



STENREV SOM MULIGT VIRKEMIDDEL

– MED FOKUS PÅ LIMFJORDEN

Limfjordsrådet

INDHOLD

Stenrevs potentielle effekt på kvælstof- og fosfordynamik.....7

Forundersøgelser forud for anlæggelse af stenrev.....9

Model af økosystemet.....11

Lys.....13

Ilt.....16

Næringsstoffer.....17

Biodiversitet.....19

Naturgenopretning og biologisk balance.....26

Limfjorden.....27

Naturgenopretning i Limfjorden32

”DET ER LIMFJORDS-
RÅDETS FORMÅL AT
UNDERSTØTTE FORBED-
RINGER AF LIMFJORDENS
MILJØTILSTAND”

KOLOFON

Titel: Stenrev som muligt virkemiddel – med fokus på Limfjorden

Udgivet af: Limfjordsrådet

Udgivet: Marts 2021

Forsidefoto: Dan Kaasby



VANDMILJØET HAR DET DÅRLIGT

De fleste fjorde – og kystområder i Danmark har ikke en god miljøtilstand. De er præget af næringsrigt vand efter årtier med store næringsstofftilførsler. De mange næringsstoffer fører til en stor produktion af planktonalger og uklart vand. Derfor kan planter og makroalger (tang) kun gro på lave dybder, hvilket medvirker til, at fjordene ikke er i biologisk balance.

De fleste kystnære vandområder har haft næringsrigt og uklart vand i flere årtier. Samtidigt er der ofte dårlige iltforhold i bundvandet i sommer- og efterårsperioden på grund af en omsætning under iltforbrug af mudder (organisk stof) på bunden. Det organiske stof stammer fra de alger der sedimenterer på bunden, og særligt om somme-

ren øger iltforbruget. Algerne stammer både fra samme forår og sommer men også fra tidligere år.

Når lyset ikke kan trænge tilstrækkeligt langt ned i vandet, og ålegræs og makroalger kun kan vokse på lavt vand, udgør vegetationen ikke den stabiliserende faktor, som er vigtig for den biologiske balance.

Størstedelen af vore fjorde og kystområder er ikke i god økologisk tilstand og opfylder ikke målsætningen i vandrammedirektivet. Sådan er det også i Limfjorden.

Limfjordsrådet har undersøgt effekten af at etablere stenrev i lavvandede kystzoner i Limfjorden. Projektets konklusioner er:

1. Effekten af nye stenrev havde kun en lille effekt på iltforholdene i bundvandet og kvælstofomsætningen i fjordbunden.
2. Hvis vandet bliver ca. 40% mere klart bliver iltforholdene ved bunden bedre og fjordens interne kvælstofbelastning mindre.
3. Nye stenrev har stor positiv effekt på biodiversiteten. Biomasse på det nye rev var 11 gange højere end på den omkringliggende fjordbund.

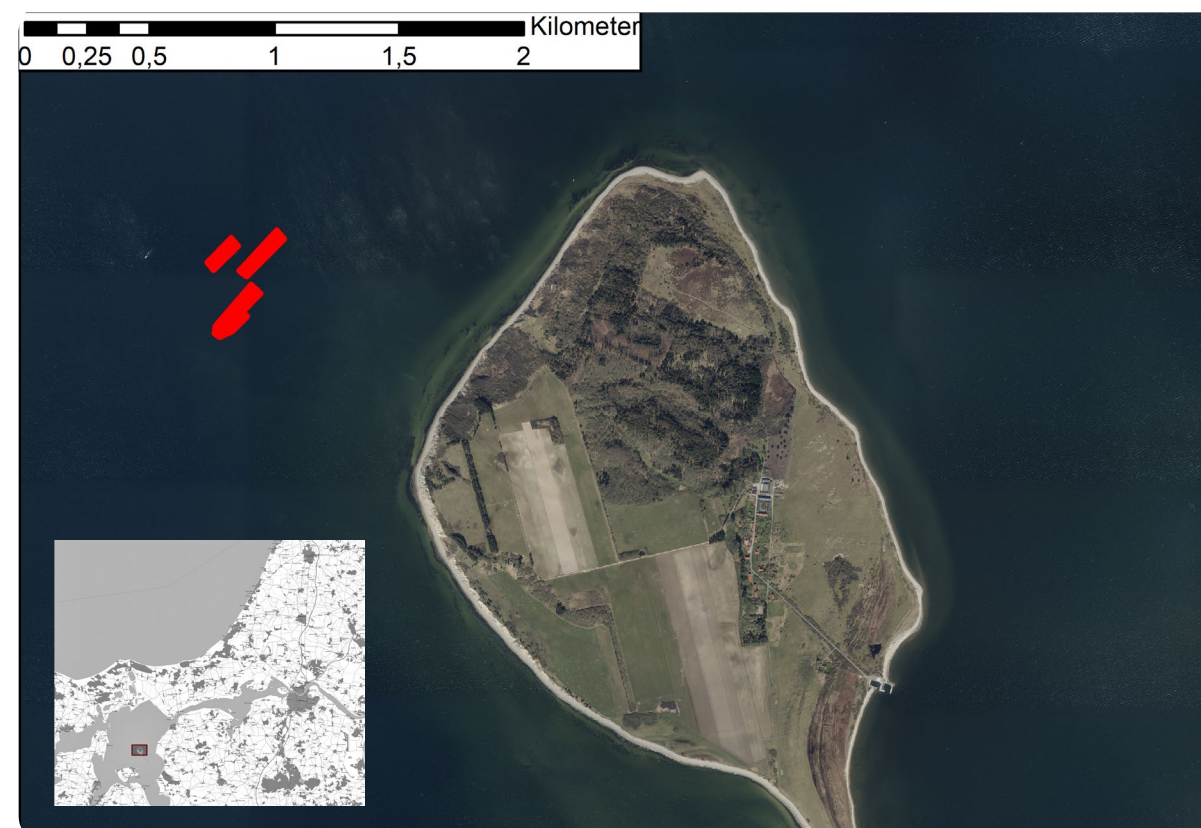
MARINE VIRKEMIDLER

Danmark er sammen med de øvrige lande i EU forpligtiget til at opnå god økologisk tilstand i alle vandområder inden 2027. De såkaldte "marine virkemidler" skal hjælpe med at opnå målsætningen.

Det er undersøgt om stenrev kan være et marint virkemiddel. Stenrev som kvælstofvirkemiddel bygger på den hypotese, at stenrev kan mindske den interne

kvælstofbelastning fra fjordbundens sediment ved, at makroalgers iltproduktion reducerer kvælstoffrigørelsen fra sedimentet til bundvandet, og dermed holder en del af kvælstoffet bundet i sedimentet.

Udplantning af ålegræs, muslingeopdræt og dyrkning af sukkertang er andre marine virkemidler.



Figur 1: Stenrevet ligger nordvest for Livø og består af 3 rev, der er fordelt ud på forskellige dybder. Der er i alt brugt 18.000 ton sten fra lokale marker samt granit fra Norge.

STENREVSPROJEKTET

Projektet har undersøgt, om stenrev har effekt på iltforholdene på fjordbunden og på omsætning af kvælstof og fosfor for, at se om stenrev eventuelt kan bruges som kvælstof- og fosforvirkemiddel i tredje vandplanperiode. I projektet er der anlagt et nyt stenrev umiddelbart nord for Livø. Der er foretaget en række videnskabelige undersøgelser på et eksisterende stenrev/hårdbundslokalitet i den nærliggende Bjørnsholm Bugt. Derefter er der gennemført et modelstudie med henblik på at undersøge, hvordan en udbredt genopretning af stenrev i Løgstør Bredning vil påvirke kvælstof- og fosfordynamikken i Limfjorden.

På de genetablerede stenrev er koloniseringen af marine arter desuden undersøgt. Forud for anlæggelsen af det nye stenrev er der foretaget en række forundersøgelser for at sikre, at revet blev placeret optimalt.

Projektets undersøgelser og resultater er beskrevet i fem publikationer:

- Forundersøgelser og anlæg. Notat fra Limfjordsrådet.
- Stenrev som muligt kvælstofvirkemiddel. Rapport fra AU.
- Stonereef in The Limfjord. Model study. Rapport fra DHI
- Indvandring og biodiversitet på det nye stenrev ved Livø. Rapport fra AU.
- Stenrev som muligt virkemiddel med fokus på Limfjorden. Samlet syntese. Publikation fra Limfjordsrådet.

Der er tale om fire rapporter, der beskriver projektets enkelt dele, samt nærværende publikation, der giver en samlet syntese af resultaterne og opsummere projektets hovedresultater. Ud over de fem afslutende publikationer er der produceret en række notater, delrapporter og formidlingsmaterialer, som kan findes på www.stenrev.dk

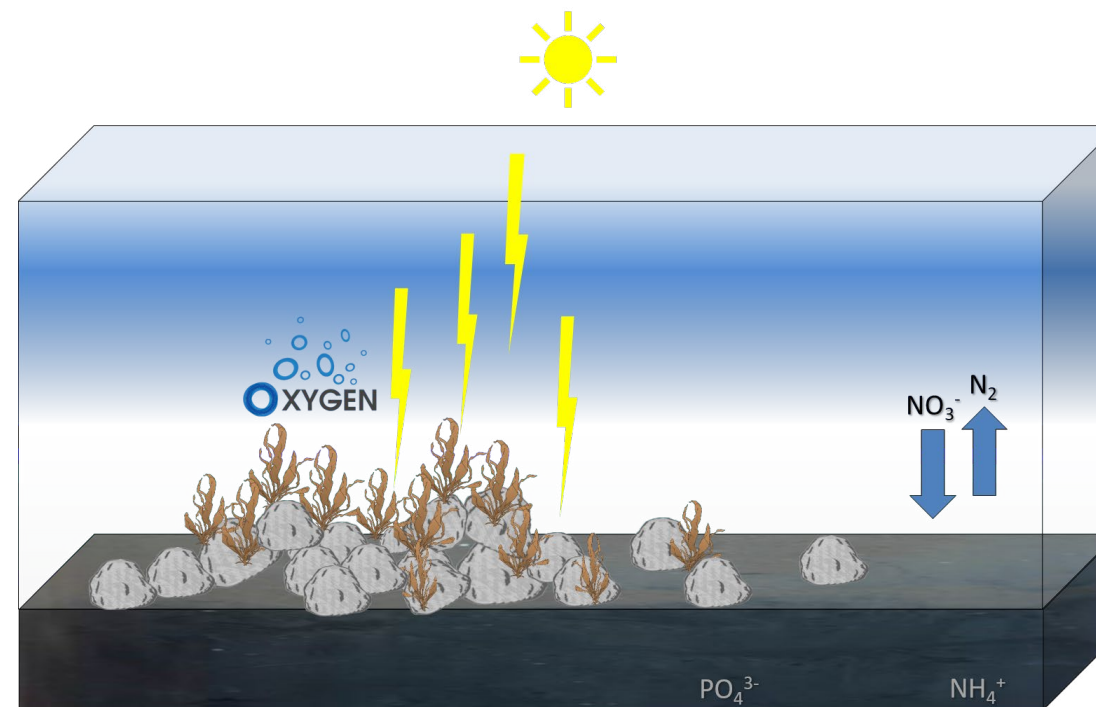
STENREVS POTENTIELLE EFFEKT PÅ KVÆLSTOF- OG FOSFORDYNAMIK

Den grundlæggende ide bag stenrevsprojektet er, at iltproduktion fra makroalger og anden vegetation vil mindske forekomsten af iltsvind i bundvandet, og dermed reducere frigivelsen af næringsstoffer fra sediment til bundvandet.

Revet skal derfor producere et overskud af ilt, der kan holde gang i omsætningen af ammonium til nitrat og videre til frit kvælstof, således at tilgængeligheden af kvælstof i fjordvandet bliver mindre. For at opnå en effekt på iltforholdene i bundvandet er det vigtigt, at revet er netto iltproducerende i de perioder, hvor der kan opstå iltsvind. Ilt-

forbruget fra de organismer, der lever på revet, må således i de kritiske perioder ikke overstige iltproduktionen fra de alger, der koloniserer revet. Samtidig er det vigtigt for funktionen, at revet placeres i et område, hvor der i perioder er dårlige iltforhold, så en evt. netto iltproduktion fra revet har en effekt.

Stenrevet må ikke anlægges i et område



Figur 2: Vegetation på udlagte sten producerer ilt som fastholder kvælstof og fosfor i fjordbunden og øger produktionen af frit kvælstof.

med hyppige forekomster af egentlige iltsvind, da disse ville slå revets vegetation og fauna ihjel, hvilket alene vil bidrage til yderligere iltforbrug i bundvandet. En ideel placering af et stenrev er altså i et område med relativt dårlige iltforhold, men uden for de områder, der rammes af kraftige iltsvind hvert år. Hvis revet forbedrer iltkoncentrationerne i bundvandet, vil stenrev også kunne reducere fosforudvekslingen mellem sediment og vandsøjle, og dermed også kunne fungere som fosforvirkemiddel. Det skyldes, at fjordsedimenter ofte indeholder store puljer af jernbundet fosfor, der frigives, når de øverste sedimentlag bliver iltfrie.

FORUNDERSØGELSER FORUD FOR ANLÆG- GELSE AF STENREV

Før stenrevet nord for Livø blev anlagt, er der foretaget en række forundersøgelser for at sikre, at revet blev anlagt:

- på en havbund der er tilstrækkelig fast til at kunne bære stenene
- i erosionsområder – altså områder hvor mudder og sand ikke naturligt sedimenterer, så revet sander til over åerne
- i en dybde der potentielt tillader stor produktion af makroalger på stenene, som kan danne basis for iltproduktion og en stor biologisk diversitet på og omkring revet

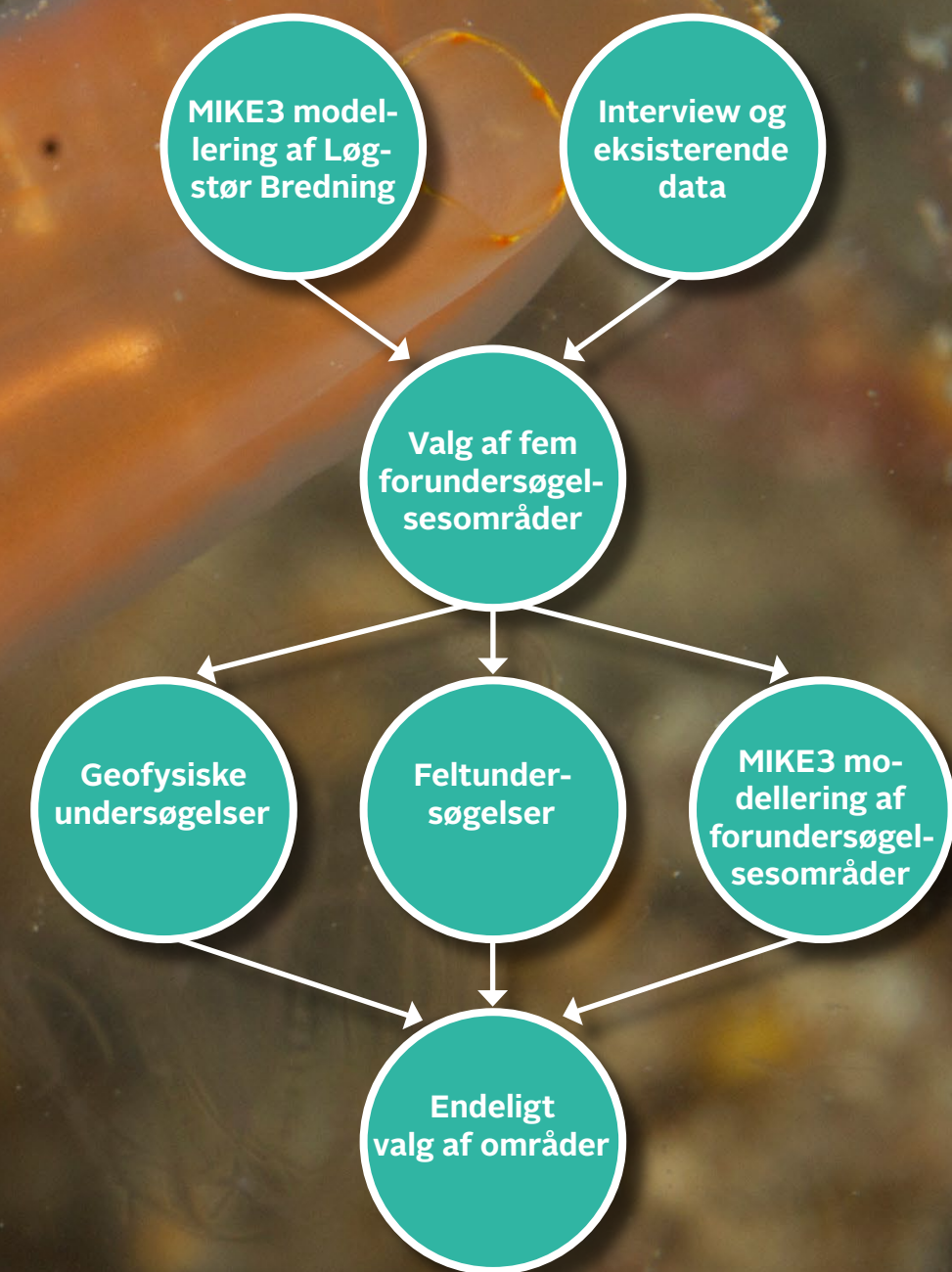
Forundersøgelserne er foretaget dels ved feltundersøgelser og dels gennem modellering.

Forløbet af forundersøgelserne er vist i figur 3.

Første skridt var at screene Løgstør Bredning for steder, hvor et stenrev potentielt kunne placeres.

Dette blev gjort ud fra modelstudier af Løgstør Bredning, eksisterende feltdata og interviews med lokale muslingefiskere. Der blev udvalgt fem potentielle stenrevsområder, og i disse blev der lavet geofysiske og biologiske feltstudier, samt en detaljeret modellering af hver lokalitet. Ud fra disse detaljerede studier blev der udvalgt et område nord for Livø, hvor stenrevet skulle anlægges.

Som en del af forundersøgelserne blev det også undersøgt, hvor der i tilknytning til hvert forundersøgelsesområde kunne findes et område med eksisterende stenrev/hårdbund, hvor projektets feltundersøgelser af ilt- og næringsstofomsætning kunne finde sted. Valget faldt på Bjørnsholm Bugt, som ikke ligger så langt fra Livø.



Figur 3: Oversigt over forundersøgelserne

Foto: Limfjordsrådets sekretariat

have på frigivelse af næringsstoffer fra sedimentet og en række andre processer.

Projektet kan dermed give en begyndende forståelse og mulighed for at kvantificere effekterne af komplekse interaktioner og dynamikker, som ikke kan opnås gennem eksperimenter alene. Dynamiske modeller anvendes i stigende grad til at kvantificere ændringer i det marine økosystem, netop fordi modeller kan beskrive komplekse processer og kvantificere effekter gennem fødekæden på relevante skalaer.

De anvendte hydrodynamiske modeller beskriver det fysiske system; vandstand, strømhastigheder, saltholdighed og temperatur og de er koblet til økosystemmodeller, der beskriver de styrende pelagiske og bentiske parametre samt processer som vækst af plankton, iltproduktion og -forbrug, primærproduktion osv. Modellerne er tredimensionelle og opdeler vandsøjlen i et passende antal lag og felter, der gør det

MODEL AF ØKOSYSTEMET

Projektet er det første forsøg på at forudsige ilt- og næringsstoffdynamik i og omkring et stenrev. Forudsigelserne bygger på en kombination af målinger i fjorden, laboratorieeksperimenter og modellering af fjordens økosystem. Mekanistisk modellering er anvendt til at opskalere resultater fra laboratorieeksperimenter og feltforsøg til større rumlige og tidslige skalaer. Gennem modellerne kan man opnå indsigt i, hvilke effekter en genetablering af arealer med stenrev i Løgstør Bredning, vil

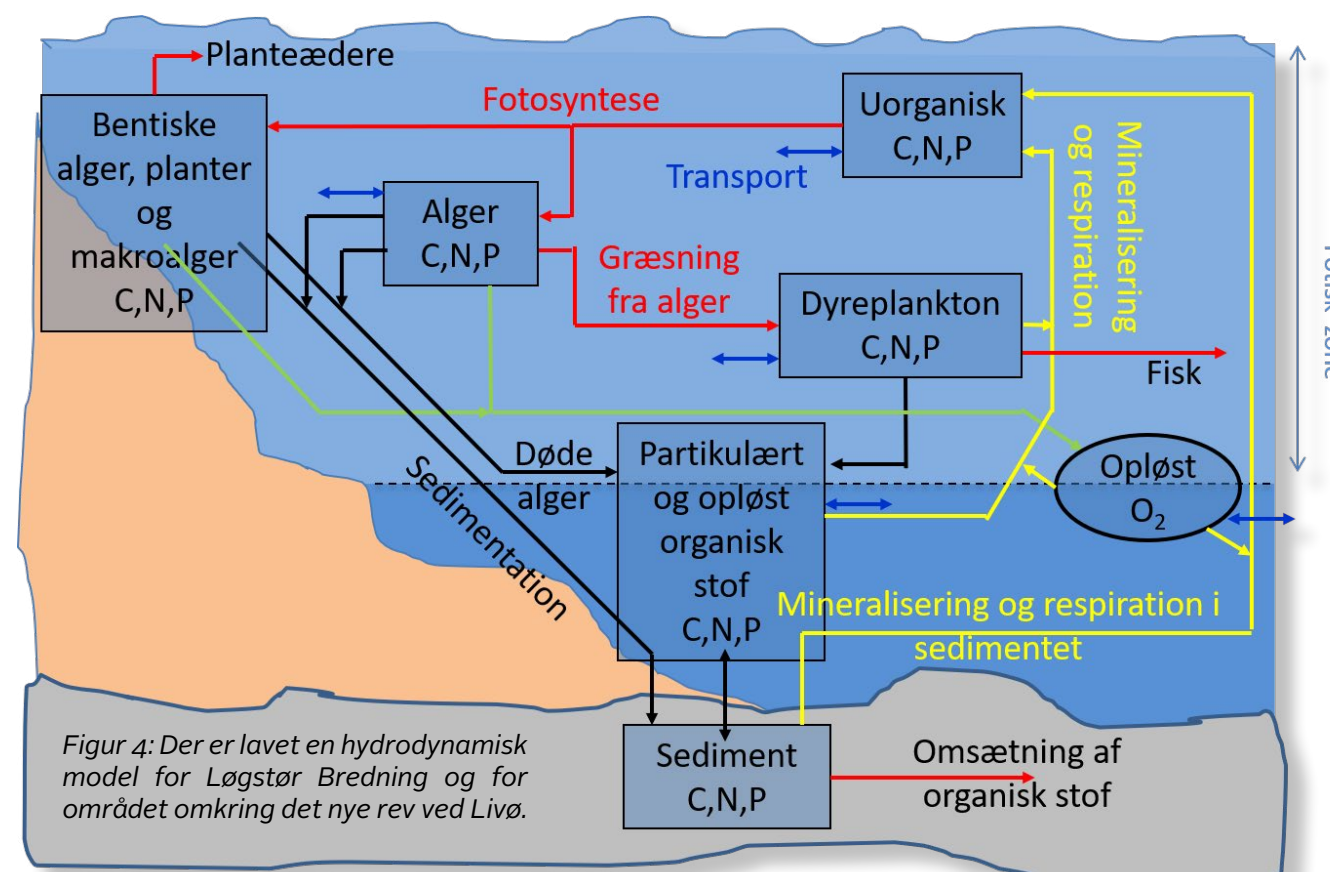
muligt at beregne strømningsmønstre og tidslige variationer i opbygning og nedbrydning af vandsøjlen lagdeling.

Arbejdet har taget udgangspunkt i den modeludvikling, som er foregået i et sideløbende projekt omkring videreudvikling af mekanistiske modeller frem mod vandområdeplanerne 2021-2027.

I stenrevsprojektet er Limfjordsmodellen blevet genkalibreret, så den kan beskrive fysiske og biologiske processer på stenrev. Kalibreringen er baseret på feltnmålinger af ilt- og næringsstofudveksling mellem bundvand og sediment på et eksisterende stenrev/hårdbunds-

område i Bjørnsholm Bugt og på de nye rev ved Livø. Resultatet er en model der kan beskrive processer, der er specifikke for stenrev (fx. lokal iltproduktion af makroalger) samt evt. afsmittende effekter såsom øget ilttilførsel i områder udenfor stenrevsområderne.

Projektets resultater og konklusioner bygger, dels på den nyopsatte stenrevs model, og dels på feltnmålingerne. Modellen er brugt til, at beskrive hvad der sker med lys, ilt, og næringsstoffdynamik, hvis der genetableres store område med stenrev i Løgstør bredning.



Den grundlæggende forudsætning for at genetablere makroalge – og ålegræsvegetationen - er at få mere lys ned på bunden af fjorden!

LYS

Den potentielle effekt af stenrev afhænger af revets evne til at tilføre bundvandet ilt via iltproduktion fra makroalger på revet. Den grundlæggende forudsætning for at genetablere makroalge – og ålegræsvegetationen er at få mere lys ned på bunden af fjorden.

Set over året er der stor variation i lysindstrålingen og i lyssvækkelsen i vand-søjlen. Der er mest lys til rådighed for makroalgerne i foråret, mens vandet i sensommeren typisk er så uklart, at makroalgerne hæmmes af mangel på lys. Makroalgernes vækst vil derfor typisk starte i den sene vinter, og mange makroalger har deres højeste vækstrater i foråret.

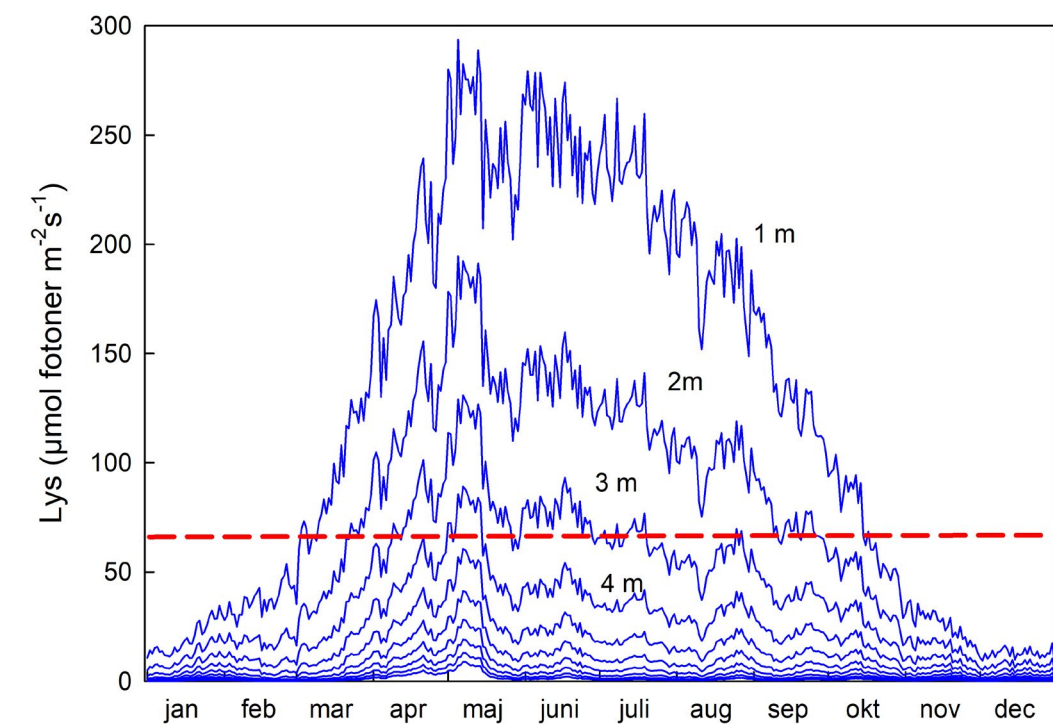
Det er først og fremmest en stor pulje af organisk stof, der forårsager en stor lyssvækkelse. Det organiske stof findes både som en pulje i den øverste del af

sedimentet og som opløst og partikulært stof i vandet, og består primært af rester af nedbrudte mikroalger. Lyssvækkelsen er særlig stor i åbne og vindeksponerede vandområder, fordi der er stor ophvirvling af bundmateriale, når vinden blæser. Men generelt stiger lyssvækkelsen i forårs månederne i forbindelse med forårsopblomstringen af fytoplankton.

I den periode, hvor makroalgerne har deres største vækst (april og maj), er vandet relativt klart, men i takt med algeopblomstringer hen over sommeren stiger lyssvækkelsen. Dette sæsonmønster betyder, at makroalger har et vindue i foråret, hvor de kan vokse relativt dybt, men også, at de dybest voksende bestande vil stoppe deres vækst og gå fra at være netto iltproducenter til at være netto iltforbrugende i løbet af sommeren.

For at få makroalger til at vokse på dybere vand, er det derfor vigtigt at få reduceret det høje niveau af organisk stof, som bidrager betydeligt til lys-

svækkelsen og som stammer fra planteplankton, som gennem mange års eutrofiering er ophobet i sedimentet.



Figur 5: Lysforhold for hver meter i Løgstør Bredning. Kurven i én meter's dybde følger overfladeindstrålingen, og med dybden ser man en tydelig lyssvækkelse. På figuren er indsat en rød linje der viser, at der kun er lys nok til at makroalgensamfund har en positiv balance mellem respiration og fotosyntese ud til ca. tre meters dybde indtil midten af juli (Lyskompensationspunkt).

ILT

Lys til større dybder vil medføre, at makroalger og ålegræs bidrager til iltproduktionen i betydeligt omfang og derigennem modvirker lave iltkoncentrationer og iltsvind i bundvandet.

Uden lys på dybere vand er iltproduktionen domineret af pelagiske processer. Undersøgelser viser, at den samlede iltbalance for hele vandvolumenet er positiv på grund af fytoplanktonets iltproduktion i de øvre vandlag, men at der er en negativ iltbalance omkring bunden.

Itforbruget her skyldes dels en stor omsætning af organisk stof i fjordbunden, men også at hårde substrater under næringsrige forhold bliver begroet med dyr, som kun forbruger ilt, mens makroalger kun i begrænset omfang etablerer sig på stenene.

Dyregruppernes respiration er stærkt korreleret med temperaturen. Således medfører høje sommertemperaturer et forøget iltforbrug nær bunden.

Undersøgelserne viser, at makroalgernes fotosyntese hæmmes desto lavere iltkoncentrationerne er, og at effekten forstærkes ved højere temperaturer.

Resultaterne viser dog også, at algerne har en stor evne til at restituere efter kortvarige iltfrie forhold, således at iltfrie forhold i en periode på omkring 24-72 timer kun har en forbigående negativ effekt på allerede etablerede bestande af makroalger.

NÆRINGS-STOFFER

Iltsvind i bundvandet frigiver typisk store mængder ammoniumkvælstof og orthofosfat fra sedimentet til bundvandet.

Rent kemisk er mekanismen, at de øverste få mm af sedimentet er iltet, når der er ilt tilstede i bundvandet, mens de underliggende sedimentlag er iltfrie. I overgangszonen mellem iltet og iltfrit sediment omsættes ammonium til nitrat, der efterfølgende kan omsættes til frit kvælstof i den iltfrie del af sedimentet. I en situation med iltsvind kan ammonium ikke længere omsættes til nitrat, og ammonium vil i stedet strømme ud af sedimentet og op i bundvandet.

For fosfor er mekanismen, at jern i sedimentet binder og fastholder fosfor, når sedimentet er iltet, men ved iltsvind ændrer jernet kemisk form og fosfor frigives. Et iltet øverste sedimentlag fungerer således som en barriere, der begrænser transporten af både kvælstof og fosfor fra sedimentet til vand-søjlen.

Ideen bag stenrev som kvælstof og fosfor virkemiddel er, at iltproduktion fra makroalger på revet medvirker til at ilte bundvandet, og dermed tilbageholder kvælstof og fosfor i sedimentet. Selvom der i projektet er regnet på en storstilet reetablering af stenrev i Løgstør bredning, viste resultaterne, at iltproduktionen fra revene under de nuværende lysforhold er så begrænset, at stenrev stort set ikke påvirker næringsstofkredsløbet i bredningen. Stenrev er derfor ikke et godt kvælstof- eller fosforvirkemiddel.

Forbedrede lysforhold øger benthiske mikro- og makroalgers iltproduktion, og iltsvind vil således forekomme på mindre arealer og i kortere perioder. Dermed mindskes frigivelsen af kvælstof og fosfor fra sedimentet.

En markant forbedring af lysforholdene forudsætter en reduktion i næringsstoffertilførslerne såvel fra land som sedimentet og en mindre ophvirvling af organisk stof.

Hastigheden hvormed systemet svinger tilbage til en forbedret tilstand afhænger af, hvor hurtigt sedimentpuljen af organisk stof og næringsstoffer aftager efter en reduktion af tilførslerne af næringsstoffer.

BIODIVERSITET

Eutrofiering af de danske fjorde medfører, at den biologiske balance er ustabil, og at fordelingen af arter indenfor og mellem de forskellige trin i fødekæden ændres.

Bestande af flere større fiskearter er stort set væk i mange fjordsystemer, mens bestandene af søstjerner og strandkrabber er blevet meget store. Dominans af enkeltarter som strandkrabber og søstjerner påvirker bio-



Foto: Fjordbunden ved Livø inden der blev etableret stenrev.

diversiteten generelt og ikke mindst bestanden af muslinger og østers i Limfjorden, hvilket igen har negativ betydning for miljøtilstanden.

Tidligere var der udbredte ålegræsbevoksninger og makroalger på dybere vand. Vegetationen medvirkede til, at fjorden var robust blandt andet på grund af binding af næringsstoffer i planterne gennem vækstsæsonen. Det betød, at næringsstofferne ikke var tilgængelige for vækst af planktonalger.

Samtidigt var ålegræs- og makroalgebede opvækstområde og levested for mange af fjordens faunagrupper, herunder mange fiskearter. Desuden stabiliserer ålegræs den bløde bund og mindsker dermed ophvirvling af sediment. Tilbagegangen i ålegræssets og makroalgernes udbredelse har derfor haft store negative konsekvenser for fjordens samlede økosystem.

STENREV OG BIODIVERSITET

Stenrev har en positiv effekt på den marine biodiversitet. Stenrev bidrager nemlig med hårdt substrat og ofte også med huler, der giver nye skjule- og levesteder for faunaen på fjordbunden. I mange år blev sten opfisket til brug for bygning af havne, moler og andre anlæg på land. Når man genopretter stenrev er der altså tale om en genopretning af habitater, der tidligere var mere udbredte, end det er tilfældet i dag. Stenrevsprojektet undersøgte derfor også, hvordan genetablering af stenrev kan forbedre biodiversiteten i et fjordområde.

Der blev i alt fundet 64 forskellige faunaarter/taxa på det nye stenrev og 135 arter/taxa på den omgivne fjordbund.

Der var altså færre arter på stenrevet end på den omgivne fjordbund: Dette er ikke uventet da det nye rev kun var tre år gammelt da undersøgelserne blev gennemført. Til gengæld var biomassen langt højere på revene. De nye revstrukturer rummede ca. 11 gange højere biomasser end på den omkringliggende havbund. Individttætheden af bundfauna var også betydelig højere på stenrevene.



Foto: Hummer på vej ud af sin hule.

På stenrevene var trekantsorm (*Spirobranchus triqueter*) meget dominerende, men der var dog også betydelige forekomster af søpunge, søpindsvin og krebsdyr, ligesom der blev observeret en usædvanligt stor tæthed af hummere (*Homarus gammarus*) på revet.

På den omkringliggende havbund var sammensætningen af bundfauna anderledes. Biomassen var domineret af muslinger, men der var også betydelige forekomster af børsteorm, søstjerner og søpindsvin. Også her var trekantsorm (*S. triqueter*) dominerende på sten og flader med hårdt substrat, men på grund af den blandede bund dominerede den ikke den samlede biomasse.

Havsvampe, er i perioder udbredte på stenrevet og har en potentiel vigtig, men hidtil overset rolle i omsætningen af næringsstoffer på stenrevet. Ligeledes har bentiske mikroalger stor betydning for ammoniumfrigivelsen og kvælstoffjernelsen fra fjordbunden både på stenrevet og på den bare bund.



Foto: Dækningsgraden af kalkrørsorm var op til 75 - 100 %.

På stenrevet blev der fundet 12 arter af makroalger på dybder ud til ca. 4 meter, mens der på den omgivende havbund ikke blev fundet makroalger.

Algesamfundet på det nye rev var domineret af mindre opportunistiske trådformede alger som tynd vatalge (*Ectocarpus siliculosus*), klotang (*Ceramium*) og violet ledtang (*Polysiphonia fibrillosa*). Der blev dog også fundet enkelte flerårige arter, hvis antal forventes at stige med tiden. Makroalgernes biomasse på revet udgjorde mellem 3% og 7% af den samlede biomasse.

Stenrevets hårde substrat og lavere vanddybde i forhold til den omgivende bund har således givet makroalger mulighed for at vokse i et område, hvor makroalger ellers ikke trives.

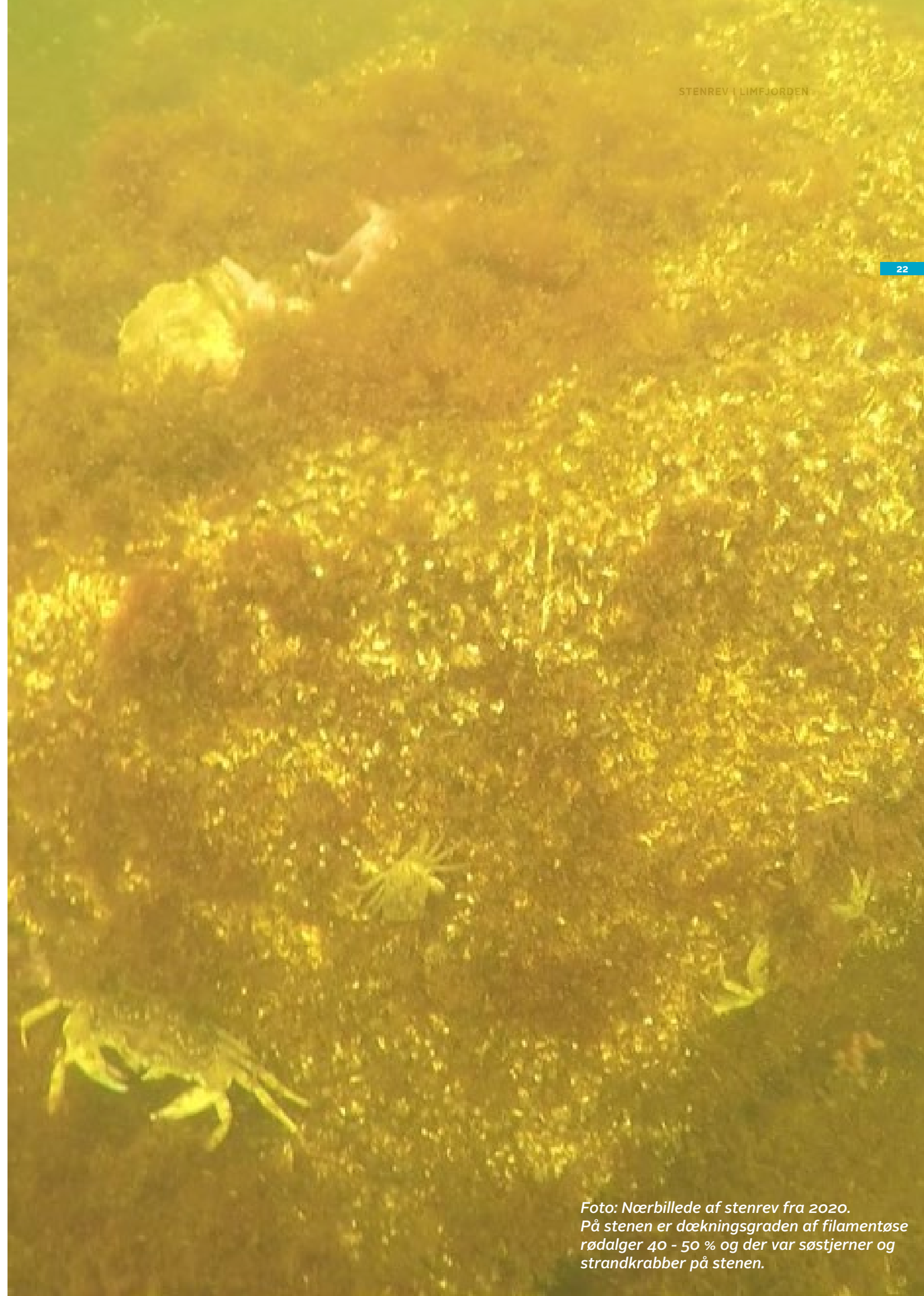


Foto: Nærbillede af stenrev fra 2020. På stenen er dækningsgraden af filamentøse rødalger 40 - 50 % og der var søstjerner og strandkrabber på stenen.

Græsning af søpindsvin kan ændre en produktiv og artsrig tangskov til et stenrev stort set uden vegetation og med stærkt reduceret biodiversitet.

Biodiversitetskortlægningen viste, at der er meget store mængder af søpindsvinet tangborre (*Psammechinus miliaris*) tilstede både i antal og med en stor biomasse. Tangborren kan leve af både alger og mindre bunddyr og græsningsforsøg har vist, at tangborre kan bidrage markant til tab af makroalger i Limfjorden.

Med en gennemsnitlig indvidtæthed på 135/m² på de nye stenstrukturer, må et omfattende græsningstryk være forventeligt. En kraftig stigning i antallet af søpindsvin i Limfjorden kan være en årsag til vegetationens markante tilbagegang for snart 20 år siden oven i den effekt, der er forårsaget af de eutrofieringsbetingede ringe lysforhold. Sammenhængen er dog ikke dokumenteret.

NATURGENOPRETNING OG BIOLOGISK BALANCE

- PERSPEKTIVER I GENETABLERING AF STENREV

For at nå Vandrammedirektivets mål om god økologisk tilstand skal de grundlæggende forudsætninger være til stede – at vandet ikke er for næringsrigt, og at der er tilstrækkeligt lys. Samtidigt er det dog vigtigt, at de fysiske strukturer giver mulighed for at blandt andet vegetationen kan etablere sig i tilstrækkeligt omfang.

Marine virkemidler skal bidrage til at sikre opfyldelse af vandrammedirektivet og har primært haft sigte på at reducere effekterne af eutrofiering gennem et fokus på fjernelse eller immobilisering af næringsstoffer. Dette projekt har vist, at stenrev ikke er et effektivt virkemiddel til fjernelse af næringsstoffer i lavvandede næringsrige fjorde.

Etablering af stenrev har derimod andre positive effekter på det kystnære havmiljø. For stenrev er der således en naturgenopretningseffekt (tabte rev

som følge af stenfiskeri), der resulterer i øget biomasse, større lokal biodiversitet og en kystsikringseffekt.

Med den stærkt reducerede naturtilstand i mange kystområder og den næsten totale mangel på større fisk, vil der være behov for aktiv marin naturpleje parallelt med, at virkemidler til reduktion/immobilisering af næringsstoffer tages i brug, hvis reelle effekter skal nås indenfor en kortere årrække.

En af de grundlæggende forudsætninger for at sikre opfyldelse af vandrammedirektivet, er at skabe balance under vandoverfladen med genetablering stenrev.



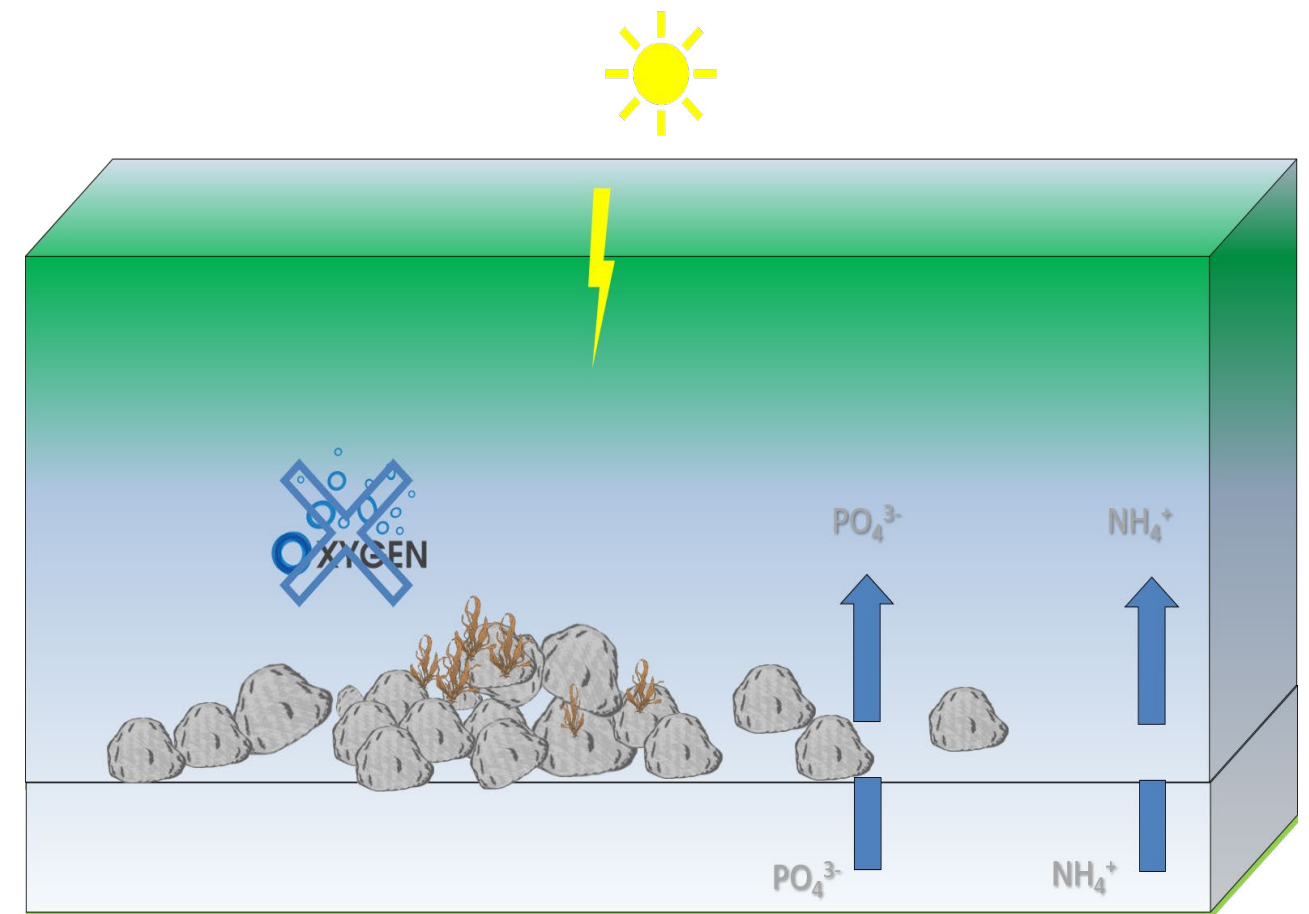
LIMFJORDEN

Limfjordens miljø- og naturtilstand lever ikke op til EU's mål. Fjorden er i mange delområder i perioder af året udsat for markant iltsvind, og det samlede økosystem er i stærk ubalance. Limfjordens grundlæggende problem er den fortsatte tilførsel af næringsstoffer fra oplandet, som medfører en massiv ophobning af organisk stof og næringsstoffer i Limfjordens bundsediment.

Lysforholdene i den centrale del af Limfjorden er dårlige, og makroalger og ålegræs kan kun vokse ud til ca. 3 meters dybde. Særligt i sensommeren er makroalgernes vækst og deraf følgende iltproduktion ringe. Samtidig er der observeret store mængder sø-

pindsvin, der sandsynligvis medfører en meget betydelig nedgræsning af makroalger. Under de nuværende forhold kan makroalger således ikke etablere levedygtige bestande på stenrev på dybder på fire og fem meter og dermed modvirke de lave iltkoncentrationer, der ofte forekommer i sensommeren. Lysforholdene skal forbedres markant for, at makroalger kan vokse ud på dybder, hvor iltproduktionen herfra for alvor bidrager til en bedre miljøtilstand i Limfjorden.

På de fleste tider af året er det primært kvælstof, der er begrænsende for algerne vækst, idet det hovedsageligt er kvælstofkoncentrationen, der regulerer



Figur 6: Lysforholdene i Limfjorden er så dårlige at lyset ikke kan trænge ned til de udlagte sten på 4 – 5 meter vand. Dermed bliver der ikke produceret ilt på stenrevet og stenrevet har ikke en effekt på frigivelse af fosfor og kvælstof fra sediment til vand.

mængden af alger og dermed de dårlige lysforhold og tilførslen af organisk stof til bunden. For at reducere algemængden og få klart vand er det derfor kvælstoftilførslerne, der skal begrænses.

Fosfor er ikke tilsvarende begrænsende for algevæksten i Limfjorden undtagen i en kort periode om foråret, idet omsætningen af organisk stof i bunden med tilhørende iltforbrug, medfører en massiv frigivelse af fosfor fra først på sommeren og resten af vækstsæsonen. Fosfor er derfor i overskud i vandfasen i

størstedelen af året. I visse lukkede dele af fjorden (især i den centrale del af Limfjorden) kan fosfor dog have en større regulerende rolle.

En forudsætning for at få betydeligt mere klart vand er, at der sker en markant reduktion af de eksterne næringsstoftilførsler. Det vil i først omgang reducere mængden af fytoplankton og dermed den lyssvækkelse, som skyldes pigmenter. Pigmenter står for ca. 20 % af den samlede lyssvækkelse, og selv en betydelig reduktion i fytoplanktonbiomassen vil således kun have en relativ beskeden effekt på vandets klarhed.

Projektets undersøgelser viser, at der kræves en reduktion i lyssvækkelsen på mere end 40 %, før makroalger kan forventes at bidrage positivt til iltproduktionen på dybder over fem meter i Løgstør Bredning. En markant forbedring af den samlede lyssvækkelse vil forventeligt tage mange år, da det forudsætter en reduktion i koncentrationen af organisk stof, som er den væsentligste årsag til den nuværende høje lyssvækkelse.

Stenrev som kvælstofvirkemiddel

Undersøgelserne viste, at makroalgernes iltproduktionen under de gældende forhold i Limfjorden er uden betydning for iltforholdene i bundvandet. Undersøgelserne viser, at stenrev ikke øger kvælstoffjernelsen eller mindsker fosforfrigivelsen i de undersøgte områder, og stenrev er derfor ikke velegnet som kvælstof- eller fosforvirkemiddel i lavvandede næringsrige fjorde som Limfjorden.

Den centrale del af Limfjorden (Løgstør, Thisted, Risgårde og Lovns Bredninger samt Skive og Hjarbæk Fjord) er den mest belastede del af fjorden med den dårligste miljøtilstand.

Herfra spreder det næringsrige vand sig til de andre dele af fjorden og medvirker til at forringe vandkvaliteten her. Generelt er der stor forskel på tilstanden og belastningen i de forskellige dele af fjorden, og effekten af reduceret næringsstoftilførsel varierer i forskellige dele af fjorden. Indsatsbehovet i de forskellige oplande er derfor forskelligt.

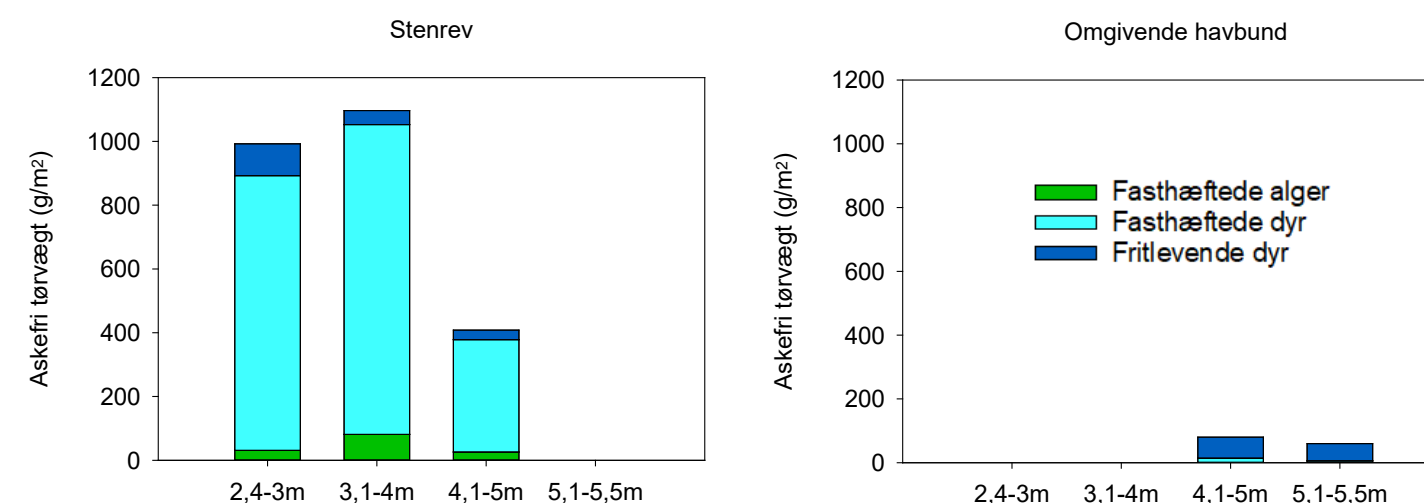
Når belastningen reduceres, og tilstanden i fjorden gradvist forbedres, vil Limfjorden komme ind i en god cirkel, hvor fjorden selv vil bidrage til, at vandmiljøet bliver bedre.

FORBEDRET BIODIVERSITET

Etablering af stenrevet ved Livø har bidraget til at øge diversiteten af bundfauna og makroalger i revområdet som helhed.

Der er kommet flere nye levesteder for organismer, der lever på hårdt substrat, og de blandede bundforhold omkring revet giver mulighed for både hårdbundsfauna og infauna, der lever nedgravet i blødere sedimenter.

Disse blandede forhold gør, at biodiversiteten i området nord for Livø generelt er forbedret. Samtidig var biomassen pr. kvadratmeter bundareal 11 gange større på revet end på den omkringliggende havbund.



Figur 7: Gennemsnitlige biomasser fordelt på de nye revstrukturer (tv) og den omgivne havbund (th). Stenrevet blev placeret på dybder fra ca. 4 – 5,5 meter og stenrevet har en højde på op til 3 meter. Prøver på den omgivende mudderbund er derfor taget på dybder mellem 4 og 5,5 meter medens prøver fra stenrevet er taget i dybder fra ca. 2,4 (toppen af stenrevet) til 5 meters dybde (bunden af stenrevet).

På stenrevet sås også en indvandring af blandt andet krabber (*Carcinus maenas* og *Liocarcinus depurator*) og hummer (*H. gammarus*), der lever af revets øvrige bundfauna.

Efter to år, var dækningen med makroalger sparsom, og de arter, der blev fundet, var primært etårige arter som levede øverst på revene. Det kan skyldes, at de flerårige arter kræver mere tid til at etablere sig, men de ringe lysforhold i Limfjorden er også en væsentlig årsag til især de flerårige makroalgers begrænsede kolonisering af de dybere dele af revet. Ud over den relative korte koloniseringstid og de relativt dårlige lysforhold i Limfjorden kan den begrænsede forekomst af makroalger muligvis også skyldes græsning fra søpindsvinet tangborrer (*P. miliaris*), der forekommer i stort tal på de nye revstrukturer.

Det er velkendt, at udviklingen i et nyt anlagt stenrevs samfundsstruktur fortsætter i en længere årrække efter anlæggelsen af revet. Derfor vil den endelige biologiske effekt først vise sig på længere sigt.

Andelen af fasthæftede makroalger udgør mellem 3 og 7% af de samlede biomasser på de nye stenstrukturer øverste dele men 0 % på den omgivende mudderbund på tilsvarende dybder.

EFTERSKRIFT

Denne publikation er udgivet af Limfjordsrådet på baggrund af et femårigt forsknings- og udviklingsprojekt i Løgstør Bredning, Limfjorden "Undersøgelse af stenrevs potentielle 'kvælstofeffekt' samt bidrag til genetablering af stenrev i Natura 2000-området Løgstør Bredning, Vejlerne og Bulbjerg".

Projektet er gennemført i samarbejde med og finansieret af Miljøministeriet og i øvrigt gennemført med deltagelse af Århus Universitet, DHI, DTU Aqua, NIVA Danmark og GEUS.

NATURGENOPRETNING I LIMFJORDEN

Eutrofieringen af Limfjorden medfører ustabile tilstande, og har ændret den naturlige biologiske balance i fjorden. For at opnå en mere umiddelbar effekt af reduktionen i næringsstofftilførslerne er der behov for et større fokus på naturgenopretning og aktiv naturpleje i de kommende år. Naturgenopretningen i fjorden kan ske i form af:

- Etablering af større og mindre rev med potentiale for udvikling af tangskov
- En naturpleje og tilhørende forvaltning knyttet til at genoprette tangskovenes evne til at vokse, hvor de fysiologiske forhold er tilstede.
- Retablering af ålegræsbede
- Stabilisering af fjordbunden
- Etablering af muslinge-, østers og hjertemuslingebanker
- Genetablering af strandengene i de i dag inddigede områder
- Etablering af tidligere tiders holme og øer.

Limfjordsrådet er et politisk og administrativt samarbejde mellem de 18 kommuner i Limfjordens opland som samarbejder omkring visionen: "En ren og bæredygtig Limfjord".



Miljømærket for
ansvarligt skovbrug

KONTAKT

Limfjordsrådets Sekretariat
Aalborg Kommune
Miljø- og Energiforvaltningen
Stigsborg Brygge 5
9400 Nørresundby

Tlf.: 9931 2000
Web: www.limfjordsraadet.dk
Mail: limfjordsraadet@aalborg.dk