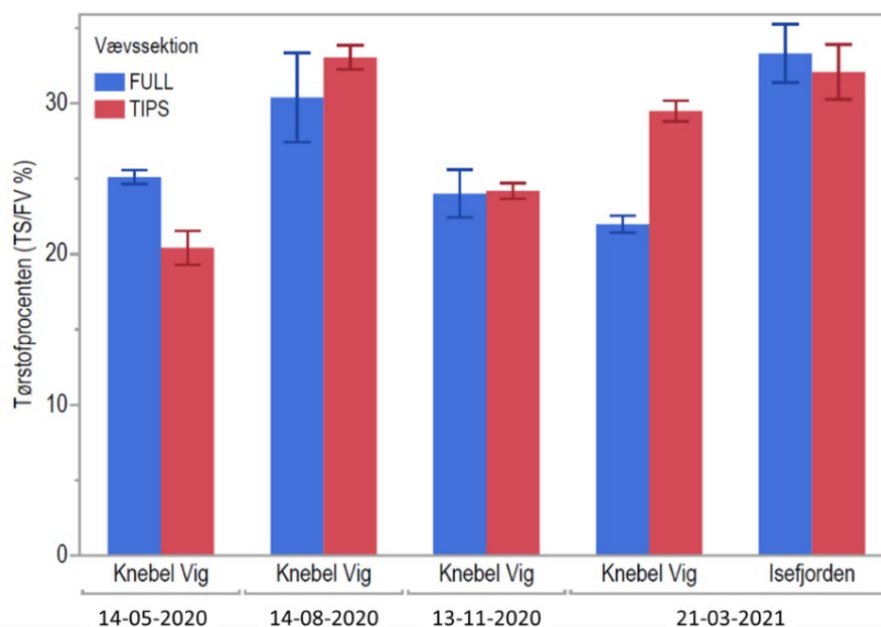
På udvalgte datoer blev der foruden vækst-data indsamlet frisk biomasse til bestemmelse af blæretangens tørstofmængde samt tangens indhold af tungmetaller, for at få en indikation af, hvorvidt tangens kvalitet som fødevarer eller foder afhænger af høstmetode, lokalitet og sæson. Dette blev inddraget i studiet, som en ekstra aktivitet og kan anvendes i en vurdering af hvordan, hvor og hvornår høst af blæretang er fordelagtigt afhængig af høstens anvendelse.

Tørstofindholdet og indholdet af tungmetaller blev analyseret for prøver fra Knebel Vig i perioden maj 2020 til marts 2021, mens prøver fra Isefjorden kun blev lavet for marts 2021. På denne måde var det muligt dels at se ændringer over sæson (Knebel) og forskelle mellem lokaliteter ved høst i foråret (marts 2021). Desuden, blev der skelnet mellem forskellige biomassefraktioner hhv. bladspidser og den fulde plante, for at se om biomassens kvalitet ligeledes varierer ift. hvilke dele af biomassens der høstes (TIPS vs. FULL).

Biomasseprøver fra hver lokalitet blev indsamlet og opbevaret på frost (-18 grader) og efterfølgende tørstofbestemt og sendt til metalanalyse (Zn, As, Ni, Hg, Pb) (Levinsen et al., *in prep*). Indholdet af jod blev bestemt ved brug af en modificeret EN 15111:2007 metode.

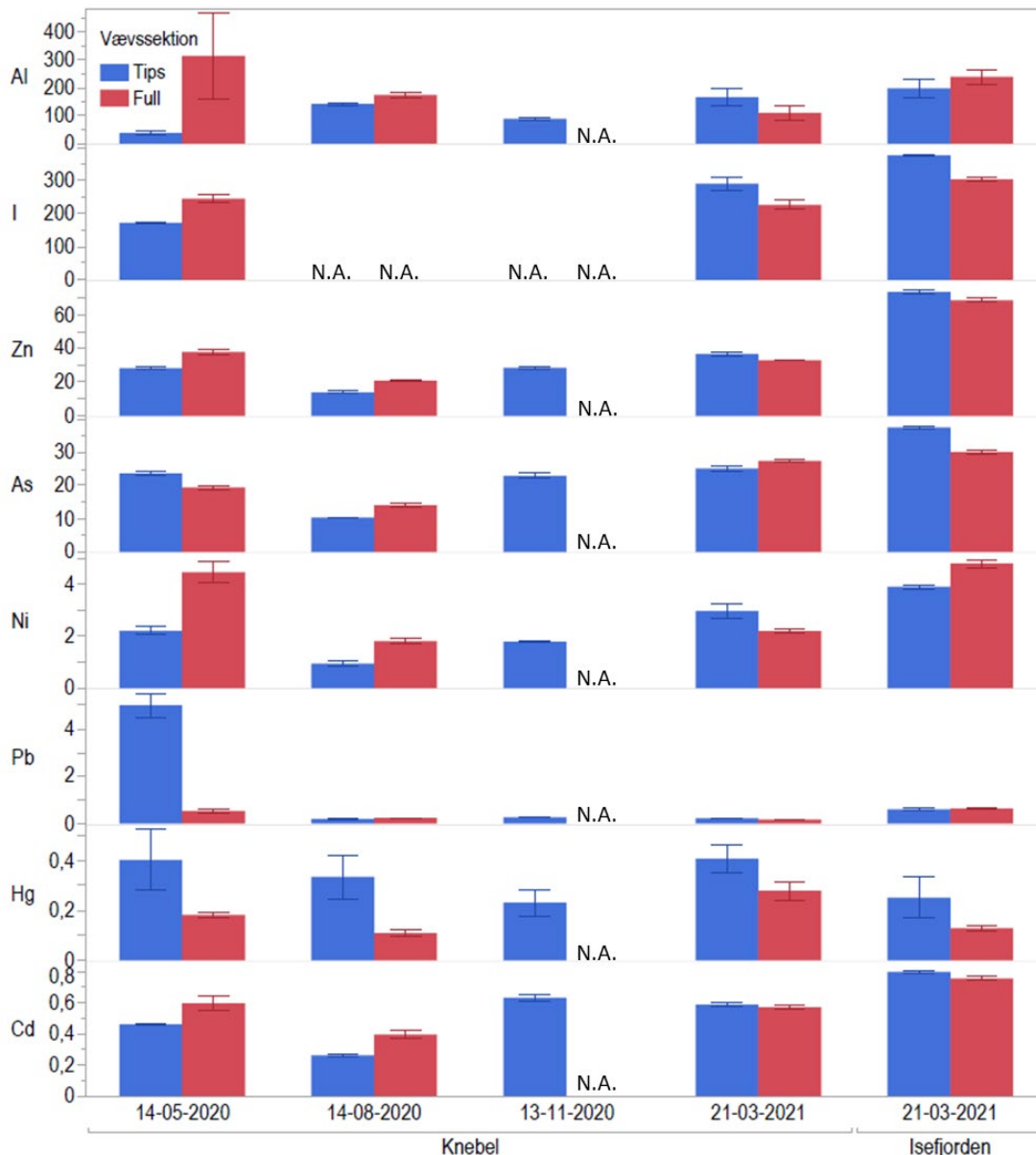
2.7.2 Resultater

Biomasseprøverne indsamlet i marts bruges til at sammenligne biomasse-kvalitet mellem lokaliteterne, mens der i Knebel Vig er indsamlet flere prøver over sæsonen for at kunne vurdere sæsonafhængige forskelle. Desuden er der analyseret forskelle mellem forskellige vævssektioner for at få et billede af, hvorvidt forskellige høststrategier påvirker anvendelsen af biomasse via dens kvalitet.



Figur 2.14 Tørstofprocent (TS/FV * 100%) for biomasseprøver indsamlet i Knebel Vig i forskellige måneder i 2020 og 2021, samt i Isefjorden i marts 2021. Data er opdelt i bladspidser (TIPS) og fulde planter (FULL). Data repræsenterer gennemsnittet \pm S.E (n=3).

Biomasseprøverne indsamlet i Knebel Vig over en sæson viste, at tørstofprocenten er afhængig af høstdatoen ($p=0,0006$), mens vævssektion (TIP/FULL) ikke har en væsentlig betydning ($p=0,38$) (figur 2.14). Det højeste tørstofs-indhold i Knebel blev fundet i august 2020 (31,3%), mens indholdet var lavest i maj 2020 (22,8%) og november 2020 (24,1%). For Isefjorden var der heller ingen forskel mellem vævssektioner ($p=0,14$) og den samlede tørstofsprocent var i marts 2021 32,7%, hvilket var signifikant højere end tørstofprocenten på 25,7% i Knebel Vig ($p=0,006$).



Figur 2.15. Indholdet af udvalgte metaller og jod for biomasseprøver indsamlet i Knebel Vig i forskellige måneder i 2020 og 2021, samt i Isefjorden i marts 2021. Data er opdelt i bladspidser (TIPS) og fulde planter (FULL). Data repræsenterer gennemsnittet \pm S.E (n=3). N.A. ingen data.

Figur 2.15 viser indholdet af udvalgte metaller i biomasseprøver af blæretang ($\mu\text{g/g}$ tørstof) indsamlet på de forskellige lokaliteter over sæsonen. Generelt ses det over sæsonen, at der er

større indhold af de analyserede komponenter i forårs månederne (marts og maj) end om sommeren og for de fleste komponenters tilfælde også i efteråret.

Det ses desuden, at biomassen indsamlet i marts i Isefjorden for både TIPS og FULL væv havde et signifikant højere indhold af jod (I), zink (Zn), total arsen (As), cadmium (Cd), bly (Pb) og nikkel (Ni) sammenlignet med Knebel Vig ($p < 0,022$), mens Hg-indholdet var højere i FULL-prøverne fra Knebel Vig ($p = 0,0335$). Indholdet af aluminium var højere i FULL-prøverne fra Isefjorden sammenlignet med Knebel Vig ($p = 0,024$) i marts, mens indholdet var sammenligneligt i TIPS-prøverne. Arsen (As) niveauerne for alle biomasseprøverne holder sig under EU-grænseværdien for anvendelse i foderblandinger (40 mg As/kg tørstof), mens biomasseprøverne overskrider EU-grænseværdien for jod (5 mg/kg tørstof) (Nielsen et al. 2022, EU 2002).

Ser man isoleret på målingerne fra Isefjorden fra marts 2021 er indholdet af jod i TIPS (375 $\mu\text{g/g}$) signifikant højere end indholdet i FULL-prøverne, som målt til 302 $\mu\text{g/g}$ ($p = 0,0004$). Tilsvarende var indholdet af zink i TIPS (73,6 $\mu\text{g/g}$) højere end i FULL, som målt til 68,6 $\mu\text{g/g}$ ($p = 0,0379$). Lignende forskel blev målt i prøverne fra Knebel Vig for disse to tungmetaller. Omvendt var indholdet af nikkel signifikant højere i FULL end i TIPS-prøverne i Isefjorden ($p = 0,0061$). Indholdet af bly (Pb) i både TIPS og FULL-vævet blev i marts 2021 målt til 0,61 $\mu\text{g/g}$ i Isefjorden, hvilket var signifikant højere end indholdet målt (0,20 $\mu\text{g/g}$) i vævene fra Knebel Vig ($p < 0,001$). I maj 2020 Pb-indhold (puljet) i Knebel Vig $2,7 \pm 1$ $\mu\text{g/g}$, med et signifikant højere indhold i TIPS-vævet ($5,00 \pm 0,5$ $\mu\text{g/g}$).

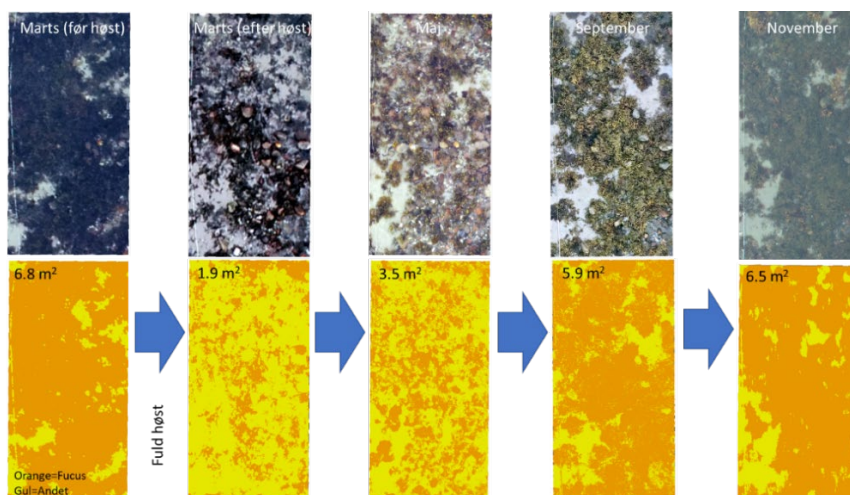
2.8 Diskussion

2.8.1 Droner som værktøj

I afsnit 2.5 så vi, at der ikke var nogle signifikante forskelle på de droneestimerede biomasser og de reelt målte høstede biomasser og på den baggrund kan man konkludere, at dronebaserede biomasse-estimerer er fuldt ud lige så anvendelige til at vurdere en stående bestand af blæretang i et tæt-bevokset område som i Isefjorden.

Anvendelse af droner har nogle helt åbenlyse fordele, da det er muligt at dække større arealer hurtigt og på den måde skabe et overblik over en bestand f.eks. i en hel bugt eller vig frem for enkelte punktobservationer. I dette studie skelnes der ikke i databehandlingen af drone-billederne mellem det reelle genvækstrespons på de høstede individer og tilvæksten af ny-rekrutterede individer indenfor et høstet område. Metoden kan derfor – i sin nuværende form – udelukkende anvendes til at vurdere en bestands respons og ikke det enkelt individs respons, hvilket dog også må anses for at være det væsentligste i en forvaltningssituation, hvor man ønsker grundlaget for en bæredygtig høst belyst.

Med en tidsserie af luftfotos kan genvæksten hos blæretang i et høstfelt således monitoreres før og efter en potentiel høst og følges over tid for derved at afgøre, hvornår bestanden er fuldt re-etableret. Et eksempel på en sådan billedserien ses i figur 2.16 for et fuld-høstet område i Isefjorden. Her ses hvordan den stående biomasse reduceres fra et areal på 6,8 m^2 til 1,9 m^2 (ud af 8 m^2) ved høst, hvorefter arealdækningen gendannes til 6.5 m^2 frem mod november samme år.



Figur 2.16. Øverst: Et eksempel på drone luftfotos af et høstplot (FULL) i Isefjorden monitoreret fra marts 2021 (før og efter høstbehandling) til november 2021. Nederst: tilsvarende databehandlede billeder af blæretang i det fuldhøstede felt. Orange er klassificeret som blæretang, gult er andet.

For at forstå den fulde effekt af en høst bør man dog samtidig følge et ikke-høstet kontrol-område, for at have en sand reference for, hvordan bedet ville have udviklet sig uden høst. Det så vi f.eks. i Isefjorden, hvor den stående biomasse i ikke-høstede felter forøgedes (ift. den oprindelige) gennem vækstperioden, mens det samme ikke var tilfældet for det fuldt-høstede område (figur 2.12).

Vi ved således fra dette studie, at de reelle høstbare stående biomasser stemmer overens med de estimerede biomasser baseret på drone-metoden i de perioder hvor biomassen er stor og dermed høst-parat. Derimod er der fra studiet flere indikationer på, at dronen er et mindre stærkt værktøj til at vurdere stående biomasse ved lave biomasseforekomster som f.eks. umiddelbart efter en høst-situation. Dette ses f.eks. i Isefjorden (figur 2.11), hvor drone-metoden efter fuld høst i marts 2021 vurderer, at 7,8 kg af den oprindelige stående biomasse på 23,1 står tilbage efter høst. Selvom det i dette studie ikke var forventeligt, at biomassen gik i nul efter høst, da høstbehandlingen fortsat lod dele af biomassen stå tilbage (figur 2.17), så vurderer vi fra vejningen af de planter, der blev lavet fuld høst på i afsnit 2.3.1, at den tilbageværende biomasse maksimalt burde udgøre 10% af den indledende biomasse (data ikke vist). I eksemplet fra før med en indledende stående biomasse på 23,1 kg, skulle der altså reelt kun stå 2,3 kg (10%) tilbage efter en fuld høst, men dronen vurderer at der står 7,8 kg, hvilket svarer til en overestimering på 5,5 kg.

Overestimering af den stående biomasse ved helt lave dækninger kan også erkendes i figur 2.10, hvor korrelationerne mellem arealdækning og biomasse ikke skærer i nul komma nul, men selv ved 0 m² dækning viser mellem 68 og 297 g blæretang pr. 0,8 m² for henholdsvis Knebel Vig og Isefjorden. For et fuldt høst-felt i Isefjorden på 8 m² svarer det til 3 kg. Men selv hvis man tager højde for denne usikkerhedsfaktor i dronens vurdering i den stående biomasse, er der fortsat i eksemplet fra før en overestimering på 2,5 kg pr. 8 m² (5,5 kg-3 kg) som vi ikke kan redegøre for.



Figur. 2.17. Billedeksempel fra Knebel Vig af et fuldt høstet forsøgs-område før (til venstre) og efter (til højre) den indledende høst i maj 2020.

Overestimeringen umiddelbart efter en høst-situation i dette studie kan skyldes flere ting, der relaterer til forskelle i den 3-dimensionelle struktur hos et intakt individ kontra nye unge og høstede individer: 1) Efter fjernelse af de større individer ved høst blev små yngre blæretang, der voksede sporadisk på stenene under de større høstede individer blotlagt og blev synlige for dronen. Men da yngre individer ikke har udviklet blærer, har de en mere horisontal position i vandet end ældre blæretang med blærer og dermed overestimeres biomassen, da denne i dette studie baseres på en korrelation mellem arealdækning og biomasse. 2) Det samme gør sig gældende for de planter der høstes, da de mister trækraften fra bladet og blærerne. Derved vil planten sprede sig mere ud og dermed fylder den tilbageværende biomasse forholdsvis mere pr kg end intakte individer.

Indsamling af et større antal dronebilleder af situationen med høstede felter vil give flere datapunkter til kalibrering af dronen i disse situationer og forventeligt give et bedre fortolkningsgrundlag af den dynamiske interaktion, som opstår ved høst hvor individets form og biomasse ændrer sammenhæng, og dermed reducere eller fjerne overestimeringen.

En anden faktor der gør sig gældende ift. planternes form, som den erkendes fra dronen, er dybden på den vandmasse planten står i. Der kan således være behov for at kalibrere korrelationen mellem biomasse og arealdækning til situationer, hvor man f.eks. har tidevand eller fucus på dybt vand, hvor den enkelte plantes arealdækning vil variere afhængigt af vanddybden omkring den. F.eks. vil en plante i tidevandszonen udvise en mindre arealdækning når den står oprejst ved højvande end ved lavvande, hvor den vil spredes mere ud.

2.8.2 Konsekvenser af høst af blæretang

Med resultaterne fra dette studie står det klart, at der er forskelle på genvækstresponsen hos blæretang afhængig af høstmetode, lokalitet og hvilken skala der vurderes på. Overordnet har blæretang sin primære vækstsæson i perioden maj til november, hvorimod der i perioden fra november til maj enten er meget begrænset vækst eller tilmed negativ vækst som følge af slitage og øvrig påvirkning af planterne hen over vinteren. Dette ses på tværs af lokaliteter og også uafhængigt af om der vurderes på individ-niveau eller på bestands-niveau.

Fra studiet så vi, at en blæretangs-bestand er i stand til at regenerere sig, både hvis den høstes før (marts, Isefjorden) og indenfor (maj, Knebel) den primære vækstsæson. I det tilfælde, der høstes i marts, indtræder den egentlige genvækst dog først fra maj måned og dermed tager den samlede reetablering tilsvarende længere tid. Således kunne en bestand høstet i Knebel i maj (2020) reetablere sig tilbage til det oprindelige udgangspunkt på bare 3 måneder, mens tilsvarende for en bestand høstet i marts (2021) i Isefjorden tog op mod 6 måneder. Høstes der i stedet i efteråret, dvs. i slutningen af vækstsæsonen, viser et andet dansk studie (Levinsen et al. *in prep.*), at responsen på ny skuddannelse er væsentligt reduceret, hvilket indikerer, at det er fordelagtigt at lægge høsten i starten af året, hvor planten har bedst mulighed for at komme sig inden vinterens dårligere vækstbetingelser. Det kan dog ikke udelukkes, at både forskelle i lokalitet og år også spiller en rolle.

Vores studier viser også, at responsen i høj grad afhænger af høstmotoden og at dette er uafhængig af lokalitet, periode og skala der vurderes på. Således kan der høstes skånsomt enten ved blot at klippe skudspidserne (TIPS) eller ved at udtynde bestanden (THIRD), hvorved en blæretangs-bestands evne til at regenerere er bedre og hurtigere end hvis den fuldhøstes (FULL). Dette sås ligeledes i langtidsstudiet, hvor ikke-høstede (KONTROL) og skånsomt høstede (TIPS) områder kunne generere mere biomasse over tid end fuldt høstede områder.

Fra individundersøgelser kunne vi se, at genvækstresponsen hos TIPS-høstede blæretang i høj grad blev båret af en øget skuddannelse fra skudspidserne – en skuddannelse, der var væsentligt mindre hos fuldhøstede individer, da disse ikke i nær samme grad bliver efterladt med skudspidser, hvorfra ny skuddannelse kan forekomme. Dette stemmer både overens med tidligere studier, der har kigget på lignende høst-scenarier og med det faktum at fysisk skade f.eks. herbivori er kendt for at inducere skuddannelse (Knight & Parke 1950, Mikkelsen 2019, Van Alstyne 1989).

Det er dog også tydeligt fra studiet, at den fulde reetablering som ses på bestands-niveau kun i mindre grad skyldes vækst af de egentlige høstede individer, der enten aldrig kommer sig fuldt ud ift. før høst eller kommer sig meget langsommere end bestanden som helhed. Derimod bæres reetableringen af blæretang i bestandene i de undersøgte områder af vækst af nye planter, enten fra en allerede etableret underskov eller fra ny rekruttering ind i høstområdet. De hurtige genvækst-responser, der er fundet i dette studie, vurderes derfor på denne baggrund at være forbeholdt sunde tætte bestande, hvor ny rekruttering udefra er altafgørende for bestandens evne til at komme sig efter en høst (se uddybning i afsnit 2.8.3).

Vi fandt, at rekrutteringen primært sker i perioden april til juni og derudover var der dels indikationer på, at høst kan påvirke (både positivt og negativt) dannelsen af receptakler i en bestand og dels at succes for rekrutteringen til et område afhænger af afstanden til nærmeste bed, hvorfra spredningen kan ske. I det hele taget understreger disse observationer vigtigheden af at forstå et område som helhed inden en høst planlægges, så man sikrer muligheden for tilstrækkelig ny rekruttering. F.eks. kan høst sent i den primære vækstsæson potentielt føre til en lavere reproductiv kapacitet i det efterfølgende år, da der ikke tidnok kan gro og udvikles modne receptakler på nye skudvækster inden den efterfølgende reproduktive sæson.

Tidspunktet for høst spillede også en rolle ift. kvaliteten af den høstede biomasse. F.eks. var tørstofindholdet højest om sommeren, samtidig med at indholdet af flere kritiske metaller (As,

Cd, Pb) var lavest. Det skal dog hertil understreges at indholdet af arsen på intet tidspunkt var over den tilladte grænseværdi, så høsttidspunktet i den henseende er irrelevant. Og for jod, som tilsvarende har en fastsat grænseværdi, var indholdet på alle de målte tidspunkter over grænseværdien, hvilket betyder, at virksomheder uafhængigt af høsttidspunktet vil skulle for-tynde ned til den tilladte grænse alligevel.

2.8.3 Rekruttering

Rekruttering af nye individer til et område sker hos blæretang via seksuel reproduktion hvor små sporer spredes og fæster sig til et substrat (figur 2.1). Dette sker i en begrænset del af for-års- og sommerperioden ved frigivelsen af kønscellerne, hvorefter befrugtningen sker i et kort tidsvindue herefter afhængigt af miljøforhold, tidevand samt månens cyklus. De befrugtede æg i vandet samt tidlige stadier af sporer (samlet kaldet frø) spredes ikke langt fra oprindelsesstedet (<20 m svarende til 1-6 bølger) på grund af den høje vægtfylde og frøenes affinitet for fasthæftning, men der findes ingen danske studier på lokal skala (Hatchett et al 2022). Det er derfor meget agtpågivende at en forvaltning af tanghøst i kystnære områder må inddrage et forsigtighedsprincip omkring en grænse for hvor intensivt der kan høstes på enkelte bestande i perioder i og omkring frø-spredningen indtil der fremkommer tilstrækkelige data til at nuancere dette.

Projektets undersøgelser tog note af den mængde af selvsåede ny blæretang, der naturligt fandt sted i alle høstplots og fandt at rekrutteringen var afgørende for bestandens evne til at komme sig efter høst. I feltundersøgelserne blev der på alle udlagte fliser observeret en tæt vækst af selvsået ny blæretang, som voksede til fuld størrelse og reproduktiv modenhed efter 1,5-2 år. Men samtidig så vi også indikationer på at den naturlige rekruttering ikke rækker over særligt lange afstande (<20-30 m), hvilket stemmer overens med litteraturen (Hatchett et al. 2022).

De enkelte høstfelter blev udført på relativt lille skala (8 m²) inde i en større sammenhængende blæretangs-bestand. Dermed vil det omkringværende habitat udenfor høst-felterne få en relativ stor betydning for den observerede vegetation over tid i de høstede felter og høstfelterne vil naturligt være genstand for væsentlig rekruttering. Høstede man derimod større områder eller større andele af den samlede bestand vil man forventeligt få et andet billede f.eks. vil man kunne forvente en væsentligt dårlige ny rekruttering til et høstet område, hvis dette overskred en størrelse på 20-30 m i diameter. Dette afspejler sig også i høstanbefalinger fra Maine, hvor man anbefaler ikke at høste områder større end 15 m i diameter og med mindre end 15 m afstand mellem høst-områder (Côté-Laurin et al. 2016).

Foruden afstanden til et nabo-bed, er den reproduktive kapacitet af bedet, dvs. i hvor høj grad der dannes modne receptakler, tilsvarende vigtigt for opretholdelsen af den naturlige rekruttering. I studiet observerede vi nye receptakler 14-16 måneder efter et høst-indgreb, men undersøgelserne af den reproduktive kapacitet var ikke systematiske, og der er på baggrund af dette studie derfor ikke noget egentligt grundlag for at kunne angive, hvor stor andel af en bestand i et givent år, der bør holdes braklagt for at bidrage med frø-spredning til genopretning af et tilstødende høstet område. Fra studiet kan vi dog med stor sandsynlighed udlede, at tiden før en bestand opnår dens oprindelige reproduktive kapacitet er væsentlig længere end tiden det tager at genoprette den stående biomasse, hvilket er væsentligt at forholde sig til i en potentiel forvaltnings-strategi for høst af vilde bestande.

3. Sargasso-tang

3.1 Baggrund

En af de mest dominerende invasive tang-arter i danske farvande er butblæret sargassotang (*Sargassum muticum*). Arten stammer oprindeligt fra Japan, men er blevet spredt med østersyngel først til den amerikanske østkyst og siden videre til Frankrig og op igennem Europa. I Danmark, har sargassotang spredt sig hastigt især i Limfjorden siden dens introduktion i 80'erne og kan nu betragtes som en af de mest dominerende arter i området (Stæhr et al. 2000). En analyse af sargassotangs effekt på den øvrige marine vegetation baseret på nationale overvågningsdata fra perioden 1990-2017 viser, at sargassotang har haft en markant påvirkning på det øvrige makroalgesamfund, primært via fortrængning af hjemmehørende arter grundet udskygning (Stæhr et al. 2019).

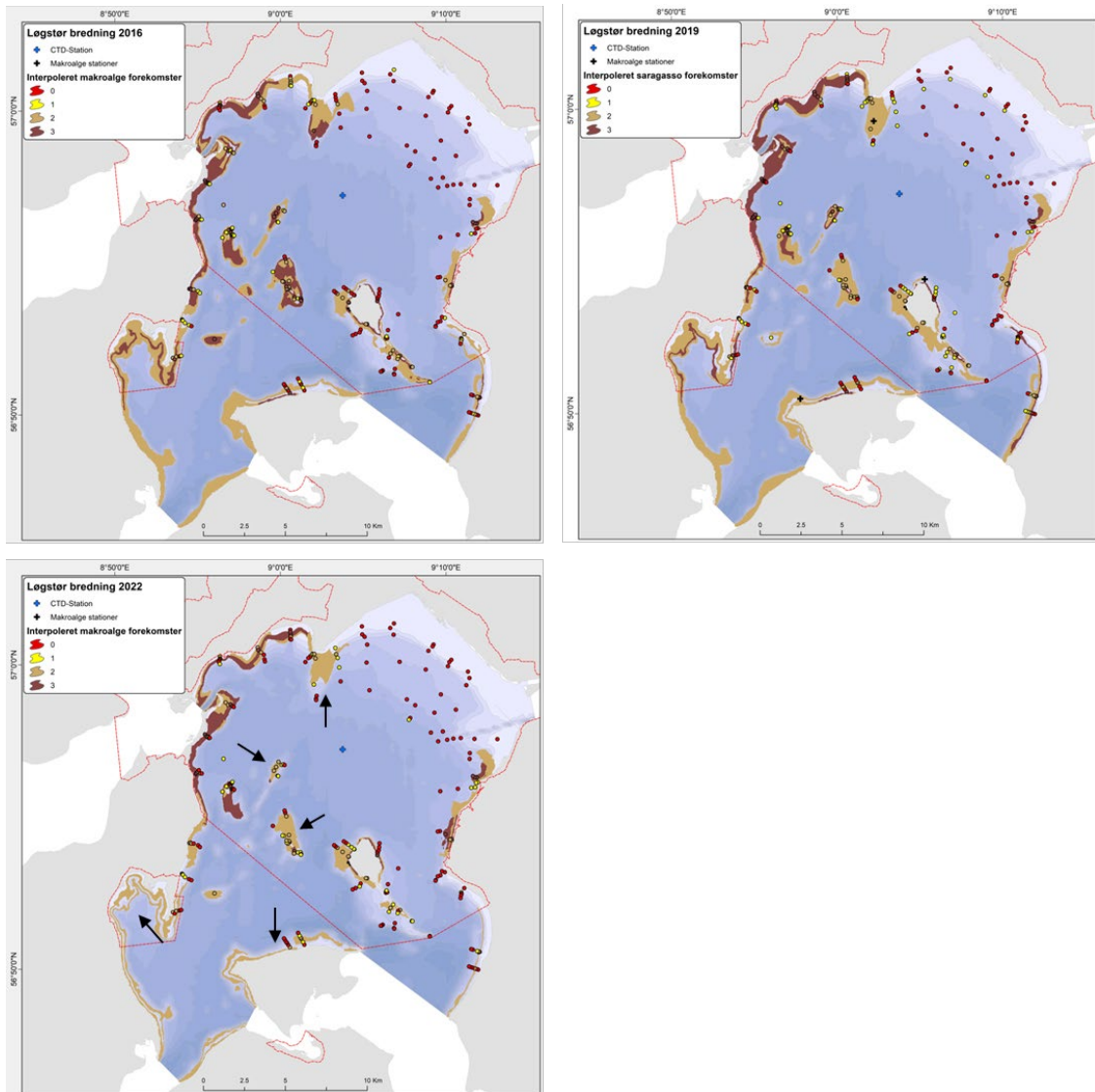
Der findes ingen høst af sargassotang i Danmark, men den høstes i flere europæiske lande, hvor den forekommer i større mængder og påvirker økosystemet samt menneskelige aktiviteter i kystnære områder (bl.a. sejlads og økoturisme). Høst-initiativer i Europa har primært været med henblik på at kontrollere artens aggressive spredning, men sargassotang er desuden interessant i et ressource-perspektiv grundet dens indhold af bl.a. fucoxanthin og fucoidan, som menes at have sundhedsfremmende egenskaber (Milledge et al 2016). Dermed kan en høst på arten til kommerciel udnyttelse være et potentielt fremtidig middel til at kontrollere dens spredning.

Arbejdet omkring sargassotang er opbygget som en tre-trinsraket, der skulle 1) skabe klarhed over artens hotspot udbredelse, 2) vurdere effekterne af at høste sargassotang og 3) estimere biomassepotentialet af arten i områder med større forekomster. Slutteligt blev der udført høstforsøg, hvor anvendelsen af et mekaniseret høstredskab (grødehøster) blev vurderet som potentielt redskab til høst på arten.

3.2 Identifikation af sargassotangs hotspot udbredelse

DTU Aqua foretaget kortlægning af makroalger – herunder sargassotang – i 3-årige intervaller i forskellige bredninger i Limfjorden. Af disse områder, vurderes Løgstør Bredning at have den største forekomst og det bedste datasæt for sargassotang. Data fra kortlægningen er i dette studie anvendt til dels at identificere hot spots for sargassotang i bredningen, og dels til at vurdere bestandens tilstand i perioden 2016-2022.

Figur 3.1 viser forekomsten af sargassotang i Løgstør Bredning i henholdsvis 2016, 2019 og 2022. Kortlægningen er baseret på samme metoder anvendt i Nielsen et al. (2020). Kortlægningen i perioden 2016-2022 viser, at der dels er områder i bredningen, hvor forekomsten af sargassotang er stor og relativ stabil gennem perioden, og dels at forekomsten i andre områder enten er mere dynamisk eller i flere tilfælde har været faldende i perioden.



Figur 3.1. Forekomst af sargassotang i Løgstør Bredning 2016, 2019 og 2022. Hvert punkt repræsenterer et 90-100 meter video-transekt med enten ingen (rød), enkelte (gul), mellemstore (lysebrun) eller store (mørkebrun) forekomster af sargassotang. Mellemstore og store forekomster er interpoleret til hele bredningen. Pilene på kortet fra 2022 indikerer områder med størst tilbagegang i perioden 2016-2022.

Konkret har tendensen fra 2016 til 2022 været en reduktion i arealerne med store forekomster ved Blinderøn, Langegrund, nordkysten af Fur, Holmtange Hage og Dråby Vig (indikeret med sorte pile i figur 3.1). Omvendt har der været en svag tendens til øgede forekomster på østsiden af bredningen nær Rønbjerg og Lendrup Røn. De øvrige områder i bredningen med forekomster af sargassotang, har været mere dynamiske med både fremgang og tilbagegang i perioden 2016-2022. Samlet set vurderes områder med store og mellemstore forekomster (kategori 3 og 2, figur 3.1) at være faldet med 748 og 1194 hektar fra 2016-2022, svarende til et fald på henholdsvis 46 og 31%.

Studiet indikerer at sargassotang har toppet dens spredning i bredningen og at de områder, hvor arten har formået at etablere sig med relative tætte bestande, er relativt få – og oftest udviser dynamisk karakter fra år til år.

3.3 Høsteffekter på sargassotang (PS)

3.3.1 Metoder

For at undersøge genvækstresponser hos sargassotang blev der d. 2. juli 2020 igangsat to genvækstforsøg med to høstgrupper samt en kontrolgruppe. Hertil blev der indsamlet i alt 126 individer af sargassotang, som efterfølgende blev brugt i de to genvækstforsøg. De to høstgrupper bestod af enten at afklippe individerne 5 cm eller 20 cm over deres fasthæftelsesorgan. I kontrolgruppen forblev individerne uberørte. Det ene af de to forsøg var et feltstudie, mens det andet var et tankforsøg i semi-åbne udendørs tanke med rindende sandfiltreret havvand. Baggrunden for at lave et parallelt genvækstforsøg i den semi-åbne tank var dels at sikre at forsøgsindivider ikke gik tabt i løbet af perioden samt at kunne sammenligne eventuelle forskelle mellem individerne i feltforsøget og individerne i den semi-kontrollerede forsøgsopstilling, hvor faktorer såsom begroning og græsning var minimal.

Feltforsøget blev foretaget i den kystnære zone ved Øroddevej i Nykøbing Mors, hvor en tæt bestand af sargassotang (hotspot jf. afsnit 3.2) vokser i en relativ tynd bramme langs kysten. I feltstudiet (figur 3.3) blev 108 individer udlagt i 12 afmærkede felter (~1 m²) i kystzonen i en bane langs kysten, hvor al øvrig vegetation blev fjernet. I hvert felt blev der udlagt 9 individer af samme høstbehandling, således der i alt var 4 felter (36 individer) med hver høstbehandling.

I tankforsøget (figur 3.2) blev 18 individerne fordelt i de to høstgrupper (n=9), som i 5 plastkurve blev undersøgt vandoverfladen i en åben betonsilo med konstant indløb af sandfiltreret havvand. Til tankforsøget agerede kontrolgruppen i feltforsøget tilsvarende kontrolgruppe for individerne som blev holdt i tanken.



Figur 3.2. Høstgrupperne for sargassotang forberedes ved afklipping enten 5 eller 20 cm over fasthæftelsesorganet. Dernæst blev ni individer for hver høstgruppe fordelt i orange plastkurve og undersøgt vandoverfladen i en stor vandtank med et konstant indløb af sandfiltreret havvand.

For begge forsøg blev individerne efter 35 dage undersøgt for skuddannelse i vævsdelene CUT, SIDE og DISC (tilsvarende studiet på blæretang i afsnit 2.3.1) samtidig med individernes fulde længde blev målt for at udtrykke ændringen i individhøjden.



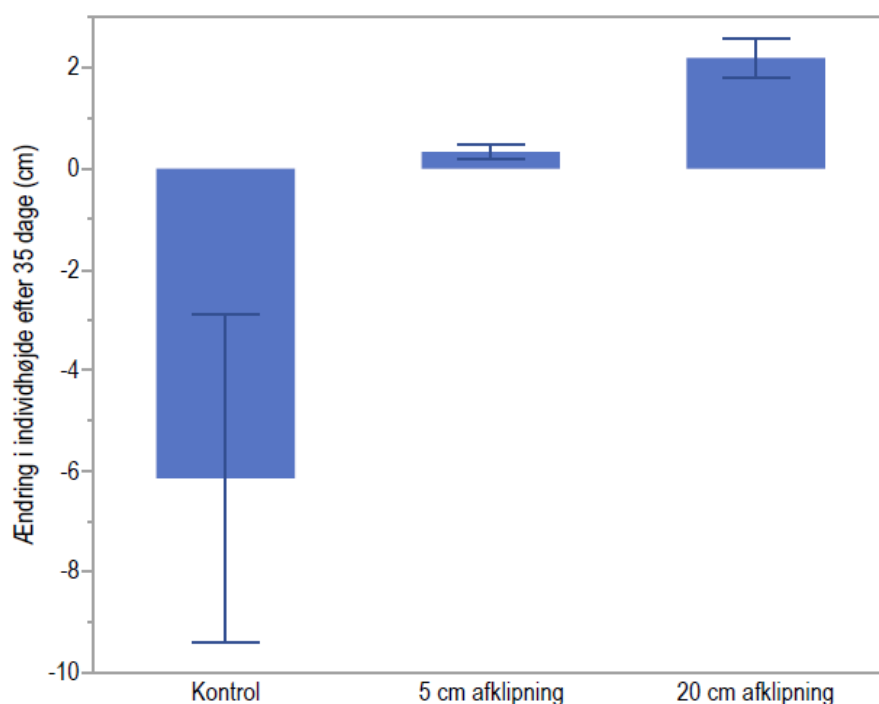
Figur 3.3. Øverst: Kystnær lokalitet for feltstudiet ved Øroddevej, Nykøbing Mors. Midt: Under-
vandsbillede af et kontrolfelt. Nederst: et felt med høstede individer beskåret 5 cm over fasthæftel-
sesorganet.

3.3.2 Resultater

Som det ses af figur 3.4, var der en relativ stor variation i udviklingen for individlængden hos kontrolgruppen af sargassotang i feltforsøget som ændrede sig fra 84 cm til 78 cm ($-6,1 \pm 4,9$ cm). I modsætning til kontrollerne, var ændringen i individhøjden hos høstgrupperne $0,33 \pm 0,2$ cm (5 cm afklipping) og $2,2 \pm 0,3$ cm (20 cm afklipping). Udviklingen i individhøjde fra feltforsøget

var ikke forskellig blandt høstgrupperne ($p=0,12$). Umiddelbart kunne dette indikere at den bedste bekæmpelse ville være ikke at høste, da sargassotangen i kontrolgrupperne var de eneste med negativ vækst i perioden. Her er det dog vigtigt at holde sig for øje er dog at selvom kontrolplanterne forkortes i perioden, står de stadig tilbage med en stor biomasse, der i sensommeren vil kunne brække af og fungere som frøspreader, hvorved artens potentiale for at øge sin udbredelse fortsat er intakt, modsat de høstede individer. I sidste ende viser figur 3.4 at klipning 5 cm over fasthæftelsesorganet er den mest effektive metode til at reducere væksten og derved spredningspotentialer hos sargassotang.

I tankforsøget blev lignende genvækstrespons fundet, hvor individerne afklippet i 20 cm højde viste gennemsnitligt at have groet 3,4 cm i højde for perioden, imens høstgruppen der blev afklippet ved 5 cm højde ikke viste nogen tilvækst.



Figur 3.4. Ændring i individlængde for forskellige høstgrupper af sargassotang i perioden 2. juli til 7 august 2020 fra feltforsøget. Søjlerne repræsenterer gennemsnittet \pm SE ($n=36$) – vi kan også vise gennemsnit med $n=4$ (felter med hver 9 individer) så bliver SE lidt større).

Tabel 3.1 viser hvor stor en procentdel af individerne i de forskellige høstgrupper fra feltforsøget der viste skuddannelse i de tre vævssektioner (CUT, SIDE, DISC). Ud fra dette resultat er det tydeligt at sargassotang ikke danner nye skud i den afklippede stængel (CUT), men kun i SIDE og DISC. Kontrolgruppen, som i perioden blev forkortet med omtrent 6 cm på grund af naturligt slid dannede ingen nye skudvækster. Derimod ses det af tabellen, at en relativ høj andel af individerne (64-74%) i høstgrupperne dannede skud både på stængelen (SIDE) og ved fasthæftelsesorganet (DISC) som en respons på høsten af løvet. Skudlængderne var i intervallet 0,5-2 cm (SIDE) og 1-4 cm (DISC).

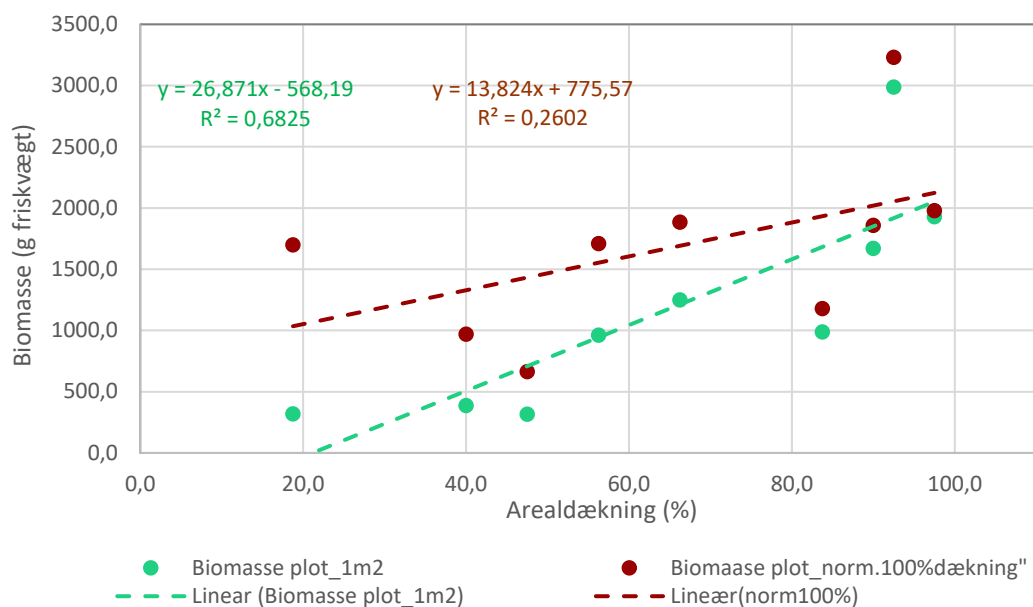
Tabel 3.1. Procentdel af sargassotang-individerne (n=36) fra feltforsøget, som viste skuddannelse i vævsfraktionerne CUT, SIDE og DISC.

	Skud i CUT (%)	Skud i SIDE (%)	Skud i DISC (%)
Plante ID	Mean	Mean	Mean
Kontrol	0,00	0,00	0,00
5cm	0,00	88,9	73,8
20 cm	0,00	97,2	63,5

Til sammenligning havde 44% af individerne i høstgruppen som blev afklippet ved 20 cm fra tankforsøget dannet nye skud i SIDE og DISC af en længde på 0,5-1 cm. Derimod viste individerne som var blevet afklippet ved 5 cm over fasthæftelsesorganet ingen skuddannelse i SIDE (der var ikke tilstrækkelig stængel tilbage), men til gengæld viste alle 100% individer at havde dannet skud ved holdfast (DISC) med en længde på 3-4 cm. Derved er der ikke store forskelle på responsen i skuddannelsen fra felten kontra tankene, hvilket indikerer, at responsen, vi ser, er den rene høstrespons, tilsyneladende uden påvirkning af andre faktorer, som græsning, fysisk slid mm., som kun ville kunne forekomme i felten.

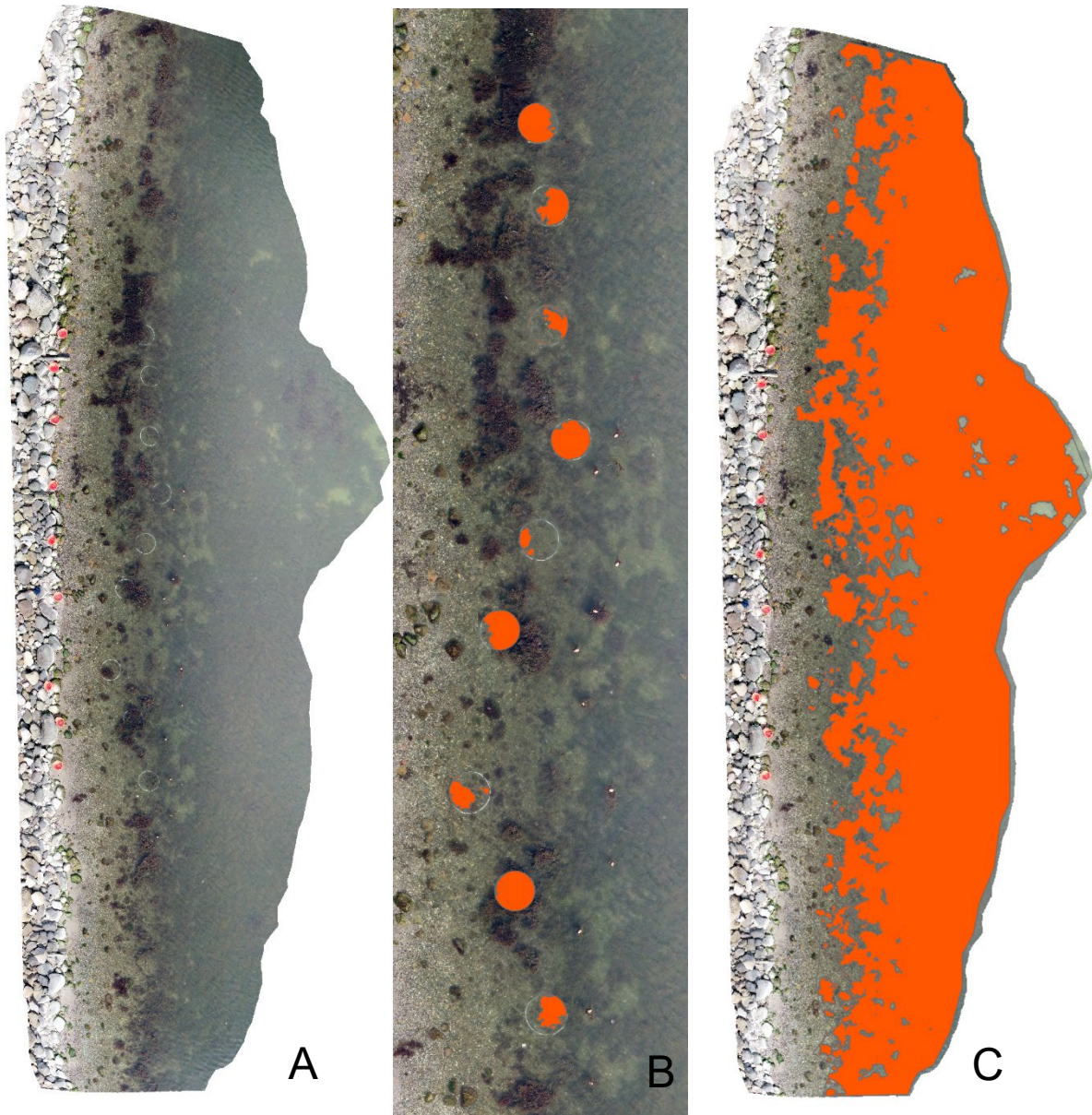
3.4 Estimering af biomasse-potentialet

Til undersøgelse af biomassepotentialet for sargassotang blev der foretaget en lignende feltundersøgelse, som for blæretang beskrevet i afsnit 2.4.1, d. 13. august 2020 ved at indsamle dronebilleder af 9 mindre cirkulære plots fordelt ud i kystzonen ved Øroddedevej, Nykøbing Mors (se fig. 3.6, A-B) og efterfølgende gennemføre fuldhøstning af vegetationen. Forholdet imellem arealdækningen af sargassotang og den stående biomasse kan bestemmes med en lineær sammenhæng som er vist i figur 3.5, hvor den stående biomasse er standardiseret til 1 m².



Figur 3.5. Forholdet imellem biomassen af sargassotang og arealdækningsgraden (%) i cirkulære plots d. 13. august 2020, Øroddedevej, Nykøbing Mors. Grønne punkter: biomasseudbyttet fra cirkulære plots standardiseret til 1 m². Røde punkter: biomasseudbyttet ved normalisering af arealdækningsgraden i plottet til 100%.

Den gennemsnitlige biomassetæthed for sargassotang var 1200 ± 295 gram friskvægt m^{-2} ved en gennemsnitlig arealdækningsgrad på 67 ± 9 %. Ved normalisering af arealdækningen til at være 100% i plottene fremskrives biomassen til 1685 ± 245 gram friskvægt m^{-2} . Hermed kan en stående biomasse per hektar bestemmes ved direkte ekstrapolering af arealet af de cirkulære plots til 12-17 tons friskvægt per hektar i et område med en tæt bestand (hotspot udbredelse jf. sektion 3.2). Ud fra det drone-fotograferede areal ved Øroddevej og den lineære sammenhæng mellem dækningsareal og biomasse estimeres det at arealet på 404 kvadratmeter har en biomasse af sargassotang på 682 kg friskvægt (se figur 3.6C), hvilket svarer til 16,9 tons per hektar.



Figur 3.6. A: Dronebillede af lokalitet for feltstudiet til bestemmelse af biomassepotentialet for sargassotang ved Øroddevej, Nykøbing Mors d. 2. juli 2020. **B-C:** Orange-farvede felter fra billedanalysen repræsenterer areal med forekomst af sargassotang.

3.5 Test af skånsomt høstredskab

Sargassotang er en invasiv art og kan danne høj biomassetæthed, som kan have en negativ indvirkning på andre hjemmehørende arters vækst og udbredelse ved at beslaglægge egnede overflader og udskygge andre arter. Derfor kan det være ønskværdigt at kunne begrænse eller minimere udbredelsen af sargassotang i et område med den hensigt at fremme udbredelsen af hjemmehørende arter. Desuden vil den høstede biomasse potentielt være af kommerciel interesse grundet tangens mange anvendelsesmuligheder. Dog vil en høst skulle udføres skånsomt, så høsten og den potentielle bekæmpelse af sargassotang ikke påvirker det øvrige habitat i det høstede område i negativ retning.

Formålet med delopgaven var derfor at teste en prototype af et skånsomt høstredskab til sargassotang, som ikke kommer i kontakt med bunden og dermed påvirker det øvrige benthiske miljø. Med udgangspunkt i at sargassotang overvejende vokser i Limfjorden gerne i områder med store sten, og hvor vandets sigtbarhed ofte er meget dårlig, blev det vurderet at eksisterende større komplette høstpramme med langt transportbånd i front ikke vil være egnet. I stedet blev der besluttet at fokusere på at afprøve en allerede eksisterende mindre høstmaskine og vurdere dennes funktion på høst af sargassotang i et udvalgt område i Løgstør Bredning med større forekomster på lavt vand. Valget faldt derfor på en flydende grødehøster (figur 3.7), som er udstyret med et hydraulisk skæreblade i fronten. Dybden af skærebladet kan indstilles alt efter hvilken beskæringshøjde af vegetationen der ønskes, og indstilles i en højde over bunden således at skærebladet ikke rammer sten af en vis størrelse. Ved langsom fremdrift vil grødeskæreren således beskære sargassotang og andet vegetation over skærebladets højde uden at påvirke bunden.



Figur 3.7. Flydende grødehøster anvendt til høstforsøget ved Fegge Klit, Nordmors i juni 2022.

Forventningen ved at anvende en grødehøster ville derfor være at man vil kunne beskære sargassotangen uden negativ påvirkning af havbunden og høsten vil således være skånsom for området. I et område domineret af sargassotang vil man med beskæring kunne begrænse dens

vækst og mulighed for at frigive reproduktive spirer. Tanken var, at den afskårne sargassotang ville flyde til overfladen grundet den opdrift der er i de luftfyldte blærer i løvet og biomassen der- efter ville kunne indsamles og fjernes fra miljøet uden en fysisk påvirkning af havbunden.



Figur 3.8. Kort over Mors samt tegning for placering for aktiviteten omkring brugen af en flydende grødehøster til fjernelse af butblæret sargassotang. Ud for kysten ved Fegge Klit markeres et reelt stort felt som opdeles i et kontrolområde uden høstaktivitet (gult felt) og en høstfelt (grønt felt). De lilla streger er GPS-sporet for en mindre båd som trak et videokamera igennem felterne før og efter høsteaktiviteten.

Efter identifikation af hot-spot udbredelserne for sargassotang i maj 2022 (afsnit 3.2), blev der foretaget inspektioner af 4 udvalgte områder med video-slæde. Fra videoerne blev bedenes tilstand i de udvalgte områder herefter vurderet på baggrund af deres tæthed, størrelse og sundhed, og herfra blev det endelige område til høstforsøgene udpeget.

Efter udpegning af det bedst egnede område, trods generelt dårlige kår for sargassotang i 2022 (jf. afsnit 3.2), blev der d. 20. juni igangsat et høstforsøg med grødeskæreren i et område med god dækning af sargassotang ved Fegge Klit, Mors. Før høsten blev igangsat, blev en kameraslæde trukket igennem området (lilla linje, figur 3.8, nederst til højre) for at dokumentere bedets tilstand før høsten. Dette blev gentaget efter høsten, for at dokumentere effekten af høsten.

Grødehøsteren var aktiv hen over et areal af havbunden svarende til ca. 800 kvadratmeter før vi indstillede høsten. Det viste sig, at den afklippede sargassotang ikke flød op til overfladen i tilstrækkelig grad, men i stedet lagde sig på bunden. Da tilladelsen for høst af den invasive tangart var med forbehold for, at al den høstede biomasse blev opsamlet, gav dette naturligt visse udfordringer. For at kunne være sikker på at vi fjernede alt det afklippede sargassotang, tog det ekstraordinært lang tid at indsamle biomassen ved brug af rejehov-net, som manuelt blev skubbet over hele arealet og opsamlet via båd. Endvidere gjorde den begrænsede opdrift i løvet, at ikke-høstede sargassotang ikke stod så lodret og stabilt i vandet som tiltænkt, og derfor delvist lagde sig ned når grødehøsteren langsom sejlede hen over arealet. Dette fandt også sted selv ved en lavere sejlhastighed, hvilket besværliggjorde grødehøsterens effektivitet og var endnu en grund til at høstforsøget blev stoppet før hele høstplottet var forsøgt gennemført.

Efter høsten i juni blev høst-området tilset regelmæssigt over sommeren, med henblik på at gentage høstforsøgene med grødehøsteren, når/hvis tangen fik flere flydeblærer og derfor dels ville stå bedre i vandet for skærerne på grødehøsteren og dels ville flyde til overfladen efter afklipping, så opsamlingen af biomassen kunne sikres på ordentlig vis. Da situationen ikke ændrede sig over sommeren, blev der ikke foretaget yderligere tests med grødehøsteren.

Den opsamlede biomasse efter høstaktiviteten i juni blev opdelt i grupper og viste en sammensætning på 76,7% sargassotang, 16,3% fucus-tang (blæretang og savtang), 2,7% filamentøse røde makroalger, samt 4,3% marine dyr. Denne sammensætning vidner om, at grødehøsteren også har en betragtelig negativ påvirkning på fucus-arter og øvrige makroalger samt marine dyr, der bliver fanget i biomassen når den høstes, og høsten var derfor ikke så skånsom som ønsket overfor den øvrige flora og fauna.

Desuden var høst-effektiviteten af grødehøsteren relativ lav og kunne beregnes til at være 0,04 kg m⁻² ved en gennemsnitlig arealdækning på 80-100%. Til sammenligning blev der fundet en biomassetæthed på ca. 1,2 kg m⁻² ved dronestudiet ved Nykøbing Mors i 2020 i et bed af sammenlignelig karakter. Den dårlige høst-effektivitet tilskrives det faktum at sargassotangen i området havde meget få flydeblærer, så tangen i høj grad lagde sig ned når skærerne fra grødehøsteren passerede i stedet for at blive fanget i skærerne og blive høstet. Dette fremgår også af billederne i figur 3.9, hvor man dels kan se at tangen ligger ned inden høst (figur 3.9, venstre) og at en væsentlig del lades tilbage efter høst (figur 3.9, højre).



Figur 3.9. Eksempler fra video-moniteringen af sargassobedet før (venstre) og efter (højre) høstaktiviteten med den flydende grødehøster.

3.6 Opsamling – biomassepotentiale og høsteffekt for sargassotang i Limfjorden

Udbredelsen af hot-spot områder af sargassotang i Løgstør Bredning viser en tilbagegående trend baseret på et stort antal video-transekter over en længere årrække. Dette indikerer at arten sandsynligvis ikke længere er i sin spredningsfase, men med høj sandsynlighed har nået sin fulde udbredelse i Løgstør Bredning, dog med det forbehold at udbredelsen af makroalger generelt i Limfjorden kan være ganske dynamisk generelt fra år til år.

Studiet af høst og genvækstresponsen hos sargassotang viser, at biomassepotentialet ved fuld høstning var 1,2-3 kg friskvægt m^{-2} ved 100% arealdækning. Ved afklipping af sargassotangen enten 5 cm eller 20 cm over dets fasthæftelsesorgan fjernes større eller mindre dele af den stående biomasse og dermed reduceres algens potentiale for at formere sig, og fastholde eller øge sin udbredelse i en given periode. Hvis hensigten med at høste og fjerne sargassotang i et område er at begrænse dens udbredelse, er det dog afgørende at fjernelsen af den afhøstede biomasse sker i en periode før de reproduktive enheder (befrugtede æg) kan frigives fra de kønsmodne individer. Dette sker under normale omstændigheder typisk i sensommeren, hvorefter spredningen sker ved at store dele af løvet afkastes og driver rundt samtidig med at befrugtede æg eller kimplanter drysser af og derved kan spredes over store afstande. Effekterne af høst på den reproduktive kapacitet er ikke undersøgt i dette studie og vil kræve yderligere undersøgelser.

Derimod blev det observeret at efter afklipping af løvet på sargassotang i sensommeren genereres der i løbet af 35 dage et genvækstrespons af nye skud fra det flerårige fasthæftelsesorgan og nedre del af stængelen med en betydelig vækstrate. Langtidseffekten af dette blev ikke undersøgt yderligere, men det kan forventes at sargassotang høstet ned til 5 cm over fasthæftelsesorganet vil gendanne løv i det følgende år i omegn af samme størrelse som før høst og dermed kan bidrage til fortsat rekruttering af nye individer.

Høst og fjernelse af sargassotang ved brug af en flydende grødehøster kan godt lade sig gøre, men af flere årsager viste det sig i nærværende studie at have en meget lav høsteffektivitet. Tidsvinduet for en sådan høst i større skala er afgørende for at opnå højere høst-effektivitet, som er afhængig af at sargassotang har dannet et højt antal flydeblærer i løvet og høj biomassetæthed da dette vil give den stærkeste opdrift af løvet under og efter afklipping. Derudover viste studiet med grødehøsteren at ved en høst-indstilling som potentielt maksimerer høstning og bekæmpelse af sargassotang (tæt på bunden) også fører til afklipping af andre markoalge-arter med et opret løv (16,3%), selv savtang som ikke har flydeblærer. Derudover vil kvaliteten af den indsamlede høstede vegetation bestå i mindre grad af andre makroalge-arter (2,7 %) samt en betydelig mængde marine dyr (4,3%).

4. Forvaltning af vilde tang-ressourcer

Projektet har haft fokus på at skabe et bedre videnskabeligt fundament for en fremtidig forvaltning af de danske vilde tang-ressourcer. Med udgangspunkt i de gældende regler, dialog med virksomheder og myndigheder og de opnåede resultater fra projektets aktiviteter, gives i dette afsnit et overblik over gældende regler og praksis, samt en række anbefalinger til fremtidige forvaltningstiltag på området. Desuden skitseres videns huller og fremtidige anbefalede fokusområder.

4.1 Nuværende regler og praksis

Som en del af projektet har der været afholdt dialogmøde med virksomheder, videns-institutioner og myndigheder med det formål at skabe et overblik over branchen og dens regulering samt præsentere den nyeste forskning på området. Dette afsnit er dels baseret på input fra henholdsvis virksomheder og myndigheder fra dette møde, dels på information fra respektive myndigheders hjemmesider. Vedrørende økologisk tang, er en tidligere udarbejdet guide fra Fødevarerådgivning Comida inddraget.

Kommerciel høst af tang i Danmark er endnu af relativ lille omfang og begrænset til få kystnære områder med forekomster store nok til at kunne understøtte en kommerciel virksomheds behov for biomasse. Det vurderes, at der findes et par håndfulde danske virksomheder, som høster tang fra vilde bestande til kommerciel brug i Danmark – heraf er de fleste enkeltmandsfirmaer. Dertil kommer enkelte større firmaer med <10 ansatte. De høstede mængder pr. firma varierer således fra få hundrede kilo pr. år til få hundrede kilo pr. uge og de primært høstede arter er fucus-arterne blæretang og savtang. Høsten foregår oftest med håndredskaber (saks/kniv) fra kysten – eller i enkelte tilfælde på dybere vand med dykker eller via snorkling. Enkelte firmaer anvender desuden alternative høststrategier enten via fiskegarn, der opsamler frit drivende tang eller ved hjælp af en mekaniseret teleskop-hækkeklipper.

Hvis en tang-producent anvender redskaber, der kan tilbageholde fisk, skal de opfylde fiskeriloven. Det betyder f.eks., at en kommerciel virksomhed, der fanger tang med garn, skal opfylde lovgivningen for erhvervsfiskeri.

Langt de fleste firmaer høster til human konsum og af disse er flere økologisk certificerede. Hvis en fødevarer virksomhed ønsker at indsamle tang i naturen, er det primærproduktion, og virksomheden skal registreres hos Fødevarestyrelsen og i øvrigt overholde reglerne for hygiejne, kemiske forureninger, mærkning og fødevarer kontaktmaterialer. Virksomheden har ansvar for, at det indsamlede tang ikke udgør en fare for fødevarer sikkerheden. Virksomheden skal vurdere risici ved den tang, som den vil markedsføre. Virksomheden bør f.eks. vurdere:

- Er tangen høstet i rent vand (mikrobiologi og kemi)?
- Er det en tangart, der er egnet til konsum?
- Er der indhold af uorganisk arsen, jod, cadmium, kainsyre og eventuelle andre uhen-sigtsmæssige indholdsstoffer i tangen?

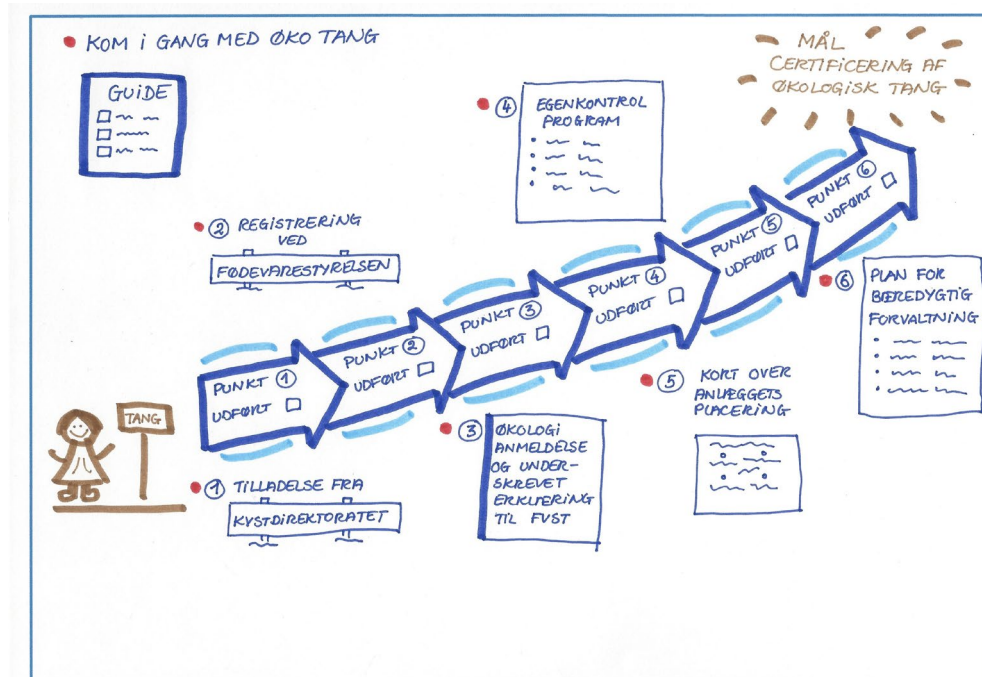
Tangen må ikke være sundhedsskadelig eller uegnet til menneskeføde. Derfor skal virksomheden vurdere risiciene, eventuelt med hjælp fra konsulenter eller videnskabelige institutioner.

I nogle tilfælde skal virksomheden være opmærksom på, at der kan være tale om nye fødevarer (Novel Food), som kræver en sikkerhedsvurdering og godkendelse i EU inden markedsføring. Det kan være aktuelt, hvis det er tangarter, som man ikke har tradition for at spise i Nordeuropa

Der er desuden særlige krav til økologisk tang. Når en virksomhed indsamler vildtvoksende tang, og tangen skal markedsføres som økologisk, skal virksomhedens aktivitet anmeldes til og økologikontrolleres af Fødevarestyrelsens Team Akvakultur, Vejle. I forbindelse med økologianmeldelsen hos Fødevarestyrelsen udarbejdes en plan for bæredygtig forvaltning og en beskrivelse af et egenkontrol-program. Planen for bæredygtig forvaltning og egenkontrol-programmet er op til virksomheden selv at udarbejde, men følges op med årlige kontrolbesøg fra Fødevarestyrelsen. Fødevarestyrelsen kan desuden foretage stikprøve-kontrol af f.eks. kemiske stoffer i tangen hos virksomhederne.

For at høste økologisk certificeret tang, er det derudover et krav, at det høstes i et afgrænset, afmærket område. Dermed bliver der tale om et tang-anlæg (hvor tangen ikke dyrkes, men høstes vildt), hvilket kræver tilladelse fra Kystdirektoratet. Ansøgningen kan laves elektronisk på kystdirektoratets hjemmeside og omfatter bl.a. oplysninger om anlæggets placering og beskrivelse af dets aktiviteter. I ansøgningsfasen indgår en høringsfase, hvor bl.a. Miljøstyrelsen er høringspart.

En samlet guide til certificering af økologisk tang er tidligere udarbejdet af Fødevarerådgivning Comida i forbindelse med et andet projekt (Tang.nu, The Velux Foundations contract #13744) og kan findes her: <https://comida.dk/nyheder/guide-til-okologisk-tang/>. Guiden giver et overblik over ansøgningsprocessen, herunder hvilke papirer virksomheden skal udfylde, hvilke myndigheder, de skal kontakte og hvad, der er smartest at starte med. Processen er skitseret i figur 4.1.



Figur 4.1. Uddrag fra guide til opnåelse af certificering af økologisk tang udarbejdet af Comida Fødevarerådgivning (Comida 2021).

4.2 Forvaltning af vilde tangressourcer

Høst af vilde tangbestande, er i Danmark fortsat en niche-branche, men i mange andre lande, både indenfor og udenfor Europa, er det mere udbredt og som naturlig følge heraf findes der flere tiltag for regulering og forvaltning.

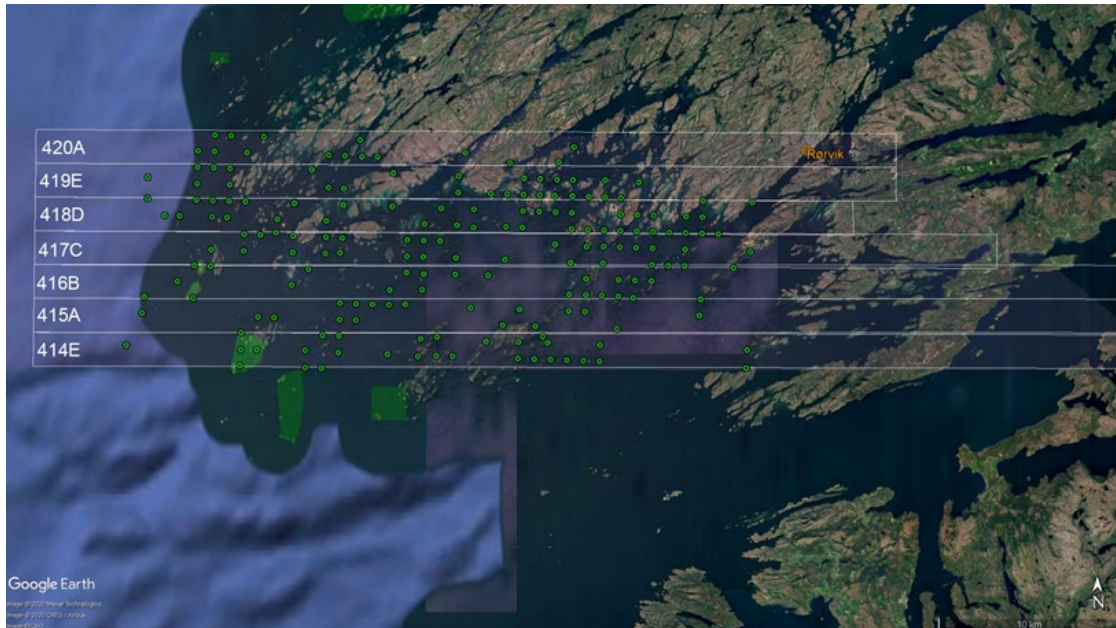
4.2.1 Regulering i andre lande

I Bretagne i Frankrig f.eks. findes en stor etableret industri, som foruden en flåde med slæbende høstredskaber også består af firmaer som ansætter professionelle eller amatører til tanghøst langs kysten i deltidsstillinger på baggrund af en kontrakt eller certifikat som beskriver hvem det indsamlede tang sælges til, hvilke arter, høstmængder, lokalitet samt hvor der blev høstet året forinden (Netalgae projekt). Dette formidles via en lokal tang-komité til en regional tang-kommission som agerer efter regler håndhævet af administration i departementet. Selve høstaktiviteten er reguleret ud fra artsspecifikke forhold, således at nogle arter kan høstet lige over fasthæftelsesorgan for at sikre genvækst, mens andre arter, kun må høstes ned til en bestemt højde i en afgrænset høstsæson.

I Skotland (under Crown Estate) er tangfiskeri et licensfiskeri og fiskerne får tilladelse til at høste under en nominel (ikke-empirisk demonstreret) MSY-grænse. Dette var tidligere under kritik for at være en statisk måde at regulere høstmængde på, da reguleringen ikke tog højde for de eksterne presfaktorer som negativt kan påvirke den stående biomasse forskelligt fra år til år i et licens-område og ikke fodrer en dynamisk eller adaptiv høstaktivitet som vil kunne beskytte en lokal bestand og ud fra en bestemmelse af den økologiske funktion i en periode med lav stående biomasse.

I Norge udnyttes der kommercielt årligt over 200.000 tons friskvægt tangbiomasse som produceres langs den norske kyst ved brug af slæbende trawlredskaber med høst af hovedsageligt bladtang-arten *Laminaria hyperborea* og fucus-arten *Ascophylum nodosum*, Fiskeridirektoratet forvalter tang-fiskeriet ud fra faglige undersøgelser lavet af Havforskningsinstituttet. Hele den norske kyst er opdelt i mere end 500 høstområder, hvortil hvert område igen er opdelt i fem felter. Med baggrund i dataindsamling (figur 4.2) og modelberegninger for biomasse, hydrologiske forhold og bundforhold vurderes det, at en 5 års braklægningsperiode kan sikre, at hvert høstfelt reetablerer sin bestand af *L. hyperborea* og at den økologiske funktion gendannes, før feltet må høstes igen (Steen 2019, 2021; Steen et al., 2020).

I Maine, USA har de retningslinjer for høst af blæretang, hvor de anbefaler manuel høst ved lavvande minimum 15 cm fra plantens fasthæftelsesorgan, for på den måde at lade en væsentlig del af planten tilbage, hvorfra ny vækst kan ske, på samme måde som vi så for TIPS-høstede planter i dette studie. Derudover har de retningslinjer for maksimum-størrelse på høstområder (15 m i diameter), afstand mellem høst-områder (15 m) og anbefalinger omkring hvor meget af den totale biomasse, der høstes (50%) (Côté-Laurin et al. 2016).



Figur 4.2. Eksempel på høstområde langs den norske kyst med syv felter til tanghøst. Grønne prikker viser stationer hvor Havforskningsinstituttet har indsamlet data til brug i biomassemodellering. Grønne felter viser fuglereservater hvor tanghøst er strengt forbudt. <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2021-46>.

4.2.2 Anbefalinger til danske forvaltningstiltag

Med den stigende interesse for anvendelse af tang samt den stigende mængde publicerede viden om positive effekter tang kan have i fødevarer og dyrefoder, er det et realistisk scenarie, at en større mængde biomasse vil efterspørges af danske virksomheder i fremtiden. Derfor, kan man, på trods af den relativt niche-prægede identitet branchen har i dag, fremadrettet forvente et øget pres på de kystnære danske tangressourcer. Foruden danske virksomheder, er der tillige kendskab til tilfælde, hvor udenlandske firmaer høster på danske tang-bestande, og derved uundgåeligt ligger yderligere tryk på den vilde danske tang-ressource.

I det følgende skitserer vi en række anbefalinger til fremtidig høst af vild tang i danske farvande. Vi har vi valgt udelukkende at tage udgangspunkt i blæretang, da det har været den primære fokus-art for dette studie og desuden vurderes blæretang at være den primært høstede art i danske farvande.

Med de nuværende regler for kommerciel høst, kan det være svært at danne sig et overblik over omfanget for myndighederne, da der for nuværende kun indberettes økologisk høstet tang. **Derfor vil en umiddelbar klar anbefaling være, at der implementeres en indberetningspligt for kommerciel høst**, hvor virksomheder som minimum indberetter oplysninger om mængder, tidspunkt, lokalitet og høst-metode, så man på den baggrund kan skabe sig et retvisende overblik over omfanget af høst-aktiviteter.

Derudover bør der opstilles en række anbefalinger til høst-praksissen, der tager højde for såvel den anvendte høstintensitet, den samlede bestands størrelse, det høstede areals størrelse og frekvensen af høst i samme område med henblik på at sikre en tilstrækkelig tilbageværende reproduktive kapacitet, der kan understøtte bestandens bæredygtighed efter en høst-situation. På

denne baggrund anbefaler vi opmærksomhed indenfor følgende fokusområder, med en understregning af at dette er baseret på studier i områder med tætte og sunde bestande og således potentielt bør være mere restriktive i områder, hvor dette ikke er gældende:

- **Høstmetode:** **det anbefales at anvende en skånsom høst, hvor kun den ydre tredjedel af planterne beskæres ved høst**, da det sikrer bestandens udvikling på lang sigt bedst muligt. Ved denne høst-metode efterlades dels flere vævssektioner, hvorfra ny skuddannelse kan ske og dels efterlades en del af den oprindelige plante intakt således reproduktive organer kan dannes hurtigere end hvis planten blev klippet længere ned og nye skud først skulle dannes før de reproduktive organer kunne dannes. En alternativ skånsom høst kan også være udtynding, hvor f.eks. kun hvert tredje individ i et område høstes.
- **Størrelse af høst-områder og afstand til urørte bede:** Da genvæksten i en høstet blæretang-bestand i høj grad viste sig båret af ny rekruttering fra området udenfor høstområdet, **anbefales det, at størrelsen af de enkelte høstområder ikke overskrider 20-30 m i diameter samt at der opretholdes en tilsvarende maksimal afstand mellem de enkelte høstede områder**. På den måde vurderes de bedst mulige forhold for den naturlige rekruttering ind i de høstede områder.
- **Høst-frekvens:** I forhold til stående biomasse, kan et område genhøstes efter 2 vækstsæsoner, men ift. Hvornår bestanden har opnået fuld reproduktiv kapacitet, er der indikationer i dette studie på at dette tager længere tid og desuden afhænger af høstmetode. **Af forsigtighedsgrunde, anbefaler vi således at der tidligst genhøstes efter 3 år og optimalt først efter 5 år for at tage forbehold for periodiske dårlige vækst-år og andre naturlige påvirkninger, som kan sætte bestanden tilbage, f.eks. is-skuringer og ekstreme storm-påvirkninger som det blev set i dette studie.** Jo længere braklægningsperiode, des større sandsynlighed er der desuden for at blæretang som habitat vil gendanne sin fulde økosystem-dynamik.
- **Høst-områder:** **Vi anbefaler at man udelukkende foretager kommerciel høst i tætte og sunde bestande af en vis størrelse**, således bestanden har en høj stabilitet og god modstandskraft til at komme sig efter høst. Desuden bør man overveje, hvorvidt høst skal tillades i områder med særlig beskyttelses-status f.eks. Natura 2000 områder eller områder, der med den nye biodiversitetspakke udpeges som beskyttet eller strengt beskyttet natur.
- **Høst-tidspunkt:** **Baseret på dette studie kan vi anbefale høst i perioden marts til maj inden eller tidligt i den primære vækstsæson og inden den primære fertile periode indtræder i det sene forår og sommermånederne**. Ved høst sent i den primære vækstsæson (efteråret) er der risiko for forringet genvækstrespons (Levinsen et al. *In prep.*). Yderligere undersøgelser bør dog udføres for at få det fulde billede heraf. Indtil da er anbefalingerne baseret på et forsigtighedsprincip.

4.3 Manglende viden

Med dette og få andre mindre danske studier (Mikkelsen 2019, Levinsen et al. *In prep.*), er der skabt viden om effekterne af høst af vild tang (blæretang) på bestandene selv. Således ved vi

nu, hvor hurtigt et veletableret blæretangs-bed gendanner biomasse efter høst og hvilke høst-metoder der bør anvendes. Men der er fortsat ingen danske studier, der har kigget på potentielle effekter af kommerciel tanghøst i større skala hvor tangens habitat-funktion inddrages, hvilket ikke er uvæsentligt i betragtning af tangs (makroalgers) rolle som biologisk kvalitetselement. I tilfælde af høst på større skala mangler der desuden mere tilbunds-gående viden om sprednings- og rekrutteringsmekanismer, herunder konnektivitets-studier på bestandsniveau.

Udnyttelse af vilde blæretangs-bestande har en umiddelbar effekt på økosystemet, dels ved forstyrrelser fra høstaktiviteten, og dels via den langsigtede effekt, hvor den stående biomasse i økosystemet reduceres. Fra studier på andre tang-arter ("kelp") ved man, at høstaktiviteter har konsekvenser for bestandsstrukturen, habitatdynamikken og dermed den bredere funktion af det marine økosystem (Smale et al, 2013). Bestandsdynamikken i et blæretangsbed påvirkes naturligt af det naturlige slid på individer (f.eks. via isskuring) således et bed typisk består af individer med forskellige aldre og størrelse. I et høstet bed derimod vil bestanden overvejende bestå af en mere homogen og ung vegetation og for nu findes der ingen studier der beskriver betydningen heraf for f.eks. den tilknyttede biota, områdets næringsdynamik eller bedenes fysiske funktion som f.eks. bølgedæmpning. Fremtidige studier bør derfor tage dette i betragtning.

Referencer

- Al-Janabi, B. The adaptive potential of early life-stage *Fucus vesiculosus* under multifactorial environmental change. *Fac. Math. Nat. Sci.* (2016).
- Carlson, L. Seasonal Variation in Growth, Reproduction and Nitrogen Content of *Fucus vesiculosus* L. in the Oresund Southern Sweden. *Bot. Mar.* 34, 447–454 (1991).
- Comida (2021). <https://comida.dk/nyheder/guide-til-okologisk-tang/>. Tilgængelig 19-01-2023.
- Côté-Laurin, M.-C., Berger, K. & Tamingneaux, E. Guide to commercial harvesting of Quebec seaweed. Merinov, 89 pages. (2016).
- EU (2002) EU directive 2002/32/EC of the European Parliament and of the Council of 7 May 2002 on undesirable substances in animal feed. Amended by: Commission Regulation (EU) No 574/2011 of 16 June 2011.
- Hatchett W, Coyer JA, Sjøtun K, Jueterbock A, Hoarau G (2022) A review of reproduction in the seaweed genus *Fucus* (Ochrophyta, Fucales): Background for renewed consideration as a model organism. *Front. Mar. Sci.*, 16 November. Sec. Marine Evolutionary Biology, Biogeography and Species Diversity Volume 9 – 2022.
- Knight, B. M., Se, D. & Parke, M. a Biological Study of *F. vesiculosus* and *F. serratus*. 29, (1950).
- Levinsen JUG, Bruhn A, Rasmussen MB, Nielsen MN, Schmedes P m fl. (in prep.). Sustainable harvest of *Fucus* – non-destructive biomass estimation and re-growth following harvest methods.
- Mikkelsen S.E. (2019). Developing sustainable strategies for cultivation & harvest of *Fucus vesiculosus*. Master thesis, Aarhus University, Department of Bioscience.
- Milledge, J. J., Nielsen, B. V., Bailey, D. (2016). High-value products from macroalgae: the potential uses of the invasive brown seaweed, *Sargassum muticum*. *Rev Environ Sci Biotechnol* 15: 67-88
- Nielsen MO, Rasmussen MD og Chassé E. 2022. Vurdering af om en given maksimal grænse for total indhold af jod i foderrationen vil opfylde drøvtyggers behov for jod. Antal sider 9. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 29.04.2022.
- Nielsen, P., Olsen, J., Geitner, K., & Nielsen, M.M. (2020). Konsekvensvurdering af fiskeri af blåmuslinger, europæisk østers, stillehavsøsters og søstjerner i Løgstør Bredning 2020/2021. DTU Aqua. DTU Aqua-rapport No. 374-2020

Smale, D.A., Burrows, M.T., Moore, P., O'Connor, N. and Hawkins, S.J., 2013. Threats and knowledge gaps for ecosystem services provided by kelp forests: a northeast Atlantic perspective. *Ecology and Evolution*, 3(11): 4016-4038.

Stæhr, P. A., Pedersen, M. F., Thomsen, M. S., Wernberg, T., & Krause-Jensen, D. (2000). Invasion of *Sargassum muticum* in Limfjorden (Denmark) and its possible impact on the indigenous macroalgal community. *Marine Ecology Progress Series*, 207, 79-88.

Stæhr, P. A., Nielsen, M. M., Göke, C., & Petersen, J. K. (2019). Andre presfaktorer end næringsstoffer og klimaforandringer – effekter af sargassotang på den øvrige marine vegetation. DTU Aqua. DTU Aqua-rapport No. 353-2019

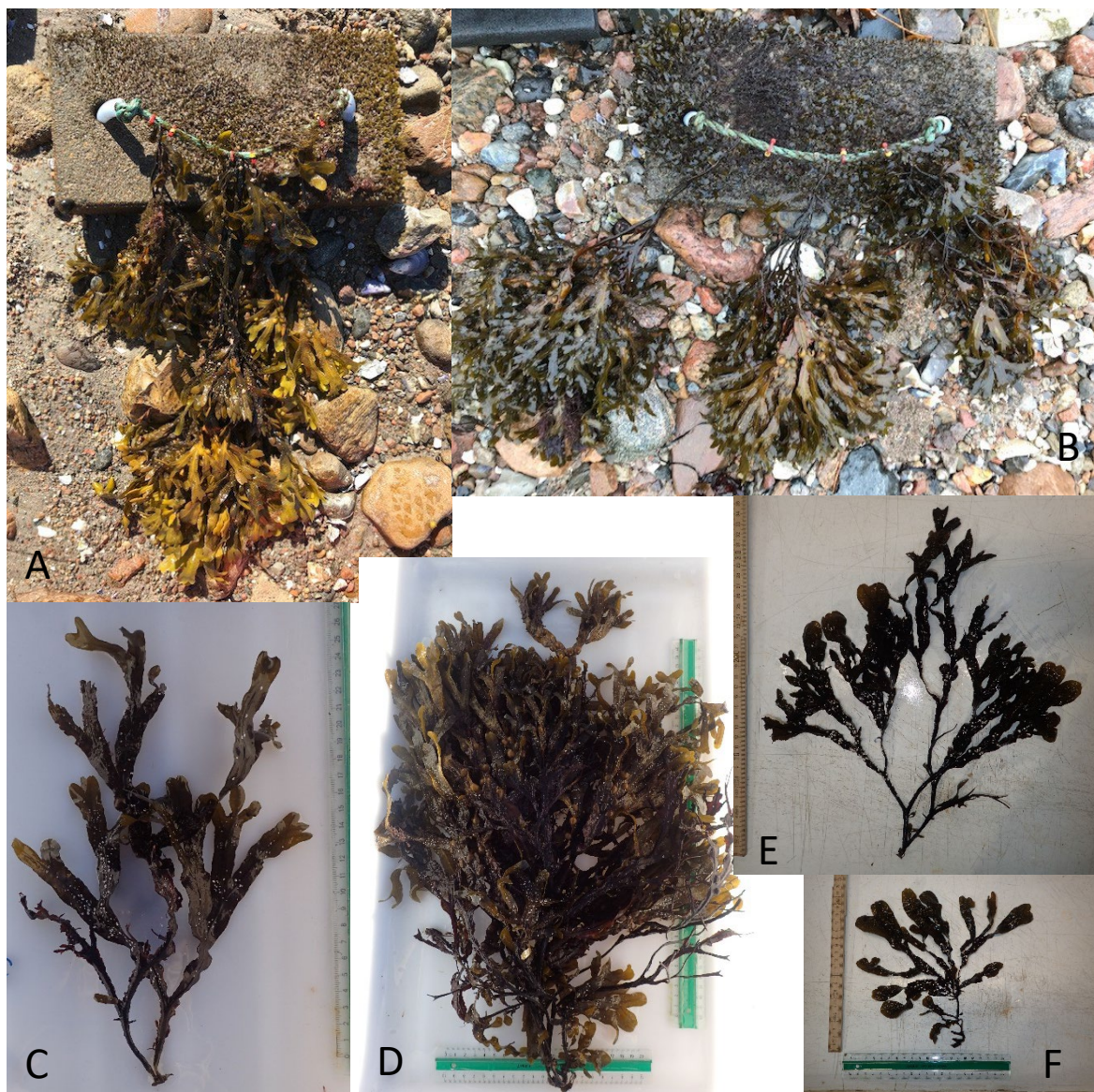
Steen H. 2019. Tilstandsvurdering av C-felt for tarehøsting i Rogaland og Sogn og Fjordane i 2019. Rapport fra Havforskningen Nr. 32-2019.

Steen H, Norderhaug KM, Moy F. 2020 Tareundersøkelser i Nordland i 2019. Rapport fra havforskningen 2020-9

Steen H. 2021. Tilstandsvurdering av høstefelt for stortare i Rogaland og Vestland i 2021. Rapport fra havforskningen 2021-34

Van Alstyne (1989) Adventitious branching as a herbivore-induced defense in the intertidal brown alga *Fucus distichus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 56: 169-176.

Bilag A. Billedeksempler - Knebel Vig



Figur A.1. Eksempler på udvikling i kontrolplanter på lokaliteten Knebel Vig for d. 14. august 2020 (A), d. 13. november 2020 (B), d. 28. september 2021 (C-D), og 23. marts 2022 (E-F).



Figur A.2. Eksempler på TIPS-høstede blæretang på lokaliteten Knebel Vig den 14. august 2020 (A), d. 22. marts 2021 (B) og d. 23. marts 2022 (C-D).



Figur A.3. Eksempler på FULL-høstede planter på lokaliteten Knebel Vig d. 20. august 2020 (A), d. 13. november 2020 (B), d. 28. september 2021 (C-D).

Bilag B. Billedeksempler - Isefjorden



Figur B.1. Kontrolplanter på lokaliteten Isefjorden d. 21. september seks måneder efter påbegyndelse af feltstudiet. Det ses at kontrolplanterne på denne lokalitet har udviklet skudvækster i bladspidserne.



Figur B.2. TIPS-høstede blæretang på lokaliteten Isefjorden d. 21. september 2021 seks måneder efter påbegyndelse af feltstudiet. Der er små skudvækster i beskæringsfladen på en mindre andel af individerne. Det generelle indtryk at individerne er at deres stængler og klippede blade er mørke, nærmest sorte og begroning med epifytter. Enkelte individer i denne høstbehandlingsgruppe viste sig at have enkelte skudspidser som ikke var blevet beskåret ved starttidspunktet og disse individer blev vurderet til at være mindre påvirket af begroning og sorte plamager.



Figur B.3. Fuldhøstede planter på lokaliteten Isefjorden d. 21. september 2021 seks måneder efter påbegyndelse af feltstudiet. Billederne som viser et synligt genvækst-respons især fra vævssektionen "disc" men også fra stænglerne på de fuldhøstede individer.

