

Sand-capping

– et nyt marint virkemiddel

Bunden i mange af vores fjorde er efter mange års næringsstofberigelse blevet dækket af mudder. Ålegræs kan derfor ikke længere få rodfæste, og fjordbunden ophvirvles så hyppigt, at de forringede lysforhold hindrer opnåelse af en god miljøtilstand. SDU fik i 2016 ansvaret for at teste det marine virkemiddel sand-capping, som potentielt kan forbedre både lysklimaet og ålegræssets forankringskapacitet.

MOGENS R. FLINDT, TROELS LANGE,
NICOLAJ AASKOVEN, NELE WENDLÄNDER,
RUNE STEINFURTH, BENJAMIN NIELSEN
& ERIK KRISTENSEN

Introduktion

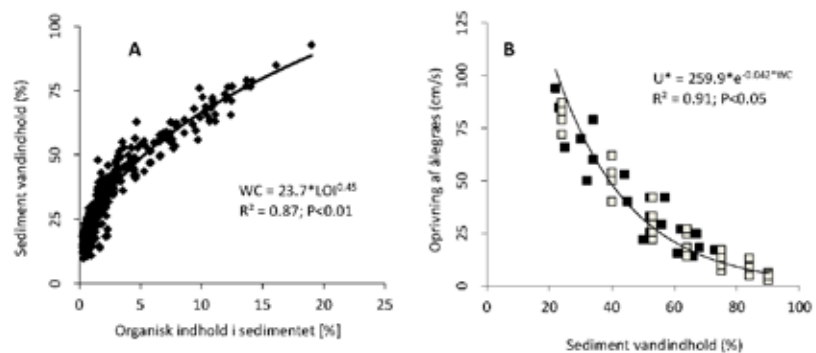
Ålegræs er en vigtig plante i vores fjorde og kystområder og anvendes som indikator for miljøtilstanden i den danske forvaltning af EU's Vandrammedirektiv. Dette skyldes at veletablerede ålegræsbestande understøtter vigtige økosystem-tjenester ved at reducere resuspension og hindre kysterosion, optage næringsstoffer, der herved bliver utilgængelige for lysvækkende planteplankton og hurtigtvoksende makroalger, samt sikre et mere alsidigt dyreliv (f.eks. orme, bløddyr, krebsdyr, fisk og fugle). Disse økosystemtjenester er imidlertid afhængige af ålegræssets udbredelse og biomasse, da det er planternes tilstedeværelse og produktion som sikrer disse positive funktioner. Ålegræsbestandene er imidlertid ikke genetablerede endskønt, der de sidste 20-30 år er sket en markant reduktion i næringsstofbelastningen.

Gennem en årrække har vi på SDU dokumenteret de forarmede ålegræspopulationers genetableringsproblemer under de nuværende miljøforhold. Frøspredningen fra eksisterende moderbede burde sikre spiring af nye årsskud og danne fundament for nye ålegræsbede. Miljøforholdene resulterer imidlertid i at årsskuddene oftest mistes allerede i lø-

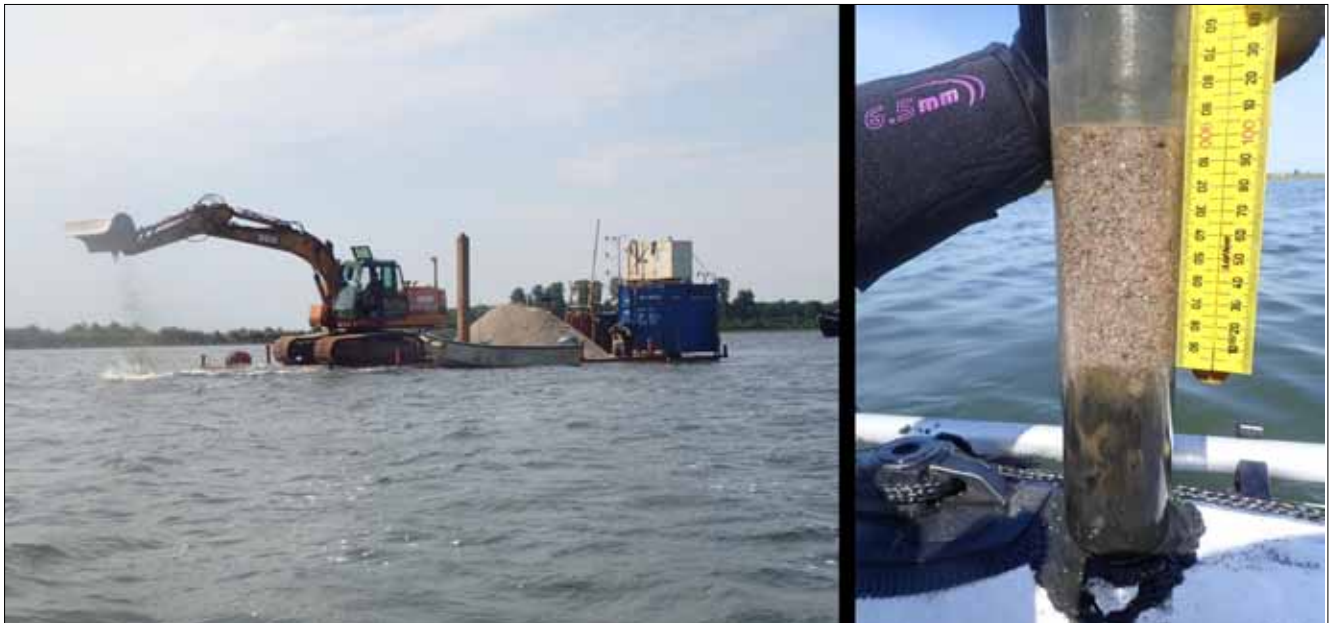
bet af første sæson /1/. Der er mange stressfaktorer som hindrer genetableringen af ålegræsset /2/. Således er de fysiske sedimentforhold afgørende for sedimenternes forankringskapacitet for ålegræs. Grundet mange års høje næringsstofbelastninger er sedimenterne i mange fjordområder blevet mere mudrede. Det skyldes, at det indlejrede organiske materiale har meget lav vægtfylde, hvorved sedimenterne mister deres konsoliderings-evne. I værste fald ender bunden som flydende mudder med et meget høje vandindhold (Figur 1A). I de senere år har vi haft fokus på denne problemstilling, og undersøgt sedimentforholdene i en række fjorde og kystområder. For eksempel er ca. 40% af Odense Fjords, Horsens Fjords og Roskilde Fjords sedimenter for mudrede til at ålegræsspirer kan etablere nye bestande/3/. Sedimenternes

kapacitet til at forankre ålegræsspirer er undersøgt ved at anvende strømrønder i både felten og laboratoriet, hvor ålegræsspirer er blevet udsat for stigende strømhastigheder på fjordbunde med variabelt organisk indhold (Figur 1B). Her blev tærskelværdier bestemt som den kraft (strømhastighed) der skal til for at trække ålegræsspirene ud af sedimentet. Resultaterne er entydige, idet der er en klar sammenhæng mellem sedimenternes vandindhold, og deres evne til at forankre ålegræsspirer. Ved et organisk indhold i sedimentet på blot 2-3 % (vandindhold ~ 40%) halveres forankringsevnen i forhold til organisk fattige sandede sedimenter med et vandindhold på 15-20%.

Tabet af ålegræs har desuden resulteret i en højere sandmobilitet langs vore kyster, hvorved sejlrønder i fjordene sander til og løbende



Figur 1. (A) sammenhæng mellem sedimentets organiske indhold og vandindhold (resultater fra Odense Fjord, Roskilde Fjord, Det Sydfynske Øhav og Horsens Fjord ($\Sigma n=380$)). (B) felt- (lukkede symboler) og laboratorie-studier (åbne symboler) af hydrodynamiske tærskelværdier (strømhastighed) for oprivning af ålegræs-årsskud.



Billede 1. Til venstre udlægningen af sandmembranen ved Dørholm Bugt i Odense Fjord udført af Odense Havn. Sandet blev lastet ombord på en stor flydepram og lagt ud med en GPS-styret gravsko. Til højre er en sedimentkerne, som viser at den aftalte sandlagstykkelse på ca. 10 cm blev udlagt.

skal vedligeholdes. I andre tilfælde skal sejleren udvides og/eller uddybes, hvorved store mængder sand/grus bliver opgravet og sejlet ud på veldefinerede klappadser udpeget af Miljøstyrelsen. En del af dette sand er af god kvalitet og ikke forurenet med miljøfarlige stoffer, som tungmetaller og PAH'ere. Det var derfor naturligt at stille spørgsmålet:

”Hvorfor ikke anvende dette gode råstof til at forbedre bundforholdene i de mudrede områder af fjordene?” Det vil være en bæredygtig løsning, da havnemyndighederne ikke behøver at sejle det opgravede sand til fjerne klappadser, men i stedet kan sprede materialet ud over mudderbunden inde i fjordene. Derved indkapsles den ustabile mudderbund af et stabiliserende sandlag (heraf navnet ”sand-capping”) og der genetableres kvalitetsbunden. Ved at anvende det opgravede sand i fjordene, opstår der en miljømæssig win-win-situation. Den øgede stabilitet af bunden i sand-cappede områder vil både forbedre forankringskapaciteten for ålegræs og føre til mindre erosion af bunden og derved et forbedret lysklima. Sand-

capping vil derfor understøtte en positiv miljøudvikling, så fjordene kan opfylde målene i EU's Vandrammedirektiv. De forbedrede bundforhold vil medføre, at den rodfæstede vegetation igen kan genetableres og opbygge en stor biomasse. Derved immobiliseres N- og P-næringsstoffer og forhindrer vækst af hurtigt omsætteligt planteplankton og opportunistiske makroalger. Genetablering af ålegræsvegetation i de tidligere mudrede fjordområder vil derfor starte en positiv miljø-feedback, idet lysforholdene forbedres, hvilket yderligere understøtter en højere ålegræsproduktion.

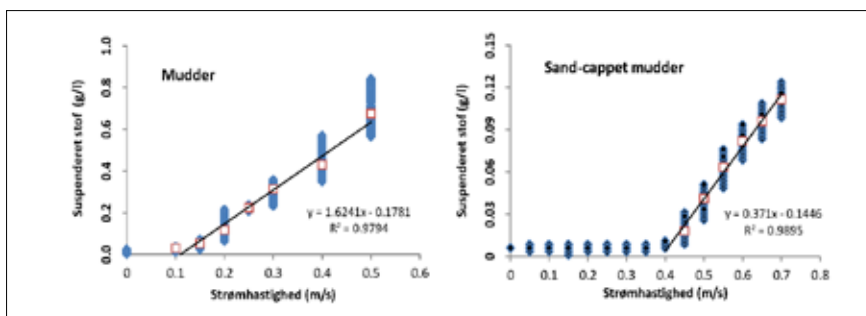
Laboratorietest af sand-capping

SDU fik med udgangspunkt i etablering af nye marine virkemidler i 2016 ansvaret for test af sand-capping på 2 stationer i Odense Fjord. Forinden blev der lavet en række af studier i laboratoriet, hvor sand-capping blev foretaget på mange typer mudderbund med variabelt organisk indhold. Formålet var, at undersøge sandlagets stabilitet og sandkappens posi-

tive effekt på lysforholdene. Disse studier blev udført i strømrønder i laboratoriet, hvor sedimenter med variabelt vand- og organisk indhold blev udsat for stigende strømhastigheder, mens turbiditeten i vandfasen kontinuert blev logget. Dette muliggjorde en analyse af erosionstærskler og -hastigheder. Første blev mudderbunden testet, dernæst blev den sand-cappede bund testet gentaget. Sandkappen viste sig at have stor indflydelse på erosionsforholdene (Figur 2).

Mudderbundens lette organiske materiale eroderes allerede ved strømhastigheder på 10-12 cm/s, og resulterer i meget høje koncentrationer af suspenderet stof i vandsøjlen. Den sand-cappede bund eroderes først ved 40-45 cm/s med meget lavere koncentration af suspenderet materiale. Ved strømhastigheder på f.eks. 50 cm/s var den suspenderede stofkoncentration over sandkappen på 40 mg tørstof/l, mens koncentrationen over mudderbunden var over 675 mg tørstof/l. Sand-capping giver derfor en reduktion i suspenderet materiale på med en faktor på omkring 15. Meget af det resuspenderede mudder er organisk materiale med høj lysabsorption, mens det på den sand-cappede bund primært er silt, som i stedet reflekterer lyset, hvorved lysgevinsten af sand-cappingen bliver endnu større. Viden om lyssvækkelse i det organiske materiale muliggør en beregning af lysforholdene på varierende dybder (0-3 meter) ved forskelligt hydrodynamisk strømforhold (Tabel 1).

Højfrekvent reuspensioner fastholder således mudrede fjordssystemer i en dårlig lystilstand. Lysintensiteten på mudderbunden understøtter kun ålegræsproduktion ved helt



Figur 2. Viser erosionsforløbet på den oprindelige mudderbund (venstre) og på den efterfølgende sand-cappede mudderbund (højre). Bemærk de meget forskellige y-akser.

Tabel 1. Forskel i den bundnære lysintensitet over en mudderbund og en sand-cappet mudderbund. Farverne indikerer: mørkegrøn ($>200 \mu\text{mol fotoner}/\text{m}^2/\text{s}$) lysintensiteten understøtter ålegræsproduktion; lysegrøn ($<200 \mu\text{mol fotoner}/\text{m}^2/\text{s} > 10 \mu\text{mol fotoner}/\text{m}^2/\text{s}$) lysintensiteten understøtter bentiske kiselalger; rød ($<10 \mu\text{mol fotoner}/\text{m}^2/\text{s}$) lysintensiteten understøtter ikke en bentisk primærproduktion.

Dybde (m)	Ubehandlet mudderbund					Sand-cappet mudderbund						
	Velocity U (cm s ⁻¹)					Strømhastighed (cm/s)						
	10	15	20	30	40	50	10	15	20	30	40	50
	Vertikal lysintensitet ned gennem vandspjlen ($\mu\text{mol fotoner}/\text{m}^2/\text{s}$)											
-0.50	433	391	161	67	18	4	518	518	518	503	434	271
-0.75	394	316	83	22	3	0	481	481	481	460	369	182
-1.00	342	255	43	8	1	0	447	447	447	421	314	123
-1.25	298	206	22	3	0	0	415	415	415	385	267	82
-1.50	259	166	12	1	0	0	385	385	385	353	227	55
-1.75	225	134	6	0	0	0	358	358	358	323	193	37
-2.00	195	108	3	0	0	0	333	333	333	296	164	25
-2.25	170	87	2	0	0	0	309	309	309	271	139	17
-2.50	148	71	1	0	0	0	287	287	287	248	118	11
-2.75	128	57	0	0	0	0	267	267	267	227	101	8
-3.00	111	46	0	0	0	0	248	248	248	207	86	5

lave strømhastigheder (10-15 cm/s) og på meget lavvandede områder (0.5-2.0 m). Nogle mener, at ålegræs har en netto produktion ved lavere lysintensiteter end angivet her. Dette er også tilfældet for rene planter i laboratoriet. I fjordene er planternes blade imidlertid dækket med silt-partikler og ofte er de også fyldt med epifytter, hvilket reducerer lysmængden som rammer bladene. Ovenstående tærskelværdier er derfor baseret på feltobservationer, hvor ålegræsproduktion blev målt i transparente kamre i Roskilde Fjord, Kalveboderne og Odense Fjord. Dette er faktisk i overensstemmelse med observationer af dybdegrænsen for ålegræsvækst i mange af vore mest mudrede fjorde. Økosystem-servicen af en sand-capping er til gengæld meget stor og ålegræsset understøttes med lys ned til mere end 3 meters dybde, selv ved højere hydrodynamisk stress fra bølger og strøm. Den højere lysintensitet vil derfor kunne resultere i en langt større ålegræsproduktion og dermed et øget potentiale for genetablering i fjordene.

Storskala sand-capping i Odense Fjord

I sensommeren 2017 blev sand-capping på

stor skala gennemført to steder i Odense Fjord. I inderfjorden blev 1 ha sand-cappet på 2.0-2.5 meters dybde i Dørholm Bugt, og i yderfjorden udførtes samme sand-capping på samme dybde ved Firtalsdæmningen. Det organiske indhold i mudderbundet var 7-10% i Dørholm Bugt, mens det ved Firtalsdæmningen var på 3-6%, hvilket begge steder er suboptimale bundforhold for ålegræsvækst. Der blev udlagt et sandlag på 10 cm's tykkelse, som i strømrende-eksperimenterne viste var tilstrækkeligt til at indkapsle mudderbunden. På billede 1 ses hvordan udlægningen blev udført med en GPS-styret gravko på en flydepram lastet med sand. Sedimentkerner udtaget umiddelbart efter udlægningen en sandlagstykkelse på præcist 10 cm (Billede 1). Udlægningspræcisionen var imponerende, idet variationen på lagtykkelsen var 8.5-13 cm.

Forbedrede lysforhold

Sonder blev efterfølgende udlagt på stationerne og på den nærliggende mudderbund, således at de bundnære miljøforhold kunne monitoreres for ilt, temperatur, lysintensitet, salinitet og vandstand. Da mudderbund normalt hverken huser et alsidigt plante- eller dyreliv,

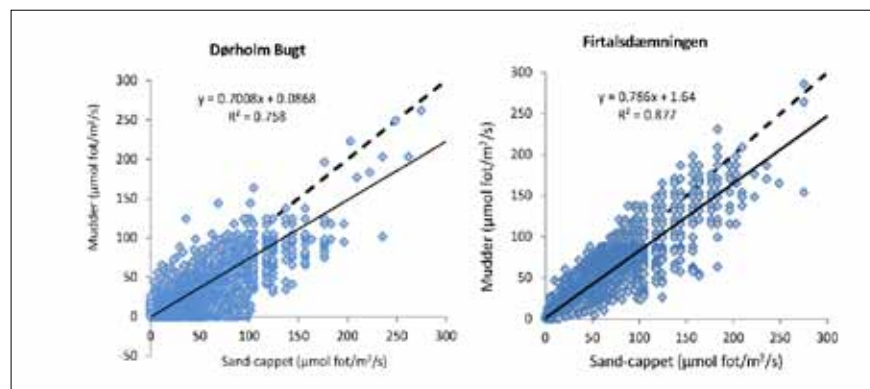
var det tanken at følge udviklingen i fauna succession og transplantere ålegræs på både sandkappen og den nærliggende mudderbund i 2018. I sommeren 2018 blev vandområderne imidlertid hårdt ramt af iltsvind, som i Odense Fjord strakte sig til oktober, og vi besluttede derfor at udskyde transplantationerne til forsommeren 2019.

Lyslogger har siden anlæggelsen opsamlet data kontinuert, og resultaterne fra lysloggerne i hele 2018 er præsenteret i Figur 3, hvor lyslogger-korrelationerne mellem sand-cappede områder vises i forhold til mudderbundene. Som det ses er der på begge lokaliteter en klar lysgevinst ved sand-cappingen. I den mest mudrede Dørholm Bugt forbedres den bundnære lysintensitet med ca. 30%, mens gevinsten ved Firtalsdæmningen er på godt 20%. Dette matcher ikke de lysmæssige gevinster der blev målt i laboratoriet, hvilket skyldes at det er relativt små områder, der er blevet cappet, og at store nærliggende muddrområder stadig præger områderne som helhed. En stigning i lysintensiteten på 20-30% er stadig en klar forbedring, idet planternes lys-specifikke fotosyntese og produktion udtrykkes som en mætningsfunktion af lysintensiteten, hvor selv moderate forbedringer i lysforholdene kan understøtte en højere produktion. Vi var dog bekymrede for om sand-cappingen i specielt dørholm ville give tilstrækkeligt lys til retablering af ålegræs, idet langt de fleste loggede lysintensiteter lå under $100 \mu\text{mol fot}/\text{m}^2/\text{s}$. Det var noget bedre ved Firtalsdæmningen, men stadig ikke en optimal lysintensitet til retablering af ålegræs, som helst skal have mange dage med mere end $200 \mu\text{mol fot}/\text{m}^2/\text{s}$.

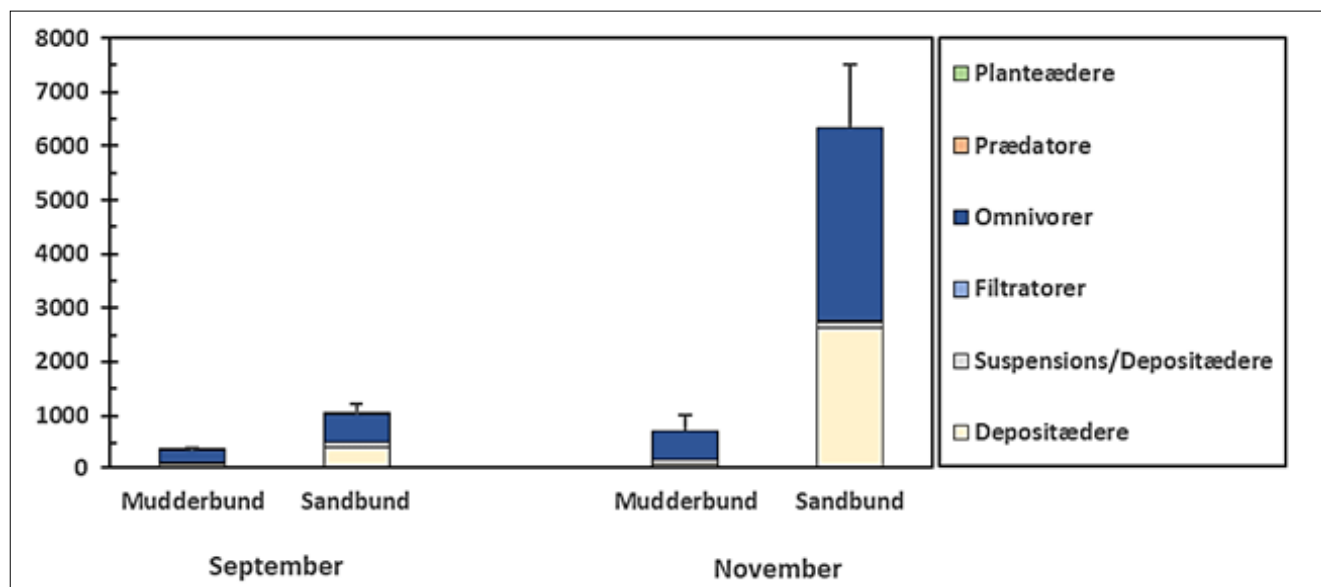
I vinteren 2018/19 blev der under stormvejr mobiliseret mudder i Dørholm Bugt, hvorved sandet blev overlejret med 1-3 cm mudder fra de nærliggende arealer. Sandprofilen ligger stadig intakt og de bundnære lysforhold er stadig bedre end på mudderbunden. Firtalsdæmningen ligger mere frit og var ikke udsat for mudderverlejring, men der aflægges i perioder drivende alger, som imidlertid skylles bort igen.

Der blev i sommeren 2019 plantet ålegræsskud på både mudderbundene og de sand-cappede områder ved Firtalsdæmningen. På mudderbunden er skuddene allerede tabt, mens skuddene overlever på sand-cappen. Grundet de suboptimale lysforhold en der en langsom tilvækst, og vi vil først til næste forsommer opnå en indikation på om retableringen er lykkedes.

Bundfauna-udviklingen på de nye sandbunde er også blevet undersøgt, og her har der været positive signaler i forhold til den



Figur 3. Viser kontinuerte lysloggerdata for 2018 fra Dørholm Bugt (Venstre) og Firtalsdæmningen (højre), hvor lyslogger placeret på det sand-cappede areal plottes overfor logger placeret på den nærliggende mudderbund. I begge grafer vises 1:1 linjen som stiplede, mens korrelationslinjen er ubrudt. På begge lokaliteter er der en klar positiv effekt af sand-cappingen, idet lysintensiteten er 20-30% højere over den nye sandbund.



Figur 4. Viser den gennemsnitlige tæthed af infauna (n=4) på mudderbund og sand-cappen, delt op i fødestrategier og fordelt efter sæson (september & november) ved Dørholm.

oprindelige mudderbund. Figur 4 viser den gennemsnitlige bundfauna-tæthed et år efter sand-cappen blev anlagt i Dørholm Bugt. Som det ses er der en fin udvikling i faunaen, hvor der blev fundet få muslinger som sammen med havbørsteorme udgjorde den primære biomasse i området. Begge områder vil blive fulgt løbende de kommende år, så vi opnår viden om successionsforløbet, og hvor meget ekstra biomasse og biodiversitet som sand-cappen kan understøtte i forhold til mudderbunden.

Afrunding

Kort opsummeret, er det vores vurdering at virkemidlet kan understøtte en positiv miljøudvikling i vandområder, som er for turbide grundet for høje næringsstofbelastninger og for højfrekvente resuspensioner af mudderbunde. Sand-cappingen har signifikant forbedret lysforholdene inde på de nye

sandbunde, som også har givet meget bedre forankringskapacitet for ålegræsset. Overlejringen af sandlaget med mudder i Dørholm Bugt ville formentlig være undgået, hvis hele bugten (100 ha) var blevet behandlet i stedet for blot 1 ha. Dette ville også have understøttet yderligere forbedrede bundnære lysforhold. Ålegræsset klarer sig også bedre på den nye sandbund. Det vokser langsomt grundet de suboptimale lysforhold, men på mudderbunden er planter for længst trukket ud af sedimenterne. Endelig er bundfauna-udviklingen på sandbunden flot i gang. Projektet er finansieret af Miljøministeriet og afsluttes med udgangen af året. Det er vores intention at fortsætte monitoreringen de kommende år, så alle resultater kommer i hus.

Referencer

1. Valdemarsen, T., Canal-Vergés, P., Kristensen, E., Holmer, M., Kristiansen, M.D. & Flindt, M.R. 2010.

Vulnerability of *Zostera marina* seedlings to physical stress. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 418: 119-130.

2. Flindt, M.R., Rasmussen, E.K., Valdemarsen, T., Erichsen, A., Kaas, H. & P. Canal-Vergés. 2016. Using a GIS-tool to evaluate potential eelgrass reestablishment in estuaries. *Ecological Modelling*, Vol 338: 122-134.
3. Kuusemäe, K., Rasmussen, E.K., Vergés P.C. & M.R. Flindt. 2016. Modelling stressors on the eelgrass recovery process in two Danish estuaries. *Ecological Modelling*, Vol. 333: 11-42.

MOGENS R. FLINDT, lektor PhD, projektleder, Biologisk Institut, SDU. TROELS LANGE og NELE WENDLÄNDER er PhD-studerende på Biologisk Institut, SDU - har arbejdet på projektet. RUNE STEINFURTH og BENJAMIN NIELSEN biologer, som lavede speciale på projektet. ERIK KRISTENSEN, Professor, Dr., Biologisk Institut, SDU. NICOLAJ AASKOVEN, Biolog, Miljøstyrelsen – lavede speciale om sand-capping.