

Ålegræs

Guideline til udpegning af optimale storskala udplantningsområder



Foto: Troels Lange



Center for Marin
Naturgenopretning

Ålegræs - Guideline til udpegning af optimale storskala udplantningsområder

Videnskabelig rapport fra Nationalt Center for Marin Naturgenopretning – 2023

Forfatterliste:

Mogens Flindt¹, Rune Steinfurth¹, Timi L. Banke¹, Mikkel Keller Lees¹, Niels Svane¹, Torben Bramming Jørgensen², Karen Timmermann³, Peter A.U. Stæhr⁴, Paula Canal-Verges¹

¹Biologisk Institut, Syddansk Universitet

²Limfjordsrådet, Aalborg Kommune

³DTU Aqua, Sektion for kystzone økologi

⁴Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet, sektion for marin biodiversitet og eksperimentel økolog

Kolofon

Titel:	Ålegræs - Guideline til udpegning af optimale storskala udplantningsområder
Forfattere:	Mogens Flindt, Biologisk Institut, SDU Rune Steinfurth, Biologisk Institut, SDU Timi L. Banke, Biologisk Institut, SDU Mikkel Keller Lees, Biologisk Institut, SDU Niels Svane, Biologisk Institut, SDU Paula Canal-Verges, Biologisk Institut, SDU Torben Bramming Jørgensen, Limfjordsrådet, Aalborg Kommune Karen Timmermann, DTU Aqua, Sektion for kystzone økologi Peter A.U. Stæhr, Aarhus Universitet
Udgivet:	Maj 2023
Kvalitetskontrol:	Erik Kristensen, Biologisk Institut, SDU Cintia Quintana, Biologisk Institut, SDU
Ekstern kommentering:	Jens Kjerulf Petersen, DTU Aqua, Sektion for kystzone økologi Dorte Kruse Jensen, DCE, Aarhus Universitet
Finansieret af:	Miljøstyrelsen & Velux Fonden
ISBN:	
Forsidefoto:	Troels Lange

Udgivet af:



Sammenfatning: **Rapporten** er en kortfattet gennemgang af udpegningsprocessen for ålegræsgenopretning. Anbefalingerne er erfaringsbaserede med baggrund i udplantninger i danske fjorde og kystområder. Formålet har været at sikre højest mulige succes via en blanding af metodiske processer fra model/GIS-analyser af kyststrækninger, som yderligere kvalificeres ved drone-analyser og dykker-observationer inden der gennemføres test-transplantationer som endeligt udpegningsgrundlag.

Indhold

Indtroduktion	5
Screeningsværktøj (model/GIS-analyse)	6
Orthofoto-analyse	11
Droneoverflyvning og analyse	12
Dykkerobservationer	12
Sedimentanalyser	13
Test-transplantationer	13
Endelig udpegning af storskala-transplantations	14
Kortmateriale baseret på model/GIS-analysen	15
Referencer	18

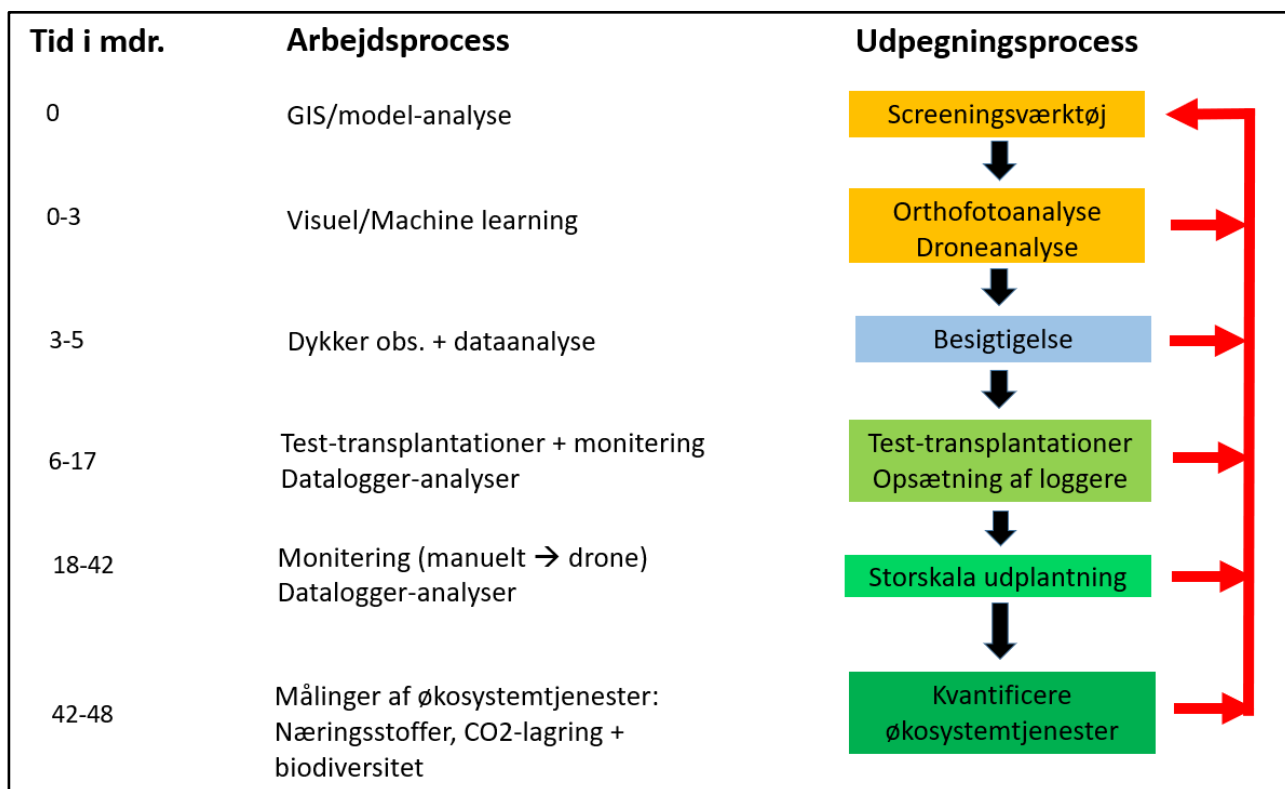
Introduktion

Behovet for at reetablere ålegræsenge er stort, idet de sidste mange års høje næringsstofudledninger har medført store tab af vores ålegræspopulationer langs kysterne og i vore fjorde. Eutrofieringen har skabt høj turbiditet og derved reduceret de bundnære lysintensiteter, så ålegræsset nu er presset ind på lavvandede områder, hvor det kæmper med bølgepres, opportunistiske makroalger, epifytter og lokale intsvind. F.eks. var den historisk ålegræsdybde i referencetilstanden i den ydre del af Vejle Fjord 11.4 meter, mens ålegræsset i dag kun vokser på dybder ned til 2.4 meter. Fjorden har tabt omkring halvdelen af det areal (50 km²), som potentielt husede produktive ålegræsenge, så det tilbageværende ålegræsareal kun udgør 1-2% af fjordarealet. Dette har medført at de økosystemtjenester som store ålegræsbiomasser tidligere skabte, nu ikke længere understøtter udviklingen af gode miljø og naturtilstande, hvilket også er årsagen til at de sidste 30 års næringstofreduktioner ikke har øget den naturlige retablering af ålegræsset. Situationen er den samme i den lavvandede Odense Fjord, der i dag også kun huser 1-2% af den tidligere udbredelse. Beregninger viser, at ålegræsset tilbage i tid potentielt immobiliserede omkring 800 ton kvælstof per år, mens vandplanernes indsatskrav blot er 260 ton Kvælstof per år. Der er altså et overskud af kvælstof på ca. 550 ton per år, som fastholder fjorden i en dårlig tilstand, idet overskudet optages af hurtigtvoksende makroalger og skyggende epifytter. Da ålegræsset dækkede udstrakte områder i fjordene optog det disse næringssalte til vækstformål, således at disse blev utilgængelige for de hurtigtvoksende makroalger og epifytter.

Den lange årrække med stærkt eutrofierede miljøtilstande og tilbagegangen i ålegræsdækning har ændret mange forhold i fjordene: 1) De hydrodynamiske forhold er ændrede langs kysterne, hvor ålegræsset ikke længere dæmper strømhastigheder og bølgepåvirkninger; 2) dette medfører forringede lysforhold, idet resuspensions-frekvensen og -styrken er øget, 3) hvilket forværrer de bundnære lysforhold; 4) bundforholdene er også ændret da områder i fjordene er blevet mere mudrede, hvorved forankringskapaciteten er tabt. Disse områder er tabt habitat indtil bundforholdene er forbedret; 5) Den stærkt reducerede ålegræsbiomasse kan ikke optage og immobilisere næringsstofferne, som derfor optages opportunistiske makroalger og lyssvækkende epifytter, som vokser hurtigt og nedbrydes hurtigt. Denne eutrofieringsbetingede ramme reducerer tilgængeligheden af optimale områder for ålegræsnaturgenopretning, idet man skal på god afstand af primærkilderne i fjordene.

Da ålegræsset endnu ikke evner at reetableres naturligt, er der behov for en aktiv naturgenopretning, hvor udplantning af ålegræsskud er udført med succes på en lang række danske lokaliteter. Metoden er imidlertid tids- og arbejdskrævende, og det er derfor vigtigt at følge denne vejledning. Screeningsmetoden kvalificerer udpegning af optimale transplantationsområder for ålegræs, så ressourcetunge naturgenopretningfiaskoer undgås. Vejledningen er ikke komplet, der vil komme konstante justeringer via de erfaringer, som løbende høstes.

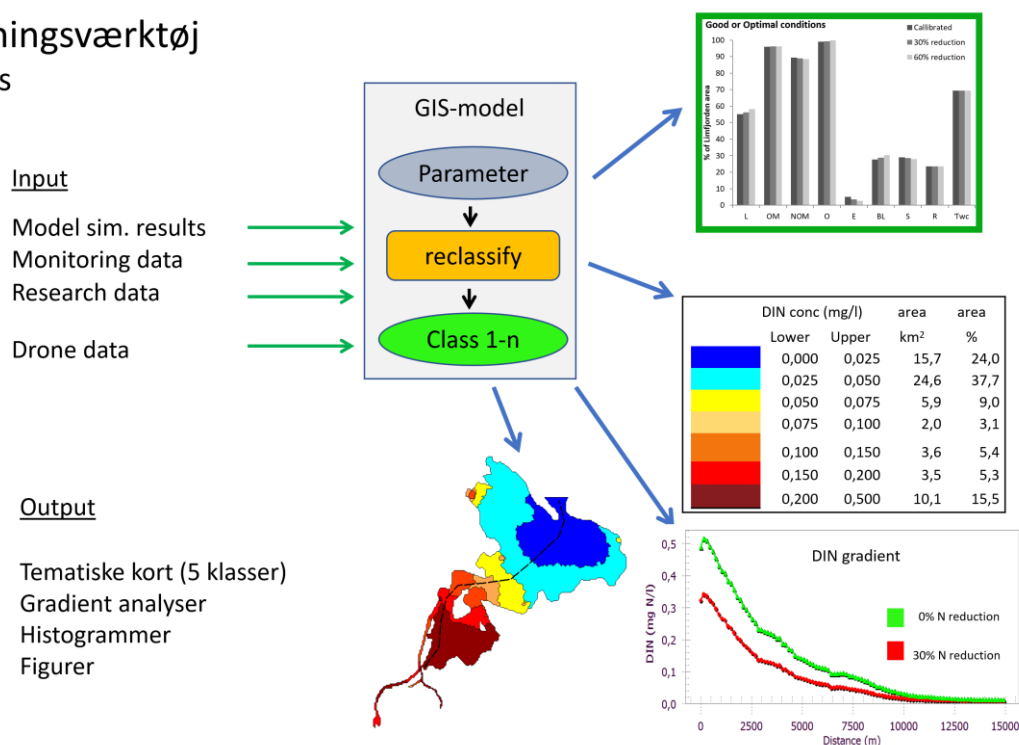
Den anbefalede arbejdsproces er indikeret i nedenstående figur. Proceduren er tidskrævende og betyder at de nødvendige forundersøgelser forud for storskala-udplantninger tager ca. 2 år. Gode forundersøgelser skaber til gengæld potentiale for succesfulde udplantninger.



Figur. 1 viser arbejdsprocesserne for at udpege optimale områder for retablering af ålegræsbede ved forundersøgelser, testudplantninger og monitoring.

1. **Screeningsværktøj.** Der er udviklet et koblet model-GIS-screeningsværktøj (Flindt et al. 2016, Canal-Verges et al. 2016, Kuusemäe et al. 2016), som er første trin i udvælgelsesprocessen af optimale/gode ålegræsretableringsområder. Model-GIS-analysens resultater ses i det medfølgende kortmateriale (Appendix), som overordnet beskriver, hvor det burde være muligt aktivt at naturgenoprette ålegræsbede ved udplantninger. Analyseprocessen og de parametre som indgår denne er beskrevet i nedenstående afsnit.

Screeningsværktøj Ålegræs



Figur 2. Viser det koblede model/GIS-værktøjs reklassifikationsprocedure samt output i form af gradienter, arealbaserede tilstandsanalyser og tabeller.

Formålet med screeningsværktøjet er at afsøge kystområder og fjorde, hvor der er optimale områder for naturlig ålegræsretablering eller aktive udplantninger af ålegræsskud. Oftest er ålegræssets retableringsproces påvirket af multiple presfaktorer, hvor f.eks. suboptimale bundforhold, iltkoncentrationer, lysintensitet og eutrofieringspress virker samtidigt. Parametervalget er derfor relateret til at udtrykke summen af presfaktorer som er aktive på specifikke lokaliteter. De enkelte presfaktorer (parameter) bearbejdes via reklassifikationsprocedurer, hvor de tildeles en værdi mellem 1-5, hvorved lokaliteterne opnår en score fra dårlige til optimale forhold.

Hver parameter er undersøgt i felten og laboratoriet for at finde tærskelværdien for, hvornår det kan anbefales at overveje naturgenopretningsaktiviteter mht. storskala udplantninger af ålegræs. I Tabel 1 præsenteres klassifikationen af de mest betydende presfaktorer, som kort gennemgås.

Parametre som er indeholdt i model-GIS-analysen

Bølge- og strøm-pres (Twc), er et udtryk for den fysiske påvirkning på en lokalitet. Tærskelværdien er fundet ved 3D ADV (akustiske dobblere) i felten og i kontrollerede strømrendeforsøg i laboratoriet.

Det er typisk storme som begrænser ålegræssets reetableringspotentiale i fjorde og kystområder. Det skyldes, at ålegræsbestandene i dag primært findes på lavere

vanddybder end tidligere, og derved oftere bliver udsat for et større bølgepres. På nogle af de mere eksponerede kyststrækninger er der endnu ikke tilstrækkeligt bundnær lysintensitet til at understøtte retablering af dybere ålegræs-bestande, mens der på lavere vanddybder er for stort bølgepres. Sådanne områder fremstår i dag som nøgenbundarealer, og er i princippet blevet uegnede for ålegræs-retablering. Hvor udstrakte ålegræsenge tidligere beskyttede bunden mod erosion og tab af finkornet materiale (silt og sand), kan bølgekraften, efter tabet af ålegræs, skabe erosion af fine partikler, hvorved kyststrækninger afhængigt af overfladegeologien kan blive for grovkornet til ålegræsretablering. Det er i de senere år dokumenteret (Valdemarsen et al. 2010, Flindt et al. 2016, Kuusemaa et al. 2016, Canal-Vergés et al. 2016, Flindt et al. 2021, Canal-Vergés et al. 2021) at meget strøm- og/eller bølgepres er et problem for den naturlige retablering af ålegræs. Det samme er ikke ligeværdigt tilfældet ved transplantationer, hvor skuddene er mekanisk forankring i bunden. Eksempelvis overlevede de nytransplanterede skud i Horsens Fjord kraftige efterårsstorme fra nord-vest i 2017. Der vil dog være områder, hvor kraftigt og højfrekvent bølgepres umuliggør både naturlig retablering og transplantationer, idet naturlige årsskud og nyligt transplanterede skud ikke får tid til at rodfæstes.

Bølger og strømhastigheders pres på sedimenter kan beskrives som kraften i Pascal eller N m^{-2} . Tærskelværdien, indikeret ved den forskydningsspænding der skaber erosion ($\text{Thau}_{\text{krit}}$), afhænger udover bølgenes pres også af sedimentforholdene (Amos et al. 2004, Lundkvist et al. 2007, Flindt et al. 2016, Flindt et al. 2022). De angivne værdier er max-værdier, da det er disse som er relevante, for hvis først ålegræsskud rives op af sedimentet, kan de ikke forankres igen.

Sedimenters organiske indhold (LOI).

I analysen af bundforholdene indgår sedimentpuljer af glødetabet og/eller den specifikke våde masse af sedimentet (Wet bulk density). Ved glødetabsværdier under 2%, understøtter sedimentforholdene gode retableringsforhold, mens værdier mellem 2-5% LOI udgør tærskelværdien for naturlig retablering af ålegræs, mens transplanterede skud med anker vil kunne retableres ved glødetabsværdier op til 5%. Ved højere værdier er bundforholdene så mudrede, at sedimentet har for lav forankringskapacitet for ålegræsretablering (Canal-Vergés 2021). Kombineres information om meget lave LOI sedimentpuljer og højt bølgepres kan det endvidere udledes, at kystområder potentielt er for grovkornede/stenede til at understøtte ålegræsvækst.

DIN-koncentrationen. Høje DIN-koncentrationer skaber risici for epifytvækst på ålegræssets blade og reducerer derved lysintensiteten og skaber grænselag på bladoverfladerne. Tærskelværdien på $40\text{-}50 \mu\text{g DIN l}^{-1}$ er fundet ved at gennemføre test-transplantationer af ålegræs langs eutrofieringsgradienter i en suite fjorde, hvor

skudtilvækst/skudtabene blev målt og sammenholdt med DIN-koncentrationer. Lave DIN-koncentrationer resulterede i netto god skudtilvækst, mens høje DIN-koncentrationer ledte til tab af skud.

Tabel 1. Viser de individuelle presfaktorer og deres tærskelværdier.

Parameter (layer)	Unit	Recovery				
		Very poor	Poor	Threshold	Good	Optimal
T_{wc}	$N\ m^{-2}$	>1	0.7-1.0	0.5-0.7	0.2-0.5	0.0-0.2
Sediment LOI	%	>10	5-10	2-5	1-2	0-1
DIN	$\mu g\ N\ l^{-1}$	> 150	75-150	40-75	25-40	0-25
DIP	$\mu g\ P\ l^{-1}$	>30	15-30	10-15	5-10	0-5
Resuspension	Frequency	> daily	daily	monthly	Biannual	< Biannual
Benthic light	$\mu E\ m^{-2}\ s^{-1}$	0-100	100-200	200-300	300-400	> 400
O ₂ limitation	Period	3 Week ⁻¹	2 Week ⁻¹	Weekly	Monthly	< Monthly
Opp. Macroalgae	$g\ C\ m^{-2}$	>26	13	10	6	< 2
Non-opp. Macroalgae	$g\ C\ m^{-2}$	>26	13	10	6	< 2
Lugworm	$g\ WW\ m^{-2}$	>50	40	25	10	<9
Eelgrass	$g\ C\ m^{-2}$	< 3	< 7	< 14	< 28	> 28

DIP-koncentrationer. Da mange fjorde er P-begrænsede i foråret (marts-maj), mens naturlige ålegræsretableringer starter med frøspiring i april, er denne parameter medtaget. Her er det lave fosfat-koncentrationer, der potentielt sikrer at forårsopblomstringen af fytoplankton og opportunistiske makroalger ikke bliver stor og efterfølgende skaber iltsvindsproblemer under nedbrydningen i sensommeren. Det muliggør også beregning af mætningskinetik (Monod-kinetik), så man kan få indsigt i, hvor meget lys, DIN- og DIP-koncentrationsniveauerne bidrager til at dæmpe væksten af lyssvækkende fytoplankton og opportunistiske makroalger.

Resuspensions-frekvensen er en støtteparameter til bølge- og strøm-pres. Fjordområder med højt organisk sedimentindhold er kilde til højfrekvent resuspension, hvor det suspenderede organiske materiale med høj lyssvækkelseskoefficient, skaber periodiske dårlige lysforhold (Lundkvist et al. 2007, Canal-Vergés et al. 2010, 2014). Beregninger/målinger af frekvensen af resuspension kan benyttes som indikator for en kombination af fysisk pres på retablerede ålegræsbede og på de bundnære lysforhold, da højfrekvent resuspension vil påvirke den benthiske produktivitet i områder.

Bentisk lysintensitet. Lysforhold ved havbunden er en central parameter for ålegræssets habitater, både i naturlige og transplanterede bede. Retableringsprocessen, hvor ålegræsskud skal indtage ny nøgenbund, er mere lyskrævende end når modne ålegræsbede blot skal fastholde deres udbredelse. De

bundnære lysforhold skal derfor i dagtimerne gennemsnitlig være omkring $200 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, hvilket sikrer en god nettotilvækst af ålegræsskud. Dette er et højt lyskrav i forhold til litteraturværdier, men mange af litteraturværdierne er baseret på fysiologiske studier af rensede ålegræsblades lysrespons på fotosynteseprocessen, og er ikke opgjort som det lyskrav, ålegræsskud har for at realisere signifikant vegetativ nettotilvækst i skudtætheden (forøge antallet af skud i vækstsæsonen).

Iltforhold.

Lave lokale iltforhold begrænser ofte den naturlige retablering af ålegræs såvel som udplantninger. Sæsonmæssige simuleringer/målinger af iltkoncentrationer er derfor en vigtig parameter i udvælgelsen af retableringsområder. NOVANA-stationer, hvor der måles vertikale iltkoncentrationer kan bidrage med informationer, men oftest ligger disse stationer på dybere vand, end hvor man ønsker at udplante ålegræs, hvilket resulterer i forskellige resultater og derved giver problemer med at ekstrapolere data ind med de lavvandede produktive kystområder. Målinger i de lavvandede områder indikerer periodiske iltvind, ofte skabt af for store forekomster af opportunistiske makroalger som henfalder/nedbrydes under stort iltforbrug. Oftest klarer ålegræsset sig og genoptager væksten, når iltforholdene forbedres. Denne parameter er derfor medtaget i "bløde" termer, og skal opfattes som en indikator. Denne parameter skal støttes med egentlige målinger, hvis der gennemføres test-transplantationer i et område.

Makroalger

Opportunistiske makroalger er i mange eutrofe systemer en væsentlig presfaktor på den naturlige ålegræsretablering såvel som i nyligt transplanterede områder. Store biomasser af opportunistiske makroalger vil resultere i, at disse overlejrer de transplanterede ålegræsskud og derved svækker lysintensiteten og ålegræssets mulighed for at realisere vækstpotentialet (Valdemarsen et al. 2010). Store biomasser af opportunistiske makroalger vil under nedbrydning skabe høje iltforbrug som også potentielt er en presfaktor på ålegræs. Tærskelværdien er omkring $10 \text{ g C-biomasse m}^{-2}$, hvilket svarer til $200 \text{ g vådvægt m}^{-2}$. Denne arealspecifikke biomasse er ikke i stand til at udskygge ålegræsbede, mens biomasser $>26 \text{ g C m}^{-2}$ ($= 500 \text{ g vådvægt m}^{-2}$) potentielt skaber svækkede lysforhold. De fleste opportunistiske makroalger vokser desuden ikke-fasthæftet, og transporteres bundnært omkring ved lave strømhastigheder. Her resuspenderes store mængder af sediment som resulterer i suboptimale lysforhold i nærfeltet (Flindt et al. 2004, 2007, Canal-Vergés et al. 2010, 2014).

Sandorm

Mange områder med potentiale for ålegræsretablering, er nu levested for store tætheder af sandorm (tætheder > 50 individer m^{-2}), hvilket umuliggør retableringsprocessen. Disse begraver ålegræssets frø til dybder, som frøene ikke kan spirre op fra. Sandormenes bioturbation begraver eller løsner også nye årsskud, samt hindrer/begrænser ålegræssets vækst ud i nye nøgenbundsområder. Er sandormetæthederne < 25 individer m^{-2} er tærskelværdien, mens det muligt for ålegræsset at retableres ved sandormetætheder < 15 individer m^{-2} , hvis der ikke er mange andre presfaktorer i spil.

Denne analyse kan ikke stå alene, så det anbefales at GIS-analysen efterfølges af nedenstående aktiviteter i punkterne 2-7 for at optimere udpegningen af endelige storskala-restaureringsområder. I mange danske kystområder er der ikke tilstrækkeligt areal-baseret datamateriale, idet der er for langt mellem de nationale NOVANA-stationer til, at det er fagligt forsvarligt at interpolere mellem punkterne. Eksempler på dette er interpolationer over afstande med variabel bathymetri, eller over stærke eutrofieringsgradienter. Her bør datagrundlaget suppleres med ekstra spatial information.

Udvidet forundersøgelse

Efter at have fokuseret på egnede lokaliteter på kortmaterialet, er det vigtigt at gennemføre nedenstående suite af forundersøgelser, som yderligere skal kvalificere områderne for deres egnethed til storskala-udplantninger.

2. Orthofoto-analyse

En grundig analyse af orthofoto af interesseområderne (1995-2021). Orthofoto findes allerede som datalag på bl.a. Miljøportalen (<https://arealinformation.miljoportal.dk>). Ved denne opløselighed er det ofte muligt at identificere følgende presfaktorer i marine lavbundsområder:

2.1 Bundvegetationen består af opportunistiske makroalger, flerårige makroalger eller ålegræs. Formen og RGB-aftrykket er gode indikatorer.

- Varierer den overordnede form og arealet meget fra år til år på orthofoto, er det med stor sandsynlighed makroalger. Voldsomme variationer i arealudbredelsen af makroalger og opskyl er gode indikatorer på at makroalger kan udgøre for meget pres til at ålegræsset kan retableres, og området taber potentiale som retableringsområde.

- Er år til år arealvariationerne små, og er der mange cirkulære strukturer er det højest sandsynligt ålegræs, idet frøbaseret naturlig ålegræsretablering sker ved radial beddannelser.

2.2 Afsøgning af den overordnede sedimentmobilitet er også vigtig. Tydelige dynamiske revle- og ribbe-dannelser er klare signaler på fysisk press, som kan resulterer i meget store sedimentbevægelser, der ikke levner chance for retablering af ålegræs.

3. **Droneoverflyvning.** Den meget højere pixelopløselighed muliggør en verifikation af tvivlstilfælde ifm. orthofotoanalysen. Det anbefales at flyve i højderne 100, 30 og 5 meter, hvilket gør dronemissionen til både en kortlægning og en ground truthing øvelse:

3.1 Ved en flyvehøjde på 100 meter kortlægges området, og presfaktorer på landskabsniveau kan klart registreres. Disse er makroalgeforekomster i og omkring moderbede, idet disse kan fragmenterer og skabe gaps i bedene. Tætheden og fragmenteringsgraden af moderbedene registreres (Svane et al. 2016, 2021).

3.2 En efterfølgende kortlægning fra 30 meters højde under rolige vindforhold muliggør registrering af epifytdække, sandormetætheder, opportunistiske og flerårige makroalger, og billeder fra 3-5 meters højde anvendes til generel validering.

3.3 Billedmateriale optaget i samme højde stitches til målfaste kort (Agisoft Metashape) inden machine learning algoritmer (Ecognition Developer) klassificerer områderne i ålegræs, makroalger, muslingebanker og barbunds-områder.

3.4 Disse polygoner kan bekvemt overføres til GIS-software, hvor ålegræsbedenes fragmenterings-parametre beregnes arealspecifikt.

3.5 Analysens resultater benyttes herefter til vurdering af områdets potentiale for naturgenopretning og muligheden for at moderbede kan fungere som donorer af skud.

4 **Besigtigelse ved dykkerobservationer**, hvor visuelle miljø- og naturtilstandsindikatorer registreres. Dette kan gøres overordnet, hvor nedenstående relevante miljøforhold registreres. Alternativt kan dette foretages grundigt, således at datalagene bliver arealspecifikke og med replikation. Herved

kan data bruges statistisk ved komparative analyser mellem flere potentielle områder:

- 4.1 Bundforhold registreres i klasserne: mudret/leret/siltet/sandet/gruset/stenet. Ved let træning er det muligt at vurdere bundforholdene ved en blanding af visuel registrering og en fysisk berøring af overfladesedimentet. Mudrede/lerede/siltede sedimenter bringes i resuspension ved at skabe en let bevægelse hen over sedimentet eller presse hånden i sedimentet. De mudrede sedimenter ($LOI > 3\%$) har reduceret forankringskapacitet, mens et højt ler- og siltindhold indkorporeres i epifytbiomasser og skaber ekstra lyssvækkelse og tynde bladene mod bunden. Stenede bundforhold er ikke ålegræshabitater.
 - 4.2 Dækning/biomasse af opportunistiske makroalger i nærfeltet. Høje biomasser af opportunistiske makroalger vil skabe ekstra lyssvækkelse i nye udplantninger ligesom det indikerer eutrofieringspres og potentielt iltsvind.
 - 4.3 Registrering af epifytter på ålegræsbede og flerårige makroalger (indikerer eutrofieringspres). Disse kan angives som en dækningsgrad eller ved at rense ålegræsblade for epifytmasse, veje denne eller måle den spektrofotometrisk som klorofyll a.
 - 4.4 Dækning/biomasse af flerårige makroalger i nærfeltet (risiko for ballistisk pres).
 - 4.5 Vurdering af epifauna og synlig bundfauna (krabber, muslinge- og sandormetætheder).
- 5 Sedimentanalyser.** Findes områdernes miljø- og naturtilstand stadig at have potentiale for retablering af ålegræs, gennemføres der basale sedimentanalyser (kornstørrelsesanalyse, vandindhold, tørstof, LOI, C-, N- og P-indhold). Hvis $LOI > 3\%$ er forankringskapaciteten svækket, mens et højt indhold af laveste uorganiske kornstørrelse ($< 63 \mu m$), let vil resuspenderes og skaber turbide forhold og indlejres i epifytbiomassen på ålegræsblade. Median-kornstørrelser på 0.3-0.4 mm med et lavt indhold af ler og silt indikerer optimale bundforhold for ålegræsretableringer.
- 6 Test-transplantationer.** Samtidig gennemføres småskala testtransplantationer. Disse anlægges med replikation og består af 5-10 X 25 ålegræsskud, høstet fra nærliggende modne ålegræsbede.
- 6.1 Testtransplantationerne følges højfrekvent mht. skudtilvækst og -tab. Oftest monitoreres de nyanlagte bede med 14 dages intervaller frem til efteråret,

hvorefter de følges månedligt eller monitoringen kobles til meteorologiske spidsbelastninger så som kulinger eller storme.

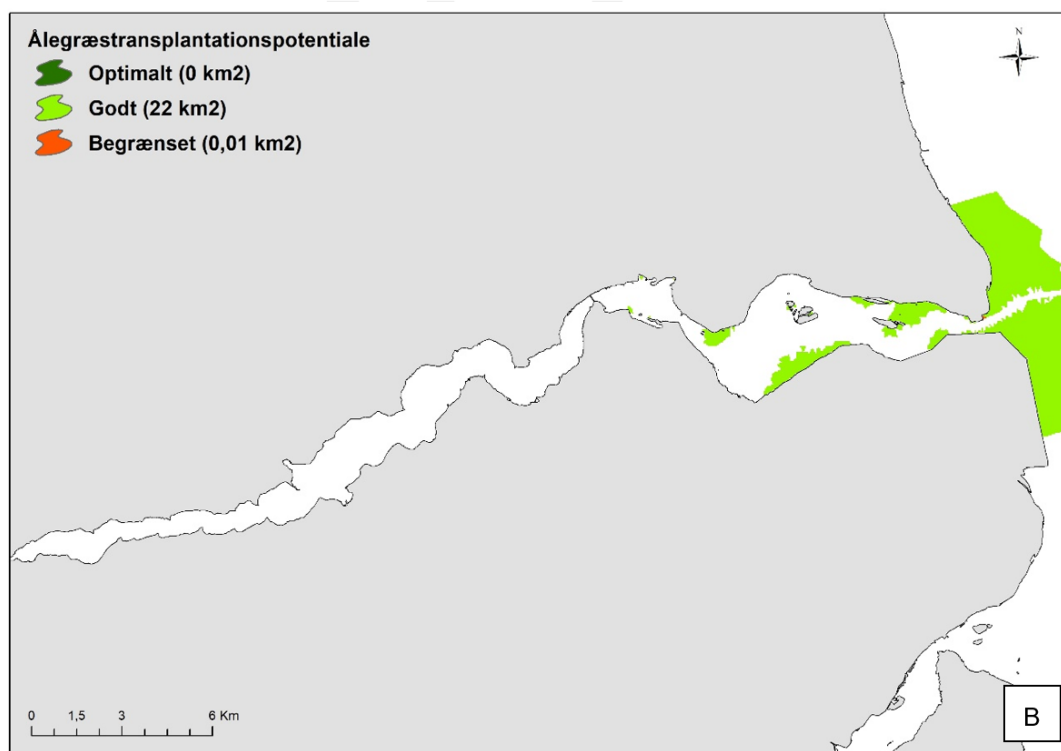
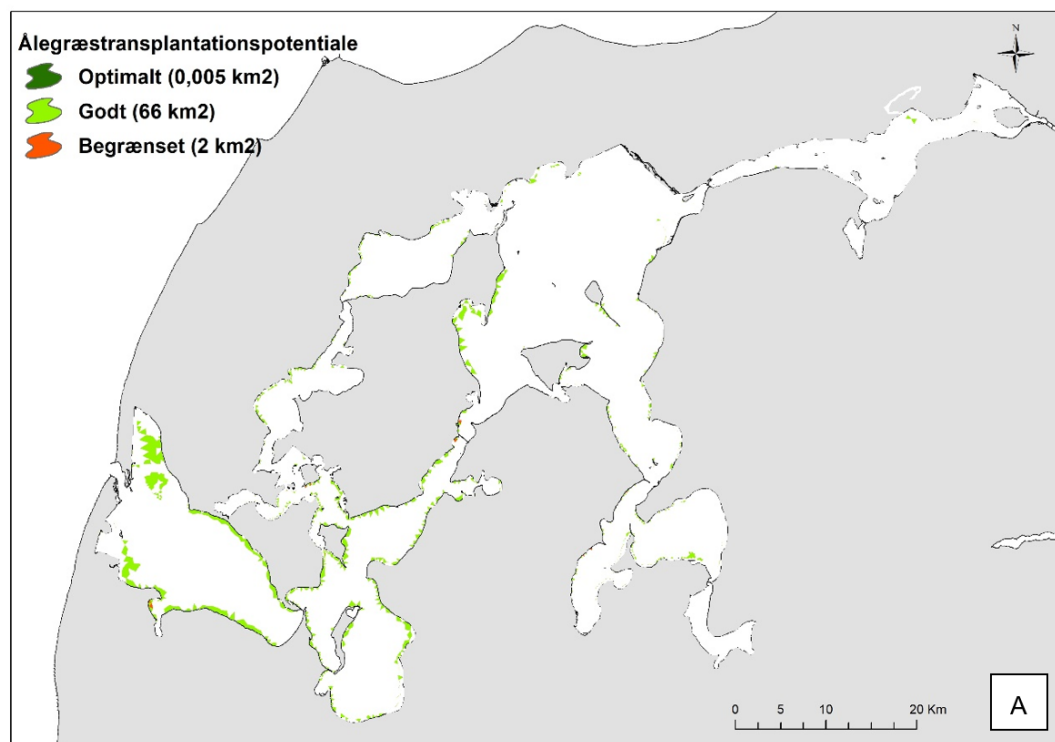
6.2 Opsætning af loggere. Et voldsomt iltsvind udvikledes i juli-august 2018 i Lunkebugten. De kontinuerete iltloggere viste $0.00 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ på 1.5 meters dybde. I DSØ udvikledes kraftige epifytdannelser af purpursvovlbakterier på ålegræsskuddene, mens der var høje koncentrationer af elementær svovl langs Tåsinges kystlinjer. Her blev 80-90% af udplantningerne tabt, og blev genplantet i 2019. Salinitetssignalet var konstant, så det var ikke opvæld af iltfattigt bundvand, men iltsvind genereret på lavbundslokaliteten. Dette er godt eksempel på at kontinuerete loggere har stor værdi.

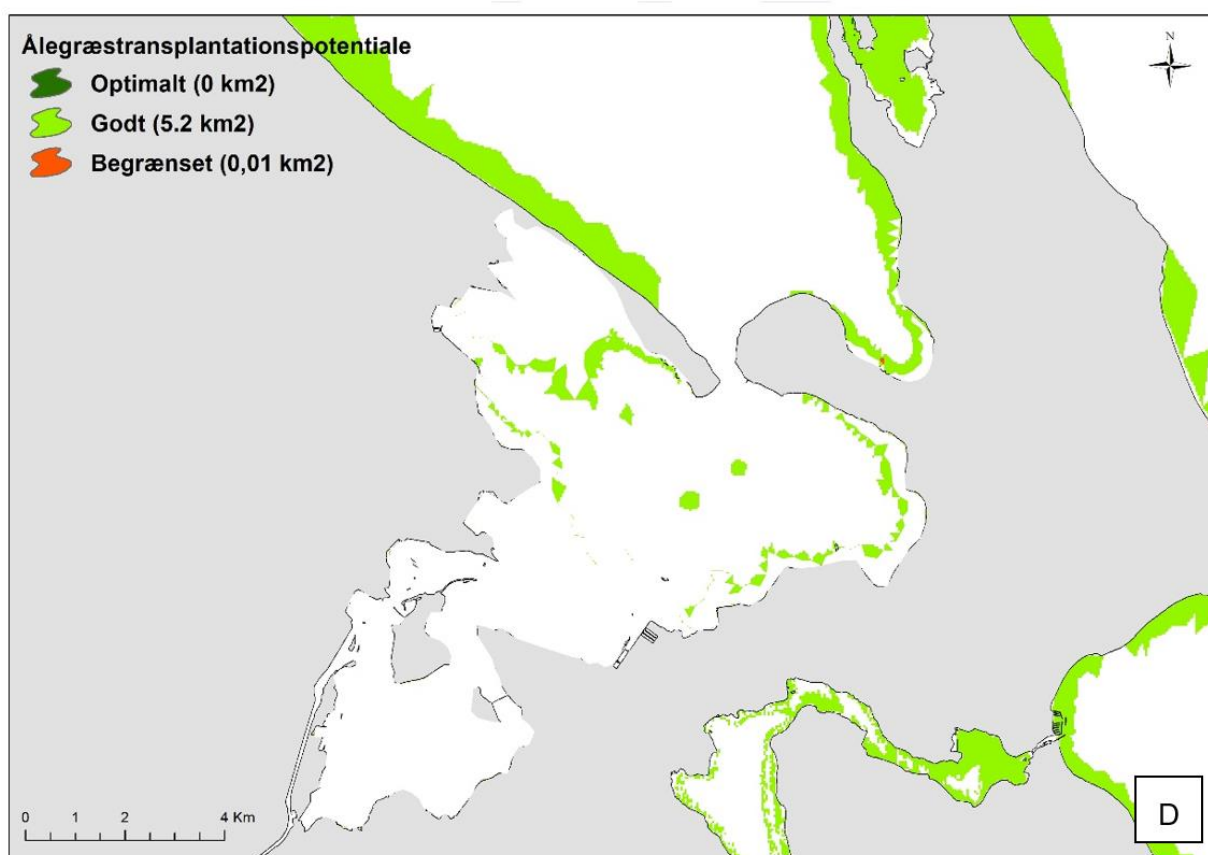
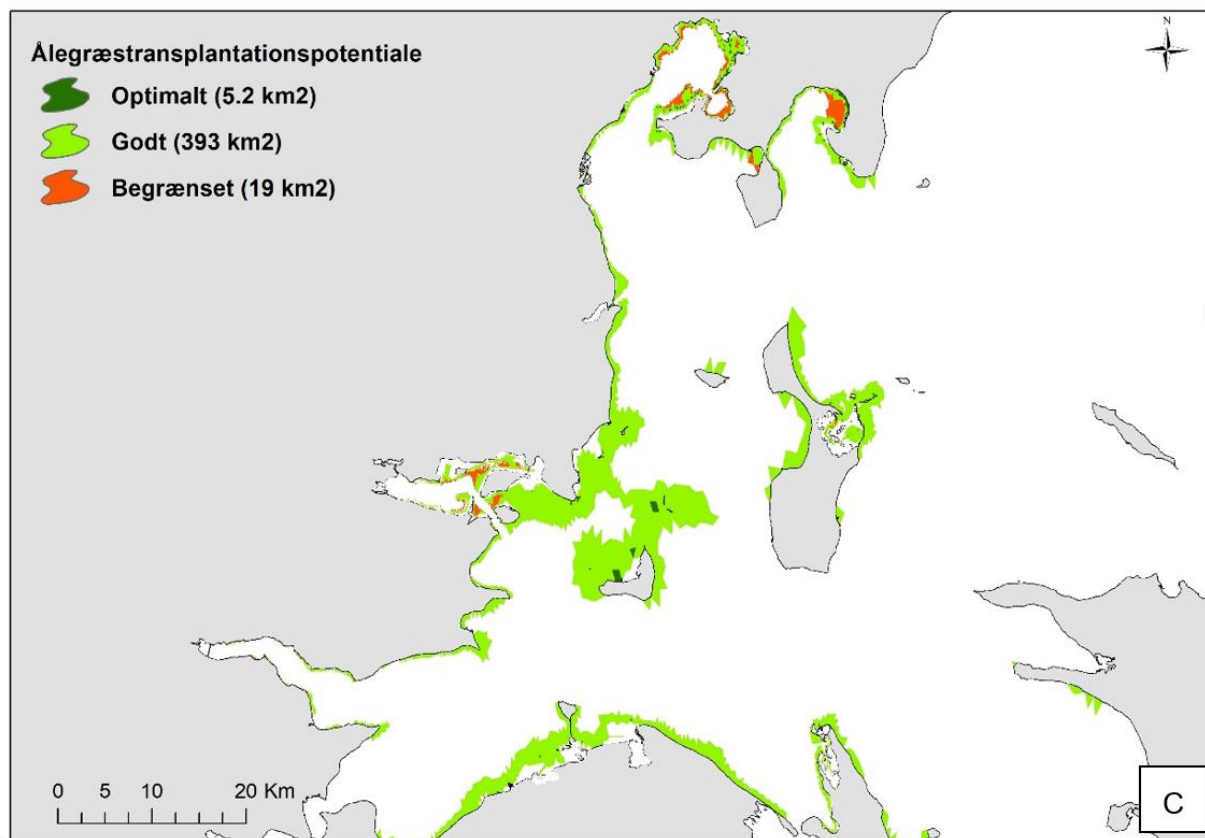
6.3 Den bundnære lysintensitet, iltkoncentration, temperatur og salinitet måles ved udlægning af loggere i en afstand på 20-30 cm over bunden, hvilket svarer til en $\frac{1}{2}$ bladlængde. Ved denne kombination af loggere er det muligt at afgøre om registrerede iltsvind skyldes ophvæld af importeret bundvand eller er lokalt genereret af nedbrydningen af opportunistiske makroalger. Loggerne programmeres til at opsamle data hvert 10 min, mens systemiske temporale lys-, temperatur og iltforhold, høstes i NOVANA-datasæt fra nærfeltet.

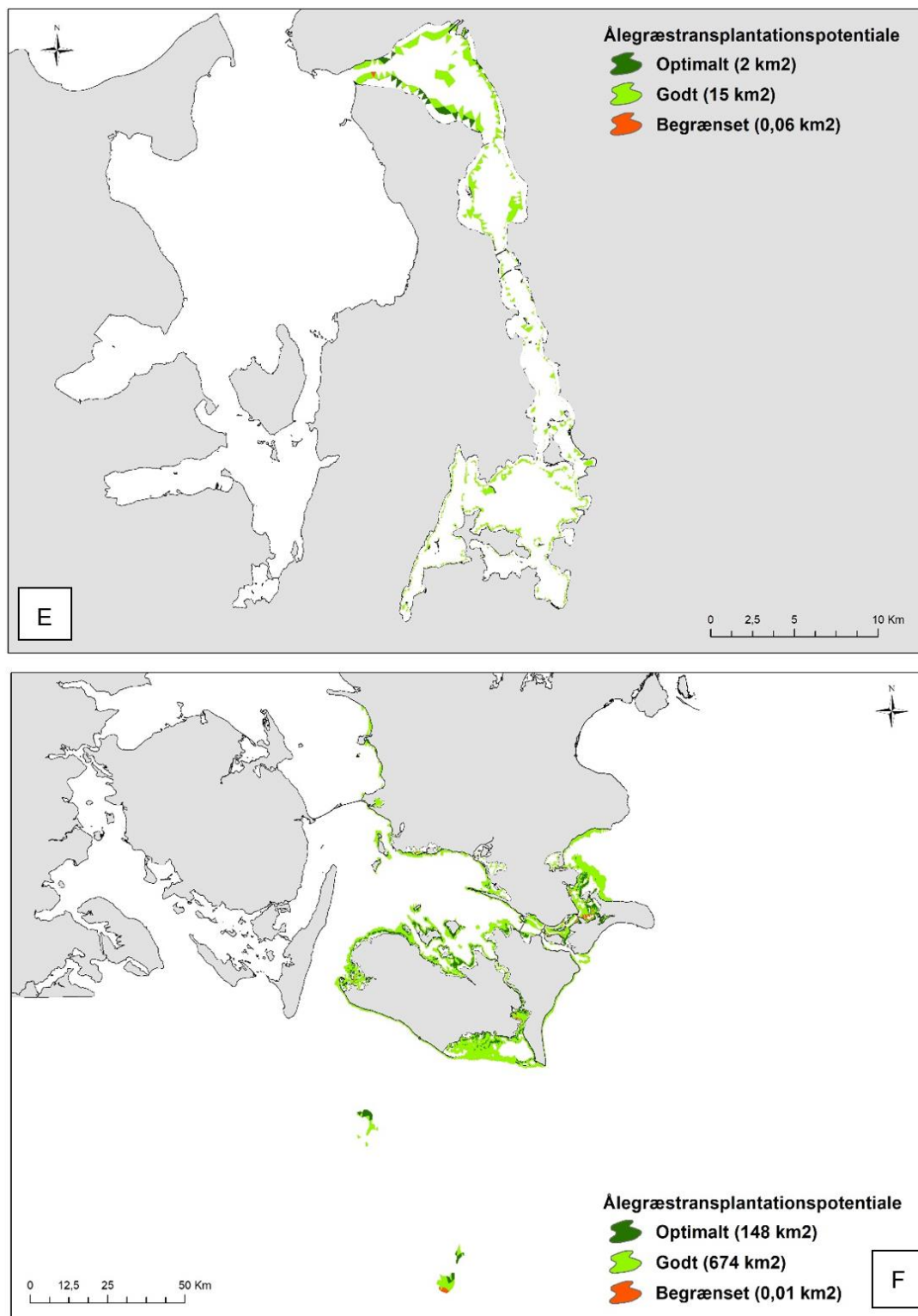
7 Endelig udpegning af storskala-transplantationsområder. Nu er forundersøgelsen færdig, og storskala-udplantningerne kan begynde, idet ovenstående data (1-6) kobles, og baseret på resultaterne bliver områder med højest retableringspotentiale valgt til storskala udplantningsområde. En praktisk vejledning for storskala-udplantninger vil blive præsenteret i særskilt dokument.

8 Kortmateriale baseret på model/GIS-analysen

Nedenstående kortmateriale er ikke komplet der mangler enkelte kyststrækninger, som vil blive indlejret efter afrapporteringen af projektet Marine Virkemidler. Endvidere ekskluderer dette kortmateriale ikke områder, der allerede huser ålegræs, hvilket dog hurtigt kan udredes ved ortho-foto og lokalt kystkendskab.







Figur 3. Potentialer for ålegræstransplantering (brutto areal) i udvalgte vandområder fastlagt med GIS model og modelgenererede datalag for lys, frekvens af resuspension, iltforhold, bundforhold, ballistiske påvirkninger fra makroalger og DIN koncentration. A, Limfjorden model. B, Mariager fjord model. C, NBF model. D, Odense fjord model. E, Roskilde fjord model. F, Smålandsfarvandetmodel. Bemærk at Isefjorden ikke er analyseret.

Referencer

Amos, C., Cappucci, S., Bergamasco, A., Umgiesser, G., Bonardi, M., Cloutier, D., Flindt, M.R., De Nat, L., Cristante, S., 2004. The stability of tidal flats in Venice Lagoon – the results of in situ measurements using two benthic annular flumes. J. Mar. Syst. 51 (November (1–4)), 211–241.

Bruhn A, Flindt MR, Hasler B, Krause-Jensen D, Larsen MM, Maar M, Petersen JK, Timmermann K (2020) Marine virkemidler - Beskrivelse af virkemidlernes effekter og status for vidensgrundlag. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 122 – Videnskabelig rapport nr 368 <http://dce2audk/pub/SR368pdf>

Canal-Vergés, P, Vedel, M, Valdemarsen, T, Kristensen, E & Flindt, MR 2010, 'Resuspension created by bedload transport of macroalgae: implications for ecosystem functioning' Hydrobiologia, vol. 649, no. 1, pp. 69-76. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0259-y>

Canal-Vergés, P, Potthoff, M, Thorbjorn, F, Rasmussen, EK & Flindt, MR 2014, 'Eelgrass reestablishment in shallow estuaries is affected by drifting macroalgae – evaluated by Agentbased modelling' Ecological Modelling, vol. 272, pp. 116-128.

Canal-Vergés, P, Petersen, JK, Rasmussen, EK, Erichsen, A & Flindt, MR 2016, 'Validating GIS tool to assess eelgrass potential recovery in the Limfjorden (Denmark)' Ecological Modelling, vol. 338, pp. 135-148.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.04.023>

Canal-Vergés, P, Lee, KM, Erichsen, AC, Kuusemäe k., Timmermann, K, Flindt, RF. 2021. Application of the Danish EPA's Marine Model Complex and Development of a Method for the River Basin Management Plans 2021-2027. Improved growth conditions in selected estuaries based on 30% reductions in land based nutrient loads. Miljø- og Fødevarministeriet, Technical note.

Canal-Vergés, P, Frederiksen, L, Lundkvist, M, Flindt MR. (2021) Development of biological sediment stability improves the anchoring capacity for eelgrass. Manuscript in preparation.

Flindt, M.R., Carrer, M., Salomonsen, J., Bocci, M., Kamp-Nielsen, L., 1997. Loss, growth and transport dynamics of *Chaetomorpha* area and *Ulva rigida* in the Lagoon of Venice during an early summer field campaign. Ecol. Modell. 102,133–142.

Flindt, M., Kristensen, E., Valdemarsen, T.B., 2011. Svigtende reetablering af ålegræs i fjorde. Vand & Jord, 18, 17-20.

Flindt, MR, Rasmussen, EK, Valdemarsen, T, Erichsen, AC, Kaas, H & Canal-Vergés, P 2016, 'Using a GIS-tool to evaluate potential eelgrass reestablishment in estuaries' Ecological Modelling, vol. 338, pp. 122-134.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.07.005>

Flindt, MR, Kuusemäe, K, Lange, T, Wendländer, NS, Aaskoven, N, Winter, S, Sousa, AI, Rasmussen EK, Canal-Vergés, P, Connolly, RM, Kristensen, E. 2022. Sand-capping of muddy sediment improves benthic light conditions and sediment anchoring capacity to support recovery of eelgrass (*Zostera marina*). Journal of Sea Research.

<https://doi.org/10.1016/j.seares.2022.102177>.

Kuusemäe, K, Rasmussen, EK, Canal-Vergés, P & Flindt, MR 2016, 'Modelling stressors on the eelgrass recovery process in two Danish estuaries' Ecological Modelling, vol. 333, pp. 11-42. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.04.008>

Lange, T., 2020a. Development and Test of Measures Supporting Recovery of Eelgrass (*Zostera marina*) in Estuaries. PhD thesis, University of Southern Denmark.

Lange, T., Wendländer, N., Svane, N., Steinfurth, R., Nielsen, B., Rasch, C., Kristensen, E., Flindt, M.R., 2020b. Storskala-transplantation af ålegræs metoder og perspektiver. Vand og Jord. Nr 1. 2020.

Lundkvist, M., Grue, M., Friend, P., Flindt, M.R., 2007a. The relative contributions of physical and microbiological factors to cohesive sediment stability. Cont. Shelf Res. 27, 1143–1152.

Salomonsen, J., Flindt, M.R., Geertz-Hansen, O., 1997. Significance of advective transport of *Ulva lactuca* for a biomass budget on a shallow water location. Ecol. Modell. 102, 129–132.

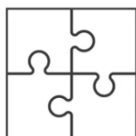
Salomonsen, J., Flindt, M.R., Geertz-Hansen, O., 1999. Modelling advective transport of *Ulva lactuca* in the sheltered bay, Møllekrogen, Roskilde Fjord, Denmark. Hydrobiologia 397, 241–252.

Sousa, A., Valdemarsen, T., Lillebø, A.I., Jørgensen L., Flindt, M.R. 2017 A new marine measure enhancing *Zostera marina* seed germination and seedling survival. Ecological engineering 104, 131:140.

Valdemarsen, T. B., Wendelboe, K., Egelund, J. T., Kristensen, E. & Flindt, M., 2011, Burial of seeds and seedlings by the lugworm *Arenicola marina* hampers eelgrass (*Zostera marina*) recovery. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 410, p. 45-52.

Valdemarsen, T., Canal-Vergés, P., Kristensen, E., Holmer, M., Kristiansen, M.D., Flindt, M.R., 2010. Vulnerability of *Zostera marina* seedlings to physical stress. Marine ecology. Progress series (Halstenbek) 418, 119-130.

Center for Marin Naturgenopretning er et samarbejde mellem Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience, DTU Aqua Institut for Akvatiske Ressourcer, Syddansk Universitet, Biologisk Institut, og Limfjordsrådet.



Centeret er finansieret af Miljøministeriet og Velux Fonden.



Centerets hovedformål er at fremme en vidensbaseret implementering af marin naturgenopretning, med henblik på at styrke marine økosystemers modstandsdygtighed, økologiske balance og en lang række økosystem tjenester i danske farvande.