

# Marine habitaters understøttelse af vigtige biologiske økosystemtjenester



Foto: Troels Lange



Center for Marin  
Naturgenopretning

# Marine habitaters understøttelse af vigtige biologiske økosystemtjenester

---

Videnskabelig rapport fra Nationalt Center for Marin Naturgenopretning – 2023

Forfatterliste:

Mogens Flindt<sup>1</sup>, Torben Bramming Jørgensen<sup>2</sup>, Jens Kjerulf Petersen<sup>3</sup>, Peter A.U. Stæhr<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Biologisk Institut, Syddansk Universitet

<sup>2</sup>Limfjordsrådet, Aalborg Kommune

<sup>3</sup>DTU Aqua, Sektion for kystzone økologi

<sup>4</sup>Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet, sektion for marin biodiversitet og eksperimentel økologi

## Kolofon

Titel:	Marine habitaters understøttelse af vigtige biologiske økosystemtjenester
Forfattere:	Mogens Flindt, SDU Torben Bramming Jørgensen, Limfjordsrådet Jens Kjerulf Petersen, DTU-aqua Peter A.U. Stæhr, Aarhus Universitet
Udgivet:	Januar 2023
kvalitetskontrol:	Erik Kristensen, Biologisk Institut, SDU
Ekstern kommentering:	Miljøstyrelsen
Finansieret af:	Miljøstyrelsen & Velux Fonden
ISBN:	
Forsidefoto:	Troels Lange: Udplantning af ålegræs
Udgivet af:	 Center for Marin Naturgenopretning
Sammenfatning:	<b>Rapporten</b> er en kortfattet gennemgang af, hvilke økosystemtjenester som de respektive habitater potentielt realiserer. Habitaterne er spredte stenrev/tangskove, huledannende stenrev, muslingebanker og ålegræsenge som kvalificeres overfor økosystemtjenesterne: 1) immobilisering af N og P i vækstsæsonen, 2). permanent lagring af næringsstoffer, 3) biodiversitet, 4) forbedring af lysforholdene, 5) klimavirkemiddel og 6) kystbeskyttende.

## Indhold

Indledning	5
Økosystemtjenesterne	5
Immobilisering af kvælstof og fosfor i vækstsæsonen	6
Permanent lagring af næringsstoffer	7
Biodiversitet	7
Skabe lysforbedrende forhold	7
Klimavirkemiddel	7
Kystbeskyttelse	7
Habitaternes understøttelse af økosystemtjeneste-udviklingen	8
Spredte stenrev	8
Huledannende stenrev	8
Muslingebanker	9
Ålegræsenge	11
Opsummering	12
Referencer	13

## Indledning

Formålet med dette dokument er at give et samlet overordnet billede af de betydende biologiske økosystemtjenester, som genoprettede marine habitater potentielt yder. Det er ikke intentionen her at redegøre for den kvantitative arealspecifikke variation i økosystemtjenesterne for habitaterne. Erfaringer viser, at variationerne i økosystemtjenesterne kan være meget store og afhængige af den aktuelle placering af de genoprettede habitater samt deres størrelse og interaktion med det lokale miljø. De kvantitative opgørelser vil blive opgjørt i senere rapporter fra centret og baseres på systematisk gennemgang af eksisterende og nye data.

Det primære sigte med denne rapport er at etablere en fælles faglig erkendelse af, hvilke økosystemtjenester de enkelte habitater har potentiale for at realisere. Habitaterne som behandles, er spredte stenrev, huledannende stenrev, muslingebanker og ålegræsenge. Baselinen for disse er den forudgående barbund, som de udviklede økosystemtjenester bør sammenlignes med (Lange et al. 2020, 2022, Steinfurth et al. 2022, Bruhn et al. 2020).

## Økosystemtjenesterne

Økosystemtjenester er overordnet set betegnelsen for de tjenester og goder, som mennesket får fra naturen herunder leverancer af fødevarer, men også leverancer – som f.eks. biodiversitet – der understøtter sunde og velfungerende økosystemer. Fokusområdet for denne rapport er økosystemtjenester, der er karakteriseret ved processer, som understøtter eller forbedrer natur- og miljøtilstanden. Der eksisterer mange biologiske processer, som bidrager til denne service. Her fokuseres der på nøgletjenester som udvirkes af de forskellige habitater.

Generelt er det de vækstrelaterede processer, der realiserer økosystemtjenesterne. Disse processer er biomasseafhængige. For ålegræs (og makroalger på stenrev) kan den realiserede vækst f.eks. simpelt beskrives ved udtrykket:

$$\text{Vækst} = \text{biomasse} * V_{\text{max}} * f(\text{Lys}) * f(\text{DIN}) * f(\text{DIP}) * f(\text{Temperatur}) - \text{Tabsprocesser}$$

*hvor biomasse* er den arealspecifikke mængde af ålegræs og makroalger.

*V<sub>max</sub>* er den maksimale vækstrate, som organismen genetisk kan realisere.

*L* er lysintensiteten på en given dybde.

*DIN* er tilgængeligheden af kvælstofnæringsalte i vandfasen og/eller sedimentets porevand.

*DIP* er tilsvarende tilgængeligheden af fosfat.

*T* er temperaturens effekt på vækstraten.

På systemniveau er den samlede vækst og de koblede økosystemtjenester i vandområderne typisk begrænset af den manglende biomasse, som er konsekvensen af mange års tilbagegang i den marine habitatudbredelse. Herved bliver både størrelsen og placeringen af naturgenopretningen vigtige faktorer. F.eks. vil en lille naturgenoprettet muslingebanke have en mindre filtrationskapacitet end store muslingebanker, og

muslingernes lysforbedrende økosystemtjeneste vil afhænge af deres placering f.eks. i relation til ålegræs eller andre lysfølsomme habitater.

Realisering af økosystemtjenesterne vil afhænge af lokale natur- og miljøforhold, som i de fleste danske vandområder er forarmede med dårlige lysforhold, forstyrrede havbunde med lav ilt og ringe biodiversitet. Områder for marin habitat-genopretning skal derfor udvæges med omhu. Hvis der f.eks. anlægges stenrev eller ålegræs i inderfjordene, kan disse nye habitater nemt blive overgroet af opportunistiske makroalger og epifytter, således at de pågældende habitater hæmmes i at realisere deres økosystemtjenester.

### Immobilisering af kvælstof og fosfor i vækstsæsonen

Immobilisering af kvælstof og fosfor i vækstsæsonen defineres ved processer, som reducerer næringsstofkoncentrationerne i vandsøjlen i vækstsæsonen (april-oktober). Biomasse-tilvækst af biologisk materiale som rodfæstet vegetation, flerårige makroalger og banker af muslingearter immobiliserer næringssalte, som derved bliver mindre tilgængelige for opvækst af planteplankton, epifytter og hurtigt voksende makroalger (opportunistiske makroalger) (Figur 1).



*Figur 1. Viser epifytvækst på ålegræsskud, hvilket hindrer eller svækker væksten ved at reducere planternes lysoptag samt udveksling af ilt og CO<sub>2</sub> med det omkringliggende vand.*

Når habitaterne når ligevægt, vil der på årsbasis ikke være netto immobilisering af næringsstoffer, men der kan i vækstsæsonen stadig være en netto binding i biologisk materiale.

Høje koncentrationer af planteplankton, epifytter og opportuniste er en væsentlig eutrofieringsbetinget presfaktor på naturtilstanden, der medfører organisk berigelse af sedimenterne og et stort iltforbrug, der videre kan medføre iltsvind med dertil hørende

forarmede naturtilstande. Dermed kan der tabes stabile livsvilkår for smådyr og fisk, som tilsammen skaber robuste fødekæder, der således forsvinder fra vores kyster og fjorde.

### Permanent lagring af næringsstoffer

Denne økosystemtjeneste defineres ved processer som sikrer, at næringsstoffer indlejres i biologisk biomasse, hvoraf en andel sidenhen begravnes permanent i havbunden. For alle habitaterne gælder, at biomassen af de levende overflader vil øges i forhold til baseline som er barbunden. Herved øges næringsstoflagringen i habitaterne og deres nærfelt indtil en ny højere ligevægt er nået, f.eks. når et stenrev er endeligt bevokset med makroalger og den øgende fiske- og smådyrs-biomasse er i balance. (Bruhn et al. 2020).

Yderligere lagring forekommer når komplekst organisk materiale, der indeholder lignin- og celluloseforbindelser begravnes i anoxiske sedimentlag. I disse iltfrie zoner kan bakterier ikke nedbryde f.eks. ålegræsbiomasse (Valdemarsen et al. 2014).

### Biodiversitet

Økosystemtjenesten kan defineres ved, at habitaterne skaber en højere artsrigdom end i baseline-situationen. Biodiversitetsudviklingen er variabel i de forskellige habitater, men alle understøtter udviklingen af mere divers og karakteristisk artssammensætning, fordi de enkelte habitater understøtter forskellige arter. I forhold til baseline vil der også udvikles øgede tætheder af de respektive arter, og tilsammen udvikles der mere komplette og robuste føde-net og -kæder i forhold til barbunden (Steinfurth et al. 2022).

### Skabe lysforbedrende forhold

Økosystemtjenesten defineres ved, at naturgenopretning af habitaterne forbedrer lysforholdene ved havbunden. Dette kan foregå som aktive processer, hvor dyr filtrerer vandsøjlen eller ved at habitatet fysisk hindre/reducere resuspensionsstyrken og -frekvensen, som ellers fastholder vandområder i en forarmet turbid tilstand. Forbedrede lysforhold kan også være et resultat af immobilisering af næringsstoffer, som ellers ville have medført opblomstring af planteplankton (se ovenfor).

### Klimavirkemiddel

Det er de samme processer som ovenfor (permanente lagring af næringsstoffer) der definerer klimavirkemidlet, her er der blot fokus på kulstoflagring beregnet som CO<sub>2</sub>-ækvivalenter. En fælles faktor for marin naturgenopretning er, at det begravede organiske materiale ikke resulterer i metan-udvikling og -afgasning, da sulfatrespirerende bakterier i sedimenternes iltfrie zone hæmmer metandannelsen. Her er baselinen ferskvandsbaseret naturgenopretning.

### Kystbeskyttelse

Økosystemtjenesten defineres ved at habitaterne reducerer erosionsprocesser og sedimenttransport. Dette er primært en beskyttelse som opstår, hvis habitatets fysiske tilstedeværelse reducerer strøm- og bølgepres. Alternativt kan det være udviklingen af biomasse som dæmper det hydrodynamiske pres.

## Habitaternes understøttelse af økosystemtjenester

Herunder følger en kortfattet gennemgang af, hvilke økosystemtjenester som de respektive genetablerede habitater potentielt realiserer.

### Spredte stenrev

Spredte stenrev er sten med variabel tæthed, således at der opstår en heterogen blanding af enkelt-sten og mindre klynger med 1-4 sten pr. m<sup>2</sup> (Figur 2).



*Figur 2. Nyanlagt spredt stenrev i Vejle Fjord 2022.*

Stenene sikrer forankringsmuligheder for marine makroalger og forbedrede levesteder for en række fastsiddende invertebrater. Området vil over tid udvikles til en tangskov fuld af 3D fysiske strukturer og rige muligheder for skjulesteder og strømlæ for fisk og mobile krebsdyr, hvis de anlægges, hvor der er tilstrækkeligt lys for makroalgerne. Makroalgerne vil optage næringssalte til vækstformål og immobilisere disse i vækstsæsonen. Udviklingen af lokale biodiversitet er et af hovedformålene med anlæg af de forskellige typer af stenrev. Dyretæthederne og artsrigdommen er meget større end på barbunden, og skaber potentielt komplekse fødekæder (Dahl et al. 2020). Der er ikke nogen dokumenteret permanent lagring af kulstof eller næringsstoffer, idet de fastsiddende organismer på stenene er relativt hurtigt nedbrydelige (Stæhr et al. 2020). Habitatet udgør derfor heller ikke noget essentielt klima-virkemiddel. Placeres habitatet tæt på kysterne, vil det i et vist omfang være kystbeskyttende.

### Huledannende stenrev

Huledannende stenrev er store sten i flere lag. Over tid vil mange mindre dyr og store marine makroalger skabe en levende overflade, der tiltrækker større fisk som havørreder, sej og torsk, mens hummere og ål benytter hulerne som skjulested (Figur 3).





*Figur 3. Nyanlagt huledannende stenrev i Vejle Fjord 2022.*

Stenrevene er vigtige for at øge biodiversiteten, og for at få torskebestanden på fode igen. Revene kan være meget produktive og rumme mange filtrerende organismer som forbedrer lysforholdene i nærfeltet. Revene kræver gode lysforhold, lave næringssaltskoncentrationer, og tilstrækkelig høje saltkoncentrationer for at stimulere væksten af de store marine brunalger. Placeres revene dybdere end den fotiske zone, kan de potentielt bidrage til iltvind og vil reducere omfanget af de leverede økosystemtjenester (Stæhr et al. 2020). Store stenrev kan virke effektivt i forhold til både kystbeskyttelse og skabe bølgelæ på kyststrækninger, hvor ålegræs ellers ikke kan reetableres. Revene er ikke CO<sub>2</sub>-neutrale, da det norske grundfjeld skal fragtes ned til udlægningsområdet.

### Muslingebanker

Blåmuslingebanker kan anlægges på forskellige bundsubstrater afhængig af eksponeringen. Muslingerne filtrerer vandmassen for planteplankton og sikrer derved forbedrede lysforhold og tilbageholder større mængder kulstof, kvælstof og fosfor i vækstsæsonen, som indlejres i muslingebiomassen (Figur 4).



*Figur 4. Retableret muslingeбанke i Vejle Fjord.*

Muslingeбанker skaber også øget biodiversitet sammenlignet med barbunden. Selv om muslingernes skaller indeholder høje koncentrationer af karbonat er der næppe tale om permanent kulstoflagring i muslingeбанker som generelt princip. Lagringen vil f.eks. være afhængig skallerne langtidsholdbarhed og der vil således være forskelle på banker af blåmuslinger, hestemuslinger og østers. Placeres muslingerne på kyststrækninger vil bankerne til en vis grad kunne understøtte kystsikring mod erosion. Dette er endnu mere udtalt for østersbanke, som med deres sammenhængende fysiske strukturer beskytter tidevandsfladernes saltmarsk-områder.

## Ålegræsenge

Nyetablerede ålegræsenge optager store mængder kulstof, kvælstof og fosfor i vækstsæsonen, hvoraf en andel begraves og lagres permanent i havbunden (Figur 5).



*Figur 5. Retablering af ålegræsenge i Vejle Fjord.*

God tilvækst i det udplantede ålegræs immobiliserer derfor næringsalte (Flindt et al 1999). Mange smådyr og juvenile fisk lever tæt koblet til ålegræsengene, hvor de kan skjule sig for rovdyrene. Dette skaber, tætte dyresamfund, velfungerende fødekæder med høj biodiversitet (Steinfurth et al. 2022). I modsætning til anlagte stenrev, som har en afgrænset udbredelse, vil ålegræsset kunne brede sig ud på nye nøgenbundsarealer enten ved vegetativ vækst eller ved frøbaseret dannelse af nye årsskud, som herved kan skabe nye ålegræsenge. Ålegræsenge kræver høj lysintensitet, lave næringsssaltskoncentrationer og gode sandede bundforhold for, at rødderne kan fastholde planterne, når der er bølgepres. Tætte ålegræsbestande er i stand til at dæmpe sandmobiliteten langs kysterne, mens en egentlig kystbeskyttelse i forhold til stormvejr er mere tvivlsom.

## Opsummering

Tabel 1 præsenterer hvilke biologiske økosystemtjenester de enkelte habitater understøtter. Det er senere intentionen at lave et tilbundsgående litteraturstudie af habitaternes kvantitative økosystemtjenester.

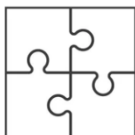
*Tabel 1. Hvilke økosystemtjenester understøtter de respektive habitater.*

Økosystemtjenester - potentialer	Spredte sten	Huledannende Stenrev	Muslingebanker	Ålegræs
Naturgenopretning	+	+	+	+
Immobilisering af N,P i vækstsæsonen	+	+	+	+
Permanent lagring af næringsstoffer	±	±	±	+
Biodiversitet	+	+	+	+
Lysforbedrende	±	±	+	+
Klimavirkemiddel (CO <sub>2</sub> -fjernelse)	÷	÷	±	+
Kystbeskyttelse	±	+	+	+

## Referencer

- Bruhn, A., Flindt, M.R., Hasler, B, Krause-Jensen, D., Larsen, M.M., Maar, M., Petersen, J.K. og Timmermann, K. 2020. Marine virkemidler – beskrivelse af virkemidlernes effekter og status for vidensgrundlag. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 126. - Videnskabelig rapport nr. 368
- Dahl, K., H. Buur, O. N. Andersen, C. Göke, and D. Tonetta. 2020. Indvandring Og Biodiversitet På Det Nye Stenrev Ved Livø. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 405. 60.
- Flindt, M.R., Pardal, M.A., Lillebø, A.I., Martins, I. & Marques, J.C.1999. Nutrient cycling and plant dynamics in estuaries: A brief review. *Acta Oecologica*. 20 (4) 237-248.
- Flindt, M.R., Kristensen, E. & Valdemarsen, T. 2011. Svigtende reetablering af ålegræs i fjerne. *Vand og Jord*. Vol. 1: 17-20.
- Lange, T., Wendländer, N., Svane, N., Steinfurth, R., Nielsen, B., Rasch, C., Kristensen, E., and Flindt, M.R. 2020. Storskala transplantation af ålegræs. *Vand & Jord*. Vol 1: 12-16.
- Lange, T., Valdemarsen, T., Kuusemäe, K., Aaskoven, N.L., Larsen, E.G., Kristensen E. and Flindt, M.R. 2022. Protection against physical stress enhances eelgrass (*Zostera marina*) transplant performance. *Marine Ecology Progress Series*. In press.
- Steven B Scyphers, Sean P Powers, Kenneth L Heck Jr, Dorothy Byron. 2011. Oyster reefs as natural breakwaters mitigate shoreline loss and facilitate fisheries. *PLoS One*. doi: 10.1371/journal.pone.0022396.
- Stæhr, P.A., Markager, S., Høglund, 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.
- Steinfurth, RC, Lange, T, Onchen, NS, Kristensen, E, Quintana, Flindt, MR, 2022. Improved benthic fauna community parameters after large-scale eelgrass (*Zostera marina*) restoration in Horsens Fjord, Denmark, MEPS doi.org/10.3354/meps14007
- Støttrup, J. G. 1999. "Kortlægning Af Stenrev, Stenfiskeri Og Fiskeri På Hårdbund Samt Metoder Til Videnskabelige Undersøgelser Af Rev Og Hårdbund".

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.



Centeret er finansieret af Miljøministeriet og Velux Fonden.



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.