

## **Tilvejebringelse af et fagligt grundlag for genetablering af spredte stenrev i de centrale dele af Limfjorden**

Udarbejdet af:

Aarhus Universitet, DHI, Dansk Skaldyrcenter, DTU Aqua, GEUS,  
Limfjordsrådet, Orbicon og Videnscentret for Landbrug

**18. november 2013**

## Kolofon:

- Title: Tilvejebringelse af et fagligt grundlag for genetablering af spredte stenrev i de centrale dele af Limfjorden
- Udarbejdet af: Torben Bramming Jørgensen, Limfjordsrådet  
Jesper H. Andersen, Karsten Dahl, Henrik Fossing, Jens Würgler Hansen, Stiig Markager og Peter Stæhr, Institut for Bioscience, Aarhus Universitet  
Flemming Møhlenberg, DHI  
Josianne Støttrup, DTU Aqua  
Per Andersen, Per Dolmer, Jan Nicolaisen & Lars Nejrup, Orbicon  
Troels P. Andersen & Irene A. Wiborg, Videncenter for Landbrug (VfL)  
Jens Kjerulf Petersen, Dansk Skaldyrcenter (DSC)  
Jørn Bo Jensen, De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)
- Sammenfatning: Denne forsknings- og udviklingsplan er et resultat af projektet "For-projekt til pilotprojekt for etablering af stenrev i Limfjorden" og er finansieret af Naturstyrelsen. Det væsentligste indhold er en plan for videnopbygning, som vil forbedre den samlede viden om spredte stenrevs funktion i lavvandede kystområder. Planens aktiviteter vil desuden forbedre centrale parameteriseringer for en efterfølgende model-baseret vurdering af spredte stenrevs potentiale som virkemiddel i de centrale dele af Limfjorden. Planen og dens anbefalinger er udarbejdet af Limfjordsrådet i samarbejde med Aarhus Universitet, Dansk Skaldyrcenter, DHI, DTU Aqua, GEUS, Orbicon og Videncenter for Landbrug.
- Bedes citeret som: Jørgensen, T.B, J.H. Andersen (redaktion), K. Dahl, H. Fossing, J.W. Hansen, S. Markager, P. Stæhr, F. Møhlenberg, J. Støttrup, P. Andersen, J. Nicolaisen, L. Nejrup, T. Andersen, I.A. Wiborg, J.K. Petersen & J.B. Jensen (2013): Tilvejebringelse af et fagligt grundlag for genetablering af spredte stenrev i de centrale dele af Limfjorden. Limfjordsrådet. 36 sider.

## Forord

Det overordnede formål med denne forsknings- og udviklingsplan er at tilvejebringe et solidt fagligt grundlag for vurdering af, om genetablering af spredte stenrev i de centrale dele af Limfjorden vil kunne udgøre et supplerende og kost-effektivt virkemiddel.

Forsknings- & Udviklingsplanen, som er finansieret af Naturstyrelsen, er udarbejdet af Limfjordsrådet i samarbejde med Aarhus Universitet (AU), Dansk Skaldyrcenter (DSC), DHI, DTU Aqua, GEUS, Orbicon og Videncenter for Landbrug (VfL).

Udgangspunktet for arbejdet har været rapporten "Stenrev i Limfjorden: Fra naturgenopretning til supplerende virkemiddel" udarbejdet af DHI og DMU (nu Aarhus Universitet) i 2008. Denne rapport er et modelbaseret 'desk study' baseret på en række forudsætninger. Det har fra flere sider været påpeget, at rapporten ikke udgør et egentligt beslutningsgrundlag og der derfor et behov for fagligt at kvalificere bl.a. forudsætningerne og modelberegningerne.

Den præsenterede plan for videnopbygning vil dels forbedre den samlede viden om spredte stenrevs funktion i lavvandede kystområder. De foreslåede aktiviteter i planen har desuden til hensigt at etablere de nødvendige matematiske beskrivelser af iltbalancer og lyskrav for stenrev under naturlige variationer i ilt, temperatur og lysforhold. Denne grundlæggende viden er en forudsætning for efterfølgende at kunne opsætte en dynamisk model og vurdere forskellige effekter af spredte stenrevs potentiale som virkemiddel. Endelig, som et sidste led i planen, foreslås en genberegning baseret på såvel de reviderede forudsætninger og et 'state-of-the-art' økologisk modelkompleks. En sådan genberegning vil alt andet lige udgøre et fagligt solidt forankret beslutningsgrundlag.

## Indholdsfortegnelse

|                                                                                          |          |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>TILVEJEBRINGELSE AF ET FAGLIGT GRUNDLAG FOR GENETABLERING AF SPREDTE STENREV.....</b> | <b>1</b> |
| <b>I DE CENTRALE DELE AF LIMFJORDEN.....</b>                                             | <b>1</b> |
| FORORD .....                                                                             | 3        |
| INDHOLDSFORTEGNELSE.....                                                                 | 4        |
| <b>1. INDLEDNING.....</b>                                                                | <b>6</b> |
| 1.1 BAGGRUND.....                                                                        | 6        |
| 1.2 FORMÅL .....                                                                         | 7        |
| <b>2. FORSKNINGS- OG UDVIKLINGSPLAN.....</b>                                             | <b>7</b> |
| 2.1 FORUNDERSØGELSER .....                                                               | 8        |
| 2.1.1 Bundforhold .....                                                                  | 8        |
| Forslag til aktiviteter .....                                                            | 9        |
| Leverancer.....                                                                          | 9        |
| 2.1.2 Stenrev i Limfjorden – tidligere placering .....                                   | 9        |
| Forslag til aktiviteter .....                                                            | 10       |
| Leverancer.....                                                                          | 10       |
| 2.1.3 Vandbevægelser og springlag .....                                                  | 10       |
| Forslag til aktiviteter .....                                                            | 11       |
| Leverancer.....                                                                          | 11       |
| 2.1.4 Opgørelse af kumulative påvirkninger .....                                         | 12       |
| Forslag til aktiviteter .....                                                            | 12       |
| Leverancer.....                                                                          | 12       |
| 2.1.5 Afgrænsning af undersøgelsesområde .....                                           | 12       |
| 2.2 UNDERSØGELSER AF CENTRALE FYSISKE, KEMISKE OG BIOLOGISKE FORHOLD .....               | 13       |
| 2.2.1 Biologiske forhold på den hårde bund .....                                         | 13       |
| Forslag til aktiviteter .....                                                            | 14       |
| Leverancer.....                                                                          | 14       |
| 2.2.2 LYSFORHOLD.....                                                                    | 15       |
| Forslag til aktiviteter .....                                                            | 16       |
| Leverancer.....                                                                          | 16       |
| 2.2.3 MAKROALGER OG PRODUKTIONSFORHOLD .....                                             | 16       |
| Forslag til aktiviteter .....                                                            | 17       |
| Leverancer.....                                                                          | 18       |
| 2.2.4 SEDIMENTER OG SEDIMENTKEMISKE PROCESSER .....                                      | 18       |
| Forslag til aktiviteter .....                                                            | 19       |
| Leverancer.....                                                                          | 20       |
| 2.3 SUPPLERENDE BIOLOGISKE UNDERSØGELSER .....                                           | 20       |
| 2.3.1 KOLONISERING OG SUCCESSION - MAKROALGER .....                                      | 20       |
| Forslag til aktiviteter .....                                                            | 21       |
| Leverancer.....                                                                          | 22       |
| 2.3.2 FISK OG HUMMER MV.....                                                             | 22       |
| Forslag til aktiviteter .....                                                            | 22       |

|                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Leverancer</i> .....                                         | 23        |
| 2.3.3 SETTLING AF BLÅMUSLINGER .....                            | 23        |
| <i>Forslag til aktiviteter</i> .....                            | 24        |
| <i>Leverancer</i> .....                                         | 24        |
| 2.4 SYNTSE OG MODELLERING .....                                 | 24        |
| 2.4.1 ENDELIG IDENTIFIKATION AF POTENTIET VELEGNED OMRÅDER..... | 24        |
| 2.4.2 MODELLERING OG KONSEKVENSANALYSE.....                     | 24        |
| <i>Forslag til aktiviteter</i> .....                            | 26        |
| <i>Leverancer</i> .....                                         | 26        |
| <b>3. KOMMUNIKATION OG FORMIDLING .....</b>                     | <b>27</b> |
| <b>4. TIDSPLAN .....</b>                                        | <b>28</b> |
| <b>5. BUDGETTER.....</b>                                        | <b>29</b> |
| <b>6. SAMMENFATNING OG ANBEFALINGER .....</b>                   | <b>30</b> |
| <b>7. REFERENCER.....</b>                                       | <b>31</b> |
| <b>8. OVERSIGT OVER BILAG .....</b>                             | <b>33</b> |
| BILAG 1 - FORFATTERLISTE .....                                  | 34        |
| BILAG 2 - INTERESSENTANALYSE .....                              | 35        |
| BILAG 3 – TEMADAG ’STENREV I LIMFJORDEN’ .....                  | 36        |

## 1. Indledning

### 1.1 Baggrund

Limfjorden, det største fjordkompleks i Danmark, har en dårlig miljø- og naturtilstand. Det skyldes bl.a. tilførsler af næringsstoffer og miljøfarlige stoffer, fiskeri og fysisk forstyrrelse. De målsætninger for miljø- og naturtilstanden som følger af flere EU-direktiver, er ikke opfyldt. I forhold til Vandrammedirektivet har hele fjorden en utilstrækkelig 'økologisk tilstand', ligesom visse områder af fjorden har en utilstrækkelig 'kemisk tilstand'. I forhold til Habitat-direktivet har fjorden en 'ugunstig bevaringsstatus'. Endelig har hele fjorden en 'ikke-god miljøtilstand' i forhold til Havstrategidirektivet. Yderligere information om miljø- og naturforholdene findes i Naturstyrelsen (2013).

For at få en renere Limfjord er det en forudsætning at der sker en reduktion af tilførslerne og tilgængeligheden af næringsstoffer, både hvad angår kvælstof og fosfor. Uden en yderligere reduktion i forhold til det nuværende belastningsniveau er udsigterne for en forbedret miljø- og naturtilstand i Limfjorden ikke gode. Reduktioner af tilførslerne af næringsstoffer er et vigtigt skridt for at opnå forbedring af den 'økologiske tilstand', og i nogen grad også i forhold til 'miljøtilstanden'. For at forbedre både 'bevaringsstatus' i Natura 2000-områderne og 'miljøtilstanden' i forhold til Havstrategidirektivets såkaldte deskriptorer for 'biodiversitet' og 'havbundens integritet', er der behov for supplerende tiltag.

I udkastet til vandplan for Limfjorden hedder det: *"Med udgangspunkt i vurderinger af kvælstofindsatsbehovet og usikkerheder forbundet med opgørelse af behovet skal der i Limfjordsoplandet gennemføres en indsats med en reduktion på ca. 2.000 tons kvælstof. Herudover udskydes en tilsvarende indsats, hvor der er iværksat et udredningsarbejde bl.a. med henblik på identifikation af omkostningseffektive virkemidler"* samt *"tilstands-vurderingen af kystvandene i Hovedopland Limfjorden viser, at den nuværende samt den fremskrevne tilstand i samtlige områder er moderat, ringe eller dårligere. Ingen af de marine vandområder forventes dermed at nå målopfyldelse i 2015, uden at der iværksættes supplerende tiltag"*.

Der er således i udkastet til vandplanen for Limfjorden forudsat at der, ud over de krav som allerede eksisterer til blandt andet reduktion af næringsstofftilførslerne, skal gennemføres yderligere tiltag for at opfylde de opstillede målsætninger. Denne indsats kan med fordel koordineres med den indsats der skal ske for at opnå Habitatdirektivets krav om gunstig bevaringsstatus, hvor det videre i udkastet til vandplan for Limfjorden er noteret, at der skal ske en koordineret indsats med Natura 2000-planerne, idet: *"det er muligt via den efterfølgende handleplanlægning at opnå synergieffekter ved at foretage en koordineret indsatsplanlægning for vandplanens vandområder og de naturtyper og arter, som er omfattet af Natura 2000-planer inden for hovedvandoplandet. Ved synergieffekt forstås at bestemte valg og placeringer af virkemidler på samme tid gavner både vandområderne og Natura 2000-områdernes udpegningsgrundlag. Der er således mulighed for, at man ved en koordineret indsatsplanlægning samlet set opnår samme eller større effekt (reduceret påvirkning) ved en mindre indsats (økonomi, arealudstrækning af virkemiddel)"*.

Der har de senere år været stor interesse omkring inddragelse af stenrev som et muligt supplerende virkemiddel til forbedring af miljø- og naturtilstanden (Møhlenberg & Andersen 2008). Det er hævet oven enhver tvivl at genetablering af stenrev vil være godt for naturtilstanden i de områder hvor der tidligere har været stenrev. Imidlertid foreligger der endnu ikke tilstrækkelig dokumentation for effekten af genetablering af stenrev i forhold omsætning af næringsstoffer og vandkvalitet.

Der er bred enighed om at stenrev vil have størst effekt i et begrænset antal lavvandede fjordområder (Møhlenberg et al. 2013). Netop de centrale dele af Limfjorden har vist sig at være et af de få områder i Danmark, hvor der evt. vil være synergieffekter mellem genetablering af tidligere tiders hård substrat,

genkolonisering med flerårige makroalger, som produceret ilt og meso-skala systemeffekter, hvor omsætningen af næringsstoffer m.v. i havbunden kan påvirkes på en måde som resulterer i forbedrede miljø- og naturforhold.



**Figur 1:** Stenrev på lavt vand. Stenrev er en beskyttet marin 'naturtype' under Habitatdirektivet, et 'kvalitetsselement' under Vandrammedirektivet og en form for 'under-kriterie' under Havstrategidirektivet – og skal derfor beskyttes i regi af alle tre direktiver. Foto: Peter Bondo Christensen, AU.

Denne synergieffekt er også tidligere påpeget i "stenrevsrapporten" af Møhlenberg & Andersen (2008). Der er en direkte kobling mellem hydro-morfologiske kvalitetselementer og naturtypen "stenrev", der, som navnet siger, er defineret ud fra forekomst af sten.

I områder, hvor stenrevenes udbredelsesområde enten er ustabil eller unaturligt reduceret, kan genopretning af stenrevene være påkrævet, fordi forekomsten af sten(rev) netop er en integreret del af marine økosystemers struktur og funktion.

## 1.2 Formål

Forsknings- og Udviklingsplanen har til formål at tilvejebringe det nødvendige faglige grundlag for succesrig genetablering af spredte stenrev i de centrale dele af Limfjorden.

Den foreslåede forsknings – og udviklingsplan indeholder fire faser: (1) Forundersøgelser, (2) Undersøgelser af særligt vigtige fysiske, kemiske og biologiske forhold, (3) Supplerende undersøgelser, og (4) Syntese, herunder endelig udpegning af potentielt velegnede områder og en vurdering af effektiviteten af stenrev som et supplerende virkemiddel i de centrale dele af Limfjorden.

## 2. Forsknings- og udviklingsplan

I dette kapitel bliver der gjort rede for de undersøgelser, som foreslås gennemført. De foreslåede aktiviteter er inddelt i fire grupper: (1) Forundersøgelser, (2) undersøgelser af centrale fysiske, kemiske og biologiske forhold, (3) supplerende undersøgelser, samt (4) syntese, herunder modellering.

Undersøgelsesområder er foreløbigt afgrænset til de centrale dele af Limfjorden, det vil sige Løgstør Bredning, bl.a. på baggrund af Møhlenberg et al. (2013). Områder som Skive Fjord, Lovns Bredning og Risgårde Bredning er karakteriseret ved hyppigt tilbagevendende iltsvind, blød bund og uklart vand hvorfor disse områder ikke er relevante at inddrage, da forudsætningerne for succesrig genetablering af makroalger på stenrev ikke er til stede.



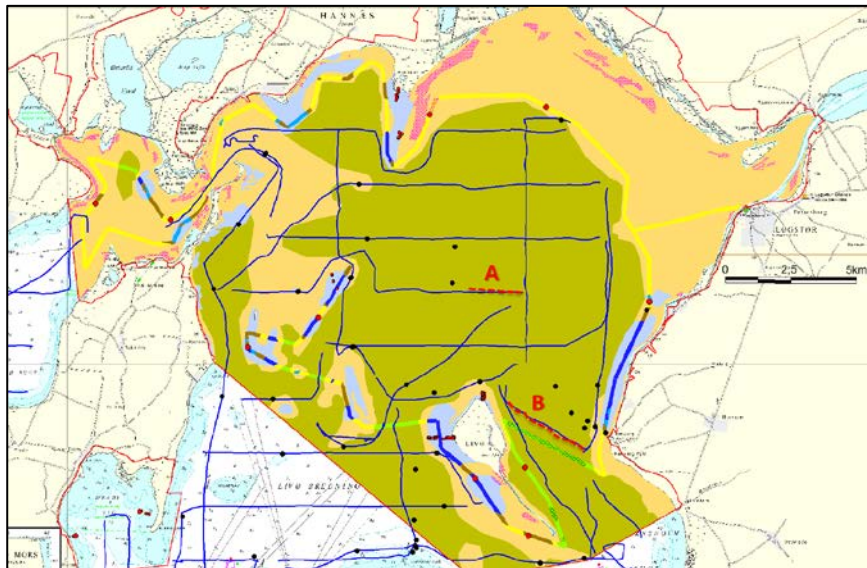
## 2.1 Forundersøgelser

### 2.1.1 Bundforhold

Generelle forundersøgelser af bundforholdene er altafgørende for en succesfuld placering af stenrev med hensyn til funderingsmæssige forhold, hvor en optimering kan have overordentlige både økonomiske og miljømæssige konsekvenser.

Formålet med kortlægning af de fysiske forhold på bunden af Løgstør Bredning er derfor at skabe de bedste forudsætninger for optimering med hensyn til reetablering af stenrev. På baggrund af kortlægningen vil det være muligt at optimere fordelingen og udbredelsen af sten på eksisterende stenrev, samt at reetablere tidligere forekomster optimalt i forhold til bundens bæreevne. Formålet med undersøgelserne vil ligeledes være at bidrage med vigtig basisviden med hensyn til eksisterende fordeling af ålegræs, makroalger og biogene rev og at skabe en detaljeret dybdemodel, som kan benyttes i design af fremtidige havstignings-klimasikrede rev med hensyn til optimale lysforhold og maksimal effekt på potentielle fremtidige iltsvindsområder. De detaljerede undersøgelser vil ligeledes være basis for en morfologisk vurdering af bundstabiliteten og for udpegning af egnede positioner for vibrationsboringer, hvor der bør laves geotekniske målinger. Udførsel af boringer er ikke en del af F&U-projektet.

Ud over generelle dybdedata findes et åbent akustisk net i Limfjorden med 2 til 5 km mellem linjerne (Figur 2), som afslører, at den centrale del af Løgstør Bredning generelt er dækket af dynd, medens randområderne er domineret af sandaflejringer. Stenrevsområder er observeret i mere begrænsede områder omkring Livø og den sydvestlige del af bredningen. Det kan konkluderes, at de væsentligste stenrevsområder er kortlagt, men detaljeret viden om revområdernes arealmæssige afgrænsning, stenfordeling og bathymetriske forhold er endnu ikke belyst tilstrækkeligt.



**Figur 2:** Generelt substrattypekort tolket ud fra eksisterende data ortofoto 2012 og NST 2012 data. Den røde ramme viser udbredelsen af Habitatområdet 'Løgstør Bredning', de blå linjer viser arkiv seismiske data fra GEUS, sorte prikker er Jupiter prøver, røde punkter er NST 2012 ROV Video targets og farvede linjer viser NST 2012 tolkede sidescan linjer. Bemærk placeringerne af Boomer profilerne A og B.

Eksempler på seismiske profiler viser, at den omfattende dyndflade er meget inhomogen. Det åbne net giver ikke mulighed for en egentlig kortlægning, men det vil uden tvivl være muligt at finde områder med et tyndt dynddække, som vil være velegnet til placering af stenrev.



Detaljeret opmåling af eksisterende rev vil give svar på optimering af stenfordeling, eksisterende fordeling af makroalger og ålegræs, detaljeret viden om dybdeforhold og dermed lysforhold nu og i fremtiden, fordelingen og tykkelsen af organisk rige sedimenter i potentielle iltvindsområder og endelig vil site surveys i de udpegede områder være nødvendig både i forbindelse med designfasen af de reetablerede rev og i forbindelse med den efterfølgende monitorering af de gunstige effekter.

## Forslag til aktiviteter

Undersøgelserne af bundforholdene er prioriteret således, at der i dette projekt gennemføres indledende basisanalyser og kortlægning, som skaber basis for etableringen af stenrevne. Efterfølgende monitoringsundersøgelser, som danner basis for overvågning og vurdering af effekterne af de reetablerede rev på kort- og længere sigt vil også være relevante, men er ikke umiddelbart en del af nærværende projekt. Det foreslås at foretage et indledende akustisk survey, med akustisk udstyr omfattende multibeam og sidescan, samt Boomer, parametric subbottom profiler opmåling. Samtlige data indsamles simultant med en survey linjeafstand, som i de potentielle revområder skal være fuldt dækkende med omkring 50-100m mellem linjerne afhængig af vanddybden, medens der generelt i Løgstør Bredning indsamles data med en linjeafstand der afpasses behovet for basisviden og projektets økonomiske rammer. Med baggrund i en foreløbig tolkning udpeges targets med henblik på bundverifikation. De indsamlede multibeam dybdedata tolkes og de detaljerede områder præsenteres data i 3D modeller sammen med draperende sidescan data. I de eksisterende stenrevsområder opgøres fordelingen af sten med henblik på design af reetablering af stenrevne. Områder med tyndt dynddække kortlægges med henblik på udpegnings af placering af potentielle kunstige rev. Tykkelsesfordelingen af dyndlagene kortlægges og recente sedimentationsområder udpeges. Fordelingen af biogene rev, makroalger og ålegræs kortlægges.

Når områderne for udlægning af sten er udpeget foretages en geoteknisk vurdering og behovet for vibrationsboringer med tilhørende geotekniske undersøgelser vurderes. Udførsel af boringer er ikke en del af F & U-projektet.

## Leverancer

De beskrevne undersøgelser vil danne baggrund for en række leverancer.

- Multibeam-opmåling i Løgstør Bredning - detaljeret i potentielle revområder, øvrige områder mere generelt.
- Sidescan mosaik i Løgstør Bredning - detaljeret i potentielle revområder, øvrige områder mere generelt.
- Detaljeret kvantificering af stenfordelingen på de eksisterende rev, som er relevante for reetablering.
- 3D modeller i Løgstør Bredning, hvor der er gennemført en detaljeret kortlægning.
- Tykkelseskortlægning af dyndområder.
- Morfologi af stenet moræneoverflade.
- Kortlægning af recente sedimentations-optimum områder.
- Kortlægning af fordelingen af biogene rev, makroalger og ålegræs.
- Kortlægning af geoteknisk bæredygtige områder for stenrevsplacering.

### 2.1.2 Stenrev i Limfjorden – tidligere placering

I forbindelse med F & U-projektet genetableres stenrev på lokaliteter i den centrale del af Limfjorden, hvor der tidligere har været stenrev. Formålet med dette delprojekt er at identificere potentielle lokaliteter/områder, hvor der tidligere har været stenrev og hvor der kan genetableres stenrev i den nordvestlige og centrale del af Løgstør Bredning. Stenrevne har i mange generationer været påvirket af menneskeskabte påvirkninger, som stenfiskeri, fiskeri med bundslæbende redskaber, og stenrevne antages på mange lokaliteter at være fjernede eller i en forringet tilstand. Forekomst af fauna og flora vil dels være påvirket af revenes fysiske tilstand og dels af påvirkningen af næringsstofbelastning.

I forhold til at vurdere forekomsten og geologisk tilstanden af rev i Limfjorden vil der ske en systematisk kortlægning af både tidligere og nuværende forekomster af stenrev, samt af revenes tilstand. Endvidere vil ressourcer af frivillig arbejdskraft, materialer og logistik, der er til rådighed i forhold til habitatrestaurering med udlægning af sten, blive kortlagt.

## Forslag til aktiviteter

**Udbredelse af stenrev:** Kortlægning af tidligere og eksisterende stenrev vil blive gennemført. Kortlægningen vil som udgangspunkt omfatte hele Limfjorden, men vil have særligt fokus på Løgstør Bredning. Her igennem vil de bedst egnede steder for udlægning af stenrev blive udpeget og projektet vil sikre den bedst mulige detailviden om de udvalgte områder. Herunder stenprocenter og størrelser samt eksisterende makroalger. Den geotekniske undersøgelse og opgørelsen af den detaljerede bathymetri er vigtig for optimering af udlægning af sten samt basis for udarbejdelsen af en detaljeret strømningsmodel, hvor selv mindre morfologiske ændringer har betydning for sikkerheden af den hydrodynamiske modellering.

Kortlægningen vil blive baseret på analyser af søkort og logbøger for perioden fra midten af 1700 tallet til i dag. Områder, hvor der tidligere har været stenrev eller hvor der p.t. er stenrev, vil blive identificeret ud fra gamle søkort hos Kort- og Matrikelstyrelsen (KMS) i Søkortarkivet. Disse søkort vil blive sammenlignet med oplysninger fra de nyeste tilgængelige søkort. Beskrivelse af sejladsforholdene i forhold til sten og stenrev i området fra bogen *Den Danske Havnelods* vil også blive inddraget. Data vil desuden blive analyseret i forhold til sedimentkort fra De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) og naturtyper i Natura 2000-området. Der vil ske en sammenligning af de undersøgte perioder for at dokumentere den udvikling, der er sket i forhold til ændringer i dybden og dokumenterede stenforekomster.

Der vil blive gennemført interview af interessenter som tidligere stenfiskere, fiskere, dykkere og personer i naturforvaltninger med viden om nuværende og tidligere forekomster af stenrev. I de områder, der udpeges som stenrevsområder, samt de områder der erkendes som synlige stenrev af GEUS (se afsnit 2.1.1), vil de blive gennemført en særlig kortlægning af stenforekomster med sidescan/dykker og ROV dokumentation i forhold til at se om der er forekomst af stenrev og vurdere stenrevenes geologiske tilstand.

**Potentialet for habitatrestaurering:** I forhold til at etablere et overblik over potentialet for at gennemføre habitatrestaurering med storskala udlægning af sten, vil der blive gennemført en kortlægning af ressourcer ift frivillig arbejdskraft, logistik og adgang til sten til udlægning. Risici ved gennemførelse af habitatrestaurering med frivillig deltagelse vil blive vurderet. Denne pakke vil blive gennemført i samarbejde med projektets kommunikationsdel, idet en hensigtsmæssig spredning af information er en forudsætning for at interessenter kan vurdere, om de kan bidrage i et fremtidigt habitatrestaureringsprogram i Limfjorden.

## Leverancer

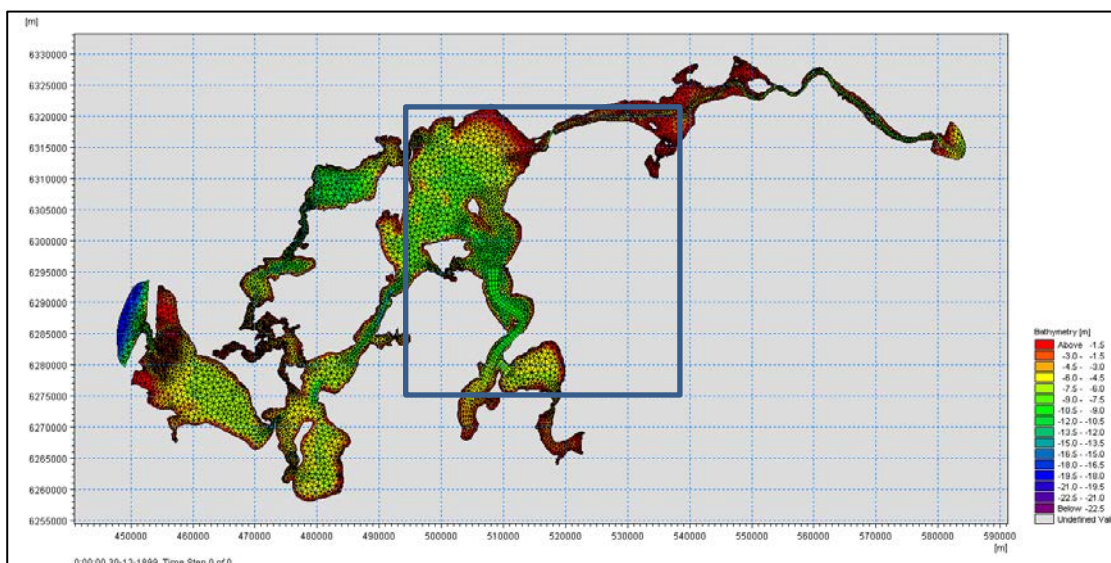
1. Teknisk rapport om historisk udbredelse af stenrev i Limfjorden med fokus på stenrev i Løgstør Bredning. Fotodokumentation af status for eksisterende rev. Kortlægningen vil blive gennemført på baggrund af analyser af søkort/logbøger, interview af interessenter, og som verifikation af de stenrev GEUS observerer ifm geologisk kortlægning.

### 2.1.3 Vandbevægelser og springlag

Det er formålet at tilvejebringe og kalibrere en hydrodynamisk model med finskala (rumligt og tidsligt) opløsning af udvekslinger af vand og salt med Nordsøen og Kattegat, ferskvandstilførsler og et vindfelt, som tager hensyn til topografien af landområder og "skygge-virkning" herfra. Modellen bør også være i stand til at beskrive "lommer" af salt bundvand, hvis bevægelse i f.eks. Løgstør Bredning drives af vindforholdene.

Etablering af hydrodynamiske modeller er altid et kompromis mellem på den ene side ønsket om den bedst mulige repræsentation af strømme, vandstande, turbulens og fordeling af densitet (f.eks. position og styrke af

lagdeling) og på den anden side ønsket om en hurtig modelafvikling som muliggør test af mange scenarier. I projektet vil der derfor blive anvendt en nyopsat og kalibreret MIKE3 FM- model for Limfjorden. MIKE 3 FM er en dynamisk 3-dimensional (3D) model med høj tidsopløselighed, der beskriver fri overfladestrømning. Det matematiske grundlag er baseret på Navier-Stokes ligninger i tre dimensioner og inkluderer effekten af turbulens og varierende densitet, massebevarelse, varmedynamik og salt. I MIKE 3 FM løses ligningerne i et fleksibelt beregningsnet. Den hydrodynamiske model giver en fuld 3D repræsentation af vandstande, -strømning, salt, temperatur og densitet indenfor et givent modelområde. Sammenlignet med tidligere 3-dimensionelle modeller for Limfjorden (Møhlenberg et al. 2003) vil den rumlige opløsning være betydeligt finere med et gennemsnitligt areal af gridcellerne på 100-200 m<sup>2</sup> (mod tidligere ½-1 km<sup>2</sup>). For at kunne beskrive volumen- og saltfluxen gennem de snævre løb (fx Thyborøn Kanal, Oddesund, Hvalpsund, Aggersund) med tilstrækkelig høj præcision er det nødvendigt at anvende en "kanalstruktur" i grid-repræsentationen af disse områder.



**Figur 3:** Modelopsætning for Limfjorden med MIKE3 FM-modellen.

Modellen skal opløse vandsøjlen i et passende antal lag (evt. op til 14, endnu ikke besluttet) beskrevet ved en kombination af en sigma-z opstilling (variable lagtykkelse i overfladen og faste lagtykkelser i bundlaget). Sigma-lag i overfladen er nødvendige for bedst at håndtere tørlægning og vanddækning ved vandstandsvariationer.

## Forslag til aktiviteter

1. Ud over at kunne beskrive de horisontale transporter så præcist som muligt vil en betydende aktivitet være detaljeret kalibrering, således at modellen kan beskrive de tidlige variationer i opbygning og nedbrydning af lagdeling i Limfjordens forskellige afsnit. Der vil blive opsat numeriske kriterier for timing af springlagsvariation.
2. Baseret på den kalibrerede model gennemføres 10 års modellering (2003-2012) af de hydrografiske forhold og der gennem de nødvendige data, således den økologiske model kan afvikles de-koblet (tidsbesparende) og forceret med de hydrografiske data.
3. Ved implementering af "iltproducerende" stenrev etableres fast substrat som tillader makroalger (med tilhørende iltproduktion) at etablere sig 30-50 cm over den nuværende fjordbund.

## Leverancer

Informationer om vandbevægelse og springlagets placering, herunder kalibreret hydrodynamisk model, der beskriver rumlig og tidlig variation i salt, temperatur og densitet bedst muligt (excellent ifølge Marechal 2004, i Allen 2009).

## 2.1.4 Opgørelse af kumulative påvirkninger

Miljøet og naturen i Limfjorden, herunder de eksisterende spredte stenrev, er påvirket af en bred vifte af menneskelige aktiviteter. De væsentligste påvirkninger vurderes at omfatte udledninger af næringsstoffer, tilførsler af miljøfarlige stoffer, fiskeri, fysisk påvirkning, sejlads og stigende temperaturer. Andre presfaktorer kan dog i visse delområder have en stor betydning. Nogle menneskelige aktiviteter påvirker stort set hele fjorden, mens andre har lokale effekter. Kombinationer af menneskelige aktiviteter og særligt følsomme økosystemer kan afstedkomme betydelige rumlige variationer i de såkaldt kumulative påvirkninger. Denne information er af afgørende betydning for en endelig afgrænsning af undersøgelsesområdet. Sådanne områder kunne eksempelvis være sejlrender eller områder tæt på havneindløb, områder tæt på udløb fra renseanlæg eller områder, hvor der fiskes efter muslinger.

Formålet med at gennemføre den detaljerede sted-specifik opgørelse af de aktuelle kumulative påvirkninger er således at sikre imod at der i projektet opstår unødige interessekonflikter.

Aarhus Universitet har som den eneste danske institution arbejdet med opgørelser af de kumulative påvirkninger i de danske havområder. Metodikken er baseret på Halpern et al. (2008) og er reelt en screening for additive påvirkninger af udvalgte menneskelige aktiviteter. En foreløbig opgørelse er gennemført for de danske dele af Østersøen (HELCOM 2010, Korpinen et al. 2012). Metodikken er for nyligt forbedret i regi af HARMONY-projektet hvorfra detaljerede datalag vil være tilgængelige (Andersen & Stock 2013). Der foreligger både relativt gode data og et software-værktøj, hvilket samlet set gør en detaljeret opgørelse for relevante dele af Limfjorden til en realistisk opgave. Desuden arbejdes der i regi af et strategisk DCE-finansieret projekt (SYMBIOSE) på en opdatering af udvalgte datalag.

## Forslag til aktiviteter

Med udgangspunkt i HARMONY-arbejdet, i fornødent omfang suppleret via SYMBIOSE-projektet, foreslås at de eksisterende data for hhv. presfaktorer og økosystem komponenter opdateres og suppleres for så vidt angår Limfjorden. Det er afgørende at alle relevante presfaktorer er med. Der vil derfor være særlig fokus på at tilvejebringe gode data for hhv. tilførsler af næringsstoffer og fiskeri, herunder specielt muslingefiskeri. Hvad økosystemkomponenterne angår, er der identificeret et behov for at supplere de eksisterende data med et detaljeret kort over udbredelsen af blåmuslinger i Limfjorden. Når disse datalag er kombineret med de eksisterende HARMONY-data m.v. vil der blive foretaget en gen-beregning af de kumulative påvirkninger specifik for Limfjorden. Beregningerne, herunder forudsætningerne og usikkerhederne, vil blive analyseret og rapporteret i form af et notat fra DCE.

## Leverancer

- DCE-notat vedr. opgørelse af kumulative påvirkninger i de vestlige, centrale og sydlige dele af Limfjorden.
- Bidrag til udpegning af undersøgelsesområde, da områder med høje kumulative påvirkninger potentielt vil kunne være uegnede for de i F&U-planen foreslåede undersøgelser.
- Bidrag til årsrapport.
- Kort artikel til projektets nyhedsbrev/hjemmeside.

## 2.1.5 Afgrænsning af undersøgelsesområde

Når feltdelen af forundersøgelserne er gennemført (se foregående afsnit om bundforhold, tidligere placering af stenrev, springlag og vandbevægelser samt kumulative påvirkninger) skal der foretages en afgrænsning af undersøgelsesområdet.

Denne afgrænsning skal som udgangspunkt anvende den metodik, der er beskrevet i den såkaldte screeningsrapport, udarbejdet af DHI og AU (Møhlenberg et al. 2013). Følgende forhold skal inddrages i udpegningen: dybde, bundforhold, lysforhold, ilt samt eksisterende stenrev med levende makroalgesamfund. Andre økologisk relevante forhold kan inddrages efter behov.

De foreløbige vurderinger peger på, at der fokuseres på eksisterende stenrev i den nordvestlige eller centrale del af Løgstør Bredning.

Produktet af udpegningen forventes at blive et kort over velegnede områder for de undersøgelser, som er foreslået i de følgende afsnit.

## 2.2 Undersøgelser af centrale fysiske, kemiske og biologiske forhold

### 2.2.1 Biologiske forhold på den hårde bund

Det er vigtigt at skaffe viden om udbredelsen af både fauna- og algearter samt deres biomasser på relevante dybder i Limfjorden. Begrundelsen herfor er at fordelingen mellem bundvegetation og bundfaunaen på den hårde bund er en nøgelfaktor i relation til det samlede iltbudget man kan forvente per stenflade. Denne viden kan sammen med målinger af faunasamfundets iltforbrug og makroalgernes iltproduktion bruges til at justere og verificere modelgrundlag og -modelberegninger.

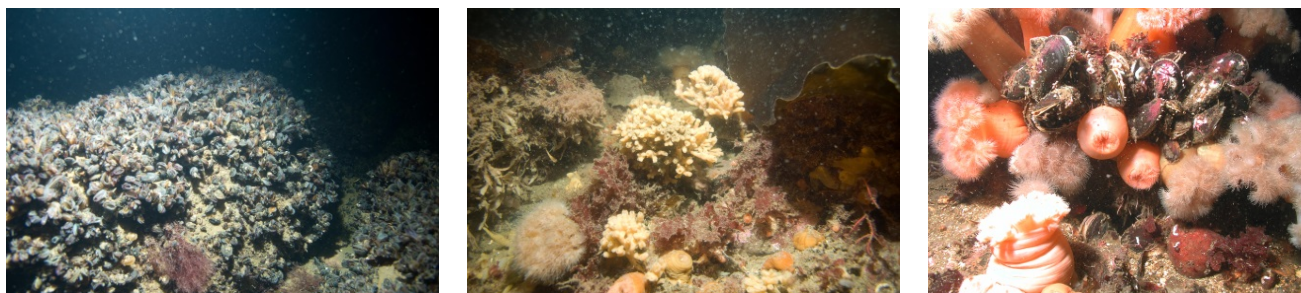
Gode lysforhold favoriserer algesamfund på bekostning af en række større bundfauna-organismer, som også har et krav om at sidde på et fast underlag og skaffe føde fra vand, der strømmer forbi levestedet. Ud over lys spiller saltholdigheden også en stor rolle for artssammensætningen og gode strømforhold og anden fysisk eksponering har sandsynligvis også en effekt.

De dominerende faunaorganismer i tangskove på lavere vand er oftest meget tætte belægningsplanter på planterne af kolonidannende mosdyr arter, pigget hindemosdyr og glat hindemosdyr. På lavere vanddybde er det ikke ualmindeligt at 60-80 % af algernes løv kan være overgroet af mosdyr, hvilket vil have en stor indflydelse på algernes evne til at opfange lys og producere ilt. En kvantitativ undersøgelse på Mejl Flak og Lillegrund (Dahl et al, 2005) nord for Samsø i dybdeintervallet 4-9 m dokumenterede biomasser af mosdyr på op til 10% af de samlede biomasser. I tilgift til disse fastsiddende kolonidannende dyr lever der en række andre fritlevende dyr i vegetationen såsom orme, krebsdyr, snegle, søstjerner og søpindsvin samt fasthæftede muslinger, hydroider og svampe. Undersøgelsen på Mejl Flak og Lillegrund viste, at de samlede faunabiomasser udgjorde knap 20% af de samlede biomasser på 6 og 8m dybde og ca. 12% på 4m dybde. Undersøgelsen viste også at der var en betydelig variation i biomasser i de 0,1m<sup>2</sup> store prøvefelter som blev undersøgt.

Dominerende faunaorganismer på dybere vand er forskellige arter af svampe, som vokser direkte på stenene. Almindelige fastsiddende arter er blødkorallen dødningshånd, hydroider, søanemoner, bladmosdyr (hvor saltholdigheden er høj) og blandt de mobile arter træffes konksnegle, krabber, slangestjerner og søstjerne. På strømfyldte steder kan søanemoner opnå meget store biomasser og i visse tilfælde kan nogle arter også vokse direkte i vegetationens øvre lag. Tilsvarende er der registreret tilfælde i Bælthavet, hvor "grønt søpindsvin" har opnået masseforekomst og helt nedgræsset tangskoven på rev under springlaget. Grønt søpindsvin har sandsynligvis et salinitetskrav omkring 22-24 psu.

Nedslag af blåmuslingeyngel ses ofte i vegetationen på rev i åbne farvande. Ned til Storebæltsbroen overlever muslingerne næsten aldrig til næste generation på stenrevene, sandsynligvis p.g.a. et hurtigt prædationsrespons fra søstjerner. På rev i det sydlige Bælthav og Østersøen med lavere saltholdighed er søstjernerne næste fraværende og blåmuslinger meget talrige.





**Figur 4:** Forskellige faunasamfund på stenrev. Tv.: Blåmuslinger med enkelte alger ud for Møn's Klint på ca. 18m vanddybde. I midten: Et blandet makroalge-, svampe- og bladmosdyr-samfund i Lillebælt på ca. 12m vanddybde. Til højre: En sten med søanemoner og blåmuslinger på det relativt strømprægede stenrev Schultz's Grund ved overgangen fra Kattegat til Bælthavet på ca. 15m dybde. Foto: Karsten Dahl, AU©.

Undersøgelserne i Isefjorden viste tætte forekomster af blåmuslinger på sten og i vegetationen året rundt. I tilgift var der mange stikkelsbær søpunge og pletvis mange søpunge af arter *Ciona intestinalis*.

Revenes biomasser af faunaorganismer understøtter desuden en række fiskearter, som er knyttet til og typiske for revene jævnfør afsnittet "Naturforhold, fisk, hummer mv."

Saltholdigheden spiller en meget stor rolle for den diversitet af faunaarter, man kan forvente at finde på et rev. I den sammenhæng er der et godt overlap mellem saltholdighederne i Limfjorden og de stenrev, som er undersøgt i åbne farvande.

Lysudslukningen gennem vandsøjlen over rev i åbne farvande er væsentlig mindre end de forhold der kan forventes i Limfjorden. Fjordsystemer har højere koncentrationer af næringssalte og dermed større produktion af planteplankton der kan svække lyset. Samtidig vil der også være en større sandsynlighed for re-suspension af materiale i fjordsystemer sammenlignet med rev i åbne farvande.

## Forslag til aktiviteter

På baggrund af eksisterende viden er det ikke muligt at vurdere fordelingen af faunabiomasser på forskellige vanddybder i Limfjorden. Derfor gennemføres sammenhængende kvantitative undersøgelser af vegetation og fauna i områder med hård bund i 3 dybdeintervaller af relevans for undersøgelse af iltbalancen i bundvandet. Undersøgelserne danner sammen med iltproduktions- og -forbrugs-forsøgene grundlag for at estimere effekten af udlagte sten på forskellige dybdeintervaller. Undersøgelserne gennemføres med suction-sampler (undervandsstøvsuger) og der indsamles minimum 20 replikater per dybdeinterval for at kunne beskrive den gennemsnitlige artsmæssige biomasse og variationen.

Der arbejdes i et område, der ikke er eller har været påvirket af alvorligt iltvind gennem en længere årrække for at sikre tilstedeværelse af "klimaks lignende" samfund og hvor der er naturlige stenforekomster på minimum 40 cm størrelse inden for de tre valgte dybdeintervaller med mindst 20 replikater. Der indsamles prøver på sten med en prøvestørrelse på 0,1m<sup>2</sup>.

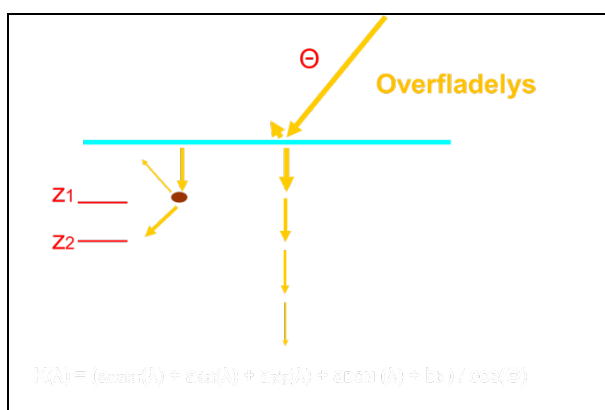
## Leverancer

- Rapport, herunder biomasse-gennemsnit og variation af makroalger samt hårbundfauna organismer per arealenhed i de valgte dybder.
- Opgørelser over biomasser i relevante dybdeintervaller kombineret med iltproduktions- og iltforbrugsmålinger vil sammen udgøre det værktøj som kan estimere et evt. iltoverskud fra stenrev der skal fødes ind i DHI's modelværktøj (se "Modellering og konsekvensanalyse").

## 2.2.2 Lysforhold

Lys er forudsætningen for algers fotosyntese og vækst og dermed den afgørende faktor for om et stenrev vil blive koloniseret af alger og om det på et givet tidspunkt har en positiv iltbalance, dvs. er netto producent af ilt til den omgivende vandsøjle. I beskrivelsen af lysforholdene er det vigtigt at se på tidskalaen og skelne mellem i hvert fald to parametre; den **gennemsnitlige** lysintensitet over vækstsæsonen ( $E_{\text{år}}$ ) med en tidsskala på måneder – og den **aktuelle** lysintensitet målt over kort tid som fx minutter, timer eller en dag ( $E_{\text{dag}}$ ).

Den **gennemsnitlige** lysintensitet over vækstsæsonen bestemmer om algerne, set over et år, har en positiv vækstrate. Har de ikke det, vil de uddø pga. tab forårsaget af egen respiration og græsning. Den **aktuelle** lysintensitet bestemmer algernes øjeblikkelige fotosynteserate og dermed deres iltproduktion. I mørke og lavt lys har algerne et netto iltforbrug. I tillæg til algerne eget iltforbrug kommer iltforbruget fra dyr knyttet til algerne, både direkte på algerne og på og under stenene i revet samt, vigtigst, den betydelige biomasse af bakterier og svampe som er knyttet til fast overflader, både alger og sten. Hele revet vil derfor have en lyskompensationspunkt ( $EC_p^{\text{samfund}}$ ) som er betydeligt højere end algerne alene, antagelig flere gange højere.



**Figur 5:** Skematisk figur af lyssvækkelsen. Overfladelyset rammer vandoverfladen og reflekteres eller trænger ned i vandet, hvor det gradvist absorberes af vandets egen absorption, opløst organisk stof (CDOM), detritus og fytoplankton. Refleksion og lysets vinkel i vandet ved overfladen afhænger af soles vinkel til zenit ( $\Theta$ ) og skydækket. Partikler i vandet betyder at den vejlængde (lysvejen) en foton tilbagelægger fra dybden  $z_1$  til dybden  $z_2$  stiger, hvorved den effektive absorption også stiger. Dette gælder dog kun op til en vis grænse, i det lys som allerede har en høj zenit vinkel netto vil afbøjes nedad mod en mindre zenit vinkel.

Lyset i en given dybde bestemmes af overflade-indstrålingen og lyssvækkelsen i vandet, hvor den gennemsnitlige indstråling fra år til år varierer mindre end andre klimatiske forhold som fx nedbør og temperatur. Den mest afgørende faktor for om et stenrev koloniseres af alger, og dermed potentielt har en positiv iltudvikling, er lyssvækkelsen i vandsøjlen. Lyssvækkelsen bestemmes af to forhold; absorption og spredning af lys (se Figur 5).

Der er et samspil mellem lys og spredning, hvor spredningen af lys forstærker effekten af en given absorption. Den praktiske betydning af dette samspil er at den samlede lyssvækkelse i vandsøjlen kan svinge meget over sæsonen.

Samspillet mellem lys og en evt. positiv effekt på vandsøjlen iltbalance er afgørende for mulighederne for placering af stenrev. Lysforholdene i blandt andet Nisum og Kaas Bredning gør det muligt at have en positiv iltudvikling i stort set hele vækstsæsonen og man må derfor formode, at der kan udvikles et makroalgesamfund her og at det vil have et positivt bidrag til vandsøjlen iltbalance igennem det meste af vækstsæsonen. I den sydøstlige del af Limfjorden bliver vandet mere uklart og lysniveauet falder og ligger betydeligt under det nødvendige niveau for at producere ilt fra juni til oktober/november, hvilket antagelig skyldes, at iltsvind er

udbredt i den sydøstlige del af fjorden. Det giver en stor sæsonvariation i lyssvækkelsen, og dermed på lysniveauet i en given dybde og gør områder som regelmæssigt rammes af iltsvind uegnede til etablering af stenrev.

Konsekvensen at den høje lyssvækkelse i sensommeren i områder med iltsvind er, at der kan opbygges et algesamfund med høj biomasse i løbet af foråret, som derefter midt på sommeren oplever mindre lys og derfor går fra at være netto producent af ilt til at forbrug ilt og dermed potentielt kan forstærke et begyndende iltsvind. Problemet er ikke lysniveauet i sig selv, men variation over sæsonen med en nedgang i sensommeren hvor iltsvind forekommer.



I forbindelse med et pilotprojekt om stenrev er det vigtigt at få analyseret lysdata med henblik på placering af stenrev og med fokus på de senere år. I tillæg er det vigtigt at få afklaret de mekanismer, som bevirker den betydelige stigning i lyssvækkelsen med tilhørende nedgang i lyset ved bunden, som ses for Skive Fjord. En afklaring af dette er afgørende for, at vi kan opstille pålidelige modeller, som kan anvendes til at beregne den optimale placering af stenrev.

## Forslag til aktiviteter

Der gennemføres spektrale optiske målinger med tilhørende vandprøver på flere lokaliteter over et år samt en undersøgelse af de faktiske lysforhold på lavere vand. Situation i dag er, at stort set alle målinger af lyssvækkelse kommer fra overvågningsaktiviteter på stationer midt i bassinerne i Limfjorden. Det mest centrale er derfor at få kontinuerte målinger af lyssvækkelse over en gradient fra lavt til dybt vand.

Der er 4 centrale aktiviteter der vil være nødvendige for en analyse af hvor stenrev bør placeres:

1. Målinger af lys, lyssvækkelse kontinuert (se figur 7 i afsnit om makroalger og produktionsforhold) og en række optiske parametre over en gradient fra lavt til dybt vand over en eller flere transekter.
2. Spektrale lysmålinger med tilhørende målinger af absorption af opløst organisk stof, fytoplankton og detritus og målinger af partikelkoncentrationer og tilhørende optiske egenskaber. Disse målinger skal dække hele den variation af optiske forhold som optræder i Limfjorden, og foreslås derfor udført på fire stationer fire gange på et år, i alt 16 gange.
3. En analyse af eksisterende lysdata med fokus på støtte til en beslutning om placering af stenrev.
4. Udvikling af en optisk model for Limfjorden. Dette vil tage udgangspunkt i en eksisterende optisk model (Murray et al. a,b ) som skal kalibreres for Limfjorden.

## Leverancer

- En optisk model for Limfjorden til brug for vurderinger af mulige og optimale placeringer af stenrev. Modellen kan indarbejdes i eksisterende biogeokemiske modeller.
- Lysdata for Limfjorden med 0,2 meters opløsning for forskellige bassiner langs transekter fra lavt til dybt vand.
- Bidrag til rapport samt en eller flere artikler

### 2.2.3 Makroalger og produktionsforhold

Formålet med denne del af projektet er at forbedre viden om betydningen af lysforhold for udbredelse af flerårige makroalger i Limfjorden. Dette opnås dels ved at analysere udbredelsen af makroalger i fht. forskellige miljøvariable, og dels ved at koble den forbedrede viden om variationer i de reelle lysforhold i Limfjorden med en bedre forståelse af minimums lyskrav for makroalgесамfund på naturlige substrater. Resultaterne vil blive anvendt til at vurdere: (1) hvor klart vandet være, førend man kan forvente etablering af de store flerårige makroalgearter på udlagte sten; og (2) hvorvidt etablering af makroalger på stenrev reelt vil forbedre de lokale iltforhold nær fjordbunden.

Limfjorden er karakteriseret ved en stor artsrigdom af makroalger. Således finder man i dag alene i Limfjorden op mod 117 arter (MADS-database) ud af de ca. 395 arter, der samlet er registreret i danske farvande ([www.danbif.dk](http://www.danbif.dk)). En væsentlig årsag til det høje artsantal set i fht. Limfjordens lille andel (ca. 1%) af det samlede danske havareal, er Limfjordens høje salinitet (ca. 25-33 psu) kombineret med høj næringsrigdom, lavt vand (gnst. 4.3 m) og mange beskyttede bugte og vige. De største tætheder findes generelt på 2-4 m's dybde og bortset fra en tilbagegang af dybe populationer i Nissum Bredning er der en temmelig ensartet fordeling i Limfjordens centrale og vestlige del.

Der har været en overordnet stigning i algedækket de senere år, men dette skyldes primært indvandring af *Sargassum muticum*, idet *Laminaria* arterne er gået kraftigt tilbage og *Fucus* arterne står næsten uændret. Der er endvidere intet som tyder på en fremgang af de dybe populationer på trods af bestræbelserne på at forbedre

lysklimaet via næringssaltreduktioner. Dette indikerer at minimums-lyskravet ( $E_c$ ) for langt de fleste alger, stadig ikke er opfyldt.

Udbredelse af makroalger er ikke kun reguleret af lystilgængeligheden. Tidligere undersøgelser har fx vist at der selv indenfor et snævert dybdeinterval eksisterer en stærk positiv sammenhæng mellem dækningsgrad af forskellige flerårige makroalger i Limfjorden og tætheden af sten større end 10 cm (Thomsen et al. 2006). Dette gælder især *Sargassum muticum*, som muligvis vil kunne etablere sig på større dybde i klarvandede områder, hvor der pt. mangler egnet hårdt substrat.

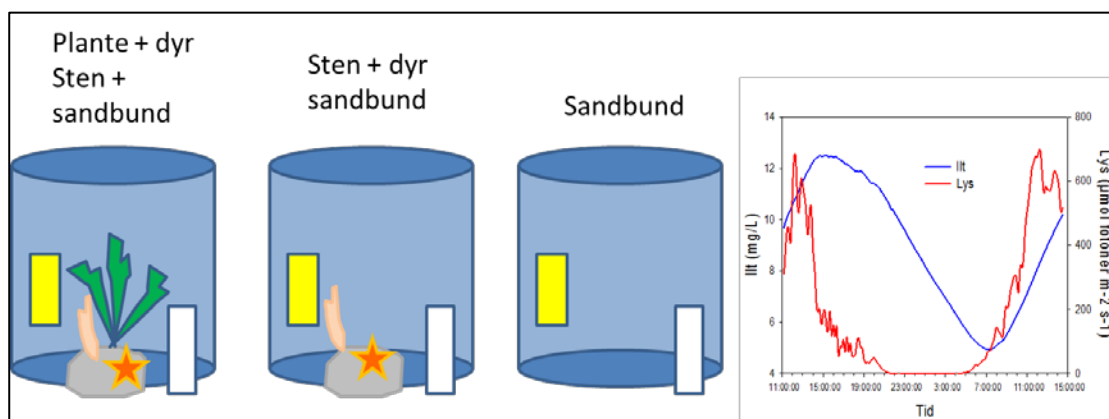
## Forslag til aktiviteter

Der igangsættes tre aktiviteter:

- 1) Analyse af tætheder af flerårige makroalger i Limfjorden. Hvor er de og hvad regulerer deres udbredelse?
- 2) In situ bestemmelse af minimumslyskrav og iltbalancer for udvalgte makroalgearter / samfund.
- 3) In situ bestemmelse i form af sæsonundersøgelse af iltvariationer omkring og udenfor eksisterende stenrev.

Ad. 1: På basis af overvågningsdata fra 24 transekter i perioden 1989-2012, udføres en analyse af, hvor regulerende faktorer som lys, temperatur, eksponering mv. klarlægges. Desuden udføres der udvalgte steder en kortlægning af makroalgernes dækningsgrader langs kontinuerte lange transekter. Metodikken er fra Thomsen et al (2006). Formålet er at få en mere detaljeret beskrivelse af dybdeudbredelse af dominerende arter og deres relation til substrat forhold, fysisk eksponering og lys. Disse data vil desuden blive anvendt til at opskalere modeller for iltbalancer på forskellige substrattyper.

Ad. 2: De reelle lyskrav fastlægges for naturlige makroalgесamfund. Endvidereundersøges det potentielle iltoverskud af makroalgесamfund på naturlige substrater med tilhørende dyre- og plantesamfund. Dette gøres på forskellige dybder ved anvendelse af *in situ* kammer målinger af døgnvariationer i ilt, temperatur og lys (Figur 6).

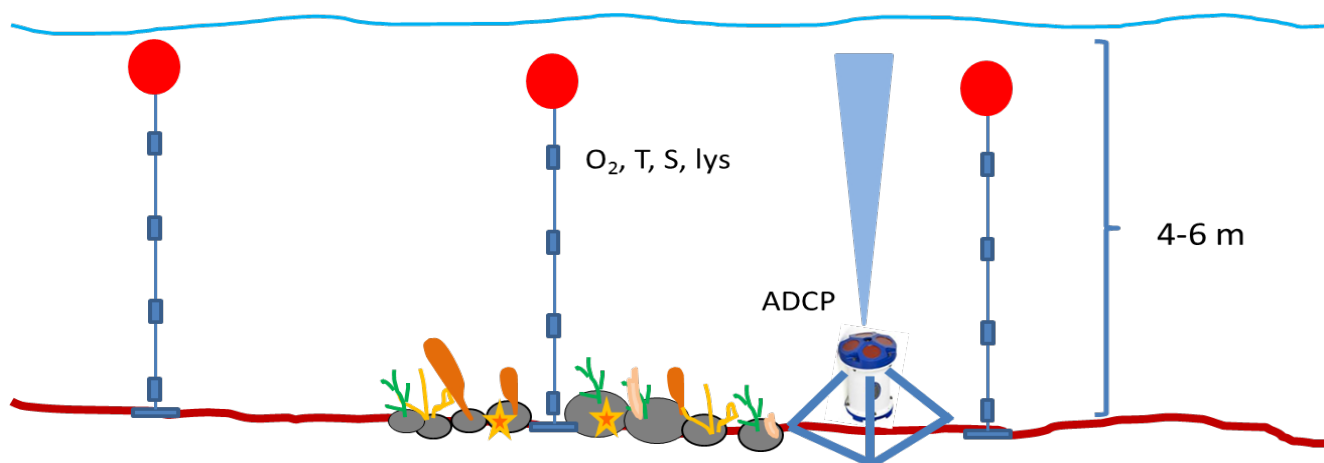


**Figur 6:** Måling af ilt, temperatur og lysvariationer i gæstætte gennemsigtige kamre med omrøring anvendes til at bestemme lyskrav *in situ* på naturlige algesamfund med og uden sten. For hver måleserie opstilles en model, som beskriver iltproduktion og forbrug som en funktion af ambient lys og temperaturforhold. Data fra kammerforsøg i Roskilde fjord 2012.

Til hvert forsøg bestemmes biomassen af makroalgen og det tilknyttede dyre- og plantesamfund, dækningsgrad af makroalgen og substratforholdene (stenens størrelse og en karakterisering af det underliggende substrat). Dette vil gøre det muligt at sammenholde resultaterne med arternes udbredelse og tætheder fra den detaljerede kortlægning beskrevet i afsnittet om naturforhold og bundfauna. Der udføres målinger for fx 4 større makroalgearter, som vurderes at kunne etablere sig på nye stenrev. Baseret på overvågningsdata skønnes dette at være 1) *Sargassum muticum*, 2) *Laminaria saccharina*, 3) *Fucus serratus* og 4) *Halidrys siliquosa*. Kammermålingerne udføres en gang om foråret og en gang i løbet af sensommeren i et område i

Løgstør Bredning, hvor der i forvejen gennemføres et intensivt sæsonstudie af døgnvariationer i ilt, temperatur, salinitet og lys.

Ad. 3: For at kunne vurdere om der er en reel lokal iltgevinst ved stenrev, vil det være nødvendigt med et omfattende måleprogram som følger iltodynamikken i og omkring et stenrev. Som beskrevet i det følgende afsnit om sedimenter og sedimentkemiske processer vil disse målinger blive baseret på feltobservationer vha. Eddy-korrelationsteknikken. Som et vigtigt supplement til disse intensive målekampagner, vil der blive etableret et måleprogram som sikrer kontinuerte målinger i andet og tredje projektår, af daglige variationer i vandbevægelse (ADCP), ilt og vigtige regulerende miljøvariable (temperatur, salinitet og lys) i og umiddelbart omkring et eksisterende stenrev i (Figur 7).



**Figur 7:** Placering af nedsunkne målebøjer og akustisk dopler til in situ sæson undersøgelse af iltvariationer i og omkring et stenrev.

## Leverancer

Konkrete leverancerer fra denne del af projektet vil være:

- 1) Tabeller med værdier for lyskrav og iltbalancer for forskellige makroalger, med og uden tilknyttede sten/samfund på forskellige dybder → input til hydrodynamisk model.
- 2) Danske artikler om ændringer i udbredelse af makroalger i Limfjorden og det potentielle iltbidrag fra stenrevpopulationer
- 3) Engelsksprogede artikler:
  - Baseret på en analyse af overvågningsdata skrives en artikel. Foreløbig titel: "Long-term changes in macroalgal community structure in Limfjorden (Denmark): Effects of invasive species altered light and temperature conditions".
  - Baseret på in situ kammermålinger og detaljeret kortlægning skrives en artikel. Foreløbig titel: "Light demands and oxygen balances of natural macroalgal communities in Limfjorden".
  - Baseret på in situ ilt, salt og temperatur målinger skrives en artikel. Foreløbig titel: "Local effects of stone reef habitats on oxygen dynamics in a shallow estuary".

## 2.2.4 Sedimenter og sedimentkemiske processer

Formålet med denne del af projektet er at undersøge, om stenrev i Limfjorden kan føre til forbedrede iltforhold ved og i bunden således, at næringsstoffrigivelsen til bundvandet begrænses i et omfang, der resulterer i en målbar reduktion af den interne belastning i sommerhalvåret.

Limfjorden er et brakvandsområde, der kendetegnes ved et højt indhold af kvælstof og fosfor i vandsøjlen og en deraf betydelig produktion af planktonalger. Når algerne nedbrydes i vandsøjlen og i fjordbunden, kan det føre

til iltsvind, frigivelse af næringsstoffer fra fjordbunden og i yderste konsekvens frigivelse af den meget giftige svovlbrinte, som kan slå alt højere liv ihjel.

Udvekslingen af næringsstoffer (**næringsstoffluxen**) mellem fjordbunden og vandsøjlen er en dynamisk og kompleks proces, der afhænger af mange kemiske og fysiske faktorer, som påvirker koncentrationen af kvælstof (N) og fosfor (P) i både bundvandet og porevandet (dvs. den vandmættede fjordbund) på en sådan måde, at N og P optages i fjordbunden, når næringsstofkoncentrationen i bundvandet er større end i porevandet og frigives fra fjordbunden, når det modsatte er tilfældet.

I en veliltet fjordbund binder fosfat sig til (oxideret) jern. Det gælder både fosfat, der optages fra vandsøjlen, og fosfat, der frigøres i sedimentet ved omsætningen af organisk stof. Så længe de øverste mm – cm af fjordbunden forbliver oxideret, er fosfat fast bundet til jern og begraves på den måde langsomt i fjordbunden. Hvis den organiske stofomsætning der imod bliver så intens, at ilten i fjordbunden bruges hurtigere, end den erstattes fra bundvandet, bliver sedimentet og dermed jernpuljen reduceret i et sådant omfang, at fosfat først frigøres til porevandet for derfra at strømme ud i bundvandet. Denne proces forstærkes i betydelig grad, når der optræder iltsvind i vandsøjlen.

Fjordbundens iltningsgrad (**redoxstatus**) påvirker også fluxen af  $\text{NO}_3^-$  og  $\text{NH}_4^+$ . I fjordbunden frigøres  $\text{NH}_4^+$  ved omsætningen af organisk stof. I et veliltet sediment omdannes  $\text{NH}_4^+$  til  $\text{NO}_3^-$  (nitrifikation), som efterfølgende reduceres ved denitrifikation til frit kvælstof gas ( $\text{N}_2$ ), og på den måde fjernes fra vandmiljøet. Hvis fjordbunden der imod bliver iltfattig, afbrydes koblingen mellem nitrifikation og denitrifikation, og  $\text{NH}_4^+$  strømmer ud i bundvandet. Også denne proces forstærkes, når der optræder iltsvind i vandsøjlen.

Fjordbunden kan altså, hvis den er veliltet, begrænse udslip af  $\text{PO}_4^{3-}$  og  $\text{NH}_4^+$  til bundvandet; men mange steder i Limfjorden er der observeret sæsonsvingninger i bundens iltningsgrad, der betyder, at næringsstoffluxen veksler mellem optag og frigivelse hen over året. I takt med at overfladesedimentet bliver mere og mere reduceret, især i sommerhalvåret, hvor koncentrationen af næringsstofferne i vandsøjlen er lav og bundvandet periodevis rammes af iltsvind, observeres udslip af næringsstoffer til bundvandet.

Fjordbundens evne til at tilbageholde næringsstofferne kan udtrykkes ved sedimentets iltningsgrad eller **bufferkapacitet**, som, i takt med at denne falder, fører til en stigende frigørelse af fjordbundens næringsstofpuljer. Bufferkapaciteten øges ofte efter en længere periode med gode iltforhold ved bunden i kombination med en reduceret organisk stofomsætning. Bufferkapaciteten er derfor højest i vinterhalvåret. Med andre ord opbygges der en **iltgæld** i sedimentet i sommerhalvåret, samtidig med at bufferkapaciteten falder, og denne iltgæld indfris i vinterhalvåret, hvor bufferkapaciteten så stiger.

## Forslag til aktiviteter

Næringsstofudvekslingen mellem bunden og vandsøjlen er, som det er beskrevet ovenfor, en dynamisk proces, som både viser en betydelig årstidsvariation og år til år variation grundet naturlige biologiske, kemiske og fysiske fluktuationer i vandmiljøet i.a. varierende næringsstofbelastning, biologisk produktion og temperatursvingninger. Det forventes, at det indenfor en kort årrække (< 5 år) vil være vanskeligt at påvise, om udlagte sten har en statistisk signifikant positiv effekt på næringsstofudvekslingen og derfor gennemføres undersøgelserne i forbindelse med et eller flere allerede eksisterende områder med lyseksponerede sten i Limfjorden. Undersøgelsestransektterne anlægges i forbindelse med eksisterende spredte stenrev samt i områder uden sten i umiddelbar nærhed.

Følgende nøgleparametre måles:

- Sedimentets ilt dynamik kan undersøges ved brug af en teknik, kaldet Eddy-korrelation, hvor iltforbruget/ produktionen måles *in situ* over et flere  $\text{m}^2$  stort område uden at forstyrre fjordbunden. Målemetoden kan

anvendes på alle typer af substrat og måler en iltflux, der præcis afspejler ilt dynamikken i det pågældende område i henholdsvis lys og mørke (dag og nat). Eddy-korrelationsmålinger kan derfor bruges til at beregne netto-produktionen af ilt og vise forskelle i fjordbundens iltbalance  $\pm$  sten og også måle kiselalgers iltproduktion, hvor de har etableret sig ovenpå den lyspåvirkede fjordbund.

- Tykkelsen af sedimentets iltede lag har stor betydning for fjordbundens kapacitet til at tilbageholde næringsstoffer. Tykkelsen af det iltede lag begrænser sig til nogle få mm og viser en betydelige variation. Det vil derfor være nødvendigt med flere målinger på samme station for at sikre sig en tilstrækkelig statistisk sikkerhed på bestemmelsen af det iltede lags tykkelse.
- Næringsstofpuljer og den potentielle stofflux måles, idet stofpuljerne i fjordbunden og fluxen af næringsstoffer har en særlig interesse i projektet, da det i sidste ende er af afgørende betydning, om sten(rev) påvirker puljer og fluxe positivt, dvs. medvirker til at reducere den interne belastning.
- Sedimentets bufferkapacitet giver et kvantitativt mål for sedimentets potentiale oxidationsniveau og dermed et estimat for evnen til at tilbageholde næringsstoffer i en periode med iltsvind.

Nyetablerede stenrev monitoreres på samme måde, som det er beskrevet ovenfor både før og efter etableringen for derved at dokumentere udviklingen i sedimentpuljer og iltforhold i og ved bunden for så vidt det er muligt inden for projektets løbetid.

## Leverancer

- Videnskabelige artikler
  - Betydning af stenrev for ilt- og næringsstoffdynamikken mellem sediment og vandfase.
  - Årstidsstudie af iltgæld og svovlbrintebufferkapacitet i fjordbund med og uden stenrev
  - Bestemmelse af næringsstofpuljer i havbunden (metodeartikel) evt. teknisk rapport
- Bidrag til slutrapport om stenrev i Limfjorden
- Deltagelse i afsluttende workshop

## 2.3 Supplerende biologiske undersøgelser

### 2.3.1 Kolonisering og succession - makroalger

Formålet med denne del af projektet er at undersøge forskellige metoder til etablering af flerårige makroalgensamfund på udlagte sten i Limfjorden.

Etablering af store flerårige makroalger på udlagte sten er erfaringsmæssigt en proces som forløber over flere år (Wernberg et al. 1998, Majland 2009, Dahl & Lundsten 2011 og Stenberg et al. 2013). Den initiale kolonisering vil oftest være af bentiske mikroalger og bakterier, efterfulgt af hurtigt voksende trådalger, sessile dyr (trekantsorm, ruer, sønelliker, søpunge mv.) og sporadiske forekomster af sporofytter (juvenile stadier af makroalger), som senere kan udvikle tætte flerårige bestande med kønsmodne gametofytter. Den eksakte udvikling og hastigheden i det beskrevne forløb er svært at modellere, da det er resultatet af en række temmelig uforudsigelige hændelsesforløb. Et vigtigt element er timingen - hvilke organismer kommer først (tid på året i fht. arternes livscyklus), hvor mange larver eller sporer kommer (spredningsevne og afstand til moderpopulationer), og hvordan er disses etableringsevne (artsspecifikt), etableringschance (stenmaterialets størrelse, overflade-ruhed og fordeling) og efterfølgende betingelser (lys, ilt, temperatur, salinitet, vandbevægelse) for vækst og overlevelse (Støttrup et al. 1997). Efter den initiale kolonisering foregår der i takt med at nye organismer kommer til, desuden en kompleks konkurrence indenfor, og mellem etablerede dyre- og plantegrupper samt predation og græsning. Således er der mange fysiske, kemiske og biologiske forhold, som har indflydelse på sammensætningen af det endelige klimakssamfund og hastigheden hvormed det udvikles.

Tidligere undersøgelser af makroalgers etablering i Limfjorden viser en relativt beskedne etablering i de første år. Efter en kortere årrække havde flere forskellige makroalger dog etableret sig med tilknyttede komplekse



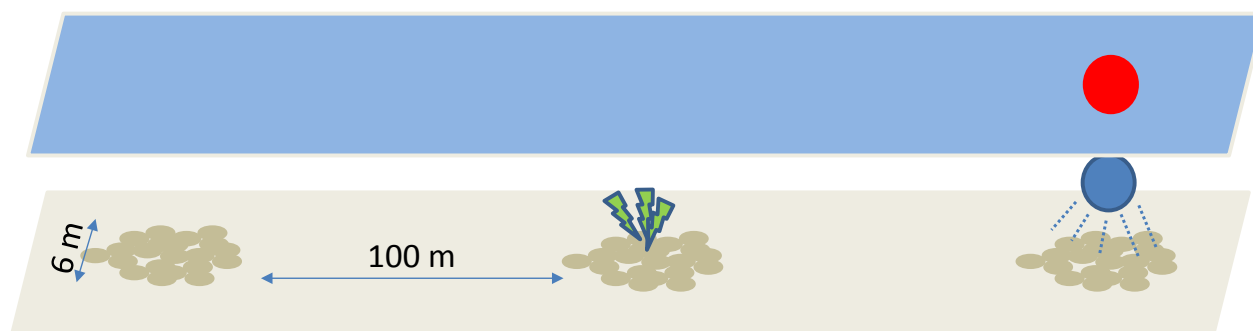
samfund af sessile organismer som søpunge, ruer, trekantsorme, mosdyr, hydroider, men få blåmuslinger. Etableringer af "klimaks" samfund med flerårige makroalger tog således flere år, og disse samfund bestod for en stor del af heterotrofe organismer. Tidligere studier har vist at gode lysforhold, god vandbevægelse og lav sedimentation er afgørende for hurtig opnåelse af stenrev med stort dække og diversitet af makroalger (Baynes & Szmant 1989). Dette stemmer godt overens med erfaringerne fra udsætning af sten ved Læsø Trindel, i det nordlige Kattegat, hvor etableringen af flerårige makroalger generelt gik hurtigere (2-3 år) end i Limfjorden (5-7 år), særligt på de øvre, velbelyste og eksponerede sten (Blue-Reef statusrapporter).

## Forslag til aktiviteter

Inden udlægning af sten vil der blive gennemført undersøgelser af bundforhold, kumulative effekter samt ikke mindst undersøgelser af om minimum-lyskravet er opfyldt og at der ikke er for langt til eksisterende donor populationer. Selve udsætningen af stenene skal ideelt set foregå i det tidlige efterår i projektets første år for at sikre en lang monitoringsperiode. For at fremme etableringen vil potentialet blive undersøgt ved at pøde stenene. Af praktiske årsager anvendes en metode som består i at man lægger såkaldte "sporeposer" ud sammen med stenene.

For at teste betydningen af varierende lys-, ilt- og strømforhold for kolonisering og tilvækst, foreslår det at der etableres mindre spredte sten-'rev' i to forskellige områder af Løgstør Bredning, og at der i hvert område arbejdes på to forskellige dybder, hhv. ca. 3-4 m og 4-5 m dybde. Indenfor hvert af disse 4 delområder udlægges 3 stenrev hver med et areal på minimum 30 m<sup>2</sup> lagt ud i en form for mosaik for at øge heterogeniteten. De 3 rev vil blive lagt med ca. 100 m afstand i mellem. Et stenrev vil fungere som kontrol, et andet vil blive podet med sporer vha. poser og på det tredje vil vi transplantere sten med makroalger. Se nedenstående figur 8.

Erfaringsmæssigt bør stenene have en størrelse på minimum 30 cm i diameter lagt i 2 eller flere lag for at minimere begravnelse på blød bund. Det giver et samlet stenvolumen på minimum 160 m<sup>3</sup> svarende til ca. 40 ton sten.



**Figur 8:** Etablering af 3 stenrev indenfor et af i alt 4 delområder. Hvert rev består af sten på 30-40 cm. Et rev fungerer som kontrol, et andet udsætter man moderplanter i og et rev podes med algesporer vha. en pose.

Baseret på erfaringerne fra Blue-Reef-projektet anvendes følgende monitoringsprogram til at kvantificere koloniseringen og successionen af organismer på de udlagte sten.

- År 1: Inden udsætningen af stenene vil området blive kortlagt for potentielle donor populationer.
- År 2: Etablering af stenrev
- År 1-4: Dykkerundersøgelser med undervandsvideo.
- År 1-4: In situ bestemmelse af sæson variationer i lys, temperatur, ilt og lysforhold (målebøje)
- År 4: Kvantitative indsamlinger. 10 sten på hvert rev (i alt 12 stk.) samles op og skræbes for fauna og flora
- År 4: Artsbestemmelse i laboratoriet
- År 5: Dataanalyser og afrapportering

## Leverancer

Konkrete leverancerer fra denne del af projektet vil være:

- 1) Kvantitative opgørelser af successionen af alger og dyr på forskellige substrater. Sammenligning af forskellige podningsmetoder og forskellige lokaliteter
- 2) Bidrag til dansk og engelsksprogede artikler om etablering af stenrev i Limfjorden.

### 2.3.2 Fisk og hummer mv.

Fiskeforekomsterne i Limfjorden er en god indikator for miljøforholdene. Fiskebestandes trivsel er bl.a. afhængig af et sundt havmiljø, hvor der er gode muligheder for at søge føde, finde skjul for selv at undgå at blive spist samt at reproducere sig. Historisk har fiskebestandene i fjorden været vigtige både for fjordens økologi, for områdets økonomi direkte igennem fiskeriet og den afledte forarbejdnings industri, samt socioøkonomisk, igennem det rekreative fiskeri. Udviklingen i fiskebestandene er derfor vigtig at monitorere, især når man vil ændre på levestederne i fjorden.

Der er siden 1980 gennemført fiskeundersøgelser for at få et kvantitativt kendskab til udbredelse og sammensætning af fiskebestanden i Limfjorden. Undersøgelserne dækker store dele af Limfjorden inklusiv Løgstør Bredning og har tilvejebragt data over fangsterne af fiskearter såvel i delområder som per station. Da undersøgelserne er baseret på trawltræk, udføres de kun på blødbund og kendskab til fiskeforekomster på hård bund er derfor mere begrænset. Der monitoreres ikke systematisk på hårbundsområder i Danmark.

Fiskene i Limfjorden tilhører enten stationære arter, der opholder sig det mest af tiden i området, sæsongæster, der er i fjorden i kort tid, eller arter, der er sjældnere forekommende. De stationære arter er sild, brisling, 3-pigget hundestejle, skrubbe og kutling. Ål, ulk og ålekvabbe har tidligere været hyppigt forekommende men er nu sjældent fanget. Blandt sæsongæster er rødspætte, ising, hvilling, stenbider og hornfisk.

Vest for Løgstør er fangsterne af de almindeligste fiskearter faldet siden fiskeundersøgelsernes start i 1980. Den store ændring i fangsterne skete i perioden 1990-1992. I perioden 1990-1995 er påvist et regime skift i Limfjorden med en ændring fra dominans af bundlevende fiskearter (ålekvabbe, skrubbe, rødspætte) til dominans af pelagiske fiskearter (sild, brisling og 3-piggede hundestejle) og småfisk som sort kutling og nålefisk samt vandmænd, krabber, søstjerner og blåmuslinger (Tomczak et al. 2013).

Der er desuden siden 2002 indsamlet standardiseret fangst registreringer fra fritidsfiskere, der fisker med enten standardiserede garn eller ruser på faste stationer (nøgelfiskerdata). I den nordlige Limfjord har skrubbe og sild domineret i garnfangsterne, mens der ikke er fanget rødspætter. Ål og ålekvabbe har domineret i rusefangsterne, og specielt ålefangsterne har været faldene siden 2005.

### Forslag til aktiviteter

Der udføres to typer undersøgelser: (1) sammenhængende kvantitative undersøgelser af fiskeforekomster på eksisterende stenbundsområder på tre forskellige dybder. Denne del kobles til aktiviteter under 2.2 Naturforhold – bundfauna, og (2) Undersøgelse af effekten af genetablering af stenrev på fiskeforekomster. Denne del kobles op til 2.3 Kolonisering og succession af makroalger. Genetablering af stenrev følges dels for at undersøge effekten af den øget fysiske kompleksitet på fiskekolonisering, dels effekten af kolonisering af bundfauna og flora på fiskesamfundet.

For begge undersøgelser gennemføres klassiske fiskeribiologiske undersøgelser med fiskerredskaber samt nyere type undersøgelser, hvor der anvendes visuelle observationer eller akustisk teknikker.

Fiskeribiologiske undersøgelser. Effekten af det genetablerede stenrev undersøges ved en før-efter analyse, der fokuserer på fiskeforekomster, fiskesammensætning (inkl. hummer) og længdefordeling af fisk/hummer før og efter genopretningen. Undersøgelserne vil foregå ved brug af faststående redskaber som garn, tejner og ruser

og gennemføres både før, under og efter pilotprojektet. Undersøgelsen vil omfatte fiskesamfundet samt hummer. Metoden med garnfiskeri er en anerkendt metode til fiskeri på hård bund og har bl.a. været anvendt på Blue Reef-projektet (Stenberg et al. 2013). Her har man anvendt et specielt udviklet oversigtsgarn (Eigaard et al. 2000). Da disse garn kræver meget tid i oparbejdning, vil vi forsøge at etablere samarbejde med lokale fritidsfiskere, der vil kunne hjælpe med den praktiske del af undersøgelserne.

Video eller akustiske observationer: undersøge fisk og hummers brug af det nye habitat igennem visuelle observationer via stationære videokameraer (såfremt sigtbarheden tillader brugen af denne metode i Limfjorden) eller høj frekvent akustiske stationære stationer (eksempelvis Didson). Brug af video eller akustiske optagelser til at undersøge effekten af genetablering af havbund har været anvendt ved flere projekter og de første data, der har anvendt video metoden er ved at blive publiceret. Denne type data giver et mere detaljeret billede af fiskesamfundet og især de små fisk, der udgør et væsentligt diætelement for mange af de større fisk, der forventes at kolonisere det genetablerede område.

## Leverancer

- Fiske (og hummer) forekomster og kobling til bundfauna på stenrev ved forskellige dybder og lysintensitet.
- Biodiversitet af fisk før og efter udlægning af stenrev.
- Fisketæthed før og efter udlægning af stenrev.
- Fiskelængderne for de hyppigste forekommende arter før og efter udlægning af stenrev.
- Forekomst af hummer før og efter udlægning af stenrev.
- Beskrivelse af den primære kolonisering af stenrev (i forhold til den fysiske strukturændring).
- Beskrivelse af den sekundære kolonisering af stenrev (i forhold til kolonisering af bundfauna og flora).

Bidrag til dansk og engelsksprogede artikler om fiskesamfund på stenrev af forskellige dybder, fiskenes brug af forskellige typer komplekse habitater, samt om etablering af stenrev i Limfjorden.

### 2.3.3 Settling af blåmuslinger

Formålet med denne delopgave er at bestemme den heterotrofe kolonisering af udlagte stenrev og at følge denne over tid med henblik på at afgøre om udlagte stenrev vil fungere som netto iltproducerende eller iltfordrugende habitater. Et delformål er at følge om tangplanter på stenene vil blive koloniseret af heterotrofe organismer og hvad betydningen for planterne er. Endelig vil det blive undersøgt om udplantning af tang på de udlagte sten vil påvirke koloniseringen af heterotrofe organismer.

Der findes en omfattende litteratur om kolonisering af kunstige rev og om fx betydningen af udlægning af off-shore vindmølleparker for nedslag af organismer, ligesom der er foretaget en del studier af hårbundsfauna på fx klippekyster og i dybde fjorde. Imidlertid findes der meget få studier fra lavvandede danske fjorde af faunaen på det hårde substrat og primært fra Roskilde Fjord og Isefjorden. Derfor findes der ikke et eksisterende materiale, der kan understøtte en teoretisk forudsigelse af koloniseringsmønstre.

De generelle erfaringer er at hvis der lægges et hårdt substrat ud i et område, som ellers er domineret af fx blød bund eller hvor der kun i begrænset omfang er hårdt substrat, vil det blive koloniseret af fasthæftende organismer, der adskiller sig i levevis fra de ellers forekommende organismer (Svane & Petersen 2001). Det er imidlertid ikke givet, at det kun vil være autotrofe organismer, der koloniserer substratet, ligesom både koloniseringen og det efterfølgende successionsforløb vil variere som følge af flere forskellige forhold så som substratets beskaffenhed, vanddybde og en lang række andre fysiske og biologiske forhold (Svane & Petersen 2001, Petersen & Malm 2006).

I Limfjorden har der i forbindelse med opdræt af muslinger været observeret kraftig påvækst af alt udlagt materiale fra betonklodser til bøjer og liner af plastmaterialer af såvel muslinger som andre heterotrofe

påvækstorganismer, fortrinsvis søpunge, mosdyr, rurer og trekantorm (Tørring et al 2005). Limfjorden er generelt rig på larver og sporer og nedslag af forskellige organismer forekommer ofte og i stort omfang. I relation til muslingeproduktion er der således løbende nedslag af muslinger gennem hele sommeren og der er min. 2 nedslag af søpunge. Især søpunge kan forventes at få betydning, da de typisk bundfælder på mørke substrater eller i de nederste dele af lavvandede områder. For søpunge gælder endvidere, at intensiteten af nedslaget kan variere mellem år (Svane 1988).

## Forslag til aktiviteter

Udlagte stenrev undersøges for påvækst af organismer både direkte på stenmaterialet i konkurrence med autotrofe organismer og sekundært på tang, der enten er bundfældet naturligt eller som er udplantet på stenmaterialet. Kolonisering følges igennem projektperioden forår og efterår for at følge successionen og for at afgøre om umiddelbar kolonisering af opportunistiske arter afløses af mere modne og udviklede samfund med dominans af flerårige planter. Udplantning af tang på de udlagte sten følges for evt. påvækst på det udplantede tang. Endelig laves der forsøg med renskrabning af substrater og de rensede områder følges efterfølgende for kolonisering af påvækst.

Indsatsen er primært knyttet til de udlagte sten. Det vil være påkrævet at følge koloniseringen af stenene med en jævn frekvens over hele projektperioden og optimalt såvel forår som efterår. Effekt af rensning af substratet kan betragtes som "nice to know", hvorimod det er vigtigt med en monitoring af påvækst på tang på stenene.

## Leverancer

Der vil være to primære leverancer: (1) Rapport med beskrivelse af udviklingen af makrofauna på de udlagte sten, effekt af rensning af substratet og påvækst på makroalger; og (2) input af data til modellering af iltforbrug på stenrevne.

## 2.4 Syntese og modellering

### 2.4.1 Endelig identifikation af potentielt velegnede områder

Når det omfattende undersøgelseprogram er tilendebragt skal der inden der gennemføres en modelbaseret vurdering af revenes potentielle effekter, foretages endnu en vurdering af om den foreliggende nye viden har ændret ved om der er velegnede områder for genetablering af spredte stenrev.

Metodikken skal som udgangspunkt være den samme som blev anvendt ved fastlæggelsen af undersøgelsesområdet. Produktet vil være et opdateret kort over potentielt egnede områder.

Det forventes ikke at den her foreslåede endelige 'udpegning' vil være væsentligt forskellig fra fastlæggelsen af undersøgelsesområdet. Derimod vil de til den tid foreliggende resultater alt andet lige føre til en mere sikker identifikation af potentielt velegnede områder.

De identificerede områder skal indgå i den efterfølgende modellering, som er beskrevet i det følgende afsnit.

### 2.4.2 Modellering og konsekvensanalyse

På baggrund af de nøgledata for kemiske og biologiske processer som tilvejebringes i F&U-projektet udbygges eksisterende model opsat for Limfjorden med effekten af iltproducerende stenrev.

Stenrev med betydende vækst af makroalger kan i perioder være nettoproducenter af ilt og dermed i kritiske perioder give et tilskud til iltindholdet i bundvandet når vandsøjlen er lagdelt. I en tidligere modelundersøgelse blev stenrev med alger implementeret i en hydrodynamisk model som en iltkilde ved bunden drevet af sæsonvarierende lysindstråling og lyssvækkelseskoefficient i vandet (Møhlenberg & Andersen 2008). Ud over at

”forbedre” iltforholdene direkte kvantificeredes også iltkoncentrationens effekt på den interne belastning med kvælstof fra sedimentet. Relationen mellem ilt i bundvandet og frigivelse af kvælstof fra sedimentet byggede på omfattende målinger af sedimentdynamik gennemført i Limfjorden.

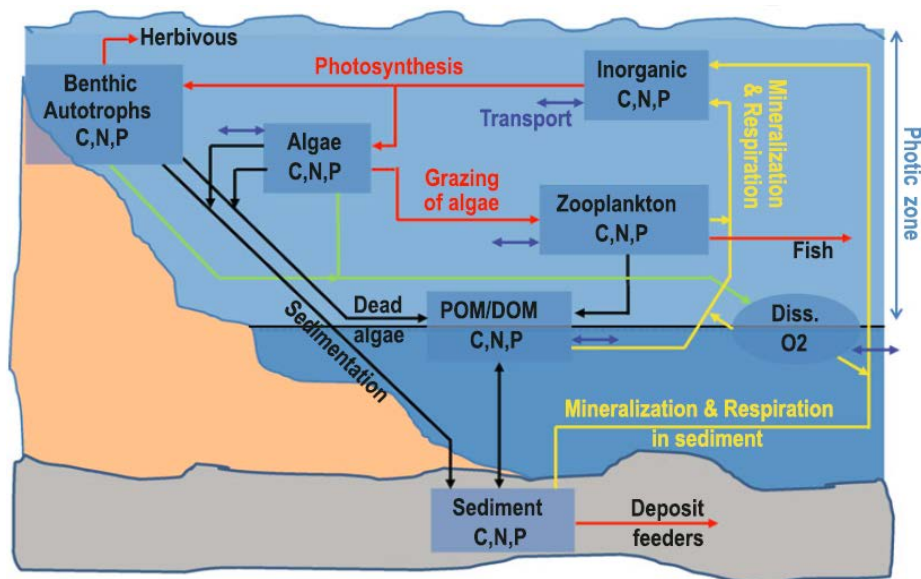
Den tidligere undersøgelse var bygget på en række antagelser (baseret på monitoringsdata fra Limfjorden) omkring størrelsen af den algebiomasse, der kan opretholdes på forskellige dybder i Limfjorden og disse algers potentielle iltproduktion. Hvad modellen ikke omfattede, var en dynamisk varierende biomasse af alger (drevet mekanistisk af lys og tilgængelighed af næringsstoffer ved bunden), makroalgers reaktion på kort- eller længerevarende iltsvind, henfald og iltforbrug af alger under nedbrydning samt effekten af muslinger som evt. vil kolonisere sten sammen med – eller i konkurrence med algerne.

Interaktioner mellem kemiske og biologiske komponenter i kystvande omfatter både feed-back og feed-forward sammenhænge, f.eks. kan muslinger på den ene side konkurrere med makroalger om pladsen på sten samt optage en del af den ilt, som algerne producerer, men muslingerne kan via deres filtration af planktonalger og suspenderet stof også forbedre lysforholdene for algerne og dermed øge bundvegetationens vækst og iltproduktion. Der er således en række processer, som ikke kan repræsenteres med semi-statistiske modeller eller rent statistiske modeller, fordi eventuelle model forudsætninger er tidsligt varierende og hukommelsen i økosystemet (fra et år til de følgende) ikke umiddelbart kan håndteres. F.eks. vil flere år med gode iltforhold favorisere en gravende fauna som yderligere kan ventilere og ilte havbunden og dermed reducere den interne belastning og frigivelse af næringsstoffer fra fjordbunden. Der er således kun med anvendelse af deterministiske modeller, at man kvantitativt kan beregne miljøeffekter af strukturelle ændringer i økosystemer, fordi effekten af indgreb (restaurering) vil ske gradvist over flere år. En anden fordel ved denne type modeller er muligheden for at beregne kost-effektivitet af restaureringsindsats og dermed skalere indsatsen til størrelsen af det problem, man vil løse.

Mekanistiske dynamiske modeller anvendes i stigende grad ved konsekvensanalyser af global opvarmning, ved større infrastrukturarbejder (VVM) og i den avancerede vandplanlægning fordi modellerne gør det muligt at kvantificere ændringer i vandkvalitet og biologiske nøglekomponenter ved fremskrivning af klimascenarier (Edelvang et al. 2005) og i forbindelse med forskellige restaureringstiltag så som reduktion i tilførsel af næringsstoffer og genetablering af stenrev. Sammenlignet med empiriske modeller tillader mekanistiske modeller at ekstrapolere de styrende påvirkninger (fx klima, næringstilførsel) ud over det interval, som modellerne er bygget på (empiriske) eller er kalibreret mod (mekanistiske), netop fordi modellerne er mekanistiske (dvs. indbygget systemforståelse og baseret på årsagssammenhænge beskrevet på matematisk form) og ikke ”black-box” i deres tilgang.

I modsætning til den tidligere anvendte model til kvantificering af effekten af iltproducerende stenrev (Møhlenberg & Andersen 2008) vil den anvendte økologiske model være fuldt dynamisk og baseret på DHI’s fulde økologiske beregningsmodul ECO Lab, som er integreret i MIKE 3 FM modelsystemet (f.eks. Erichsen et al. 2013, Fig. 9). Modellen kan yderligere udbygges med prædation fra den invasive ribbegølle, *Mnemiopsis leidyi*, som kan øge mortaliteten hos zooplankton og dermed reducere denne komponents græsning på algeplankton (og potentielle reduktion af lysforholdene ved bunden).

# Limfjordsrådet



Figur 9: Skematisk økosystemmodel (fra Erichsen et al. 2013).

## Forslag til aktiviteter

Til beskrivelse af iltproducerende stenrevs effekt på miljøforholdene i Limfjorden "placeres" hårdt substrat i modelområdet, hvor fjordbunden kan bære sten og hvor lysforholdene er vist tilstrækkelige for nettovækst af makroalger. Der gennemføres scenarier med forskellige algetyper (rød- og brunalger) og der udføres følsomhedsanalyser med fokus på makroalgernes lyskrav og reaktion på iltstænkninger.

En række scenarier vil blive gennemregnet:

- Varighed af og effekter under koloniseringsforløb med forskellige algearter
- Effekt af alternative placeringer (fx dybde) af iltproducerende rev.
- Effekt af samtidig kolonisering med muslinger
- Gennemføre følsomhedsanalyser ved at variere raten af nøgleprocesser:
  - Effekt af næringsstof- og lystilgængelighed på algers nettovækst og iltproduktion
  - Effekt af kortvarigt iltvind på makroalger
  - Skæbne af døde makroalger – nedbrydningsrater – timing af nedbrydning af algers væv – nedbrydning over eller under springlag

## Leverancer

Rapport indeholdende modelbaserede prognoser for ændret miljøtilstand efter etablering af iltproducerende stenrev. Miljøtilstanden beskrives ved en række indikatorer herunder:

- Koncentrationer af næringsstoffer ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_4$ , tot-N,  $\text{PO}_4$ , tot-P), planktonalger, klorofyl, zooplankton i form af års- og sæsonmidler i Limfjordens forskellige afsnit.
- Iltforhold ved bunden (udbredelse og varighed af iltvind).
- Sigtdybde og dybdegrænser for ålegræs og makrolager.
- Ændringer i risiko for sommeropblomstringer i varme somre (baseret på 10-års modellering).
- Potentiale for muslingeproduktion.

Indikatorerne afbildes med og uden stenrev og ændringer udtrykkes i % i forhold til situationen uden stenrev



### 3. Kommunikation og formidling

F&U-projektet vil i den endelige rapport levere det faglige grundlag for vurdering af spredte stenrevs potentiale som virkemiddel. De deltagende institutioner vil sikre en bred platform for formidling ikke mindst i peer-reviewede videnskabelige tidsskrifter.

I projektets løbetid vil der desuden blive afholdt workshops og temadage samt udarbejdes forskellige former for populærvidenskabelige produkter til forskellige medier med det formål at udbrede kendskabet til og dialogen omkring stenrev og stenrevs potentialer til et mere bredt publikum.

For at sikre den tilstrækkelige kommunikation, dialog og involvering anbefales det som nævnt at etablere en følgegruppe bestående af interessenter.

Interessentanalysen viser, at der allerede fra opstart af et storskalaprojekt vil være stor efterspørgsel på formidling og information om projektet. Det bunder bl.a. i, at der blandt interessenterne er divergerende opfattelser af stenrevenes betydning for natur og miljø, og hvor de med fordel kan placeres.

Det anbefales at formidle projektets med forskellige målgrupper/interessenter for øje. Det skyldes dels, at der er stor forskel på, hvilket videnskabeligt udgangspunkt fx forskere, lægfolk, erhvervsfolk og politikere har, når det gælder stenrev og dels, at de forskellige målgrupper interesserer sig for forskellige aspekter af stenrev og deres effekt. Det er endvidere vigtigt at sikre en løbende formidling til alle målgrupper efterhånden som projektet etablerer bedre og mere nuanceret viden om stenrevne og deres betydning.

Projektet giver samtidig mulighed for at formidle budskabet om, at Limfjorden er et lokalt samlingspunkt - en fjord, som indeholder skattet natur men som samtidig på nogle områder er under pres. Det anbefales at gribe denne mulighed for at sikre en bred forankring af projektet og skabe synergi med andre aktiviteter i Limfjordsområdet.

Det anbefales endvidere, at formidlingen om projektet ikke kun sker envejs fra projektejer til de forskellige målgrupper, men i høj grad åbner for input, dialog og medbestemmelse.

For at nå de vidt forskellige målgrupper på optimal og inddragende vis anbefales det, at der anvendes en vifte af kommunikationsgreb og formidlingskanaler:

- Hjemmeside – en sådan side foreslås at indeholde mere stringent information med f.eks. nyhedsbreve, rapporter mm. Siden bør naturligt være integreret med brugen af de sociale medier
- Nyhedsbreve – skal løbende fortælle om projektet og dets fremdrift. Er tilgængelige på hjemmeside og via de sociale medier.
- Videoer – er oplagt som formidlingskanal i projektet, da fx arbejdet med at etablere stenrev er meget visuelt.
- Oplevelses- og formidlingsture på Limfjorden samt opstarts- og dialogmøder – sådanne aktiviteter, hvor man mødes face-to-face, er anbefalelsesværdige i projektet, da de knytter tætte relationer og samtidig sikrer kontakt og dialog med målgrupper/interessenter, der hverken færdes hjemmefra på hjemmesider eller på YouTube.
- Det anbefales, at de forskellige formidlingsaktiviteter løbende understøttes, udvikles og vedligeholdes af f.eks. en kommunikationsansvarlig.

## 4. Tidsplan

F&U-projektet vil have en tidshorisont på minimum fem år. Med start i 2014 vil et pilotprojekt kunne afsluttes med udgangen af 2018. Det planlagte forløb af de forskellige aktiviteter fremgår af Tabel 1.

**Tabel 1**

Planlagt forløb for det foreslåede F&U-projekt.

|                                  | 2014 |   |   |   | 2015 |   |   |   | 2016 |   |   |   | 2017 |   |   |   | 2018 |   |   |   |
|----------------------------------|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|
|                                  | 1    | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 |
| Kick-off møde                    |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Kortlægning af bundforhold       |      | R |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Tidligere placering af stenrev   |      |   | R |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Biologiske forhold               |      |   | R |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Springlages placering m.v.       |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Kumulative påvirkninger          |      |   | R |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Afgrænsning af område            |      |   | R |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Anlæg af stenrev                 |      |   | R |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Flora og fauna på hård bund      |      |   |   |   |      |   |   |   | R    |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Makroalger                       |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   | R |      |   |   |   |
| Lysforhold                       |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   | R |      |   |   |   |
| Sedimentkemi m.v.                |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   | R |      |   |   |   |
| Kolonisering og succession       |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   | R |      |   |   |   |
| Settling af blåmuslinger         |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   | R |      |   |   |   |
| Fisk m.v.                        |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   | R |      |   |   |   |
| Identifikation af egnede områder |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   | R    |   |   |   |
| Modellering m.v.                 |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      | R |   |   |
| Projektledelse m.v.              |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Hjemmeside                       |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Pjecer og nyhedsbreve m.v.       |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Workshop(s)                      |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Projektmøder                     |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Årsrapporter                     |      |   |   | R |      |   |   | R |      |   |   | R |      |   |   | R |      |   |   |   |
| Slutrapport                      |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   | R |

Det skal understreges at der så at sige vil kunne 'høstes' successivt med leverancer hvert år. En samlet og endelig konklusion vil imidlertid først foreligge ved projektets afslutning i 2018.

## 5. Budgetter

Et samlet overordnet budget baseret på informationer fra kapitel 2 for de skitserede F&U-undersøgelser fremgår af Tabel 2. Udgifterne er fordelt over de fem år, som projektet forventes at løbe over.

Der er ikke gennemført en egentlig prissætning af omkostningerne forbundet med en etablering af nye stenrev, ligesom denne udgift ikke er inkluderet i budgettet. Udgifterne for 160 m<sup>3</sup> sten i størrelsen 30-40 cm er overslagsmæssigt vurderet til 250.000 dkr. inklusiv transport og udlægning. Denne udgift vil i givet fald blive forsøgt dækket ind via et 'sponsorat' jf. bilag 4.

**Tabel 2**

*Samlet budget for det foreslåede F&U-projekt 2014-2018. Lønudgifter er inklusiv overhead.*

| Forsknings- og udviklingsplan: Stenrev i Limfjorden       | 2014      | 2015      | 2016      | 2017      | 2018      | 2014-2018  |
|-----------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Forundersøgelser:                                         |           |           |           |           |           |            |
| GEUS (bundforhold)                                        | 1.000.000 | 0         | 0         | 0         | 0         | 1.000.000  |
| Orbicon (hvor har der været stenrev tidligere?)           | 225.000   | 50.000    | 25.000    | 25.000    | 25.000    | 350.000    |
| DHI (springlag og vandbevægelse)                          | 395.000   | 0         | 0         | 0         | 0         | 395.000    |
| AU (kumulative påvirkninger)                              | 395.000   | 0         | 0         | 0         | 0         | 395.000    |
| DHI m.fl. (endelig afgrænsning)                           | 100.000   | 0         | 0         | 0         | 0         | 100.000    |
|                                                           | 2.115.000 | 50.000    | 25.000    | 25.000    | 25.000    | 2.240.000  |
| Vigtige fysisk, kemiske og biologiske undersøgelser:      |           |           |           |           |           |            |
| AU (flora og fauna på hård bund)                          | 1.268.000 | 682.000   | 0         | 0         | 0         | 1.950.000  |
| AU (lys og makroalger)                                    | 1.840.000 | 717.000   | 616.000   | 616.000   | 616.000   | 4.405.000  |
| AU (sedimenter mv.)                                       | 683.000   | 2.444.000 | 2.444.000 | 196.000   | 98.000    | 5.865.000  |
|                                                           | 3.791.000 | 3.843.000 | 3.060.000 | 812.000   | 714.000   | 12.220.000 |
| Supplerende undersøgelser:                                |           |           |           |           |           |            |
| AU (kolonisering og succession)                           | 0         | 255.000   | 79.000    | 79.000    | 567.000   | 980.000    |
| DSC (setling af blåmuslinger)                             | 0         | 154.000   | 111.000   | 111.000   | 154.000   | 530.000    |
| DTU Aqua (fisk m.v.)                                      | 453.000   | 260.000   | 5.000     | 191.000   | 326.000   | 1.235.000  |
|                                                           | 453.000   | 669.000   | 195.000   | 381.000   | 1.047.000 | 2.745.000  |
| Syntese:                                                  |           |           |           |           |           |            |
| DHI m.fl. (endelig udpegning af potentiel egnede områder) | 0         | 0         | 0         | 0         | 100.000   | 100.000    |
| DHI m.fl. (modellering)                                   | 49.000    | 49.000    | 49.000    | 196.000   | 392.000   | 735.000    |
|                                                           | 49.000    | 49.000    | 49.000    | 196.000   | 492.000   | 835.000    |
| Sekretariat:                                              |           |           |           |           |           |            |
| PL/sekretariat/følgegruppe/styregruppe m.v.               | 208.000   | 208.000   | 208.000   | 208.000   | 208.000   | 1.040.000  |
| Kommunikation m.v.                                        |           |           |           |           |           |            |
| Hjemmeside (etablering & drift)                           | 21.000    | 21.000    | 21.000    | 21.000    | 21.000    | 105.000    |
| Pjecer og nyhedsbreve                                     | 26.000    | 46.000    | 31.000    | 51.000    | 51.000    | 205.000    |
| Temadage/seminarer etc.                                   | 25.000    | 50.000    | 50.000    | 50.000    | 80.000    | 255.000    |
| Kortfilm                                                  | 25.000    | 50.000    | 50.000    | 25.000    | 50.000    | 200.000    |
| Anlæg af stenrev - følgeudgifter                          | 103.000   | 52.000    | 0         | 0         | 0         | 155.000    |
| Contingency fund                                          | 200.000   | 200.000   | 200.000   | 200.000   | 200.000   | 1.000.000  |
| Samlet Sekretariatsfunktioner                             | 608.000   | 627.000   | 560.000   | 555.000   | 610.000   | 2.960.000  |
| Samlet F&U plan                                           | 7.016.000 | 5.238.000 | 3.889.000 | 1.969.000 | 2.888.000 | 21.000.000 |

## 6. Sammenfatning og anbefalinger

Det foreslåede F&U-projektet tager udgangspunkt i følgende forudsætninger:

- Projektet inddrager såvel eksisterende som nyetablerede stenrev.
- Undersøgelsestransekter anlægges i forbindelse med eksisterende spredte stenrev samt i områder uden sten i umiddelbar nærhed heraf.
- Et antal områder med forskellige ilt- og lysforhold vil blive inddraget.
- Der udlægges tillige et eller flere nyetablerede stenrev på dybder større end 2,5 - 3 meter i form af et antal større sten i forskellige strukturer. Projektet tager udgangspunkt i områder, hvor der tidligere har været stenrev.
- Der vil blive tale om konstruktion af "stenøer" i en form for mosaik, hvor det samlede areal vil afhænge af størrelsen af 'hullerne' mellem øerne og dækningen af sten indenfor øerne.
- Det er afgørende for den videnskabelige dokumentation af projektets nye stenrev at de anvendte sten ikke er kontaminerede. Der anvendes derfor "nye" sten brudt fra grundfjeld i Norden.
- Inden anlæg vil udformningen og størrelsen af de nye stenrev blive detaljeret beskrevet.
- De nye rev skal anlægges for at undersøge kolonisering samt stenrevs potentielle tiltrækningskraft for fisk.
  1. Pilotprojektet foreslås som et femårigt projekt, hvor det første år primært vil fokusere på indledende fastlæggelse af projektområde, etablering af stenrev, nødvendige før-registreringer mv. og hvor de egentlige undersøgelser vil forløbe i projektets 2., 3. og 4. år. I det femte projektår skal de afsluttende modelberegninger gennemføres.
- Kolonisering vil være en fortløbende proces, som ikke er afsluttet efter 5 år. Projektet vil dermed beskrive den initiale successionsfase på nyetablerede rev.
- Projektet forholder sig til eksisterende lysforhold og omfatter ikke tiltag til klaring af vandet. Projekter omkring eksempelvis blåmuslingers evne til filtrering af vandet og forbedring af lysforholdene på lokalt niveau kan eventuelt gennemføres i andet regi.

Samlet set vurderes det af den kreds af institutioner, som har udarbejdet denne plan, at en gennemførelse som skitseret med udgangen af 2018 kan tilvejebringe et fyldestgørende og solidt fagligt grundlag for en vurdering af, om genetablering af spredte stenrev vil kunne udgøre et supplerende og kost-effektivt virkemiddel i de centrale dele af Limfjorden.

Det anbefales:

- At der gennemføres et 5-årig, faseopdelt demonstrationsprojekt i de centrale dele af Limfjorden. Faserne er: 1) forundersøgelser, 2) undersøgelser af fysisk, kemiske og biologiske forhold m.v., og 3) syntese, herunder modellering.
- At demonstrationsprojektet påbegyndes primo 2014 og afsluttes ultimo 2018.
- At Forsknings- og Udviklingsprojektet ledes af Institut for Bioscience ved Aarhus Universitet samt at der ved opstart af F&U-projektet etableres såvel styregruppe og følgegruppe med deltagelse af relevante institutioner og interessenter m.v.

## 7. Referencer

- Andersen, J.H., A. Stock (eds.), S. Heinänen, M. Mannerla & M. Vinther (2013): Human uses, pressures and impacts in the eastern North Sea. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy. Technical Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 18. 134 pp.
- Anon. (1992): Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. Official Journal L 206.
- Anon. (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal L 327/1.
- Baynes, T.W., & A.M. Szmant (1989): Effect of current on the sessile benthic community structure of an artificial reef. *Bulletin of Marine Science* 44: 545-566.
- Binzer, T., K. Sand-Jensen & A.L. Middelboe (2006): Community photosynthesis of aquatic macrophytes. *Limnology and Oceanography* : 2722-33.
- Dahl, K., S. Lundsteen & O.S. Tendal (2005): Mejlgrund og Lillegrund. En undersøgelse af biologisk diversitet på et lavvandet område med stenrev i Samsø Bælt. Danmarks Miljøundersøgelser & Århus Amt, Natur & Miljø. 87 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 529. <http://faglige-rapporter.dmu.dk>
- Edelvang, K., H. Kaas, A.C. Erichsen, D. Alvarez-Berastegui, K. Bundgaard & P.V. Jørgensen (2005). Numerical modelling of phytoplankton biomass in coastal waters. *Journal of Marine Systems* 57: 13-29
- Eigaard, O.R., J.G. Støttrup & H. Hovgård (2000): Udvikling af standard garnserie til brug ved rutinemæssig bestandsanalyse af flad- og rundfisk i marine lavvandede områder. DFU-report nr. 78-00.
- Eigaard, O.R., J. Støttrup, E. Hoffmann, H. Hovgård & S. Poulsen (2003): DFU's standardtrawl: Konstruktion og sammenlignende fiskeri. DFU-Report nr. 126-03.
- Erichsen, A.C., L. Konovalenko, F. Møhlenberg, R.M. Closter, C. Bradshaw, K. Aquilonius & U. Kautsky (2013): Radionuclide Transport and Uptake in Coastal Aquatic Ecosystems: A Comparison of a 3D Dynamic Model and a Compartment Model. *Ambio* 42(4):464-475.
- Halpern, B.S., S. Walbridge, K.A. Selkoe, C.V. Kappel, F. Micheli, C. D'Agrosa, J.F. Bruno, K.S. Casey, C. Ebert, H.E. Fox, R. Fujita, D. Heinemann, H.S. Lenihan, E.M.P. Madin, M.T. Perry, E.R. Selig, M. Spalding, R. Steneck & R. Watson (2008): A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems. *Science* 319(5865):948-952.
- HELCOM (2010): Ecosystem Health of the Baltic Sea. HELCOM Initial Holistic Assessment 2003-2007. Edited by J.H. Andersen, S. Korpinen, M. Laamanen & U. Wolpers. *Baltic Sea Environmental Proceedings* 122. Helsinki Commission. 63 pp.
- Hoffmann, E. (2009): Forsøgsfiskeri i Limfjorden 2009. Rapport til Limfjordsovervågning. Intern rapport.
- Korpinen, S., L. Meski, J.H. Andersen & M. Laamanen (2012): Human pressures and their potential impact on the Baltic Sea ecosystem. *Ecological Indicators* 15:105-114.
- Limfjordskommiteen (1973-75): Limfjordsundersøgelsen 1973-75. Delrapport 3: Biologisk vandkvalitet i Limfjorden.
- Majland, P. (2009): Succession and algae communities on the Eastern breakwater protecting the harbor of Aarhus. Specialrapport. Aarhus Universitet, Biologisk Institut.
- Markager, S., & K. Sand-Jensen (1994): The physiology and ecology of light-growth relationship in macroalgae. *Progress in Phycological Research*. 10: 209-298.
- Murray, C., S. Markager, C.A. Stedmon (in prep., a) A spectral light attenuation model suited for dynamic modeling
- Murray, C., S. Markager, C.A. Stedmon, T. Juul-Pedersen, Michael Sejr & Annette Bruhn (b, submitted for Estuarine and Coastal Shelf Science) Bio-optical Properties of Greenlandic Coastal Waters - Estuaries with decoupled supplies of nutrients and particulate material.
- Møhlenberg F (ed), EK Rasmussen, JK Pedersen, B Hansen P Dolmer (2003). Slutrapport for Forskningsprojekt Sustainex (Sustainable exploitation of mussels in the Limfjord), finansieret af tilskudsbevillinger under §24.33.02, §24.38.60.30 og §24.38.40.10 (FIFO), 43 pp.

- Møhlenberg, F., J.H. Andersen (eds.), C. Murray, P.B. Christensen, T. Dalsgaard, H. Fossing & D. Krause-Jensen (2008): Stenrev i Limfjorden: Fra naturgenopretning til supplerende virkemiddel. DHI Teknisk Rapport til By- og Landskabsstyrelsen. 41 pp + bilag.
- Møhlenberg, F., R.N. Poulsen & J.H. Andersen (in prep.): Metode til og foreløbig screening af områder, hvor etablering af stenrev kan anvendes som virkemiddel i vandplanlægningen. Teknisk rapport fra DHI og AUtil NST. 25 pp + bilag.
- Naturstyrelsen (2013): Danmarks Havstrategi. Basisanalyse. Miljøministeriet. 100 pp.  
<http://www2.nst.dk/Download/Vandmilj%C3%B8/Basisanalyse.pdf>
- Pedersen M.F., Staehr P.A., Wernberg T and Thomsen M. (2005): Biomass dynamics of exotic *Sargassum muticum* and native *Halidrys siliquosa* in Limfjorden, Denmark - Implications of species replacements on turnover rates. Aquatic Botany 83: 31-47.
- Petersen, J.K. & T. Malm (2006): Off-shore windmill farms: threats or possibilities to the marine environment. AMBIO 35 (2): 75-80.
- Staehr, P.A., Pedersen M.F., Thomsen M.S., Wernberg T. and Krause-Jensen D. (2000): Invasion of *Sargassum muticum* in Limfjorden (Denmark) and its possible impact on the indigenous macroalgal community. Marine Ecology Progress Series 207:79-88.
- Stenberg et al 2013
- Støttrup, J.G., & H. Stokholm (1997): Kunstige rev. Review om formål, anvendelse og potentiale i danske farvande. DFU-rapport nr. 42-97.
- Støttrup, J.G., C.R. Sparrevohn, H. Nicolajsen, & L. Kristensen (2012): Registrering af fangster i de danske kystområder med standardredskaber. Nøglefiskerrapporten for årene 2008-2010. DTU Aqua-rapport nr. 252-2012. Charlottenlund. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet, 95 pp.
- Svane (1988):
- Svane, I. & J.K. Petersen (2001): On the problems of epibioses, fouling and artificial reefs, a review. Mar. Ecol. 22, 3: 169-188.
- Thomsen, M.S., T. Wernberg, P.A. Staehr & M.F. Pedersen (2006): Spatio-temporal distribution patterns of the invasive macroalga *Sargassum muticum* within a Danish *Sargassum*-bed. Helgoland Marine Research (60):50-58
- Tomczak, M.T., G.E. Dinesen, E. Hoffmann, M. Maar & J.G. Støttrup (2013): Integrated trend assessment of ecosystem changes in the Limfjord (Denmark): evidence of a recent regime shift? Estuarine, Coastal and Shelf Science (117):178-187.
- Tørring, D. & Petersen, J.K. 2005: Blåmuslingeprojekt fase II. Nykøbing Mors. Dansk Skaldyrcenter (DSC). 126 pp. (elektronisk). <http://www.skaldyrcenter.dk/filer/BI%E5muslinge%20fase%20II.pdf>
- Wernberg, T., M.S. Thomsen, & P.A. Staehr (1998): Studies on the ecology of *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt in Limfjorden. Institute for Life Sciences and Chemistry, Roskilde University, Denmark. Specialerapport.



## 8. Oversigt over bilag

Bilag 1: Forfatterliste

Bilag 2: Sammenfatning af interessentanalyse

Bilag 3: Temadag 'Stenrev i Limfjorden'

Bilag 4: Interessetilkendegivelse fra L&F

## Bilag 1 - Forfatterliste

| Afsnit | Forfatter(e)                                                     |
|--------|------------------------------------------------------------------|
| 2.1.1  | Jørn Bo Jensen, GEUS                                             |
| 2.1.2  | Per Andersen, Per Dolmer, Jan Nicolaisen og Lars Nejrup, Orbicon |
| 2.1.3  | Flemming Møhlenberg, DHI                                         |
| 2.1.4  | Jesper H. Andersen                                               |
| 2.1.5  | Jesper H. Andersen, AU og Torben B. Jørgensen, Limfjordsrådet    |
| 2.2.1  | Karsten Dahl, AU                                                 |
| 2.2.2  | Stiig Markager, AU                                               |
| 2.2.3  | Peter Stæhr, AU                                                  |
| 2.2.4  | Henrik Fossing og Jens W. Hansen, AU                             |
| 2.3.1  | Peter Stæhr, AU                                                  |
| 2.3.2  | Josianne Støttrup, DTU Aqua                                      |
| 2.3.3  | Jens Kjerulff Petersen, Dansk Skaldyrcenter                      |
| 2.4.1  | Jesper H. Andersen, AU og Torben B. Jørgensen, Limfjordsrådet    |
| 2.4.2  | Flemming Møhlenberg, DHI                                         |

## Bilag 2 - Interessentanalyse

Som en del af dette projekt er der gennemført en interessentanalyse udarbejdet af Videncentret for Landbrug i samarbejde med Limfjordssekretariatet.

De overordnede konklusioner af analyserne er:

- At historisk og biologisk viden er central for optimal placering af stenrev.
- At muslingefiskerne er meget interesserede i at blive inddraget, når stenrevene placeres.
- At landmændene og deres lokale organisationer gerne vil medvirke til at indsamle sten til stenrevene.
- At der bør skelnes mellem stenrev med store sten på lidt lavere vand, hvor der ikke er risiko for iltvind, og biogene rev med mindre sten, på lidt dybere vand.
- At man bør være opmærksom på, hvor der før i tiden har været stenrev og benytte muslingefiskernes viden på området.
- At det er vigtigt, at der opnås et fælles billede af, hvad stenrev kan og ikke kan - stenrev er ikke et mirakelmiddel.
- At kommunernes interesse ofte er lig landbrugets interesser i området – erhvervsudvikling er en vigtig faktor.
- At miljøkravene til Limfjorden er meget store, og det er derfor nødvendigt at se på en palette af løsningsmuligheder.

Rent metodisk har vi først dannet os et overblik over de primære interessentgrupper, hvorefter vi har analyseret os frem til de 13 mest centrale interessentgrupper, som vi så har interviewet. Vi har efterfølgende skrevet et resumé af hvert enkelt interview (fortroligt) for afslutningsvis at uddrage essensen af interviewene. Denne essens har vi brugt som baggrund for at tilrettelægge temadagen om stenrev. De forskellige interessenters budskaber på temadagen har vi slutteligt sammenholdt med kernen i interviewene, hvorefter vi har skrevet den endelige konklusion.

Der er bred opbakning til et pilotprojekt om stenrev blandt interessenterne. Den brede opbakning har rod i to hovedfokuspunkter: Nogle interessenter ser primært stenrevene som et virkemiddel i en landbrugsfaglig kontekst, mens andre i højere grad opfatter stenrevene som middel til at skabe mere og bedre natur. De konkrete begrundelser for at bakke op om et storskalaprojekt om stenrev spænder vidt. Nogle interessenter ser stenrevene som en vej til at sikre lokal vækst og lokale arbejdspladser, mens andre lægger mere vægt på de faglige udfordringer, som et projekt vil kaste af sig, mens andre igen har rekreative muligheder for øje. Der er blandt de interviewede bred interesse i at blive involveret i pilotprojektet. Flere interessenter udtrykte direkte ønske om at sidde med i styregruppe, følgegruppe og diverse arbejdsgrupper. Nogle interessenter vil gerne bidrage med fx viden om, hvor stenrevene tidligere har været placeret, mens andre gerne vil medvirke til at monitorere et evt. storskalaprojekt og skaffe sten.

Interessenterne udtrykte også ønske om, at der etableres en hjemmeside, hvor man kan følge med i projektet – og for interessenter og øvrig offentlighed, der ikke direkte ønsker at sidde med i grupper, var der interesse for, at der afholdes offentlige møder om projektet.

Trods den brede interesse og opbakning til storskalaprojektet giver nogle interessenter udtryk for bekymringer. Muslingeerhvervet fokuserer eksempelvis på, at stenrevene ikke skal etableres, der hvor de fisker, andre interessenter er bekymrede for, at pilotprojektet kan lede til dobbeltregulering af landbrugserhvervet, mens andre igen har blikket rettet mod, at stenrevene kan tage fokus og ressourcer fra andre virkemidler.

## Bilag 3 – Temadag 'Stenrev i Limfjorden'

Temadagen blev afholdt i Nordjysk Mediecenter i Åbybro den 28. februar 2013. Dagen bekræftede mange af pointerne fra interviewene. Særligt blev de forskellige faglige perspektiver på stenrev foldet ud og debatteret mellem de ca. 150 personer, der var mødt frem.

### Program

9.30 – 10.00 Kaffe og rundstykker

10.00 – 10.15 Baggrund for temadagen. v/ Torben Bramming Jørgensen, Limfjordssekretariatet og Poul Roesen, formand for Limfjordsrådet  
Velkomst. v/ Mogens Gade, Borgmester Jammerbugt Kommune

10.15 – 11.00 Limfjorden. Højt til himlen men sort på bunden. V7 Jan Skriver, Naturfotograf

11.00 – 11.20 Naturgenopretning af Læsø Trindel - Formål, etablering og status for makroalger og bundfauna efter 3½ år. v/ Karsten Dahl, Aarhus Universitet

11.20 – 11.40 Fisk på stenrevet på Læsø Trindel. v/ Josianne Støttrup, DTU Aqua

11.40 – 12.00 Fjordbundens betydning for omsætning af næringsstoffer. v/ Henrik Fossing, Aarhus Universitet

12.00 – 13.00 Frokost

13.00 – 14.00 Makroalger på stenrev - hvad er deres rolle? v/ Anne Lise Middelboe, DHI

Placering af stenrev - optimering ud fra bundens beskaffenhed. v/ Jørn Bo Jensen, GEUS

Placering af stenrev - Visuelle verifikationer og biologiske aspekter. v/ Jan Nicolaisen, Orbicon

Placering af stenrev ud fra muslingebrugerens synsvinkel. v/ Benny Andersen, Centralforeningen af Limfjordsfiskere

Diskussion

14.00 – 14.30 Kaffe

14.30 – 15.30 Stenrev som virkemiddel. v/ Jesper Andersen, Aarhus Universitet

Stenrev i sammenhæng med andre virkemidler. v/ Flemming Gertz, VFL

Virkemidler til at opnå en renere Limfjord. v/ Stiig Markager, Aarhus Universitet  
Diskussion

15.30 – 15.45 Opsamling og det videre forløb. v/ Torben Bramming Jørgensen, Limfjordssekretariatet