


Forhold af betydning for naturgenopretning af stenrev



**Center for Marin
Naturgenopretning**

Kolofon

- Titel: Forhold af betydning for naturgenopretning af stenrev
- Forfattere: Peter A.U. Stæhr, Paula Canal-Vergés, Karsten Dahl, Cordula Göke, Andreas M. Holbach, Dorte Krause-Jensen, Rune C.H. Steinfurth, Jon C. Svendsen, Torben B. Jørgensen.
- ¹Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet, sektion for marin biodiversitet og eksperimentel økologi. ²DTU Aqua, Sektion for kystzone økologi. ³Biologisk Institut, Syddansk Universitet. ⁴Limfjordsrådet, Aalborg Kommune
- Bedes citeret: Stæhr P.A.U., Canal-Vergés P., Dahl K., Göke C., Holbach A.M., Krause-Jensen D., Steinfurth R.C.H., Svendsen J.C., Jørgensen T.B. (2024). Forhold af betydning for naturgenopretning af stenrev. Videnskabelig rapport fra Nationalt Center for Marin Naturgenopretning.
- Udgivet: Februar 2024
- Kvalitetskontrol: Anja S. Hansen (AU DCE), Jens K. Petersen, Mogens Flindt
- Ekstern kommentering: Miljøstyrelsen
- Finansieret af: Miljøministeriet & Velux Fonden
- Internetversion: Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som <https://marinnatur.dk/media/72560/forhold-af-betydning-for-naturgenopretning-af-stenrev.pdf>
- ISBN:
- Forsidefoto: Tangskov af Palmetang (*Laminaria hyperborea*) på 8 meters dybde ved Lønstrup Rødgrund i Skagerrak, syd for Hirtshals. Foto: Peter A.U. Stæhr
- Udgivet af:  Center for Marin Naturgenopretning
- Sammenfatning: Rapporten beskriver hvad naturlige stenrev er, hvor de findes og hvor man historisk har udført stenfiskeri. Vigtigheden af vandkvalitet samt fysiske og biologiske forhold for livet på naturlige stenrev i danske farvande gennemgås. Endelig sammenstiller rapporten de forskellige økosystemydelse som er knyttet til stenrev og leverer vigtige overordnede anbefalinger.

Indhold

Sammenfatning.....	4
1. Indledning.....	5
2. Hvad er stenrev?	5
Definition på stenrev.....	5
Naturlige rev	5
Kunstige rev.....	6
Stenrevenes oprindelse.....	7
Kendte stenrev	7
3. Stenfiskeri – opgørelse af historiske stenrev	8
Stenfiskeriets udførelse	9
Opgørelser over stenfiskeri	9
Effekter af stenfiskeri.....	11
4. Betydning af miljøforhold for livet på stenrev.....	11
Sediment type.....	11
Fysisk eksponering	12
Lys.....	13
Saltholdighed.....	16
Vandtemperatur	18
Iltsvind	20
Søpindsvin.....	21
Sammenfattende om miljøforhold	21
5. Stenrevenes funktioner og økosystemtjenester.....	24
Stenrevenes fysiske funktion	24
Stenrevenes biologiske funktion	24
Stenrevenes økosystemtjenester	25
Dokumentation af effekter er vigtig	27
6. anbefalinger.....	28
7. Referencer	29

Sammenfatning

Stenrevene har stor økologisk betydning som vigtige levesteder for mange marine organismer og bidrager med vigtige økosystemfunktioner. Opfiskning af stenrev indtil årtusindeskiftet har reduceret de naturligt forekommende stenrev betragteligt, og i disse år er der stor interesse for og krav til at genetablere den tabte natur. Rapporten beskriver, hvad naturlige stenrev er, hvor de findes, og hvor man historisk har udført stenfiskeri. Rapporten understreger betydningen af god vandkvalitet og egnede fysiske og biologiske forhold for livet på naturlige stenrev i danske farvande. Endelig giver rapporten et overblik over forskellige funktioner og økosystemtjenester, som er knyttet til stenrev (f.eks. artsrigdom, levested for fisk, forbedret vandkvalitet via tilbageholdelse af næringsstoffer) og leverer overordnede anbefalinger for hvilke områder, der er egnet for genopretning af stenrev.

Med denne rapport, leverer Center for Marin Naturgenopretning en definition af naturtypen stenrev, en beskrivelse af det historiske stenfiskeri, som har reduceret naturtypen, samt en opgørelse over de miljøforhold som påvirker livet på naturlige stenrev i danske farvande. Samlet giver dette et fagligt grundlag til forståelse af de forhold, som bør tages i betragtning ved fremtidige projekter, som ønsker at genoprette naturtypen stenrev i danske farvande. Rapporten giver herved et overblik for en efterfølgende Centerrapport "Vejledning (Best Practice) til naturgenopretning af stenrev" som gennemgår de forskellige faser i udviklingen af et projekt til genopretning af stenrev.

1. Indledning

Naturtypen stenrev er blevet alvorligt reduceret gennem et omfattende stenfiskeri til og med 1999. Hertil kommer et ukendt tab af sten i forbindelse med slæbende fiskeredskaber og ved råstofindvinding. Stenrevene har stor økologisk betydning som et vigtigt levested for mange makroalger og dyr, hvilket er dokumenteret gennem en systematisk national overvågning af revene siden 1980'erne. Erkendelsen af stenrevenes betydning for dyre- og plantelivet i danske farvande har de senere år affødt en lang række genopretningsprojekter i Danmark. Men hvad er egentligt et naturligt stenrev? hvilke typer aktivitet falder under kategorien naturgenopretning af stenrev? og hvilke miljøforhold og andre forhold bør man tage i betragtning i forbindelse med udpegning af områder egnet til naturgenopretning af stenrev? Disse spørgsmål er udgangspunktet for denne rapport, som leverer et opdateret fagligt grundlag for de forhold som bør tages i betragtning ved fremtidige projekter, som ønsker at genoprette naturtypen stenrev i danske farvande. Rapporten giver herved et fagligt grundlag for en efterfølgende rapport "Best Practice til naturgenopretning af stenrev", som gennemgår de forskellige faser i udviklingen af et projekt til genopretning af stenrev.

Rapportens primære formål er at levere erfaringer med de miljøforhold, som har betydning for genopretning af stenrev i Danmark. På det grundlag opstiller rapporten også overordnede anbefalinger for at fremme nye stenrevsprojekter.

Hovedformålet understøttes af følgende delformål:

1. Afklare hvad der menes med genopretning af naturtypen stenrev.
2. At beskrive det historiske stenfiskeri for at identificere, hvor man med størst sandsynlighed har fisket sten.
3. At beskrive betydning af stenrev for det marine økosystem.
4. At gennemgå de miljøforhold som har betydning for livet på stenrev og som bør indgå i udpegning af områder egnet til genopretning af stenrev i Danmark.

2. Hvad er stenrev?

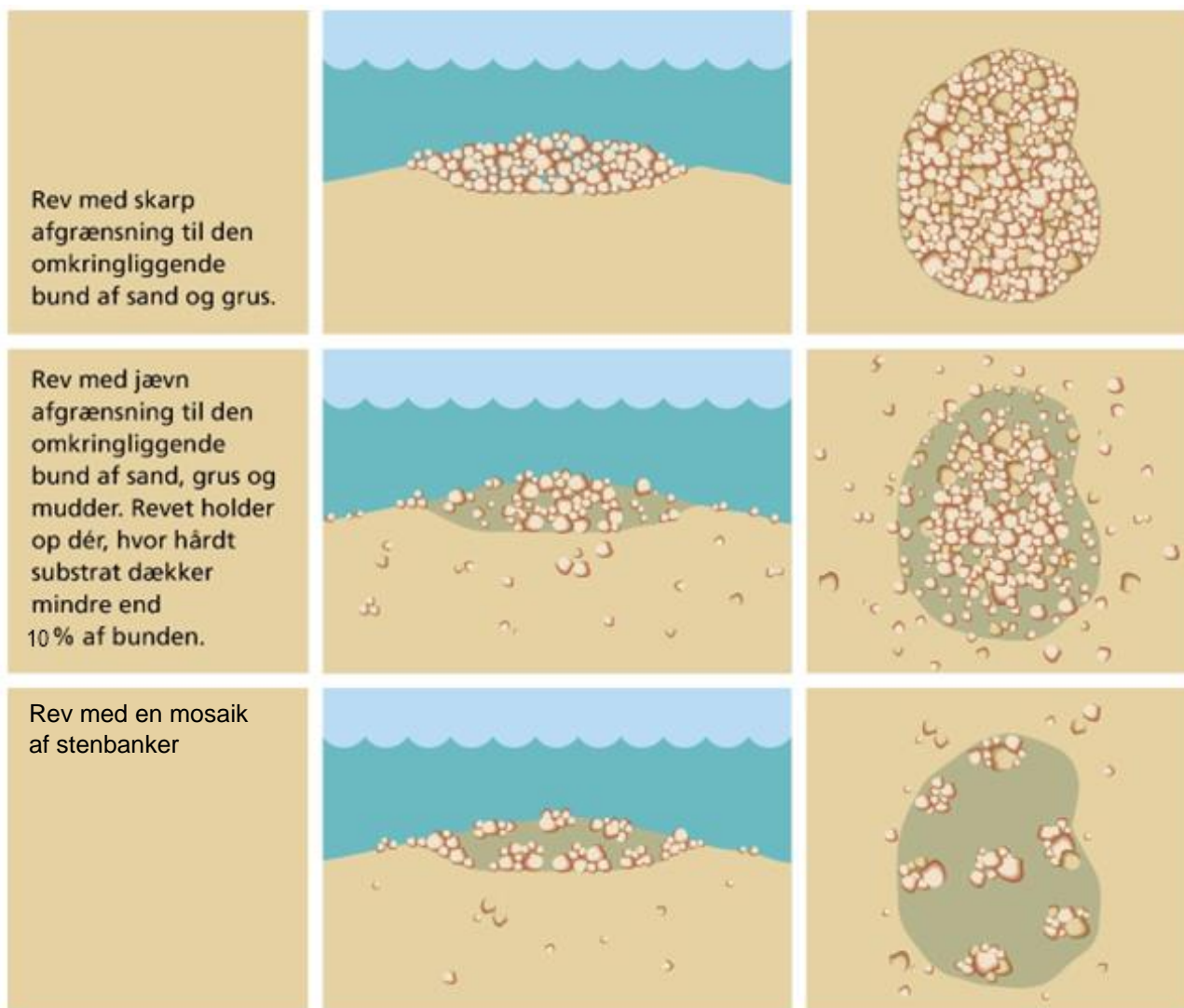
Definition på stenrev

Miljøministeriet har i relation til arbejdet med udpegning og forvaltning af beskyttede områder med naturtypen rev (#1170) under Habitatdirektivet, defineret stenrev som en samling af sten, der i et kerneområde har mindst 25% dækning og som afgrænses udadtil med en dækning ned til 10% (Al-Hamdani et al. 2019). Miljøstyrelsen anvender specifikke definitioner af habitattypen 1170 rev som kan findes her: <https://edit.mst.dk/media/pj3afex3/habitatbeskrivelser-2016-ver-105.pdf>. Dertil kommer definitioner til udpegning af rev på 100 m² størrelse, som anvendes i forbindelse med kortlægning af stenrev: https://edit.mst.dk/media/oek133rj/faglige-kriterier-for-naturtyper-2021_tilrettet.pdf.

Naturgenopretning af stenrev skal i denne rapport forstås som genopretning af naturligt forekommende stenrev. I det følgende defineres disse og sammenstilles med kunstige rev.

Naturlige rev

Naturlige rev underopdeles i stenrev, klipperev og biogene rev. Naturlige stenrev kan opdeles i forskellige geomorfologiske typer. Nogle rev er velafgrænsede enten med skarpe overgange fra sten til sedimentbunde andre med en mere glidende overgang, hvor stenene gradvist bliver sjældnere og typisk mindre. Naturlige stenrev kan have mange forskellige udformninger fra tætte stensamlinger der rejser sig brat fra den omkringliggende havbund, til at bestå af en mosaik af stenbanker eller have en mere diffus struktur med spredte sten på en sandet eller gruset bund (Figur 1).



Figur 1. Skitse af forskellige typer stenrev bestående af en samling mindre og større sten som rejser sig fra den omkringliggende sandede havbund. Fra Havets oaser (Dahl et al. 2003).

Kunstige rev

Kunstige rev er, i modsætning til naturlige rev, skabt af mennesker i et område, hvor der ikke tidligere har været et rev. De kan være etableret med det formål at øge biodiversiteten og øge produktionen af levende marine ressourcer på en lokalitet for enten at fremme rekreative forhold som dykning og sportsfiskeri, kommercielle forhold som erhvervsfiskeri eller socioøkonomiske forhold som turisme eller erhvervsudviklingen i et givent område. De kan også være etableret i forbindelse med anlæg, hvis primære mål er andet end biologiske, såsom kystbeskyttelse, havnemøller, havvindmøller, olieplatforme og lignende. Kunstige rev kan bestå af forskellige materialer, som f.eks. sten, beton eller jern.

Når den efterfølgende tekst nævner stenrev, henviser dette udelukkende til naturlige stenrev. Og reetablering af stenrev omfatter gendannelse af naturlige stenrev i områder, hvor de tidligere forekom, med brug af naturlige materialer, dvs. sten.

Stenrevenes oprindelse

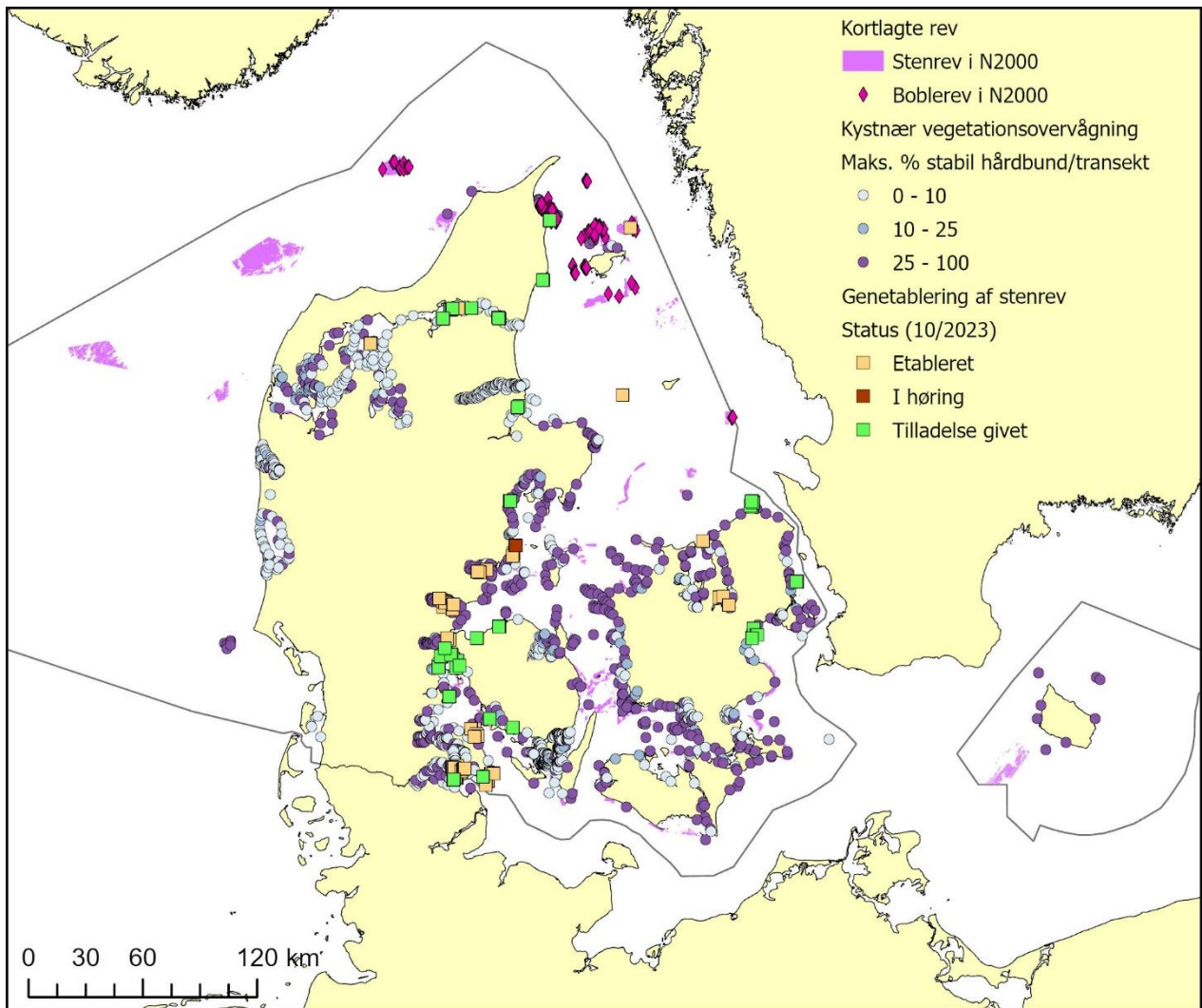
Stenrev er som den øvrige del af havbunden i Danmark, grundlagt under den sidste istid, Weichel-istiden. Isens bevægelser og afsmeltning formede, medbragte og aflejrede de materialer, som danner grundlag for havbunden de fleste steder i danske farvande. Erosion, sedimentation og biologisk aktivitet under skiftende vandstands- og klimaforhold har efter istiden dannet den havbund, vi kender i form af rev, banker af ler eller sand og grus, flade bunde formet af smeltevandsaflejringer, mudrede bund på dybt vand samt fjorde og dybe render. Rev kan yderligere opdeles i stenrev, som består af samlinger af løse sten eller revforekomster af grundfjeld, som kendes fra Bornholm, eller kalkrev, som kendes fra Stevns, Møn og Fornæs.

Kendte stenrev

Stenrev findes mange steder i de danske havområder. Gennem årene har man lokaliseret en del dybere liggende, større stenrev som findes helt fra det højsaline Skagerrak til Østersøen omkring Bornholm. Nielsen & Lundgreen (2019) nævner 44 dybereliggende stenrev, men siden er flere kommet til i forbindelse med opmålinger af havbunden, særligt i Skagerrak og Kattegat. Hertil kommer mange mindre rev på lavt vand langs vores kyststrækninger. Og de senere år der er etableret og givet tilladelse til etablering af stenrev flere steder, omfattende både genopretning af stenrev og etablering af formidlingsrev mm.

Implementering af habitatdirektivet medførte en kortlægning af naturtyper i de såkaldte habitatområder. Dette omfattede blandt andet naturtypen stenrev. Kortlægningen blev gennemført af GEUS og var baseret på akustiske opmålinger af overfladesedimentet. Arealer med stenrev blev også vurderet i de øvrige danske farvande ud fra daværende tilgængelige data, hvor der udenfor habitatområderne var betydelig usikkerhed da kortlægningsintensiteten her var mindre (Al-Hamdani, 2018). Ud fra denne sammenstilling blev det estimeret, at der pt. er i størrelsesordenen 10.000 km² hård bund på det danske søterritorium, hvoraf de 2.000 km² opfylder kriterierne for naturtypen 1170 rev (Helmig et al. 2020).

Kortet nedenfor (Figur 2) viser fordelingen af registrerede stenrev i Natura2000 områder, naturgenoprettede stenrev og andre revlignende formationer, herunder stenforekomster langs kystnære vegetationstransekter (både blødbund og hårbund) i danske farvande. Langs dele af de kystnære vegetationstransekter, vil der forekomme strækninger som lever op definitionen af et stenrev (mindst 25% dækning af sten).



Figur 2. Placering af kystnære vegetationstransekter, dybder med større stenrev, boblerev og områder hvor der er etableret eller givet tilladelse til genetablering af stenrev. Stenrev og boblerev er kortlagt i Natura2000 områder. Stationer i kystnære områder hvor der overvåges undervandsvegetation langs transekter vises som punktet med den højeste dækningsgrad af stabil hård bund per transekt. Transekterne er placeret i områder med varierende dækning af hård bund. Transekter med mere end minimum 25% hård bund lever op til definitionen på stenrev. Kortet er baseret på data fra det marine overvågningsprogram (NOVANA) samt informationer om kortlagte dybe samt genoprettede stenrev. På figuren er også vist Anholt havvindmøllepark man har etableret et stenrev.

3. Stenfiskeri – opgørelse af historiske stenrev

Sten på havbunden er blevet udnyttet til kystnære anlæg som fæstningsanlæg, havne, kystbeskyttelse og som erosionsbeskyttelse ved andre marine anlægsopgaver. Behovet for sten voksede markant med udbygningen af den danske kystinfrastruktur. Den proces startede i 1800-tallet og fra omkring 1870 blev der indsamlet mange sten til anlæg af et stort antal fiskerihavne og transporthavne langs de danske kyster, også på mindre øer. Siden den økonomiske velstand tog fart fra 1960'erne, er yderligere mange lystbådehavne kommet til. Stenfiskeri blev endeligt forbudt med ændring af råstofloven i 2009, men fra 1999 var erhvervet stærkt reguleret. Kun et mindre antal råstofområder var udlagt og der var en begrænsning til kun at udføre reparationsopgaver på eksisterende konstruktioner (Helmig et al. 2020).

Stenfiskeriets udførelse

Opfiskning af sten er primært foregået på vanddybder lavere end ca. 10 m (Stenberg et al. 2015; Helmig et al. 2020). Stenfiskeriet fandt først sted fra fiskerbåde på det helt lave vand, hvor man kunne se stenene og styre en tang ned fra skibsdækket og gribe om dem. Med det stigende behov blev erhvervet også mere specialiseret. Større både kom i anvendelse, mekaniseringen kom til og dykkere blev anvendt til at styre stentangen på havbunden, så man kunne nå sten, som ikke kunne ses eller tages fra overfladen. Brugen af dykkere og datidens teknologi satte imidlertid også en begrænsning for hvor råstofindvindingen fandt sted, hvilket typisk var begrænset til ca. 10 meters dybde

Når stenene skulle tages op, lå skibet for anker, og man kunne kun nå de sten, der lå lige under båden. Når de var taget, eller der ikke var sten i den rette størrelse, firedede man af på ankeret og prøvede et nyt sted, hvor vind og strøm tog skibet. Når ankerlinen var brugt, sejlede man frem og startede på ny. Brugte man en dykker, gik denne nede på havbunden og skubbede rundt på en stor stentang. Arbejdet med at opfiske sten er fint beskrevet af en tidligere stenfisker, som bl.a. arbejdede med at etablere Hundested Havn ([\(18\) Hunderevet ved Hundested - YouTube](#)).

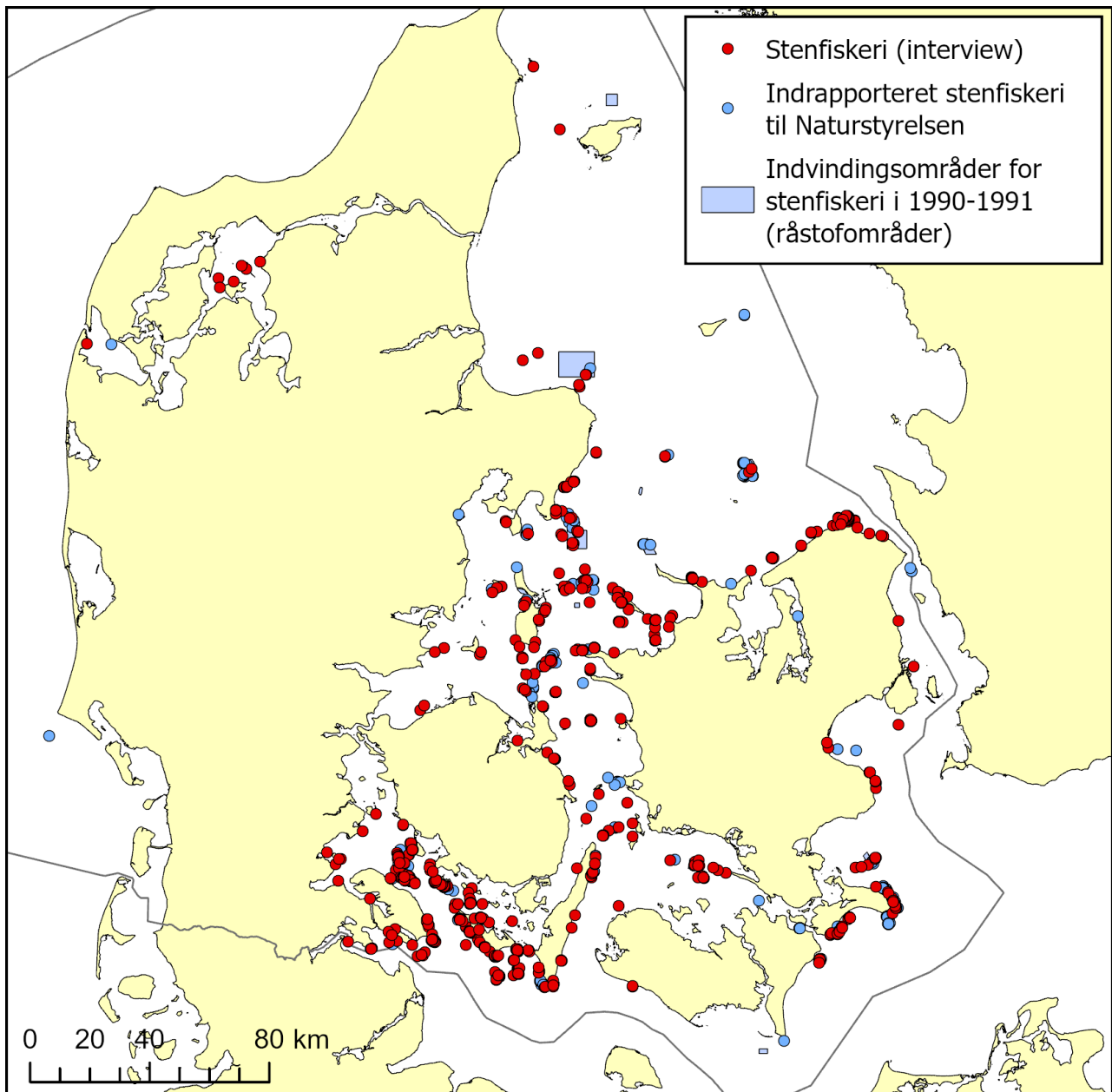
Opgørelser over stenfiskeri

Metoden for stenfiskeriet giver en indsigt i hvilke områder der potentielt blev udnyttet og hvordan bunden blev efterladt efter råstofindvindingen (se f.eks. Reenberg et al. 2023). De sten, som havde erhvervets interesse, var større sten, som har kunnet skabe stabile konstruktioner langs kysterne, hvor der er stor fysisk påvirkning fra bølger.

I forbindelse med råstofindvinding fjernes stadig såkaldt ralbund, hvilket kan omfatte sten op til en diameter på 30 cm. Derudover er der en ikke uvæsentlig bifangst af sten i varierende størrelse i forbindelse med muslingeskrab. Det er dog et krav i tilladelserne til muslingeskrab, at sten over 2 kg skal genudlægges, hvor de er fisket. Derudover henlægges alle sten i områder, hvor der er genudlægning af undermålsmuslinger.

Frem til den sidste del af stenfiskeri-perioden er vores viden om stenrevenes udbredelse og kvalitet (i form af større sten) størst på lavt vand, hvor man har kunnet se revene. Senere er sidescan sonar (akustisk metode) blevet almindelig også til råstofkortlægning og har gjort det muligt også at kortlægge stenforekomster på dybere vand.

Et tidligere projekt har, på baggrund af interviews med tidligere stenfiskere samt registreringer fra Skov og Naturstyrelsen efter 1991, lavet et oversigtskort over de danske farvande og de områder, hvor der er registreret stenfiskeri (Figur 3). Oversigten er ufuldstændig og vil blive opdateret i takt med, at der tilkommer flere oplysninger om stenfiskeri. På kortet fremgår det f.eks. ikke, at der var stenfiskeri i den sydlige del af Roskilde Fjord, men lokale fiskere beretter om stenfiskeri i 1960'erne. Der er derfor grund til at formode, at kortlægningen af stenfiskeriet i Danmark indtil videre overser mange steder, hvor stenfiskeri fandt sted.



Figur 3. Oversigt over områder hvor der er registreret stenfiskeri i Danmark. De røde punkter er stenfiskeri foretaget hovedsageligt af én stenfisker, H.V. Christensen på "Asta", fra 1967-1999 og i mindre grad andre stenfiskere. De blå punkter er indrapporeret stenfiskeri til Naturstyrelsen 1990-2002. De blå arealer er indvindingsområder for stenfiskeri i 1990-1991. Figuren er baseret på data fra projektet "RevFisk" (Stenberg & Kristensen, 2015).

Udover ovenstående opsummering er vores viden om stenrevenes udbredelse og stentætheder før de blev udnyttet begrænset, og i nogle områder er der angivelse af hvor mange sten der er fjernet. Der er også ukendte lokaliteter, hvor stenfiskeri fandt sted, men som ikke fremgår af kortet. F.eks. har lokale fiskere fortalt, at der var stenfiskeri i den sydlige del af Roskilde Fjord. Det viser, at den nuværende kortlægning af stenfiskeri er ufuldstændig. Et meget forsigtigt skøn fra Naturstyrelsen tilbage i 00'erne var, at der i de foregående 50 år var blevet fjernet 40 km² stenoverflade fra stenrev i kystnære danske farvande (Dahl et al., 2003).

Ved at sammenholde kortlægningen af nuværende stenrev med historiske optegnelser af stenrev og logbøger fra stenfiskere, har man senere lavet et groft skøn over omfanget af stenfiskeri. Det tyder på, at man i perioden 1900 til 1999 har fjernet ca. 8,3 mio. kubikmeter sten fra de kystnære

områder ned til 10 meters vanddybde svarende til et samlet areal på ca. 55 km² (Helmig et al. 2020). Denne opgørelse inkluderer ikke sten, der er fjernet fra kysten f.eks. ved lavvande inden 1900 og inkluderer heller ikke tab af sten i forbindelse med råstofindvinding (småsten benævnt som ral) og et ukendt antal mindre sten fjernet ved muslingeskrab. Så det tabte areal er givetvis betydeligt større.

Effekter af stenfiskeri

Når man tænker på de udfordringer og begrænsninger, der har været ved stenfiskeriet, er det rimeligt at antage, at fiskeri efter sten aldrig har efterladt en lokalitet helt uden sten. Dette argument understøttes af personlige skildringer fra tidligere stenfiskere. Stenrev er derfor blevet forarmet med færre sten og især færre store sten og på lavt vand, da sten på lavere vanddybder var lettest at tage.

Effekten af et forarmet stenrev kan være en større fraktion af sten som ikke længere ligger stabilt i forhold til bølger og strøm. Det vil betyde yderligere erosion af lokaliteten, som f.eks. ved Læsø Trindel (Dahl & Lundsteen 2010). Færre sten betyder også færre levesteder for fasthæftede dyr og makroalger, dvs. tangskoven bliver tilsvarende forarmet. Ustabile substrater favoriserer opportunistiske algearter og bunddyr og reducerer biomassen af flerårige algearter (uddybes i næste afsnit). Dominans af etårige makroalger giver en hurtigere nedbrydning og dermed et øget lokalt iltforbrug sammenlignet med dominans af flerårige alger. Endelig vil en sænkning af revets top betyde mindre lys og mindre fysisk påvirkning, hvilket har indflydelse på artssammensætningen og tætheder af bestandene på revet (uddybes i næste afsnit).

4. Betydning af miljøforhold for livet på stenrev

Udbredelse, tæthed og sammensætning af makroalger og fastsiddende dyr på stenrev varierer ganske betragteligt afhængigt af de herskende miljøforhold og dybden hvorpå stenrevet ligger (Dahl et al. 2003). Hertil kommer at konkurrence om plads, græsning og prædation kan have stor betydning for udvikling af dyre og plantelivet på stenrevene (Lobban & Harrison 1990). Dette afsnit gennemgår betydningen af en række miljøforhold for livet på stenrev.

Sediment type

Naturlige stenrev, dvs. stensamlinger der rejser sig fra den omkringliggende havbund, er under danske forhold kendetegnet ved en stor variation i stenstørrelser, materiale, tætheder og dybdefordeling (Stenberg & Kristensen, 2015). Disse forhold gør, at der er stor forskel på stabiliteten af stenrev, som er meget vigtigt for hvilke samfund af fastsiddende makroalger og dyr, man kan forvente (Dahl & Lundsteen 2010). Ustabilt substrat er typisk domineret af opportunistiske, hurtigt voksende arter og kun mindre (unge) individer af flerårige arter (Dahl & Lundsteen 2010). Til sammenligning udvikler stabile substrater under gunstige miljøforhold, generelt biologiske klimakssamfund med betydeligt større biomasse domineret af flerårige arter (Sousa 1979; Dahl & Lundsteen 2010; Carstensen & Dahl 2019) (Figur 4).



Figur 4. Betydning af substrat stabilitet for udvikling af algesamfund. Til venstre (Læsø trindel 6m i 2007 før naturgenopretningsprojektet) ses et samfund domineret af opportunistiske hurtigt voksende algearter, herunder strengetang (*Chorda Filum*) som er karakterart for ustabil bund. Til højre ses samme lokalitet i 2021 (13 år efter genopretningen af revet), her domineret af store flerårige brunalger. Fotos: Karsten Dahl.

Betydningen af substratstabiliteten for hårbundsflora og -fauna, antages at være relateret til forskelle og tilpasninger i arternes morfologi og livshistorie, som påvirker etablering og overlevelse, og dermed også arternes evne til at konkurrere om plads (Littler and Littler 1984, Malm & Isæus 2005).

Den nationale overvågning viser, at tætte stenforekomster, med sten >30 cm diameter, udgør et stabilt substrat på bølgeeksponerede lavvandede stenrev i åbne farvande. Her finder man typisk betydeligt større tætheder af flerårige makroalger. De samme arter kan dog godt forekomme på mindre sten ned til omkring 5 cm på dybere vand i nærområdet (Svendsen et al., 2022). Stenstørrelsen betyder dermed mindre på dybere vand med mindre bølge- og strømeksposering.

Samspillet mellem stenstørrelse, fysisk eksponering og substratstabilitet bør derfor tages med i betragtning ved valg af stenmaterialer og udformning af et stenrev. Hertil kommer, at det er afgørende at sikre sig, at havbunden i det område man ønsker at etablere et stenrev i, kan bære vægten af de udlagte sten. Selvom der historisk måske har været et stenrev i området, kan aflejring af store mængder organisk materiale eller erosion have reduceret havbundens bæreevne.

Fysisk eksponering

Fysisk eksponering i form af bølgeenergi og lokale strømforhold kan have stor betydning for fordelingen af vegetation og dyr på stenrev (Carstensen & Dahl, 2019). Forskelle i arternes evne til at modstå slitage og afbrækning kan således påvirke artssammensætning og tætheder. Det er f.eks. velkendt, at høj bølgeenergi fremmer kraftige makroalgearter som f.eks. savtang og *Laminaria* arter, da disse er i stand til at modstå slid og besidder evnen til at holde sig fast på en stenflade (Thomsen & Wernberg 2005). Hvis de øvrige miljøforhold tillader vækst af de store flerårige makroalger, vil disse i høj grad forme det øvrige samfund af makroalger på sten med stor fysisk eksponering. Det sker dels via udskygning og konkurrence om plads, og dels via den fysiske påvirkning som algerne udøver på de mindre alger (Carpenter 1990). På lavt vand kan den fysiske eksponering dog være så høj, at det markant reducerer tætheden af makroalger og hårbundsfauna. Omvendt vil vandområder med stillestående vand og begrænset vandudveksling begrænse algernes vækst ved at øge grænselaget omkring algerne (Raven & Hurd, 2012), hvilket nedsætter al-

gernes optag af næringsstoffer og udveksling af ilt og CO₂. Da områder med stillestående vand typisk vil være i dybereliggende områder, vil udbredelse og tæthed af makroalger her forventeligt være mere begrænset af andre miljøforhold (lys, iltsvind). Desuden vil områder med meget stillestående vand (lav fysisk eksponering) være områder med stor ophobning af organisk materiale og dermed en blød mudderbund.

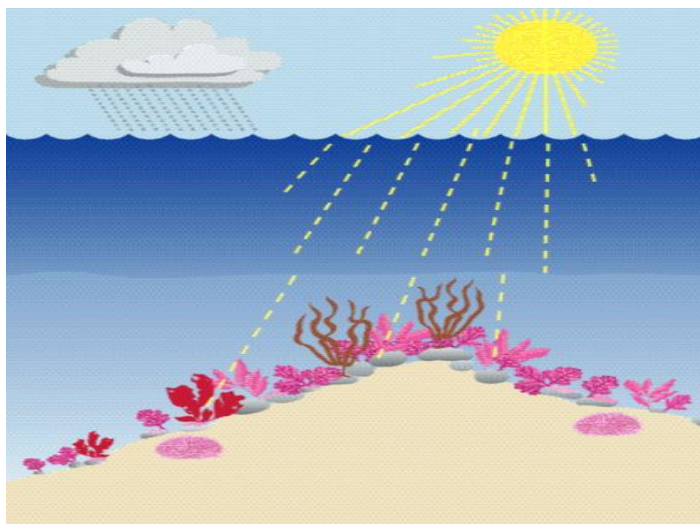
Det giver derfor mening at placere et stenrev i områder med god vandudveksling, men ikke i områder og på dybder med meget høj fysisk eksponering (f.eks. lavt vand langs meget eksponerede kyster), hvis man ønsker at fremme makroalger og det tilknyttede dyreliv. Langs vestkysten er der ingen stenrev, på nær nogle få dybere liggende rev omkring Rødgrund ud for Hirtshals. Her er kystzonen domineret af sand og grus med mindre sten, som er ustabile og uegnede til etablering af makroalger.

Lys

Lysintensiteten på en given dybde har afgørende betydning for, om stenenes overflader er domineret af makroalger eller fastsiddende fauna. Lysintensiteten, målt som antal fotoner per m² per sekund, på en given dybde afhænger af overfladeindstrålingen og vandets klarhed. Makroalgerne udnytter den del af lysspektret som ligger mellem 400-700 nm, også kaldet det fotosyntetisk aktive lys (Harrison & Lobban 1990). Lysindstrålingen på havbunden afhænger dels af overfladeindstrålingen, som varierer over året og i løbet af dagen, dels vandets klarhed, som er resultat af forhold i vandsøjlen som påvirker lyssvækkelsen på forskellig vis:

- Mængden af suspenderet sediment, detritus og opløst organisk materiale
- Planteplanktonkoncentrationen som øges med tilførsel af næringsstoffer
- Vandets egen lysabsorption og -spredning

Lysintensiteten på havbunden har afgørende betydning for sammensætning og tæthed af makroalger på forskellige vanddybder. Dette skyldes, at makroalgearterne er tilpasset forskellige lysmiljøer. Hvor der er rigeligt med lys, ser man derfor ofte, at en flerlaget tangskov udvikler sig på revet (Figur 5).



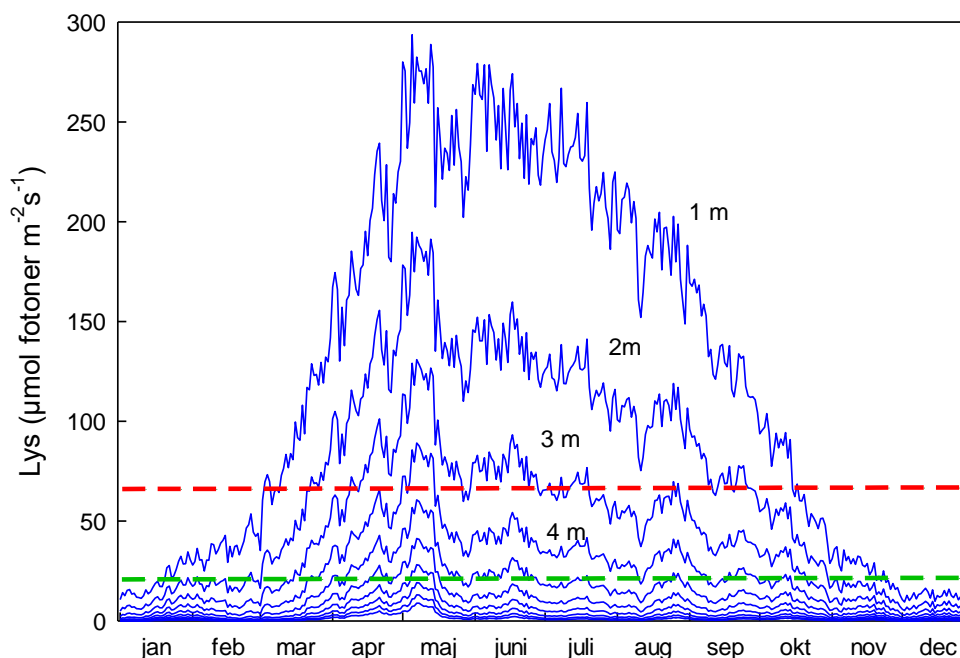
Figur 5. Flerlaget tangvegetation med større og mindre islæt af store brunalger findes på dybder med meget til moderat lys og ikke for stor eksponering. Vegetationen aftager med stigende dybde og bliver helt domineret af rødalger, og skorpeformede alger med faldende lysniveau indtil vegetationsdækket ophører.

Øverst findes arter med et stort lysbehov. I skyggen af disse kan der være flere lag af andre arter som trives godt. En del af forklaringen på denne systematiske ændring med dybden er, at forskellige makroalger har forskellige lysbehov, beskrevet ved deres minimum lyskrav som er nødvendige for at algerne kan overleve og vokse (Tabel 1).

Makroalgetype	Minimumslyskrav ($\mu\text{mol fotoner m}^{-2} \text{s}^{-1}$)		
	min	maks	middel
Flerårig tyk brunalge (Savtang)	46	112	69
Flerårig brunalge (Sargassotang)	46	162	101
Etårig rød trådalge (Polysiphonia sp.)	37	64	51
Tynd etårige alger (Søsalat)	23	82	42
Alle arter			66

Tabel 1. Makroalgernes minimum lyskrav for at kunne vokse og etablere sig varierer mellem forskellige typer af makroalger. Data repræsenterer hele individer baseret på målinger af Mette M. Nielsen og er hentet fra Stæhr et al. (2020).

De minimum lyskrav, som er vist i tabel 1, er baseret på data fra danske stenrev. De stemmer fint overens med tidligere værdier for blandede makroalgесamfund på $40\text{-}226 \mu\text{mol fotoner m}^{-2} \text{s}^{-1}$ med en medianværdi på $106 \mu\text{mol fotoner m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Binzer & Sand-Jensen 2006). Minimum lyskravet er i mange tidligere undersøgelser bestemt ud fra målinger på de mest friske bladele (thalli), som har et meget lavere lyskrav på mellem $10\text{-}20 \mu\text{mol fotoner m}^{-2} \text{s}^{-1}$ og repræsenterer sunde veletablerede makroalgers skudspidser, men ikke for hele planter (Binzer & Sand-Jensen 2006, Boderskov & Krause-Jensen 2022). I forbindelse med etablering af stenrev giver det derfor mest mening at anvende lyskrav for hele planter da disse ved etablering og opvækst generelt har et højere lyskrav. Kombinationen af varierende solindstråling og ændringer i lyssvækkelse (vandets klarhed) gør, at lystilgængeligheden varierer over året, og med dybden. Et eksempel på dette er vist fra Løgstør bredning i Limfjorden (Figur 6).



Figur 6. Lysintensiteten på forskellige dybder i Løgstør Bredning (blå kurver). Data er baseret på information om overflade lysindstråling og lys svækkelses-værdier (vandets klarhed). Minimum lyskrav (mindste lysniveau hvor algerne kan vokse) for flerårige makroalger er vist ved en grøn (bladstykker) og rød linje (hele planter). Figuren er lavet af Stieg Markager og hentet fra Stæhr et al. (2020).

For eksemplet fra Løgstør Bredning (Figur 6) vil der med et konservativt skøn (lyskrav for hele planter – rød linje) kun være tilstrækkeligt lys til at flerårige makroalger kan vokse på dybder lavere end 3 meter i perioden april til juni. Dette ses ved at lysniveauet (blå kurver) falder under den røde linje udenfor denne periode. Det antages normalt, at lyskravet (mere lys end minimumslys niveauet) skal være opfyldt i hele vækstsæsonen (marts til oktober). I Løgstør Bredning er dette kun tilfældet for sten på under ca. 3 meters dybde i sommerperioden, hvilket passer fint med observationer af makroalger i systemet.

Forskellige lyskrav gør, at lystilgængeligheden i høj grad afgør af hvordan algesamfundene ændrer sig med dybden. Flerlaget tangskov med stor tæthed og et højt lyskrav, dominerer således typisk hvor lysforholdene er gode. Med stigende dybde bliver vegetationslaget tyndere og domineret af alger med et lavere lyskrav, typisk rødalger og til sidst kun skorpedannende alger (Figur 5). I takt med at vegetationen udtyndes bliver bevoksningen på stenene i stigende grad domineret af fastsiddende fauna (Dahl et al. 2003). Udtyndingen af vegetationen med dybden stemmer fint overens med eksperimentelle undersøgelser som viser at tætte vegetationsbede har et højere lyskrav (pga. selvskygning) end sparsomt bevoksede bede (Binzer & Sand-Jensen, 2002).

Da stenrev primært er fjernet i den fotiske zone, og under ca 10 m dybde, vil formålet med at genoprette et stenrev ofte vil være at styrke udbredelsen af flerårige makroalger. For de fleste projekter vil det derfor være vigtigt at vurdere om lysintensiteten på de dybder man ønsker at etablere stenrevet på, er tilstrækkelig til at understøtte vækst og overlevelse af algerne. Dette kan med nogen sikkerhed vurderes ud fra information om lysforholdene på lokaliteten. Ved at kende middel-lysindstrålingen i vækstsæsonen, vandets gennemsnitlige klarhed (lyssvækkelseskoefficienten – K_d) i vækstsæsonen, og algernes minimum lyskrav kan man komme med en hurtig vurdering af områdets egnethed til etablering af makroalger. Middel-lysindstrålingen ved vandoverfladen (I_0) er for vækstsæsonen (april-oktober middel af 10 år i Danmark) på $384 \mu\text{mol fotoner m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ i vækstsæsonen (middel af 10 års sommermålinger), K_d værdier i danske fjord- og kystområder varierer typisk mellem $0.2-0.8 \text{ m}^{-1}$ svarende til en sigt dybde mellem ca. 10 m og 2.5 m.

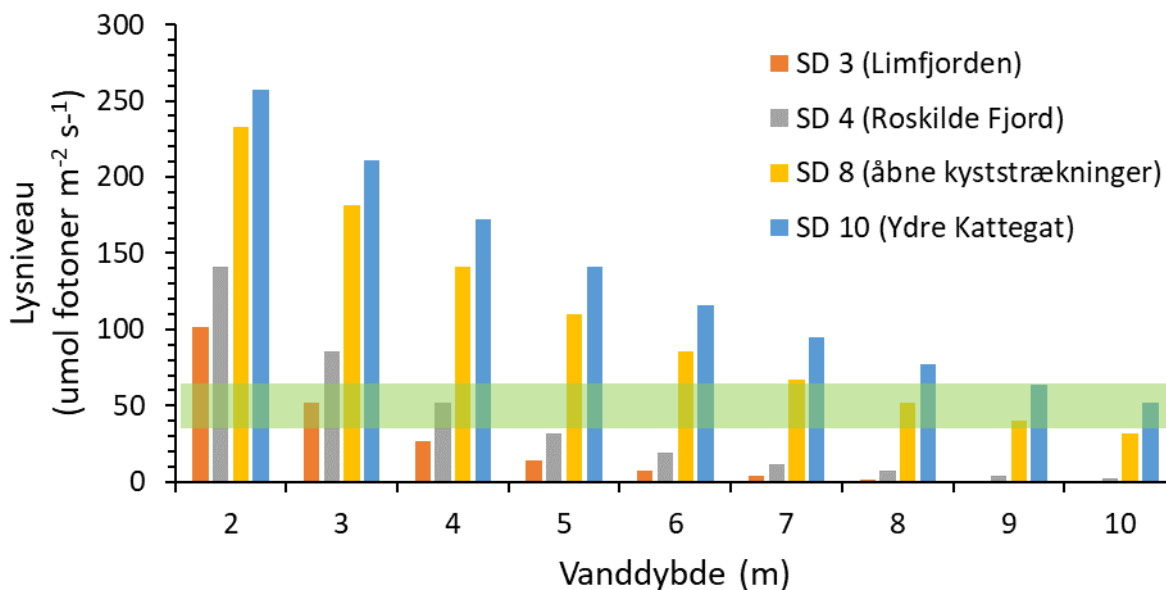
Lysniveauet (I) på en given lokalitet og dybde (z) kan så beregnes som:

$$I_z = I_0 \times \exp(-K_d \times z).$$

Hvis K_d er 0.7 (3 m sigt dybde) og dybden er 3 m, er $I_z = 384 \times \exp(-0.7 \times 3) = 52 \mu\text{mol fotoner m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Dette er lige i underkanten af lyskravet på $66 \mu\text{mol fotoner m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ angivet i tabel 1, og man kan derfor forvente et stenrev som er domineret af tynde etårige alger med et lavt lyskrav hvis revets top er på 3 m dybde.

Vi har lavet tilsvarende beregninger til at sammenligne lysforhold i forskellige typer af kystfarvande/dybder med lyskravet for makroalger (Figur 7).



Figur 7. Lysniveau (middel af vækstsæsonen) med stigende dybde for forskellige fjorde og kystvande, som repræsenterer forskelle i vandets klarhed (sigtdybde (m), SD). Den grønne søjle indikerer minimumslyskravet for makroalger med nedre grænse svarende til de tynde grønalger og trådalger og den øvre svarende til flerårige makroalger (se Tabel 1). Figuren er baseret på data fra det marine overvågningsprogram.

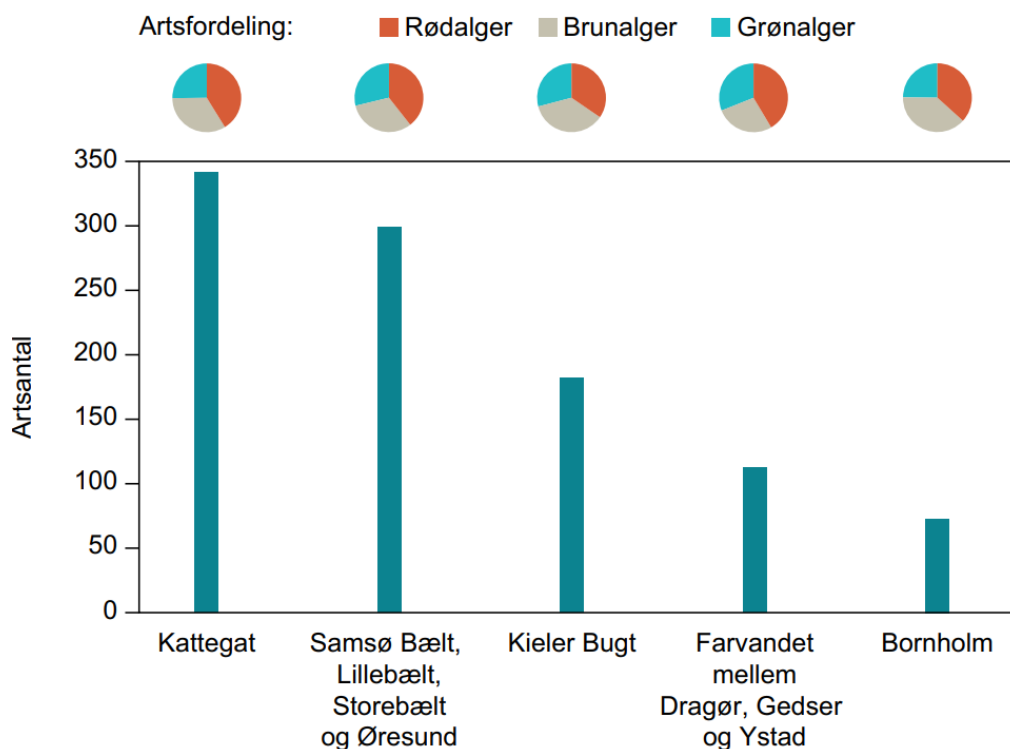
Ud fra Figur 7, kan man hurtigt slutte at man ikke kan forvente tætte levedygtige bestande af flerårige makroalger i f.eks. Limfjorden, hvis man etablerer stenrev på dybder større end 3 meter. Til sammenligning vil man i det ydre Kattegat (f.eks. omkring Læsø) forvente levedygtige flerårige makroalger helt ned til ca. 10 m dybde. Disse simple beregninger stemmer fint overens med observationer af makroalger fra den nationale overvågning af stenrev samt observation fra Livø-revet i Limfjorden.

Denne simple beregningsmodel, forudsætter at man har gode data for vandets klarhed (K_d) i det område, man ønsker at etablere et stenrev i. Data for K_d kan i mange områder hentes fra det nationale marine overvågningsprogram. Det er dog værd at nævne, at de målinger der ligger til grund for disse data, typisk stammer fra målestationer som ligger ude i de dybere dele af vandområderne. Målinger af K_d langs gradienter i kystnære systemer (F.eks. Limfjorden og Roskilde fjord), viser dog at K_d kan være betydeligt højere inde på lavere vand, tættere på kysten. Dette skyldes primært at bølgeenergi medfører en ophvirvling af aflejret organisk materiale og sand i vandsøjlen (Stæhr et al. 2020, Stæhr et al. 2018).

Det kan derfor anbefales, at man i forbindelse med afklaring af et områdes egnethed til genopretning af stenrev, gennemfører lokale målinger af vandets klarhed over en periode. Metoder til dette er beskrevet i Markager (2004). Alternativt og som et supplement kan man ud fra forekomst af makroalger på eksisterende stenflader på forskellige vanddybder i området, vurdere om lysforholdene er egnede, der hvor man påtænker at etablere stenrev.

Saltholdighed

Saliniteten varierer betydeligt gennem danske farvande fra fuldt salint vand (35 psu) i Nordsøen til brakvand (< 10 psu) i Østersøen. Udløb fra vandløb i indre dele af fjordene gør at saliniteten stiger mod udmundingen. F.eks. er saliniteten ca. 10 psu i den indre del af Roskilde fjord og stiger til omkring 20 psu ved udmundingen til Kattegat. Variationer i saltholdighed og forskelle i organismernes salinitetstolerance, kan være med til at forme revenes biologiske sammensætning. Dette er både relevant for makroalger (Figur 8) og dyrene.



Figur 8. Identificeret antal arter af makroalger og fordeling på brun-, rød- og grønalger i forskellige danske farvandsafsnit (Dahl et al. 2003, baseret på Nielsen et al. 1995).

Grundet forskelle i arternes tolerance overfor særligt lave saltholdigheder, falder artsantallet gradvist fra høj saline til lavsaline områder (Figur 8). Dette gælder både makroalgerne (Nielsen et al. 1995, Middelboe et al. 1997), blødbundsfaunaen (Josefsen & Hansen 2004) og for stenrev som helhed (Stæhr et al. 2022). I dybere vandområder forekommer ofte en lagdeling, hvor overfladevandet har lavere saltholdighed end bundvandet. På stenrev i de dybere dele af Kattegat, som oplever mere permanent lagdeling, kan man nogen steder se markante forskelle i dybdeudbredelsen af arter knyttet til vertikale forskelle i salinitet. Nogle arter, herunder makroalger, udviser en ganske stor tolerance overfor forskelle i salinitet. Dette gælder flere arter indenfor rødalgerne f.eks. gaffeltang (*Furcellaria lumbicalis*), carrageentang (*Chondrus crispus*), kile-rødblåd (*Coccolytus truncatus*) og blodrød ribbeblad (*Delesseria sanguinea*). Arterne kan dog markant ændre form og findes typisk som dværgformer når saliniteten er lav (Dahl 2003). Tilsvarende er blåmuslinger også betydeligt mindre i det lavsaline Østersøområde sammenlignet med mere salte farvande som f.eks. Limfjorden. Faldet i antallet af arter mod lavsaline områder påvirker også konkurrenceforholdet mellem de tilbageværende arter. Eksempelvis kan *Fucus vesiculosus* vokse dybere i lavsaline områder fordi der er færre konkurrenter (Torn et al. 2006).

Saliniteten påvirker ikke alene makroalgerne evne til at overleve men også den bundfauna, der græsser på algerne eller som konkurrerer med algerne om pladsen på det hårde substrat (dvs. på stenene). Det grønne søpindsvin (*Strongylocentrotus droebachiensis*), der kan forårsage betydelige skader på tangskove, kan ikke trives under 22-24 psu (Roller & Stickles 1985). Almindelig søstjerne (*Asterias rubens*), som er blåmuslingernes (*Mytilus edulis*) væsentligste rovdyr, kan som voksne tolerere store variationer i salinitet men har svært ved at reproducere sig under ca. 15 psu (Casties et al. 2015). Derfor har blåmuslinger bedre mulighed for at brede sig, hvis saliniteten er lav. Saliniteten påvirker dermed konkurrenceforholdet mellem f.eks. blåmuslinger og makroalgerne om pladsen på de hårde substrater (blåmuslinger har en fordel af lavere salinitet).

Selvom der kan forventes færre arter eller dværglignede former i de mere lavsaline havområder, betyder det ikke, at områder med lav saltholdighed ikke er egnede til genetablering af stenrev. Men det har selvfølgelig indflydelse på, hvilke arter man kan forvente at etablere sig, og dermed også hvilke samfund og biomasse der kan etableres. Samtidig vil lavsaline forhold i danske fjorde være ensbetydende med, at man er tættere på ferskvandsudløb som giver en kombineret salt- og eutrofieringsgradient ud igennem fjordene. Denne kombination af lav saltholdighed og dårlige lysforhold pga. eutrofiering i de inderste dele af danske fjorde medfører, at stabile makroalgesamfund har svært ved at etablere sig og at det derfor sjældent vil være særligt succesfuldt at reetablere stenrev inderst i fjordene, hvis intentionen er at få et rev med store flerårige makroalger.

Vandtemperatur

Alle organismer og biogeokemiske processer udviser en stærk temperaturafhængighed. Både planter og dyr har over evolutionær tidsskala tilpasset og optimeret deres vækst, reproduktion og overlevelse til et span af temperaturer, og mange arter udviser desuden en evne til via fysiologiske mekanismer, at optimere i fht. sæsonmæssige variationer. Dette er f.eks. dokumenteret for flerårige havgræsser, makroalger og for hurtigt voksende mikroalger (Stæhr & Borum 2011, Stæhr & Wernberg 2009, Stæhr & Birkeland, 2006). Temperatur er således en vigtig miljøparameter, som sammen med andre miljøforhold påvirker arternes udbredelse og tæthed direkte via effekter på deres fysiologiske formåen, men også indirekte da temperaturen påvirker det indbyrdes konkurrenceforhold mellem arterne. Hertil kommer, at temperaturen påvirker organismerne ved at ændre på iltforholdene i vandsøjlen. Varmere vand indeholder mindre ilt end koldt vand, og opvarmning af en vandsøjle kan fremme og styrke en fysisk lagdeling, som fremmer udviklingen af iltsvind i de bundnære lag (Nordeman et al. 2015).

Gennem de sidste ca. 40 år er temperaturen i overfladevandet (0-10 m) i de indre danske farvande steget ca. 2°C (Hansen et al. 2023) svarende til en stigning på ca. 0.5°C per årti. Temperaturen forventes at fortsætte med at stige i takt med, at lufttemperaturen øges. Foruden den gradvise temperaturstigning, er der en kraftig stigning i antallet af marine hedeølger, særligt i lavvandede kystnære systemer (Borgman et al. 2021). Grundet forskelle i arternes temperatortolerance og -afhængighed, forventes stigende havtemperatur at få indflydelse på den biogeografiske fordeling af arterne, især der hvor de lever tæt på deres øvre grænse for varmetolerance (Smale et al. 2020). Et eksempel herpå er den store brunalge sukkertang (*Saccharina latissima*, Figur 9) som anses for at være en koldvandsart (Lee & Brinkhuis 1988). Arten er meget produktiv og kan på nogle stenrev træffes i så store forekomster, at den omtales som en habitatstrukturerende organisme af stor betydning for andre arter.



Figur 9. Sukkertang på et blandet stenrev "Hatter Barn" i et Natura 2000 område i det centrale Kattegat. Den store bladformede alge er sporofytstadiet. Foto: Peter Bondo Christensen.

Sukkertang findes i næsten alle danske farvande, og den er registreret ned til ca. 20 m vanddybde under gode vækstforhold. Sukkertang har en livscyklus med et stort bladformet stadie kaldet sporofyt og meget små hanlige og hunlige planter kaldet gametofytter. Det store bladformede stadie har en levetid på ca 3 år i danske farvande. Sporofytstadiets vækst hæmmes generelt ved temperaturer over 17 til 20 °C, og gametofytstadiet og unge individer af sporofytstadiet kan ikke overleve temperaturer over 22–23 °C (Lee & Brinkhuis 1988; Nepper-Davidsen et al. 2019). Et nyligt studie fra det sydlige Norge viste en stærk sammenhæng mellem tilbagegang af sukkertang og hyppigheden af marine hedebølger (Filbee-Dexter et al. 2020) og det samme kan være årsag til artens tilbagegang i Limfjorden (Nepper-Davidsen et al. 2019) som dog også tillægges konkurrence med den invasive art Sargassotang, primært om lys (Stæhr et al. 2019). Langs Norges kystlinje er områder med sukkertang gradvist blevet domineret af hurtigt voksende trådalger, hvilket blev tolket som en temperatureffekt (Moy & Christie 2012). På det seneste er tangskoven dog kommet delvist tilbage (længst mod nord og mod syd) formentlig pga. et reduceret græsningstryk fra (forskellige) krabber (Christie et al 2019). Studier fra andre lande indikerer, at varmere vand og særligt perioder med hedebølger påvirker etablering, vækst, og tæthed af flerårige makroalger. Omfattende studier fra Australiens vestkyst har således påvist, at de hurtigt-voksende og typisk mere varmetolerante trådalger vinder frem på bekostning af de langsommere-voksende brunalger (Wernberg 2021). Eftersom effekten af opvarmning og hedebølger slår kraftigst igennem i lavvandede indelukkede systemer med begrænset vandudveksling og høj næringssaltbelastning (mange danske fjorde og indre farvande), er høje temperaturer et forhold der bør overvejes i forbindelse med valg af lokaliteter til genetablering af stenrev. Rev etableret i flere danske fjorde (Livø i Limfjorden, Flensborg fjord og Vejle fjord) er selv flere år efter etableringen stadig domineret af trådalger med begrænset tilvækst af flerårige makroalger som sukkertang.

Mens placering af stenrev på relativt lavt vand er optimalt i forhold til algernes lyskrav, kan det lave vand således give en udfordring med ekstreme temperaturer, som forsinker og muligvis umuliggør etablering og vækst af nogle af de flerårige langsomt voksende arter, særligt koldtvalsarter som sukkertang. Ved udpegning af områdets egnethed til genetablering af stenrev, bør man derfor inddrage sandsynligheden for ekstreme temperaturer, særligt i dybdeintervallet 0 til 5 meter hvor lysforholdene tillader vækst af flerårige makroalger.

Problemstillingen med de hurtigt-voksende makroalger er, at de, i modsætning til de flerårige, ikke i samme omfang danner levesteder for hvirvelløse dyr (Dahl et al. 2003) og fisk (Pérez-Matus, & Shima 2010). Desuden nedbrydes de hurtigt-voksende makroalger også tilsvarende hurtigt om efteråret. Lokalt kan det medføre et forhøjet iltforbrug, hvor måtter af døde alger medfører iltsvind, som ses som et hvidt liglag på bunden (Peter Stæhr, pers obs) og er understøttet af feltstudier fra Løgstør Bredning (Stæhr et al. 2021).

Data fra det nationale marine overvågningsprogram, giver mulighed for at vurdere sæsonvariationer i vandtemperaturen på forskellige dybder. Ligesom med lyssvækkelsen bør det nævnes, at temperaturmålingerne generelt udføres på dybere vand et godt stykke væk fra kystlinjen hvor stenrev typisk etableres. Lokale studier med brug af temperatur-dataloggere fra bl.a. Roskilde fjord viser, at middeltemperaturen ikke er markant højere inde ved det lave vand, men at de daglige udsving i temperatur er ofte 2-3 gange højere på lavt vand (Stæhr et al. 2018). I Roskilde fjord varierede vandtemperaturen således dagligt ca. 2°C (min-maks) på 2 m vand mod ca. 0.8 °C på 4 m vand i perioden april – maj 2016. Dette viser, at der er markant større sandsynlighed for ekstreme og problematiske temperaturer på lavt vand (~2 m) end lidt dybere vand (~4 m).

De stigende temperaturer er således en potentiel vigtig faktor, som vil påvirke biologiske samfund og samspil fremadrettet. Hvis et område er kendetegnet ved meget høje sommertemperaturer, bør man derfor overveje at placere stenene på lidt dybere vand hvor, hvis lysforholdene tillader det.

Hvis der ikke forefindes data omkring variationer i vandtemperaturer på områder udpeget til gen-etablering af stenrev, bør man overveje at udsætte temperaturloggere på forskellige dybder hen over en sommer. Desuden, vil det altid være en god ide at indsamle dokumentation om forekomst af makroalger på eksisterende sten i lokalområdet og derved opnå en forståelse af hvilke typer af makroalger, der kan gro i området.

Uagtet at der kan være en temperatureffekt, vil udfordringen for etablering af flerårige makroalgeres primært være det uklare vand. I Vejle fjord har man f.eks. lagt stenrev ud en række steder fra inderfjorden mod udmundingen. Bevoksningen på revene viser tydeligt, at der er en skarp salt- og næringsstofgradient ud igennem fjorden, som gør yderfjorden langt mere velegnet til retablering af stenrev, hvis fokus er at skabe mest mulig tangskov (Rune Steifurth pers com).

Iltsvind

Hyppt og udbredt iltsvind i fjorde og de indre og lidt dybere dele af danske farvande er et resultat af mange års forhøjede tilførsler af næringsstoffer fra land kendt som eutrofiering. Eutrofiering har gennem det sidste århundrede øget produktionen af vandsøjles planteplankton, gjort vandet mere uklart og dermed reduceret lystilgængeligheden til bundvegetationen. Eutrofieringen har også ført til et skift fra langsomt-voksende bundplanter til hurtigt-voksende makroalger (Krause-Jensen et al. 2012, Riemann et al. 2016). Når havbunden tilføres meget let-omsætteligt organisk materiale fra planteplankton og etårige makroalger, stimuleres væksten af bakterier og bunddyr og disses iltforbrug. Særligt i vindstille og varme perioder med en lagdelt vandsøjle, kan der opstå lave iltkoncentrationer (iltsvind; $[O_2] < 4-6 \text{ mg L}^{-1}$) som kan være problematisk for både bunddyr og fisk (Townhill et al. 2017). Målinger samt modelstudier for danske farvande viser, at særligt aflukkede fjordsystemer er udsatte for iltsvind (Hansen & Rytter 2023, Schourup-Kristensen et al. 2023), og iltsvindsmonitoring viser, at arealet og omfanget af iltsvind er stigende trods årtiers indsat for at reducere tilførslen af næringsstoffer (Hansen & Rytter 2023). Afhængigt af iltsvindets omfang (hvor lang tid, og hvor lave ilt koncentrationer) kan det medføre omfattende død af bunddyr, bundplanter og fisk (Hansen & Rytter 2023).

I fht etablering af stenrev er det blevet fremført at stenrev med bevoksning af makroalger, reducerer sandsynligheden for iltsvind, da algerne dels binder næringsstoffer vækstsæsonen, men også gennem deres fotosyntese, ilter den omkringliggende havbund, hvilket reducerer frigivelsen af næringsstoffer herfra (Møhlenberg et al. 2008). Disse antagelser er efterfølgende blevet undersøgt i et større projekt i Løgstør Bredning i Limfjorden (Stæhr et al. 2020, Stæhr et al. 2021). Bidraget fra stenrevne viste sig dog at være minimalt, og svært at skelne fra iltproduktionen fra den film af mikroalger, der findes på mindre sten (Stæhr et al. 2021), og selv på lavt vand (< 4 m) omkring stenrevet blev der observeret kraftigt iltsvind i 2018. Der er således ikke meget, der tyder på, at lokale stenrev gør en væsentlig forskel på udbredelse og omfanget af iltsvind i eutrofierede marine vandområder især ikke hvis dårlige lysforhold forhindrer etablering af tangskov.

Betydningen af lave iltkoncentrationer for etablering, overlevelse og vækst af den marine flora og fauna knyttet til stenrev er dårligt belyst. For makroalger har man undersøgt forskellige arters tolerance overfor lave iltkoncentrationer, og fundet at kombinationen af forhøjede temperaturer og iltfrie forhold har en klar negativ effekt på algernes fotosyntese (dvs. iltproduktion), særligt de tykke og langsomt voksende arter (Stæhr et al. 2020). Dette understøtter tilsvarende studier for ålegræs, hvor også dødelighed og andre helbredsparametre viste markante negative effekter ved længerevarende iltsvind, særligt under høje (> 25°C) temperaturer (Pulido & Borum 2010). Eftersom makroalger også udviser en negativ fysiologisk respons til lave iltkoncentrationer, kan man forvente en negativ effekt af tilbagevendende iltsvind på tæthed af særligt flerårige makroalger. For fisk og anden mobil fauna er den negative effekt af iltsvind ($[O_2] < 6 \text{ mg L}^{-1}$) veldokumenteret (Jørgensen 1980) og kan ses på selv lavt vand (Figur 10).



Figur 10. I august 2018 blev der observeret et kraftigt iltsvind i Løgstør Bredning i Limfjorden. Iltsvindet spredte sig fra de dybere dele (>7 m) til lavt kystnært vand (3-4 m) hvor mobil fauna (strandkrabber, søpindsvin, søstjerner) forsøgte at undslippe ved at kravle op på toppen af et stenrev. Foto: Peter Stæhr.

Søpindsvin

Søpindsvin græsser på tang og kan medføre et alvorligt tab og forhindre etablering af særligt flerårige makroalger. Fjernelse af søpindsvin kan derfor være et vigtigt element i restaurering af makroalger på rev (Eger et al. 2022; Miller et al. 2022). Studier fra danske farvande viser store tætheder af søpindsvin (tangborre) omkring stenrev i Limfjorden, og gennemgang af monitoringsdata indikerer, at netop tangborren kan være en del af årsagen til den markant lavere dækning af flerårige makroalger i dette system (Carstensen & Dahl 2019). Fravær af større prædatorer som fx havodere, hummere og fisk blevet fremhævet som mulige forklaringer (se s. 89 i Hansen & Høgslund 2023). Selvom tangborren er omnivor, spiser den lystigt af makroalger (Pedersen et al. 2005), og har også forårsaget en kraftig nedgræsning af makroalger i Lillegrund nord for Samsø (Dahl et al. 2005). Undersøgelser af det grønne søpindsvin (*Strongylocentrotus droebachiensis*) har vist, at selv lave tætheder (>0,5- 1% dækning/m²) af det grønne søpindsvin fører til en alvorlig nedgræsning af makroalger på danske stenrev (Dahl & Carstensen 2008, Carstensen & Dahl 2019). Forekomst og tætheder af søpindsvin kan variere meget over tid og sted, og effekterne kan være meget lokale.

Man bør være opmærksom på tætheden af søpindsvin i forbindelse med supplerende forundersøgelser i et lokalområde udpeget til stenrev. Dette gælder især, hvis formålet med at etablere et stenrev er at danne en egentlig tangskov. Hvis udlægning af stenrev har andre formål, er forekomst af søpindsvin mindre vigtig. Givet store udsving i tæthed og udbredelse af søpindsvin udgør disse en presfaktor som det kan være svært at indhente gode data på ved vurdering af et områdes egnethed til naturgenopretning af stenrev.

Sammenfattende om miljøforhold

De biologiske samfund på stenrev i danske farvande er et resultat af mange miljøforhold, som i samspil med arternes indbyrdes konkurrence om resurser og plads sætter rammerne for, hvilke plante- og dyrearter der findes, deres tæthed og dominansforhold. Arterne har forskellige habitatkrav og tolerancer, og disse kan variere betydeligt i løbet af deres individuelle livshistorie. Livet på revene er derfor også meget dynamisk og varierer betydeligt med de gradienter i miljøforhold som eksisterer på revene. Der er således stor forskel på, hvilke arter der findes i den øvre belyste og nedre mørke del af et rev (se Figur 11). Fokus i denne rapport er på genopretning af stenrev i den belyste zone, da det primært er her stenfiskeriet har fjernet sten.

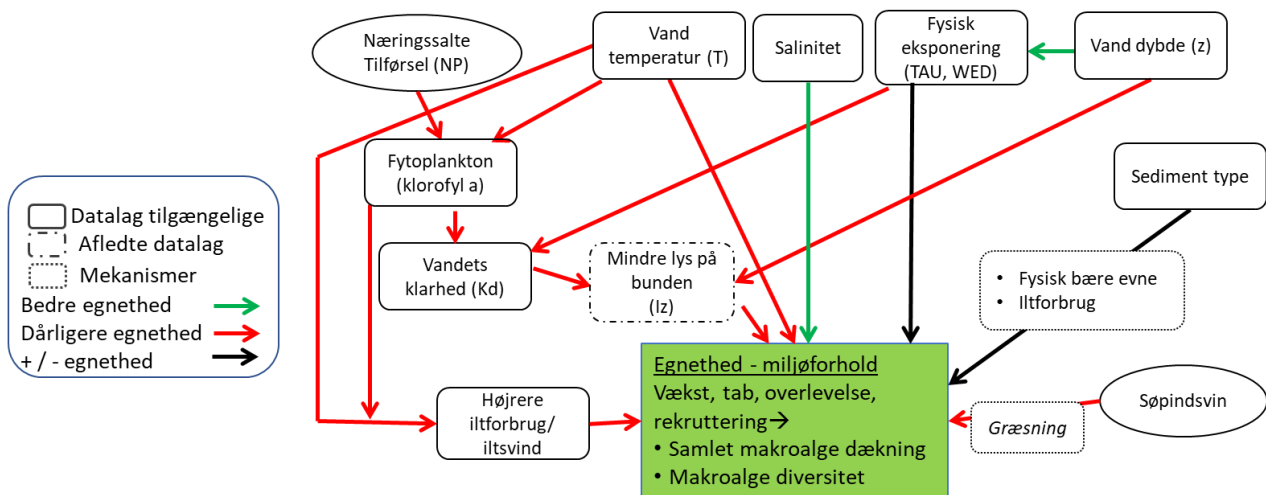


Figur 11. Flora og fauna knyttet til toppen og bunden af stenrevet "Kims top" i det centrale Kattegat. Til venstre (14 meters dybde) ses et rev domineret af store makroalger (*Laminaria digitata* og *Desmarestia aculeata* mv.). Til højre (22.5 meters dybde) ses at revet er domineret af dødningshånd (*Alcyonium digitatum*). Fotos af Karsten Dahl.

Ved genopretning af et rev vil de arter - som allerede findes på de sten, der måtte ligge tilbage i området, - fungere som donorer for etablering på nye hårdbundsarealer. Hertil kommer sporer og larver fra omkringliggende rev. Opportunistiske hurtigt-voksende arter har typisk en mere effektiv spredning og evne til at etablere sig, og disse vil derfor dominere revene kort efter anlæg. Hvis miljøforholdene er egnede, vil de langsommere-voksende flerårige arter gradvis vinde indpas. Dette successionsforløb er under danske forhold bedst belyst på Blue Reef revet nord for Læsø og undersøges nøje på udlagte stenrev i Vejle fjord. Erfaringerne herfra er, at det kan tage op til 5-10 år, før bestande af store brunalger (sukkertang og palmetang) opnår samme tæthed som i et referenceområde. Forskelle i de mange miljøforhold samt arternes tolerance herfor og indbyrdes samspil gør desuden, at successionen samt den endelige artsrigdom og tæthed af plante- og dyresamfund forventes at være markant forskellig mellem f.eks. stenrev i det ydre Kattegat og i Smålandsfarvandet.

Kompleksiteten af miljøforhold, arternes indbyrdes samspil, og betydningen af donor-bestande gør, at det kan være svært at forudsige hvilke samfund, der etableres over tid på et ny-udlagt stenrev. Eftersom der er tale om genopretning af stenrev, kan der fortsat ligge større sten tilbage på en lokalitet efter et stenfiskeri. Og livet omkring disse kan give et fingerpeg om, hvad der kan forventes, når indvandringen og udviklingen af et klimaks samfund (det endelige biologiske samfund) er etableret efter en årrække. Hvis der f.eks. ikke findes flerårige makroalger på efterladte sten i de ønskede dybder, så kommer de nok heller ikke på det nye rev. Hvis tiden tillader det, kan man i forbindelse med en forundersøgelse, udføre eksperimenter med at transplantere sten med makroalger fra lavere dybde, ud på de dybder hvor stenrevet ønskes placeret. Hvis algerne trives, er det en god indikation på en mulig succes.

Samlet set er der ingen tvivl om, at vandets klarhed i kombination med vanddybden, spiller en afgørende rolle for hvilke makroalger og vegetationstætheder man kan forvente på et udlagt stenrev. Hertil kommer at den gradvist faldende saltholdighed gennem danske farvande mod Østersøen eller fra åbne farvande og ind i fjordene har stor indflydelse på hvilke dyre- og plantearter, som vil kunne etableres på et rev. Nogle studier peger desuden på at tæthed af flerårige makroalger fremmer tæthed og rekruttering hos nogle rev tilknyttede fisk (Anderson 1994, Carr 1994). Andre studier viser dog at der alene ved udlægning af større sten sker en mange-dobling i antallet af større fisk, selv uden etablering af større makroalger (Svendsen et al. 2022). Samspillet mellem de forskellige miljøforhold der påvirker makroalger er illustreret i Figur 12.



Figur 12. Betydningen af miljøforhold for et områdes egnethed til genopretning af stenrev. Egnethed er i denne figur vurderet i fht. de forhold som påvirker den forventede dækning og sammensætning af makroalger på et stenrev. Hvis det primære formål med genopretning af stenrev er at etablere et levested for fisk (eller andet), vil forhold som lys og græsning vægte mindre. Fuldt optrukne kasser markerer variable, der findes nationale datalag for. Pilenes farver indikerer, om en stigning i niveauer af miljøvariablene fremmer eller forringer et områdes egnethed.

Formålet med genopretning af et stenrev er i mange projekter at genskabe og styrke den lokale biodiversitet, med fokus på flerårige makroalger, samt fastsiddende fauna (typisk på større dybder) og mobil fauna (f.eks. fisk). Der er ingen tvivl om, at lysforholdene spiller en meget vigtig rolle for, om et rev er domineret af fastsiddende fauna eller makroalger. Gode lysforhold vil således fremme udviklingen af tætte bestande af flerårige makroalger. Præcist hvilke arter afgøres så i høj grad af saltholdigheden, substratets stabilitet og den fysiske eksponering.

Baseret på vores gennemgang af miljøkrav (afsnit 4) giver Tabel 2 et overblik over tærskelværdier (minimumskrav) for miljøforhold som bør overholdes ved en første udpegning af områder egnet til genetablering af stenrev hvis ønsket er at fremme udviklingen af et rev med høj tæthed af flerårige makroalger.

Type	Parameter	Enhed	Dårlig	Moderat	God
Miljø	Lys på bunden	$\mu\text{mol fotoner m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	0-50	50-100	>100
	max temperatur	°C	>25	20-25	<20
	Min salinitet	psu	<5	5-7	>7
	Fysisk eksponering	Niveau	Ekstrem (fjerner sten)	Høj (problematisk for nogle arter)	middel
	Sediment type	Kategori	Sand/mudder	moræne	sten
	Iltsvind	Periode	hyppigt	sjældent	Aldrig
	Søpindsvin	Effekt/antal	Tætte bestande (~1 per m^2) Nedgræsset algevegetation	Enkelte individer (~1-5 per 10m^2)	Meget få individer (~1 per 25m^2)

Tabel 2. Oversigt over parametre som bør indgå i en screening (første udpegning) af områder egnet til genopretning af stenrev. Områder hvor alle minimumskrav (God) er opfyldt bør prioriteres højest i den samlede udpegning af områder. Det indført parametertærskelværdier, er baseret på information i de foregående afsnit.

5. Stenrevenes funktioner og økosystemtjenester

Afhængig af stenrevenes placering, størrelse og de omkringliggende miljøforhold, påvirker stenrev en række fysiske, kemiske og biologiske forhold i deres lokalområde. Stenrevenes betydning eller funktion gennemgås kort i det følgende.

Stenrevenes fysiske funktion

Revstrukturer påvirker strømningsmønstre og opblandingsforhold i vandsøjlen (f.eks. Oberdorfer & Buddemeier 1986), hvor der kan dannes læbælter bagved større sten, mens modellering af vandbevægelser omkring stenrev viser at strømhastigheden hen over og omkring et rev generelt forøges (Janus Larsen Pers komm). Hvis stenrev placeres tæt på kysten, antages det at de kan dæmpe bølgeenergi og dermed erosion af en bagvedliggende kystlinje (Leversage & Chapman 2018). Stenfiskeriets betydning for kysterrosion vurderes dog at være begrænset, da fjernelse af sten typisk er foregået et stykke væk fra kysten, og da naturlige stenrev ikke ligger systematisk parallelt med kystlinjen. Bygning af rev med henblik på kystbeskyttelse anses ikke for naturgenopretning (se afsnit 2 'Kunstige rev'). Igangværende studier ved Samsø's kyst (Projekt BARREEF) undersøger om kystnære stenrev kan reducere den bagvedliggende kysterrosion. Lignende undersøgelser af læ-skabende effekter af stenrev undersøges i Vejle fjord.

Stenrevenes biologiske funktion

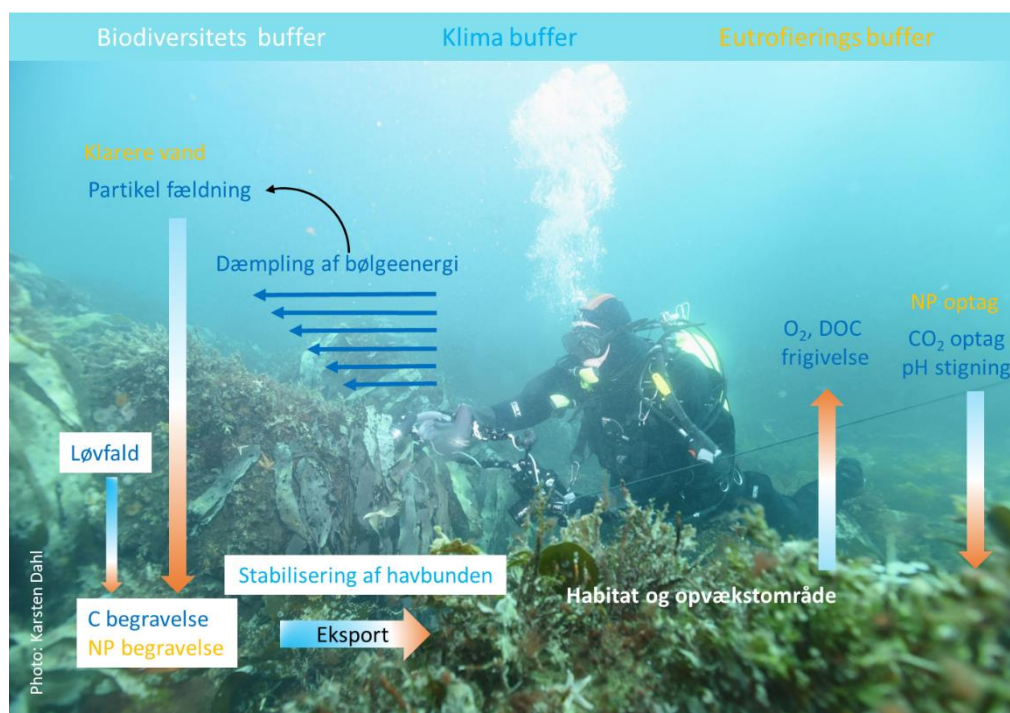
Stenrev er karakteriseret ved en stor artsrigdom af såvel makroalger som fastsiddende og mobil fauna knyttet direkte til stenene, samt en omfattende blødbundsfauna, knyttet til de bløde substrater mellem stenene (Stæhr et al. 2022). Hertil kommer at stenrev kan være et vigtigt leve- og opvækststed for mange fisk og havpattedyr (Mikkelsen et al., 2013; Svendsen et al. 2022; Kristensen et al., 2017; Wilms et al., 2021). Som beskrevet i afsnit 4, er artsrigdommen og forekomsten af store flerårige makroalger ofte højere på rev med større og dermed mere stabile sten. Hertil kom-

mer at artsrigdom og bevoksning favoriseres af høj saltholdighed og gode lysforhold. Det biologiske liv på et stenrev formes således af samspillet mellem revenes placering (dybde og lokalitet), revenes fysiske struktur, og placering i fht. strømforhold, lys, salinitet, samt pres fra miljøforhold som iltsvind, bundtrawl og andet fiskeri og græsning fra søpindsvin som beskrevet i afsnit 4. Det er specielt stenrev på lavere vand (i den belyste zone) bestående af store, stabile sten, der er egnet som substrat for tangskove. På mindre sten vil makroalgerne typisk være bevokset af hurtigt voksende etårige alger, og de få større makroalger der etableres, vil fungere som et sejl, få stenene til at skurre hen over revet og herved raspe eksisterende begroning af (Stæhr pers obs). Den fysiske drift af makroalger på mindre sten er ligeledes fremhævet som et problem for ålegræs i omkringliggende områder (Canal-Vergés et al. 2014). Under særligt kraftige strømforhold kan vegetationen trække de mindre sten ned ad revet og ud af den fotiske zone og derved fremme erosion (Dahl et al, 2009). Uden sollys vil vegetationen gå i forrådnelse og forbruge ilt på havbunden.

Stenrevenes økosystemtjenester

En måde at anskue betydningen af et habitat, her stenrev, er at vurdere de forskellige økosystemtjenester som habitatet/levestedet understøtter (Flindt et al. 2023). Økosystemtjenester betegner her de tjenester og goder, som mennesket får fra naturen herunder leverancer af fødevarer. Hertil kommer at sunde og velfungerende økosystemer fremmer en række vandmiljø- og naturforhold som også kan betegnes som en økosystemtjeneste.

Stenrev har potentielt mange positive økosystemeffekter (Smale et al. 2013, Teagle et al. 2017). Disse omfatter især deres rolle som habitatdannende for en række organismer biodiversitet, eutrofiering (via optag og tilbageholdelse af næringsstoffer) og klima (via optag og tilbageholdelse af CO₂), hvorfor der er store interesser i at fremskynde genetablering af stenrev (Figur 12).



Figur 12. Stenrev er vigtige habitater som yder væsentlige økosystemtjenester og funktioner. Disse kan omfatte kulstoflagring, næringsstoff tilbageholdelse, kystsikring, vandkvalitet, biodiversitet og bidrag til opbygning af fiskebestande som yngle-, opvækst- og fourageringsområder. Foto: Karsten Dahl.

Realiseringen af økosystemtjenester ved et naturgenopretningsprojekt, handler om at styrke og forbedre forhold og processer i systemet som forbedrer natur- og miljøtilstanden (Flindt et al.

2023). Realisering af økosystemtjenesterne afhænger dog meget af den generelle natur- og miljøtilstand i det område man arbejder med. Da de fleste danske vandområder er forarmede med uklart vand og forstyrrede havbunde med ringe biodiversitet, bør områder til naturgenopretning derfor udvælges med omhu. Hvis der f.eks. anlægges stenrev i inderfjordene, kan disse nye habitater nemt blive overgroet af hurtigt voksende makroalger og filtrerende fauna (se f.eks. Dahl et al. 2020). At have filtrerende fauna er der ikke noget galt i hvis det er målsætningen med restaureringen. Er formålet derimod at have et stenrev med makroalger, der kan generere ilt i et område der er plaget af gentagende iltsvindsproblemer, er det ikke hensigtsmæssigt (Stæhr et al. 2020)

I meget eutrofe vandområder vil det være vanskeligt at realisere en reel reduktion af næringsstofkoncentrationerne i vandet via de tilknyttede dyr og planter på stenrev. Hvis primærproduktionen domineres af hurtigt-voksende makroalgearter (f.eks. trådalger og søsalat) med en kort omsætningsstid (~nedbrydningshastighed), så vil næringsstofferne, som alger optager, også hurtigt recirkuleres/frigives til vandsøjlen. Et stenrev domineret af flerårige makroalger (f.eks. savtang og sukker-tang) kan derimod bedre fungere som en buffer imod eutrofiering, da flerårige makroalger både har en høj primærproduktion og nedbrydes langsommere og derfor i højere grad immobiliserer næringsstofferne i vækstsæsonen. De fleste danske vandområder er dog pt. så stærkt påvirkede af næringsstoffer og uklart vand, at stenrev med flerårige makroalger primært findes på åben kyst langt fra næringsstofkilderne.

I et klimaperspektiv kan makroalger via deres høje vækst binde CO₂ fra atmosfæren, og potentielt bidrage til at immobilisere CO₂ i havet i form af det, som kaldes blue carbon (Krause-Jensen og Duarte 2016). Da makroalger jo er knyttet til sten og derfor ikke som ålegræs opbygger en lokal kulstofpulje i havbunden der hvor de vokser, er det en forudsætning, at der foregår en permanent binding af kulstof i den omkringliggende havbund eller i fjernere, dybere havområder (Krause-Jensen & Duarte 2016). Den permanente binding af kulstof fra makroalger er påvist i nogle systemer (f.eks. Queirós et al. 2023), men endnu ikke kvantificeret for danske kystområder, og der er mange udfordringer forbundet med at kvantificere makroalger til blue carbon (Ross et al. 2023). Hvis et vigtigt formål med etablering af stenrev er klimaeffekten, bør man indtænke klimaomkostningerne ved at transportere og udsætte sten (CO₂ frigivelse) da disse muligvis kan være større end den potentielle gevinst (permanent CO₂ binding).

Afhængigt af miljøforholdene, vil der dog være stor forskel på hvordan livet udvikler sig på et stenrev, og kan afgøre om et rev karakteriseres af langsomt voksende makroalger, hurtigt voksende etårige makroalger eller fastsiddende fauna. Fordelingen af arter og disses biomasse er afgørende for hvilke funktioner og processer som et rev kan understøtte. Man bør derfor nøje afklare formålet med genetableringen i et område og holde dette op mod revets forventede klimakssamfund.

Stenrev er således et habitat med mange mulige tilknyttede økosystemtjenester hvoraf nogle er mere veldokumenterede end andre (Tabel 2).

Økosystemtjenester - potentialer	Biodiversitet	Klima	Eutrofiering	Socialt / kulturelt	Erhverv / økonomi
Skabe levesteder, større artsrigdom og stærkere fødekæder	++		++	++	++
Øget produktivitet (Fisk og krebsdyr)	++			++	++
Immobilisering af næringsstoffer (C,N,P)		+	+		
Permanent lagring af næringsstoffer (C,N,P)		±	±		
Forbedret vandkvalitet (klarere vand og bedre ilt)			+	+	+
CO ₂ fjernelse		±			
Kystsikring / kystbeskyttelse	±	+		+	+

Tablet 2. Økosystemtjenester som understøttes af stenrev og som vil fremmes ved genetableringen af disse. Tjenesternes effekter er inddelt i forskellige kategorier. Positive effekter (+) og usikkert (±). Økosystemtjenestem potentialet er størst for kategorier markeret med ++. Bortset fra biodiversitetslementerne, hvor der er omfattende dokumentation, skal vurderingerne anses som vejledende.

Dokumentation af effekter er vigtig

De mange potentielle økosystemtjenester som kan realiseres ved etablering af stenrev, er desværre kun i begrænset omfang blevet dokumenteret i fbm. genetablering af stenrev. Flere projekter (F.eks. Als stenrev, Bluereef ved Læso, Sund Vejle fjord revene og Livø stenrev) har dog dokumenteret en kraftig og ganske hurtig øgning i antallet og biomassen af både bentiske fastsiddende dyre- og plantearter. Hertil kommer en større tæthed af fisk (torsk, og forskellige revfisk) samt krebsdyr (inkl. hummer og taskekrabber) samt snegle. og marsvin (Stenberg et al. 2015, Støttrup et al. 2017, Dahl et al. 2020, Mikkelsen et al. 2013, Wilms et al. 2021, Svendsen et al. 2022). Vores mest veldokumenterede genopretningsprojekt er nok Bluereef ved Læsø Trindel. Observationer i fbm. NOVANA overvågningen af Bluereef, har vist at revet over en årrække har udviklet en dominans af de forventede store flerårige makroalger med en tæt underskov af rødalger. Desværre har man ikke haft mulighed for at opgøre den økologiske gevinst kvantitativt med hensyn til biomasser af alger og fauna og individantal af faunaen.

Angående fisk indikerer den hurtige stigning i tætheder (efter få måneder) at nye revstrukturer udlagt på sandbund har en kraftig tiltrækningseffekt (Wilms et al. 2021). Det er dog uklart i hvilket omfang revene ender med reelt at øge fiskeproduktionen i det vandområde revene etablerer i men der er sandsynligvis tale om et spektrum, der rummer både tiltrækning og produktion (Schwartzbach et al. 2020). Omfanget af tiltrækning og forøget produktionen afhænger formodentligt af en række forhold, heriblandt lokal miljøtilstand, fiskearter, lokalt fiskeri m.m. (Schwartzbach et al. 2020).

Revenes forventede positive effekt på lys og iltforholdene blev undersøgt på både nye og gamle rev i Løgstør Bredning i Limfjorden (Stæhr et al. 2020). Her fandt man kun marginale forskelle i fht et nærtliggende område uden stenrev. En del af forklaringen på de udeblevne effekter, var en forholdsvis lav tæthed af flerårige makroalger på revene og dette blev forklaret ved de generelt dårlige lysforhold i vandområdet samt muligvis intensiv græsning fra søpindsvin. Et lille revareal ift. Systemets vandvolumen og vandudskiftningen, medvirkede formegentlig også til at et lille rev ikke gør en målbar forskel, selvom det måske kan have en målbar lokal effekt. Der blev ligeledes ikke i

dette studie, fundet markante forskelle i lagring og immobilisering af næringsstoffer og kulstof omkring revet, ligesom netto optaget af CO₂ kun var marginalt højere over revet. Den overordnede forklaring på disse udeblevne effekter var det lave makroalgedække knyttet til de generelt dårlige lysforhold. Samtidigt påvirkes nogle rev hyppigt af iltsvind fra dybere dele af fjorden (Stæhr et al. 2020).

Bedre miljøforhold i danske farvande i form af færre næringsstoffer fra land vil forbedre både lysforhold og mindske risikoen for iltsvind og vil fremme muligheden for succesfuld genopretning af stenrev. Foruden at dokumentere udviklingen af dyre- og plantelivet knyttet til et stenrev, er det også vigtigt at dokumentere ændringer i de miljøforhold og processer som påvirker – og påvirkes af revene. I Sund Vejle Fjord projektet gennemføres en omfattende dokumentation af bla. effekten af stenrev ([Sund Vejle Fjord - Center for Marin Naturgenopretning](#)). Erfaringerne herfra vil med stor sandsynlighed bidrage med værdifuld viden om de opnåede økosystemtjenester.

6. anbefalinger

Et projekt, som omhandler genopretning af stenrev, bør følge den overordnede vejledning for udpegning af områder til marin naturgenopretning (Stæhr et al. 2023), og forholde sig til de begreber der overordnet knytter sig til marin naturgenopretning (Center for Marin Naturgenopretning 2023).

Baseret på gennemgangen af betydningen af forskellige miljøforhold for genetablering af stenrev, beskriver vi her kort nogle overordnede anbefalinger som bør inddrages i forbindelse med planlægningen af nye projekter.

- 1) Afklaring af formål
 - a. Det overordnede formål vil oftest være at genetablere et fjernet/reduceret stenrev
 - b. Er der fokus på fisk, makroalger, invertebrat fauna, biodiversitet generelt, vandkvalitet, kystbeskyttelse eller turisme? Afhængigt af fokus vil revet kunne designes forskelligt for at optimere succes.
- 2) Historisk analyse
 - a. Har der tidligere været et stenrev i området? Gennemgang af historiske kilder.
- 3) Miljøanalyse
 - a. Sediment type: Er havbunden egnet til udlægning af store sten? Kan vurderes Kortmateriale fra GEUS (<https://data.geus.dk/geusmap/?map-name=marta#baslay=baseMapDa&optlay=&layers=havbundssediment>), kan anvendes i en første screening. Hertil kommer substrattyper kortlagt i Natura2000 områder. Se Dahl et al. 2023 for uddybning.
 - b. Fysisk eksponering: Hvis det er et område med høj eksponering, så har det betydning for valg af stenstørrelser. Stenstørrelsen har også betydning for hvilke organismer man vil forvente etableres på revet.
 - c. Lys: Hvis man ønsker at fremme udbredelse af store flerårige makroalger, skal disses lyskrav opfyldes. Det nationale marine overvågningsprogram (NOVANA) kan levere baggrundsdata. Man kan supplere med lokale lysloggere.
 - d. Saltholdighed: Artssammensætning og udbredelse af mange marine organismer, påvirkes af saltholdigheden. I meget ferske områder, vil det være umuligt for en del marine arter at etablere sig. NOVANA programmet kan levere baggrundsdata.
 - e. Vandtemperatur: Ekstreme temperaturer kan være problematiske for en række arters etablering og overlevelse. NOVANA programmet kan levere baggrundsdata. Man kan supplere med at udsætte temperaturloggere i udvalgte områder i sommerhalvåret for at bedre at kunne vurdere omfanget af ekstreme temperaturer på forskellige dybder.

- f. Iltsvind: Områder berørt af iltsvind er generelt ikke egnede til genetablering af stenrev. Der publiceres i løbet af hvert efterår en række iltsvindsrapporter med relevante kort. NOVANA programmet kan desuden levere baggrundsdata. Man kan overveje at udsætte iltloggere i relevante områder på forskellige dybder.
- g. Tang: Hvilke arter vokser på sten på forskellige dybder i området? Kan vurderes ud fra NOVANA data.
- h. Søpindsvin: Kan være et problem for etablering af de større flerårige makroalger. Man bør være opmærksom på tætheden af søpindsvin ifm. supplerende forundersøgelser i et udpeget lokalområde.

Det er muligt at hente en stor del af den nødvendige viden om miljøforhold i NOVANA programmet via Miljøportalen. Data kan hentes her: <https://miljoedata.miljoportal.dk/>. De marine miljø- og artsdata kan fremsøges under fanebladet 'Undersøgelser'.

Til at identificere områder hvor der historisk har været stenrev og hvor disse er fjernet/reduceret bør man anvende historiske søkort og eksisterende oplysninger om stenfiskeri. Eksempler på dette findes i Dahl & Göke (2021) samt Dahl et al. (2024). Centeret har desuden en rapport under udarbejdelse som giver en grundig anvisning på hvordan man kan anvende historiske søkort og anden information til at identificere områder hvor der har foregået stenfiskeri.

Foruden historiske data anbefales det kraftigt, at fremtidige stenrevsprojekter omfatter en grundig forundersøgelse, da denne leverer værdifuld og for nogle parametre – essentiel - viden om lokale miljøforhold og er derfor af stor betydning for den endelige udpejning af et områdes egnethed. Overordnet set kan man danne sig et godt billede af mulighederne for et evt. udlagt stenrev ved at studere livet ved eksisterende stenforekomster (evt. individuelle sten) på havbunden i lokalområdet. Hvis der er masser af liv på eksisterende stenforekomster, så vil livet ved et evt. udlagt stenrev formodentligt udvikle sig på samme måde i løbet af 5-10 år efter udlægning.

Desuden anbefales det kraftigt, at man i et projekt planlægger opfølgende efterundersøgelser som over en årrække leverer værdifuld viden om indvandringen på revet og lokale vandkvalitetsforhold. Undersøgelserne bør så vidt muligt foregå med videnskabelige standarder. Denne viden vil bidrage til at dokumentere i hvilket omfang de ønskede økosystemtjenester opnås og vil også bidrage til at fremme succes af fremtidige projekter med genopretning af stenrev.

Selve udpejning, forundersøgelser, design, monitoring og praktiske forhold omkring genopretningsprojekter, beskrives i centerrapporten "Vejledning (Best practice) til naturgenopretning af stenrev" (Dahl et al. 2024).

7. Referencer

Al-Hamdani, Z., Owen M., Rödel L.G., Witt, N., Nørgaard-Petersen, N., Bennike, O., Sabra, H., Nygaard Eriksen, L., Kragh, S., Jensen, J.N., Nicolaisen, J., Schmedes, M. L., Nielsen, B., Kjellerup, S., Dons, S., Stæhr, M.W., Gai, F. (2019). Kortlægning af Natura 2000-områder - Marin habitat-kortlægning i Skagerrak og Nordsøen 2017-2018. Miljøstyrelsen ISBN: 978-87-7038-027-0. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2019/01/978-87-7038-027-0.pdf>

Al-Hamdani, Z. (2018). Analyse af 1170 stenrev henholdsvis indenfor og udenfor de marine habitatområder. GEUS.

Anderson, T. W. (1994). Role of macroalgal structure in the distribution and abundance of a temperate reef fish. *Marine ecology progress series*. Oldendorf, 113(3), 279-290.

- Binzer, T. and Sand-Jensen, K. (2002). Production in aquatic macrophyte communities: a theoretical and empirical study of the influence of spatial light distribution. *Limnol. Oceanogr.* 47: 1742–1750.
- Binzer, T., Sand-Jensen, K., & Middelboe, A. L. (2006). Community photosynthesis of aquatic macrophytes. *Limnology and Oceanography*, 51(6), 2722-2733.
- Boderskov, T. & Krause-Jensen, D. 2022. Literature review of general responses of macroalgae to light, nutrient, salinity and temperature variations relevant to Danish waters. Aarhus University, DCE - Danish Centre for Environment and Energy, 32 s. – Scientific briefing no. 2022|30 https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2022/N2022_30.pdf
- Borgman, E., Pedersen, M.F., Stæhr, P.A.U., Rischer-Bogason, R (2022). Marine heatwaves in northern sea areas: Occurrence, effects, and expected frequencies. Planmiljø report on behalf of the Norwegian Environment Agency. 22 pp.
- Canal-Vergés, P., Potthoff, M., Hansen, F. T., Holmboe, N., Rasmussen, E. K., & Flindt, M. R. (2014). Eelgrass re-establishment in shallow estuaries is affected by drifting macroalgae—Evaluated by agent-based modeling. *Ecological modelling*, 272, 116-128.
- Carpenter, R. C. (1990). Competition among marine macroalgae: a physiological perspective. *Journal of Phycology*, 26(1), 6-12.
- Carr, M. H. (1994). Effects of macroalgal dynamics on recruitment of a temperate reef fish. *Ecology*, 75(5), 1320-1333.
- Carstensen J & Dahl K. 2019. Macroalgal indicators for Danish Natura 2000 habitats. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 45 pp. Technical Report No. 142. <http://dce2.au.dk/pub/TR142.pdf>
- Casties, I., Clemmesen, C., Melzner, F., & Thomsen, J. (2015). Salinity dependence of recruitment success of the sea star *Asterias rubens* in the brackish western Baltic Sea. *Helgoland Marine Research*, 69, 169-175.
- Center for Marin Naturgenopretning (2023). Begreber i relation til marin naturgenopretning. Videnskabelig rapport fra Nationalt Center for Marin Naturgenopretning. <https://marinnatur.dk/media/72359/begreber-i-relation-til-marin-naturgenopretning.pdf>
- Christie, H., Gundersen, H., Rinde, E., Filbee-Dexter, K., Norderhaug, K. M., Pedersen, T., ... & Fagerli, C. W. (2019). Can multitrophic interactions and ocean warming influence large-scale kelp recovery?. *Ecology and evolution*, 9(5), 2847-2862.
- Dahl, K., S. Lundsteen, and S. Helmig (2003). Stenrev, Havbundens oaser. Gads Forlag. https://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_miljobib/rapporter/MB02.pdf
- Dahl, K., Lundsteen, S. & Tendal, O. S. (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>
- Dahl, K. & Carstensen, J. (2008). Tools to assess conservation status on open water reefs in Nature-2000 areas. National Environmental Research Institute, University of Aarhus. 25 pp. – NERI Technical Report No. 663. <http://www.dmu.dk/Pub/FR663.pdf>
- Dahl, K., Stenberg, C., Lundsteen, S., Støttrup, J., Dolmer, P., & Tendal, O.S. (2009): Ecology of Læsø Trindel - A reef impacted by extraction of boulders. National Environmental Research Institute, Aarhus University. 48 pp. - NERI Technical Report No. 757. <http://www.dmu.dk/Pub/FR757.pdf>

- Dahl, K. & Lundsteen, S. (2010). Blue Reef - Status for den biologiske indvandring på Læsø Trindels nye rev i 2010. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 12 s. - Arbejdsrapport fra DMU nr. 262. <http://www.dmu.dk/Pub/AR262.pdf>
- Dahl, K., Buur, H., Andersen, O.N., Göke, C. & Tonetta, D. (2020). Indvandring og biodiversitet på det nye stenrev ved Livø. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 60 s. - Videnskabelig rapport nr. 405. <http://dce2.au.dk/pub/SR405.pdf>
- Dahl, K. & Göke, C. (2021). Naturgenopretning af stenrev i Øresundsregionen – en identifikation af mulige lokaliteter. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 28 s. - Teknisk rapport nr. 200. <http://dce2.au.dk/pub/TR200.pdf>
- Dahl, K., Stæhr, P.A.U., Buur, H. & Göke, C. (2022). Biologiske undersøgelser på Taarbæk Rev. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 42 s. - Teknisk rapport nr. 255. <http://dce2.au.dk/pub/TR255.pdf>
- Dahl, K., Stæhr, P.A.U., Göke C., Svendsen, J.C., Steinfurth, R.C.H. og Jørgensen T.B (2024) Vejledning (Best practice) til naturgenopretning af stenrev. Videnskabelig rapport fra Nationalt Center for Marin Naturgenopretning. In press.
- Eger, A. M., Marzinelli, E. M., Christie, H., Fagerli, C. W., Fujita, D., Gonzalez, A. P., ... & Vergés, A. (2022). Global kelp forest restoration: past lessons, present status, and future directions. *Biological Reviews*, 97(4), 1449-1475.
- Flindt, M., Jørgensen, T.B., Stæhr, P.A.U., Petersen, J.K. (2023). Marine habitaters understøttelse af vigtige biologiske økosystemtjenester. Rapport fra Nationalt Center for Marin Naturgenopretning.
- Hansen, J.W. & Høgslund, S. (red.) (2023). Marine områder 2021. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 220 s. - Videnskabelig rapport fra DCE nr. 529. <http://dce2.au.dk/pub/SR529.pdf>.
- Hansen, J.W., & Rytter, D. (2023). Iltsvind i danske farvande 1. juli – 23. august 2023. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 24 s. Rådgivningsnotat nr. 2023|36 https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_20223/N2023_36.pdf
- Helmig, S.A., Nielsen, M.M. & Petersen, J.K. (2020). Andre presfaktorer end næringsstoffer og klimaforandringer – vurdering af omfanget af stenfiskeri i kystnære marine områder. DTU Aqua-rapport nr. 360-2020. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 24 pp.
- Josefson, A., and Hansen, J. (2004). Species richness of benthic macrofauna in danish estuaries and coastal areas. *Global Ecol. Biogeogr.* 13, 273–288. doi: 10.1111/j.1466-822X.2004.00091.x
- Jørgensen, B. B. (1980). Seasonal oxygen depletion in the bottom waters of a Danish fjord and its effect on the benthic community. *Oikos*, 68-76.
- Krause-Jensen, D., Markager, S., & Dalsgaard, T. (2012). Benthic and pelagic primary production in different nutrient regimes. *Estuaries and coasts*, 35, 527-545.
- Krause-Jensen, D., & Duarte, C. M. (2016). Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. *Nature Geoscience*, 9(10), 737-742.
- Kristensen, L. D., Støttrup, J. G., Svendsen, J. C., Stenberg, C., Højbjerg Hansen, O. K., & Grønkjær, P. (2017). Behavioural changes of Atlantic cod (*Gadus morhua*) after marine boulder reef restoration: implications for coastal habitat management and Natura 2000 areas. *Fisheries Management and Ecology*, 24(5), 353-360.

- Lee, J. A., & Brinkhuis, B. H. (1988). Seasonal light and temperature interaction effects on development of *Laminaria saccharina* (Phaeophyta) gametophytes and juvenile sporophytes. *Journal of Phycology*, 24(2), 181-191.
- Lobban, C.S., & Harrison, P.J. (1994). *Seaweed ecology and physiology*. Cambridge University Press.
- Littler, M. M., & Littler, D. S. (1984). Relationships between macroalgal functional form groups and substrata stability in a subtropical rocky-intertidal system. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 74(1), 13-34.
- Liversage, K., & Chapman, M. G. (2018). Coastal ecological engineering and habitat restoration: incorporating biologically diverse boulder habitat. *Marine Ecology Progress Series*, 593, 173-185.
- Malm, T., & Isæus, M. (2005). Distribution of macroalgal communities in the central Baltic Sea. In *Annales Botanici Fennici* (pp. 257-266). Finnish Zoological and Botanical Publishing Board.
- Markager, S., & Miljøundersøgelser, D. (2004). *Teknisk anvisning for marin overvågning. 1.3: Lysvækkelse*. Aarhus Universitet.
- Middelboe, A. L., Sand-Jensen, K., and Brodersen, K. (1997). Patterns of macroalgal distribution in the kattegat-baltic region. *Phycologia* 36, 208–219. doi: 10.2216/i0031-8884-36-3-208.1
- Mikkelsen, L., Mouritsen, K. N., Dahl, K., Teilmann, J., & Tougaard, J. (2013). Re-established stony reef attracts harbour porpoises *Phocoena phocoena*. *Marine Ecology Progress Series*, 481, 239-248.
- Miller, K. I., Blain, C. O., & Shears, N. T. (2022). Sea urchin removal as a tool for macroalgal restoration: A review on removing “the spiny enemies”. *Frontiers in Marine Science*, 9, 831001.
- Moy, F. E., & Christie, H. (2012). Large-scale shift from sugar kelp (*Saccharina latissima*) to ephemeral algae along the south and west coast of Norway. *Marine Biology Research*, 8(4), 309-321.
- Møhlenberg F., Andersen J-H., Murray C., Christensen P.B., Dalsgaard T., Fossing H. & Krause-Jensen D. (2008). *Stenrev i Limfjorden: Fra naturgenopretning til supplerende virkemiddel*. By- og Landskabsstyrelsen Skov- og Naturstyrelsen Faglig rapport 16.
- Nepper-Davidsen, J., Andersen, D. T., & Pedersen, M. F. (2019). Exposure to simulated heatwave scenarios causes long-term reductions in performance in *Saccharina latissima*. *Marine Ecology Progress Series*, 630, 25-39.
- Nielsen, R., Kristiansen, AA., Mathiesen, L., & Mathiesen, H. (1995). Distributional index of the benthic macroalgae of the Baltic Sea area. – *Acta Botanica Fennica*, The Baltic Marine Biologists Publication No. 18 vol. 155: 1-51
- Nielsen, R., Lundgreen, S. (2019). *Danmarks Havalger: Brunalger (Phaeophyceae) og Grønalger (Chlorophyta)*/af Ruth Nielsen of Steffen Lundsteen, kort over algerne indsamlingssteder: Karl Gunnarsson. Bind 2. Royal Danish Academy of Sciences and Letters, 2019.
- Nordemann, P.J., Hansen, J.W., Jeppesen, E., Wiberg-Larsen, P., Hansen, J.L.S., Jakobsen H.H., Stæhr, P.A., Dahl, K. (2015). *Klimaforandringernes betydning for vandområder - med fokus på de biologiske kvalitetselementer*. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 106 p. Videnskabelig rapport, Vol. 146.
- Oberdorfer, J. A., & Buddemeier, A. R. (1986). Coral-reef hydrology: field studies of water movement within a barrier reef. *Coral Reefs*, 5, 7-12.

- 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.
- Pérez-Matus, A., & Shima, J. S. (2010). Disentangling the effects of macroalgae on the abundance of temperate reef fishes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 388(1-2), 1-10.
- Pulido, C., & Borum, J. (2010). Eelgrass (*Zostera marina*) tolerance to anoxia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 385(1-2), 8-13.
- Queirós, A. M., Tait, K., Clark, J. R., Bedington, M., Pascoe, C., Torres, R., ... & Smale, D. A. (2023). Identifying and protecting macroalgae detritus sinks toward climate change mitigation. *Ecological Applications*, 33(3), e2798.
- Raven, J. A., & Hurd, C. L. (2012). Ecophysiology of photosynthesis in macroalgae. *Photosynthesis research*, 113, 105-125.
- Reenberg, C. H., Le, H. S., & Svendsen, J. C. (2023). Den, der fisker sten, fisker også fisk: Historisk beretning om fisk og fiskeri i Sejerøbugten. *Habitat*, 27, 28-37. <https://dzs.dk/wp-content/uploads/2023/09/HABITAT27.pdf>
- Riemann, B., Carstensen, J., Dahl, K., Fossing, H., Hansen, J. W., Jakobsen, H. H., Josefson, A. B., Krause-Jensen, D., Markager, S., Staehr, P. A., Timmermann, K., Windolf, J., & Andersen, J. H. (2016). Recovery of Danish Coastal Ecosystems After Reductions in Nutrient Loading: A Holistic Ecosystem Approach. *Estuaries and Coasts*, 39(1), 82-97.
- Roller, R. A., & Stickle, W. B. (1985). Effects of salinity on larval tolerance and early developmental rates of four species of echinoderms. *Canadian Journal of Zoology*, 63(7), 1531-1538.
- Ross, F. W., Boyd, P. W., Filbee-Dexter, K., Watanabe, K., Ortega, A., Krause-Jensen, D., ... & Macreadie, P. I. (2023). Potential role of seaweeds in climate change mitigation. *Science of the Total Environment*, 163699.
- Sand-Jensen, K., Binzer, T., & Middelboe, A. L. (2007). Scaling of photosynthetic production of aquatic macrophytes—a review. *Oikos*, 116(2), 280-294.
- Schourup-Kristensen, V., Larsen, J., & Maar, M. (2023). Drivers of hypoxia variability in a shallow and eutrophicated semi-enclosed fjord. *Marine Pollution Bulletin*, 188, 114621.
- Schwartzbach, A., Behrens, J. W., & Svendsen, J. C. (2020). Atlantic cod *Gadus morhua* save energy on stone reefs: Implications for the attraction versus production debate in relation to reefs. *Marine Ecology Progress Series*, 635, 81-87.
- Smale, D. A., Burrows, M. T., Moore, P., O'Connor, N., & Hawkins, S. J. (2013). Threats and knowledge gaps for ecosystem services provided by kelp forests: a northeast Atlantic perspective. *Ecology and evolution*, 3(11), 4016-4038.
- Smale, D. A. (2020). Impacts of ocean warming on kelp forest ecosystems. *New Phytologist*, 225(4), 1447-1454.
- Sousa, W. P. (1984). The role of disturbance in natural communities. *Annual review of ecology and systematics*, 15(1), 353-391.
- Staehr P.A. and Birkeland M.J. (2006) Temperature acclimation of growth, photosynthesis and respiration in two mesophilic phytoplankton species. *Phycologia*. 45(6):648-656
- Staehr P.A. and Wernberg T. (2009) Physiological responses of *Ecklonia radiata* (Laminariales) to a latitudinal gradient in ocean temperature. *Journal of Phycology*. 45:91-99

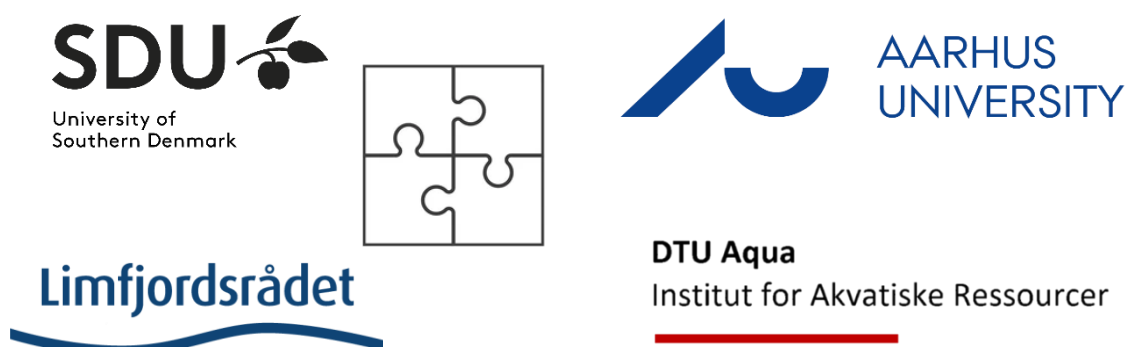
- Stæhr P.A., Borum J. Seasonal acclimation in metabolism reduces light requirements of eelgrass (*Zostera marina*). (2011). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 407: 139-146
- Stæhr, P. A., Asmala, E., Carstensen, J., Krause-Jensen, D., & Reader, H. (2018). Ecosystem metabolism of benthic and pelagic zones of a shallow productive estuary: spatio-temporal variability. *Marine Ecology Progress Series*, 601, 15-32. <https://www.int-res.com/abstracts/meps/v601/p15-32/>
- Stæhr, P. A., Dahl, K., Buur, H., Göke, C., Sapkota, R., Winding, A., ... & Sundberg, P. (2022). Environmental DNA monitoring of biodiversity hotspots in Danish marine waters. *Frontiers in Marine Science*, 8, 800474.
- Stæhr, P. A., Göke, C., Holbach, A. M., Krause-Jensen, D., Timmermann, K., Upadhyay, S., & Ørberg, S. B. (2019). Habitat model of eelgrass in Danish coastal waters: Development, validation and management perspectives. *Frontiers in Marine Science*, 6, 175.
- Stæhr, P.A.U., Stæhr, S.U., Tonetta, D., Høgslund, S., Hansen, W. H., Nielsen, M.M., (2021). Contribution of boulder reef habitats to oxygen dynamics of a shallow estuary. *Science of the Total Environment*. 150261. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150261>
- Stenberg, C., & Kristensen, L. D. (Eds.) (2015). *Stenrev som gyde- og opvækstområde for fisk (Revfisk)*. DTU Aqua. DTU Aqua-rapport No. 295-2015. <https://doi.org/10.11581/dtu.00000296>
- Stenberg C. Støttrup, J., Dahl, K., Lundsteen, S. Göke, C., and Andersen, O.N. (2015) Ecological benefits from restoring a marine cavernous boulder reef in Kattegat, Denmark - DTU Aqua report nr.289-2015.
- Stæhr, P.A., Nielsen, M.N., Göke, C., and Petersen, J.K. (2019). Andre presfaktorer end næringsstoffer og klimaforandringer – effekter af sargassotang på den øvrige marine vegetation. DTU Aqua-rapport nr. 353-2019.
- Stæhr, P.A., Markager, S., Høgslund, S., Hansen, J.W., Tonetta, D., Upadhyay, S. & Nielsen, M.M. (2020). Stenrev som muligt kvælstofvirkemiddel. Vækstbetingelser for bentiske alger og deres betydning for ilt- og næringsstoffdynamikken i Limfjorden. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 108 s. – Videnskabelig rapport nr. 394. <http://dce2.au.dk/pub/SR394.pdf>
- Støttrup, J. G., Dahl, K., Niemann, S., Stenberg, C., Reker, J., Stamphøj, E. M., Göke, C., & Svendsen, J. C. (2017). Restoration of a boulder reef in temperate waters: Strategy, methodology and lessons learnt. *Ecological Engineering*, 102, 468–482.
- Svendsen, J. C., Kruse, B. M., Wilms, T., Dahl, K., Buur, H., Andersen, O. G. N., Bertelsen, J. L., & Kindt-Larsen, L. (2022). The importance of reef habitats for fish, harbor porpoise and fisheries management. DTU Aqua. DTU Aqua-rapport No. 371-2020
- Teagle, H., Hawkins, S. J., Moore, P. J., & Smale, D. A. (2017). The role of kelp species as biogenic habitat formers in coastal marine ecosystems. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 492, 81-98.
- Thomsen, M.S., & Wernberg, T. (2005). Miniview: what affects the forces required to break or dislodge macroalgae?. *European Journal of Phycology*, 40(2), 139-148.
- Torn, K., Krause-Jensen, D., & Martin, G. (2006). Present and past depth distribution of bladderwrack (*Fucus vesiculosus*) in the Baltic Sea. *Aquatic Botany*, 84(1), 53-62.
- Townhill, B. L., Pinnegar, J. K., Righton, D. A., & Metcalfe, J. D. (2017). Fisheries, low oxygen and climate change: how much do we really know?. *Journal of Fish Biology*, 90(3), 723-750.

Wernberg, T. (2021). Marine heatwave drives collapse of kelp forests in Western Australia. In *Ecosystem collapse and climate change* (pp. 325-343). Cham: Springer International Publishing.

Wilms, T. J., Norðfoss, P. H., Baktoft, H., Støttrup, J. G., Kruse, B. M., & Svendsen, J. C. (2021). Restoring marine ecosystems: Spatial reef configuration triggers taxon-specific responses among early colonizers. *Journal of Applied Ecology*, *58*(12), 2936-2950.

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

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



Centeret er finansieret af Miljøministeriet og Velux Fonden.



Miljøministeriet

VELUX FONDEN

