

# Morfologiske relasjonar til dyrka Saccharina latissima ved tre stasjonar langs Norskekysten

**Solveig Foldal**

Marine Coastal Development

Innlevert: mai 2018

Hovudrettleiar: Yngvar Olsen, IBI

Medveileidar: Silje Forbord, NTNU, Sintef  
Ole Jacob Broch, Sintef Ocean AS

Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet  
Institutt for biologi



## SAMANDRAG

Makroalgar har i tusenvis av år blitt brukt til mat og andre føremål over heile verda, og land som Kina, Korea og Japan har ein lang tradisjon for kultivering av tare. I Europa derimot er taren hovudsakleg hausta frå ville bestandar og blir primært brukt til kommersiell produksjon av tilsetningsstoff (til dømes alginat). Noreg er godt eigna til biomasseproduksjon med ei lang og næringsrik kystlinje, og har fleire naturleg voksende makroalgar med anerkjent kommersiell verdi. Makroalgar er veldig fleksible og har evne til å rekonfigurere thalli ved å modifisere både storleik og form. Fleire faktorar har vist seg å spele inn på morfologien, blant anna hydrodynamiske krefter, tilgang på næringsstoff, lys og temperaturar. Ei aukande utvikling av tare dyrking på kommersiell skala har resultert i eit aukande behov for forskning på forbetring av tareutbytte og kvalitet. Estimering av biomasse blir gjort av økologar, botanikarar og haustarar for fleire grunnar, som evaluering av avlingsverdien, produktiviteten til ein lokalitet og næringsresirkulering, men dei fleste av målingsmetodane er destruktive.

Studien var ein del av F&U-prosjektet MACROSEA leda av SINTEF Ocean AS. Målet med studien var å studere ulike morfologiske eigenskapar ved dyrka *Saccharina latissima* algar. Det var sett på korleis dei morfologiske eigenskapane føreheld seg til kvarandre og til haustbar biomasse. Innsamling av algar vart gjort på tre stasjonar langs Norskekysten med plassering i Vest-Noreg, i Midt-Noreg og i Nord-Noreg frå april-juni, og det blei samla inn algar frå både 2 m og 6 m djup.

Relasjonen mellom dei morfologiske variablane lengde, bredde, areal og tørrvekt var tilsynelatande hovudsakleg bestemt av storleiken til taren og i mindre grad påverka av forskjellane mellom stasjonane og djupa. Det vart funne ein positiv relasjon med høg statistisk signifikans mellom biomasse og dei biometriske variablane lengde, bredde, areal ( $0,698 < R^2 < 0,933$ ). Areal hadde den sterkaste korrelasjonen, men alle relasjonane kan bli brukt med stor sikkerheit, til dømes som tilstandsvariabel for biomasse i modellar. Relasjonen mellom tørrvekt og våtvekt var høgt statistisk signifikant ( $P = 0,989$ ), og gir ein enkel omrekningsfaktor mellom våtvekt og tørrvekt. Ein formel for bladarealareal til *S. latissima* ved bruk av lengde og breidde målingar blei presentert. Ettersom taren vart større vart det observert større forskjellar i form og morfologiske karaktertrekk, der taren gjekk frå å ha eit smalt og avlangt blad til å allokere meir vekst i bredda i juni som førte til store variasjonar i bredde gjennom bladet.

## SUMMARY

Macroalgae have been used for food and other objects throughout the world for thousands of years, and countries such as China, Korea and Japan have a long tradition of cultivation of kelp. In Europe, on the other hand, the kelp is mainly harvested from wild stock, and kelp is primarily used for commercial production of additives (ie. alginate). Norway is well suited for biomass production with a long and nutritious coastline, and has several naturally growing macroalgae with recognized commercial value. Macroalgae are very flexible and have the ability to reconfigure thalli by modifying both size and shape. Multiple factors have been shown to affect morphology, among other hydrodynamic forces, nutrient access, light, and temperatures. An increasing development of commercial kelp cultivation has resulted in an increasing need for research on improvement of kelp yield and quality. Estimates of biomass are made by ecologists, botanists and harvesters for several reasons, such as evaluation of crop value, site productivity, and nutrient recycling, but most of the measurement methods are destructive to the kelp.

The study was part of the R&D project MACROSEA led by SINTEF Ocean AS. The aim of the study was to study different morphological characteristics of the *Saccharina latissima* algae. The relation between the morphological characteristics and biomass were investigated. The collection of algae was done from April to June at three stations along the Norwegian coast, located in western Norway, in mid Norway and in northern Norway, and algae was collected from both 2 m and 6 m depth.

The relationship between the morphological variables, length, width, area, and dry weight were apparently predominantly determined by the size of the kelp and, to a lesser extent, influenced by differences between stations and depth. There was a positive relationship with high statistical significance between biomass and the biometric variables length, width and area ( $0.698 < R^2 < 0.933$ ). Area had the strongest correlation, but all relations can be used with great certainty, for example as a state variable for biomass in models. The relationship between dry weight and wet weight was highly statistically significant ( $P = 0.989$ ), giving a simple conversion factor between wet weight and dry weight. One formula for blade area of *S. latissima* only using length and width measurements was presented. As the kelp became larger there were observed more differences in shape and morphological traits, where the kelp went from having a narrow and elongated lamina to allocate more growth in the width in June, which gave wide differences in width through the blade.

## FORORD

Masteroppgåva vart skriven ved Institutt for Biologi ved NTNU i Trondheim, og var ein del av SINTEF Ocean AS sitt F&U-prosjektet MACROSEA finansiert av Forskningsrådet. Feltarbeidet vart utført ved Seaweed Energy Solutions på Frøya, på Austevoll Seaweed Farm og hos Akvaplan-niva i Tromsø.

Ein stor takk til med-rettlear Ole Jacob Broch frå SINTEF for mange gode idear gjennom heile prosessen, og som vore til stor hjelp med å både komme med gode forslag og også har hjelpt til å lage fleire av resultata. Vil også takke hovud-rettlear professor Yngvar Olsen for god hjelp gjennom skriveprosessen, og med-rettlear ph.d. student Silje Forbord for planlegging og utføring av feltarbeidet.

Takk til ph.d. student Sanna Matsson frå Akvaplan-niva for å utføre feltarbeidet til morfologistudiet i Tromsø, og til masterstudent Guri Ellila Brodahl for godt samarbeid under feltarbeidet og i ettertid, og også til alle andre masterstudentar på Sealab. Vil også takke alle industripartnerane og resten av MACROSEA-teamet for god planlegging og gjennomføring av prosjektet. Til slutt vil eg takke kjærasten min Øystein Smith for god støtte og som alltid hjelper til når det trengs.

Trondheim, Mai 2018

Solveig Foldal





# INNHOOLD

Samandrag .....	i
Summary .....	ii
Forord .....	iii
Innhold .....	v
Figurar .....	viii
<b>TABELLAR</b> .....	x
Forkortelsar: .....	xi
1 Introduksjon .....	1
1.1 Dyrking av makroalgar .....	1
1.1.1 Dyrking av makroalgar i verda .....	1
1.1.2 Dyrking av tare i Noreg .....	1
1.2 Bruksområde for makroalgar .....	2
1.3 Forsøksorganismen <i>Saccharina latissima</i> .....	3
1.4 Taredyrking treng meir forskning .....	4
1.5 Morfologiske variasjonar til makroalgar .....	4
1.6 Estimering av biomasse .....	5
1.7 F&U-prosjektet MACROSEA .....	6
1.8 Målet med studiet .....	7
2 Materiale og metode .....	9
2.1 Forsøksoppsett til MACROSEA .....	9
2.2 Eksperimentell utføring av morfologistudiet .....	11
2.3 Analytiske metodar .....	14
3.4 Allometriske relasjonar .....	15
2.5 Formlar for vekstrate .....	15
2.6 Vatninnhald .....	16

2.7 Formel for estimering av areal ut i frå lengde og bredde .....	16
2.6 Estimering av biomasse .....	17
2.7 Statistiske analysar .....	17
3 Resultat .....	19
3.1 Temperatur og lysintensitet .....	19
3.2 Kvalitative skildningar i morfologi.....	20
3.3 Begroing .....	21
3.2 Lengde .....	24
3.2. Breidde .....	26
3.4 Areal .....	28
3.5 Tjukkleik.....	30
3.6 Tørrvekt .....	30
3.7 Tettleik.....	32
3.8 Vatninnhald .....	33
3.9 Karbon- og nitrogeninnhald .....	34
3.11 Morfologiske relasjonar.....	36
3.11.1 Våtvekt mot tørrvekt .....	36
3.11.7 Lengde mot breidde .....	37
3.11.2 Areal mot lengde .....	37
3.11.4 Areal mot breidde.....	38
3.11.5 Lengde mot tørrvekt.....	39
3.11.6 Breidde mot tørrvekt .....	39
3.11.7 Areal mot tørrvekt.....	40
3.11.8 Geometriske likningar.....	41
3.12 Tørrvekt per areal .....	42
3.13 Vekst.....	42
3.13.1 Biomasse .....	42



3.3.2 Estimering av koeffisient til likning (8) .....	43
3.3.3 Vekst per dag .....	44
4 Diskusjon.....	47
4.1 Påverknaden av abiotiske faktorar og begroing på morfologien langs ein nord-sør gradient .....	47
4.2 Forholdet mellom våtvekt og tørrvekt .....	48
4.3 morfologiske relasjonar og tilknytning til biomasse .....	49
4.3 Formel for areal .....	52
4.4 Taren si utvikling i morfologi og skilnadar mellom stasjonar, djup og storleiken til taren .....	53
4.5 Vidare anbefalingar .....	57
5 Konklusjon .....	59
6 Kjelder .....	61
Vedlegg A – P-verdiar .....	69
Vedlegg B – k-verdiar i formel for areal.....	73
Vedlegg C – Data til lengde, bredde, areal, tjukkeleik og tørrvekt.....	75
Vedlegg C – Relativ vekst per dag .....	81
Vedlegg D – Python-kode til estimering av projisert areal til lamina.....	83

## FIGURAR

Figur 1 Eksemplar av <i>S. latissima</i> .....	3
Figur 2 Kart over alle stasjonane til måleprogrammet MACROSEA.....	10
Figur 3 Oversikt over forsøksoppsettet .....	10
Figur 4 Kart over stasjonane ASF, SES og APN. ....	11
Figur 5 Geografisk plassering av stasjonane.....	12
Figur 6 Illustrasjon av målepunktet for tjukkeleik.....	13
Figur 7 Oppsett for fotografering av algane .....	13
Figur 8 Illustrasjon av dei morfologiske målingane.....	14
Figur 9 Illustrasjon av estimering av arealet til <i>S. latissima</i> .....	16
Figur 10 Temperaturutvikling frå mars til august 2017 .....	19
Figur 11 Lysintensitet i PAR (mol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ).....	20
Figur 12 Eksemplar av tare frå ASF (a), SES (b) og APN (c) i juni.....	21
Figur 13 Ingen/lite begroing på taren hos ASF (a) eller hos SES (b) i april. ....	22
Figur 14 Begroing på taren hos ASF i mai.....	22
Figur 15 Total begroing av lamina i juni hos ASF.....	23
Figur 16 a) Gjennomsnittleg lengde på lamina (cm ±SE) til <i>S. latissima</i> frå april til mai til ved tre stasjonar på to ulike djup. Data for APN april manglar. b) Lengde med logaritmisk y-akse der kvar verdi er logaritmen til verdien delt på startverdien til stasjonen.....	25
Figur 17 a) Gjennomsnittleg største breidde (cm ± SE) til lamina til <i>S. latissima</i> ved tre stasjonar frå april til juni på to ulike djup. b) Breidde med logaritmisk y-akse der kvar verdi er logaritmen til verdien delt på startverdien til stasjonen.....	27
Figur 18 a) Gjennomsnittleg areal (cm <sup>2</sup> ± SE) til <i>S. latissima</i> frå april til juni ved tre stasjonar og to djup. b) Areal med logaritmisk y-akse der kvar verdi er logaritmen til verdien delt på startverdien til stasjonen. ....	29
Figur 19 Gjennomsnittleg tjukkeleik (mm ± SE) i midten på det breiaste punktet til lamina til <i>S. latissima</i> til tre stasjonar frå april til juni på 2 m og 6 m. ....	30

Figur 20 a) Gjennomsnittleg tørrvekt ( $g \pm SE$ ) til <i>S. latissima</i> frå april til juni på tre stasjonar og to djup (a). b) Tørrvekt med logaritmisk y-akse der kvar verdi er logaritmen til verdien delt på startverdien til stasjonen. ....	31
Figur 21 Gjennomsnittleg antal algar ( $\pm SE$ ) av <i>S. latissima</i> per 20 cm tau (N=5) til tre stasjonar frå april til juni på 2 m og 6 m djup. ....	32
Figur 22 Antal algar over 5 cm per 20 cm tau .....	33
Figur 23 Gjennomsnittleg innhald av vatn (%) .....	34
Figur 24 Nitrogen (% N i tørrstoff) til SES, APN og ASF .....	35
Figur 25 Innhald av karbon (% C i tørrstoff) i taren til SES, APN og ASF .....	35
Figur 26 Forholdet mellom våtvekt (g) mot tørrvekt (g) .....	36
Figur 27 Forholdet mellom lengde (cm) og breidde (cm).....	37
Figur 28 Forholdet mellom lengde (cm) og areal (cm <sup>2</sup> ).....	38
Figur 29 Forholdet mellom areal (cm <sup>2</sup> ) og breidde (cm) .....	38
Figur 30 Forholdet mellom lengde (cm) og tørrvekt (g) .....	39
Figur 31 Forholdet mellom breidde (cm) mot tørrvekt (g) .....	40
Figur 32 Forholdet mellom areal (cm <sup>2</sup> ) og tørrvekt (g) .....	40
Figur 33 Gjennomsnittleg tørrvekt per areal med konfidensintervall (SE).....	42
Figur 34 Estimert tørrvekt (g) (a) og våtvekt (g) (b) per meter tau.....	43
Figur 35 Direkte målt våtvekt per meter vertikalt tau.....	43
Figur 36 Gjennomsnittsverdi for k med konfidensintervall .....	44
Figur 37 Gjennomsnittlig relativ vekst per dag.....	45
Figur 38 Døme på tare som har blitt utsatt for slitasje av fragmentering av tuppane .....	52
Figur 39 Eksempel på tare med høg k-verdi .....	56
Figur 40 Eksempel på tare med låge k-verdiar .....	57
Figur 41 Eksemplar av <i>S. latissima</i> hos ASF i juni.....	57

## TABELLAR

Tabell 1 Koordinatar til stasjonane ASF, SES og APN .....	11
Tabell 2 Datoar og vekenummer for feltarbeid for stasjonane APN, SES og ASF.....	12
Tabell 3 Formlar brukt for vekst per dag og relativ vekstrate .....	15
Tabell 4 Lineære trendlinjer $y = ax + b$ .....	36
Tabell 5 Geometriske trendlinjer $y = ax^b$ .....	41
Tabell 6 Gjennomsnittleg dagleg vekstrate .....	45

## **FORKORTELSAR:**

ASF- Austevoll Seaweed Farm

APN – Akvaplan-Niva

SES – Seaweed Energy Solutions

TV – Tørrvekt

VV – Våtvekt



# 1 INTRODUKSJON

## 1.1 DYRKING AV MAKROALGAR

### 1.1.1 DYRKING AV MAKROALGAR I VERDA

Tang og tare har i tusenvis av år blitt brukt til mat og andre føremål over heile verda. Blant anna har Kina, Korea, og Japan brukt makroalgar som mat i over 2000 år (Tiwari & Troy, 2015). Kina og Indonesia er i dag dei største produsentane av makroalgar og produserte totalt over 23 million tonn biomasse i 2014 (FAO, 2016). Kina produserer hovudsakleg tare til bruk i mat (t.d. *Saccharina japonica* og *Undaria pinnatifida*, FAO, 2016). I Europa derimot blir tare primært brukt til kommersiell produksjon av tilsetningsstoff både i mat og til andre bruksområde (til dømes alginat). Prosesseringsindustrien består av fleire sektorar, som produserer blant anna biopolymerar, kosmetikk og tilsetningsstoff til mat med diverse helsefordelar (Tiwari & Troy, 2015). Taren i Europa er hovudsakleg hausta frå viltvoksande bestandar (Rebours et al., 2014), medan mesteparten av taren i Asia blir kultivert.

Ein interessant og viktig trend i tareindustrien er at det er ein vekst i tare dyrkinga og ein nedgang i hausting av dei naturlege bestandane, noko som er viktig for ei bærekraftig utvikling både med tanke på økologi og økonomi. I 1995 vart 3,9 millionar tonn tare hausta frå naturen, som utgjorde 52% av all nytta tare. I 2012 vart berre 792,283 tonn hausta, noko som utgjorde 4% av all nytta tare (White & Wilson, 2015). Dyrking av makroalgar i havet er ein relativt ung form for akvakultur. På verdensbasis har produksjonen hatt ein sterkt aukande vekst gjennom dei siste 50 åra. Medan tare dyrking ekspanderer raskt i nokre få land, og blir sakte akseptert i andre, er det fortsatt ein lang veg før tare dyrking er ein vanleg praksis i dei omlag 150 landa i verda som har kystområde (Radulovich et al., 2015).

### 1.1.2 DYRKING AV TARE I NOREG

Noreg har ein lang tradisjon for å nytte viltvoksande tare (hovudsakleg *Laminaria hyperborea* og *Ascophyllum nodosum*, Meland & Rebours, 2012). Sjølv om det tidleg var utvikla eit integrert kystforvaltningssystem, viste kartlegging at eit veksande behov for industrien ikkje kunne bli oppfylt ved hausting av ville besandar åleine (Stévant et al., 2017). For å ta seg av denne utfordringa vart utviklinga av akvakultur av tare dyrking nyleg innvia basert på forskning

og pilotprosjekt, og det vart hurtig gitt kommersielle løyve for å kultivere hovudsakleg *Saccharina latissima* langs kysten (Stévant et al., 2017).

Langs Norskekysten veks det naturleg mange ulike tang- og tareartar og fleire har vore nytta som mat i fleire hundre år. Noreg har over 400 artar av brune, raude og grønalgar (Rueness 1998), der mange har anerkjent kommersiell verdi. Med både gode naturgitte og teknologiske føresetningar er det mogleg for Noreg å ha langt større aktivitet enn vi har i dag. Noreg har ei lang og kompleks kystlinje som strekkjer seg over 100 000 km med mange næringsrike og høgproduktive «upwelling»-områder og elveutløp (Aure & Ljøen, 1988). Dette gir mange eigna område til taredyrking og gode føresetningar for biomasseproduksjon av makroalgar. Som verdast nest største eksportør av sjømat og har naturlege fordelar er det mogleg for Noreg å auke sjømatproduksjonen gjennom akvakultur. Taredyrking kan potensielt i samarbeid med lakse- og aureoppdrett avgrense dei negative effektane av utslepp av næringsstoff frå oppdrettsnæringa. Særskilt gjeld det eutrofiering og resulterande økologisk degradering og tap av biomasse. Ved å samordne tareanlegg med fiskeoppdrettsanlegg (IMTA) kan taren bruke om att organiske og uorganiske næringsstoff frå oppdrettsnæringa, der taren kan utnytte og vokse raskare med gjødslinga av næringsalta frå oppdrettsanlegg (Wang et al., 2012). Rapporten «Verdiskapning basert på produktive hav i 2050» estimerer ei seksdobling av den årlege omsetninga i den norske havbruksnæringa innan 2050, som altså vil seie ei auke frå 1,2 milliardar NOK i 2017 til 40 milliardar NOK i 2050 (Olafsen et al., 2012).

Til no er det avgrensa erfaringar knytt til taredyrking i Noreg, men det er tilsynelatande føremålstenleg å sette ut kimplanter av *S. latissima* frå oktober til februar, og hauste inn frå april til juni avhengig av kva biomassen skal brukast til (Skjermo, 2016). Utsett i februar og ei kultiveringperiode på 90-150 dagar vil gi ei periode med hurtig vekst og god tilgang på næringsstoff, etterfylgt av ei periode med lite tilgang på naturlege næringsstoff ( $\text{NO}_3$ ) men der lysnivået er høgare (Broch & Slagstad, 2012).

## **1.2 BRUKSOMRÅDE FOR MAKROALGAR**

Makroalgar produserer ein variert og allsidig biomasse som kan brukast til mange ulike føremål. Dei kan bli brukt i fleire format (til dømes fersk, tørka, pulverisert, salta, hermetisert, som ekstrakt osv.) for direkte human konsumpsjon eller prosessert til tilsetningsstoff, fôr, gjødsel, bioenergi, helsekost, kosmetikk og medisinar (McHugh, 2003; Bixler & Porse, 2011; Anis et al., 2017). Mesteparten (~83%) av taren som vert hausta eller kultivert blir konsumert av



menneske, enten som ei direkte matkjelde, eller som tilsetningsstoff (karragenan, mannitol, alginat, jod o.l., White & Wilson, 2015).

### 1.3 FORSØKSORGANISMEN *SACCHARINA LATISSIMA*

*Saccharina/Laminaria* er ein av dei viktigaste makroalgeslektene av brunalgar (Phaeophyceae) i tempererte til polare steinete kystøkosystem. Sukkertare har ei vid geografisk utbreiing på den nordlege halvkule og finnast hovudsakleg i Stillehavet og Nord-Atlanteren (Tiwari & Troy, 2015), blant anna langs heile Norskekysten (Artsdatabanken, 2006). Sukkertare veks naturleg på fjell, stein og skjell frå lågvatn merket og ned til 30 m djup, og er vanleg frå beskytta til moderat bøljeutsette lokalitetar. Sukkertare blir vanlegvis mellom 2 til 5 år gammal (Artsdatabanken, 2006, Handå et al., 2009). Dei kan dyrkast utan bruk av matjord, ferskvatn, sprøytemiddel og gjødsel, og bidreg med fleire økosystemtenestar som er verdifulle økologisk og økonomisk (Radulovich et al., 2015). Mellom anna bidreg tareskogar til oksygenering og opptak av næringsstoff (Vásquez et al., 2014), redusering av eutrofisering og drivhusgassar (Chung et al., 2011), og økosystemtenestar som mat og habitat og som tilfluktsstad til fleire fiskeartar og invertebratar (Almanza & Buschmann, 2013; Vásquez et al., 2014).

*S. latissima* er ein fleirårig brunalge og optimal temperatur er mellom 10-15°C (Fortes & Lüning, 1980). Veksten varierer gjennom sesongen med ei periode med hurtig vekst frå januar til juni/juli etterfylgt av ei periode med låg vekst frå juli til desember (Lüning, 1979, Bartsch et al., 2008). Sukkertare har ein brunleg farge med eit forgreina hapter, ein rund, glatt og fleksibel stilk frå 5-50 cm lang og 5-8 mm i diameter, og har eit langstrakt og udelt lamina. Bladet blir normalt opptil 10-30 cm breitt og 1-3 m langt, og har ofte ein meir eller mindre bølga rand og eit bulka midtparti (Artsdatabanken, 2006), og variasjonar i forma er vanleg. Eit eksemplar av *S. latissima* er vist i Figur 1. Slekta *Laminaria* har ein stor morfologiske og fysiologisk variasjon, og spørsmålet om ulike morfotypar observert i feltet er like artar eller økotypar har blitt diskutert lenge (Bartsch et al., 2008).



**Figur 1** Eksemplar av *S. latissima*.

#### 1.4 TAREDYRNING TRENG MEIR FORSKING

Det globale behovet for tare veks i lag med aukande bruk av tradisjonelle bruksområde (til dømes hydrokolloidar, Rebours et al, 2014; Hafting et al., 2015), og det er ei aukande interesse for makroalgar til mat og helsekost. Det er likevel fleire grunnleggjande spørsmål ein må få gitt svar på, inkludert påverknadar på sesongs- og geografiske variasjonar på innhald og næringsverdien til makroalgar (Wells et al, 2017). Påverknadane av genetikk og miljø på makroalge biomassar må også bli gjort greie for. Det er også manglande bevis på kor fordøyeleg og biotilgjengeleg det er til fleire «nyttige næringsstoff» i tare til menneskjer eller dyr (Wells et al., 2017). Denne mangelen på informasjon påverkar også grunnleggjande kunnskapar om tare dyrking, som t.d. tidspunkt ein skal hauste, korleis ein skal fjerne vatn, tørke, lagre og prosessere taren (til dømes optimal tørking som i Chan et al., 1997).

#### 1.5 MORFOLOGISKE VARIASJONAR TIL MAKROALGAR

Makroalgar har ei evne til å endre form for å tilpasse seg ulike miljøregime, og fleire faktorar har vist seg å spele inn på morfologien (Hurd et al., 2014). Hydrodynamikk modifierer det fysiske og kjemiske miljøet makroalgar veks i, og makroalgar kan produsere ulike bladformer tilpassa forskjellige straumregime. Morfologien til taren er ein «trade-off» mellom å maksimere overflatearealet som er tilgjengeleg for sollys og næringsopptak, og samstundes minimisere dragkreftene frå bølgiene. Fotosyntese og næringsopptak aukar ofte med aukande havstraumshastigheit opp til ei maksimal rate, ettersom tilgangen på næringsstoff aukar og metabolske avfallsprodukt blir fjerna (Hurd et al., 2014). Mange artar har flate, smale og tjukke blad i habitat eksponert for sterke hydrodynamiske krefter, og har vide, tynne og bølgeforma blad i meir beskytta lokalitetar (Norton et al., 1981, 1982). Når havstraumshastigheita er låg fører bølgeforma kantar langs bladet til rørsler som «ristar av» og tilfører nytt sjøvatn over overflata (Hurd et al., 2014). Store bølger kan påføre betydelege krefter på taren og kan slite på eller skade delar eller heile individet. Makroalgar er veldig fleksible og har evne til å rekonfigurere thalli i forhold til straumen ved å modifisere både storleik og form som dermed reduserer dragkreftene. Dragkreftene på individet blir også redusert ved å vekse tett saman med andre algar (Hurd et al., 2014). Gerard (1987) viste at bulkar i bladet var ein adaptasjon til mekanisk stress påført av miljøet. Ein annan effekt på mekanisk stress på morfologien vart vist av Klinger & De Wreede (1998) i studiar av *Laminaria setchellii*. Algar med lik alder frå eksponerte lokalitetar hadde lengre og tjukkare stilk enn algar frå mindre eksponerte lokalitetar, som var i kontrast til tidlegare studiar frå Canada der stilkene var lengre i beskytta lokalitetar

(Chapman, 1973, Gerard & Mann, 1979). Tidlegare rapportar hadde liknande resultat som viser at fråværet av bølger fører til breie blad i *L. hyperborea* (Kain, 1979).

Påverknaden av temperatur på ulike morfotypar og økotypar er blitt vist i seks ulike artar av *Laminaria* (Okada et al., 1985; Gerard & DuBois, 1987). Generelt var sporofyttar av *L. angustata* var. *longissima*, *L. diabolica*, *L. japonica*, *L. ochotensis* og *L. religiosa* inkubert på høge temperaturar meir runde og tynne enn dei inkubert på lågare temperaturar. Ein klar økotype differensiering av to *L. saccharina* populasjonar var beskriven av Gerard & DuBois (1987) der ein populasjon som var utsatt for over 20°C om sommaren overlevde og voks på laboratoriet over 6 veker med 20°C, medan ein annan populasjon som skjeldan vart utsatt for temperaturar over 17°C døde etter tre veker. Etter temperturtilpassing i laboratoriet beholdt dei to populasjonane dei karakteristiske vekst- og fotosynteseparameterane, som bekrefta at det var ein økotypisk differensiering av stammene. Ein liknande observasjon vart gjort av Lüning & Freshwater (1979) som viste at den glatte forma til *L. saccharina* frå Helgoland tolererte sommarterperaturar over 18°C, medan den bulka forma frå Nova Scotia døde ved temperaturar over 16°C. Gerard (1988) viste at evna *L. saccharina* hadde til å tilpasse seg var relatert til grada av variasjon i solinnstråling i det naturlege habitatet, og minka med aukande djup. Eksemplar av *L. saccharina* hausta frå grunne, djupe eller grumsette habitat lange kysten i Maine hadde store forskjellar i fotosyntetiske parameter sjølv etter akklimatisering i identiske forhold i seks veker etter sampling. Desse variasjonane resulterte i forskjellar i karbonassimilering og vekstratar, og indikerte ein morfologisk økotypedifferensiering (Gerard, 1988).

## 1.6 ESTIMERING AV BIOMASSE

I verda blir det produsert  $30 \times 10^6$  tonn våtvekt tare samanlikna med  $16 \times 10^{11}$  tonn terrestriske avlingar, gras og skogar (Buschmann et al., 2017). Fleire antyder at tare dyrking, som ikkje konkurrerer med avlingar for tilgjengeleg land eller drikkevatt, kan gi ei alternativ kjelde til biomasse for ein bærekraftig produksjon av mat, kjemikaliar og biobrensel (Radulovich et al., 2015; Lehahn et al., 2016; Neori, 2016). Ein aukande global produksjon av makroalgar treng ei forståing av kritiske punkt som kan hemme produksjonen. Det finnst fleire modellar for å estimere biomasse til ulike miljø- og økologiske forhold (blant anna Duarte & Ferreira, 1997; Seip, 1980; Friedlander et al., 1990; Friedlander, 1991). Desse modellane er viktige for utvikling av retningslinjer for den kommersielle tareindustrien, men er basert på hausting av naturlege bestandar. Sidan vilkåra i miljøet er noko ulikt for dyrka enn viltvoksende tare bør nye modellar tilpassast dei nye forholda. Den aukande utviklinga av tare dyrking på kommersiell

skala har resultert i eit aukande behov for forskning på forbetring av tareutbytte og kvalitet. Det finnast fleire formalar brukt til vekstratekalkuleringar. Publiserte figurar for vekstrate til *S. latissima* varierer veldig (Fortes & Lüning, 1980; Bolton & Lüning, 1982; Gerard *et al.*, 1987; Sjøtun 1993; Sjøtun & Gunnarsson 1995; Sanderson 2009).

Estimering av biomasse blir gjort av økologar, botanikarar og haustarar for fleire grunnar, som evaluering av avlingsverdien, produktiviteten til ein lokalitet, og også næringresirkulering. Destruktive målingsmetodar har blitt brukt for å oppnå ein nøyaktig måling av biomasse (Mathieson & Guo 1992; Vadas, Sr et al., 2004). Bruken av ikkje-destruktive målingsmetodar gjer det mogleg å estimere biomasse utan laboratoriarbeid, forenkler dataprosessen og reduserer dei totale bemanningskostnadane. Ein av desse ikkje-destruktive metodane er basert på å tilpasse allometriske likningar for å konvertere forskingsdata til biomasseestimat (Chave et al., 2005; Jonson & Freudenberger 2011; Paul et al., 2013). Allometriske likningar er spesielt nyttige for å evaluere den temporale utviklinga av biomassen, og dermed kunne planlegge hausting av makroalgar basert på biomasseestimat på ei spesifikk tid eller stad. Forhold mellom biologiske variablar er ofte brukt i litteraturen for å standardisere biologiske data. Forholdet mellom tørrvekt og våtvekt er ofte brukt til å estimere det relative vatninnholdet i planta og til å samanlikne med verdiar i andre studiar (som kan vere uttrykt som anten tørr- eller våtvekt). Dette forholdet kan også bli brukt av taredyrkarar. Makroalgar kan ha store morfologiske variasjonar i tallus og ha ulike vekstrater, og sidan forma kan ha stor variasjon er det vanskeleg å lage og evaluere ei allometrisk likning for å estimere til dømes biomasse.

## **1.7 F&U-PROSJEKTET MACROSEA**

Kunnskapsplattforma MACROSEA ledest av SINTEF Ocean AS, og har forskingspartnerar frå Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet NTNU, Universitetet i Bergen, Universitetet i Oslo, UiT Norges Arktiske Universitet, Akvaplan-niva og Norsk Institutt for Vannforskning, i tillegg til partnerar frå Skottland, Danmark, Kina og USA og ei industrigruppe på 10 deltakarar. Prosjektet har fire års varigheit frå 2016-2019 med ei økonomisk ramme på 25 millionar kroner. Målet til MACROSEA er å etablere ein tverrfagleg kunnskapsplattform for industriell dyrking av makroalgar under ei rekkje klimatiske, økologiske og fysiske forhold. Taredyrking er ei næring i vekst som har eit stort potensiale til å bli ein ny norsk industri, men for å lukkast med å industrialisere taredyrking trengs det ei kompetanse- og erfaringsoverføring frå oppdrett og fiskeri, i tillegg til ei høg grad av digitalisering, standardisering og automatisering av land- og

sjøanlegg. MACROSEA er dermed iferd med å kome eit steg nærmare realisering av ein storskala industriell dyrking av makroalgar i Noreg og andre land.

For å sjå på moglege geografiske og sesongmessige skilnadar i vekst, begroing, morfologi og kjemisk innhald i dyrka *Saccharina latissima* langs Norskekysten vart kimplanter satt ut på ni forskjellige stasjonar frå sør (58,1 °N) til nord (69,8 °N) i februar 2017.

## **1.8 MÅLET MED STUDIET**

Målet med studien var å studere ulike morfologiske eigenskapar ved dyrka *S. latissima* algar. Det vart sett på korleis desse eigenskapane føreheld seg til kvarandre og til haustbar biomasse. Delmål har vore å sjå på skilnadar i dei morfologiske eigenskapane mellom ulike vekstdjup, tidspunkt og ulike stadar langs Norskekysten. Dei tre stasjonane som inngjekk i studien var plassert i Vest-Noreg, Midt-Noreg og i Nord-Noreg og innsamling av data var frå april-juni 2017.

Det er interessant å studere morfologien for å forbetre det vitenskaplege grunnlaget for biomasse-estimat basert på ikkje-destruktive samplingsmetodar, som til dømes modellering. Det er også nyttig å sjå på korleis biomasse i ein tare dyrkingsanlegg utviklar seg, og kan også potensielt brukast i modellering og ulike utrekningsverktøy av blant anna tare dyrkarar. Allometriske likningar kan vere nyttige for å evaluere den temporale utviklinga av biomasse, og ein omrekningsfaktor mellom våtvekt og tørrvekt kan spare tid og arbeid.



## 2 MATERIALE OG METODE

### 2.1 FORSØKSOPPSETT TIL MACROSEA

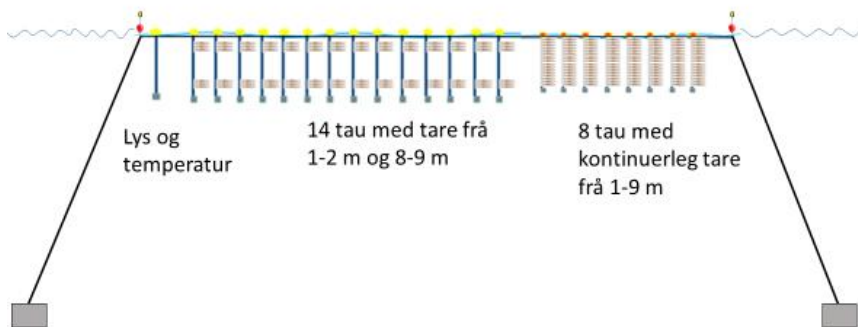
Masteroppgåva er ein del av Arbeidspakke 2 i «MACROSEA»-prosjektet som leiast av SINTEF Ocean og NTNU er partner. Måleprogrammet hadde totalt 10 stasjonar langs Norskekysten, frå Søgne i sør til Tromsø i nord (Figur 2). Det vart brukt stadeigen sukkertare (*Saccharina latissima*) frå alle stasjonane, som vart sendt til SINTEF Ocean i Trondheim for sporproduksjon i desember 2016. Taresporane blei sådd på tau og inkubert på laboratoriet i 6 veker etter protokollen skildra i Forbord et al. (2017). 8-9. februar 2017 blei kimplantene spunne på tjukkare tau, og sendt ut til alle stasjonane for utsett i sjø. Kvar stasjon hadde 14 tau med tare frå 1-2 m og 8-9 m under overflata, og 8 tau med kontinuerleg tarevekst frå 1-9 m, vist i Figur 3. Alle taua hang vertikalt ned i havet frå eit horisontalt bøyestrekk. Alle stasjonar hadde også eit tau med lys- og temperaturlogggarar (Onset HOBO loggers) på 2, 4, 6, 8 og 10 meter som registrerte temperatur og lys kvart 15. minutt. Totalt vart det gjort 8 innsamlingar av data frå april til september 2017; i veke 16, 18, 20, 22, 24, 27, 32 og 36, i tillegg til ein ekstra hos APN i veke 39. Til innsamling av tare til CN-analyser, blei det tatt 10 planter frå 1-2 m og 10 planter frå 8-9 m frå 5 forskjellige tau med tare på 1-2 m og 8-9 m på kvar stasjon. Som følgje av veldig store mengder å analysere blei antal tau kutta ned til 3 i dei kjemiske analysane. I veke 20, 22, 24, 27, 32, 36 og 39 blei det gjort vekt- og tettleikmålingar av fire av taua på 1-2 m og 8-9 m djup. Då blei all taren på 0,5 m av tauet fjerna frå taua med kontinuerleg tarevekst og vegt med vekt i ein plastpose med hull i etter at mesteparten av vatnet hadde rennt av. Tal algar over 5 cm blei telt opp frå begge 0,5 m segmenta (mellom 1-2 m og 8-9 m) på det eine tauet.



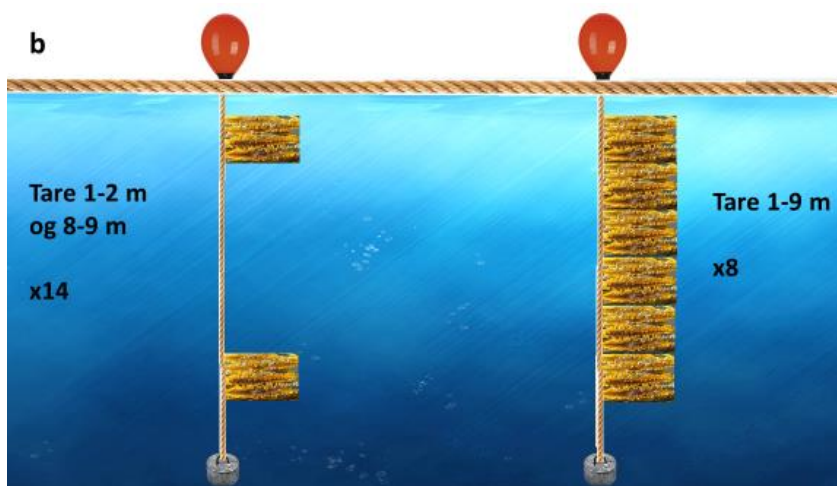
**Figur 2** Kart over alle stasjonane til måleprogrammet MACROSEA.

a

### Forsøksutsett



b



**Figur 3** Oversikt over forsøksoppsettet. (a). Alle stasjonar hadde 14 tau med tare frå 1-2 m og 8-9 m djup, 8 tau med kontinuerleg tarevekst frå 1-9 m djup (b), og eit tau med temperatur- og lysloggarar.



## 2.2 EKSPERIMENTELL UTFØRING AV MORFOLOGISTUDIET

Det vart valt ut tre stasjonar for grundigare studiar av taren sin morfologi; Akvaplan-Niva i Tromsø (APN), Seaweed Energy Solutions (SES) på Frøya, og Austevoll Seaweed Farm (ASF) på Austevoll. Tabell 1 viser koordinatane og koden til stasjonane og Figur 4 viser plasseringa på kartet. Figur 5 viser ei meir detaljert plassering av stasjonane. SES er ein semi-beskytta lokalitet som er skjerma frå sør- og vestblåsande vindar og eksponert for vindar frå nordaust. ASF er også ein semi-beskytta lokalitet mellom holmar og skjær, beskytta av vindar frå nord, sør og aust, medan lokaliteten er noko eksponert frå vindar frå vest. APN er den mest beskytta lokaliteten, og er plassert inn i ein fjord skjerma frå det opne havet.

**Tabell 1:** Koordinatar til stasjonane ASF, SES og APN.

Kode	Selskap	Koordinatar
ASF	Austevoll Seaweed Farm	N60°08,960 Ø05°09.264
SES	Seaweed Energy Solutions	N63° 42.279' Ø8° 52.232'
APN	Akvaplan-Niva	N69°45.259' Ø019°02.176'



**Figur 4** Kart over stasjonane ASF, SES og APN.



**Figur 5** Geografisk plassering av stasjonane. a) ASF (Google maps, 2018a) b) SES (Google maps, 2018b) og c) APN (Google maps, 2018c).

**Tabell 2:** Datoar og vekenummer for feltarbeid for stasjonane APN, SES og ASF.

Stasjon	Veke nr	Dato
APN	20	16. mai 2017
	24	15. juni 2017
SES	16	18. april 2017
	20	18. mai 2017
	24	15. juni 2017
ASF	16	18. april 2017
	20	15. mai 2017
	24	14. juni 2017

I studiet av tarens morfologi vart det gjort totalt 3 innsamlingar på kvar utvald stasjon; i veke 16 i april, veke 20 i mai, og veke 24 i juni 2017, dette med unntak av APN april som manglar då feltarbeidet vart avlyst på grunn av dårleg vær. Datoane for innsamling er vist i Tabell 2. På kvar innsamling blei det tatt av eit 20 cm segment med tare (heile individet med stilk) frå 2 m og 6 m djup under overflata frå 5 ulike tau med kontinuerleg tarevekst (Figur 3). Alle algane i kvart segment blei telt opp for å finne tettheita, og deretter vart det valt ut 10 tilfeldige individ frå kvart segment. På desse algane blei tjukkelsen målt i midten av lamina der lamina var breiast

(Figur 6) med skyvelær i mai og juni (ikkje i april då algane var veldig tynne). Deretter blei det tatt bilete at desse utvalte algane der dei låg utstrekt på ein kvit bakgrunn med ein tommestokk og merking av individet med i biletet, vist i Figur 7. Til fotografa blei det brukt iPhone 5s eller mobiltelefonar med tilsvarende fotokvalitet. Individida blei merka med stasjon, månad, taunummer, djup og nummerert 1-10. Deretter vart algane fryst ned i kvar sin individuelle pose til måling av tørrvekt hausten 2017. Totalt sett blei det sampla 100 planter (50 frå 2 m djup og 50 frå 6 m djup) frå kvar stasjon per innsamling, som til saman blei 800 algar.



**Figur 6** Illustrasjon av målepunktet for tjukkeleik som vart målt i midten av det breiaste punktet til lamina

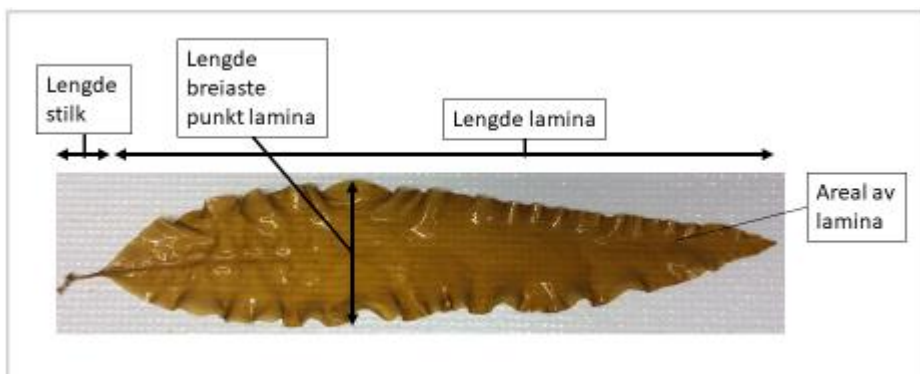


**Figur 7** Oppsett for fotografering av algane med målestokk og merking av individet med i biletet.

## 2.3 ANALYTISKE METODAR

Hausten 2017 blei alle prøvene frå alle stasjonane sendt med frysetransport til SINTEF Ocean/NTNU Sealab i Trondheim. Individuell våtvekt og tørrvekt blei målt for alle 800 algane. For måling av våtvekt, blei taren tint opp frå frysen, tørka forsiktig av overflødig vatn frå begge sider med papir, og dermed vegd på ei digital vekt. Taren blei så pakka inn i aluminiumsfolie og tørka i varmeskap ved 105 grader celsius i 24 timar for å fjerne all innhald av vatn. Algane blei så vegde på nytt straks dei blei tekne ut av varmeskapet, og alle algane blei vegde innan ein time.

Ut ifrå bileta blei dataprogrammet «ImageJ» brukt til å finne lengde på lamina og stilk, estimert ut ifrå målestokken på biletet. Når lengda var kjent vart programmeringsspråket «Python» brukt til å estimere breidde og projisert areal ut ifrå bileta ved å telle antal pixlar i bileta. Vedlegg D viser Python-koden med eksempelbilete. Figur 8 viser målingane av lengde stilk, lamina og breidde.



**Figur 8** Illustrasjon av dei morfologiske målingane lengde stilk, lengde lamina, breidde lamina, og areal.

### *CN-analysar*

For å måle total mengde karbon og nitrogen i taren på 1-2 m og 8-9 m djup vart CN-forholdet undersøkt. 50-60 g fryseprøver (-20°C) vart putta i plastbeholdarar og lagra på -80°C i ein frysar i omtrent ein time, og deretter frysetørka ved -40°C i 48 timar. 50 g våtvekt resulterte i omtrent 5 g frysetørka prøver. Omtrent 2 mg frysetørka prøver vart voge i 5x9 mm tinnkapslar ved bruk av ei Mettler Toledo UMX2 ultra-mikrovekt. Ved bruk av pinsett vart prøvene pakka saman til små kuler på ein karbonfri metallplate og plassert i ein 96 «microtiter plate» og oppbevart i -20°C fram til analysane. Analysane vart utført i ein elemental analyser (Elementar vario EL cube) med acetanilid som standard.

### 3.4 ALLOMETRISKE RELASJONAR

Forholdet mellom tørrvekt og våtvekt var tilpassa den lineære likninga:

$$Y = ax + b \quad (1)$$

der Y og X er tørrvekt eller våtvekt og a og b er estimerte koeffisientar.

Forholdet mellom lengde, breidde, areal og tørrvekt vart plotta opp mot kvarandre og tilpassa den geometriske likninga:

$$Y = ax^b \quad (2)$$

der Y og X er lengde, breidde, areal eller tørrvekt og a og b er estimerte koeffisientar.

### 2.5 FORMLAR FOR VEKSTRATE

Relativ vekstrate og vekst per dag til variablane lengde, breidde, areal, tørrvekt og tjukkeleik blei rekna ut ved bruk av formlane vist i Tabell 3.

**Tabell 3:** Formlar brukt for vekst per dag og relativ vekstrate.  $X_1$  er startverdien og  $X_2$  er sluttverdien i anten april, mai eller juni, der X er L (lengde), B (breidde), A (areal), V (tørrvekt) eller T (tjukkleik), og  $\Delta t$  er antal dagar.

Vekstrate	Formel	Einheit
Vekst per dag	$\frac{X_2 - X_1}{\Delta t} \quad (3)$	g, cm eller mm dag <sup>-1</sup>
Relativ vekstrate	$\frac{\left(\frac{X_2 - X_1}{\Delta t}\right)}{X_1} \quad (4)$	dag <sup>-1</sup>

## 2.6 VATNINNHALD

Vanninnhaldet (%) i taren blei estimert ved formelen:

$$\text{Vanninnhald (\%)} = \frac{\text{Våtvekt (g)} - \text{Tørrvekt (g)}}{\text{Våtvekt (g)}} * 100 \% \quad (5)$$

## 2.7 FORMEL FOR ESTIMERING AV AREAL UT I FRÅ LENGDE OG BREDDE

Basert på at *S. latissima* har ein typisk «langstrekt dråpeform», ble arealet til sukkertareblad estimert ved denne formelen (Broch *et al.*, 2013):

$$A = 0,75 * l * b \quad (6)$$

der A er areal, l er lengde og b er bredde.

Dette er eit gjennomsnitt mellom den øvre og nedre grensa for det estimerte arealet til eit *S. latissima* blad (Figur 9).



**Figur 9** Illustrasjon av estimering av arealet til *S. latissima*. Arealet til rektangelet er lengde\*bredde = l\*b, medan den «drageforma» firkanten som har ei form tilnærma lik bladet har arealet (l\*b)/2. Ein antek at  $(l*b)/2 \leq A \leq l*b$ , og bruker gjennomsnittet me

Det kan ikkje forventast at konstanten «0,75» alltid vil gjelde. Den nøyaktige verdien for k blei funne ved formelen:

$$k = \frac{A}{l * b} \quad (7)$$

der l er lengde, b er bredde og A er areal. Når k-verdien var funne kunne arealet estimerast ut i frå likninga:

$$A = k * l * b \quad (8)$$

der A er areal, k er konstanten, l er lengde og b er breidde.

## 2.6 ESTIMERING AV BIOMASSE

For å estimere kor mykje tørrvekt (g) og våtvekt (g) tare det var per meter tau blei den gjennomsnittlege tørrvekta og våtvekta per individ ( $n=50$ ) multiplisert med gjennomsnittleg antal algar per meter tau.

## 2.7 STATISTISKE ANALYSAR

Microsoft Excel 2013 vart brukt til å kalkulere gjennomsnitt og standardfeil og til å lage grafane. Sigmaplot 14.0 blei brukt til å formatere trendlinjer med  $R^2$ -verdi, standardfeil og p-verdi. Data for lengde, breidde, areal, tørrvekt, tjukkeleik, tettheit, vatninnhald og tørrvekt/areal blei testa for normalitet ved bruk av ein Shapiro-Wilk test. For skilnadar mellom djup blei det brukt ein t-test der data var normalfordelt og Mann Whitney U der data ikkje var normalfordelt ( $n \leq 50$ ) med signifikansnivå  $P < 0,05$ . For skilnadar mellom månadar og stasjonar blei det brukt ein einvegs ANOVA med ein Tukey Post-hoc test der data var normalfordelte og ein Kruskal Wallis test der data ikkje var normalfordelte ( $n \leq 50$ ) med signifikansnivå  $P < 0,05$ . P-verdiane til grafane over lengde, breidde, areal, tørrvekt, tjukkeleik, tettheit, vannprosent og tørrvekt/areal er vist i Vedlegg A. Til å finne gjennomsnittsverdien med konfidensintervall for konstant k i formelen for areal blei det utført ein Bootstrap-analyse med 3000 resamplingar. Dei statistiske analyse vart utført i IBM SPSS Statistics 25.





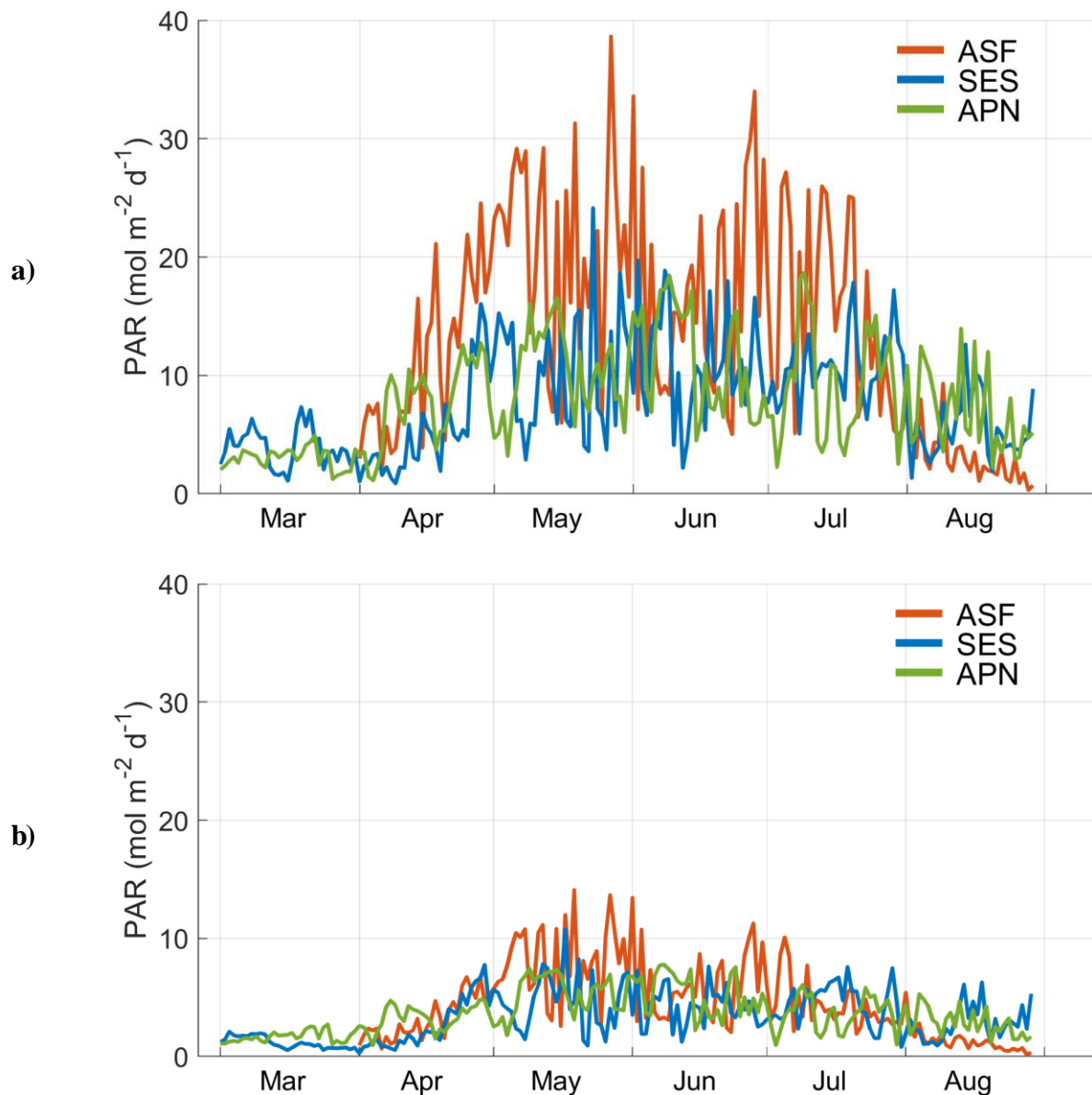
### 3 RESULTAT

#### 3.1 TEMPERATUR OG LYSINTENSITET

Figur 10 viser temperaturutviklinga frå mars til august 2017 på 2 m og 6 m djup hos stasjonane ASF, SES og APN. Mellom SES og ASF var det lite skilnadar i temperatur før i starten av mai, då ASF fekk generelt høgare temperaturar enn SES. APN hadde lågast temperatur gjennom heile perioden. Temperaturen steig jamt oppover hos alle stasjonane frå starten av mai til august. Det var lite skilnadar mellom djupa, men noko varmare på 2 m enn 6 m djup. Figur 11 viser lysintensitet i PAR ( $\text{mol m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ) på 2 m (a) og 6 m (b) djup. Lysintensiteten var betydeleg høgare på 2 m enn 6 m på alle stasjonane. Mellom stasjonane var det ikkje ein tydeleg skilnad, men ASF hadde gjennomgåande noko høgare verdiar enn SES og APN.



**Figur 10** Temperaturutvikling frå mars til august 2017 på 2 m og 6 m djup hos stasjonane ASF, SES og APN.



**Figur 11** Lysintensitet i PAR ( $\text{mol m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ) for ASF, SES og APN frå mars-august på 2 m (a) og 6 m (b) djup.

### 3.2 KVALITATIVE SKILDNADARI MORFOLOGI

Mesteparten av taren frå APN (Figur 12c) hadde ikkje den karakteristiske «midtribben» til sukkertare, sjølv ikkje i juni når taren starta å verte store i lengde og areal. Hos ASF (Figur 12a) var det også mange algar som ikkje hadde midtribbe. Hos taren som hadde midtribbe var den som regel berre synleg i eit område nærmast stilken og ikkje i tuppen. Taren ved SES (Figur 12b) i juni hadde normalt tydeleg midtribbe. SES var den stasjonen med klarast midtribbe, og særleg dei største algane hadde midtribb som ofte gjekk igjennom heile lamina.

Krusningar langs kanten var observerte hos alle stasjonane, og taren fekk generelt meir krusningar til større den vart. Dette kan ha hatt påverknad på arealet, då metoden ikkje tok hensyn til krusningar.

Fargen til taren var også ulik mellom stasjonane og SES-taren hadde tilsynelatande mørkast farge. Taren frå APN og ASF hadde ein lysare farge og bladet såg tynnare ut.



**Figur 12** Eksemplar av tare frå ASF (a), SES (b) og APN (c) i juni. Taren frå dei ulike stasjonane hadde ulike morfologiske karakterar som midtribbe, krusningar langs kanten, farge o.l.

### 3.3 BEGROING

Ingen av stasjonane hadde synleg begroing i april (veke 16, Figur 13). Som Figur 14a viser hadde begroinga starta ved ASF i mai, men koloniane var små og dekkja eit relativt lite areal av taren. Taren ved SES og APN hadde ingen synleg begroing i mai (Figur 14b og c). I juni var ASF sterkt påverka av begroing (Figur 15a), der mesteparten av lamina var dekkja av bryzoakoloniar og annan type begroing. Nokre av plantene på SES i juni (Figur 15b) var også

påverka av begroing, men ikkje i like stor grad som ved ASF, og mesteparten av begroinga var i tuppane. APN hadde ingen eller lite begroing i juni (Figur 15c).



**Figur 13** Ingen/lite begroing på taren hos ASF (a) eller hos SES (b) i april.



**Figur 14** Begroing på taren hos ASF i mai (a). Taren har starta å få ein del begroing, men dei dekkjer eit relativt lite areal av taren. Hos SES (b) og APN (c) var det ingen/lite begroing i mai.

a)



b)



c)



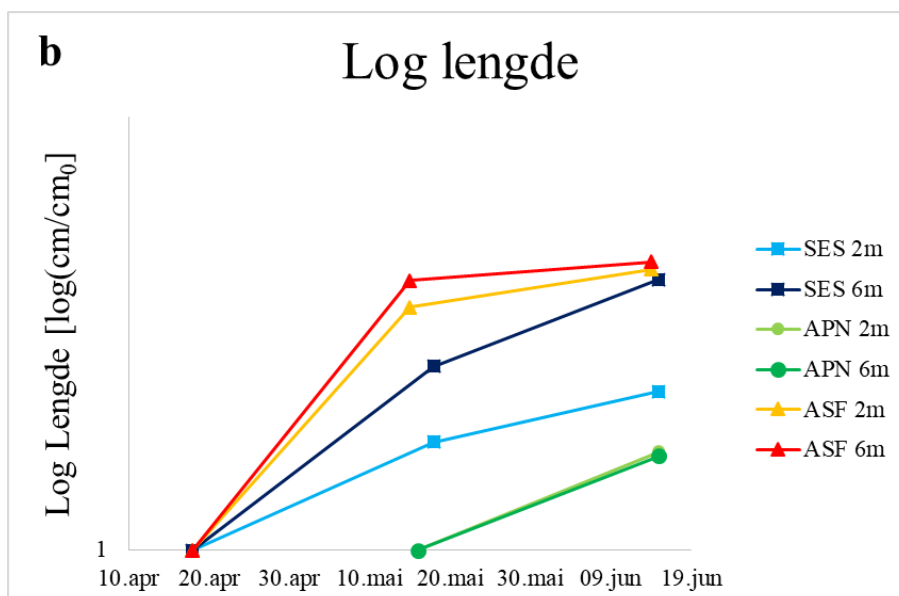
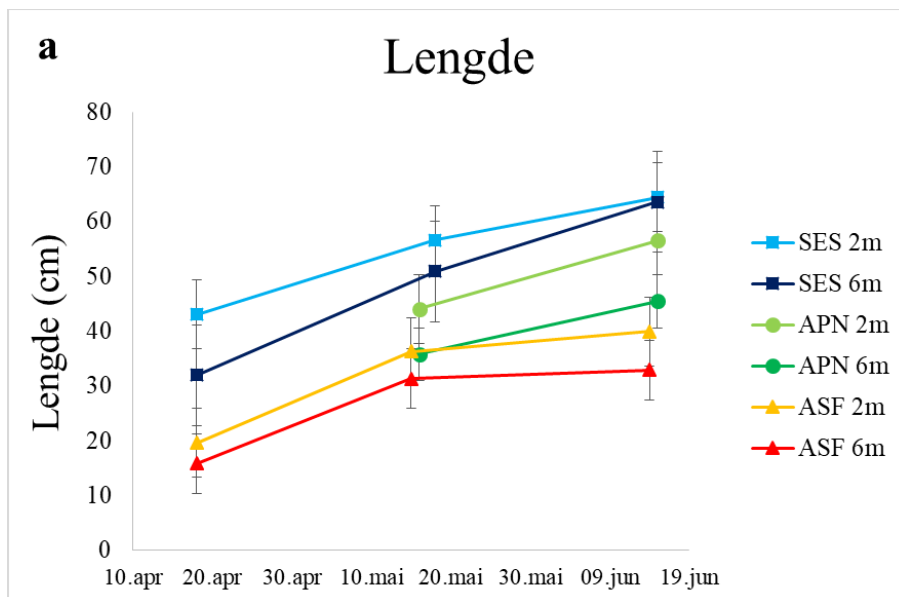
**Figur 15** Total begroing av lamina i juni hos ASF (a), noko begroing hos SES (b), og ingen/lite begroing hos APN (c).

### 3.2 LENGDE

Figur 16a viser gjennomsnittleg lengde (cm) av lamina til *S. latissima* på dei tre ulike stasjonane frå april til juni på 2 m og 6 m djup. Alle stasjonane viste auke i lengde gjennom heile perioden, men hos SES og ASF var auka større mellom april og mai enn mellom mai og juni. Det var tydelege skilnadar i lengda mellom lokalitetane, der SES hadde dei lengste algane og ASF dei kortaste, med ein skilnad på over 20 cm i juni.

Det var ein statistisk signifikant skilnad i lengde mellom SES og dei to andre stasjonane APN og ASF gjennom heile perioden på begge djupa ( $P < 0,05$ ), med unntak av hos APN i juni på 2 m djup ( $P = 0,394$ ). I mai var det ikkje ein statistisk signifikant skilnad mellom APN og ASF på 2 m eller 6 m djup ( $P > 0,05$ ), men i juni var det ein statistisk signifikant skilnad på begge djupa ( $P < 0,01$ ). Hos SES og ASF var det på begge djup ei statistisk signifikant auke frå april til mai ( $P < 0,01$ ), men ikkje mellom mai og juni ( $P > 0,05$ ). Hos APN var det ein statistisk signifikant skilnad mellom mai og juni på begge djupa ( $P < 0,05$ ). Det var ein statistisk signifikant skilnad mellom djupa på alle stasjonane og månadane ( $P < 0,05$ ), med unntak av SES i mai og juni ( $P > 0,05$ ). Grafar med alle individuelle verdiane per innsamling er vist i Vedlegg C, som viste at det kvar store forskjellar i størrelse mellom algane frå dei same tauet.

Figur 16b viser lengde med logaritmisk y-akse der kvar verdi er logaritmen til verdien delt på startverdien til stasjonen. Lengda hadde ikkje ein eksponensiell vekst frå april til juni.



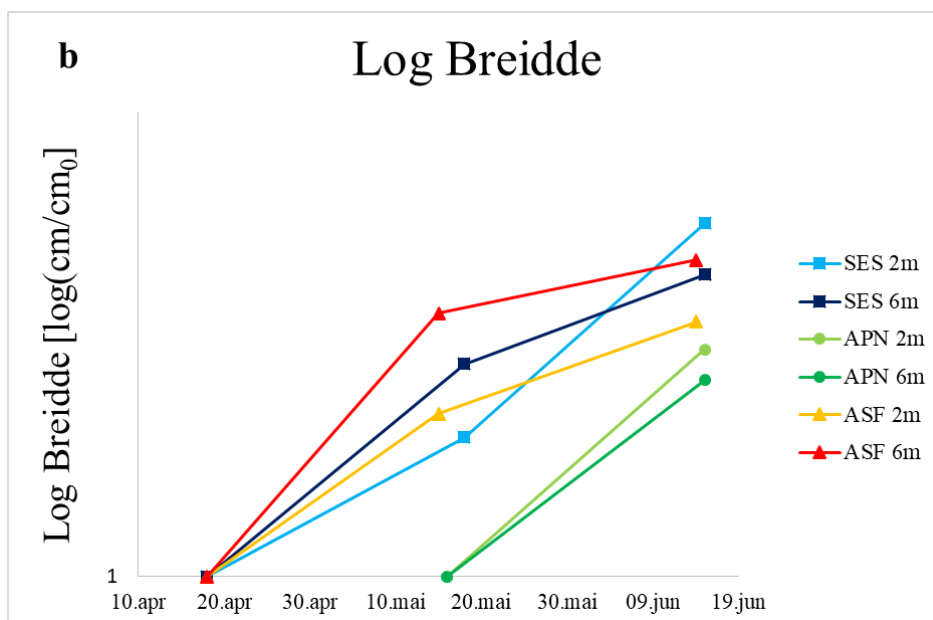
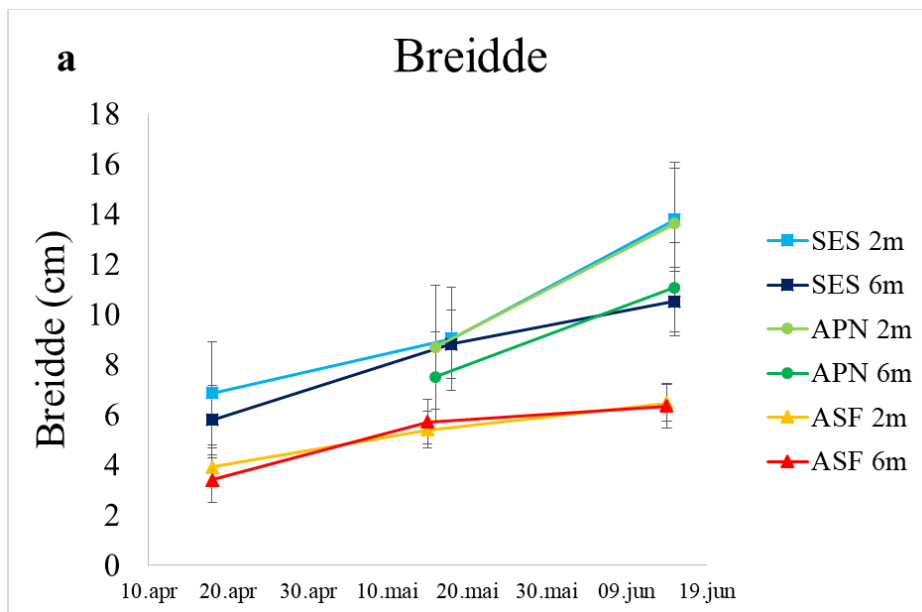
**Figur 16** a) Gjennomsnittleg lengde på lamina (cm  $\pm$ SE) til *S. latissima* frå april til mai til ved tre stasjonar på to ulike djup. Data for APN april manglar. b) Lengde med logaritmisk y-akse der kvar verdi er logaritmen til verdien delt på startverdien til stasjonen.

### 3.2. BREIDDE

Figur 17a viser gjennomsnittleg største breidde (cm) til lamina målt ved dei tre stasjonane frå april til juni på 2 m og 6 m djup. Breidda var omtrent lik for APN og SES, medan ASF hadde betydeleg lågare verdiar enn dei andre stasjonane med over 8 cm forskjell på 2 m djup i juni. Med unntak av særleg veksten frå mai til juni på 2 m hos SES og APN, var det lite auke i breidde av algane. ASF var statistisk signifikant forskjellig frå dei andre stasjonane alle månadane på begge djup ( $P < 0,01$ ), medan SES og APN ikkje hadde ein statistisk signifikant skilnad i mai eller juni ( $P > 0,05$ ). Det var på begge djup ei statistisk signifikant auke hos SES og ASF frå april til mai ( $P < 0,05$ ), men ikkje frå mai til juni ( $P > 0,05$ , med unntak av hos SES på 2 m djup ( $P < 0,001$ )). Hos APN var det ei statistisk signifikant auke mellom mai og juni på begge djup ( $P < 0,001$ ).

Figur 17b viser breidde med ein logaritmisk y-akse. SES på 2 m djup har omlag ein eksponensiell vekst i breidde.





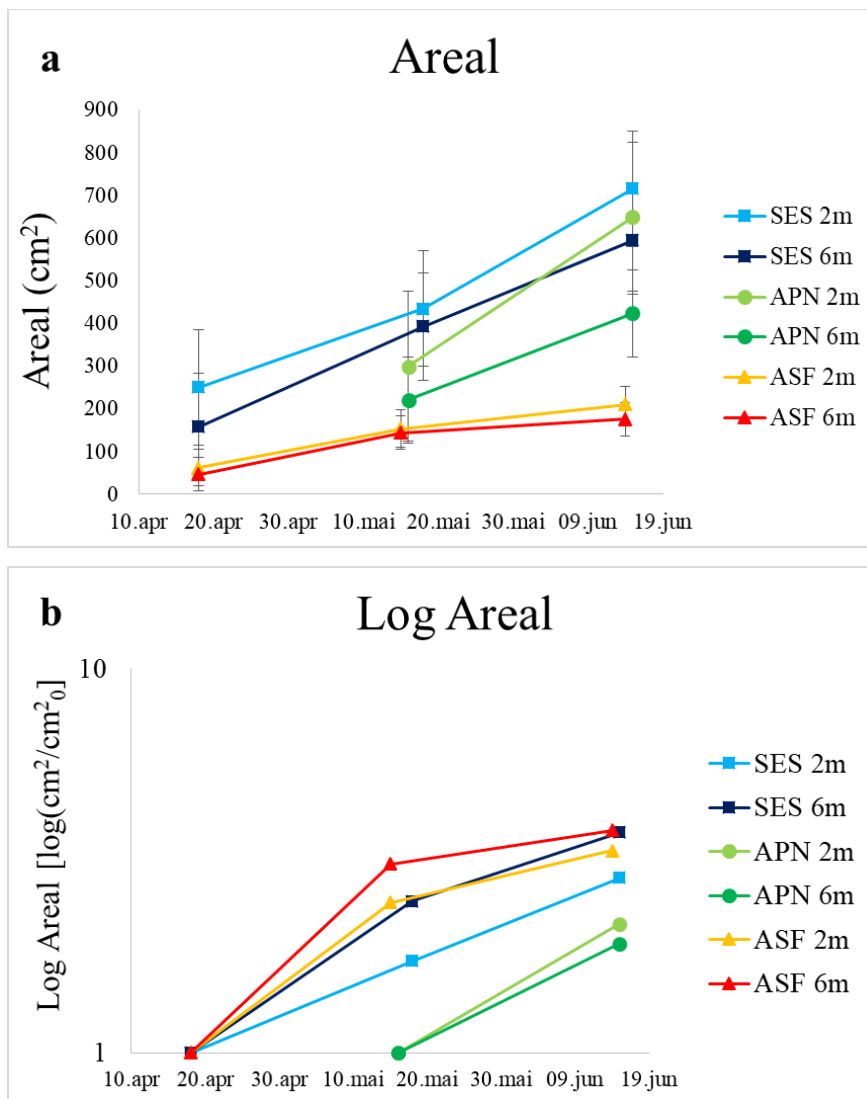
**Figur 17** a) Gjennomsnittleg største breidde (cm  $\pm$  SE) til lamina til *S. latissima* ved tre stasjonar frå april til juni på to ulike djup. b) Breidde med logaritmisk y-akse der kvar verdi er logaritmen til verdien delt på startverdien til stasjonen.

### 3.4 AREAL

Figur 18a viser gjennomsnittleg areal ( $\text{cm}^2$ ) frå april til juni for tre stasjonar på 2 m og 6 m djup. Alle stasjonar viste ei auke i arealet, og auka såg ut til å vere større frå mai-juni enn frå april-mai. Tare frå SES og APN hadde betydeleg større areal enn den frå ASF, som låg ca.  $550 \text{ cm}^2$  under SES 2m i juni og hadde relativt lite auke i arealet gjennom heile perioden. Hos SES og APN var arealet til taren større på 2 m enn 6 m djup, medan det hos ASF var liten forskjell mellom djupa.

ASF var statistisk signifikant forskjellig frå SES og APN gjennom heile perioden på begge djup ( $P < 0,001$ ), med unntak av i mai på 6 m djup ( $P = 0,136$ ). SES og APN var ikkje statistisk signifikant forskjellige i mai eller juni ( $P > 0,05$ ) med unntak av i mai på 6 m djup ( $P = 0,015$ ). Mellom april og mai var det ein statistisk signifikant skilnad på alle stasjonane og djupa ( $P < 0,01$ ). Mellom mai og juni var det ein statistisk signifikant skilnad hos APN ( $P < 0,01$ ), men ikkje hos SES eller ASF ( $P > 0,05$ ). Det var ein statistisk signifikant skilnad mellom djupa hos SES og ASF i april ( $P < 0,01$ ) og hos APN i mai ( $P = 0,008$ ), men ikkje hos dei andre målingane ( $P > 0,05$ ).

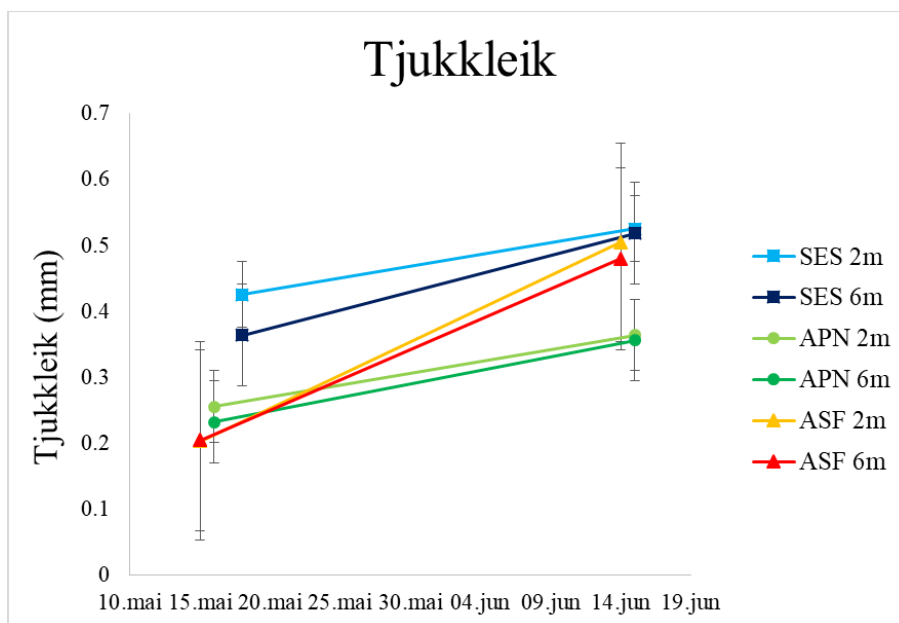
Figur 18b viser at arealet endra seg nærmast logaritmisk med SES-stasjonen frå april til juni, spesielt ved 2 m djup.



**Figur 18** a) Gjennomsnittleg areal (cm<sup>2</sup> ± SE) til *S. latissima* frå april til juni ved tre stasjonar og to djup. b) Areal med logaritmisk y-akse der kvar verdi er logaritmen til verdien delt på startverdien til stasjonen.

### 3.5 TJUKKLEIK

Figur 19 viser tjukkleik (mm) til lamina i midten av den breiaste delen. Tjukkleiken var noko høgare for tare frå SES enn for dei andre stasjonane, men unntak ASF i juni. I mai var det ein statistisk signifikant skilnad i tjukkleik mellom alle stasjonane ( $P < 0,01$ ), med unntak av mellom APN og ASF på 6 m djup ( $P = 0,163$ ). I juni var det ein statistisk signifikant forskjell mellom APN og dei andre stasjonane på begge djupa ( $P < 0,001$ ), men ikkje mellom SES og ASF ( $P > 0,05$ ). Det var ei statistisk signifikant auke mellom mai og juni på alle stasjonane og begge djupa ( $P < 0,001$ ). Det var ikkje ein statistisk signifikant skilnad mellom djupa ( $P > 0,05$ ), med unntak av hos SES og APN i mai ( $P < 0,05$ ).



**Figur 19** Gjennomsnittleg tjukkleik (mm  $\pm$  SE) i midten på det breiaste punktet til lamina til *S. latissima* til tre stasjonar frå april til juni på 2 m og 6 m.

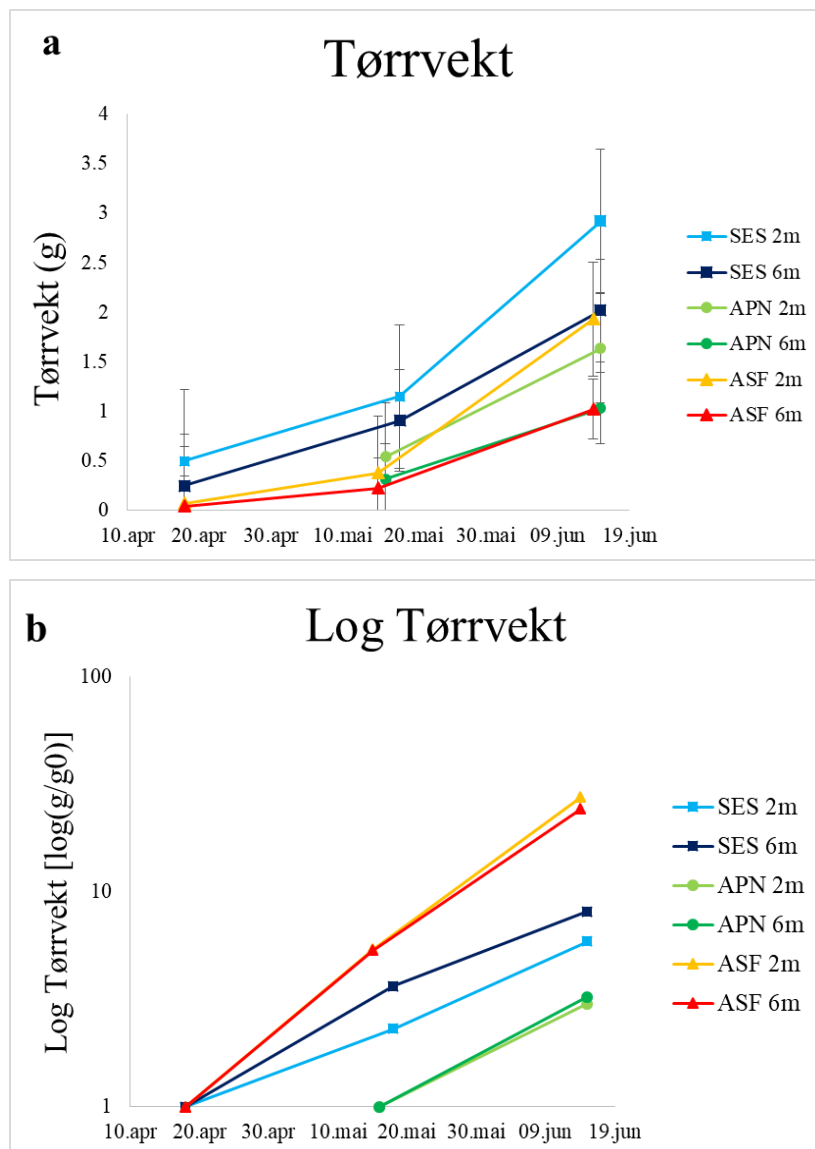
### 3.6 TØRRVEKT

Figur 20 viser gjennomsnittleg tørrvekt (g) til *S. latissima* frå april til juni på tre stasjonar på 2 m og 6 m djup. Alle stasjonane viste ei tydeleg auke i tørrvekt, der auka var større frå mai til juni enn frå april til mai. Taren på SES sitt anlegg hadde den største tørrvekta på 2m. Taren frå ASF viste relativt låg tørrvekt i april og mai, men viste ei stor auke fram til målingane i juni, særleg på 2 m.

Det var på begge djup ein statistisk signifikant forskjell mellom SES og ASF i april og mai ( $P < 0,001$ ), men ikkje i juni ( $P > 0,05$ ). Mellom SES og APN var det ein statistisk signifikant skilnad på alle tidspunkta og djupa ( $P < 0,05$ ) med unntak av på 6 m djup i juni ( $P > 0,05$ ).

Mellom APN og ASF var det ikkje ein statistisk signifikant skilnad i mai eller juni ( $P > 0,05$ ). Mellom april, mai og juni var det ei statistisk signifikant auke på alle stasjonane og på begge djupa ( $P < 0,01$ ), men unntak av hos SES på 6m djup mellom mai og juni ( $P = 0,067$ ). Det var ein statistisk signifikant skilnad mellom djupa på alle stasjonane og månadar ( $P < 0,05$ ), med unntak av SES i mai ( $P = 0,261$ ) og APN i juni ( $P = 0,655$ ).

For SES og ASF-stasjonane var det ein tilnærma logaritmisk utvikling i tørrvekta frå april til juni (Figur 20b).

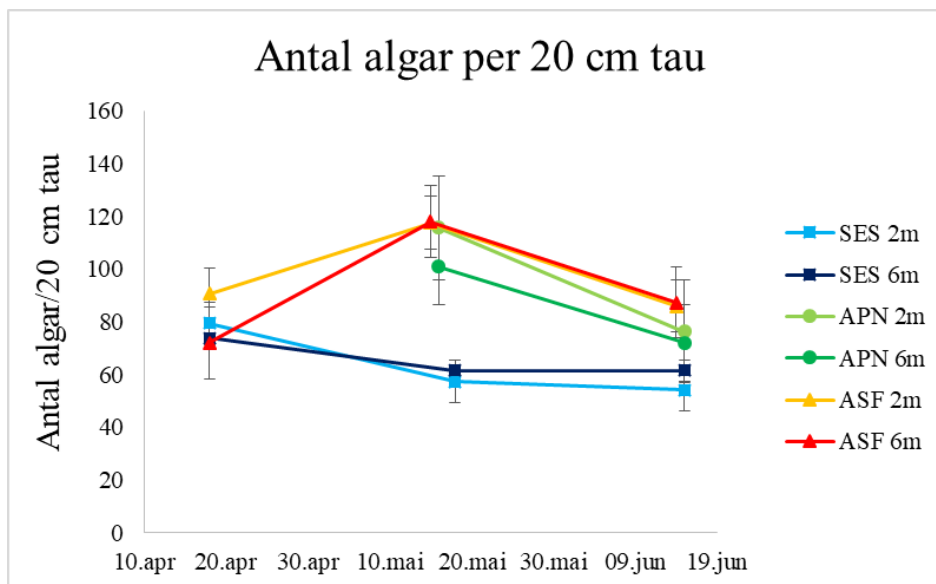


**Figur 20** a) Gjennomsnittleg tørrvekt ( $g \pm SE$ ) til *S. latissima* frå april til juni på tre stasjonar og to djup (a). b) Tørrvekt med logaritmisk y-akse der kvar verdi er logaritmen til verdien delt på startverdien til stasjonen.

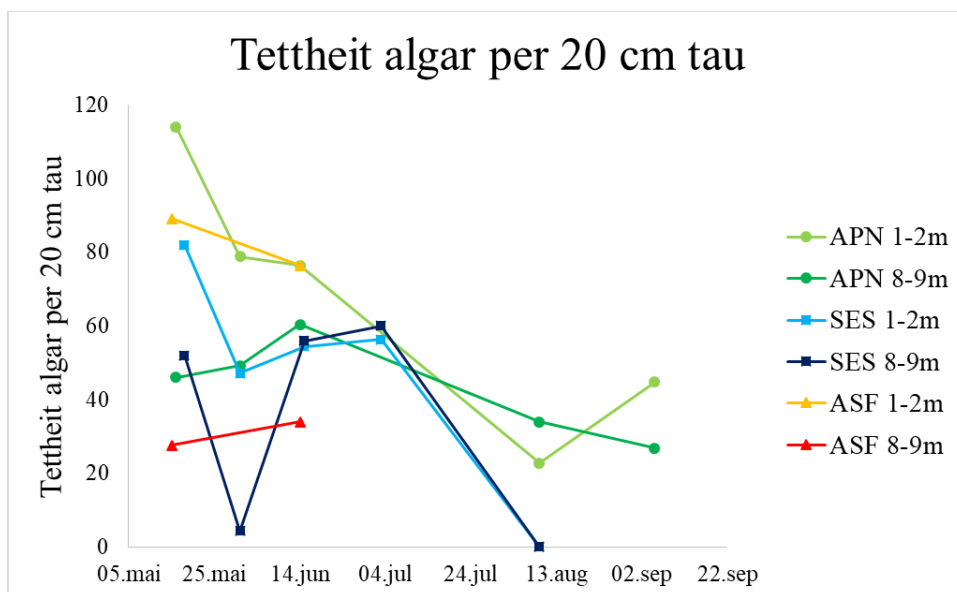
### 3.7 TETTLEIK

Figur 21 viser gjennomsnittleg antal algar per 20 cm tau segmentet på to djup frå kvart tau (N=5) frå alle stasjonane. Tettleiken mellom plantene var noko lågare for SES-taren enn for taren frå APN og ASF. SES var statistisk signifikant forskjellig frå ASF og APN i mai på begge djupa ( $P < 0,05$ ), men ellers var det ingen statistisk signifikant skilnad mellom stasjonane ( $P > 0,05$ ). APN hadde ei statistisk signifikant lågare tettleik i juni enn i mai på begge djup ( $P < 0,05$ ), medan hos SES og ASF var det ingen statistisk signifikant forskjell mellom april, mai og juni ( $P > 0,05$ ). Det var ingen statistisk signifikant skilnad mellom djupa hos nokre av stasjonane ( $P > 0,05$ ).

Figur 22 viser gjennomsnittleg antal algar over 5 cm i eit 20 cm segment (N=1) mellom 1-2 m djup og på 8-9 m djup. Hos APN minka tettheita gradvis frå mai til september.



**Figur 21** Gjennomsnittleg antal algar ( $\pm$ SE) av *S. latissima* per 20 cm tau (N=5) til tre stasjonar frå april til juni på 2 m og 6 m djup.

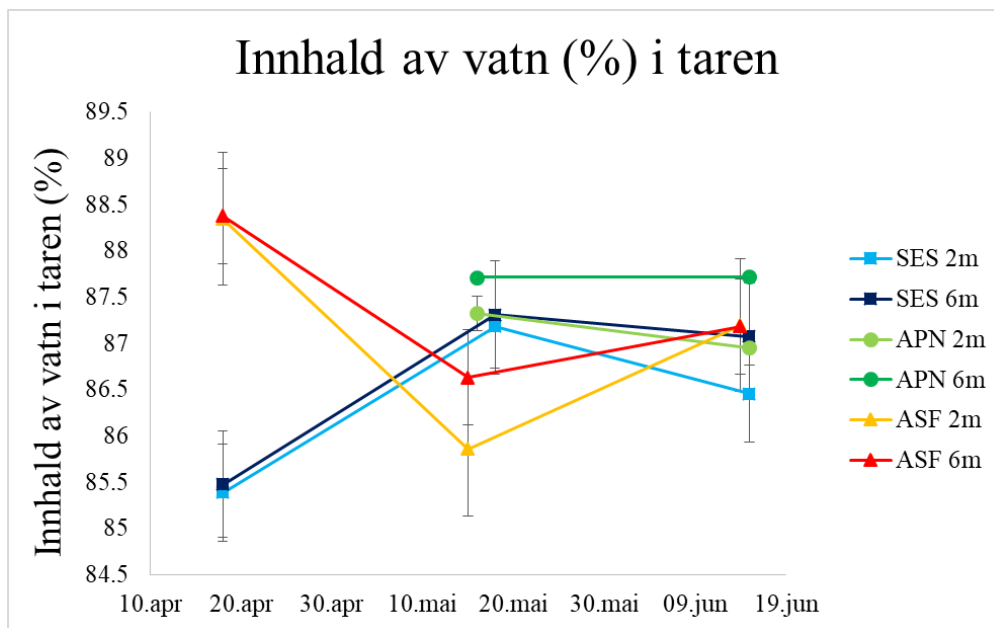


**Figur 22** Antal algar over 5 cm per 20 cm tau (N=1) på 1-2 m djup og 8-9 m djup ved tre stasjonar.

### 3.8 VATNINNHALD

Figur 23 viser gjennomsnittleg innhald av vatn (%) i taren. Det var liten skilnad i vatninnhaldet mellom målingane, som låg mellom ~85,5% - 88,5%. I april var det ein statistisk signifikant forskjell mellom SES og ASF på begge djupa ( $P < 0,001$ ), der skilnaden var nesten 2%. I mai og juni var skilnaden mindre mellom stasjonane. Hos SES og ASF var det ein statistisk signifikant forskjell mellom april, mai og juni for alle verdiane ( $P < 0,05$ ) med unntak mellom mai og juni hos SES på 6m djup ( $P = 0,601$ ). Hos APN var det ikkje ein statistisk signifikant forskjell mellom mai og juni ( $P > 0,05$ ). Det var ein statistisk signifikant forskjell mellom djupa hos SES og APN i juni ( $P < 0,05$ ) og hos ASF i mai ( $P < 0,001$ ).

Gjennomsnittsverdien for vanninnhold for alle algane var  $87 \% \pm 0,05 \% (SE)$ , der den minste verdien var på 79,1% og den høgste 90,9%. På 2 m djup var gjennomsnittsverdien  $86,8 \% \pm 0,074 \%$ , og på 6 m djup var gjennomsnittsverdien  $87,2 \% \pm 0,069 \%$ . Det var ein statistisk signifikant forskjell mellom gjennomsnittsverdien for 2 m og 6 m djup ( $P = 0,001$ ).

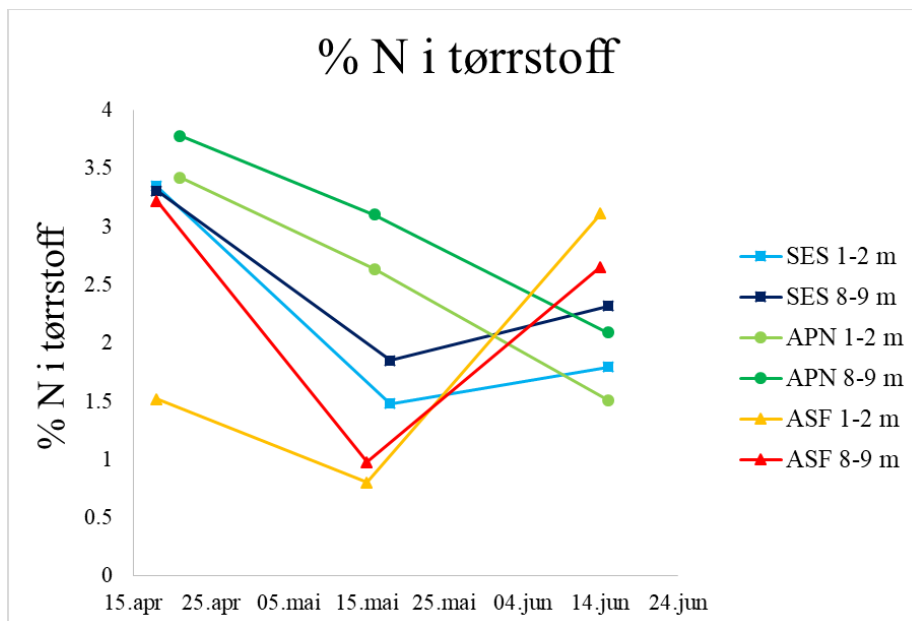


**Figur 23** Gjennomsnittleg innhald av vatn (%) i taren med konfidensintervall (SE) til S. latissima på begge djup ved dei ulike stasjonane frå april-juni.

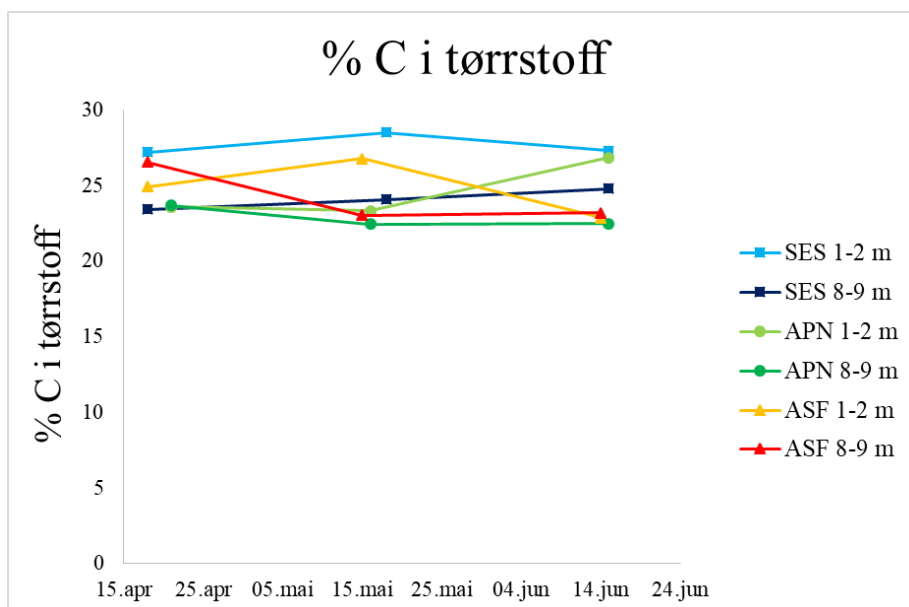
### 3.9 KARBON- OG NITROGENINNHALD

Figur 24 og 25 viser innhaldet av nitrogen (% N i tørrstoff) og karbon (% C i tørrstoff) i taren på 1-2 m djup og 8-9 m djup hos SES, APN og ASF. Innhaldet av nitrogen utgjorde omlag ~1-4 % av tørrstoffet, og hos SES og APN var det ein nedgang i nitrogen frå veke 16 til veke 24. Hos ASF var det ein nedgang frå veke 16 til 20, men så auka nitrogeninnhaldet igjen i veke 24. Nitrogeninnhaldet såg ut til å vere noko høgare på 8-9 m enn 1-2 m djup. Karboninnhaldet var stort sett stabilt mellom veke 16, 20 og 24, og utgjorde omlag ~22-28 % av tørrstoffet. Karboninnhaldet såg ut til å vere noko større på 1-2 m enn 8-9 m, spesielt i veke 20 og 24. Sidan  $N \leq 3$  vart det ikkje utført statistiske analysar av nitrogen- og karboninnhaldet.





**Figur 24** Nitrogen (% N i tørrstoff) til SES, APN og ASF på 1-2 m og 8-9 m djup i veke 16 (april), 20 (mai) og 24 (juni) 2017.



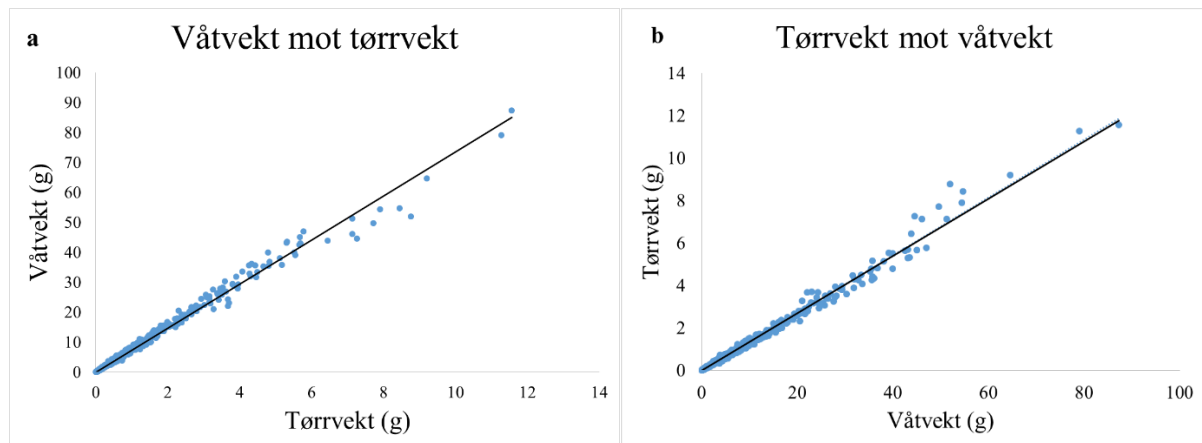
**Figur 25** Innhold av karbon (% C i tørrstoff) i taren til SES, APN og ASF på 1-2 m og 8-9 m djup i veke 16, 20 og 24 2017.

### 3.11 MORFOLOGISKE RELASJONAR

#### 3.11.1 VÅTVEKT MOT TØRRVEKT

Figur 26 viser forholdet mellom våtvekt og tørrvekt i individer av *S. latissima*. Det var ein klar lineær samanheng mellom tørrvekt og våtvekt ( $R^2 = 0,989$ , vist i Tabell 4).

Tabell 4 viser dei lineære likningane som er etablert for forholdet mellom tørrvekt og våtvekt med statistiske koeffisientar. Det var ei god statistisk tilpassing for mellom begge relasjonane ( $R^2 = 0,989$  og  $P < 0,001$  for begge likningane).



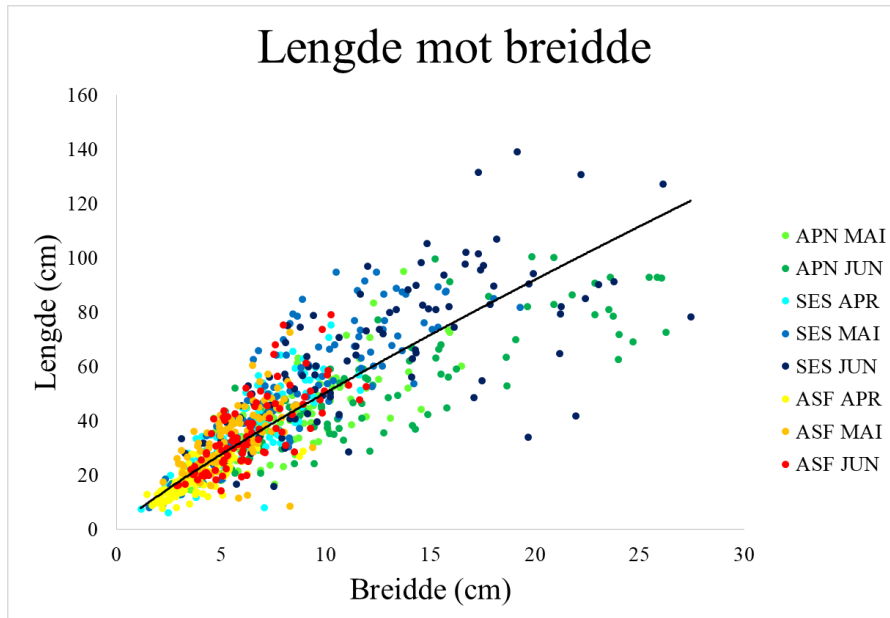
**Figur 26** Forholdet mellom våtvekt (g) mot tørrvekt (g) til *S. latissima* (a) og forholdet mellom tørrvekt mot våtvekt (b).

**Tabell 4:** Lineære trendlinjer  $y = ax + b$  (1) for forholdet mellom tørrvekt og våtvekt med standardfeil for koeffisientane,  $R^2$ -verdi, p-verdi og antal prøver (n).

Lineær trendlinjer $y = ax + b$							
Graf	y	x	$a \pm SE$	$b \pm SE$	$R^2$	p	n
Våtvekt mot tørrvekt	Våtvekt (g)	Tørrvekt (g)	$7,26 \pm 0,0274$	$0,294 \pm 0,0461$	0,989	$<0,0001$	793 (5 fjerna)
Tørrvekt mot våtvekt	Tørrvekt (g)	Våtvekt (g)	$0,136 \pm 0,0005$	$0,0299 \pm 0,0064$	0,989	$<0,0001$	793 (5 fjerna)

### 3.11.7 LENGDE MOT BREIDDE

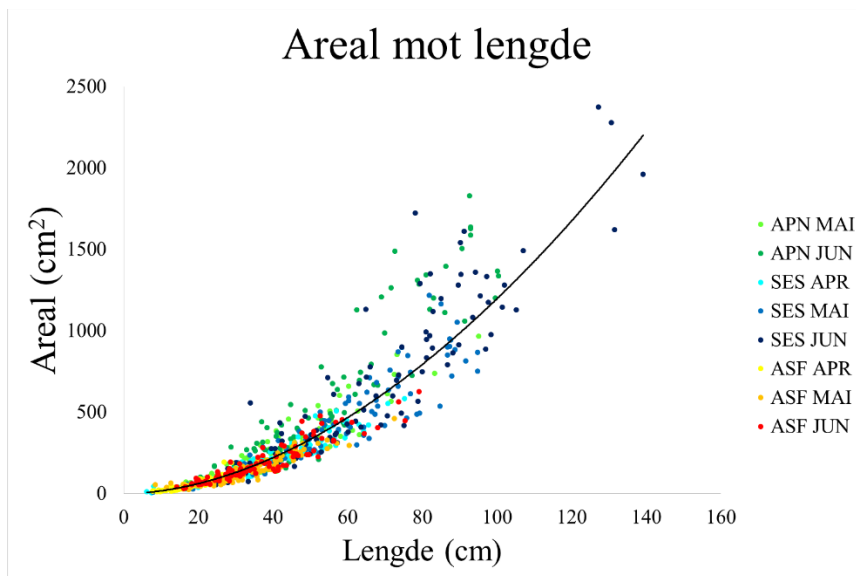
Figur 27 viser forholdet mellom lengde (cm) mot breidde (cm) for *S. latissima*. Alle stasjonane hadde ei stor spreining i verdiane. Det såg ut som at SES generelt hadde lengre algar i forhold til breidde enn det APN hadde.



**Figur 27** Forholdet mellom lengde (cm) og breidde (cm) til *S. latissima* for alle stasjonane, djupa og tidspunkta med ei geometrisk trendlinje.

### 3.11.2 AREAL MOT LENGDE

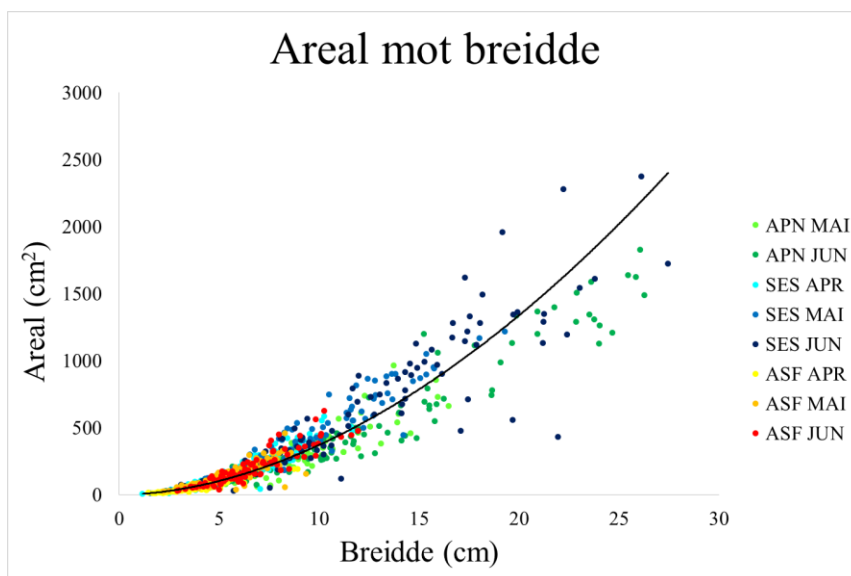
Figur 28 viser forholdet mellom lengde (cm) og areal (cm<sup>2</sup>) til *S. latissima*. Stasjonane viste omtrent det same forholdet mellom lengde og areal til taren, der lengda veks hurtig i startfasen utan at arealet aukar mykje, medan arealet auka hurtigare blant dei lengste algane seinare i forsøksperioden.



**Figur 28** Forholdet mellom lengde (cm) og areal (cm<sup>2</sup>) til *S. latissima* til alle stasjonane og djupa med ei geometrisk trendlinje.

### 3.11.4 AREAL MOT BREIDDE

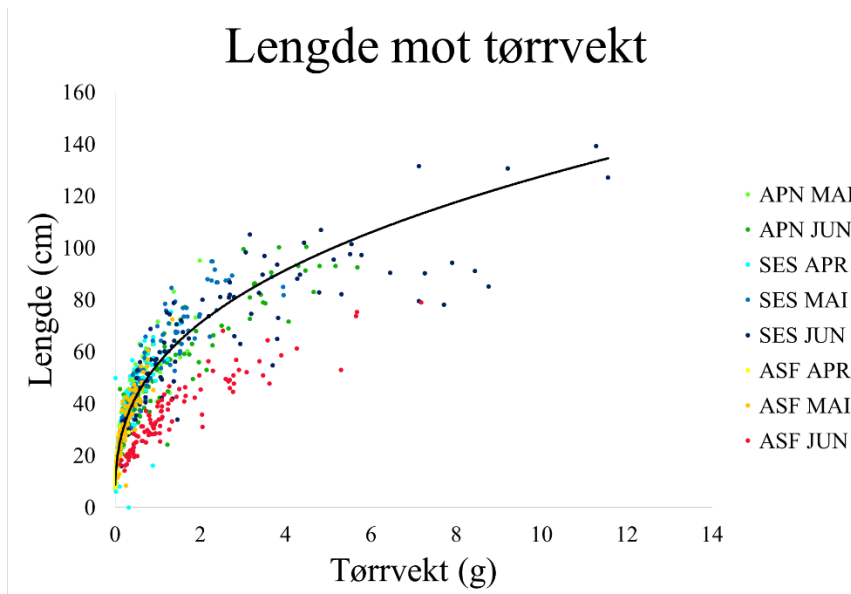
Figur 29 viser forholdet mellom areal og breidde for *S. latissima*. Algane hos SES hadde tilsynelatande eit større areal i forhold til breidde enn hos APN. SES sine verdiar låg hovudsakleg på oversida av trendlinja, og APN sine på undersida. Blant dei minste algane auka breidda raskare enn arealet i forhold til dei større algane.



**Figur 29** Forholdet mellom areal (cm<sup>2</sup>) og breidde (cm) til *S. latissima* ved alle stasjonane, djup og tidspunkt med ei geometrisk trendlinje.

### 3.11.5 LENGDE MOT TØRRVEKT

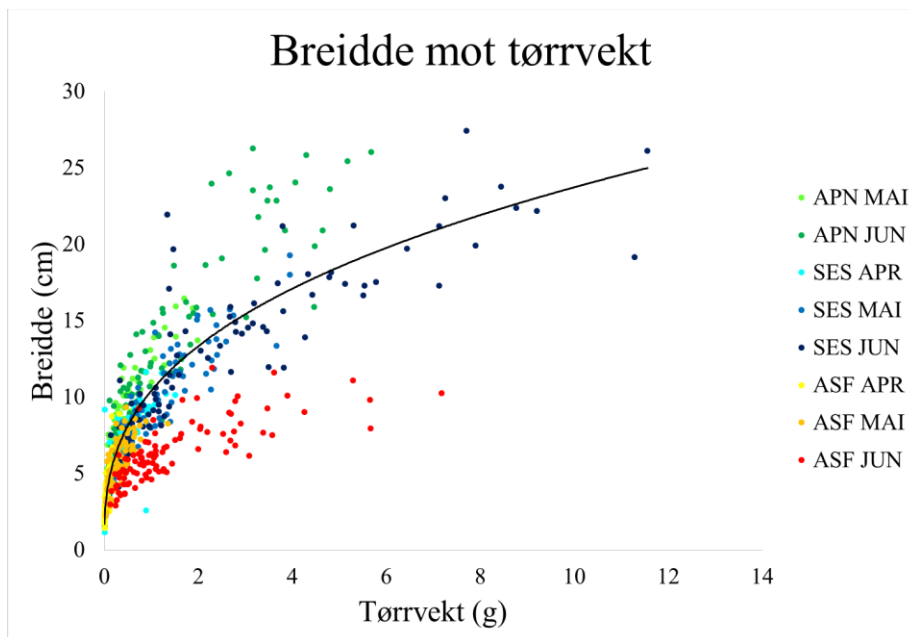
Figur 30 viser forholdet mellom lengde (cm) og tørrvekt (g) for *S. latissima*. Taren frå ASF i juni skilde seg ut med høgare tørrvekt i forhold til lengde i forhold til dei andre verdiane, og blei utelatt frå trendlinja. Blant dei små algane auka lengda hurtigare enn tørrvekta, og omvendt for dei større algane.



**Figur 30** Forholdet mellom lengde (cm) og tørrvekt (g) til *S. latissima* med geometrisk trendlinje (ASF juni hadde svært vikande data og blei utelatt frå trendlinja).

### 3.11.6 BREIDDE MOT TØRRVEKT

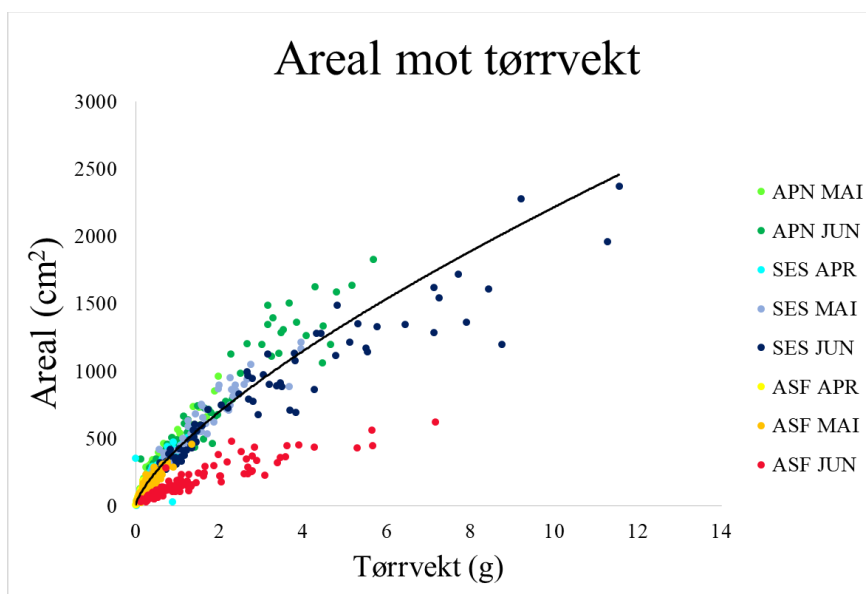
Figur 31 viser forholdet mellom breidde (cm) og tørrvekt (g) for *S. latissima* med ei geometrisk trendlinje. Målingane ved ASF i juni var sterkt avvikande og blei utelatt frå trendlinja. Blant dei små algane auka breidda hurtigare enn tørrvekta, medan blant dei større algane avtok auka i breidde og tørrvekta auka betrakteleg.



**Figur 31** Forholdet mellom breidde (cm) mot tørrvekt (g) til *S. latissima* med ei geometrisk trendlinje (ASF i juni hadde svært vikande data og blei utelatt frå trendlinja).

### 3.11.7 AREAL MOT TØRRVEKT

Figur 32 viser forholdet mellom areal (cm<sup>2</sup>) og tørrvekt (g) til *S. latissima*. ASF i juni hadde svært vikande data og blei utelatt frå trendlinja.



**Figur 32** Forholdet mellom areal (cm<sup>2</sup>) og tørrvekt (g) av *S. latissima* med ei geometrisk trendlinje. ASF juni hadde svært vikande data og blei ekskludert frå trendlinja.

### 3.11.8 GEOMETRISKE LIKNINGAR

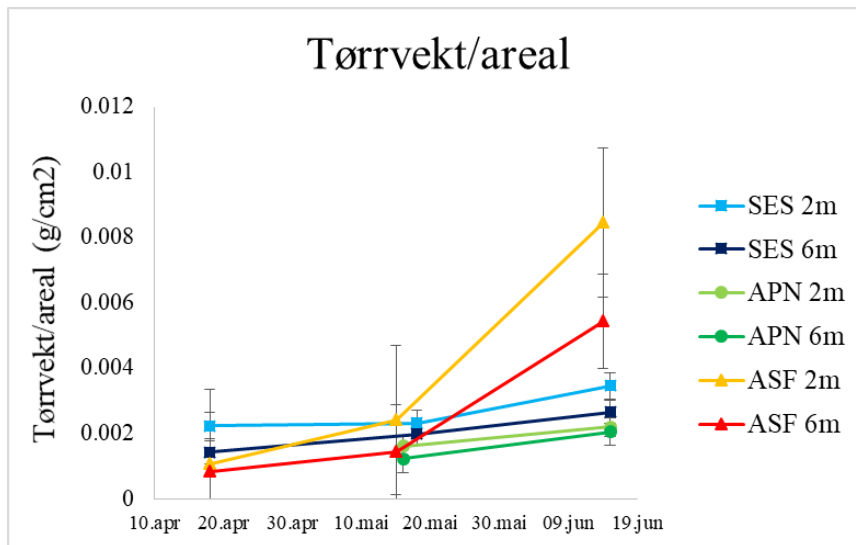
Tabell 5 viser dei geometriske likningane som er etablert for relasjonane mellom lengde, breidde, areal og tørrvekt med statistiske koeffisientar. Det var generelt ei god statistisk tilpassing mellom alle relasjonane ( $R^2$  mellom 0,698 og 0,933, og  $P < 0,001$  for alle relasjonane).

**Tabell 5:** Geometriske trendlinjer  $y = ax^b$  (2) til relasjonar mellom variablane areal, lengde, breidde og tørrvekt med standardfeil for koeffisientane,  $R^2$ -verdi, p-verdi og antal prøver (n)..

Geometrisk trendlinje $y = ax^b$							
Graf	y	x	a	b	$R^2$	P	n
Figur 27: Lengde mot breidde	Lengde (cm)	Breidde (cm)	9,286 ± 0,3989	0,743 ± 0,0177	0,698	<0,0001	797
Figur 28: Areal mot lengde	Areal (cm <sup>2</sup> )	Lengde (cm)	0,231 ± 0,0292	1,875 ± 0,029	0,864	<0,0001	797
Figur 29: Areal mot breidde	Areal (cm <sup>2</sup> )	Breidde (cm)	10,4448 ± 0,646	1,58 ± 0,0221	0,879	<0,0001	797
Figur 30: Lengde mot tørrvekt	Lengde (cm)	Tørrvekt (g)	55,479 ± 0,346	0,335 ± 0,0048	0,886	<0,0001	697
Tørrvekt mot lengde	Tørrvekt (g)	Lengde (cm)	0,0000314 ± 0,00000787	2,592 ± 0,0554	0,793	<0,0001	697
Figur 31: Breidde mot tørrvekt	Breidde (cm)	Tørrvekt (g)	10,719 ± 0,087	0,37 ± 0,0063	0,840	<0,0001	698
Figur 32: Areal mot tørrvekt	Areal (cm <sup>2</sup> )	Tørrvekt (g)	446,368 ± 4,799	0,665 ± 0,0074	0,933	<0,0001	698
Tørrvekt mot areal	Tørrvekt (g)	Areal (cm <sup>2</sup> )	0,0002 ± 0,000029	1,41 ± 0,0216	0,902	<0,0001	698

### 3.12 TØRRVEKT PER AREAL

Figur 33 viser tørrvekt/areal ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) til *S. latissima*. Medan SES og APN hadde ganske like verdier frå april til juni, hadde ASF ei stor auke frå mai til juni. Det var ein statistisk signifikant forskjell mellom stasjonane på alle tidspunkta og på begge djupa ( $P < 0,05$ ), med unntak av mellom SES og ASF i mai på 2 m djup ( $P = 1$ ). Det var ein statistisk signifikant forskjell mellom april, mai og juni hos alle stasjonane ( $P < 0,001$ ), og mellom djupa på alle stasjonane ( $P < 0,05$ ).



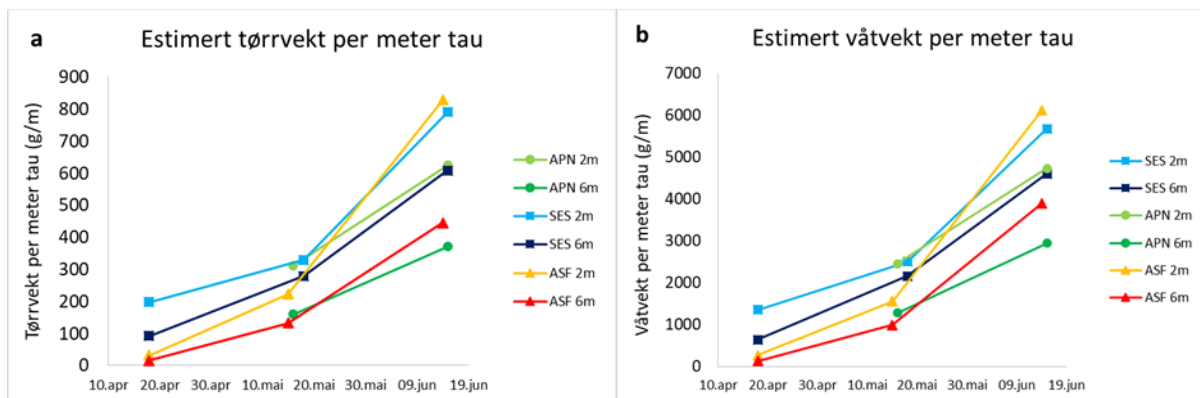
**Figur 33** Gjennomsnittleg tørrvekt per areal med konfidensintervall (SE) til *S. latissima* for alle stasjonar på to djup.

### 3.13 VEKST

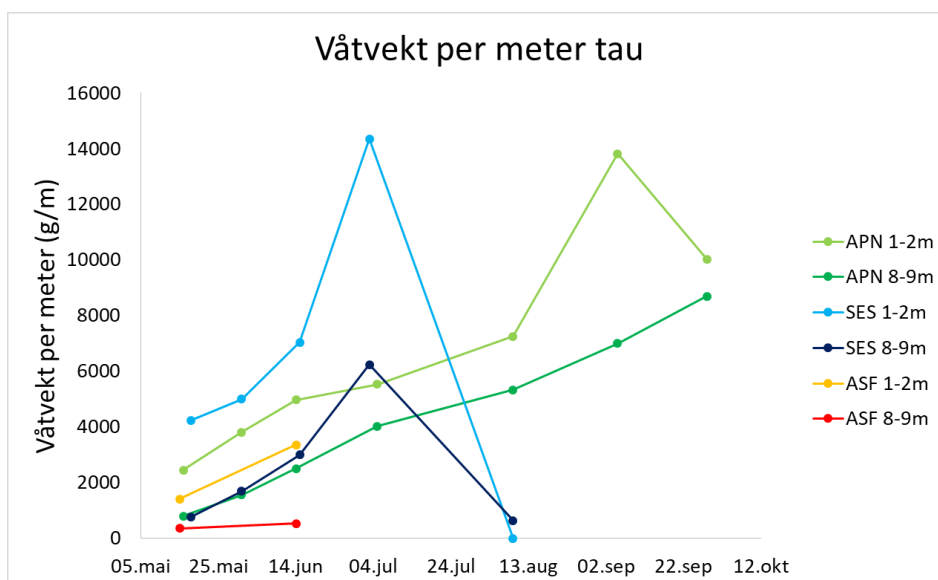
#### 3.13.1 BIOMASSE

Figur 34 viser estimert tørrvekt (a) og våtvekt (b) per meter tau på 2 m og 6 m djup, rekna ut ifrå gjennomsnittleg tørrvekt og våtvekt per individ multiplisert med tettheit algar på tauet. Alle stasjonane hadde høgare vekt av tørrstoff på 2 m enn på 6 m djup. I juni var tørrvekta opp mot 800-900 g per meter tau, og våtvekta opp mot 6 kg tare per meter tau. Figur 35 viser den faktiske målte våtvekta per meter tau på 1-2 m og 8-9 m frå mai til september. Dette gir ein indikasjon på den faktiske biomassen, men målemetoden er ikkje veldig presis då noko overflødig vatn truleg har kome med. SES og APN hadde omlag like høg maksimal biomasse (omlag 14 kg) på 2 m djup. SES hadde maksimal biomasse i starten av juli medan APN hadde maksimal biomasse i starten av september.





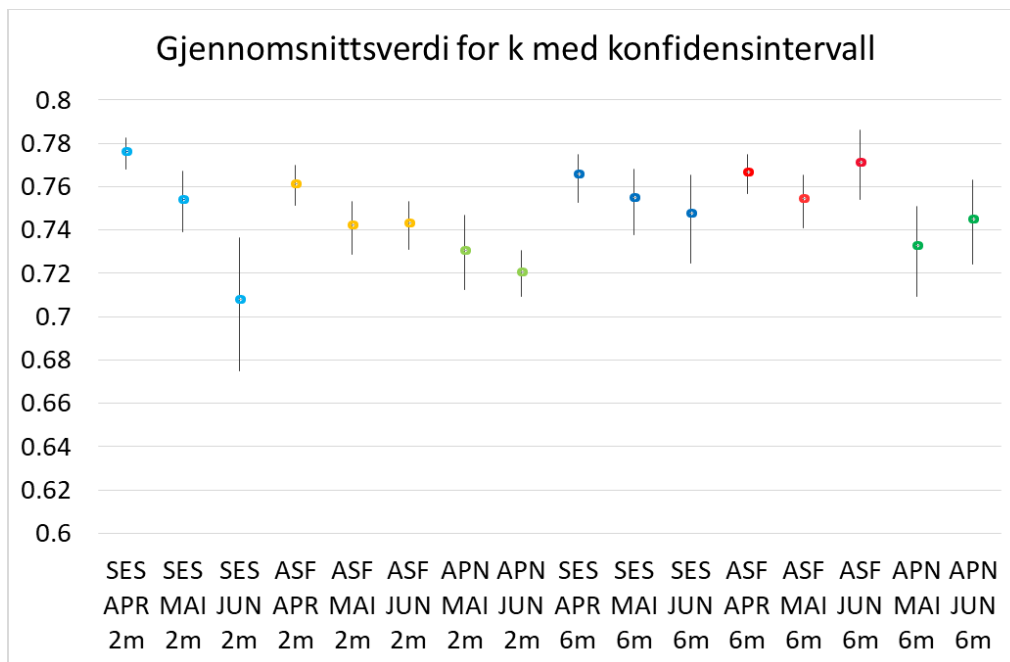
**Figur 34** Estimert tørrvekt (g) (a) og våtvekt (g) (b) per meter tau for *S. latissima* basert på gjennomsnittleg vekt per individ multiplisert med gjennomsnittleg tettheit algar per meter tau.



**Figur 35** Direkte målt våtvekt per meter vertikalt tau for *S. latissima* på 1-2 m og 8-9 m mellom veke 20-39 i 2017.

### 3.3.2 ESTIMERING AV KOEFFISIENT TIL LIKNING (8)

Den morfologiske parameteren  $k$ , som knytter bladareal til lengde og bredde, blei rekna ut ved bruk av Formel (7) for dei ulike stasjonane, djupa og tidspunkta, vist i Figur 36. SES hadde på 2 m djup ein statistisk signifikant nedgang i  $k$ -verdien frå april til juni. På 6 m djup minka  $k$ -verdien også frå april til juni, med endringa var ikkje statistisk signifikant då gjennomsnittsverdien låg innanfor konfidensintervallet til dei andre verdiane.



**Figur 36** Gjennomsnittsverdi for k med konfidensintervall for dei ulike stasjonane, månadane og djupa rekna ut med Bootstrap-analyse (3000 resamplingar). Verdiane er vist i Vedlegg B.

Gjennomsnittsverdien til alle konstantane k vart  $0,748 \pm 0,002$  (SE). Ved å sette inn k-verdien i likning (8) blei formelen for areal:

$$A = 0,748 \pm 0,002 * l * b$$

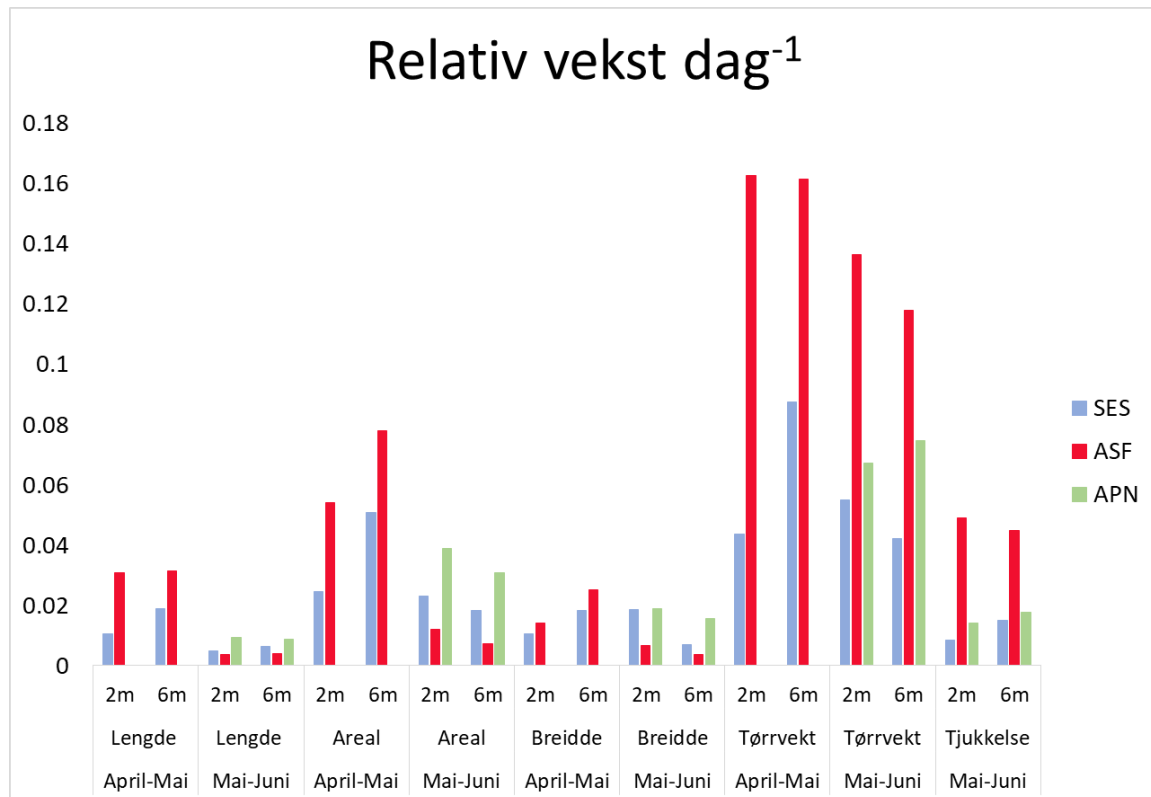
der A er areal, l er lengde, og b er breidde, og 0,748 er gjennomsnittsverdien for konstant  $k \pm$  standardfeil.

### 3.3.3 VEKST PER DAG

Tabell 6 viser kor mykje lengde (cm), areal (cm<sup>2</sup>), breidde (cm), tørrvekt (g) og tjukkeleik (mm) auka i gjennomsnitt per dag frå april til mai og frå mai til juni rekna ut ifrå likning (3). Figur 37 viser relativ vekstrate per dag for lengde, areal, breidde, tørrvekt og tjukkeleik frå april-mai og mai-juni rekna ut ifrå likning (4). Den daglege og relative vekstrata viser ganske ulike verdiar, der den daglege veksten til SES som regel hadde høgare verdiar enn ASF, medan det omvendte var tilfellet for den relative vekstrata. Til dømes var auka i mg tørrvekt per dag større hos SES enn hos ASF, men den relative auka i tørrvekt var mykje høgare hos ASF enn hos SES.

**Tabell 6:** Gjennomsnittleg dagleg vekstrate til lengde (cm), areal (cm<sup>2</sup>), breidde (cm), tørrvekt (g) og tjukkeleik (mm) per dag i perioden frå april-mai og frå mai-juni for *S. latissima*.

Apri l- Mai	Stasjon	2 m djup				6 m djup					
		Lengde (cm/ dag)	Areal (cm <sup>2</sup> / dag)	Breidde (cm/ dag)	Tørrvekt (mg/dag)	Lengde (cm/ dag)	Areal (cm <sup>2</sup> / dag)	Breidd e (cm/ dag)	Tørrvekt (mg/dag)		
		SES	0,454	6,14	0,0725	21,7	0,6179	7,93	0,105	21,88	
ASF	0,603	3,39	0,0551	11,4	0,497	3,62	0,086	6,76			
Mai- Juni	Stasjon	2 m djup					6 m djup				
		Lengde (cm/ dag)	Areal (cm <sup>2</sup> / dag)	Breidde (cm/ dag)	Tørrvekt (mg/dag)	Tjukklei k (µm / dag)	Lengde (cm/ dag)	Areal (cm <sup>2</sup> / dag)	Breidd e (cm/ dag)	Tørrvekt (mg/dag)	Tjukklei k (µm / dag)
		SES	0,277	10	0,169	63,2	3,56	0,328	7,19	0,0607	38,2
ASF	0,136	1,87	0,0357	51,7	10	0,12	1,07	0,0211	26,5	9,2	
APN	0,417	11,7	0,164	36,5	3,6	0,311	6,79	0,119	23,8	4,15	



**Figur 37** Gjennomsnittlig relativ vekst per dag i lengde, areal, breidde, tørrvekt og tjukkeleik til *S. latissima* frå april-mai og mai-juni ved alle stasjonane og begge djupa.



## 4 DISKUSJON

Målet med studien var å sjå på ulike morfologiske trekk til dyrka *S. latissima* og korleis relasjonar mellom dei biometriske variablar er til kvarandre og til biomasse. Relasjonane mellom variablane lengde, bredde, areal og tørrvekt var i stor grad avhengig av storleiken på taren og det var mindre variasjonar mellom stasjonane og djupa, men unntak av taren hos ASF i juni som var veldig begrodd og hadde høg biomasse i forhold til storleiken til algen. Areal hadde sterkast korrelasjon til biomasse ( $R^2 = 0,933$ ), men er vanskelegare å måle i feltet enn lengde og breidde. Ein formel for areal ut ifrå lengde og breiddemålingar blei presentert, og verdiane til konstanten  $k$  i formelen kunne vidare brukast til å seie noko om morfologien til tarebladet. Ein sterk korrelasjon mellom tørrvekt og våtvekt blei framstilt ved ei lineær likning.

### 4.1 PÅVERKNADEN AV ABIOTISKE FAKTORAR OG BEGROING PÅ MORFOLOGIEN LANGS EIN NORD-SØR GRADIENT

Sesongmessige variasjonar i abiotiske faktorar som lys og temperaturar påverkar vesten til makroalgar, spesielt ved høge breddegrader som langs Norskekysten som har ein meir tydeleg sesongmessig variasjon i temperatur, lysintensitet og daglengder enn tempererte vatn. Veksten til *S. latissima* i Arktis er blant anna sterkt bunde til aktiv fotosyntese i det nyvoksande bladet (Dunton, 1985; Henley & Dunton, 1995). Sidan dei tre stasjonane var plassert med ein stor geografisk avstand langs ein nord-sør gradient var det skilnadar i temperatur og lysintensitet mellom stasjonane. Dette kan ha hatt innverknad på skilnadar og vekst og morfologi. Det var tydelege skilnadar mellom temperatur mellom stasjonane, der spesielt APN skilte seg ut med lågare temperaturar enn dei andre stasjonane (ca. 2°C under SES frå april-juni, Figur 10). Veksten var derimot ikkje dårlegare hos APN, som hadde omlag like stor maksimal biomasse som hos SES, men APN hadde maksimal biomasse ca. 2 månadar etter SES (Figur 35). Der verka dermed som APN hadde liknande utvikling i vekst som hos SES, men at den skjedde seinare, mogleg på grunn av lågare temperaturar. ASF og SES fekk også ein klar skilnad i temperatur frå slutten av april, der ASF hadde dei høgste temperaturane (ca. 1-2 grader varmare, vist i Figur 10). Ein fordel med lågare temperaturar er at begroinga potensielt utviklar seg langsamare (Saudners et al., 2009), og at sommartemperaturane ikkje overstig den optimale temperaturen til *S. latissima* (10-15°C i følge Fortes & Lüning 1980; Bolton & Lüning 1982; Lüning & Freshwater 1988) og når temperaturar som kan vere skadeleg for taren. Det er likevel

uvisst kva som var den optimale temperaturen til *S. latissima* ved dei utvalde stasjonane, då veksten var god også ved lågare temperaturar enn 10 grader, og algane kan vere tilpassa ein lågare temperatur enn taren frå dei andre studiane. ASF hadde dei høgaste temperaturane mellom april og juni og var også den stasjonen som var mest påverka av begroing.

### ***Påverknaden av begroing på vekst og morfologi***

Det er mykje som tyder på at den sterke begroinga hos ASF har hatt innverknad på morfologien til taren. Tørrvekt/areal (Figur 13) viste ei stor auke frå mai til juni hos ASF og vart nesten firdobla frå mai til juni på 2 m djup. Også tjukkeleiken hadde ei statistisk signifikant auke ( $P < 0,001$ ) hos ASF frå mai til juni (Figur 19), og den relative auka i tjukkeleik var meir enn dobbelt så stor hos ASF som den var ved SES og APN (Figur 37). Tørrvekta viste også ei stor relativ auke ved ASF mellom alle tidspunkta (Figur 37), spesielt på 2 m djup, medan areal, lengde og bredde auka lite i relativ vekst mellom mai og juni. Dette tyder på at veksten til taren nærmast stoppa opp mellom mai og juni medan veksten til begroinga tok over og stod for i den kraftige veksten i tørrvekt og tjukkeleik. I grafane over dei morfologiske relasjonane mellom tørrvekt mot både lengde, bredde og areal (Figur 30-32) skilte verdiane for ASF i juni seg ut med høgare verdiar i tørrvekt i forhold til dei andre variablane. Sidan ASF ikkje viste denne tydelege forskjellen i relasjonen til tørrvekt mot dei andre stasjonane i april og mai, er det truleg begroinga som har påverka resultata i juni. Innhaldet av nitrogen i tørrstoff skilte seg også ut hos ASF i juni, som gjekk først ned frå april til mai men så steig det igjen i juni medan nitrogeninnhaldet i taren hos dei andre stasjonane fortsette å minke også i juni. Det var forventa at nitrogeninnhaldet i tørrstoffet skulle gå ned også i juni då nitratnivået i sjøen ofte er lågt (Sjøtun, 1993, Schiener et al., 2015), så auka i nitrogen hos ASF i juni skuldast truleg begroing. Resultata frå ASF i juni blei ikkje alltid inkludert når forholdet mellom dei morfologiske relasjonane skulle vurderast, men kan på ei anna side seie noko om kor mykje begroinga kan påverke morfologien og veksten til taren.

## **4.2 FORHOLDET MELLOM VÅTVEKT OG TØRRVEKT**

For å forenkle den repeterande prosessen ved tørking og veiing, blei forholdet mellom tørrvekt (g) og våtvekt (g) i taren uttrykt ved ei lineær likning som beskreib data med høgt statistisk signifikans ( $R^2 > 0,989$ ,  $P < 0,001$ , vist i Tabell 4). Det skal å nevnas at taren var fryst ( $-20^{\circ}$ ) før måling av våtvekt, noko som kan ha hatt påverknad på vatninnhaldet. Det var likevel ikkje ein stor skilnad mellom gjennomsnittleg vatninnhald i taren,  $87,0 \% \pm 0,05 \%$  (SE), og vatninnhaldet til *S. latissima* i tidlegare studiar;  $88,5\%$  (Stagnol et al., 2016) og  $87,6\%$  (Gevaert

et al., 2001). Sidan vatninnhaldet stemte godt overeins med resultat frå tidlegare studiar er det grunn til å tru at det ikkje vart betydeleg påverka av frysinga, og korrelasjonen er truverdig. Korrelasjonen mellom våtvekt og tørrvekt gav dei lineær relasjonane ( $y = ax + b$ ):

$$TV = 0,136 (\pm 0.0005) VV - 0,0299 (\pm 0.0064), R^2 = 0,989$$

$$VV = 7,259 (\pm 0.0274) TV + 0,294 (\pm 0.0461), R^2 = 0,989$$

der TV er tørrvekt, VV er våtvekt, og a og b er koeffisientar med konfidensintervall (SE).

Eit liknande forhold mellom tørrvekt og våtvekt til *S. latissima* vart funne av Gevaert et al. (2001):  $TV = 0.113 VV$ ,  $R^2 = 0,970$ . Ein omgjeringsfaktor mellom våtvekt og tørrvekt gir grunnlag for at ein enkelt kan estimere vatninnhaldet i taren, og gjer det mogleg å samanlikne resultatata med verdiar frå andre studiar (som kan vere uttrykt som anten tørr- eller våtvekt). Dette forholdet kan brukast av blant anna tare dyrkerane.

### 4.3 MORFOLOGISKE RELASJONAR OG TILKNYTING TIL BIOMASSE

I studiet blei det sett på relasjonar mellom dei ulike morfologiske variablane total lengde lamina (cm), maksimal bredde (cm) og projisert areal (cm<sup>2</sup>), og korleis desse variablane var relatert til biomasse (g tørrvekt). Felles for alle relasjonane var at samanhengen mellom morfologiske variablar tilsynelatande hang meir saman med størrelsen på taren enn med variasjon mellom stasjonane, djupa og tidspunkta. Dei små algane hadde ein annan relasjon mellom variablane enn dei store algane (til dømes høgare stigningstal for lengde og bredde enn for areal og tørrvekt). Målepunkta som skilte seg mest ut var ASF i juni, som også hadde kraftig begroing av lamina, men hos dei andre stasjonane og ASF i april og mai var skilnad mest avhengig av storleik (nokre skilnadar er peika ut seinare i teksten).

Forholdet mellom lengde (cm) på lamina og tørrvekt (g) (Figur 30) viste at dei små algane hadde ei større auke i lengde enn i tørrvekt, medan dei største algane hadde større auke i tørrvekt enn i lengde. Grovt sett kan forholdet delast opp i tre fasar, der den første fasa hadde ei rask auke i lengde opp til algen var ~40 cm lang. Deretter var det ei mellomfase der auka i lengde avtok og tørrvekta auka hurtigare mellom ~40-80 cm lengde, og til slutt den siste fasa der auka i tørrvekt var større enn i lengde når algen var omtrent 80-140 cm lang. Det var ingen tydeleg trend i skilnadar mellom stasjonar med unntak av ASF i juni, som hadde større tørrvekt i forhold til lengde enn dei andre stasjonane. Korrelasjonen mellom tørrvekt mot bredde og areal (Figur 31 og 32), og mellom areal mot lengde og breidde (Figur 28 og 29) hadde liknande

vekstmønster som forholdet mellom lengde og tørrvekt, der lengde og bredde auka hurtigare enn areal og tørrvekt blant dei små algane, og omvendt for dei store algane. Dei geometriske trendlinjene var tilpassa både forholdet mellom dei små og store algane, og beskreib datasettet godt ( $0,840 < R^2 < 0,933$ ). Det kunne likevel ha vore interessant å dele opp datasettet etter storleik på taren og sett på skilnadar i stigningstal. Det er viktig å notere at taren blei satt ut i februar og blei målt mellom april og juni, og at det er i dette tidsrommet funksjonen er gyldig. Veksten til *S. latissima* varierer gjennom året (Lüning, 1979, Bartsch et al., 2008), og hadde truleg ikkje passa vekstmønsteret til taren på eit anna tidspunkt på året. Det er likevel interessant å sjå på morfologien i dette tidspunktet (mellom april og juni), sidan det er den perioden det er mest aktuelt å hauste inn tare langs Norskekysten (Handå et al., 2013). Sidan algane ikkje var lengre enn 140 cm er det heller ikkje vist om relasjonen er ulik for algane som er større enn dette, som kunne ha vore tilfellet om taren var sett ut tidlegare (normal tid for utsett av kimplanter er foreløpig mellom oktober-februar, Skjermo, 2016). Det er også truleg ein skilnad ulike miljøvilkår mellom dyrka og kultivert tare, til dømes at påverknadane av havstraumar blir mindre hos kultivert tare då den veks tettare saman med andre. Dei morfologiske relasjonane er tiltenkt å brukast kultivert tare.

Forholdet mellom lengde (cm) og breidde (cm) (Figur 27) hadde mindre variasjon mellom store og små algar, der forholdet mellom lengde og breidde var relativt likt mellom alle storleikane. Det var derimot større variasjonar mellom individa i relasjonane mellom lengde og breidde enn mellom dei andre relasjonane, og det var også noko variasjon mellom stasjonane (kjem tilbake til det). Eit studie av Buck & Buchholz (2005) som tok for seg korrelasjonen mellom lengde og breidde til *S. latissima* og delte vekstrata opp i fire periodar etter størelsen på taren, der breidde først auka hurtig med eit høgt stigningstal og så minka veksten i breidde ettersom veksten i lengde auka. Dette vart forklart med at algane si utvikling reflekterte miljøvilkåra dei voks i ved at dei først voks i alle dimensjonar, og seinare tilpassa seg dei turbulente vatnforholda om vinteren og tidleg vår og fekk eit straumforma blad ved å vekse meir i lengde. Om sommaren var værforholda rolegare, noko som resulterte i ein større variasjon mellom lengde og breidde som til dels var påverka av skugge mellom algane, og seint på sommaren auka breidda raskare enn lengde igjen (Buck & Buchholz, 2005). Eit tilsvarende forholdet mellom lengde og breidde var ikkje like tydeleg i dette studiet, der samplinga skjedde mellom april og juni.

Morfologiske relasjonar mellom vekt og biometriske variablar som lengde, areal og breidde kan vere nyttig for å vidare bruke som tilstands variabel for biomasse i modellar. Forholdet mellom biometri og morfologi til *S. latissima* dyrka langs Norskekysten er ikkje tilstrekkeleg godt kjent,



og sidan korrelasjonane kan vere annleis for tare frå naturlege og kultiverte forhold trengs det nye relasjonar i modellar for veksten til taren i akvakultur. Det finnast i dag fleire måtar å evaluere biomasse på i feltet, men dei fleste av desse metodane er destruktive og arbeidskrevjande. I dette studiet er det blitt forsøkt å evaluere ei serie ulike allometriske likningar. Ved bruk av dei geometriske likningane gir det moglegheit til å vurdere haustingspotensialet til taren ved bruk av ein ikkje-destruktiv metode som kan bli brukt av profesjonelle tarehaustarar i tillegg til forskarar og miljøkonsultantar.

### ***Estimering av biomasse ut frå biometriske variablar***

Forholdet mellom biomasse (tørrvekt) og dei biometriske variablane lengde (cm), bredde (cm), areal (cm<sup>2</sup>), tjukkleik (mm) til *S. latissima* blei presentert og tilpassa ei geometrisk likning. Med tanke på industriell dyrking av tare er biomasse ein interessant variabel å knytte opp til morfologien då føremålet ofte er å få store biomassar. Det er også viktig å etablere biomasse mål som er enkle å bruke, som kan spare prosessen ved å måle tørrstoff eller våtvekt, der ein konverterer lengdemålingar til biomasse. Det var funne ein relativ god positiv relasjon mellom variablane lengde, bredde, areal og tørrvekt ( $0,698 < R^2 < 0,933$ ), og alle relasjonane kan bli brukt med ganske høg tryggleik (Tabell 5). Både lengde, bredde og areal hadde god og signifikant positiv ( $P < 0,001$ ) korrelasjon til tørrvekt. Areal hadde den sterkaste korrelasjonen til tørrvekt ( $R^2 = 0,933$ ), medan korrelasjonen var litt lågare mot lengde ( $R^2 = 0,886$ ) og bredde ( $R^2 = 0,840$ ). Å bruke areal til å estimere biomasse til *S. latissima* er likevel ikkje ein vanleg metode. I eit studie av Stagnol et al. (2016) blei det funne at den biometriske variabelen som best beskrev biomasse varierte med morfologi til tarearten. I artar med ein lang og smal morfologi (derunder *S. latissima*) var biomasse best beskriven av lengde (l), artar med flate blad var best forklart av areal (l\*b), og algar med buskete morfologi var best forklart av volum (L\*O<sup>2</sup>, der O = omkrets, Stagnol et al., 2016). Stagnol et al (2016) rekna ut korrelasjonen mellom lengde og tørrvekt til *S. latissima* og som brukte den same geometriske formelen som i dette studiet ( $Y = ax^b$ ), men hadde ulike koeffisientar for a og b. Ein grunn til denne forskjellen i koeffisientane kan vere at taren frå Stagnol *et al.* (2016) var hausta frå naturlege bestandar, som truleg har ulike miljøforhold enn kultivert tare. I dette studiet er at samplingane er gjort på tre forskjellige stasjonar med god spreining langs Norskekysten, i tillegg til tre tidspunkt mellom april-juni. Både geografiske og tidsmessige variasjonar har blitt teke omsyn til. Med tilsynelatande små skilnadar mellom stasjonar og tid, der forholda for det meste var avhengig av størrelse på taren, kan relasjonen mellom lengde og tørrvekt brukast for dyrka *S. latissima* langs Norskekysten. Gevaert et al. (2001) brukte og lengde til å estimere biomasse til *S.*

*latissima*. Det er likevel fleire ting som tydar på at lengde ikkje er den beste variabelen å knytte til biomasse i dette studiet. Figur 37 viser at den relative veksten til lengde auka lite mellom månadane hos SES og APN, spesielt mellom mai og juni, medan areal og tørrvekt fortsatt hadde høge vekstrater. Figur 16a over gjennomsnittleg lengde viser også at det ikkje var ein statistisk signifikant auke i lengde hos SES eller ASF mellom mai og juni ( $P > 0,05$ ), og Figur 16b viser den same trenden der lengda aukar mindre frå mai til juni enn frå april til mai. Ein grunn til at lengda ikkje auka så mykje mellom mai og juni medan areal og tørrvekt fortsatt hadde ei stor auke kan vere at spesielt større algar er meir utsette for fragmentering av tuppene (Sjøtun, 1993). Lengdemålingar er dermed truleg ikkje den beste måten å estimere biomasse ettersom tuppene blir slitt av, i alle fall ikkje blant dei store algane. Tydelege eksempel på dette er vist i Figur 38 der delar av lamina er slitt bort frå taren hos SES i juni, som vil gje ein låg verdi for lengde medan verdiane for areal og tørrvekt fortsatt er høge. Ein annan grunn til at lengde på lamina ikkje er eigna til biomasseestimering kan vere at taren på sommaren lokaliserer meir vekst i breidda enn i lengda (Sjøtun, 1993), og at veksten i lengda nærmast stoppar opp sjølv om taren fortsatt veks i biomasse. I dette studiet var lengde var i motsetning til andre studiar ikkje den beste variabelen for å estimere biomasse, i alle fall hos dei større algane. Arealet gav den beste korrelasjonen til biomasse, men er ein vanskelegare variabel å måle i feltet enn lengde og breidde.



**Figur 38** Døme på tare som har blitt utsatt for slitasje av fragmentering av tuppene. Frå SES juni 2m djup.

### 4.3 FORMEL FOR AREAL

Areal var den biometriske variabelen som hadde best korrelasjon med biomasse uttrykt som tørrstoff. Det er likevel ikkje ein enkel metode å måle areal av tareblada på i feltet. Konstanten  $k$  i formel for areal (7) funne til å vere  $0,748 \pm 0,002$  (SE). Dette gir ein enkel måte for å estimere areal på ved bruk av lengde og breidde målingar. Den gjennomsnittlege verdien for konstant  $k$  gav følgjande formel for areal:

$$A = 0,748 \pm 0,002 * l * b$$

Verdiane som kan estimerast med formelen stemte bra med formelen som blei presentert av Broch et al. (2013) som estimerte kontanten til å vere 0,75, dette utan empirisk datagrunnlag. Dette gir støtte til å ta i bruk formelen, som da gir ein enkel måte å berekne areal til *S. latissima* ved bruk av enkle målingar av lengde og bredde til lamina. Det berekna arealet kan potensielt deretter brukast vidare i modellar og biomasseestimeringar. Ved bruk av denne formelen er det også mogleg å estimere areal utan å fjerne taren frå miljøet, noko som er nyttig både for taredyrkarar og for forskarar som studerer naturleg voksende sukkertare.

#### **4.4 TAREN SI UTVIKLING I MORFOLOGI OG SKILNADAR MELLOM STASJONAR, DJUP OG STORLEIKEN TIL TAREN**

Studiet viste at det var skilnadar i tørrvekt (Figur 20a) og tørrvekt/areal (Figur 33) mellom stasjonane, tidspunkta og djupa. Sidan % vatninnhald (Figur 23) og karboninnhald i tørrstoffet (Figur 25) haldt seg stabilt gjennom heile perioden frå april til juni er det rimeleg å anta at veksten i tørrvekt og tørrvekt/areal skuldast ei endring i strukturell vekst, som tjukkuleik og bredde, og ikkje det interne tørrstoffet eller karboninnhaldet. Begroing kan og ha påverka biomassen, som truleg er tilfellet hos ASF i juni, men SES og APN var lite påverka av begroing og hadde i tillegg ei stor auke i areal som tyder på at taren fortsatt var i vekst. Karboninnhaldet til *S. latissima* aukar vanlegvis om sommaren pga. lagring av karbohydrat (Black, 1950, Sjøtun, 1993). At karboninnhaldet ikkje var stigande kan tyde på at algane fortsatt var i vekst og forbrakte karbohydrat. ASF kan også ha blitt påverka av karbon i begroinga fordi analysane ikkje skiljar mellom karboninnhaldet i taren og begroinga. Innhald av nitrogen i taren gjekk nedover frå april til juni på alle stasjonane, med unntak av ASF som hadde ei auke i nitrogeninnhaldet frå mai til juni, noko som truleg skuldast begroing. Ein nedgang i nitrogen var forventa då nitrogeninnhaldet minkar om sommaren ettersom det indre lagra nitrogenet blir tynna ut og nitratnivået i sjøen er lågt (Sjøtun, 1993).

##### ***Morfologiske skilnadar mellom store og små algar***

Ettersom taren vart større vart det observert skilnadar i form og morfologiske karaktertrekk til *S. latissima* og taren såg ut til å ha ulike vekstmønster avhengig av storleiken på taren. Dei minste algane var ganske like i morfologi hos alle stasjonane med eit straumforma langt og smalt blad utan tydeleg midtribbe eller krusningar langs kanten. Dei større algane derimot hadde større variasjonar og meir kompleks morfologi, og det var større skilnadar mellom stasjonane.

Vettori & Nikora (2017) fant og ein stor variasjon i morfologiske trekk til *S. latissima* blant algar med lamina lengre enn 400 mm, og føreslo ei «threshold»-grense i lengde til lamina der morfologisk variasjon primært skjedde i algar større enn denne lengda (t.d. 400 mm).

### ***Forskjellar i vekst og morfologi mellom 2 m og 6 m djup***

Det var statistisk signifikante skilnader i tørrvekt, lengde, bredde og areal mellom djupa blant fleire av stasjonane og tidspunkta (Vedlegg A). Tørrvekta viste statistisk signifikante skilnader på dei fleste stasjonane og tidspunkta ( $P < 0,05$ , med unntak av SES mai ( $P = 0,261$ ) og APN juni ( $P = 0,055$ )), som viste at tørrvekta ofte var større på 2 m enn 6 m djup. Tørrvekta/areal viste også ein statistisk signifikant skilnad mellom djupa ( $R < 0,05$ ). Sjølv om det ikkje var ein stor forskjell i vatninnhald på 2 m og 6 m djup ( $< 1\%$ ) var skilnaden statistisk signifikant ( $P = 0,001$ ), der taren på 6 m djup hadde noko større vatninnhald enn taren på 2 m djup. Noko av forklaringa på dette kan ligge i karboninnhaldet, som såg ut til å vere høgare på 2 m enn 6 m djup (Figur 25). Dette kan også forklare kvifor tørrvekta og tørrvekta/areal (Figur 20a og 33) var høgare på 2 m, då karboninnhaldet i taren var høgare på 2 m enn 6 m djup og vanninnhaldet lågare på 2 m djup.

### ***Morfologiske skilnader mellom stasjonane***

Sjølv om relasjonane mellom ulike morfologiske variablar såg ut til å vere hovudsakleg knyta til storleik, var det også noko skilnader mellom stasjonane. Figur 29 over areal mot bredde og Figur 27 lengde mot bredde viser at ved same bredda var arealet og lengda større hos SES enn hos APN. Vedlegg A viser også at SES hadde eit statistisk signifikant lengre lamina enn APN i mai og juni ( $P < 0,05$ , med unntak av i juni på 2m djup ( $P = 0,0394$ )), men det var ikkje ein statistisk signifikant forskjell i bredde eller areal mellom stasjonane ( $P > 0,05$ , med unntak av areal i mai på 6m djup ( $P = 0,015$ )). Dette tyder på at algane var breiare hos APN enn hos SES i forhold til lengde og areal. Tørrvekta ( $P < 0,05$ , med unntak av juni på 6m djup ( $P > 0,05$ )) og tjukkeleiken ( $P < 0,001$ ) hadde statistisk signifikant høgare verdiar hos SES enn APN i mai og juni, noko som viste at biomassen var større hos SES enn APN sjølv om det ikkje var statistisk signifikante forskjellar i arealet. Ein del av forklaringa på at SES hadde høgare biomasse men like stort areal som APN kan vere at tjukkeleiken (Figur 19) og tørrvekt/areal (Figur 33) var høgare hos SES enn APN, som var statistisk signifikant forskjellig mellom SES og APN i mai og juni ( $P < 0,01$ ). At tørrvekta/areal var lågare hos APN kan vere på grunn av tjukkeleiken, men også innhaldet i taren. Analysane av karbon viste at karboninnhaldet var noko høgare hos SES enn APN i april og mai, som kan ha gitt SES noko større tørrvekt/areal enn APN, men i juni

var det ikkje ein tydeleg forskjell. Grunnen til at APN hadde breiare og tynnare blad i forhold til SES kan vere at stasjonen ligger på ein meir beskytta lokalitet. Fleire studiar har vist at taren ofte er breiare og tynnare på beskytta lokalitetar, medan eksponerte lokalitetar har smalare og tjukkare lamina (Norton et al., 1981, 1982). Den observerte forskjellen i morfologi mellom APN og SES kan dermed vere ei tilpassing til ulik grad av eksponering og påverknad av vatnstraumar. Eit anna kjenneteikn til beskytta lokalitetar er at bladet er meir bølgete og har krusningar langs kanten (Norton et al., 1981, 1982). Alle tre stasjonane hadde slike krusningar langs kanten spesielt blant dei større algane. SES var til og med den stasjonen med tydelegast midtribbe, denne var nesten ikkje var til synleg hos APN. Dette tydar på at ingen av stasjonane hadde den typiske forma til ein eksponert lokalitet.

### ***k-verdien i formel for areal (8) kan seie noko om morfologien***

Diskusjonen ovanfor viste at sjølv om ikkje lengde og breidde målingane hadde ei stor auke, spesielt mellom mai og juni då auka ikkje var statistisk signifikant ( $P > 0,05$ , med unntak av hos SES på 6 m djup ( $P = 0,001$ )), fortsette likevel arealet og tørrvekta å vekse (Figur 37). Sidan vatninnhaldet og karboninnhaldet var stabilt (Figur 23 og 25) skuldast truleg endringa i tørrvekt strukturelle endringar i vekst eller begroing på taren. Forskjellar i  $k$ -verdiar i formelen for areal (Figur 36) kan seie noko om korleis taremorfologien endrar seg. Dei små algane var ofte lange og smale med lite variasjonar i breidda gjennom lamina, som gir eit tilnærma «firkanta» lamina og ein høg  $k$ -verdi (arealet omtrent lik  $l*b$ , Figur 9). Hos SES og APN vart det observert ei stor auke i bredde i det ny-veksande vevet, som gav ein stor skilnad i bredde mellom den øvre og nedre delen av lamina. Dette vil gje ein lågare  $k$ -verdi då algen si form blir meir tilnærma ei «drageform» enn firkanta (arealet omtrent lik  $(l*b)/2$ , vist i Figur 9). Forskjellar i  $k$ -verdi mellom stasjonar og mellom månadane (Figur 36) kan dermed seie noko om dei ulike morfologiske formene.  $k$ -verdien var hos dei fleste stasjonane og djupa størst i april og lågast juni (Figur 36).  $k$ -verdien for SES på 2m djup viste ein statistisk signifikant nedgang i  $k$ -verdien mellom april, mai og juni. Denne forandringa i  $k$ -verdi kan vise at taren gjekk frå å vekse like mykje i lengde og breidde, og dermed få ein lang og smal lamina med lite variasjonar i bredde gjennom lamina, til å allokere meir vekst i breidda slik at det nyleg danna vevet til lamina blei breiare enn det eldre vevet nærmare tuppen. Figur 39b viser eksempel på tare hos SES med høg  $k$ -verdi i april ( $k = 0,810$ ) som hadde eit langt og smalt lamina. Figur 40a og b viser eit eksempel på tare med låg  $k$ -verdi hos SES i juni ( $k = 0,654$  og  $k = 0,629$ ) som hadde eit breitt nedre parti nærme stilken og smale tupper (omtrent drageforma). Figur 37 viser også at den relative vekstrata i bredde var omtrent lik frå april-mai og frå mai-juni hos SES og APN, medan den

relative veksten i lengda var mykje lågare frå mai-juni enn frå april-mai, som støttar opp resultatata frå endringa i k-verdi om at algane allokere meir vekst i breidda enn i lengda når algen blir større. Denne endringa i k-verdi indikerer at taren går frå å ha lange og smale lamina blant dei små algane, til å vokse meir i breidda blant dei større algane i mai og juni. Sjøtun (1993) studerte forholdet mellom lengde og breidda til *S. latissima*, og fant ein sesongmessig variasjon i breidda til lamina der veksten vart retta meir mot breidda enn i lengda i perioden med sakte vekst på sommaren samanlikna med perioden med hurtig vekst frå desember til juni. Det er ikkje klart kvifor denne sesongmessige vekstfordelinga skjer. Moglege forklaringar kan vere at det er eit genetisk tinga trekk som automatisk rettar veksten i breidda når den totale veksten blir redusert om sommaren (Sjøtun, 1993). Alternativt kan miljøfaktorar framkalle ei sesongmessig endring i meristemaktiviteten til algane (Sjøtun, 1993). Ein strategi for å allokere veksten i breidda kan vere fordelaktig ettersom det fører til utvikling av eit større areal til lamina til hausten. Store lamina er meir utsett for fragmentering i tuppene enn korte algar (Sjøtun, 1993). Oppretthalding av ei høg vekstrate i lengde om sommaren ville dermed ikkje ført til ein lenger og brei lamina, men til ei høgare utskifting av laminavev. Den observerte auka i breidda blant dei store algane hos SES og APN kan dermed føre til at det nye vevet blir bevart lenger, og utvidinga av arealet gjennom å allokere meir vekst i breidda kan bli tolka som ein strategi for å maksimere den årlege produksjonen. ASF hadde ikkje den same forandringa i k-verdi og morfologi som SES og APN. Algane voks veldig lite i lengde, breidda og areal mellom mai og juni (Figur 37). Den sterke begroinga har truleg hemma veksten og hindra algen i å fortsette å utvikle seg, og forma i juni var meir lik slik forma var i april og mai (Figur 41) utan stor auke i breidda.



**Figur 39** Eksempel på tare med høg k-verdi: a) APN mai 1m ( $k = 0,83$ ) og b) SES april 2m ( $k = 0,81$ )

a)



b)



**Figur 40** Eksempel på tare med låge k-verdiar: a) SES juni 2m ( $k = 0,654$ ), b) SES juni 2m ( $k = 0,629$ ).



**Figur 41** Eksemplar av *S. latissima* hos ASF i juni ( $k = 0,784$ ).

#### 4.5 VIDARE ANBEFALINGAR

Studiet hadde eit stort datagrunnlag ( $N=800$ ) til å studere morfologiske relasjonar og morfologiske eigenskapar. Det var likevel ikkje så lett å samanlikne data mellom stasjonane, då eine feltarbeidet blei avlyst for APN og ASF var svært påverka av begroing i juni. Det hadde vore ein fordel å hatt innsamlingar på fleire tidspunkt, som også hadde gitt eit betre indikasjon på korleis morfologien blei endra samstundes som det hadde vore mindre sjanse for at uføresette hendingar som dårleg vær og avlyst feltarbeid får ein stor konsekvens på resultatane. For å få meir data om variasjonen langs Norskekysten kunne fleire stasjonar blitt involvert, gjerne lenger nord og sør langs kysten.

Fleire av dei morfologiske målingane kunne blitt gjort på ein annan måte. Data frå lengde på stilk blei utelatt frå studiet. På fleire av bileta var ikkje stilken synleg, og dersom den låg bøygd blei lengda målt kortare enn den eigentleg var. Det enklaste hadde truleg vore å målt lengde på

stilken direkte på taren, eller å sørgje for at den låg godt synleg i biletet. Tjukkleiken vart berre målt på eit punkt. Sidan tjukkleiken til lamina varierer på langs og tvers av bladet hadde fleire målepunkt truleg gitt eit betre estimat, til dømes som i Vettori & Nikora (2017) som målte tjukkleiken 2 cm frå der lamina startar etter stilken, ved 0,25 lengde, 0,5 lengde og 0,75 lengde. Bredde kunne også blitt målt på fleire punkt, sidan den kan variere mykje gjennom lamina, og variasjonen kan seie mykje om utviklinga i morfologien. Til dømes har små algar ofte lite variasjonar gjennom bladet, medan større algar kan ha store variasjonar. Lengda til lamina blei estimert ut ifrå tommestokken i bileta. Dersom taren låg litt skeivt eller taren var bøygd blei lengda noko underestimert. Det hadde kanskje vore meir presist blant desse algane å måle lengda direkte på taren eller sørgje for at den låg rettast mogleg i biletet. Tettheita til algar i eit 20 cm segment viste ingen klare forskjellar mellom stasjonane eller tidspunkta. Det er ein moglegheit for at antal algar blei telt forskjellig mellom målingane då det ofte var mange små algar som låg innimellom dei store algane og som ikkje var lette å sjå. Ved å ikkje ta med dei minste algane (til dømes under 5 cm) kan ein unngå dette problemet.

Utvalet av algar blei gjort tilfeldig, slik at både store og små algar kom med. Det var veldig store variasjonar på alle stasjonane og tidspunkta, som er naturleg då nokre algar blir avgrensa av til dømes lys og blir aldri særleg store. Ein annan metode kunne ha vore å plukka dei største algane, sidan desse er dei som utgjer mesteparten av biomassa og er av mest interesse for industrien. Det var alltid stor variasjon i størrelsen på taren, og ved å få med mange små algar er det ikkje sikkert dei representerer mesteparten biomassen som er på taua. Er på ei anna side interessant å sjå om morfologien er ulik mellom dei store og dei små algane.

Arealet vart estimert som projisert areal, og krusningar langs kanten og bølger blei ikkje tatt omsyn til. Hos nokre av algane kunne det fullstendige arealet blitt estimert, for å sjå kor masse krusningane påverka arealet, og eventuelt om det hadde stor innverknad på dei ulike morfologiske relasjonane mellom areal og dei andre variablar og på formelen for areal.



## 5 KONKLUSJON

Relasjonen mellom dei morfologiske variablane lengde (cm), bredde (cm), areal (cm<sup>2</sup>) og tørrvekt (g) var tilsynelatande hovudsakleg bestemt av storleiken til taren og i mindre grad påverka av breddegrad og djup. Dei små algane voks hurtigare i lengde og bredde enn dei større algane, og areal og tørrvekt auka hurtigare etter taren hadde nådd ein viss storleik.

Allometriske likningar mellom biomasse og biometriske variablar som lengde, areal og bredde er nyttige for å evaluere den temporale utviklinga av biomasse og kan spare tidkrevjande arbeid med å vege og tørke taren. Det vart funne ein relativt god positiv relasjon mellom tørrvekt og dei biometriske variablane lengde, bredde og areal ( $0,698 < R^2 < 0,933$ ), og alle relasjonane kan bli brukt med høg sikkerheit. Areal var likevel variabelen som hadde sterkast korrelasjon ( $R^2 = 0,933$ ), og kan bli anbefalt å bruke i biomasseestimatar i motsetning til lengde som ofte har blitt brukt i tidlegare studiar. Lengde kan spesielt blant dei større algane bli påverka av fragmentering av tuppene og er truleg ikkje den beste måten å estimere biomasse på. Sjølv om areal hadde den beste korrelasjonen til biomasse er det ikkje ein enkel måte å måle areal av tareblada i feltet. Ein enkel formel for areal til *S. latissima* blei presentert, der arealet kan estimerast formelen  $A = 0,748 \pm 0,002 * \text{lengde} * \text{bredde}$ .

Ein sterk korrelasjon mellom våtvekt og tørrvekt ( $R^2 = 0,989$ ) blei funne og uttrykt ved ei lineær likning  $TV = 0,136 \pm 0,0005 VV - 0,0299 \pm 0,0064$ . Dette gir ein enkel omrekningsfaktor mellom tørrvekt og våtvekt som kan brukast av taredyrkarane for å forenkle den repeterande prosessen ved tørking og måling.

Ettersom taren vart større vart det observert forskjellar i form og morfologiske karaktertrekk, og mellom stasjonane og djupa var det også forskjellar. Dei minste algane hadde straumforma blad utan tydeleg midtribbe eller krusningar langs kanten, medan dei større algane hadde meir kompleks morfologi. Forskjellar i k-verdien i formel for areal indikerte at taren hos spesielt SES gjekk frå å ha eit smalt og langt blad i april, til å allokere meir vekst i bredda i det nye vevet i juni og som gav algen eit drageforma blad med store forskjellar i bredde gjennom bladet. Dette kan vere ei tilpassing til auka fragmentering av tuppene blant dei store algane og ved å endre form kan meir av biomassen bli bevart.



## 6 KJELDER

Almanza, V., & Buschmann, A. H. (2013). The ecological importance of *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyta) forests towards a sustainable management and exploitation of Chilean coastal benthic co-management areas. *International Journal of Environment and Sustainable Development*, 12(4), 341-360.

Anis, M., Ahmed, S., & Hasan, M. (2017). Algae as nutrition, medicine and cosmetic: the forgotten history, present status and future trends. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6, 1934-1959.

ARTSDATABANKEN (2006) *Sukkertare*  
<http://www2.artsdatabanken.no/faktaark/Faktaark5.pdf>,  
[Opna 07.02.2018].

Aure, J., & Ljøen, R. (1988). Wind effects on the lateral extension of the Norwegian Coastal Water. *Continental Shelf Research*, 8(3), 239-253.

Bartsch, I., Wiencke, C., Bischof, K., Buchholz, C. M., Buck, B. H., Eggert, A., ... & Karsten, U. (2008). The genus *Laminaria* sensu lato: recent insights and developments. *European Journal of Phycology*, 43(1), 1-86.

Bixler, H. J., & Porse, H. (2011). A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), 321-335.

Black, W. Á. (1950). The seasonal variation in weight and chemical composition of the common British Laminariaceae. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 29(1), 45-72.

Bolton, J. J., & Lüning, K. (1982). Optimal growth and maximal survival temperatures of Atlantic *Laminaria* species (Phaeophyta) in culture. *Marine Biology*, 66(1), 89-94.

Broch, O. J., Ellingsen, I. H., Forbord, S., Wang, X., Volent, Z., Alver, M. O., ... & Olsen, Y. (2013). Modelling the cultivation and bioremediation potential of the kelp *Saccharina latissima* in close proximity to an exposed salmon farm in Norway. *Aquaculture Environment Interactions*, 4(2), 187-206.

Broch, O. J., & Slagstad, D. (2012). Modelling seasonal growth and composition of the kelp *Saccharina latissima*. *Journal of applied phycology*, 24(4), 759-776.

- Buck, B. H., & Buchholz, C. M. (2005). Response of offshore cultivated *Laminaria saccharina* to hydrodynamic forcing in the North Sea. *Aquaculture*, 250(3-4), 674-691.
- Buschmann, A. H., Camus, C., Infante, J., Neori, A., Israel, Á., Hernández-González, M. C., ... & Critchley, A. T. (2017). Seaweed production: overview of the global state of exploitation, farming and emerging research activity. *European Journal of Phycology*, 52(4), 391-406.
- Chan, J. C. C., Cheung, P. C. K., & Ang, P. O. (1997). Comparative studies on the effect of three drying methods on the nutritional composition of seaweed *Sargassum hemiphyllum* (Turn.) C. Ag. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(8), 3056-3059.
- Chapman, A. R. O. (1973). Phenetic variability of stipe morphology in relation to season, exposure, and depth in the non-digitate complex of *Laminaria* Lamour. (Phaeophyta, Laminariales) in Nova Scotia. *Phycologia*, 12(1), 53-57.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., ... & Lescure, J. P. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87-99.
- Chung, I. K., Beardall, J., Mehta, S., Sahoo, D., & Stojkovic, S. (2011). Using marine macroalgae for carbon sequestration: a critical appraisal. *Journal of Applied Phycology*, 23(5), 877-886.
- Duarte, P., & Ferreira, J. G. (1997). A model for the simulation of macroalgal population dynamics and productivity. *Ecological modelling*, 98(2-3), 199-214.
- Dunton, K. H. (1985). Growth of dark-exposed *Laminaria saccharina* (L.) Lamour. and *Laminaria solidungula* J. Ag. (Laminariales: phaeophyta) in the Alaskan Beaufort Sea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 94(1-3), 181-189.
- FAO (2016). The State of World Fisheries and Aquaculture 2016 (SOFIA).
- Forbord, S., Steinhovden, K. B., Rød, K. K., Handå, A., & Skjermo, J. (2017). Cultivation protocol for *Saccharina latissima*. *Protocols for Macroalgae Research*
- Fortes, M. D., & Lüning, K. (1980). Growth rates of North Sea macroalgae in relation to temperature, irradiance and photoperiod. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 34(1), 15.
- Friedlander, M. (1991). Growth rate, epiphyte biomass and agar yield of *Gracilaria conferta* in an annual outdoor experiment. 1. Irradiance and nitrogen. *Bioresource technology*, 38(2-3), 203-208.

- Friedlander, M., Galai, N., & Farbstein, H. (1990). A model of seaweed growth in an outdoor culture in Israel. *Hydrobiologia*, 204(1), 367-373.
- Gerard, V. A. (1987). Hydrodynamic streamlining of *Laminaria saccharina* Lamour. in response to mechanical stress. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 107(3), 237-244
- Gerard, V. A. (1988). Ecotypic differentiation in light-related traits of the kelp *Laminaria saccharina*. *Marine Biology*, 97(1), 25-36.
- Gerard, V. A., DuBois, K., & Greene, R. (1987). Growth responses of two *Laminaria saccharina* populations to environmental variation. In *Twelfth International Seaweed Symposium* (pp. 229-232). Springer, Dordrecht.
- Gerard, V. A., & Mann, K. H. (1979). Growth and production of *Laminaria longicuris* (Phaeophyta) populations exposed to different intensities of water movement 1. *Journal of Phycology*, 15(1), 33-41.
- Gevaert, F., Davoult, D., Creach, A., Kling, R., Janquin, M. A., Seuront, L., & Lemoine, Y. (2001). Carbon and nitrogen content of *Laminaria saccharina* in the eastern English Channel: biometrics and seasonal variations. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 81(5), 727-734.
- Google maps (2018a). *Figur 5a*. Henta ifrå  
<https://www.google.com/maps/place/60%C2%B008'57.6%22N+5%C2%B009'15.8%22E/@60.0901655,4.7981407,10.01z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d60.1493333!4d5.1544>
- Google maps (2018b). *Figur 5b*. Henta ifrå  
<https://www.google.com/maps/place/63%C2%B042'16.7%22N+8%C2%B052'13.9%22E/@63.7751136,8.3769317,10z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d63.70465!4d8.8705333>
- Google maps (2018c). *Figur 5c*. Henta ifrå  
<https://www.google.com/maps/place/69%C2%B045'15.5%22N+19%C2%B002'10.6%22E/@69.8081777,18.3812078,9.83z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d69.7543167!4d19.0362667>
- Hafting, J. T., Craigie, J. S., Stengel, D. B., Loureiro, R. R., Buschmann, A. H., Yarish, C., ... & Critchley, A. T. (2015). Prospects and challenges for industrial production of seaweed bioactives. *Journal of phycology*, 51(5), 821-837.

- Handå, A., Forbord, S., Broch, O. J., Richardsen, R., Skjermo, J., & Reitan, K. I. (2009). Dyrking og anvendelse av tare, med spesiell fokus på bioenergi i nordområdene. *Sintef report SFH80 A, 92036*.
- Handå, A., Forbord, S., Wang, X., Broch, O. J., Dahle, S. W., Størseth, T. R., ... & Skjermo, J. (2013). Seasonal-and depth-dependent growth of cultivated kelp (*Saccharina latissima*) in close proximity to salmon (*Salmo salar*) aquaculture in Norway. *Aquaculture, 414*, 191-201.
- Henley, W. J., & Dunton, K. H. (1995). A seasonal comparison of carbon, nitrogen, and pigment content in *Laminaria solidungula* and *L. saccharina* (Phaeophyta) in the Alaskan Arctic. *Journal of Phycology, 31*(3), 325-331.
- Hurd, C., Harrison, P., Bischof, K., & Lobban, C. (2014). Water motion. In *Seaweed Ecology and Physiology* (pp. 349-373). Cambridge: Cambridge University Press.  
doi:10.1017/CBO9781139192637.009
- Jonson, J. H., & Freudenberger, D. (2011). Restore and sequester: estimating biomass in native Australian woodland ecosystems for their carbon-funded restoration. *Australian Journal of Botany, 59*(7), 640-653.
- Kain, J. M. (1979). A view of the genus *Laminaria*. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 17*, 101-161.
- Klinger, T., & DeWreede, R. E. (1988). Stipe rings, age, and size in populations of *Laminaria setchellii* Silva (Laminariales, Phaeophyta) in British Columbia, Canada. *Phycologia, 27*(2), 234-240.
- Lehahn, Y., Ingle, K. N., & Golberg, A. (2016). Global potential of offshore and shallow waters macroalgal biorefineries to provide for food, chemicals and energy: feasibility and sustainability. *Algal Research, 17*, 150-160.
- Lüning, K. (1979). Growth strategies of three *Laminaria* species (Phaeophyceae) inhabiting different depth zones in the sublittoral region of Helgoland (North Sea). *Marine Ecology Progress Series, 195-207*.
- Lüning, K., & Freshwater, W. (1988). TEMPERATURE TOLERANCE OF NORTHEAST PACIFIC MARINE ALGAE 1. *Journal of phycology, 24*(3), 310-315.
- Mathieson, A. C., & Guo, Z. (1992). Patterns of furoid reproductive biomass allocation. *British Phycological Journal, 27*(3), 271-292.
- McHugh, D. J. (2003). Seaweeds uses as human foods. *A Guide to the Seaweed Industry*.

- Meland, M. & Rebours, C. (2012). Short description of the Norwegian seaweed industry. *Bioforsk FOKUS*, 7: 275–277.
- Neori, A. (2016). Can sustainable mariculture match agriculture's output. *Global Aquaculture advocate*.
- Norton, T. A., Mathieson, A. C., & Neushul, M. (1981). Morphology and environment. *The biology of seaweeds*, 421, 451.
- Norton, T. A., Mathieson, A. C., & Neushul, M. (1982). A review of some aspects of form and function in seaweeds. *Botanica Marina*, 25(11), 501-510.
- Okada, Y., Sanbonsuga, Y., & Machiguchi, Y. (1985). The effects of temperature on the growth and shape of the early sporophytes of *Laminaria japonica*, *L. ochotensis*, *L. diabolica*, *L. religiosa* and *L. angustata* var. *longissima* in culture. *Bulletin of the Hokkaido Regional Fisheries Research Laboratory*.
- Olafsen, T., Winther, U., Olsen, Y., & Skjermo, J. (2012). Verdiskaping basert på produktive hav i 2050. *Det Kongelige*.
- Paul, K. I., Roxburgh, S. H., England, J. R., Ritson, P., Hobbs, T., Brooksbank, K., ... & Neumann, C. (2013). Development and testing of allometric equations for estimating above-ground biomass of mixed-species environmental plantings. *Forest Ecology and Management*, 310, 483-494.
- Radulovich, R., Neori, A., Valderrama, D., Reddy, C. R. K., Cronin, H., & Forster, J. (2015). Farming of seaweeds. In *Seaweed Sustainability* (pp. 27-59).
- Rebours, C., Marinho-Soriano, E., Zertuche-González, J. A., Hayashi, L., Vásquez, J. A., Kradolfer, P., ... & Hovelsrud, G. (2014). Seaweeds: an opportunity for wealth and sustainable livelihood for coastal communities. *Journal of applied phycology*, 26(5), 1939-1951.
- Rueness, J. (1998). *Alger i farger: en felthåndbok om kystens makroalger*. Almater.
- Sanderson, J. C. (2009). *Bioremediation using seaweed culture: Reducing the environmental impact of sea-cage fish farming through cultivation of seaweed*. VDM Publishing.
- Saunders, M. I., & Metaxas, A. (2009). Effects of temperature, size, and food on the growth of *Membranipora membranacea* in laboratory and field studies. *Marine biology*, 156(11), 2267-2276.

- Schiener, P., Black, K. D., Stanley, M. S., & Green, D. H. (2015). The seasonal variation in the chemical composition of the kelp species *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea*, *Saccharina latissima* and *Alaria esculenta*. *Journal of applied phycology*, 27(1), 363-373.
- Seip, K. L. (1980). A computational model for growth and harvesting of the marine alga *Ascophyllum nodosum*. *Ecological Modelling*, 8, 189-199.
- Sjøtun, K. (1993). Seasonal lamina growth in two age groups of *Laminaria saccharina* (L.) Lamour. in western Norway. *Botanica marina*, 36(5), 433-442.
- Sjøtun, K., & Gunnarsson, K. (1995). Seasonal growth pattern of an Icelandic *Laminaria* population (section *Simplices*, Laminariaceae, Phaeophyta) containing solid- and hollow-stiped plants. *European Journal of Phycology*, 30(4), 281-287.
- Skjermo, J. (2016). Havet som ressurs-fremtidig potensiale i dyrking av tang og tare. *Praktisk økonomi & finans*, 32(03), 265-273.
- Stagnol, D., Macé, M., Destombe, C., & Davoult, D. (2016). Allometric relationships for intertidal macroalgae species of commercial interest. *Journal of Applied Phycology*, 28(6), 3407-3411.
- Stévant, P., Rebours, C., & Chapman, A. (2017). Seaweed aquaculture in Norway: recent industrial developments and future perspectives. *Aquaculture International*, 25(4), 1373-1390.
- Tiwari, B. K., & Troy, D. J. (2015). Seaweed sustainability—food and nonfood applications. In *Seaweed Sustainability* (pp. 1-6).
- Vadas, Sr, R. L., Wright, W. A., & Beal, B. F. (2004). Biomass and productivity of intertidal rockweeds (*Ascophyllum nodosum* LeJolis) in Cobscook Bay. *Northeastern Naturalist*, 11(sp2), 123-142.
- Vásquez, J. A., Zuñiga, S., Tala, F., Piaget, N., Rodríguez, D. C., & Vega, J. A. (2014). Economic valuation of kelp forests in northern Chile: values of goods and services of the ecosystem. *Journal of applied phycology*, 26(2), 1081-1088.
- Vettori, D., & Nikora, V. (2017). Morphological and mechanical properties of blades of *Saccharina latissima*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 196, 1-9.
- Wang, X., Olsen, L. M., Reitan, K. I., & Olsen, Y. (2012). Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, 2(3), 267-283.



Wells, M. L., Potin, P., Craigie, J. S., Raven, J. A., Merchant, S. S., Helliwell, K. E., ... & Brawley, S. H. (2017). Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal of applied phycology*, 29(2), 949-982.

White, W. L., & Wilson, P. (2015). World seaweed utilization. In *Seaweed Sustainability* (pp. 7-25).



## VEDLEGG A – P-VERDIAR

### P-verdiar for forskjellar mellom djup

**Tabell X:** P-verdiar til grafane for lengde, breidde, areal, tørrvekt, tjukkeleik, tettheit, % vatn i taren og tørrvekt/areal mellom djupa 2 m og 6 m på kvar stasjon per månad. Tal merka med raudt hadde ein statistisk signifikant forskjell (P-verdi < 0,05).

Stasjon og månad	Lengde (Figur 16a)	Breidde (Figur 17a)	Areal (Figur 18a)	Tørrvekt (Figur 20a)	Tjukkleik (Figur 19)	Tettleik (Figur 21)	Vatninnhald (Figur 23)	Tørrvekt/areal (Figur 33)
SES APR	P < 0,001	P = 0,016	P = 0,001	P < 0,001		P = 0,602	P = 0,208	P < 0,001
SES MAI	P = 0,204	P = 0,773	P = 0,416	P = 0,261	P = 0,006	P = 0,346	P = 0,396	P = 0,009
SES JUN	P = 0,554	P = 0,005	P = 0,096	P = 0,032	P = 0,809	P = 0,402	P = 0,017	P = 0,001
ASF APR	P = 0,002	P = 0,019	P = 0,004	P = 0,001		P = 0,602	P = 0,491	P < 0,001
ASF MAI	P = 0,028	P = 0,337	P = 0,788	P < 0,001	P = 0,757	P = 0,917	P < 0,001	P < 0,001
ASF JUN	P = 0,011	P = 0,705	P = 0,184	P < 0,001	P = 0,242	P = 0,917	P = 0,944	P < 0,001
APN MAI	P = 0,004	P = 0,052	P = 0,008	P = 0,001	P = 0,022	P = 0,175	P = 0,378	P < 0,001
APN JUN	P = 0,029	P = 0,110	P = 0,090	P = 0,055	P = 0,655	P = 0,754	P = 0,002	P = 0,033

## P-verdiar for forskjellar mellom månedar

**Tabell X:** P-verdiar til grafane for lengde, breidde, areal, tørrvekt, tjukkeleik, tettheit, % vatn i taren og tørrvekt/areal mellom månadane april, mai og juni per stasjon og djup. Tal merka med raudt hadde ein statistisk signifikant forskjell (P-verdi < 0,05).

Stasjon og djup	Periode	Lengde (Figur 16a)	Breidde (Figur 17a)	Areal (Figur 18a)	Tørrvekt (Figur 20a)	Tjukkleik (Figur 19)	Tettleik (Figur 21)	Vatninnhald (Figur 23)	Tørrvekt/areal (Figur 33)
SES 2m	April - Mai	P = 0,007	P = 0,032	P = 0,010	P = 0,002		P > 0,119	P < 0,001	P = 0,001
	Mai - Juni	P = 0,194	P < 0,001	P = 0,041	P = 0,009	P < 0,001	P > 0,119	P = 0,015	P < 0,001
	April - Juni	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001		P > 0,119	P = 0,001	P < 0,001
SES 6m	April - Mai	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001		P > 0,369	P < 0,001	P < 0,001
	Mai - Juni	P = 0,206	P = 0,508	P = 0,328	P = 0,067	P < 0,001	P > 0,369	P = 0,601	P = 0,001
	April - Juni	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001		P > 0,369	P < 0,001	P < 0,001
ASF 2m	April - Mai	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001		P > 0,336	P < 0,001	P < 0,001
	Mai - Juni	P = 1,000	P = 0,075	P = 0,284	P < 0,001	P < 0,001	P > 0,336	P < 0,001	P < 0,001
	April - Juni	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001		P > 0,336	P < 0,001	P < 0,001
ASF 6m	April - Mai	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001		P > 0,061	P < 0,001	P < 0,001
	Mai - Juni	P = 1,000	P = 0,914	P = 1,000	P < 0,001	P < 0,001	P > 0,061	P = 0,015	P < 0,001
	April - Juni	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001		P > 0,061	P < 0,001	P < 0,001
APN 2m	Mai-Juni	P = 0,015	P = 0,001	P = 0,003	P < 0,001	P < 0,001	P = 0,021	P = 0,114	P < 0,001
APN 6m	Mai-Juni	P = 0,005	P = 0,000	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001	P = 0,047	P = 0,428	P < 0,001

## P-verdiar for forskjellar mellom stasjonar

**Tabell X:** P-verdiar til grafane for lengde, breidde, areal, tørrvekt, tjukkeleik, tettheit, % vatn i taren og tørrvekt/areal mellom stasjonane SES, ASF og APN for april, mai og juni på 2 m og 6 m djup. Tal merka med raudt hadde ein statistisk signifikant forskjell ( $P < 0,05$ ).

Månad og djup	Stasjonar	Lengde (Figur 16a)	Breidde (Figur 17a)	Areal (Figur 18a)	Tørrvekt (Figur 20a)	Tjukkleik (Figur 19)	Tettleik (Figur 21)	Vatninnhald (Figur 23)	Tørrvekt/areal (Figur 33)
APR 2m	SES og ASF	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001		P = 0,754	P < 0,001	P < 0,001
	SES og ASF	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001		P = 0,834	P < 0,001	P < 0,001
MAI 2m	SES og ASF	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001	P = 0,005	P < 0,001	P = 1
	SES og APN	P = 0,021	P = 0,849	P = 0,229	P = 0,003	P < 0,001	P = 0,007	P = 1	P < 0,001
	APN og ASF	P = 0,058	P < 0,001	P < 0,001	P = 0,550	P = 0,003	P = 0,991	P < 0,001	P < 0,001
MAI 6m	SES og ASF	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001	P = 0,003	P = 0,022	P < 0,001
	SES og APN	P = 0,001	P = 0,058	P = 0,015	P < 0,001	P < 0,001	P = 0,027	P = 0,114	P < 0,001
	APN og ASF	P = 0,701	P = 0,005	P = 0,136	P = 1,000	P = 0,163	P = 0,422	P < 0,001	P = 0,018
JUN 2m	SES og ASF	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001	P = 0,624	P = 0,739	P > 0,102	P < 0,001	P < 0,001
	SES og APN	P = 0,394	P = 1,000	P = 1,000	P = 0,031	P < 0,001	P > 0,102	P = 0,123	P < 0,001
	APN og ASF	P = 0,001	P < 0,001	P < 0,001	P = 0,573	P < 0,001	P > 0,102	P = 1	P < 0,001
JUN 6m	SES og ASF	P < 0,001	P < 0,001	P < 0,001	P > 0,065	P = 0,625	P > 0,309	P = 0,856	P < 0,001
	SES og APN	P = 0,011	P = 1,000	P = 0,881	P > 0,065	P < 0,001	P > 0,309	P = 0,001	P = 0,003
	APN og ASF	P = 0,002	P < 0,001	P < 0,001	P > 0,065	P < 0,001	P > 0,309	P = 0,009	P < 0,001



## VEDLEGG B – K-VERDIAR I FORMEL FOR AREAL

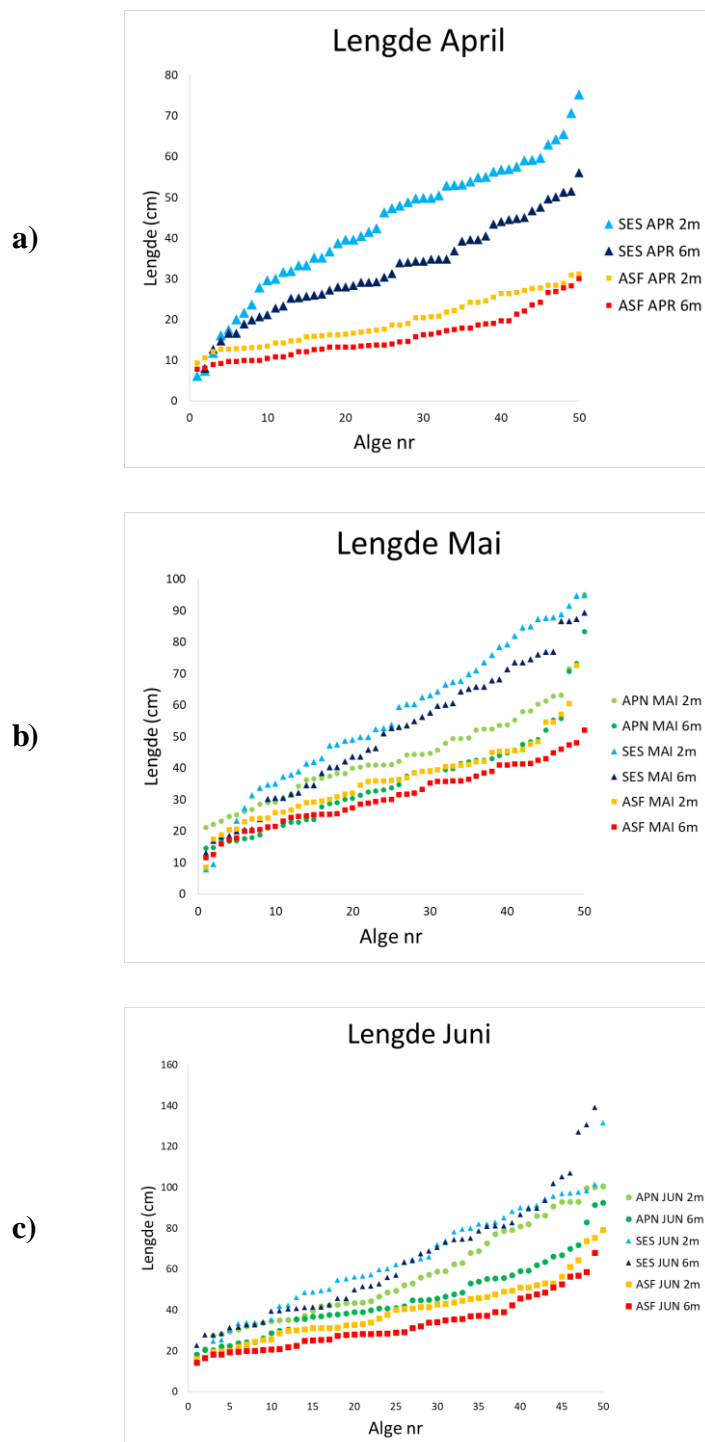
**Tabell 1:** Gjennomsnittsverdien for konstant k i formel for areal (7) med konfidensintervall i hakeparantes for dei ulike stasjonane rekna ved Bootstrap-analyse med 3000 resamplingar.

Stasjon	APN		SES			ASF		
	Mai	Juni	April	Mai	Juni	April	Mai	Juni
<b>2 m djup</b>	0,73 [0,713, 0,747]	0,72 [0,709, 0,73]	0,776 [0,768, 0,783]	0,754 [0,739, 0,767]	0,707 [0,675, 0,736]	0,761 [0,751, 0,77]	0,742 [0,729, 0,753]	0,743 [0,731, 0,753]
<b>6 m djup</b>	0,732 [0,709, 0,751]	0,745 [0,724, 0,763]	0,765 [0,753, 0,775]	0,755 [0,738, 0,768]	0,747 [0,725, 0,765]	0,766 [0,757, 0,775]	0,754 [0,741, 0,766]	0,771 [0,754, 0,786]



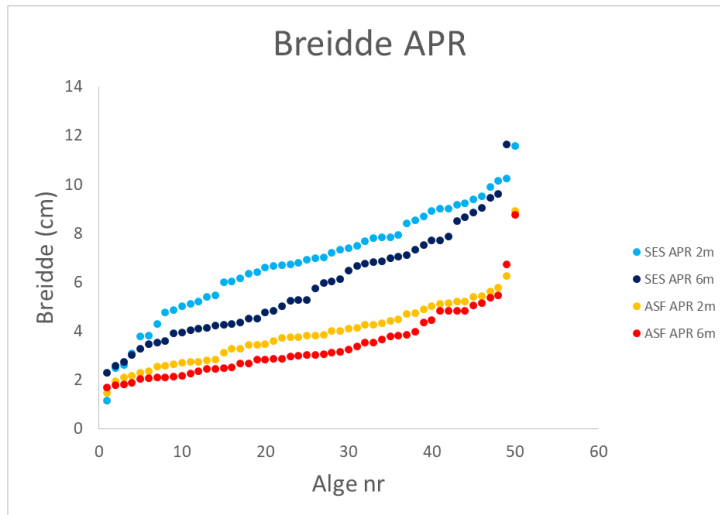


## VEDLEGG C – DATA TIL LENGDE, BREDDE, AREAL, TJUKKLEIK OG TØRRVEKT

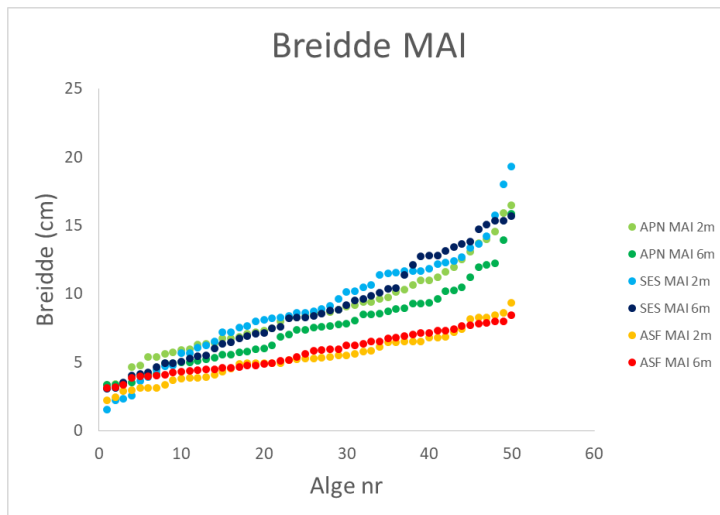


**Figur 1:** Alle data for lengde (cm) til *S. latissima* i april (a), mai (b) og juni (c) ved tre stasjonar på to ulike djup.

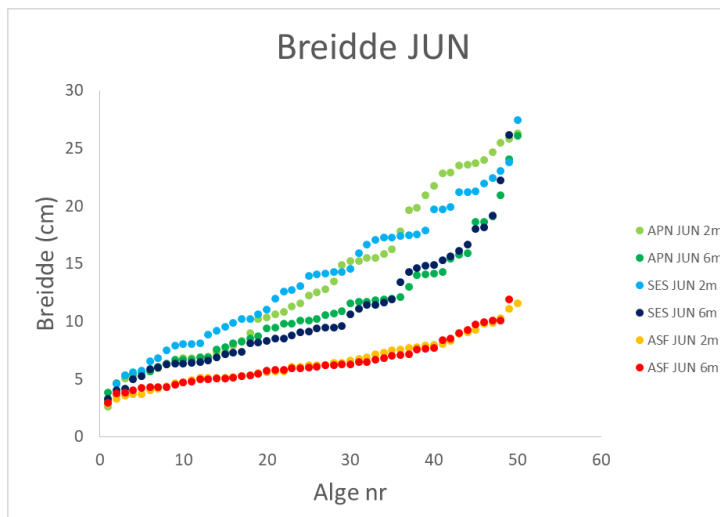
a)



b)

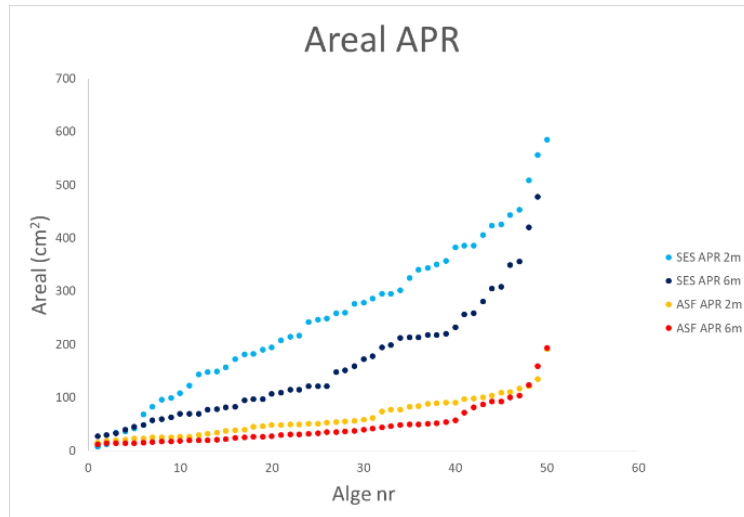


c)

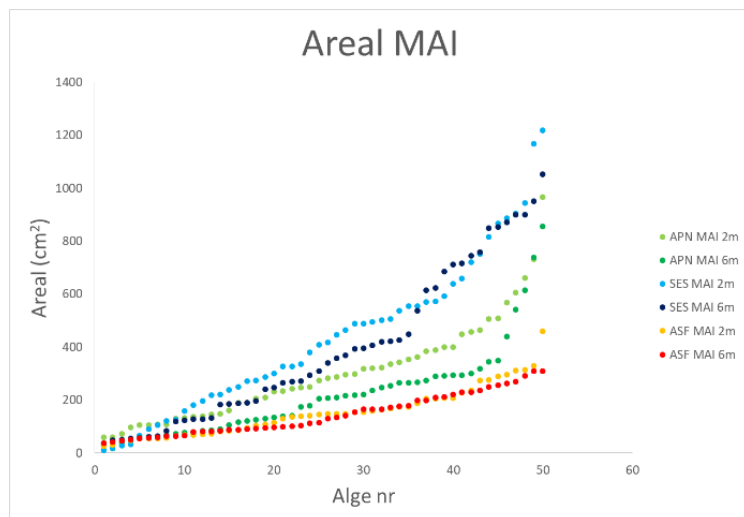


**Figur 10:** Alle data for bredde (cm) til *S. latissima* i april (a), mai (b) og juni (c) ved tre stasjonar på to ulike djup.

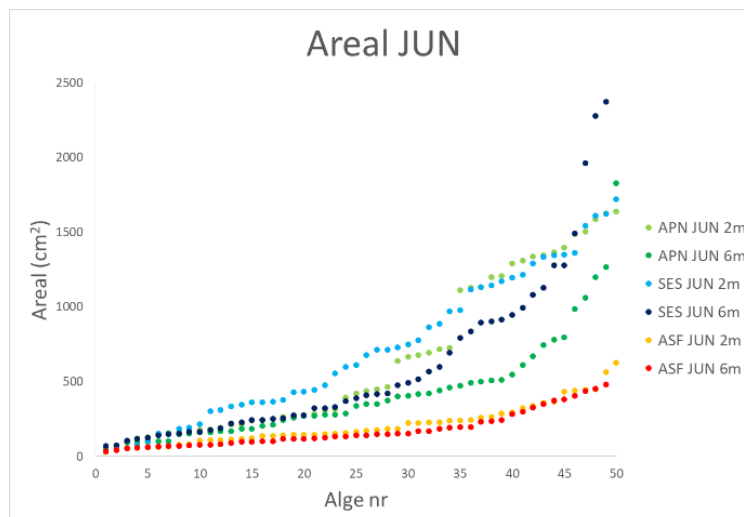
a)



b)

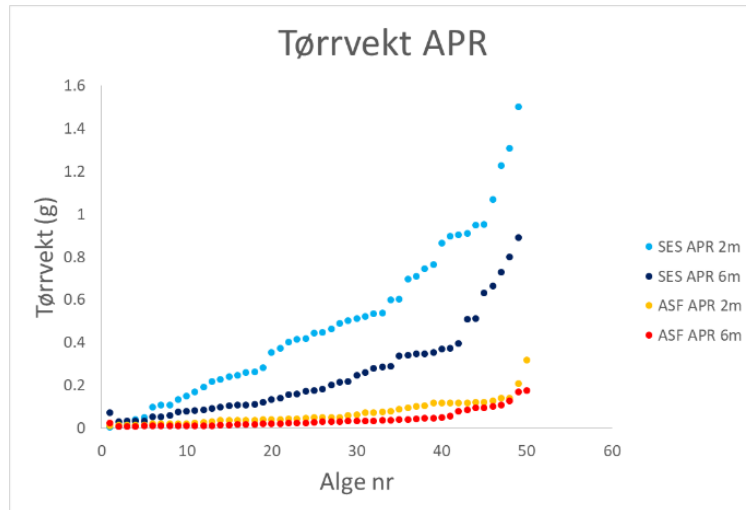


c)

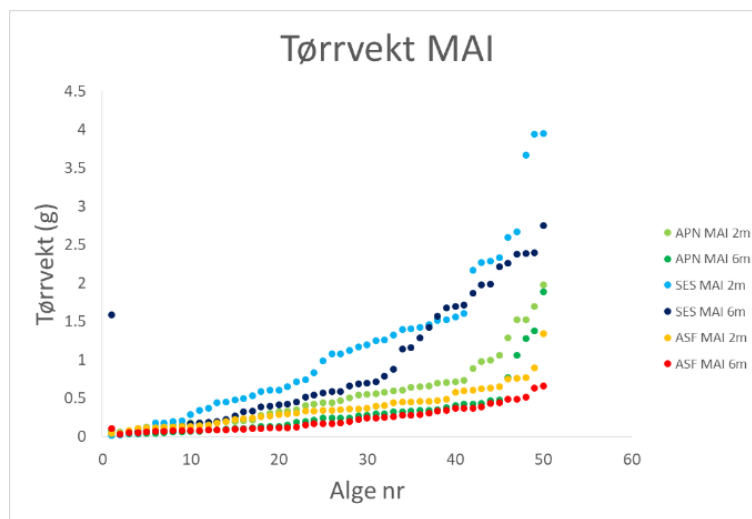


**Figur 12:** Alle data for areal (cm<sup>2</sup>) til *S. latissima* i april (a), mai (b) og juni (c) ved tre stasjoner på to ulike djup.

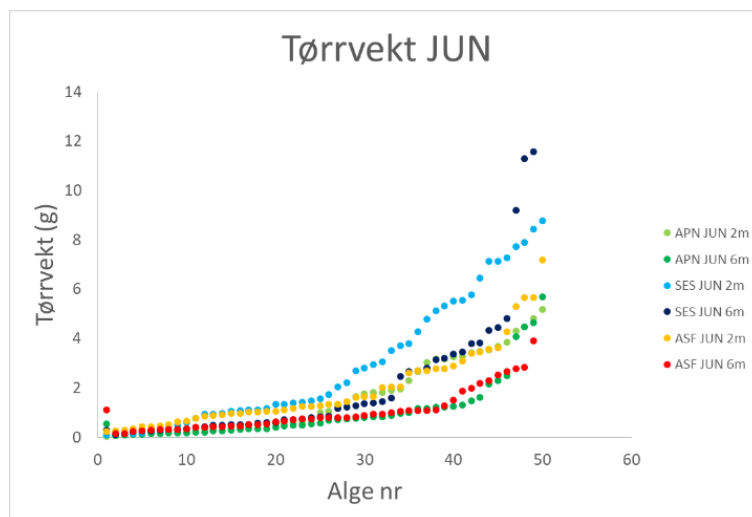
a)



b)

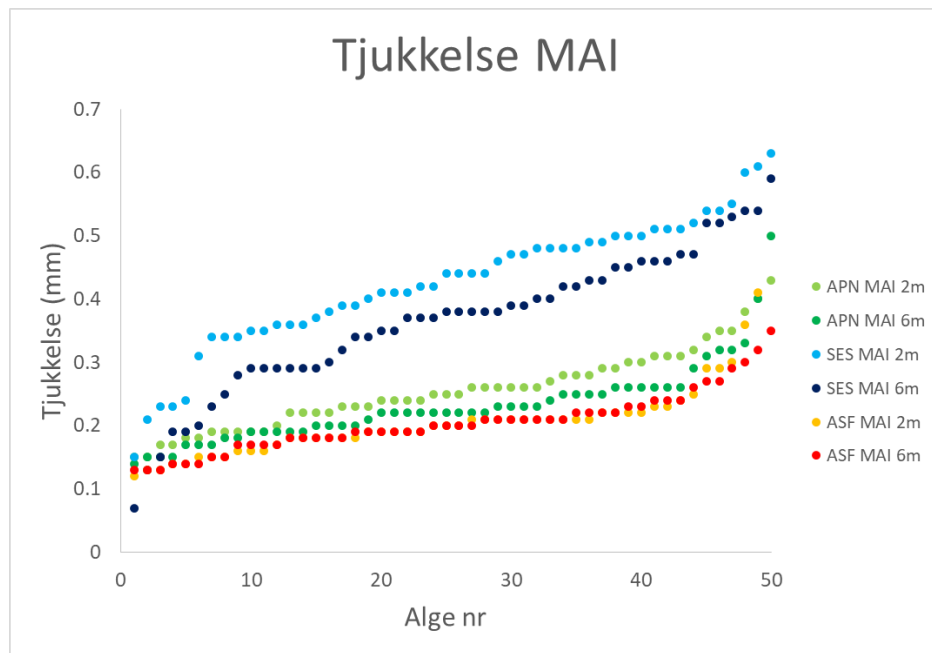


c)

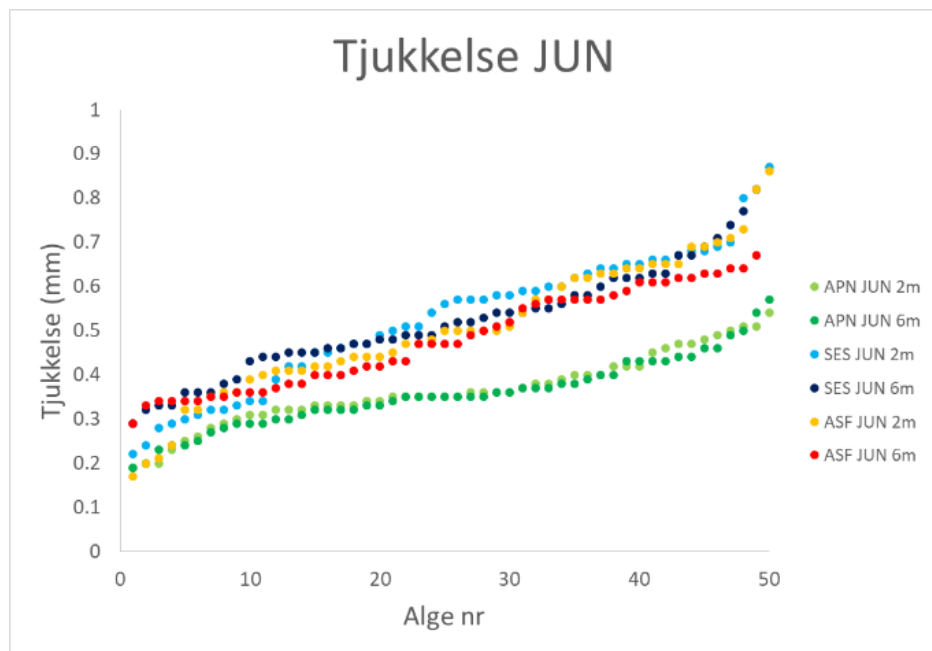


**Figur 14:** Alle data for tørrvekt (g) til *S. latissima* i april (a), mai (b) og juni (c) ved tre stasjoner på to ulike dyp

a)



b)



**Figur 16:** Alle data for tjukkelse (mm) til *S. latissima* i mai (a) og juni (b) ved tre stasjonar på to ulike djup.



## VEDLEGG C – RELATIV VEKST PER DAG

**Tabell 1:** Verdiane til gjennomsnittleg relativ vekst per dag til lengde, areal, breidde, tørrvekt og tjukkeleis, vist i Figur 37.

April -Mai	2 m djup					6 m djup					
	Stasjon	Lengde	Areal	Breidde	Tørrvekt	Lengde	Areal	Breidde	Tørrvekt		
	SES	0.0106	0.0245	0.0106	0.0437	0.0189	0.243	0.000673	0.00386		
	ASF	0.0308	0.0542	0.0141	0.163	0.0315	0.078	0.0252	0.162		
Mai- Juni	2 m djup					6 m djup					
	Stasjon	Lengde	Areal	Breidde	Tørrvekt	Tjukkleik	Lengde	Areal	Breidde	Tørrvekt	Tjukkleik
	SES	0.00489	0.0231	0.0188	0.055	0.00839	0.00642	0.0183	0.00689	0.0422	0.0151
	ASF	0.00378	0.0121	0.00662	0.137	0.0492	0.0041	0.00741	0.00369	0.118	0.045
	APN	0.00945	0.0389	0.0189	0.0674	0.0141	0.0087	0.0308	0.0158	0.0748	0.0179





## VEDLEGG D – PYTHON-KODE TIL ESTIMERING AV PROJISERT AREAL TIL LAMINA.

```
In [4]: %matplotlib inline
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd

from skimage import data, color, feature, measure, morphology, filters, segmentation
from skimage.io import imread

import seaborn as sns
sns.set_context('notebook')
sns.set_style('white')

import scipy.ndimage as ndi          # to determine shape centrality

# matplotlib setup
%matplotlib inline
from pylab import rcParams
rcParams['figure.figsize'] = (6, 6)   # setting default size of plots

import os
#cwd = os.getcwd()
#cwd
```

```
In [11]: savepath = 'C:/MACROSEA/Morfologi/'
filepath = 'C:/MACROSEA/Morfologi/SES_MAI/'
# files is a list of all images in folder
files = os.listdir(filepath)
```

```
In [13]: filn = files[0][0:7]+'.xlsx'
# Name of xlsx-spreadsheet to save in savepath directory
outfile = os.path.join(savepath,filn)
print('Outfile: ',outfile)

# Data array to save in xlsx-spreadsheet
df = pd.DataFrame(np.zeros((int(np.ceil((len(files))/2)),10)), \
                  columns=['Tau', 'Plant no', \
                           'Len 1m', 'Stipe 1m', 'Width 1m', 'Aproj 1m',\
                           'Len 5m', 'Stipe 5m', 'Width 5m', 'Aproj 5m'])

#For all files and images use
#for file in files[0:Len(files)]:
for file in files[1:2]:
    print(file)
    filen =file[0:len(file)-4]
    print(filen)
    whole = filen.split("_")
```

```

# Extracting data in file name
# Rope no
s = int(whole[2][1])
print('Tau no:', s)
# Depth d and plant no t
print(whole[3])
d, t = list(map(int,whole[3].split("m")))
print('Depth: ', d)
print('Plant no: ', t)
# Blade Length
bl = float(whole[4])
print('Blade l:', bl)
# Stipe Length
sl = float(whole[5])
print('Stipe l:', sl)
rw = 10*(s-1) + t
print('Row number: ', rw)

df.iloc[rw-1,0] = s
df.iloc[rw-1,1] = t

if d == 1:
    df.iloc[rw-1,2] = bl
    df.iloc[rw-1,3] = sl
else:
    df.iloc[rw-1,6] = bl
    df.iloc[rw-1,7] = sl

```

```

# Reading original image
img = imread(os.path.join(filepath,file))
# Plotting original image
fig, ax = plt.subplots(figsize=(16, 10))
plt.imshow(img)

#fig, ax = plt.subplots(1, 3, figsize=(20, 10))
#for i in range(3):
#    ax[i].imshow(img[:, :, i])
# Using HSV (hue, saturation, value) rather than standard RGB representation
imgHSV = color.rgb2hsv(img)
fig, ax = plt.subplots(1, 3, figsize=(20, 10))
for i in range(3):
    ax[i].imshow(imgHSV[:, :, i])
#Segment image using fixed threshold in Saturation channel
imbw = imgHSV[:, :, 1] > 0.3
#Label image components from segmented image
imbwl = measure.label(imbw)
#Calculate properties of each labelled region
props = measure.regionprops(imbwl)
#Identify leaf as region with largest area
areas = [p.area for p in props]
leafidx = np.argmax(areas)
leafmask = imbwl == (leafidx+1)

```

```

leaf = img.copy()
leaf[~leafmask, 0] = 255
leaf[~leafmask, 1] = 255
leaf[~leafmask, 2] = 255

# Length of image (known from data in file name)
p = 'major_axis_length'
q = 'area'
# Greatest width
r = 'minor_axis_length'
# Number of pixel length for frond - reeve stipe length
bpxl = props[leafidx][p] * bl / (bl + sl)
# Blade width
bw = bl * props[leafidx][r] / bpxl
print('Blade width: ', bw)

# True projected area
p = 'major_axis_length'
q = 'area'
aproj = props[leafidx][q] * (bl/bpxl)**2
print('True area: ', aproj, ' cm^2')

if d == 1:
    df.iloc[rw-1,4] = bw # "%.1f" % bw
    df.iloc[rw-1,5] = aproj # "%.1f" % aproj
else:
    df.iloc[rw-1,8] = bw # "%.1f" % bw
    df.iloc[rw-1,9] = aproj # "%.1f" % aproj

```

```

plt.figure(figsize=(15,15))
plt.imshow(leaf)

```

```

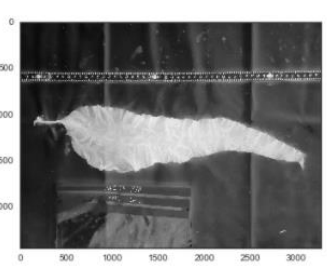
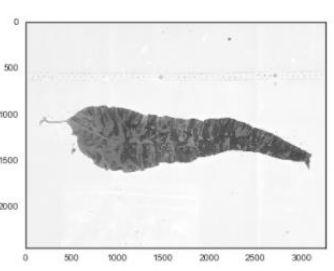
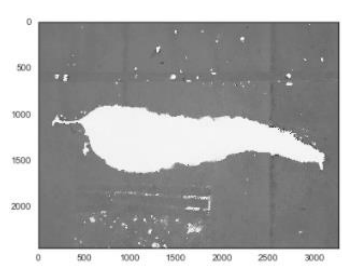
#close(testfile)
#df.to_excel(outfile)

```

```

Outfile: C:/MACROSEA/Morfologi/SES_MAI.xlsx
SES_MAI_T1_1m1_41.5_4.3.JPG
SES_MAI_T1_1m1_41.5_4.3
Tau no: 1
1m1
Depth: 1
Plant no: 1
Blade l: 41.5
Stipe l: 4.3
Row number: 1
Blade width: 10.641400415987599
True area: 326.75221288 cm^2

```



```
In [14]: print(df)
```

	Tau	Plant no	Len 1m	Stipe 1m	Width 1m	Aproj 1m	Len 5m	Stipe 5m	\
0	1.0	1.0	41.5	4.3	10.6414	326.752213	0.0	0.0	
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000	0.000000	0.0	0.0	
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000	0.000000	0.0	0.0	
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000	0.000000	0.0	0.0	
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000	0.000000	0.0	0.0	
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000	0.000000	0.0	0.0	
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000	0.000000	0.0	0.0	
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000	0.000000	0.0	0.0	