



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Litteraturstudie på oppformerings- og restaureringsteknikker av Ålegras (*Zostera marina*) biotoper

NIBIO RAPPORT | VOL. 9 | NR. 157 | 2023

TITTEL/TITLE

Litteraturstudie på oppformerings- og restaureringsteknikker av Ålegras (*Zostera marina*) biotoper

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Victoria Stornes Moen

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKT NR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
18.12.2023	9/157/2023	Åpen	53560	23/01006
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-03410-0	2464-1162	20	0	

OPPDRAAGSGIVER/EMPLOYER:

Naturvernforbundet Østfold

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Håkon Borch

STIKKORD/KEYWORDS:

Ålegras, restaurering, metoder

Eelgrass, restoration, methods

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Restaureringsøkologi

Restoration ecology

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Ålegrasenger er svært artsrike økosystemer som er i sterk tilbakegang. På grunn av dette har det blitt et økende fokus på å utvikle restaureringsteknikker som inkluderer planting/spredning og oppformeringsarbeid av ålegras. Tradisjonelt var det hovedsakelig dykkere som utførte dette arbeidet, noe som gjør det svært kostbart og økonomisk utfordrende å restaurere ålegrasenger i stor skala. Naturvernforbundet i Østfold ønsket derfor å utføre en litteraturstudie for å finne metoder og resultater fra forsøk på oppformering og planting/ spredning av ålegras uten behov for dykkere.

Vår litteraturstudie viser at det er beskrevet flere plante- og spredningsteknikker som har gitt gode restaureringsresultater. Det kan lønne seg å bruke en kombinasjon av ulike teknikker i samme eng da ulike sprednings- og planteteknikker kan være fordelaktige i ulike dybder av enga og under ulike hydrodynamiske forhold. Oppformering av ålegras i akvakultursystemer er en relativt ny metode og det finnes få publiserte studier på dette. Det presenteres imidlertid en svært lovende metodikk som viste at kultiverte ålegrasplanter hadde høyere grad av overlevelse, høyere skudd og større grad av vegetativ reproduksjon enn ålegrasplanter som ble transplantert fra naturlige enger.

GODKJENT /APPROVED

Thomas Hartnik

PROSJEKTLÉDER /PROJECT LEADER

Hans Martin Hanslin



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Innhold

1	Innledning.....	4
2	Resultater	5
2.1	Beskrivelse av ålegrasets voksested og oppbygning	5
2.2	Reproduksjon.....	5
2.2.1	Vegetativ reproduksjon.....	5
2.2.2	Blomstring, pollinering og frøproduksjon	5
2.2.3	Frøspredning	6
2.2.4	Spiring og vekst av nye frøplanter.....	6
2.3	Metoder og resultater fra forsøk på oppformeringsarbeid.....	7
2.3.1	Oppformering av ålegrasplanter fra frø i et landbasert system.....	7
2.3.2	Oppformering av ålegrasplanter fra frø i et vannbasert system.....	8
2.4	Planting- og spredningsmetoder	9
2.4.1	Frøspredning fra fastmontert bøye «Buoy-deployed seeding»	9
2.4.2	Transplantering av ålegras i et rammesystem (TERFS)	10
2.4.3	Transplantering av ålegras ved bruk av skjell.....	11
2.4.4	Transplantering av ålegras ved bruk av stein.....	11
2.4.5	Transplantering av ålegras ved bruk av transplanteringsbåt.....	11
2.4.6	Transplantering av ålegras ved bruk av «Dispenser Injection Seeding» DIS.....	12
2.4.7	Transplantering av ålegras ved bruk av «Bags of Seagrass Seeds Line» BOSSline.....	12
2.5	Oppsummering av nøkkelresultater	12
3	Referanseliste	15

1 Innledning

Ålegrasenger er svært verdifulle økosystemer og fungerer som viktige oppvekst- og næringsområder for mange marine arter (Fredriksen m.fl. 2010, Heck m.fl. 2003). Ålegraset har en nordlig sirkumpolar utbredelse og finnes for eksempel i Nord-Atlanterhavet (Ackerman 1997, Orth m.fl. 1994, Vercaemer 2021), Gulehavet (Yang m.fl. 2016), Stillehavet (Morita m.fl. 2010) og Skagerak (Infantes & Moksnes 2018, Olesen & Sand-Jensen 1994). En illustrasjon av naturtypen er gitt i Figur 1. Den vide utbredelsen gjør at arten har tilpasset seg et vidt spenn av temperatur-, salt- og lysforhold (Bintz & Nixon 2001, Blok m. fl. 2018, Cabacos & Santos 2010, Moore m. fl. 1993, Vercaemer 2021). I Norge er hovedutbredelsen av ålegras langs kysten fra Østfold til polarsirkelen (Artsdatabanken). Mange populasjoner har blitt kraftig redusert eller forsvunnet langs norskekysten og hovedårsaken er ansett som overgjødning i kombinasjon med overfiske som over tid har gitt økt vekst av påvekstalger og makroalger som dekker ålegrasenger (Kvile m.fl. 2022). I Kattegat og på den svenske vestkysten opp til Norskegrensen har mer enn 80% av ålegraset forsvunnet siden 1800-tallet. Restaurering av utvalgte områder som tidligere var innenfor utbredelsesområdet til ålegras, samt begrensning av overgjødning og overfiske er derfor nødvendige tiltak i arbeidet for å bevare disse artsrike økosystemene.

I dag er restaureringsarbeid av ålegrasenger i Sverige og Norge hovedsakelig basert på en metodikk der dykkere utfører plantingen. Kostnadsnivået på etablering av noen få hektar med ålegraseng med profesjonelle dykkere er formidable. På den svenske vestkysten ble kostnaden estimert til ca. 800 000 SEK for å restaurere 2-3 dekar. I andre deler av verden (Nederland, USA, Kina, Korea) arbeider man med andre metoder som inkluderer oppformering av planter, samt frøspredning og planting uten bruk av dykkere. Naturvernforbundet i Østfold ønsker derfor at vi skal gjennomføre en litteraturstudie som undersøker alternativ metodikk for oppformering og spredning av ålegras uten bruk av dykkere.

Kunnskapsinnsamlingen ble utført ved å bruke to brede søketilnæringer i søkemotoren Web of Science. Søkestrengen *Zostera and (seed* or germinat* or flower* or reprod*)* ble brukt for å fange opp relevant litteratur i forhold til ålegrasets reproduksjonsstrategi, mens *Zostera and (propagat* or transplant* or restor*)* ble brukt for å finne relevant litteratur knyttet til oppformerings- og restaureringsteknikker. Forskningsartiklenes relevans ble i første omgang vurdert ut fra tittel og abstrakt, mens hele artikkelen ble vurdert i andre omgang. Relevant litteratur som ikke dukket opp med denne søketilnæringsmetoden, ble funnet gjennom siteringer i introduksjonen og/eller diskusjonen til de utvalgte forskningsartiklene. I tillegg ble populærvitenskapelige artikler om restaurering fanget opp med stikkord fra den andre søkestrengen med Google. Denne litteraturstudien skal ta for seg 1) en kort beskrivelse av ålegrasets oppbygning og reproduksjon, 2) metoder og resultater fra forsøk på oppformeringsarbeid av ålegras og 3) planting/spredningsmetoder i forbindelse med restaurering av ålegrasenger.



Figur 1. Ålegraseng. Foto: Erling Svendsen, Ocean Photo. Lisens CC BY 4.0

2 Resultater

2.1 Beskrivelse av ålegrasets voksested og oppbygning

Ålegras *Zostera marina* er en marin karplante som tilhører ålegrasfamilien Zosteraceae. Den vokser på bløtbunnsområder, vanligvis 0,5–10 meter dypt (Kvile m.fl. 2022). Dybden kan være svært variabel mellom ulike lokasjoner og påvirkes av lysforholdene. Karplanten er forankret til bløtbunnsedimenter via horisontale, underjordiske rhizomer (jordstengler) og røtter som vokser ut av nodene på rhizomet. På hvert rhizom vokser det også et hovedskudd og etter hvert kommer det flere sideskudd. Bladene på ålegraset er tynne og smale med 5–7 langsgående hovednerver og 4–7 mellomliggende, langsgående nerver som er mindre synlig (Setchell 1933). Bladene vokser frem om våren og kan bli gjennomsnittlig 1 cm brede og 1 m lange, men størrelsen er svært variabel mellom ulike voksesteder. Om høsten visner bladene og planten overvintret i rotsystemet sitt. Ålegraset kan utvikle blomster, og det er hovedsakelig de eldre, større hovedskuddene som gjør dette (Olesen 1999).

Ålegraset er sambu, det vil si at hunn- og hannblomstene sitter på samme individ. Blomsterstanden kalles en kolbe (spadix), og blomstene sitter på en oppsvulma midtakse. Kolben har like mange hunn- og hannblomster som er omgitt av et hylsterformet blad (spathe). Fruktnuten (ovary) på hunnblomsten har bare et frøemne (ovuler) som utvikles til frø etter befruktning. Griffelen er avsmalnende med et langt arr. Hannblomsten består av to støvbærere (Ackerman 1993, De Cock 1980).

2.2 Reproduksjon

De aller fleste ålegraspopulasjoner* har en flerårig livssyklus, og reproducerer både vegetativt via utvidelse og forgreining av rhizomer (kloning) og seksuelt ved produksjon av frø (Phillips m.fl. 1983). I områder med mye forstyrrelser og stress forårsaket av f.eks. isskuring, sterke stormer og beitende fugler, finnes det ettårige ålegraspopulasjoner som hovedsakelig bare investerer i seksuell reproduksjon (Robertson & Mann 1984). I flerårige ålegraspopulasjoner kan de to måtene å reproducere på varierer stort i tid og rom og gir ulike fordeler under forskjellige miljøforhold (Olesen 1999, Vercamer m.fl. 2021). Vegetativ reproduksjon krever mindre energi og gir muligheten til å kolonisere et tilgjengelig habitat raskt (Olesen & Sand–Jensen 1994). Seksuell reproduksjon gir viktig genetisk variasjon og er den eneste måten ålegraset kan kolonisere nye områder (Johnsen m.fl. 2020, Olesen & Sand–Jensen 1994, Olsen m.fl. 2013). Denne reproduksjonsmåten har også en tendens til å øke som respons på miljøforstyrrelser og næringsopphopning (Olesen 1999). Rekrutteringen av nye individer via seksuell reproduksjon er ofte moderat på grunn av at antallet frø som spirer og/eller overlevelsen til frøspirene er lav (Cabaco & Santos 2009). Nedenfor blir den vegetative reproduksjonen og de ulike stegene i den seksuelle reproduksjonen fra blomstring til spiring og vekst av nye frøplanter beskrevet.

*Populasjon: en gruppe individer av samme art som lever innenfor et geografisk avgrenset område.

2.2.1 Vegetativ reproduksjon

Etter hvert som planten vokser, utvikler det seg grener av sideskudd langs rhizomet (Tomlinson 1974). Det danner seg etter hvert en rhizom–matte med hundrevis av skudd fra samme individ.

2.2.2 Blomstring, pollinering og frøproduksjon

I Danmark er det observert at blomstringen kan strekke seg over en lang tidsperiode som for eksempel mars–august (Olesen 1999). Temperatur, daglengde og breddegrad påvirker tidspunktet for når blomstringsperioden starter og varigheten på denne (De Cock 1981, Blok m.fl. 2018).

Under blomstringen modnes griffelen først i kolben, mens pollenet frigjøres 48 timer etterpå (De Cock 1980). Pollenet blir frigjort i klynger på tusenvis av korn som transporteres passivt på vannoverflaten eller under vann. Spredningsavstanden avhenger i stor grad av vannstrømmer og tidevann (Stubler m.fl. 2017). Levetiden til pollenkornene er estimert til 7–48 timer (De Cock 1980). Etter at pollinering har inntruffet og frøemnet er befruktet, tar det 28–38 dager for frøet å modnes (De Cock 1980).

2.2.3 Frøspredning

Frøspredningen er en stor flaskehals i livssyklusen til ålegras og en studie viste at bare 5% av frøene blir spredt til egnede arealer (Kuusemäe m.fl. 2018). Frøene fester seg lettere i mikroskopiske fordypninger i substratet som blant annet dannes av flerbørstemark og andre bentiske organismer (Meysick m.fl. 2019). Frøspredningen foregår over korte avstander dersom det hylsterformede bladet (spathe) sprekker opp, og over store avstander dersom en plantedel løsner. I de tilfellene der det hylsterformede bladet sprekker opp, blir frøene hovedsakelig transportert bare noen få meter med vannstrømmene (Orth m.fl. 1994). Ålegrasfrøet har negativ oppdrift og vil dermed synke til bunnen. Tunge frø blir spredt nær moderplanten og inneholder relativt mer karbon for å kompensere for lite skygge fra voksne individer, mens mindre frø spres lengere og inneholder relativt høyt næringsinnhold for å etablere seg raskt i mer åpne områder av enga (Delefosse m.fl. 2016). Spredningen over store avstander forekommer bare når en plantedel med frø løsner. Følgende plantedeler har positiv oppdrift og kan bli spredt langt 1) et hylsterformede blad (spathe), 2) en vifte (rhipidium) som er en gruppe med hylsterformede blad og 3) reproduktive skudd. Modellsimulering viser for eksempel at vifter med frø kan spres 150 km ved at de flyter med vannmassene og at de kan holde seg flytende i 3–4 uker (Källström m.fl. 2008).

2.2.4 Spiring og vekst av nye frøplanter

Ålegrasfrøet må bli utsatt for passende spirestimuli for at det skal spire. Faktorer som påvirker spiring er 1) dybden frøet blir begravet i sedimentet, 2) temperatur og 3) saltholdighet. Det optimale er at frøene blir begravet i de øverste 2 cm av sedimentet (Wang m.fl. 2016). Frø som ble avsatt på sedimentoverflaten spirer langsommere (Moore et al 1993), mens bare en brøkdel av frøene spirer som blir begravet under 4 cm (Jørgensen m.fl. 2019). Frø som blir begravet og ligger i en frøbank*, kan forbli spiredyktige i mer enn 12 måneder (Jørgensen m.fl. 2019). I tillegg er det flere fordeler med at frøet blir begravd da dette gir beskyttelse mot predasjon og angrep av patogener*. I svenske farvann har for eksempel predasjon av drøbakkråkebolle, strandkrabbe og bernakeremittkreps vært en av årsakene til store frøtap (Infantes m.fl. 2016).

Det er variasjoner både innad i samme populasjon og mellom populasjoner i forhold til hva slags temperatur frøet må oppleve for at spiringen skal starte. I nærheten av New York viste en studie at frøet ble spredt i løpet av våren og forsommeren, for deretter å være i dvale inntil frøet spirte om høsten eller vinteren når temperaturen er 15°C eller lavere (Churchill 1983). I Sverige er det påvist at ålegrasfrø fra samme populasjon både spirer høst/vinter etter spredning, men også neste vår. Frøene som spirte om våren, gjennomgikk altså en stratifisering* på 0°C, før spiringen startet ved 5°C om våren (Infantes m.fl. 2016). Flere laboratoriestudier bekrefter at stratifisering av frø øker spireprosenten* (Infantes m.fl. 2016, Tanner & Parham 2010). Flere studier viser også at en reduksjon i saltholdigheten er med på å stimulere frøspiring (Infantes m. fl. 2016, Tanner & Parham 2010).

*Frøbank: en stor mengde uspirte frø ligger lagret i sedimentet eller jorden. Frøene kan potensielt spire dersom de blir usatt for de riktige ytre betingelsene.

*Patogener: sykdomsfremkallende mikroorganismer som blant annet omfatter enkelte bakterier, sopp og viroider.

*Spireprosent: en prosentvis angivelse av andelen frø som gir normale spirer under bestemte betingelser. Abnormale spirer blir vanligvis utelukket fra spireprosenten.

*Stratifisering: en metode der frøet legges kjølig på f. eks 0–5°C for å stimulere spiring. Den kalde temperaturen etterligner vintertemperaturer som enkelte arter må gå gjennom for å aktivere spiring.

*Såring: en metode som brukes for å endre frøskallet slik at vannabsorpsjon går raskere og spiringshastigheten forbedres. Frøet kan for eksempel såres mot et sandpapir.

2.3 Metoder og resultater fra forsøk på oppformeringsarbeid

Restaureringsarbeid av ålegrasenger har tradisjonelt gått ut på at frø eller vegetative skudd med eller uten sedimenter blir høstet fra en donoreng for deretter å bli spredt eller transplantert på restaureringsstedet. Dette kan gi direkte skader og /eller negative ettervirkninger i donorenga (Shafer & Bergstrøm 2010). En metodikk som reduserer faren ved disse inngrepene, er oppformering i akvakultursystemer. Oppformering av ålegras i akvakultursystemer er en relativt ny metode og det finnes få publiserte studier på dette (Patterson 2019, Tan m.fl. 2020).

2.3.1 Oppformering av ålegrasplanter fra frø i et landbasert system

Tanner & Parham 2010 ønsket å utvikle en metode som gjør det mulig å produsere ålegrasplanter fra frø i et landbasert kultiveringssystem. Planen var at de kultiverte plantene skulle plantes ut i et storskala restaureringsprosjekt i Chesapeake Bay i USA, og dette blir beskrevet av Tanner m.fl. 2010. For å nå dette målet var det nødvendig å finne metoder som stimulerer tidlig spiring og finne de riktige forholdene som kreves for rask vekst av frøplantene, slik at de blir store nok for utplanting om høsten. Nedenfor blir dette presentert i detalj.

2.3.1.1 Høsting av frø

Blomstrende skudd med frø i ulike stadier av modning ble samlet sent om våren fra donorengene i Chesapeake Bay. Skuddene ble samlet for hånd eller med en mekanisk frøhøster og de ble lagt i store tanker med strømmende elvemunningsvann. De ble liggende i det sirkulerende vannet til skuddene hadde kastet frøene. Deretter ble frøene flyttet til tanker på 21°C. Frøenes levedyktighet ble vurdert i mikroskop. Frøene ble vurdert som levedyktige dersom frøskallet var intakt og at de var faste når de ble trykket forsiktig på (Tanner & Parham 2010).

2.3.1.2 Testing av ulike forhold på spiring

Frøene som ble vurdert som levedyktige, ble utsatt for ulike forhold for å teste om de kunne spire kort tid etter spredningen fra skuddene. Små frøpartier ble testet under ulike forhold som inkluderer påvirkningen av forskjellige saltholdigheter, sterilisering, oksygenfattige forhold, stratifisering og såring*. I tillegg ble en serie med eksperimenter utført for å teste hvordan ulike typer substrater, næringsinnhold og plantedybde påvirket spiring og fremveksten av frøplanten. De forholdene som hadde best resultat på spiringen ble brukt videre for storskala produksjon i akvakulturanlegget (Tanner & Parham 2010).

2.3.1.3 Metodikk brukt for storskala produksjon av ålegrasplanter fra frø

Frøene ble stratifisert i 1–4 uker på 3–4°C. Deretter ble de satt for å spire i tanker uten sedimenter på 13–14°C. Etter at spiringen ble registrert, ble spirene plantet på 1 cm dybde i sedimenter som ble samlet fra utplantingsstedet i Chesapeake Bay. Nitrogen og fosfor ble tilsatt som næring i sedimentet. Temperaturen ble hevet med 2°C per uke, inntil temperaturen nådde 22°C. Vanndybden i tankene ble holdt så lavt som mulig og økt gradvis under veksten, slik at skuddene alltid var dekket av vann. Fremveksten av frøplantene, overlevelsen og skuddhøyden ble overvåket inntil plantene ble utplantingsklare. Den ideelle utplantingsstørrelsen var satt til skuddhøyde ≥ 12.25 cm og rhizomlengde ≥ 2.5 cm. På høstetidspunktet ble plantene tatt ut av sedimentene og lagret over natta i kurver med

sirkulerende vann. De ble plantet i Chesapeak Bay. Teknikken som ble brukt ved utplanting var en metode av Davis & Short (1997) som blir utført av dykkere. Teknikken går ut på at rhizomene legges parallelt i de to øverste cm av sedimentet og festet med et bambusspyd delt i to (Tanner & Parham 2010).

2.3.1.4 Resultatet av testingen på ulike spiringsforhold

Ålegras spirte best ved 14°C i et kultiveringssystem uten sedimenter. Lavere saltholdighet og stratifisering forbedret spiringen, mens sterilisering, oksygenfattige forhold og såring hadde ingen positiv effekt. Spiringen startet etter 3–29 dager og den raskeste spiringen var under lavere saltholdighet. Fremveksten av spirer med grønne skudd startet etter 16–56 dager.

Det ble observert at overlevelsen var best i sedimenter hentet fra utplantingsstedet som ble gjødslet med nitrogen og fosfor. Frøplanteoverlevelsen var på 76,5% i dette sedimentet. Den laveste frøplanteoverlevelsen var i sand med gjødselbehandling hvor frøplanteoverlevelsen var på 26%. De fleste frøplanter dukket opp i løpet av de første 50 dagene. Eksperimentet viste at dybde av planting påvirket både frøplantefremvekst og vekst. Plantedybden på 1–1,5 cm hadde de fleste og høyeste frøplantene på slutten av forsøket (Tanner & Parham 2010).

2.3.1.5 Resultatet av storskala planteproduksjon i landbasert system

Studien viste at det var mulig å produsere ålegrasplanter fra frø som var store nok til transplantasjon i løpet av 70–100 dager under kontrollerte forhold. Studien fant at stratifisering av frø på 4°C økte overlevelsen til frøplantene. Frøene spirte i kulturer uten sediment på 14°C, hvor spireprosenten øker med lavere saltholdighet. Deretter viste det seg at frøspirer som ble lagt i kar med næringsrike sedimenter hadde best vekstrate. Spireprosenten var på 10%. Nye sideskudd ble produsert. Etter 89–90 dager hadde de produsert 26 000 skudd fra opprinnelig 29 000, der 15 000 møtte de planlagte utplantingskravene som var skuddhøyde ≥ 12.25 cm og rhizomlengde ≥ 2.5 cm (Tanner & Parham 2010).

2.3.1.6 Beskrivelse av resultat og metodikk av storskala utplanting i Chesapeak bay

Mellom 15 000 og 19 440 utplantingsenheter bestående av to ålegras skudd hver, ble plantet i oktober 2003, 2004 og 2005. Planting over en 3 års periode er med på å spre risikoen knyttet til forskjeller fra år til år i plantesuksess (Tanner m.fl. 2010). Halvparten av skuddene som ble plantet ut, var høstet fra en donoreng (Tanner m.fl. 2010), mens den andre halvparten var planter som var høstet fra det landbaserte kultiveringssystemet (Tanner & Parham 2010). Den prosentvise overlevelsen ble bestemt etter 1, 6 og 12 måneder etter planting for alle utplantingsårene. Resultatet viste at kultiverte ålegrassplanter hadde høyere grad av overlevelse, høyere skudd og større grad av vegetativ reproduksjon enn ålegrasplanter som ble transplantert fra naturlige enger (Tanner m.fl.2010).

2.3.2 Oppformering av ålegrasplanter fra frø i et vannbasert system

Et akvakultursystem som kan oppformere ålegrasplanter fra frø i et vannbasert system, ble evaluert og beskrevet gjennom et toårig eksperiment i Kina. Kultiveringssystemet bestod av at frø og sedimenter blir fylt i frøposer som er laget av et jutesekklignende materiale. Posene ble sydd igjen og lagt enkeltvis i keramikpotter og plassert i kultiveringssenger. Kultiveringssengene er laget av jern og består av et rammesystem på et stativ med fire bein. Pottene ble plassert på toppen av rammen og deretter dekket av et plastikknett. Stativene ble deretter montert i sjøsonen, slik at de alltid var dekket av vann (Yang m.fl.2016). Nedenfor blir denne studien presentert i detalj.

2.3.2.1 Høsting av frø

Reproduktive skudd med frø ble høstet for hånd i juli 2012 i Gaojia Inlet in Rongcheng, Shandong Peninsula. Skuddene ble lagret i tanker med sirkulerende vann og det ble ventet i 5 uker på at frøene skulle bli spredt fra skuddene (Yang m.fl.2016).

2.3.2.2 Behandling av frø

Frø som var lagret under laboratorieforhold, ble delt i to grupper og utsatt for stratifisering i ulikt antall dager. Behandling 1) 600 frø var lagt i et 250 ml begerglass med 200 ml sjøvann og stratifisert på 4°C i 15 dager. Behandling 2) 4500 frø var plassert i et 1000 ml begerglass med 800 ml sjøvann og deretter stratifisert på 4°C i 30 dager (Yang m.fl. 2016).

2.3.2.3 Metodikk for å beregne suksess

Etter stratifiseringen ble frøene som ble vurdert som levedyktige, plantet videre. 108 frø fra stratifiseringen på 15 dager og 1512 frø stratifiseringen på 30 dager ble delt i 96 grupper. Frøposene ble fylt med 2–3 cm sedimenter. Deretter ble frøene lagt inn og dekket med 15 cm sediment før posene ble sydd igjen. De ble lagd i keramikkrucker og plassert ut i det vannbaserte systemet. I april 2013 ble spireprosenten beregnet ved å ta opp antallet spirer som kom ut av jutesekkmaterialet fra tre tilfeldige krukker fra hver behandling. I mai 2013 ble etableringsraten beregnet på samme måte. For å beregne etableringssuksess, ble 4 tilfeldige krukker plukket ut i juni, juli og september 2014. Høyde og lengde på skudd og rhizomer ble også målt (Yang m.fl. 2016).

2.3.2.4 Resultat av frøbehandling og planting

Gjennomsnittlig spireprosent var 70% på frø som var stratifisert i 30 dager på 4°C. Etter en måned ble det observert at 15% av frøplantene hadde spirt. Langtidsovervåkingsresultater viste at nye planter fra frø var fullt utviklet og godt vedlikeholdt 2 år etter. Resultatene av de målte skuddhøydene og rhizom lengdene fra september 2014 viste at verdiene var relativt lavere sammenlignet med planter som var fullvoksne i de naturlige engene på forsøksstedet i de samme månedene. Dette funnet antydte at planteveksten kan ha vært begrenset av miljøfaktorer, som for eksempel næringstilgjengelighet i sedimentet som følge av høye skuddtettheter i krukken. Plantene ble evaluert som utplantingsklare på et restaureringssted etter 10 måneder (Yang m.fl. 2016).

2.4 Planting- og spredningsmetoder

Ved restaureringsarbeid er det frø eller rhizomer med skudd og rot som blir brukt som utplantingsenhet. Flere studier har vist at planting av skudd med rhizomer og rot etablerer seg på kortere tid med en overlevelsesrate på mer enn 70 % (Davis & Short 1997), mens etablering av ålegras via frø går saktere fordi frøspiringen er lav, ofte <10–40 % (Orth m.fl. 1994, 2003). Nedenfor blir metode og resultat beskrevet for ulike metodikker som har blitt utprøvd. Felles for alle metodene er at dykkere utfører selve høstingen, men ikke planting og spredningen. Resultatet av en restaurering kan dokumenteres på ulike måter, f.eks. ved å sammenligne skuddtetthet, prosentvis dekning, bladlengde, biomasse, antall og mangfold av andre arter med en referanseeng.

2.4.1 Frøspredning fra fastmontert bøye «Buoy-deployed seeding»

En frøspredningsteknikk ble utviklet for å utnytte ålegrasets potensial til å spre frø over en lang tidsperiode fra reproduktive skudd (Pickerell m.fl. 2005). Metodikken går ut på at reproduktive skudd blir høstet og plassert i en nettingpose som er festet til en forankret flytende bøye. Tanken er at ålegrasfrøet frigjøres fra skuddet og ramler til bunns etter hvert som de modnes over en periode på flere uker. Tidspunktet for høsting av de reproduktive skuddene, samt utsetting av bøyene ble satt til slutten av juni som var den andre uka med naturlig frøspredning fra donorenga og utprøvsstedet som var lokalisert i Chesapeake Bay i USA. Overføringen av de reproduktive skuddene til nettingposene skjedde umiddelbart etter høsting, og de ble transportert til utplantingsstedet i fisketønner som var fylt med sjøvann, slik at skuddene ble holdt fuktige og kjølige. Ved denne metoden forsvinner behovet for langtidslagring av frø (Pickerell m.fl. 2005).

Ukentlige observasjoner etter utplasseringen av bøyene viste at de fleste frøene ble spredt i løpet av de første tre ukene. Ett år senere ble rekrutteringen av frøplantene og plantetettheten beregnet, og

resultatet viste at frøplantefordelingen i stor grad ble påvirket av vindretningen. Den høyeste plantetettheten lå i motsatt ende av hovedvindretningen. Rekrutteringsraten ble estimert til å være 6,9 % (Pickerell m.fl. 2005). Resultatet var innenfor 0,6–39,8 % som er observert for tidligere arbeid i Chesapeake Bay-regionen (Orth m.fl. 1994, 2003).

I Sverige ble Pickerells metode prøvd ut i 4 ulike habitater: eksponert grunne, eksponert dypvann, skjermet grunne og skjermet dypvann (Eriander m.fl. 2016). De eksponerte områdene var utsatt for mye vind mens de skjermete områdene lå beskyttet for sterk vind. Etter 9 måneder ble det beregnet en gjennomsnittlig rekruttering på 1 %. Antallet frøplanter som spirte var betydelig høyere i skjermet dypvann sammenlignet med på eksponert grunne, mens det ikke ble registrert frøplanter på eksponert dypvann (Eriander m.fl. 2016). Tilveksten var imidlertid størst i de eksponerte og skjermete grunne områdene. Etter 13 måneder ble det registrert at antallet skudd hadde økt med 263% i disse områdene med en gjennomsnittlig bladlengde på 17 cm og 27 cm, mens i de eksponerte dypvannsområdene hadde tilveksten bare økt med 2,5% med en gjennomsnittlig bladlengde på 51 cm (Eriander m.fl. 2016).

Pickerells metode har også blitt brukt for restaurering på de tre lokalitetene Uithuizen, Balgzand og Schiermonnikoog i Vadehavet ved Nederland. På hver lokalitet ble det utplassert 180 bøyer med 700 gram reproduktive skudd i hver pose. De reproduktive skuddene ble høstet fra to atskilte steder i Puan Klent enga. Bøyene ble satt ut høsten 2011. I august 2012 ble de tre lokalitetene delt inn i ruter på 20x20 meter og antallet spirer ble telt rutevis. I gjennomsnitt fantes det 2–4 planter per rute, men det ble telt opptil 170 planter i en rute i noen få tilfeller. Rutene ble plassert innenfor de avgrensede lokalitetene og i tillegg ble 100 meter utenfor grensen inkludert for å få med frø som ble spredt lenger enn gjennomsnittet. I Uithuizen var det 980 ruter som ble gjennomført og 297 ruter inneholdt ålegras. I Balgzand var det 256 ruter som ble gjennomført og 118 ruter hadde ålegrasplanter. I Schiermonnikoog var antallet ruter 271, og ålegras var observert i 140 av dem. På alle lokalitetene var plantetettheten høyest i de rutene som lå nærmest bøyene, og de minste individene hadde en bladlengde på ca. 20 cm, mens de største ble anslått til å være opptil 60–80 cm (van Duren m.fl. 2013).

2.4.2 Transplantering av ålegras i et rammesystem (TERFS)

TERFS er en metodikk hvor ålegrasskudd blir festet på biologisk nedbrytbare tråder i et rammesystem. Skuddene ble høstet fra New Bedford Harbor (USA), tre dager før transplanteringen ble gjennomført. Rammen består av gummibelagt metalltråd og er vektet med murstein. Rammen blir utplassert fra båt og den tunge mursteinvekten presser ålegraset jordstengler ned i de øverste centimeterne av sedimentet. Rammen holder skuddene på plass i sedimentet mens de slår rot og gir samtidig beskyttelse mot forstyrrelse av bentiske organismer som sjøstjerner, muslinger og slangestjerner. Etter ca. en måned har ålegrasskuddene rotfestet seg, og da kan rammen fjernes og brukes på nytt. En ramme tilsvarende 0,25 m² og har en relativt høy skuddtetthet (Short m.fl. 2002).

Metoden ble for første gang utprøvd i USA, og etter en måned ble overlevelsesraten bestemt. I Great Bay Estuary varierte overlevelsesraten fra 53 % til 86 % i de ulike plottene, mens i New Bedford Harbor var overlevelsesraten på 47% til 85% den første måneden (Short m.fl. 2002). I ettertid har metoden blitt brukt i andre restaureringsstudier i USA og vist svært gode resultater blant annet i Boston Harbor (Leschen m.fl. 2010). To år etter at transplanteringen startet, viste kartleggingen at den utplantete engen hadde like store habitatkvaliteter som donorengen (Leschen m.fl. 2010). Det gode resultatet skyldes blant annet at det i forkant ble utført en småskala utplanting på 12 ulike plot i lokaliteten for å vurdere hvor ålegraset klarte seg best. Fire av plottene hadde svært gode miljøforhold og ble valgt ut til storskala planting (Leschen m.fl. 2010).

TERFS har også blitt brukt i Korea på tre ulike lokaliteter med forskjellige sedimenttyper. Metodikken ble utført ved at 72 ålegrasskudd ble montert på 60x60 cm ramme, noe som gir en utplantingstetthet på 200 skudd per kvadratmeter. Fire rammer ble lagt ut i hver lokalitet og rammene ble fjernet etter to

måneder. Overlevelsesraten varierte mellom 59–69 % og ble beregnet etter 4 måneder (Park & Lee 2007).

2.4.3 Transplantering av ålegras ved bruk av skjell

En metode ble utviklet der skudd ble forankret til døde østersskjell og sluppet fra båt for deretter å etablere seg i sedimentet (Lee & Park 2008). Transplantasjonsforsøket ble utført i Kojé Bay på sørkysten av Korea. Østersskjell eller skjell av andre type muslinger som har en vekt på opptil 10 gram kan brukes i denne transplantasjonsmetoden. To hull ble boret i hvert skall, og et ålegrasskudd ble satt inn i hvert hull og rhizomet blir da liggende på nedsiden av skjellet. Enhetene ble deretter lagret i store beholdere med sjøvann og levert til plantestedet med båt (Lee and Park 2008). Etter 2–3 måneder var den gjennomsnittlige overlevelsen på 78 %. Etter 4, 7 og 13 måneder ble høyden på skuddene, bladbredde og bladproduktivitet målt og sammenlignet med ålegras som fantes naturlig på transplantasjonsstedet. Etter 4 måneder var plantestørrelsen og bladproduktiviteten lavest hos de transplanterte skuddene, mens etter 7 måneder var verdiene like eller bedre for de transplanterte skuddene (Lee & Park 2008).

2.4.4 Transplantering av ålegras ved bruk av stein

Denne metoden innebærer at en transplantasjonsenhet bestående av tre skudd med rhizomer og røtter blir forankret til en liten stein på 50–150 g ved hjelp av biologisk nedbrytbar tråd eller et tynt tau. Det blir gravd et lite hull i sedimentet, og rhizomene blir plassert i en dybde på 2–4 cm og på siden av steinen. For å unngå bruk av dykkere, må tidspunktet for planting være samtidig med at det er fjære. Metodikken ble utprøvd i tidevannssonen av Huiquan Bay i Kina. Skuddene ble transplantert med en avstand på 25 cm innenfor raden, og 25 cm mellom radene. De gravlagte rhizomene var parallelle med sedimentoverflaten, mens skuddene var skråstilt mot rådende bølgeretning for å minimere forstyrrelser forårsaket av sterke bølger. Etter tre måneder var overlevelsen på over 95%. To til tre år etter etableringstidspunktet ble skuddhøyden, skuddtetthet og biomassen på de transplanterte ålegrasengene sammenlignet med en naturlig eng i nærheten, og resultatet viste at det ikke var noen signifikante forskjeller (Zhou m.fl. 2014).

2.4.5 Transplantering av ålegras ved bruk av transplanteringsbåt

En spesialdesignet transplantasjonsbåt (eid av Seagrass Recovery Inc., Ruskin, FL, U.S.A.) ble brukt til transplantering av ålegras i Virginia i USA. Båten var opprinnelig designet for å plante tropisk sjøgress i vanndybder på opptil 2 m. Båten er 7,3 m lang med to aluminiumshjul. Hjulene er 0,91 m fra hverandre, og er festet til en vinsj og motvektsystem som tillater hjulene å rulle fritt langs bunnen når båten går fremover. Båten krever et mannskap på tre for å kjøre og laste hver av de to hjulene med ålegrasbunter. Ålegrasskudd med rhizomer ble montert buntvis i plastklemmer på hjulene etter hvert som det roterer. Hvert klipp skyver en bunt av sjøgresskudd inn i sedimentet, og friksjon mellom gresset og sediment frigjør buntene fra klippet. Etter hvert som båten beveger seg fremover, vil den etterlate seg to linjer med transplanterte skudd med en avstand på ca. 0,91 m fra hverandre (Fishman m.fl. 2004).

Fishman m.fl. 2004 prøvde ut metoden, og det ble observert et betydelig tap av planter under eller umiddelbart etter planting. I Rappahannock returnerte 42,4% av alle planteenheter som ble plassert i klippene til overflaten, da store mengder gress ble observert flytende bak båten under planteprosessen. Maskinen ble finjustert og prøvd ut i James River, og dette forbedret feilraten til 34,6 %. Overlevelsen på de plantete skuddene som faktisk ble festet til sedimentet, ble observert etter 24 uker, og den var på 18,8% i James River og 15,3% i Rappahannock.

2.4.6 Transplantering av ålegras ved bruk av «Dispenser Injection Seeding» DIS

DIS går ut på at en blanding av gjørme og frø blir plassert i en fugepistol og injisert i sedimentet (Govers m.fl. 2022). Gjømme blir samlet fra en nærliggende eng, deretter blir sedimentet siktet over 1 mm maskevidde for å fjerne bunndyr og større partikler. Denne metodikken kan bare brukes når det er lavvann i tidevannssonen (Govers m.fl. 2022). Metodikken ble testet i tidevannssonen i Vadehavet ved Nederland. Studien ønsket å undersøke om størrelsen på restaureringsområdet (4, 40 og 400 m²) og frøtetthet (10 og 50 injeksjoner/m²) påvirket restaureringseffektiviteten. Restaureringseffektiviteten er målt som antall restaurerte planter per frøinjeksjon. En injeksjon inneholder 3 frø og ble sprøytet 3 cm dypt (Gräfnings m.fl. 2023).

Studien fant at det største restaureringsarealet på 400 m² og laveste frøtetthet økte andre generasjons rekruttering. Med økt restaureringsareal ble uttørkingsstresset på plantene redusert, og på grunn av denne stressavlastningen vokste plantene seg større og produserte mer frø. Året etter resulterte dette i to og tre ganger høyere rekrutteringseffektivitet på det største restaureringsarealet sammenlignet med de mindre arealene. Studien viste også at lavere frøtetthet doblet rekrutteringen for andre generasjon, mens høy tetthet ikke gjorde det (Gräfnings m.fl. 2023).

I Lake Grevlingen i Nederland ble DIS brukt som restaureringsmetode i april 2019 (Cronau m.fl. 2023). Totalt 10 000 frø ble injisert 2 cm ned i sedimentet og fordelt på fire ulike steder i innsjøen. Rekrutteringen ble overvåket månedlig etter injiseringen frem til august 2019. På et av stedene var det ingen frø som spirte, mens på de tre andre lokalitetene varierte rekrutteringen fra 0,28–1,28 % (Cronau m.fl. 2023).

2.4.7 Transplantering av ålegras ved bruk av «Bags of Seagrass Seeds Line»

BOSSline

Denne metoden innebærer at frø og sedimenter blir lagt i små jutesekkposer og plassert på havbunnen. Det går et tau mellom posene slik at dette senkes ned til havbunnen fra en båt, slik at det ligger på en rett linje. Både tauet og jutesekkposene blir nedbrutt i løpet av få måneder. Metoden ble først prøvd ut på tre lokaliteter i England. I hver pose (13 x 7,5 cm) ble det plassert 100 frø sammen med 100 cm³ sedimenter og nedbrutte rester av ålegress. Posene ble festet til tauet og plassert med 1 meters mellomrom på havbunnen. Hvert tau inneholdt seks frøposer og totalt 24 poser ble plassert ut på hver av de tre lokalitetene. Resultatet viste at 3,4 % av frøene overlevde etter 10 måneder (Unsworth m.fl. 2019).

2.5 Oppsummering av nøkkelresultater

I kalde, tempererte strøk som Skandinavia og Nord-Atlanterhavet i USA kan kort vekstsesong og isbevegelser om vinteren være en ekstra utfordring for å få til en vellykket rekruttering av ålegras via planting og spredning. Flere studier har likevel vist at restaurering av ålegrasenger i kalde, tempererte strøk kan lykkes ved bruk av både frø og vegetative skudd som utplantingsenhet. Det kan lønne seg å bruke en kombinasjon av ulike teknikker i samme eng da ulike sprednings- og planteteknikker kan være fordelaktige i ulike dybder av enga og under ulike hydrodynamiske forhold (Tabell 1). Spredning av frø fra bøye viste seg å ha best resultat på større dyp enn på de grunneste områdene, mens DIS-metodikken og transplantering ved hjelp av stein har god effekt i tidevannssonene. I områder med sterke undervannsstrømmer er TERFS mer vellykket enn frøspredning fra fastmontert bøye dersom dominerende vindretning gjør at en stor mengde frø blir spredt utenfor de mest egnete områdene.

Tabell 1: Sammenligning av egnet utplantingssted, arbeidsmengde, vanskelighetsgrad og utstyr mellom de ulike plantemetodene.

Plantemetode	Egnet utplantingssted	Arbeidsmengde	Utstyr
Fastmontert bøye	Middels til større dyp skjernet for sterke undervannstrømmer og utenfor tidevannssonen	Liten arbeidsmengde	Båt, bøyer, tau, anker, nettingpose med reproduktive skudd
TERFS	Middels vanndybde og tåler i større grad undervannstrømmer	Arbeidskrevende: feste skudd til rammesystemet. Rammen må hentes opp med dykkere	Båt, rammesystem med nedbrytbare tråder, mursteinvekt skudd med rhizomer og rot
Skjell	Middels til større dyp skjernet for undervannstrømmer	Arbeidskrevende: borre hull i skjell og feste skuddet	Båt, skjell, nedbrytbar tråd, skudd med rhizomer og rot
Stein	Tidevannssonen	Arbeidskrevende: feste skuddet til steinen	Stein, nedbrytbar tråd, skudd med rhizomer og rot
Transplanteringsbåt	Middels dyp	Krever tre personer	Spesialdesignet transplanteringsbåt
DIS	Tidevannssonen	Arbeidskrevende: injisere frø i sedimentet	Fugepistol, gjørmeflak, frø
BOSSline	Middels dyp	Arbeidskrevende: klargjøring av jutesekkposer	Båt, jutesekkposer, tau, sediment, nedbrutte sjøgressrester

Flere studier har vist at samme transplantasjons- eller spredningsteknikk kan resultere både i lav og høy overlevelsesprosent i ulike lokaliteter (Tabell 2). Dette indikerer at det som begrenser god restaureringseffekt, ikke nødvendigvis er valg av metode, men heller forholdene på restaureringsstedet, slik som vannkvalitet, temperatur, sedimenttype og predasjonsrate. I innledende faser av restaureringen er det viktig å bruke tid på å vurdere arealets egnethet for restaurering, samt utføre mindre utplantinger for å teste overlevelsen før storskala utplanting iverksettes.

Tabell 2: Sammenligning av overlevelsesprosent mellom ulike metoder og ulike studier

Plantemetode	Overlevelsesprosent	Tidspunkt for beregning av overlevelsesprosent etter transplantering	Referanse
Fastmontert bøye	6,9 %	Ett år	Pickerell m.fl. 2005
Fastmontert bøye	1 %	9 måneder	Eriander m.fl. 2016
Fastmontert bøye	0.1 %	11 måneder	van Duren m.fl. 2013
TERFS	47-86%	En måned	Short m.fl. 2002
TERFS	5-90%	6-8 uker	Leschen m.fl. 2010
TERFS	59–69 %	4 måneder	Park & Lee 2007
Skjell	78 %	2-3 måneder	Lee & Park 2008
Stein	95%	3 måneder	Zhou m.fl. 2014
Transplanteringsbåt	40 %	En uke	Fishman m.fl. 2004
DIS	0,3–1,3 %	4 måneder	Cronau m.fl. 2023
BOSSline	3,4 %	10 måneder	Unsworth m.fl. 2019

3 Referanseliste

- Ackerman, J. D. 1993. Pollen germination and pollen tube growth in the marine angiosperm, *Zostera marina* L. *Aquatic botany* 46:189–202
- Ackerman, J. D. 1997. Submarine pollination in the angiosperm *Zostera Marina* (Zosteraceae) II. Pollen transport in flow fields and capture by stigmas. *American Journal of Botany* 84(8):1110–1119
- Artsdatabanken. *Zostera Marina*. Lastet ned: 25.10.23.
- Bintz, J. C. & Nixon, S. N. 2001. Responses of eelgrass *Zostera marina* seedlings to reduced light. *Marine Ecology Progressive Series* 223:133–141
- Blok, S. E., Olesen, B. & Krause–Jensen, D. 2018. Life history events of eelgrass *Zostera marina* L. populations across gradients of latitude and temperature. *Marine Ecology Progress Series* 590:79–93
- Cabaco, S & Santos, R. 2010. Reproduction of the eelgrass *Zostera marina* at the species southern distributional limit in the Eastern Atlantic. *Marine Ecology* 31(2):300–308
- Churchill, C. A. 1983. Field studies on seed germination and seeding development in *Zostera marina* L. *Aquatic Botany* 16:21–29
- Cronau, R. J. T., Fouw, J. D., van Katwijk, M. M., Bouma, T. J., Heusinkveld, J. H. T., Hoeijmakers, D., Lamers, L. P. M. & van der Heide, T. 2023. Seed– versus transplant–based eelgrass (*Zostera marina* L.) restoration success in a temperate marine lake. *Restoration Ecology* 31(1)e13786
- Davis, R. C. & Short, F. T. 1997. Restoring eelgrass, *Zostera marina* L., habitat using a new transplanting technique: the horizontal rhizome method. *Aquatic Botany* 59:1–15.
- De Cock, A. W. A. M. 1980. Flowering, pollination and fruiting in *Zostera marina* L. *Aquatic botany* 9:201–220
- De Cock, A. W. A. M. 1981. Development of the flowering shoot of *Zostera marina* L. under controlled conditions in comparison to the development in two different natural habitats in the Netherlands. *Aquatic botany* 10:99–113
- Delefosse, M., Povidisaa, K., Ponceta, D., Kristensena, K. & Olesen, B. 2016. Variation in size and chemical composition of seeds from the seagrass *Zostera marina*—Ecological implications. *Aquatic botany* 131:7–14
- Eriander, L., Infantes, E., Olofsson, M., Olsen, J. L. & Moksnes, P. O. 2016. Assessing methods for restoration of eelgrass (*Zostera marina* L.) in a cold temperate region. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 479:76–88
- Fishman, R. J., Orth, R. J., Marion, S. & Bieri, J. 2004. A Comparative Test of Mechanized and Manual Transplanting of Eelgrass, *Zostera marina*, in Chesapeake Bay. *Restoration Ecology* 12(2):214–219
- Fredriksen, S., de Backer, A., Boström, C. & Christie, H. 2010. Infauna from *Zostera marina* L. meadows in Norway. Differences in vegetated and unvegetated areas. *Marine Biology Research* 6:189–200
- Govers, L.L., Heusinkveld, J.H.T., Gräfnings, M.L.E., Smeele, Q. & van der Heide, T. 2022. Adaptive intertidal seed–based seagrass restoration in the Dutch Wadden Sea. *PLoS ONE* 17(2):e0262845
- Gräfnings, M. L. E., Heusinkveld, J. H. T., Dieuwke, N. H., Hoeijmakers, J. J., Smeele, Q., Zwarts, M., van der Heide, T. & Govers, L. L. 2023. Spatial design improves efficiency and scalability of seed–based seagrass restoration. *Journal of Applied Ecology* 60(6):967–977
- Heck, K., Hays, G. & Orth, R. 2003. Critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows. *Marine Ecology Progressive Series* 253:123–136

- Infantes, E., Eriander, L. & Moksnes, P. O. 2016. Eelgrass (*Zostera marina*) restoration on the west coast of Sweden using seeds. *Marine Ecology Progressive Series* 546:31–45
- Infantes, E & Moksnes, P. O. 2018. Eelgrass seed harvesting: Flowering shoots development and restoration on the Swedish west coast. *Aquatic Botany* 144:9–19
- Johnsen, A. J., Orth, R. J. & Moore, K. A. 2020. The role of sexual reproduction in the maintenance of established *Zostera marina* meadows. *Journal of Ecology* 108:945–957
- Jørgensen, M. S., Rodrigo, L. & Olesen, B. 2019. Seed size and burial depth influence *Zostera marina* L. (eelgrass) seed survival, seedling emergence and initial seedling biomass development. *PLoS ONE* 14(4):e0215157
- Källström, B., Nyqvist, A., Åberg, P., Bodin, M. & Andre C. 2008. Seed rafting as a dispersal strategy for eelgrass (*Zostera marina*). *Aquatic Botany* 88:148–153
- Kuusemäe, K., von Thenena, M., Langea, T., Rasmussen, E. K., Pothoff, M., Sousaa, A. I. Mogens & Flindtaa, M. R. 2018. Agent Based Modelling (ABM) of eelgrass (*Zostera marina*) seedbankdynamics in a shallow Danish estuary. *Ecological Modelling* 371:60–75
- Kvile, K. Ø., Infantes, E., Skjellum, S. F., Platjouw, F. M. & Rinde E. 2022. Potensial for restaurering og reintroduksjon av ålegrasenger i Oslofjorden, og mulighetene dette kan gi for klimatilpasning, karbonopptak og lagring. NIVA 7692–2022
- Lee, K. S. & Park J. I. 2008. An effective transplanting technique using shells for restoration of *Zostera marina* habitats. *Marine Pollution Bulletin* 56:1015–1021
- Leschen, A. S., Ford, K. H. & Evans, T. N. 2010. Successful Eelgrass (*Zostera marina*) Restoration in a Formerly Eutrophic Estuary (Boston Harbor) Supports the Use of a Multifaceted Watershed Approach to Mitigating Eelgrass Loss. *Estuaries and Coasts* 33(6):1340–1354
- Meysick, L., Infantes, E. & Boström, C. 2019. The influence of hydrodynamics and ecosystem engineers on eelgrass seed trapping. *PLoS ONE* 14(9):e0222020.
- Morita, T., Kakinuma, M., Mizuno, G., Okumura, I., Kokubu, H., Kurashima, A. & Maegawa, M. 2010. Morphological characteristics of annual *Zostera marina* shoots at various germination temperatures. *Aquatic Botany* 92: 49–54
- Moore, K. A., Orth, R. J. & Nowak, J. F. 1993. Environmental regulation of seed germination in *Zostera marina* L. (eelgrass) in Chesapeake Bay: effects of light, oxygen and sediment burial. *Aquatic Botany* 45(1):79–91
- Olesen, B. & Sand–Jensen, K. 1994. Demography of shallow eelgrass (*Zostera marina*) populations: shoot dynamics and biomass development. *Journal of ecology* 82:379–390
- Olesen, B. 1999. Reproduction in Danish eelgrass (*Zostera marina* L.) stands: size–dependence and biomass partitioning. *Aquatic Botany* 65:209–219
- Olsen, J. L., Coyer, J. A., Stam, W. T., Moy, F. E., Christie, H. & Jørgensen, N. M. 2013. Eelgrass *Zostera marina* populations in northern Norwegian fjords are genetically isolated and diverse. *Marine Ecology Progressive Series* 486:121–132
- Orth, R. J., Luckenbach, M. & Moore, K. A. 1994. Seed dispersal in a marine macrophyte: implications for colonization and restoration. *Ecology* 75:1927–1939
- Orth, R.J., Fishman, J.R., Harwell, M.C. & Marion, S.R. 2003. Seed density effects on germination and initial seedling establishment in eelgrass *Zostera marina* in the Chesapeake Bay region, USA. *Marine Ecology Progress Series* 250:71–79

- Park, J. I. & Lee, K. S. 2007. Site-specific success of three transplanting methods and the effect of planting time on the establishment of *Zostera marina* transplants. *Marine Pollution Bulletin* 54:1238–1248
- Patterson, J. T. 2019. The growing role of aquaculture in ecosystem restoration. *Restoration Ecology* 27(5):938–941
- Phillips, R. C., Grant, W. S. & McRoy, C. P. 1983. Reproductive strategies of eelgrass (*Zostera marina* L.) (Gulf of California). *Aquatic Botany* 16:1–20
- Pickerell, C. H., Schott, S. & Wyllie-Echeverria, S. 2005. Buoy-deployed seeding: Demonstration of a new eelgrass (*Zostera marina* L.) planting method. *Ecological Engineering* 25:127–136
- Robertson, A. I. & Mann, K. H. 1984. Disturbance by ice and lifehistory adaptations of the seagrass *Zostera marina*. *Marine Biology* 80:131–141
- Setchell, W. A. 1933. A preliminary survey of the species of *Zostera*. *National Academy of Sciences* 19(9):810–817
- Shafer, D. & Bergstrom, P. 2010. An Introduction to a Special Issue on Large-Scale Submerged Aquatic Vegetation Restoration Research in the Chesapeake Bay: 2003–2008. *Restoration Ecology* 18(4):481–489
- Short, F. T., Kopp, B. S., Gaeckle, J. & Tamaki, H. 2002. Seagrass Ecology and Estuarine Mitigation: A Low-Cost Method for Eelgrass Restoration. *Fisheries Science* 68:1759–1762
- Stubler, A. D., Jackson, L. J., Furman, B. T. & Peterson, B. J. 2017. Seed Production Patterns in *Zostera marina*: Effects of Patch Size and Landscape Configuration. *Estuaries and Coasts* 40:564–572
- Tan, Y. M., Dalby, O., Kendrick, G. A., Statton, J., Sinclair, E. A., Fraser, M. W., Macreadie, P. I., Gillies, C. L., Coleman, R. A., Waycott, M., van Dijk, K., Vergés, A., Ross, J. D., Campbell, M. L., Matheson, F. E., Jackson, E. L., Irving, A. D., Govers, L. L., Connolly, R. M., McLeod, I. M., Rasheed, M. A., Kirkman, H., Flindt, M. R., Lange, T., Miller, A. D. & Sherman, C. D. H. 2020. Seagrass Restoration Is Possible: Insights and Lessons From Australia and New Zealand. *Frontiers in Marine Science* 7:617
- Tanner, C. E. & Parham, T. 2010. Growing *Zostera marina* (eelgrass) from Seeds in Land-Based Culture Systems for Use in Restoration Projects. *Restoration Ecology* 18(4):527–537
- Tanner, C., Hunter, S., Reel, J., Parham, T., Naylor, M., Karrh, L., Busch, K., Golden, R. R., Lewandowski, M., Rybicki, N. & Schenk, E. 2010. Evaluating a Large-Scale Eelgrass Restoration Project in the Chesapeake Bay. *Restoration Ecology* 18(4):538–548
- Tomlinson, P. B. 1974. Vegetative morphology and meristem dependence – the foundation of productivity in seagrasses. *Aquaculture* 4:107–130
- Unsworth, R. K. F., Bertelli, C. M., Cullen-Unsworth, L. C., Esteban, N., Jones, B. L., Lilley, R., Lowe, C., Nuuttila, H. K. & Rees, S. C. 2019. Sowing the seeds of seagrass recovery using hessian bags. *Frontiers in Ecology and Evolution* 7:311
- van Duren, L. A., van Katwijk, M. M., Heusinkveld, J. & Reise, K. 2013. Eelgrass restoration in the Dutch Wadden Sea. *Radboud Repository of the Radboud University Nijmegen*.
- Vercaemer, B. M., Scarrow, M. A., Roethlisberger, B., Krumhansl, K. A. & Wong, M. C. 2021. Reproductive ecology of *Zostera marina* L. (eelgrass) across varying environmental conditions. *Aquatic Botany* 175: 103444
- Wang, M., Wang, Y., Guo, X., Sha, J., Zhang, H. & Tang, X. 2016. Reproductive properties of *Zostera marina* and effects of sediment type and burial depth on seed germination and seedling establishment. *Aquatic Botany* 134:68–74

Yang, C. J., Liu, S. H., Jiu, J., Xu, Q., Li, W. T. & Zhang, P. D. 2016. Assessment of the establishment success of *Zostera marina* (eelgrass) from seeds in natural waters: Implications for large-scale restoration. *Ecological Engineering* 92: 1–9

Zhou, Y., Liu, P., Liu, B., Liu, X., Zhang, X., Wang, F. & Yang, H. 2014. Restoring eelgrass (*Zostera marina* L.) habitats using a simple and effective transplanting technique. *PLoS ONE* 9(4):e92982

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter.