

UDVIKLING OG TEST AF DRONEMETODE OG INTERKALI-BRERING AF EKSISTERENDE METODE TIL UNDERSØGELSE AF ÅLEGRÆS OG ANDEN VEGETATION PÅ BLØD BUND

Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 174

2020



[Tom side]

UDVIKLING OG TEST AF DRONEMETODE OG INTERKALI-BRERING AF EKSISTERENDE METODE TIL UNDERSØGELSE AF ÅLEGRÆS OG ANDEN VEGETATION PÅ BLØD BUND

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 174

2020

Michael Bo Rasmussen Dorte Krause-Jensen Thorsten Johannes Skovbjerg Balsby

Aarhus Universitet, Institut for Bioscience



Datablad

Serietitel og nummer:	Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 174
Titel:	Udvikling og test af dronemetode og interkalibrering af eksisterende metode til undersøgelse af ålegræs og anden vegetation på blød bund
Forfattere: Institution:	Michael Bo Rasmussen, Dorte Krause-Jensen & Thorsten Johannes Skovbjerg Balsby Aarhus Universitet, Institut for Bioscience
Udgiver: URL:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi © http://dce.au.dk
Udgivelsesår: Redaktion afsluttet:	Juni 2020 Maj 2020
Faglig kommentering: Kvalitetssikring, DCE:	Signe Høgslund Signe Jung-Madsen
Ekstern kommentering:	Miljøstyrelsen. Kommentarerne findes her: http://dce2.au.dk/pub/komm/TR174_komm.pdf
Finansiel støtte:	Miljøstyrelsen
Bedes citeret:	Rasmussen, M.B., Krause-Jensen, D. & Balsby, T.J.S. 2020. Udvikling og test af dronemetode og interkalibrering af eksisterende metode til undersøgelse af ålegræs og anden vegetation på blød bund. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 58 s Teknisk rapport nr. 174 <u>http://dce2.au.dk/pub/TR174.pdf</u>
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Aarhus Universitet, Institut for Bioscience, har af Miljøstyrelsen fået til opgave at undersøge mulighederne for at anvende droner til kortlægning af ålegræsvegetationen i danske farvande i relation til de gældende tekniske anvisninger. Drone-projektet omfattede:
	<i>Udvikling af drone-baseret metode</i> samt test og dokumentation til bestemmelse af ålegræssets dækningsgrad og dybdegrænse. Projektet dokumenterer desuden dronemetodens anvendelse til at kortlægge ålegræs i området omkring vegetationstransekterne samt til at bestemme vegetationens dækningsgrad på større skala.
	Desuden er der blevet kortlagt ålegræssets udbredelsesareal på større skala over tid (2012, 2014, 2018) baseret på fly ortofotos. Desuden omfatter denne rapport resultater fra interkalibreringen af eksisterende metoder til undersøgelse af ålegræsvegetation og anden vegetation på blød bund.
Emneord:	Ålegræs, anden marin vegetation, drone, interkalibrering
Layout: Foto forside:	Grafisk Værksted, AU Silkeborg Michael Bo Rasmussen
ISBN: ISSN (elektronisk):	978-87-7156-500-3 2244-999X
Sideantal:	58
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som <u>http://dce2.au.dk/pub/TR174.pdf</u>

Indhold

1	Indledning			
2	Udvi	kling af dronemetode	6	
	2.1	Baggrund	6	
	2.2	Princip	6	
3	Test	og dokumentation af dronemetode	9	
	3.1	Program	9	
	3.2	Opgørelse af tids- og resurseforbrug ved dronemetoden	29	
	3.3	Vurdering af dronemetoden i relation til den		
		eksisterende metode	31	
4	Inter	kalibrering af eksisterende metode til undersøgelse af		
	ålegi	ræs	35	
	4.1	Indledning	35	
	4.2	Testområder	35	
	4.3	Statistisk analyse	36	
	4.4	Resultater	37	
	4.5	Sammenfatning af interkalibrering	42	
5	Refe	rencer	44	
Bilc	ng 1	Analyse af tidslig udvikling i udbredelsesareal	45	
Bilo	ag 2	Test for varians homogenitet mellem drone og dykker/slæde metoden	48	
Bilc	ng 3	Supplerende statistik for interkalibrering	49	
Bilc	Bilag 4 Deltagerliste og program for workshop		55	
Bilc	ig 5	Øvelse i bestemmelse af dækningsgrad	56	

[Tom side]

1 Indledning

I 2019 fik Aarhus Universitet, Institut for Bioscience, til opgave af Miljøstyrelsen at undersøge mulighederne for at anvende droner til kortlægning af ålegræsvegetationen i danske farvande i relation til de gældende tekniske anvisninger. Drone-projektet omfattede:

- Udvikling af drone-baseret metode til bestemmelse af ålegræssets dækningsgrad og dybdegrænse; herunder datatransmission af videosignal fra drone-båret undervandskamera til land under overflyvningen, så dronepiloten kan sikre, at videoen omfatter de nødvendige data til bestemmelse af ålegræssets dækningsgrad samt dybdegrænse for hoved- og maksimaludbredelse.
- Test og dokumentation af dronemetoden til bestemmelse af ålegræssets dækningsgrad og dybdegrænse. Dronemetoden blev testet på fem NOVANAvegetationstransekter udvalgt mellem Miljøstyrelsens enheder. Fire af de fem transekter var rene ålegræstransekter, som under NOVANA undersøges med videoslæde, mens én transekt havde blandet vegetation bestående af ålegræs og andre blomsterplanter og/eller kransnålalger, som under NOVANA undersøges med dykker.

Projektet dokumenterer desuden dronemetodens anvendelse til at kortlægge ålegræs i området omkring vegetationstransekterne samt til at bestemme vegetationens dækningsgrad på større skala. I forlængelse af denne del af opgaven videsudenålegræssets udbredelsesareal på større skala over tid (2012, 2014, 2018) baseret på fly ortofotos (bilag 1). Information om ålegræssets arealudbredelse er et nyttigt supplement til de eksisterende oplysninger om dækningsgrad og dybdeudbredelse, fordi ålegræssets mange økosystemfunktioner såsom primærproduktion, nøglehabitat, stimulering af biodiversitet samt tilbageholdelse og begravelse af kulstof og næringsstoffer afhænger af udbredelsesarealet. Ålegræssets arealudbredelse er derfor også relevant i forhold til det havstrategidirektiv, som bl.a. har fokus på havbundens integritet, havets biodiversitet og fødenet i tillæg til eutrofieringseffekter.

Desuden omfatter denne rapport resultater fra *interkalibreringen af eksisterende metoder til undersøgelse af ålegræsvegetation og anden vegetation på blød bund*. Interkalibreringen omfattede:

- Undervandsvideooptagelser fra tre NOVANA-vegetationstransekter (udvalgt blandt transekterne fra test af dronemetoden), som hver blev undersøgt af 11 observatørhold fra Miljøstyrelsen og tilknyttede konsulenter i henhold til den gældende tekniske anvisning (TA. Nr. M18: 'Ålegræs og anden vegetation på kystnær blød bund').
- Sammenlignende analyse af resultaterne.
- Workshop med gennemgang og diskussion af interkalibreringsresultater samt fælles øvelse i dækningsgradsbestemmelse.

2 Udvikling af dronemetode

2.1 Baggrund

Hvis en dronemetode på sigt skal kunne erstatte den eksisterende metode til undersøgelse af ålegræs og anden vegetation på blød bund, er det et krav, at eksisterende tidsserier for nøgleparametre kan opretholdes. Derfor er det vigtigt, at dronemetoden kan opgøre ålegræssets dybdegrænse og vegetationens dækningsgrad sammenligneligt med de eksisterende metoder, og at datakvalitet og opløselighed er høj. Udviklingen af dronemetoden tager derfor udgangspunkt i den eksisterende tekniske anvisning "Ålegræs og anden vegetation på kystnær blød bund (M18), som beskriver den eksisterende metode for følgende parametre, hvor dybdegrænsen for ålegræssets hovedudbredelse og maksimale udbredelse er de vigtigste:

<u>Dækningsgrad</u>

- o af blomsterplanter/kransnålalger (samlet)
- o af blomsterplanter/kransnålalger (arter)
- o af drivende opportunistiske makroalger (samlet)
- af drivende opportunistiske makroalger (dominerende arter)
- af øvrige drivende makroalger (samlet)
- o af blød bund.

Dybdegrænse for hovedudbredelse af ålegræs

Maksimal dybdegrænse

- o for alegræs
- o for andre blomsterplanter end ålegræs
- o for kransnålalger.

Bundforhold ved dybdegrænsen.

Herudover kan drone-metoden kortlægge vegetationens arealudbredelse og dækningsgrad på større skala omkring transekterne baseret på punktobservationer, hvilket potentielt på sigt kan indgå som et nyt, supplerende element i vegetationsovervågningen.

2.2 Princip

For at kunne registrere dækningsgraden samt dybdegrænsen for ålegræs, andre blomsterplanter, kransnålalger og drivende alger langs de T-formede transekter er der blevet udviklet et dronesystem med et undervandskamera. Kravet til systemet var i første omgang, at undervandskameraet kunne trækkes gennem vandet langs transekten, og at optagelserne kunne sendes live fra dronen og ind til land. Efter flere forsøg, hvor kameraet hang fast i vegetation mm., uden at dronen kunne trække det fri, måtte denne metode opgives.

Vi udviklede i stedet en metode, hvor undervandskameraet blev sænket ned på en række punkter langs transekten, så dækningsgraden kunne bestemmes for disse. Dronesystemet består af drone, kamera drop, bøje til opsamling, bøje til opdrift, undervandskamera, afstandssnor og afbalanceringslod (figur 1). Der er blevet udført forsøg med 3 forskellige droner: Mavic 2 pro, Inspire 1 og Matrice 210. Kun Matrice 210 var forsynet med live link mellem undervandskamera og land (DJI Lightbridge med et ekstra undervandsvideokamera). Kamera drop og opsamlingsbøje blev anvendt til at smide kameraet og efterfølgende samle det op, hvis kameraet satte sig fast på havbunden. Undervandskameraet var et Paralenz forsynet med dybdesensor med en nøjagtighed på ± 10 cm samt en temperatursensor. Systemet med opdriftbøje, afstandssnor og afbalanceringssnor sikrede, at undervandskameraet altid hang i en given afstand over bunden bestemt af længden på afstandssnoren.





Planlægningen af droneflyvningerne med tilhørende "way points" (punkt registreringer) blev udført med drone softwaret Litchi med tilhørende Mission Hub (figur 2). Til hver observation blev anvendt 3 way points, et til at flyve dronen hen til way pointet (f.eks. i dronehøjde 17 m), et til at sænke dronen ned således at kameraet var 1 m over bunden (f.eks. dronehøjde 10 m) og et way point til at hæve dronen igen til flyhøjde (f.eks. dronehøjde 17 m). Punkternes position blev fastlagt ved hjælp af drones GPS signal.

For hver transekt blev der planlagt to missioner af denne type:

- én mission til at opgøre vegetationens sammensætning og dækningsgrad langs hele transekten. Denne mission repræsenterer den del af de T-formede vegetationstransekter, der ligger vinkelret på kysten (figur 2A).
- én mission til at flyve i zigzag langs transektens dybdegrænse med henblik på at måle vegetationens dybdegrænse. Denne mission repræsenterer den del af de T-formede vegetationstransekter, der ligger langs med kysten (figur 2B).

I sin nuværende udformning kan Litchi kun indeholde 99 way points per mission, hvilket med 3 way points pr. observationspunkt giver et maksimum på 33 observationspunkter pr. mission. Ofte er der behov for at indsamle flere end 33 observationer, hvilket kan gøres ved at planlægge flere missioner efter at dronen har fået nye batterier.



Figur 2. Planlægning af droneflyvningerne langs de T-formede vegetationstransekter blev udført med softwaret Litchi og tilhørende Mission Hub. Hver transekt blev repræsenteret ved to dronemissioner, som hver indeholdt 33 way points: A) mission vinkelret på kysten og B) mission langs med kysten ved transektens dybe del.

Punktobservationerne fra droneflyvningernes undervandskamera indgår dels i bestemmelse af vegetationens dækningsgrad i punkter langs transekterne (afsnit 3.1), dels i bestemmelse af ålegræssets dybdegrænse (afsnit 3.2), dels i bestemmelse af vegetationens arealudbredelse og stor-skala dækningsgrad (afsnit 3.3).

Dybdegrænsen for ålegræssets hovedudbredelse og maksimale udbredelse blev bestemt ud fra punktundersøgelserne langs zig-zag linjerne, figur 2B. Baseret på de indsamlede punktdata, data for dækningsgrad og dybde langs hvert zig og zag blev der foretaget en interpolation således at dybden blev aflæst, hvor dækningsgraden var henholdsvis 10% og 1%.

3 Test og dokumentation af dronemetode

3.1 Program

Dronemetoden er testet på fem NOVANA-vegetationstransekter udvalgt mellem Miljøstyrelsens enheder. Fire af de fem transekter er rene ålegræstransekter, som i dag undersøges med videoslæde. En enkelt transekt (Barup) har blandet vegetation bestående af ålegræs og andre blomsterplanter og/eller kransnålalger, som i dag undersøges med dykker. De fem transekter er fordelt mellem Jyllands østkyst, Fyn og syd for Sjælland (figur 3):

- Transekt 1. Helnæs Bugt (95620081 Helnæs Bugt_Sønderfjord_SF1)
- Transekt 2. Odense Fjord (94230212 ODENSE FJ A, Transekt A Odense Fjord)
- Transekt 3. Barup Storstrøm (96330144 0701013 Barup)
- Transekt 4. Horsens Fjord (94330043 BVH13)
- Transekt 5. Nordlige Bælthav (94310005 BVJ4).

Tre af transekterne (tr. 1, tr. 2, tr.4) indgår desuden i interkalibreringen af ålegræsundersøgelserne i henhold til den eksisterende tekniske anvisning (figur 3).

Data for dronemetoden er sammenlignet med data for den traditionelle metode baseret på Miljøstyrelsens undersøgelser fra samme år (NOVANAdata 2019 fra ODA databasen).



Figur 3. Placering af transekter for droneundersøgelse (blå + røde) samt transekter anvendt til interkalibrering (røde).

3.1.1 Bestemmelse af dækningsgrad

Som tidligere omtalt er dækningsgraden bestemt med dronemetoden i en række punkter langs transekterne, som på baggrund af NOVANA transekternes start og slutpunkt er udlagt med drone softwaret Litchi og Mission Hub. Undervandskameraet, der benyttes i dronemetoden, holdes ca. 1 m over havbunden og repræsenterer et område på ca. 1x1 m. Men da der optages video i hver punkt af ca. 10 sekunders varighed er det reelle område, hvor dækningsgraden vurderes, betydeligt større, idet kameraet bevæger sig lidt hen over havbunden. Vi vurderer dog, at dronearealet er mindre end det areal, som dækkes af et 5 sekunders videointerval udført med den traditionelle metode.

Helnæs Bugt

Transekten i Helnæs Bugt var 897 m lang, og flyvetiden med dronen var 14 min. Der er i alt undersøgt 33 punkter (figur 4).



Figur 4. Helnæs Bugt med angivelse af dronetransekt.

På baggrund af undervandsbillederne er der foretaget en manuel vurdering af dækningsgraden af de enkelte parametre i hvert af de 33 punkter i hver dronemission, og på den baggrund er den gennemsnitlige dækningsgrad af parametrene beregnet per dybdeinterval (figur 5). Det ses, at ålegræs er den alt dominerende art på transekten og dækker ca. 100% af havbunden ud til 2,5 m's dybde. Løst drivende alger forekommer kun spredt. Figur 5. Vurdering af dækningsgraden af de enkelte vegetationselementer samt bundforhold. Dybdeintervaller 1: 0-0.5 m, 2: 0,5-1 m, 3: 1-1,5 m, 4: 1,5-2 m, 5: 2-2,5 m, 6: 2,5-3 m, 7: 3-3,5 m, 8: 3,5-4 m, 9: 4-4,5 m.



Der er forholdsvis god overensstemmelse specielt på lavt vand mellem dronedata for ålegræssets dækningsgrad og data baseret på den traditionelle undersøgelsesmetode (NOVANAdata 2019 i ODAdatabasen), hvilket er illustreret ved den gennemsnitlige dækningsgrad per dybdeinterval baseret på de to metoder (figur 6).





Odense Fjord

Da transektet i Odense Fjord var meget langt, blev droneflyvningerne opdelt i 2 missioner af henholdsvis 780 m længde og 654 m længde, hver med 33 way points (figur 7). I alt tog flyvningerne 22 minutter.



Figur 7. Odense Fjord med angivelse af drone transektens to dele.

Vegetationen i Odense Fjord er generelt meget sparsom og udgøres af spredte forekomster af ålegræs samt drivende og fasthæftet vegetation af blæretang og savtang, som kun forekommer ud til ca. 3 m dybde (figur 8). Forholdet mellem dækningsgraderne bestemt ved slæde- og droneundersøgelserne er vist på figur 9. **Figur 8.** Vurdering af dækningsgraden af de enkelte vegetationselementer samt bundforhold baseret på dronemetode. Dybdeinterval 1: 0-0.5 m, 2: 0,5-1 m, 3: 1-1,5 m, 4: 1,5-2 m, 5: 2-2,5 m, 6: 2,5-3 m.





Figur 9. Videoslædeobservationer kontra droneobservationer til bestemmelse af ålegræssets dækningsgrad i Odense Fjord. Data viser gennemsnit per dybdeinterval.

Barup

Transekten ud for Barup er 1142 m lang og er opdelt i 2 missioner (figur 10). Samlet flyvetid har været 18 minutter.



Figur 10. Barup med angivelse af dronetransektens to dele.

Vegetationen ud for Barup består hovedsageligt af ålegræs og andre blomsterplanter samt løst drivende trådalger. Andre blomsterplanter dominerer på lavt vand, mens ålegræs dominerer på dybt vand (figur 11). En sammenligning mellem Miljøstyrelsens egne dykkerobservationer og droneobservationerne viser, at dækningsgraden baseret på droneobservationerne for både ålegræs og andre blomsterplanter på helt lavt vand er noget lavere end bestemt ved dykkerundersøgelser, mens der i de øvrige dybdeintervaller er en forholdsvis god overensstemmelse mellem de to undersøgelsesmetoder (figur 12).

Selvom det er muligt i et vist omfang at identificere de enkelte grupper af andre rodhæftede makrofytter og kransnålalger i en blandet vegetation baseret på dronemetoden, så er det vanskeligt at opgøre dækningsgrad af enkeltarter udover ålegræs, som den eksisterende tekniske anvisning foreskriver. Derfor er gruppen af andre blomsterplanter og kransnålalger behandlet som en samlet gruppe "andre blomsterplanter" (Figur 11). **Figur 11.** Vurdering af dækningsgraden af de enkelte vegetationselementer samt bundforhold baseret på dronemetode. Dybdeinterval 1: 0-0.5 m, 2: 0,5-1 m, 3: 1-1,5 m, 4: 1,5-2 m, 5: 2-2,5 m, 6: 2,5-3 m.



Figur 12. Dykkerobservationer kontra droneobservationer til bestemmelsen af dækningsgraden af andre blomsterplanter ved Barup. Observationerne omfatter gennemsnit per dybdeinterval. Dykkerobservationerne er fortaget af en dykker. Værdierne repræsenterer gennemsnit indenfor hver dybdegrænse. De dronebaserede observationer er foretaget af én person



Horsens Fjord

Dronetransekten i Horsens Fjord var 646 m lang (figur 13), og flyvningen tog 17 minutter. På grund af tekniske problemer med dronen, blev undersøgelsen kun foretaget ud til 1,5 meters dybde.

For at kompensere for, at der kun var et begrænset antal drone-baserede observationer samt for at levere ekstra information omkring dækningsgrader og dybdegrænser som baggrund for en uddybende analyse af variationen, blev der i området indsamlet et stort antal (i alt 521) supplerende punktobservationer med undervandskamera fra båd langs hovedtransekten og, især, langs zig-zag linjer omkring dybdegrænsen (figur 14). Da disse data er indsamlet på stort set samme måde som punktobservationerne med videokamera fra drone, betragter vi dem som supplerende drone-baserede punktobservationer og inkluderer dem i en udvidet sammenligning med observationer af dækningsgrad og dybdegrænse baseret på videoslæde.



Figur 13. Horsens Fjord med angivelse af drone transekt.

Figur 14. Horsens Fjord med angivelse af positioner for punktundersøgelser af dækningsgrad fra dronetransekt (pink prikker) og supplerende observationer fra båd (grønne prikker) efter samme princip som dronebaserede observationer.



På lavt vand forekommer der en del blæretang og trådalger. De dronebaserede data viser, at ålegræs forekommer meget spredt fra kysten og ud til 1.5 meters dybde (figur 15). Data baseret på de 521 supplerende observationer med undervandsvideo viste et markant større vegetationsdække af ålegræs i området, figur 16. **Figur 15.** Vurdering af dækningsgraden af de enkelte vegetationselementer samt bundforhold baseret på dronemetoden. Dybdeinterval 1: 0-0.5 m, 2: 0,5-1 m, 3: 1-1,5 m.



Figur 16. Vurdering af dækningsgraden af de enkelte vegetationselementer samt bundforhold baseret på punktobservationer fra båd indsamlet efter samme princip som fra drone og derfor betragtet som supplerende droneobservationer. Dybdeinterval 1: 0,5-1 m, 2: 1-1,5 m, 3: 1,5-2 m, 4: 2-2,5 m, 5: 2,5-3 m, 6: 3-3,5 m, 7: 3,5-4 m.



Videoslædeundersøgelsen fra interkalibreringen af ålegræs i 2019 foregik langs samme transekt som droneobservationerne (lyserød linje, figur 13 og 14). De gennemsnitlige dækningsgrader fra denne videoslædeundersøgelse er sammenlignet med dækningsgrader baseret på hhv. de rene droneoptagelser (figur 17) og det samlede sæt "dronebaserede" data (inklusiv de supplerende data indsamlet fra båd, figur 18). Resultaterne fra de to metoder (drownebaseret og videoslædebaseret) er forskellige, især når sammenligningen inkluderer det samlede sæt "dronebaserede" data. Vi vurderer, at forskellen primært skyldes lokale variationer i dækningsgrad mellem de områder som hhv. punktundersøgelsen og slæde-undersøgelsen repræsenterede (figur 14). Det kan også øge usikkerheden på bestemmelserne, at ålegræsbæltet her er meget smalt og har ringe dækningsgrad, og at sigten i vandet var meget ringe under videoslædekørslerne, hvilket har vanskeliggjort bestemmelserne.









Nordlige Bælthav

Dronetransekten i det nordlige bælthav blev opdelt i 2 missioner med en samlet transektlængde på 1797 m (figur 19) og med en samlet flyvetid på 31 minutter.



Figur 19. Nordlige Bælthav med angivelse af dronetransekt.

Området består overvejende af sandbund med spredte sten. Ålegræs forekommer kun i spredte bælter på dybere vand sammen med totter af løst drivende alger (figur 20). **Figur 20.** Vurdering af dækningsgraden af de enkelte vegetationselementer samt bundforhold med dronemetoden. Dybdeinterval 1: 0-0.5 m, 2: 0,5-1 m, 3: 1-1,5 m, 4: 1,5-2 m, 5: 2-2,5 m, 6: 2,5-3 m, 7: 3-3,5 m, 8: 3,5-4 m, 9: 4-4,5 m.



3.1.2 Bestemmelse af dybdegrænser

Vegetationens hoved- og maksimale dybdegrænse er bestemt med både dronemetoden og den traditionelle slæde/dykkermetode på fire af transekterne (transekt 1, 2 og 4), som dermed giver basis for direkte sammenligning af metoderne (tabel 1 og tabel 2). Pga. manglende dronedata fra transekt 3, er denne transekt kun undersøgt med den traditionelle metode, og kan derfor kun bidrage til sammenligningen med supplerende information om variationen på bestemmelsen af dybdegrænsen ved dronemetoden. Mht. den traditionelle slæde/dykker metode, repræsenterer data for alle transekter Miljøstyrelsens egne undersøgelser (NOVANAdata 2019 fra ODA databasen).

Tabel 1. Dybdegrænse for hovedudbredelse bestemt ved slæde/dykker og dronemetoden. Data slæde/dykkermetoden er baseret på Miljøstyrelsens NOVANAdata 2019 fra ODA databasen. Data repræsenterer gennemsnit og standardafvigelse. *Manglende data pga. mistet drone.

Dybdegrænse for ålegræssets hovedudbredelse (m)					
	Transekt 1	Transekt 2	Transekt 3	Transekt 4	Transekt 5
Metode	Helnæs Bugt	Odense Fjord	Barup	Horsens Fjord	N. Bælthav
Drone	4.9 ±0.6	2.8±0.1	*	2.8±0.1	4.0±0.1
Slæde/Dykker	4.7 ±0.2	2.7±0.1	4.9± 0.2	1.4±0.2	4.5±0.1

Tabel 2. Maksimal dybdeudbredelse bestemt ved slæde/dykker og dronemetoden. Data slæde/dykkermetoden er baseret på Miljøstyrelsens NOVANAdata 2019 fra ODA databasen. Data repræsenterer gennemsnit og standardafvigelse. *Manglende data pga. mistet drone.

		Ålegræssets	maksimale dybde	egrænse (m)	
	Transekt 1	Transekt 2	Transekt 3	Transekt 4	Transekt 5
Metode	Helnæs Bugt	Odense Fjord	Barup	Horsens Fjord	N. Bælthav
Drone	4.9 ± 0.7	2.8±0.1	*	2.8±0.1	4.8±0.1
Slæde/Dykker	5.2±0.3	2.8±0.1	6.0±0.6	1.7±0.1	4.5±0.1

I forbindelse med droneundersøgelserne er dybdegrænsen for ålegræssets hovedudbredelse og maksimale udbredelse bestemt ud fra interpolation mellem punktobservationer af dækningsgrad langs hver zig-zag linje i området omkring dybdegrænsen, hvor dybden for interpolerede dækningsgrader på 10% blev noteret som hovedudbredelsen og dybden for interpolerede dækningsgrader på 1% blev noteret som den maksimale dybdegrænse. Dette er illustreret

for Helnæs Bugt (figur 21). Denne metode afviger fra metoden i de tekniske anvisninger, som er baseret på kontinuerte observationer af dækningsgrad langs zig-zag linjerne, hvor dybdegrænsen for hovedudbredelsen ålegræs er defineret som den største dybde, hvor ålegræsset dækker mindst 10% over en strækning på 5 m og den maksimale dybdegrænse er defineret som den største dybde, hvor ålegræsset dækker mindst 1% over en strækning på 5 m.



Figur 21. Helnæs Bugt. Dækningsgrad for ålegræs bestemt ved dronemetoden (orange linjer/punkter) i fortløbende punkter (punktnummer 1-34, x-akse) med tilhørende dybdeangivelse (blå linje) langs zig-zag linjer omkring dybdegrænsen. Dybdegrænsen for hovedudbredelsen og den maksimale dybdeudbredelse er bestemt ved interpolation, hvor den orange linje skærer henholdsvis 10% og 1% dækningsgrad. De vandrette røde linjer viser dækningsgraden, der definerer dybdegrænsen for hovedudbredelsen (10%) samt den maksimale dybdegrænse (1%).

På trods af de lidt forskellige metoder, viser dybdegrænsen for både ålegræssets hovedudbredelse (tabel 1) og ålegræssets maksimale dybdegrænse (tabel 2) god overensstemmelse mellem drone- og videoslædemetode for transekterne i Odense Fjord og Helnæs Bugt og til dels også i N. Bælthav. I disse tre områder repræsenterer de to metoder præcis samme område.

I Horsens Fjord er der derimod betydelig forskel på dybdegrænsen bestemt ved de to metoder, hvor den traditionelle metode kun måler den maksimale dybdegrænse til 1.7 ± 0.1 m, mens dronemetoden måler den maksimale dybdegrænse til 2.8 ± 0.1 m (tabel 2) og de udvidede drone-baserede observationer/supplerende observationer fra båd dokumenterer, at ålegræsbæltet i dette område forekommer indenfor dybdeintervallet 1.1-3.2 m (figur 22).



Figur 22. Dækningsgrad og dybdefordeling mellem de 521 punktobservationer i Horsens Fjord.

Det er bemærkelsesværdigt, at de to metoder giver så forskellige resultater for Horsens Fjord, mens de giver ensartede resultater for de øvrige lokaliteter. En mulig forklaring er lokal variation mellem det område, som dronedata repræsenterer, og naboområdet, som den traditionelle undersøgelse repræsenterer, men dronebilledet af undersøgelsesområdet tyder ikke på, at der er markante forskelle i ålegræssets udbredelse over dette område (Figur 14). En anden sandsynlig forklaring er forskelle i dybdekorrektion, idet den dybdesensor, MST benyttede til de traditionelle undersøgelser ved Horsens Fjord var fejlbehæftet, da den viste en vanddybde på 1.1. meter i overfladen og derfor skulle korrigeres med 1.1 m. Forskellen mellem dybdegrænsen bestemt ved de to metoder var på niveau med denne korrektion, hvilket tyder på, at årsagen til forskellen skal findes her. Hvis det er tilfældet, er metode-sammenligningen ikke retvisende for transektet ved Horsens Fjord.

Usikkerheden på bestemmelse af dybdegrænsen med de to metode var relativt ensartet med standardafvigelser på 0.1-0.7 m (tabel 1, tabel 2). Test for varians homogenitet mellem de 2 metoder viser en signifikant større varians for drone i forhold til slæde/dykker metoden i Helnæs Bugt, men der er dog ikke en entydig tendens, der indikerer at den ene metode altid resulterer i større varians (Bilag 2).

På baggrund af observationerne af dækningsrad langs zig-zag linjerne omkring dybdegrænsen ved Horsens Fjord blev der udledt i alt 12 observationer af hver type dybdegrænse. (Dybdegrænsen var omtrent den samme uanset, om vi interpolerede den som beskrevet ovenfor eller baserede den på den dybeste observation med mindst hhv. 10% of 1% dækningsgrad). Vi benyttede dette datasæt til at beregne usikkerheden på bestemmelsen af dybdegrænsen som funktion af antallet af observationer af dybdegrænsen. Vi antog, at variationen mellem observationerne var et udtryk for den sande variation i populationen og beregnede på den baggrund konfidensintervallet (det interval hvori den sande værdi med 95 % sandsynlighed ligger) for bestemmelsen af dybdegrænsen som funktion af antallet af observationer af dybdegrænsen. Resultaterne viser, at konfidensintervallet mindskes, når antallet af observationer forøges (figur 23 og 24). Resultaterne indikerer at konfidensintervallet ved f.eks. 10 observationer er 0.6 m og mindskes til 0.4 m ved 20 observationer. Sammenhængen afhænger dog af variationen i den undersøgte ålegræspopulation.

Som beskrevet ovenfor på baggrund af data fra alle lokaliteter, er variationen i bestemmelsen af dybdegrænsen ved dronemetoden af samme størrelsesorden som ved den traditionelle metode (tabel 1 og 2).



Figur 23. Sammenhæng mellem konfidensintervallet for fastlæggelse af hovedudbredelsen (+/-1.96*standardafvigelsen/kvadratroden af antallet af observationer) og antal observationer for hovedudbredelsen af ålegræs i Horsens Fjord.

Figur 24. Sammenhæng mellem konfidensintervallet for fastlæggelse af den maksimale dybdegrænse (+/-1.96*standardafvigelsen/kvadratroden af antallet af observationer) og antal observationer for maksimal dybdeudbredelse af ålegræs i Horsens Fjord.



3.1.3 Arealkortlægning

Metode

På hver lokalitet blev der udført en arealkortlægning med drone på et areal på ca. 10 Ha. Arealkortlægningen blev udført med en Mavic 2 Pro drone forsynet med et Hasselblad 1" kamera. Flyvningerne blev foretaget i 100 m's højde med et billedoverlap på 80% forward og 80% sideward, hvilket giver en opløsning pr. pixel på ca. 2 cm. Til planlægningen af droneflyvningerne anvendte vi softwaret DJI GS Pro (figur 25), og vi samlede billedmosaikken med softwaret Agisoft Metashape Professional.



Billedmosaikken blev efterfølgende analyseret i ArcMap, hvor der blev foretaget en Maximum Likelihood Classification baseret på farvesignalet i den røde, grønne og blå kanal (RGB værdier) for "ground truth" punkter indsamlet på transekten med drone og undervandskamera. Klassifikationen omfattede følgende kategorier "ålegræs" (klassificeret for variable dækningsgrader), "sand", og "øvrig vegetation".

Maximum Likelihood - er en traditionel teknik til billedklassificering. Maximum Likelihood antager, at data for hver klasse i hvert bånd er normalfordelt, og metoden beregner sandsynligheden for, at en given pixel hører til en bestemt klasse. Hver pixel tildeles den klasse, der er mest sandsynlig (deraf metodens navn; maximum likelihood). Hvis den højeste sandsynlighed er mindre end en tærskel, der angives, forbliver pixlen uklassificeret. Det anvendte billedbehandlingsprogram beregner følgende diskriminations funktioner for hver pixel i billedet:

$$g_i(x) = \ln p(\omega_i) - \frac{1}{2} \ln |\sum_i| - \frac{1}{2}(x - m_i)^T \sum_i^{-1} (x - m_i)$$

Hvor:

i = klasse

x = n-dimensionale data (hvor n er antallet af bånd)

Figur 26. Softwaret DJI GS Pro blev anvendt til planlægning af arealkortlægningerne med drone.

 $p\left(\omega i\right)$ = sandsynlighed for, at klasse ωi for ekommer i billedet og antages det samme for alle klasser

 $|\Sigma i|$ = determinant for covarians-matrixen for dataene i klasse ωi

 Σ i-1 = dens inverse matrix

mi = middelvektor.

Vi har ikke analyseret sikkerheden på Maksimum Likelihood metoden i dette studium. En sådan analyse kræver, at der både indgår et træningsdatasæt og et valideringsdatasæt. Her har vi benyttet samtlige drone ground truth observationer i et træningsdatasættet, og har ikke inkluderet et separat valideringsdatasæt. Antallet af kategorier i datasættet og validering kan indgå i supplerende dokumentation af metoden.

For yderligere beskrivelse af test og validering af metoden til klassifikation af ortofotos se f.eks. Ørberg et al. 2018 og referencer deri.

Transekt 1. Helnæs Bugt

Vegetationen omkring transekt 1 i Helnæs Bugt udgøres overvejende af ålegræs, og der forekommer kun enkelte sten i området bevokset med bl.a. blæretang (figur 26). Samlet dækker ålegræsvegetationen 21985 m² af området på i alt 49349 m², svarende til ca. 44% af havbunden i analyseområdet. Der skal dog tages forbehold for de områder, hvor dybden har været for stor til, at drone billederne har kunnet analyseres. Størstedelen af området har en ålegræsdækning på mellem 21 og 40 % (figur 6).



 Dækningsgrad	Areal m ²	% af total areal
0-20	1250	2.5
21-40	12505	25.3
41-60	2033	4.1
61-80	5047	10.2
81-100	1150	2.3

Figur 26. Arealkortlægning af ålegræs i Helnæs Bugt baseret på dronebilleder (tv. ubehandlet billedmosaik; th. billedmosaik med signatur for dækningsgrad efter billedanalyse). Ålegræsarealet indenfor dækningsgradsintervaller er vist i absolutte tal samt i procent af det samlede analyserede areal.

Transekt 2. Odense Fjord

Vegetationen på transekten udgøres overvejende af blæretang og savtang. Kun i afgrænsede områder forekommer der ålegræs, som samlet dækker ca. 5% af havbunden (figur 27).



 Dækningsgrad	Areal m ²	% af total areal
0-20	3667	5.1
21-40	0	0
41-60	0	0
61-80	0	0
81-100	0	0

Figur 27. Arealkortlægning af ålegræs i Odense Fjord baseret på dronebilleder (tv. ubehandlet billedmosaik; th. billedmosaik med signatur for dækningsgrad efter billedanalyse). Ålegræsarealet indenfor dækningsgradsintervaller er vist i absolutte tal samt i procent af det samlede analyserede areal.

Transekt 3. Barup

I området omkring transekten ved Barup består vegetationen foruden ålegræs af 6 forskellige blomsterplanter og 2 forskellige kransnålalger. Ved arealkortlægning og billedanalyse har det, som tidligere nævnt ikke været muligt at skelne mellem ålegræs, andre blomsterplanter og kransnålalger. Dronemetoden kan derfor i områder med blandet vegetation ikke umiddelbart opfylde kravene beskrevet i de Tekniske anvisninger. Det samlede vegetationsdække i området udgør ca. 58% af havbunden i det analyserede område (figur 28).



Dækningsgrad	Areal m ²	% af total areal
0-20	31697	18.6
21-40	50049	29.4
41-60	17508	9.7
61-80	668	0.4
81-100	0	0.0

Figur 28. Arealkortlægning af ålegræs i Barup baseret på dronebilleder (tv. ubehandlet billedmosaik; th. billedmosaik med signatur for dækningsgrad efter billedanalyse). Ålegræsarealet indenfor dækningsgradsintervaller er vist i absolutte tal samt i procent af det samlede analyserede areal.

Transekt 4. Horsens Fjord

Området omkring transekten i Horsens Fjord er meget spredt bevokset med blæretang og savtang samt ålegræs. Mindre end 10% af området er dækket af ålegræs, hvoraf størstedelen har en dækningsgrad på 21-40 % (figur 29).





 Dækningsgrad	Areal m ²	% af total areal
0-20	1634	1.1
21-40	4873	3.2
41-60	1297	0.9
61-80	856	0.6

Figur 29. Arealkortlægning af ålegræs i Horsens Fjord baseret på dronebilleder (tv. ubehandlet billedmosaik; th. billedmosaik med signatur for dækningsgrad efter billedanalyse). Ålegræsarealet indenfor dækningsgradsintervaller er vist i absolutte tal samt i procent af det samlede analyserede areal.

Transekt 5. Nordlige Bælthav

Arealkortlægningen omkring transekten Nordlige Bælthav har været vanskeliggjort af, at det har været svært at mosaikke dronebillederne sammen, hvilket skyldes manglende strukturer på havbunden, der kan genkendes fra billede til billede. Ved at optage billederne med et større overlap kan en del af dette problem løses. I de områder, der er blevet kortlagt, er vegetationens samlede dækningsgrad bestemt til omkring 14 % (figur 30).



 Dækningsgrad	Areal m ²	% af total areal
0-20	2245	7.5
21-40	130	0.4
41-60	1595	5.3
61-80	149	0.5
81-100	0	0.0

Figur 30. Arealkortlægning af ålegræs i det nordlige Bælthav baseret på dronebilleder (tv. ubehandlet billedmosaik; th. billedmosaik med signatur for dækningsgrad efter billedanalyse). Ålegræsarealet indenfor dækningsgradsintervaller er vist i absolutte tal samt i procent af det samlede analyserede areal.

Sammenfatning - arealkortlægning

Dronebillederne bidrog med et overblik over arealudbredelsen af vegetationen omkring de undersøgte transekter og beskrev, i kombination med ground truth data fra transekterne, vegetationens dækningsgrad på større skala. Denne supplerende arealkortlægning omkring transekterne viser om de undersøgte transekter er repræsentative for et større område og giver samtidig mulighed for at følge ændringer i arealudbredelsen på denne skala såfremt undersøgelsen gentages fra år til år.

Vi har ikke analyseret sikkerheden på Maksimum Likelihood metoden i dette studium. En sådan analyse kræver, at der både indgår et træningsdatasæt og et valideringsdatasæt. I dette studium har vi benyttet samtlige drone ground truth observationer i et testdatasættet og har ikke inkluderet et separat valideringsdatasæt. En sådan validering kan indgå i supplerende dokumentation af metoden.

Dronedata kan også fungere som ground truth for arealopgørelse på endnu større skala som f.eks. repræsenteret ved fly- eller satellitdata, og fly- og satellitdata kan desuden bidrage med supplerende tidsserier dels tilbage i tid for samme område og dels fremadrettet. For at illustrere dette aspekt analyserede vi ortofotos fra samme områder som dronebillederne over en tidsserie (2012, 2014, 2018) (Bilag 1). Analysen inkluderede ålegræs og sandbund som variable, og fungerer derfor bedst, hvor ålegræs er den dominerende struktur på havbunden. Ortofotos findes langt tilbage i tid og kan benyttes i langtidsanalyser af ålegræssets udbredelse. Analyser af vegetationens arealudbredelse baseret på luftfotos er mest præcise på lavt vand, hvor kontrasten mellem ålegræsset og den omkringliggende havbund er størst og derfor giver bedst mulighed for at differentiere ålegræs, havbund og andre forekomster på havbunden (f.eks. Frederiksen et al. 2004, Harvey et al. 2018, Ørberg et al. 2018, Stæhr et al. 2019).

På baggrund af tidsserier er det også muligt at udvikle vegetationens arealudbredelse som supplerende indikator for vegetationen, ligesom i moniteringsprogrammer i f.eks. USA (f.eks. Steward et al. 2005).

3.2 Opgørelse af tids- og resurseforbrug ved dronemetoden

3.2.1 Tidsforbrug

Tidsforbruget ved kortlægning og transektundersøgelse af ålegræsvegetationen ved hjælp af drone kan opdeles i 4 faser.

- 1. Forberedelse.
- 2. Kørsel til og fra lokalitet.
- 3. Droneflyvning, herunder arealkortlægning, bestemmelse af dækningsgrader langs transekten samt bestemmelse af dybdegrænser.
- 4. Oparbejdelse, analyse samt rapportering af resultater.

Forberedelse omfatter indhentning af nødvendige tilladelser for droneflyvning i området, der skal overflyves. Først tjekkes droneluftrummet på https://www.droneluftrum.dk/, om det er tilladt at flyve i området. I forbindelse med flyvning over særligt følsomme naturområder (*B*estemmelser for civil *L*uftfart, BL7-15), bl.a. Natura 2000 områder, kan der i forbindelse med tilsyn gives tilladelse ifølge §13 Stk. 13:

<u>§13 Stk. 13</u>. Flyvning med droner over særligt følsomme naturområder i højder lavere end 300 meter over terræn må kun finde sted ved udførelse af nødvendige opgaver i forbindelse med tilsyn og vedligeholdelse m.m. af anlæg, ejendomme, skovbrug, landbrug og dyrehold m.v., medmindre der er indhentet tilladelse fra Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen

I forbindelse med flyvninger, hvor området også anvendes af offentligheden, bør man meddele flyvningerne til politiet. Betingelsen for flyvningerne er, at man er i besiddelse af et dronetegn eller dronebevis. Planlægning af droneflyvningerne omfatter udlægning af arealområde samt positioner langs hoved- og zigzag-transekten, f.eks. med programmerne DJI GS Pro og Litchi. I forberedelsen indgår også opladning af nødvendige batterier til drone, skærm og R/C enhed. Langs flere af vores kyster er adgangsbetingelserne ofte dårlige, derfor indgår det også i planlægningen evt. at indhente nødvendige tilladelser til at benytte private veje til lokaliteten. Tidsforbruget i forbindelse med forberedelse vurderes til 2 timer i gennemsnit (min-max: 1-3 timer) pr transekt.

Kørsel til og fra lokaliteten kan ofte gøres i en mindre bil, idet droneudstyret ikke fylder meget. Dog kan det i forbindelse med kørsel på og ned til strand

være nødvendigt med en firehjulstrækker. Tidsforbruget ved kørsel til og fra lokaliteten afhænger naturligvis af lokalitetens placering, f.eks. i områder der udgøres af øer, kan det være mere hensigtsmæssigt at sejle rundt. Her har vi antaget en gennemsnitsafstand på 90 km til lokaliteten, dvs. 180 km retur, samt at det er muligt at besøge to transekter ved samme lokalitet per dag. Med en gennemsnitshastighed på 60 km/time er transporttiden per transekt derfor 3 timer/2=1.5 time.

Droneflyvningen starter ofte med arealkortlægning, som for et areal på 0,1 km² med en flyhøjde på 100 m tager 8-15 minutter. Herefter foretages punktflyvningerne til dækningsgradsanalyserne langs hovedtransekten, som tager 10-20 minutter. Efterfølgende fortages punktflyvningerne til bestemmelse af dybdegrænserne, som ligeledes tager 10–20 minutter. Samlet dronetid er derfor 28-55 minutter, hvortil kommer tid til opstart og nedtagning. Den samlede tid for opgaven er derfor omtrent 1-1.5 timer per transekt.

Oparbejdelse, analyse samt rapportering af resultaterne. De indsamlede drone og UV-billeder skal efterfølgende oparbejdes. Arealkortlægningen fortages først ved at "mosaikke" billederne sammen ved hjælp af f.eks. softwaret Agisoft Metashape Professional. Dette software kan køre via en Batch proces, så selv om selve behandlingen kan tage 8-12 timer, regnes der her kun med en opstart af processen på 1 time. Billedanalysen af de sammensatte billeder samt samkøring med ground truth punkter kan udføres i et GIS program som ArcMap, hvilket typisk tager 2 timer. Gennemgang af undervandsbillederne samt vurdering af dækningsgrad og dybdegrænse tager omkring 2 timer pr. transekt. Rapportering af resultaterne pr. transekt er sat til 1 time. I alt er tidsforbruget til oparbejdelse ca. 6 timer pr. transekt.

Samlet tidsforbrug ved dronemetoden pr. transekt estimeres til 9 – 12 timer (tabel 3).

Tabel 3.	Samlet oversigt of	over estimeret tids	forbrug per	transekt ved	anvendelse af	drone-
metoden	til kortlægning at	ålegræsvegetatio	nen.			

Fase	Tidsforbrug (timer)
Forberedelse	1 – 3
Kørsel til og fra lokalitet	1,5
Droneflyvning	1-1,5
Oparbejdelse m.m.	6
l alt	9-12

3.2.2 Resurseforbrug

I modsætning til slæde/dykkermetoden, som kræver 2-3 mand, kan dronemetoden udføres af en enkelt person. I forbindelse med dronemetoden er der udgifter til anskaffelse af drone og software, hertil kommer udgifter til kørsel til lokaliteten. I tabel 4 er angivet nogle overslagspriser.

Tabel 4. Overslag over resurseforbrug i forbindelse med kortlægning af ålegræs med drone.

Komponent	Prisoverslag (kr)	Prisoverslag pr transekt (kr)
Anskaffelse af drone	15.000 - 40.000 kr.	375-1000 kr
Anskaffelse af undervandskamera	5.500 kr.	140
Software	10.000 kr.	250
Kørsel pr transekt (90 km à 4 kr)		360
Arbejdsløn pr transekt (9-12 timer à 500 kr)		4500-6000
l alt		5875-8125

Antages det, at hver enhed i Miljøstyrelsen foretager 10 transektundersøgelser om året, og udstyret holder 4 år, er prisen pr. transekt med kørsel ca. 1.500-2.000 kr. Hertil kommer tidsforbruget til forberedelse og analyse mm., i gennemsnit 9-12 timer. Med en timepris sat til 500 kr. bliver den samlede udgift pr. transekt ca. 6-8.000 kr (tabel 4). Dronemetoden leverer samtidig en arealopgørelse inden for denne pris.

3.3 Vurdering af dronemetoden i relation til den eksisterende metode

3.3.1 Sammenlignelighed mellem de to metoders resultater

Der var generelt rimelig god overensstemmelse mellem den gennemsnitlige dækningsgrad af ålegræs i dybdeintervaller vurderet med videoslæde/dykker-metoden og dronemetoden. Det gjaldt for tre af de fire områder, der indgik i sammenligningen (Helnæs Bugt, Odense Fjord, Barup) dog med tendens til, at droneobservationerne gav lidt lavere dækningsgrad specielt på dybere vand. Derimod var der dårlig overensstemmelse for Horsens Fjord (figur 18,19) formentlig pga. af forskelle i dybdekorrektion suppleret med lokal variation i dækningsgraden, da de to metoder blev undersøgt langs lidt forskudte transektlinjer (Figur 15).

På transekten med blandet vegetation ved Barup var der desuden uoverensstemmelse i bestemmelsen af dækningsgraden af andre blomsterplanter på lavt vand, hvor dronemetoden underestimerede dækningsgraden i forhold til den traditionelle dykkermetode. Dronemetoden kan, ligesom videoslædemetoden, ikke give en præcis beskrivelse af dækningsgraden af enkeltarter af blomsterplanter. En sådan detaljeringsgrad kræver dykker.

Tilsvarende var der relativt god overensstemmelse mellem dybdegrænser vurderet med videoslæde/dykker og dronemetoden på tre af de fire transekter, hvor sammenligning var mulig. For Helnæs Bugt og Odense Fjord, varierede estimatet af den gennemsnitlige hovedudbredelse således kun op til 0.2 m mellem de to metoder, og for den maksimale dybdeudbredelse var forskellen op til 0.3 m (tabel 1 og 2). Nordlige Bælthav viste en moderat afvigelse mellem estimaterne på 0.5 m for hovedudbredelse og 0.3 m for max udbredelsen. Der er ikke tendens til, at en af metoderne giver større dybdegrænse en den anden. For Horsens Fjord var forskellen mellem de to metoder markant med 1.4 m, men vi vurderer, at det snarere skyldes en fejl i dybdekorrektion for den eksisterende metode end en egentlig forskel mellem metoder.

De to metoder var også behæftede med omtrent samme usikkerhed. I designet af overvågningen kan man med såvel dronen som med den traditionelle metode reducere usikkerheden på estimatet af dybdegrænsen ved at øge antallet af observationer (her illustreret for dronemetoden, Figur 24, 25).

3.3.2 Sammenlignelighed mellem opløselighed og kvalitet af de to metoders

Mens dronemetoden bestemmer ålegræssets hovedudbredelse og maksimale dybdeudbredelse baseret på punktobservationer, leverer videoslæde/dykkermetoden en kontinuerlig beskrivelse af dækningsgraden ved dybdegrænsen.

Desuden er der forskel i størrelsen af de punkter, som benyttes til dækningsgradsanalyse i droneundersøgelsen (ca. 1-2m x 1-2m) og slædeundersøgelsen (5 sek videointerval, ca 2 x 10 m). Disse forskelle i opløselighed gav sig som nævnt ikke udslag i markante forskelle i dækningsgrader og dybdegrænser målt med de to metoder.

Et andet aspekt af opløseligheden af metoden er antallet af punktobservationer. Den drone, der blev benyttet til metodetesten gav kun mulighed for at foretage 33 punkt observationer per mission, hvilket er i underkanten hvis der f.eks. er 5 dybdeintervaller langs transekten, som hver skal repræsenteres med op til 10 observationer. For lange transekter ville det derfor være nødvendigt at foretage flere missioner langs samme transekt. Dette er en begrænsning ved lange transekter. Derudover skal der foretages en ekstra mission langs zig-zag-linjen ved dybdegrænsen. Problemet kan dog løses ved at anvende mere avancerede droner med større batterikapacitet mm.

I forhold til opløseligheden er det dog væsentligt at bemærke, at selvom dronemetodens punktobservationer repræsenterer mindre felter end den eksisterende metodes, så leverer dronen stor-skala information om variationer i dækningsgrad indenfor hele området omkring transekten og giver mulighed for at opgøre udbredelsesarealet.

Et tredje aspekt af metodernes opløselighed er deres kapacitet i forhold til at differentiere mellem arter og opgøre dækningsgrad og dybdegrænse for enkeltarter af andre blomsterplanter end ålegræs og kransnålalger. Her gav dronemetodens undervandsbilleder mulighed for i et vist omfang at differentiere mellem arter, men giver ligesom videoslædemetoden ikke mulighed for en præcis opgørelse af artsdiversiteten eller dækningsgraden af enkeltarter.

Det er en udfordring, at planlægningen af droneundersøgelserne kræver forudgående kendskab til den omtrentlige dybdegrænse baseret på tidligere års undersøgelser. For at sikre, at evt. ændringer i dybdegrænsen bliver registreret, er anbefalingen at planlægge dronemissionen til vanddybder ca. ± 1 m i forhold til eksisterende dybdegrænser. I tilfælde af, at nye transekter skal inddrages i undersøgelserne foreslås det, at man laver en forundersøgelse med drone med videolink til land således man kan "tune " sig ind på dybdegrænserne.

Dronemetoden giver, via dens bedre positionering, en fordel i forhold til den eksisterende metode mht. reproducerbarheden i at foretage undersøgelsen på præcis samme transekter/arealer fra år til år. Sammenligner man transektundersøgelserne i Horsens Fjord med punktundersøgelserne i fjorden, hvor der er inddraget et betydeligt større areal i undersøgelsen, er det værd at bemærke den meget store forskel i dækningsgraderne på en given dybde afhængigt af placering indenfor arealet (figur 17). I forbindelse med interkalibreringen i 2014 på Hirsholmene var en af de største usikkerheder i kortlægningen, at selv om de undersøgte transekter var markerede med en start- og slut bøje, benyttede de enkelte undersøgelseshold forskellige ruter fra start til slut, således at det ikke var den samme vegetation, der blev vurderet. Forskellen skyldes sandsynligvis bådenes påvirkning af vind og strøm. Dronen er mindre påvirket af disse forhold, og nøjagtigheden på positionen ligger generelt inden for 2 m, hvilket i 2020 forventes at blive reduceret til 0,6 m i takt med, at der bliver sendt flere satellitter i omløb. Figur 31 angiver positionerne for henholdsvis droneundersøgelserne (nordlig) og dykkerundersøgelserne (sydlig) ved Barup. Selv om start- og slut positionen var den samme for de to undersøgelsesmetoder, er forskellen mellem de to transektlinjer ca. 17 m, hvilket kan bidrage til forskellene mellem metoderne.

Figur 31. Transektundersøgelse ved Barup med drone og dykker. Den øverste række punkter angiver droneobservationerne, og den nederste række punkter dykkerobservationerne. Tallene angiver dækningsgraden af ålegræs.



3.3.3 Sammenlignelighed mht. resurser og logistik

Generelt er tidsforbruget mindre ved dronemetoden, men tidsforbruget stiger, hvis der er behov for supplerende missioner ved lange transekter. Dronemetoden har større fleksibilitet, og lavere anskaffelsesomkostningerne end videoslæde/dykkermetoden og leverer et arealestimat indenfor samme pris (tabel 5). Til gængæld er videoslæde/dykkermetoden bedre egnet, hvis vejrforholdene er dårlige.

Tabel 5. Oversigt over centrale forskelle mellem dronemetoden og den traditionelle videoslædemet	ode. *Baseret på oplysninger
fra Miljøstyrelsen.	

Centrale forskelle mellem dronemetoder	n og den traditionelle videoslædemeto	de
	Drone	Videoslæde
Geografisk præcision	0,6-2 m	Variabel
Billedprojektering mod havbunden	Lodret	45 graders vinkel
Areal af punkt observation	1-2x1-2 m	2x10 m
Registrering ved dybdegrænse	Figur 3.1. Punkter	Kontinuerlig
Mulighed for arealkortlægning	Ja	Nej
Max vindhastighed	6 m/sec	5-10 m/sec*
Regn	-	+
Fleksibilitet v. feltarbejde	+	+
Tids/ressourceforbrug per tr.		
Planlægning	1-3 timer	1,6 timer*
Mandskab	1 person	2-3 personer*
Tidsforbrug i felten	1-1.5 timer	4,3 timer*
• Kørsel	1,5 timer	2 timer*
Tidsforbrug analyse	6 timer	2 timer*
Materialer	Drone m. undervandskamera	Båd, videoslæde/dykker
Anskaffelsespris	Lav	Høj

3.3.4 Sammenfatning af test og dokumentation af dronemetode

Formålet med dette projekt var at udvikle en dronemetode til bestemmelse af ålegræssets dækningsgrad, dybdeudbredelse og arealudbredelse samt at teste metoden i forhold til de eksisterende metoder. Det var oprindeligt planen, at dronen skulle trække et undervandsvideokamera gennem vandet langs hele transekten på omtrent samme vis, som ved den traditionelle metode. Metoden blev udviklet med bl.a. datatransmission af videosignal fra undervandskamera til land under overflyvning. Men metodetesten viste, at undervandskameraet ikke kan trækkes gennem vandet over en længere strækning uden at sætte sig fast i sten og vegetation, og at dronebatterierne ved denne metode bliver forholdsvis hurtigt tappet for strøm. Den oprindelige version af dronemetoden kan således ikke umiddelbart opfylde kravene til undersøgelsen. Dronemetoden blev derfor ændret, så den leverer punktobservationer (frem for kontinuerte videosekvenser) til bestemmelse af ålegræssets dækningsgrad samt dybdeudbredelse. Samtidig leverer dronemetoden en bestemmelse af udbredelsesarealet i et større område omkring hvert transekt.

Sammenligningen mellem dronemetoden og den traditionelle slædemetode på udvalgte transekter viste, at der generelt er god overensstemmelse mellem resultaterne mht. ålegræssets dækningsgrad og dybdegrænse – dog bortset fra Horsens Fjord (se tidligere), hvor vi vurderede, at andre forhold (dybdekorrektion, lokale forskelle, dårlig sigt under slædevideooptagelsen) end direkte forskelle mellem de to metoder spillede en afgørende rolle for forskellen i resultater. Dronemetoden viser dog ligesom videoslædemetoden begrænsninger i forhold til at levere en detaljeret opgørelse af artssammensætning og dækningsgrad af enkeltarter af kransnålalger og andre blomsterplanter en ålegræs og har derfor ikke samme opløsning som dykkermetoden.

Rent logistisk fungerer dronemetoden fint og er specielt velegnet på de relativt korte transekter, for dronen kan observeres fra land og punktobservationerne kan gennemføres med få dronemissioner, mens metoden har begrænsninger ved lange transekter eller i øriger, hvor der er vanskelig adgang til transekterne fra land.

Videometoden viser dermed potentiale for på sigt at kunne erstatte undersøgelser med videoslæde i en række områder, hvor der ikke kræves detaljerede opgørelser af enkeltarter og deres dækningsgrader. Dronemetoden er også et attraktivt supplement til den eksisterende metode, idet den leverer information om dækningsgrad og udbredelsesareal for et større område omkring transekterne.

Der er stort udviklingspotentiale for metoden i forhold til:

- at levere flere dyk per mission, hvilket bl.a. kræver længere batteritid. Dette er allerede nu en mulighed med mere avancerede droner;
- at dokumentere sikkerheden i forhold til kortlægning af forskellige vegetationstyper;
- at forbedre muligheden for at skelne mellem forskellige vegetationstyper; her er brug af spektrale kameraer en mulighed i kombination med mere sofistikerede algoritmer til at skelne mellem vegetationstyper,

Der foregår en rivende udvikling i remote sensing teknikker bla. i form af udvikling af droner med kraftigere batterier og dermed længere rækkevide samt bedre positionering og udvikling af "machine learning" teknikker til identifikation af vegetationstyper. På længere sigt er der derfor ikke tvivl om, at droner vil indgå som en større del af vores overvågning af miljøet. Vores Skandinaviske naboer udvikler også i øjeblikket nye metoder for vegetationsovervågning baseret på remote sensing, så der er basis for et nordisk samarbejde om udvikling af teknikker og nye moniteringsstrategier.

4 Interkalibrering af eksisterende metode til undersøgelse af ålegræs

4.1 Indledning

I regi af NOVANA overvågningsprogrammet har det marine fagdatacenter (M-FDC)/DCE-Nationalt center for Miljø og Energi afholdt interkalibrering af eksisterende metoder til undersøgelse af ålegræs, hvor der anvendes video-slæde.

Videoslædemetoden benyttes til transektundersøgelser, hvor ålegræs er den eneste blomsterplante, mens dykkerundersøgelser benyttes på transekter, hvor der er flere arter af blomsterplanter/kransnålalger.

Interkalibreringen er udført ved, at data og videoklip indsamlet af Miljøstyrelsen (MST) fra tre NOVANA transekter er blevet distribueret mellem MST's lokale enheder og konsulenter. Hver enhed har herefter bestemt dækningsgrad, hoved- og maksimal dybdegrænse på transekterne. Resultaterne fra de enkelte enheder og konsulenter er efterfølgende sendt til AU, som har foretaget en statistisk behandling af resultaterne (se afsnit 4.3 og uddybning i Bilag 3).

Efterfølgende blev MST's enheder og konsulenter indkaldt til en workshop, hvor resultaterne blev gennemgået. På workshoppen blev resultaterne af droneprojektet også præsenteret. Workshoppen blev afholdt den 25. november 2019 på Institut for Bioscience, Aarhus Universitet. Program og deltagerliste for workshoppen findes i Bilag 4.

Interkalibreringsworkshoppen blev indledt med en lille øvelse i bestemmelse af dækningsgrad for at illustrere udfordringen ved at dækningsgraden bestemmes subjektivt og for at understrege nødvendigheden af løbende at gennemføre øvelser i bestemmelse af dækningsgrad. Den lille øvelse kan anvendes både i forbindelse med oplæring af nye medarbejdere i dækningsgradsbestemmelser og til løbende træning i dækningsgradbestemmelse. Resultaterne af denne øvelse er opsummeret i Bilag 5.

Nedenfor beskrives interkalibreringen i felten og resultaterne af denne.

4.2 Testområder

Der blev udvalgt tre transekter til interkalibreringen (figur 32): én i Horsens Fjord med forholdsvis spredt ålegræsvegetation og ringe dybdeudbredelse, én i Helnæs Bugt med en til tider tæt ålegræsvegetation og en forholdsvis stor dybdeudbredelse og en lang transekt i Odense Fjord med spredt ålegræsvegetation. **Figur 32**. Blandt de 5 lokaliteter, som indgik i testen af dronemetoden, indgik tre (angivet med røde firkanter) i interkalibreringen.



4.3 Statistisk analyse

Som udgangspunkt er de tre lokaliteter testet i den samme model, idet udfordringerne med at bestemme dækningsgrader og dybdegrænser er de samme for alle lokaliteter, og formålet med interkalibreringen er at teste, om observatørerne generelt opnår ensartede resultater.

Da antallet af observationer for den enkelte observatør på de enkelte lokaliteter varierede, var det ikke hensigtsmæssigt at sammenligne enkeltobservationer. I stedet blev dækningsgraderne sammenlignet inden for 0.5 m's dybdeintervaller. Det indebærer dog, at hvis deltagerne ikke har foretaget en korrekt dybde korrektion, vil dette være endnu en kilde til variation mellem observatørerne. For Horsens Fjord var der en del uklarhed om den korrekte dybdekorrektion. For at dybdeforskelle ikke skulle spille en rolle i sammenligningen mellem observatører justerede vi derfor de enkelte observatørers dybdedata i forhold til datasættet fra den lokale Miljøstyrelsesenhed, som definerede dybdekorrektionen. Korrektionen blev fundet ved at sammenligne dybden på geo-referede observationer i hvert datasæt. For at teste hypotesen "observatørerne vurderer dækningsgraden inden for hvert dybdeinterval ens" brugte vi en generel lineær model. Modellen beskriver samtlige kendte kilder til variation i datasættet: variationer mellem lokaliteter, dybdeintervaller, observatører, samt potentielle vekselvirkninger (andenordensinteraktioner) mellem effekt af observatør og hhv. lokalitet og dybdeinterval. Andenordensinteraktionerne tester om observatøreffekten er den samme på tværs af lokaliteter og dybdeintervaller. Selvom det udelukkende er potentielle observatøreffekter og interaktioner med disse, vi er interesserede i, inkluderer modellen også de øvrige kilder til variation for at kunne lave en samlet analyse af variationen på tværs af lokaliteter, samt illustrere hvor stor en del af variationen de enkelte variable bidrager med.

Udover den samlede analyse af kilder til variation i hhv. dækningsgrad, dybdegrænse for hovedudbredelsen og maksimal dybdegrænse, analyserede vi også variationer i hoved- og max udbredelsen af ålegræsset separat for hver lokalitet. Dette gjorde vi, fordi der er stor forskel mellem lokaliteternes dybdegrænse.

Residualerne fra den lineære model opfyldte forudsætningerne for normal fordeling og varians homogenitet. Vi har brugt proc glm i SAS 9.4 (SASInstitute, Cary, NC) til de statistiske analyser.

4.4 Resultater

4.4.1 Dækningsgrader og dybdeintervaller

Samlet set viste data, at observatørerne estimerede dækningsgraden signifikant forskelligt (tabel 7). Interaktionerne mellem observatør og lokalitet samt mellem observatør og dybdeinterval var også signifikante. Det betyder, at forskellen mellem observatørernes vurdering af dækningsgraden afhang af både hvilken lokalitet og hvilket dybdeinterval, det drejede sig om.

Dette fremgår tydeligt af data, der eksempelvis viser, at observatørerne vurderede dækningsgraden relativt ens på det laveste og dybeste dybdeinterval ved Helnæs, hvor dækningsgraden var hhv. høj og lav, mens der var større forskelle i dækningsgraden på mellemdybder med middel dækningsgrad (figur 33). På disse mellemdybder var det dog især én observatør, der vurderede dækningsgraden lavere end de øvrige observatører. For alle dybdeintervaller ved Horsens Fjord og det inderste dybdeinterval i Odense Fjord var observatørerne enige om, at dækningsgraden var forholdsvis lav. (figur 33).

Den signifikante effekt af lokalitet og dybdeinterval er ikke relevant for analysen af forskelle mellem observatører, men er blot inkluderet i tabellen for fuldstændighedens skyld; disse effekter er evidente, da ålegræssets dækningsgrad jo varierer betydeligt mellem lokaliteter og dybdeintervaller.

Variable	df	F	р	% forklaret
Observatør	11, 1692	16.1	<.0001	0.36
Dybdeinterval	7, 1692	270.6	<.0001	6.02
Lokalitet	2, 1692	4206.11	<.0001	93.51
Observatør * dybdeinterval	57, 1692	1.8	<.0001	0.04
Observatør * lokalitet	19, 1692	3.1	<.0001	0.07

Tabel 7. Test resultater for dækningsgradsanalysen. Der testes for effekt af observatør,

Figur 33. Vurdering af dækningsgrad af ålegræs på transekten ved Helnæs Bugt (øvre panel), Horsens Fjord (midterste panel) og Odense Fjord (nedre panel) for observatør a-k (markeret med forskellig farve).







4.4.2 Hoved- og max udbredelse

Estimaterne for både max dybdegrænsen og hovedudbredelsen varierede også signifikant mellem observatører (tabel 8, figur 34-35). Endvidere indikerer interaktionen mellem lokalitet og observatør, at forskellene mellem observatørerne også afhænger af lokaliteterne (tabel 8). Vi analyserede derfor observatørforskelle for hver lokalitet separat. Disse analyser viste, at der er mindre forskel på estimatet af dybdegrænsen for Helnæs end for Odense fjord og Horsens fjord. For Helnæs var max dybdegrænsen således ikke signifikant forskellig mellem observatørerne, og for hovedudbredelsen var forskellen mellem observatører mindre signifikant end for Horsens og Odense fjorde (tabel 9). Variationen mellem observatørernes estimater af dybdegrænserne var dermed større for lokaliteter med lave dækningsgrader og dybdegrænser (Horsens og Odense) end for lokaliteter med højere dækningsgrader og dybere populationer (Helnæs).

Observatør nr. 3 vurderede hovedudbredelsen i Odense Fjord signifikant dybere end øvrige observatører. Dette skyldtes måske manglede dybdekorrektion og bidrager til den signifikante forskel mellem observatører.

Tabel 8. Test for forskelle i dybdegrænseestimaterne mellem observatører og lokaliteter. Tabellen viser antallet af frihedsgrader (df) for parameteren og residualen, F-værdi (F) og sandsynlighedsestimat (p) i forbindelse med den lineære model.

Max dybdegrænse					Hovedudbredelse				
Parameter	df	F	р	% forklaret	df	F	р	% forklaret	
Lokalitet	2, 157	4375.1	<.0001	99.18	2, 173	7046.9	<.0001	99.06	
Observatør	11, 157	20.3	<.0001	0.46	11, 173	39.8	<.0001	0.56	
Lokalitet*observatør	19, 157	16.2	<.0001	0.37	19,173	27.3	<.0001	0.38	

Tabel 9. Test for observatørforskelle i estimatet af dybdegrænserne for hver lokalitet. Tabellen viser antallet af frihedsgrader (df), F-værdi (F) og sandsynlighedsestimat (p) i forbindelse med den lineære model. R^2_{hoved} =0.99; R^2_{max} =0.98.

	Max.	dybdegra	Hovedudbredelse				
Lokalitet	df	F	р	df	F	р	
Helnæs	10, 56	0.4	0.95	10, 59	2.9	0.005	
Horsens fjord	10, 52	91.4	<0.001	10, 57	119.9	<0.001	
Odense fjord	10, 49	16.5	<0.001	10, 57	11.0	<0.001	

Figur 34. Estimater af max dybdegrænsen for hver observatør for transekten i Helnæs Bugt (øvre panel), Horsens Fjord (midterste panel) og Odense Fjord (nedre panel). Serien af krydser for hver observatør på den enkelte lokalitet repræsenterer delprøver.







Figur 35. Estimater af dybdegrænsen for ålegræssets hovedudbredelse for hver observatør for transekten i Helnæs Bugt (øvre panel), Horsens Fjord (midterste panel) og Odense Fjord (nedre panel). Serien af krydser for hver observatør på den enkelte lokalitet repræsenterer delprøver.



4.4.3 Blød bund og drivende alger

Estimaterne for dækningsgraden af blød bund og drivende alger viste også signifikante forskelle mellem observatørerne (tabel 10). For drivende alger var begge interaktionseffekter med observatør signifikante, og for blød bund var interaktionen mellem observatør og lokalitet signifikant (tabel 10). De signifikante interaktionseffekter indikerer, at observatøreffekten er forskellig mellem lokaliteterne, og for drivende alger også mellem dybdeklasserne. Det er bemærkelsesværdigt, at observatør og interaktionerne med observatør i disse modeller forklarer en langt større del af variationen (min 26 %) i estimaterne end det, der ses for dækningsgrader af ålegræs (<1 %).

Tabel 10. Test for observatørforskelle for estimaterne af drivende alger og blød bund. Tabellen viser antallet af frihedsgrader for parameteren og residualen (df), F-værdi (F) og sandsynlighedsestimat (p) i forbindelse med den lineære model.

· · · · ·	Dæ		Dækningsgrad af blød bund					
Parameter	df	F	р	% forklaret	df	F	р	% forklaret
Observatør	8, 1143	36.5	<.0001	20.3	9, 1312	4.6	<.0001	18.3
Dybdeinterval	8, 1143	15.7	<.0001	8.8	8, 1312	0.1	0.9999	0.2
Lokalitet	2, 1143	116.8	<.0001	65.1	2, 1312	17.5	<.0001	70.1
Observatør*dybdeinterval	44, 1143	7.8	<.0001	4.3	52, 1312	0.0	1	0.1
Observatør*lokalitet	13, 1143	2.6	0.0015	1.4	15, 1315	2.8	0.0002	11.3

En forklaring på den store observatøreffekt omkring dækningsgraden af drivende alger kan være, at der skal registreres flere kategorier af "drivende alger", og at dette kan skabe forvirring og resultere i forskellig tolkning af kategorierne og hvilke alger, der skal henregnes til dem. Den tekniske anvisning omfatter to hovedkategorier af drivende alger: "drivende opportunistiske makroalger (samlet)" og "øvrige drivende makroalger (samlet)" samt en uddybning for dominerende arter af opportunistiske drivende makroalger "drivende opportunistiske makroalger (dominerende arter)". Men i resultaterne fra interkalibreringen optrådte der flere forskellige kategorier af drivende alger, så det var uklart, hvilke der var sammenlignelige. I dataanalysen valgte vi derfor at kombinere kategorierne til "drivende alger". Alligevel var der betydelige observatøreffekter, som viser et behov for at præcisere den tekniske anvisning omkring drivende alger. Interkalibreringsworkshoppen gav også anledning til en diskussion af dette. Der var dels forslag om at reducere antallet af kategorier og dels forslag om at inkludere "epifytter" i kategorien af opportunistiske alger. En mulighed er derfor at forenkle registreringen af drivende alger til en samlet kategori "drivende alger", som også omfatter de tilfælde, hvor drivende alger er fanget eller fasthæftet på vegetationen.

4.5 Sammenfatning af interkalibrering

Interkalibreringen, baseret på de tre videotransekter, viste signifikante forskelle mellem observatørerne mht. bestemmelse af både dækningsgrad, dybdegrænse for hovedudbredelsen og maksimal dybdegrænse. Forskellene mellem observatørerne afhang af lokalitet og dybdeinterval og var størst for transekter med spredte bestande og begrænset dybdeudbredelse, mens dybe, tætte bestande blev vurderet mere ensartet. Der var særlig stor uoverensstemmelse i observatørernes vurdering af dækningsgraden af drivende alger, hvilket førte til forslag om fremover at simplificere registreringerne af disse på en måde, der sikrer sammenlignelighed med eksisterende tidsserier. Interkalibreringsworkshoppens øvelse i vurdering af dækningsgraden af ålegræs viste, at observatørerne i gennemsnit kommer forholdsvis tæt på den korrekte dækningsgrad, men at der er en del spredning i vurderingerne.

Samlet understreger interkalibreringen, at der er behov for at sikre løbende oplæring af observatører og gennemføre regelmæssige interkalibreringer for at sikre bedst mulig sammenlignelighed mellem observatører og dermed optimere kvaliteten af data.

5 Referencer

Frederiksen M, Krause-Jensen D, Holmer M, Laursen JS. 2004. Long-term changes in area distribution of eelgrass (*Zostera marina*) in Danish coastal waters. *Aquatic Botany* 78(2): 167-181.

Harvey ET, Krause-Jensen D, Stæhr PA, Groom GB & Hansen LB. 2018. Literature review of remote sensing technologies for coastal chlorophyll-a observations and vegetation coverage. Part of ReSTEK (Brug af Remote Sensing teknologier til opgørelse af klorofylkoncentrationer og vegetationsudbredelse i danske kystvande) and DCE Remote sensing in coastal area projects. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 47 pp. - Technical Report from DCE - Danish Centre for Environment and Energy No. 112. <u>http://dce2.au.dk/pub/TR112.pdf</u>

Steward, J. S., Virnstein, R. W., Morris, L. J., & Lowe, E. F. (2005). Setting seagrass depth, coverage, and light targets for the Indian River Lagoon system, Florida. *Estuaries*, *28*(6), 923-935.

Stæhr PA, Groom GB, Krause-Jensen D, Hansen, LB, Huber S, Jensen, LØ, Rasmussen MB, Upadhyay, S, Ørberg, SB. 2019. Use of remote sensing technologies for monitoring chlorophyll a and submerged aquatic vegetation in Danish coastal waters. Part of the RESTEK project. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 62 pp. Technical Report No. 139 http://dce2.au.dk/pub/TR139.pdf

Ørberg, S.B., Groom, G.B., Kjeldgaard, A., Carstensen, J., Rasmussen, M.B., Clausen, P. & Krause-Jensen, D. 2018. Kortlægning af ålegræsenge med ortofotos - muligheder og begrænsninger. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 68 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 265 <u>http://dce2.au.dk/pub/SR265.pdf</u>

Bilag 1 Analyse af tidslig udvikling i udbredelsesareal

For samme arealer som bestemt med dronen (afsnit 3), er der foretaget en analyse af den tidslige udvikling af ålegræsvegetationen i Horsens Fjord (Figur B1) og Odense Fjord (Figur B2) på baggrund af fly-ortofotos. Analyserne er foretaget på bagrund af ground truth data fra NOVANA vegetationsundersøgelserne de enkelte år og udført som beskrevet i Ørberg et al. 2018.



2012-analyseret flyfoto





2014- analyseret flyfoto



2018- råt flyfoto



2018- analyseret flyfoto



Figur B1 Tidslig udvikling i ålegræsvegetationen i Horsens Fjord 2012-2018 baseret på fly-ortofotos og NOVANA transektundersøgelser. Fly-ortofoto venstre kolonne, billedanalyseret foto højre kolonne.



Figur B2. Tidslig udvikling i ålegræsvegetationen i Odense fjord 2012-2018 baseret på flyortofotos og NOVANA transektundersøgelser. Fly-ortofoto venstre kolonne, billedanalyseret foto højre kolonne

Figur B3 og B4 viser den tidslige udvikling i ålegræssets udbredelsesareal i henholdsvis Horsens Fjord og Odense Fjord baseret på flyfotos. I begge Fjorde skete der fra 2012 til 2014 en markant reduktion i ålegræsvegetationens udbredelse, hvilket også fremgår af NOVANA transektundersøgelserne. I 2018 er vegetationsudbredesen igen steget og udgør det største vegetationsdække i de 3 undersøgte år. Sammenlignet med drone-foto er fly-foto af en lavere opløsning; 16-20 cm pr. pixel for flyfotos kontra 1-2 cm pr. Pixel for dronefotos. Denne forholdsvis ringe opløsning på fly-ortofoto bevirker, at det ikke har været muligt at underinddele vegetationen i dækningsgradsklasser, som det er tilfældet med droneoptagelserne. Til gengæld er det i dag muligt at få fly-ortofoto, der dækker hele Danmark.

Ved en kombination mellem fly-ortofoto, droneoptagelser i udvalgte områder samt inddragelse af resultaterne fra NOVANA transekterne vil det sandsynligvis være muligt at kortlægge ålegræsvegetationen langs store dele af de danske kyster.







Figur B4. Tidslige udvikling i ålegræssets arealudbredelse i udvalgt areal af Odense fjord baseret på analyse af fly-ortofoto fra 2012, 2014 og 2018.

Bilag 2 Test for varians homogenitet mellem drone og dykker/slæde metoden

Varians estimater (VAR) for bestemmelse af dybdegrænser for ålegræssets hovedudbredelse (Hoved) og maksimale dybdegrænse (max) med dronemetoden (drone) og den eksisterende metode (MST). Varianserne sammenlignes med en F_{max} test (variance ratio), der tester om der er varians heterogenitet mellem de 2 metoder. Denne variance ratio testes i forhold til en F- fordeling angivet for df_{tæller}, df_{nævner}. P –værdier <0.05 indikerer at der er varians heterogenitet mellem de to metoder. Største varians angiver den metode, der viste den største varians på de enkelte lokaliteter.

Dybdegrænse	lokalitet	var mst	var drone	variance	df _{Tæller} ,	р	StØRSTE
				ratio	df nævner		VARIANS
Hoved	Helnæs	0.032	0.3136	9.80	12,6	<0.05	drone
Hoved	Odense	0.004762	0.0036	1.32	4,7	NS	slæde/dykker
Hoved	LillebæltN	0.010336	0.0036	2.87	7,9	NS	slæde/dykker
Hoved	Baarup	0.055714	*				
Hoved	Horsens	0.011829	0.0196	1.66	12, 7	NS	drone
max	Baarup	0.350667	*				
max	Helnæs	0.072	0.5041	7.00	12, 6	<0.05	drone
max	Horsens	0.013111	0.0196	1.49	12, 9	NS	drone
max	LillebæltN	0.010336	0.0049	2.11	9, 7	NS	slæde/dykker
max	Odense	0.002667	0.0036	1.35	6,6	NS	drone

Bilag 3 Supplerende statistik for interkalibrering

Parvise sammenligninger for observatør effekter af hhv. hovedudbredelse og max dybdegrænser som er rapporteret i rapportens tabel 8 og 9. Numrene referer til observatøridentiteten. "Dybde LS MEAN" angiver least square means estimatet for hver observatør. Tabel med "Least square mean differences for observatør" angiver p værdien for den parvise sammenligning mellem observatører.

Helnæs:	
Observatør	Dybde LSMEAN
1	4.45714286
4	4.79666667
6	4.78000000
11	4.75714286
2	4.6000000
3	4.88333333
5	4.65000000
7	4.71166667
8	4.84166667
9	4.7000000
10	4.97142857

Hovedudbredelse

				Least Squ Pr >	ares Mean	difference	es for Obse =LSMean(j	ervatør)			
					Dependen	t Variable:	Dybde				
i/j	1	4	6	11	2	3	5	7	8	9	10
1		0.0059	0.0087	0.0110	0.2346	0.0007	0.1103	0.0366	0.0020	0.0378	<.0001
4	0.0059		0.8931	0.7409	0.1165	0.4855	0.2396	0.4939	0.7168	0.4198	0.1472
6	0.0087	0.8931		0.8483	0.1502	0.4060	0.2967	0.5820	0.6193	0.5039	0.1129
11	0.0110	0.7409	0.8483		0.1917	0.2932	0.3715	0.7037	0.4802	0.6190	0.0658
2	0.2346	0.1165	0.1502	0.1917		0.0253	0.6870	0.3694	0.0550	0.4040	0.0028
3	0.0007	0.4855	0.4060	0.2932	0.0253		0.0637	0.1696	0.7369	0.1287	0.4619
5	0.1103	0.2396	0.2967	0.3715	0.6870	0.0637		0.6193	0.1259	0.6758	0.0090
7	0.0366	0.4939	0.5820	0.7037	0.3694	0.1696	0.6193		0.2967	0.9222	0.0330
8	0.0020	0.7168	0.6193	0.4802	0.0550	0.7369	0.1259	0.2967		0.2385	0.2798
9	0.0378	0.4198	0.5039	0.6190	0.4040	0.1287	0.6758	0.9222	0.2385		0.0208
10	<.0001	0.1472	0.1129	0.0658	0.0028	0.4619	0.0090	0.0330	0.2798	0.0208	

Horsens:		
Observatør	Dybde LSMEAN	
1	1.14000000	
4	1.0800000	
6	1.12892450	
11	1.22000000	
2	1.51250000	
3	2.38571429	
5	1.18571429	
7	1.01833333	
8	1.66571429	
9	2.8000000	
10	1.02857143	

				Least So Pr	uares Mean di > Itl for H0: LS Dependent V	fferences f Mean(i)=L ariable: Dy	or Observ SMean(j) vbde	atør			
i/j	1	4	6	11	2	3	5	7	8	9	10
1		0.4369	0.9001	0.3379	<.0001	<.0001	0.5532	0.1303	<.0001	<.0001	0.1514
4	0.4369		0.5533	0.0730	<.0001	<.0001	0.1363	0.4006	<.0001	<.0001	0.4653
6	0.9001	0.5533		0.3040	<.0001	<.0001	0.4916	0.1958	<.0001	<.0001	0.2263
11	0.3379	0.0730	0.3040		0.0002	<.0001	0.6563	0.0137	<.0001	<.0001	0.0154
2	<.0001	<.0001	<.0001	0.0002		<.0001	<.0001	<.0001	0.0275	<.0001	<.0001
3	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
5	0.5532	0.1363	0.4916	0.6563	<.0001	<.0001		0.0252	<.0001	<.0001	0.0286
7	0.1303	0.4006	0.1958	0.0137	<.0001	<.0001	0.0252		<.0001	<.0001	0.8887
8	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0275	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001
9	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001
10	0.1514	0.4653	0.2263	0.0154	<.0001	<.0001	0.0286	0.8887	<.0001	<.0001	

Odense:		
Observatør	Dybde LSMEAN	
1	2.68333333	
4	2.67142857	
6	2.70166667	
11	2.6500000	
2	2.73333333	
3	3.1500000	
5	2.71666667	
7	2.7000000	
8	2.68500000	
9	2.7500000	
10	2.68571429	

Least Squares Mean differences for Observatør Pr > Itl for H0: LSMean(i)=LSMean(j) Dependent Variable: Dybde											
i/j	1	4	6	11	2	3	5	7	8	9	10
1		0.8364	0.7594	0.5779	0.4047	<.0001	0.5779	0.7806	0.9778	0.2677	0.9671
4	0.8364		0.6004	0.7103	0.2853	<.0001	0.4339	0.6206	0.8139	0.1764	0.7965
6	0.7594	0.6004		0.3894	0.5970	<.0001	0.8021	0.9778	0.7806	0.4205	0.7821
11	0.5779	0.7103	0.3894		0.1672	<.0001	0.2677	0.4047	0.5591	0.0987	0.5363
2	0.4047	0.2853	0.5970	0.1672		<.0001	0.7806	0.5779	0.4205	0.7806	0.4102
3	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
5	0.5779	0.4339	0.8021	0.2677	0.7806	<.0001		0.7806	0.5970	0.5779	0.5918
7	0.7806	0.6206	0.9778	0.4047	0.5779	<.0001	0.7806		0.8021	0.4047	0.8043
8	0.9778	0.8139	0.7806	0.5591	0.4205	<.0001	0.5970	0.8021		0.2798	0.9901
9	0.2677	0.1764	0.4205	0.0987	0.7806	<.0001	0.5779	0.4047	0.2798		0.2674
10	0.9671	0.7965	0.7821	0.5363	0.4102	<.0001	0.5918	0.8043	0.9901	0.2674	

Max dybde:

Helnæs:

Observatør	Dybde LSMEAN	
1	5.17142857	
4	5.06333333	
6	5.11571429	
11	5.11428571	
2	5.15000000	
3	5.2333333	
5	5.2000000	
7	5.24500000	
8	5.26333333	
9	5.12857143	
10	5.32857143	

	Least Squares Mean differences for Observatør Pr > Itl for H0: LSMean(i)=LSMean(j) Dependent Variable: Dybde										
i/j	1	4	6	11	2	3	5	7	8	9	10
1		0.5394	0.7417	0.7353	0.9030	0.7249	0.8773	0.6759	0.6737	0.7998	0.3541
4	0.5394		0.7659	0.7721	0.6351	0.3534	0.4761	0.3216	0.3725	0.7108	0.1353
6	0.7417	0.7659		0.9933	0.8454	0.5044	0.6491	0.4632	0.4994	0.9393	0.2109
11	0.7353	0.7721	0.9933		0.8391	0.4992	0.6435	0.4583	0.4952	0.9326	0.2079
2	0.9030	0.6351	0.8454	0.8391		0.6482	0.7939	0.6030	0.6125	0.9030	0.3120
3	0.7249	0.3534	0.5044	0.4992	0.6482		0.8617	0.9490	0.8932	0.5519	0.5885
5	0.8773	0.4761	0.6491	0.6435	0.7939	0.8617		0.8141	0.7838	0.6997	0.4881
7	0.6759	0.3216	0.4632	0.4583	0.6030	0.9490	0.8141		0.9346	0.5087	0.6349
8	0.6737	0.3725	0.4994	0.4952	0.6125	0.8932	0.7838	0.9346		0.5373	0.7649
9	0.7998	0.7108	0.9393	0.9326	0.9030	0.5519	0.6997	0.5087	0.5373		0.2394
10	0.3541	0.1353	0.2109	0.2079	0.3120	0.5885	0.4881	0.6349	0.7649	0.2394	

Horsens:						
Observatør	Dybde LSMEAN					
1	1.32000000					
4	1.15142857					
6	1.25516750					
11	1.44000000					
2	1.71428571					
3	2.57142857					
5	1.42857143					
7	1.28500000					
8	1.7900000					
9	3.0000000					
10	1.05714286					

	Least Squares Mean differences for Observatør Pr > Itl for H0: LSMean(i)=LSMean(j) Dependent Variable: Dybde										
i/j	1	4	6	11	2	3	5	7	8	9	10
1		0.0681	0.5344	0.2250	<.0001	<.0001	0.2356	0.7099	0.0001	<.0001	0.0054
4	0.0681		0.2891	0.0024	<.0001	<.0001	0.0015	0.1263	<.0001	<.0001	0.2589
6	0.5344	0.2891		0.0804	<.0001	<.0001	0.0792	0.7661	<.0001	<.0001	0.0460
11	0.2250	0.0024	0.0804		0.0038	<.0001	0.9000	0.1037	0.0031	<.0001	<.0001
2	<.0001	<.0001	<.0001	0.0038		<.0001	0.0011	<.0001	0.4809	<.0001	<.0001
3	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
5	0.2356	0.0015	0.0792	0.9000	0.0011	<.0001		0.1009	0.0013	<.0001	<.0001
7	0.7099	0.1263	0.7661	0.1037	<.0001	<.0001	0.1009		<.0001	<.0001	0.0106
8	0.0001	<.0001	<.0001	0.0031	0.4809	<.0001	0.0013	<.0001		<.0001	<.0001
9	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001
10	0.0054	0.2589	0.0460	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0106	<.0001	<.0001	

Odense:					
Observatør	Dybde LSMEAN				
1	2.71666667				
4	2.74285714				
6	2.71833333				
11	2.68333333				
2	2.75000000				
3	3.15000000				
5	2.75000000				
7	2.73333333				
8	2.74000000				
9	2.766666667				
10	2.71428571				

	Least Squares Mean differences for Observatør										
	Dependent Variable: Dybde										
i/j	1	4	6	11	2	3	5	7	8	9	10
1		0.5446	0.9703	0.4579	0.5991	<.0001	0.4579	0.7099	0.7127	0.2672	0.9560
4	0.5446		0.5704	0.1718	0.9086	<.0001	0.8685	0.8253	0.9634	0.5817	0.4917
6	0.9703	0.5704		0.4358	0.6175	<.0001	0.4806	0.7378	0.7324	0.2832	0.9253
11	0.4579	0.1718	0.4358		0.2952	<.0001	0.1409	0.2672	0.3728	0.0674	0.4743
2	0.5991	0.9086	0.6175	0.2952		<.0001	1.0000	0.7925	0.8974	0.7925	0.5664
3	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
5	0.4579	0.8685	0.4806	0.1409	1.0000	<.0001		0.7099	0.8745	0.7099	0.4095
7	0.7099	0.8253	0.7378	0.2672	0.7925	<.0001	0.7099		0.9162	0.4579	0.6592
8	0.7127	0.9634	0.7324	0.3728	0.8974	<.0001	0.8745	0.9162		0.6739	0.6795
9	0.2672	0.5817	0.2832	0.0674	0.7925	<.0001	0.7099	0.4579	0.6739		0.2282
10	0.9560	0.4917	0.9253	0.4743	0.5664	<.0001	0.4095	0.6592	0.6795	0.2282	

Bilag 4 Deltagerliste og program for workshop

Deltagerliste

Casper Cæsar Fælled, MST Nordjylland Christian Darling, MST Sjælland Christian B. Hvidt, Naturfocus Dorte Frimann Hansen, MST Østjylland Dorte Krause Jensen (Underviser), Bioscience Else Vihlborg Staalsen (Underviser), Bioscience Emil Guddal Larsen, MST Sjælland Jakob Ole Larsen, MST Storstrøm Jens Christensen, Gaviadyk/Fishlab Lasse Ørsted Jensen, MST Sydjylland Lea Riis Stenfeldt, MST Sydjylland Maks Klaustrup, BioApp Marie Loof Voetmann, MST Fyn Mathias Engell Holmstrup, Fishlab Michael Bo Rasmussen (Underviser), Bioscience Mikael Hjorth Jensen, Miljøstyrelsen Mikkel Schmedes, Orbicon Morten Søby Frederiksen, MST Sydjylland Nikolaj Holmboe, MST Fyn Rikke Bjerring, MST Herning Rune Frederiksen, Ruf Dykkerservice Steen Schwærter, MST Østjylland Svend Åge Bendtsen, MST Nordjylland Søren Nielsen, Orbicon Thomas Bruun Valdemarsen, Miljøstyrelsen Thorsten Balsby (underviser), Bioscience

Program for workshoppen

- 09:00 09:15 Ankomst og kaffe med brød
 09:15 09:45 Introduktion til dagens program (Michael)
 09:45 10:10 Baggrund for interkalibreringen (Michael)
 10:10 11:10 Gennemgang af dækningsgrad- og dybdegrænse analyserne (Thorsten)
 11:10 12:00 Diskussion af analyserne (alle)
 12:00 13:00 Frokost
 13:00 13:30 Træning i dækningsgradvurdering (Michael)
 13:30 14:00 Anvendelse af drone til kortlægning af ålegræsvegetationen (Michael)
 14:00 14:15 Kaffe og kage
 14:15 14:30 Anvendelse af ålegræsdata i overvågning og forvaltningsperspektiver (Dorte)
- 14.30 15:00 Diskussion af det videre forløb (alle)

Bilag 5 Øvelse i bestemmelse af dækningsgrad

Et af de største problemer ved kortlægning af ålegræs er, at dækningsgraden er en subjektiv vurdering, og derfor kan der være store variationer i vurderingen fra person til person. For at illustrere og give bidrag til at minimere disse usikkerheder blev der på workshoppen trænet dækningsgradsvurderinger baseret på billeder og videosekvenser. Disse blev vist på storskærm, og observatørerne gav løbende hver deres bud på dækningsgrad via et online system (Mentimeter).

Billederne var baseret på droneoptagelser fra Horsens Fjord, hvor ålegræsset var identificeret ved billedbehandling og markeret med grønt. Dækningsgraden af ålegræsarealerne i disse billeder var bestemt ved billedanalyse, så den korrekte dækningsgrad var kendt og kunne sammenholdes med observatørernes estimat (Fig. B5).



Figur B5. Vurdering af dækningsgrad (venstre kolonne) for tre serier af billeder med kendt dækningsgrad (højre kolonne). Middelværdi (cirkel) samt fordeling og variationsbredde (farvede toppe) af deltagernes (18 personer) vurdering er vist for hvert scenarium.

Gennemsnittet for observatørernes vurdering af dækningsgraden for de enkelte billeder (markeret med farvede cirkler i diagrammet) lå typisk tæt på den korrekte dækningsgrad (Figur B5). Den hyppigst vurderede dækningsgrad blandt observatørerne (illustreret som de højeste toppe i diagrammet) lå ligeledes tæt på den korrekte dækningsgrad (Figur B5). Selvom der generelt var enighed blandt observatørerne om dækningsgraden lå i den høje eller lave ende af spektret, var der dog også en betydelig spredning i observatørernes vurderinger, specielt udpræget for billede nr. 9 og 11, hvor et enkelt ekstremt estimat i begge tilfælde resulterede en meget skæv fordeling af observationer.

Tilsvarende blev der foretaget en vurdering af vegetationens dækningsgrad baseret på videosekvenser fra droneoptagelser på transekten i Helnæs Bugt (figur B6). Her blev der foruden dækningsgraden af ålegræs (figur B6, venstre panel) også foretaget en vurdering af dækningsgraden af drivende alger (figur B6, højre panel). For disse videosekvenser var den korrekte dækningsgrad ikke kendt. For både ålegræs og drivende alger var observatørerne forholdsvis enige om dækningsgraden når denne var lav, men ved større dækningsgrader steg variationsbredden på estimaterne, specielt for drivende alger, hvor variationen mellem observatørerne var alarmerende høj (Figur B6, højre panel).

Figur B6. Vurdering af dækningsgraden af ålegræs (venstre panel) og drivende alger (højre panel) baseret på serier af 6 videosekvenser. Middelværdi (cirkel) samt fordeling og variationsbredde (farvede toppe) af deltagernes (hhv. 17 og 16 personer) vurdering er vist for hver sekvens.

Vurder dækningsgraden på drop nr 1	Vurder
Vurder dækningsgraden på drop nr 2	Vurder
Vurder dækningsgraden på drop nr 3	5.1
Vurder dækningsgraden på drop nr 4	
Vurder dækningsgraden på drop nr 5	Vurder
Vurder dækningsgraden på drop nr 6	Vurder
25	(



UDVIKLING OG TEST AF DRONEMETODE OG INTERKALI-BRERING AF EKSISTERENDE METODE TIL UNDERSØGELSE AF ÅLEGRÆS OG ANDEN VEGETATION PÅ BLØD BUND

Aarhus Universitet, Institut for Bioscience, har af Miljøstyrelsen fået til opgave at undersøge mulighederne for at anvende droner til kortlægning af ålegræsvegetationen i danske farvande i relation til de gældende tekniske anvisninger. Drone-projektet omfattede:

Udvikling af drone-baseret metode samt test og dokumentation til bestemmelse af ålegræssets dækningsgrad og dybdegrænse. Projektet dokumenterer desuden dronemetodens anvendelse til at kortlægge ålegræs i området omkring vegetationstransekterne samt til at bestemme vegetationens dækningsgrad på større skala.

Desuden er der blevet kortlagt ålegræssets udbredelsesareal på større skala over tid (2012, 2014, 2018) baseret på fly ortofotos. Desuden omfatter denne rapport resultater fra interkalibreringen af eksisterende metoder til undersøgelse af ålegræsvegetation og anden vegetation på blød bund.

ISBN: 978-87-7156-500-3 ISSN: 2244-999X