

Kunstige rev

Review om formål, anvendelse og potentiale i danske farvande

Hovedredaktører

Josianne G. Støttrup og Hanna Stokholm

Danmarks Fiskeriundersøgelser
Afd. for Fiskebiologi
Box 101
9850 Hirtshals

ISBN: 87-88047-50-4

DFU-Rapport nr. 42

Kunstig rev projektet

Disposition

Forord	2
Engelsk resumé (English summary)	3
1. Indledning	7
2. Formålet	8
3. Definition af kunstige rev	9
4. Baggrund	9
4.1. Formål og international udvikling	9
4.2. Danske stenrev og naturgenopretning	12
5. Biologiske aspekter	14
5.1. Epifauna og flora	14
5.2. Fisk og hummere	15
5.3. Egentlig produktivitet	16
6. Det danske vragsfiskeri	16
7. Design, hydrografiske forhold og hydrodynamiske forhold	17
7.1. Design i forhold til hummere	18
8. Kunstige revs betydning for kystudviklingen	19
8.1. Princippet i et revs påvirkning af kystudviklingen	19
8.2. Eksempel på et revs bølgedæmpende effekt	21
8.3. Supplerende betragtninger	21
9. Materialevalg	22
10. Lovgrundlag og hjemmel	23
10.1. International praksis	23
10.2. Dansk lovgivning	23
11. Konklusion og anbefalinger	25

Forord

Projektets titel er: *“Anvendelse af kunstige rev til bestandsstyrkelse af hummer og som beskyttelse af yngelvækstområder for marine fisk”*.

Projektet gennemføres som et samarbejdsprojekt mellem følgende parter:

Danmarks Fiskeriundersøgelser (DFU)	Josianne G. Støttrup Hanna Stokholm Niels-Henrik Norsker
Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri	Dan Herrestrup
Danmarks Miljøundersøgelser (DM)	Jens Kjerulf Petersen
Dansk Hydraulisk Institut (DHI)	René Zorn Erik Asp Hansen
Dansk Institut for Fiskeri, Teknologi og Akvakultur (DIFTA)	Svend Steinfeldt
Skov og Naturstyrelsen (S&N)	Stig Helmig
Danmarks Fiskeriforening (DF)	Carsten Krog
Kystinspektoratet (KI)	Holger Toxvig Madsen
Agri Contact	Arne Møller Jørgen Olsen
Perstrup Beton Industri A/S	Ole Fast

DFU er koordinator for projektet, som er finansieret af FIUF (Finansielt Instrument for Udvikling af Fiskerisektoren), heraf er 50% EU-midler.

English Summary

The project: "Deployment of artificial reefs for stock enhancement of lobster and the protection of nursery grounds for marine fish", was carried out in co-operation with the following partners:

Danish Institute for Fisheries Research (DFU) co-ordinator	Josianne Støttrup Hanna Stokholm Niels-Henrik Norsker
Ministry of Food, Agriculture and Fisheries	Dan Herrestrup
National Environmental Research Institute (DMU)	Jens Kjerulf Petersen
Danish Hydraulic Institute (DHI)	René Zorn Erik Asp Hansen
Danish Institute for Fisheries, Technology and Aquaculture (DIFTA)	Svend Steinfeldt
The National Forestry and Nature Agency (S&N)	Stig Helmig
Association for Fisheries in Denmark (DF)	Carsten Krog
Danish Coastal Authority (KI)	Holger Toxvig Madsen
Agri Contact	Arne Møller Jørgen Olsen
Perstrup Beton Industri A/S	Ole Fast

This report is a result of the work carried out during phase 1 of a three-phase project. Only the first phase has been funded, financed through FIUF (Financial Instrument for the Development of the Fisheries Sector), 50% of which are EU-funds. The report summarises 6 individual reviews or reports on various subjects relating to artificial reefs attached as Appendices. The language is Danish.

The aim of the project is to examine the potential for re-establishing, protecting and developing fisheries resources in inner Danish waters through deployment of an artificial reef. Emphasis is on the lobster resources as well as certain commercially important demersal fish species.

The secondary aims are to:

- re-establish habitats in areas which have been disturbed through stone fishing, and regenerate habitats for naturally occurring hard-bottom fauna and flora (nature rehabilitation)
- establish an environment similar to a natural habitat with maximum density of lobsters in different stages of development on localities where these habitats are not available; in other words to enhance lobster stocks

- establish an environment which renders protection to lobsters at all stages of development
- increase production (and biomass) of the bottom fauna in the target area and thus increase fish prey
- establish good nursery and feeding grounds for marine fish (increased prey production, good shelter possibility, protection from dragging fishing gear)
- protect the coast through design and location of an artificial reef (coastal protection).

During phase 1, a literature study was conducted to examine the potential for fulfilling the above-mentioned aims and whether or not it would be desirable in Danish waters. If deemed feasible the following 2 phases would be put in action pending further funding which first had to be sought.

The results from the literature study are thus summarised.

Artificial reefs have been deployed in 29 countries, the heaviest activity being reported in Japan with over 7300 reefs until 1987, constituting a deployed volume of 17 million m³ at a total cost of 1.2 billion US\$. The aims for deployment of artificial reefs are manifold. However, the most widespread aim is the increase of fishery resources. Other aims include the re-establishment of the natural habitat, resource management and coastal protection.

A major contention of artificial reefs is that they may simply attract fish rather than contribute to an increase in production of this resource. However, the catch per unit effort has been demonstrated to increase at or near natural or artificial reefs. Indeed Danish fishermen have similar experiences with wrecks. This increase, whatever its origin, has such advantages that it provides the basis for the extensive Japanese reef policy.

The deployment of artificial reefs will result in the establishment of a new habitat with settlement of larvae and plant spores which otherwise would have been lost to the ecosystem. On a stable, natural type of structure the succession of plant and animal life will resemble that on natural reefs. Foreign studies on experimental reefs have shown that the physical heterogeneity and site are the two most important factors determining recruitment of epifauna and flora. Thus, in designing an artificial reef, individual elements as well as the overall reef structure should consider the biology, dispersion and life cycles of the potential species for colonisation.

Present day reef knowledge is insufficient to predict effects on fauna, flora or fish. Thus the deployment of an experimental reef should be accompanied by intensive research on dynamic aspects of sedimentation, recruitment and colonisation of reef organisms and the effects of hydrographic and biological factors. Results from such research is not limited to reef management but has implications for nature-restoration policy in marine habitats.

The European lobster is a bottom-dweller, easy to catch, tag and release and the tags can be registered electronically. The generation time is so long that a given stock would require more than a decade to re-establish itself naturally. Thus, this species is ideal for stock enhancement

in Danish waters in combination with an artificial reef. Results from several European countries show that it is possible to enhance lobster stocks through releases of reared juveniles. In designing such a programme it is however, recommended that preliminary research on habitat criteria for lobsters is conducted and that released lobsters are tagged to study the impact of such releases.

A well-developed reef and wreck fishery with non-dragging gear exists in Denmark. Utilisation of fishery resources on or around a reef will not require new knowledge, change of attitude or investment in new gear. On the other hand, the catch on wrecks or reefs is very effective and a conflict may arise between an optimal exploitation and fishery management. Therefore the deployment of an artificial reef requires the identification of fishery interests and their incorporation in the overall fishery management. Socioeconomical analysis should be an integral part of the study.

The importance of hard bottom for the marine biodiversity remains unquestioned. It allows sessile fauna to establish itself and provides stable attachment for algal vegetation. The reefs are important feeding areas for fish and birds and these together with macrophyte forests provide shelter for marine fish. In Denmark, stones have been fished for almost a century removing a substantial amount of hard bottom and reef habitat particularly in the shallow coastal zone with water depths below 10 metres. Very little information exists on the distribution and extent of hard bottom or natural reefs in Danish waters and work to map these was first initiated in the present decade.

Thus exists the potential for re-establishing hard bottom or reef habitats in a structured manner. In view of the on-going extensive terrestrial nature-rehabilitation, a similar activity in the marine environment should be seriously considered. The mapping of the extent of hard bottom, the ecological significance and the importance for fish stocks and fishery should gain research priority. The deployment of an experimental reef with well-defined aims will significantly contribute to the understanding of reef ecology and the importance of reefs for the fishery and the environment.

Existing knowledge from geological and biological research combined with fishermen's knowledge on good lobster grounds provides the basis for site evaluation for the deployment of a multi-purpose reef aimed at stock enhancement of lobster resources and nature-rehabilitation. The re-establishment of reef habitat would increase the ecological and economic value of a previously disturbed locality.

It was not the purpose of this study to propose detailed locations, shape, size or material for an artificial reef, but these subjects have been discussed during the course of the project and several criteria have emerged which should be a tangible part of future work in this area.

The site of choice is closely linked with the purpose of deployment and is therefore limited to areas where fishing for stones has taken place, where there is a stony or mixed sand-stone bottom and in relatively shallow depths. Close to shore, the shape could be designed to add an extra dimension of coastal protection and in areas which would provide shelter for juvenile fish or where lobsters occur naturally. Kattegat has been nominated as an area, which fulfills several of these criteria and where the study of an experimental artificial reef would be practically feasible.

The deployment of an experimental artificial reef is recommended. Instead of simply laying down stones in a random fashion, an artificial reef should be constructed to fulfill several purposes simultaneously:

- nature rehabilitation
- enhancement of lobster stocks
- protection of feeding and nursery grounds
- protection and increase of biodiversity.

Parallel to the above research could be conducted to examine the potential for secondary purposes such as:

- coastal protection
- protection of ship harbour channels
- improve the design of protection around marine constructions such as bridge pillars and windmill foundations to serve as functional artificial reefs.

The project would require an integrated research effort in co-operation between those partners with the necessary expertise to produce the scientific evidence for the extent of which artificial reefs fulfill the aims set down. The present group agreed that the following basic elements should be incorporated in such a project.

- a well-defined research area large enough for a reference and artificial reef area
- an artificial reef area large enough to enable the study of colonisation with and without the influence of the releases of lobsters
- the results should be based on research of minimum 2 years before deployment and 5 years post-deployment
- data to be compared with similar data, where available, on natural reefs
- socioeconomic studies should be an inherent part of the project
- the fishery utilisation and value of these resources should be examined and compared to the value of wreck fishery and well as to the extra costs involved in laying a specifically designed artificial reef instead of random laying of rocks or boulders.

1. Indledning

Projektet er bygget op i tre faser (Figur 1) og der er i første omgang bevilget midler til Fase 1.

Fase 1 er den indledende fase: videnindsamling, beslutning om fortsættelse og konkretisering af planerne.

Fase 2 er en forundersøgelse af udsætningsområdet, samt revkonstruktionsfasen.

Fase 3 er monitoringsfasen efter revudlægning.

Fase 1: Forprojekt delt i to dele	2 år
Del 1: Redegørelse og beslutning	Bevilliget
Del 2: Afslutning eller projekt detailbeskrivelse	
Fase 2: Forundersøgelse	Mindst 2 år
Revkonstruktion og udlægning	Ikke bevilliget
Fase 3: Monitorering	Mindst 5 år
	Ikke bevilliget

Figur 1 Grafisk fremstilling af projektets opbygning

Fase 1 skal betragtes som et forprojekt og består af to dele. Målet med Del 1 af Fase 1 er at skaffe overblik og indsigt i litteraturen på området samt at udarbejde et review (redegørelse), baseret på den tilgængelige viden. Formålet med dette arbejde er at sætte os i stand til at vurdere om udlægning af kunstige rev er interessant i en dansk sammenhæng.

Del 2 af Fase 1 består af beslutningen om eventuel fortsættelse af aktiviteterne. Er der enighed om et *grundlag* for en indsats, der sigter mod udlægning af et forsøgsrev, skal der foretages en konkretisering af projektet (herunder opnås enighed om placering, størrelse og grundlæggende udformning), så der på basis af det materiale kan søges om bevilling til de næste to faser.

Der er frem til denne rapport redigering afholdt fem møder og projektforsløbet er skitseret nedenfor;

- 1. møde** blev afholdt på Nordsøcentret den 21. maj 1996 med det formål at introducere "Kunstig rev projektet" og projektdeltagerne for hinanden samt at få udarbejdet en arbejds- og ansvarsfordeling.
Mellem 1. og 2. møde blev der gennemført litteratursøgninger, som blev emneopdelt og fordelt blandt deltagerne.
- 2. møde** blev afholdt på Charlottenlund Slot den 3. december 1996 med det formål at gennemgå status for projektet. Ved denne lejlighed holdt Dr. Cripps fra Rogalandforskning et foredrag om kunstige rev i fiskerisammenhæng.
Mellem 2. og 3. møde blev bilagsrapporterne om de forskellige emner begyndt.

- 3. møde** blev afholdt på Nordsøcentret den 2.-3. april 1997 med det formål at præsentere projektdeltagernes bidrag for hele gruppen. Per Jahrens holdt et foredrag om anvendelse af kunstige rev i Japan samt om specielle konstruktioner til hummere. Mellem 3. og 4. møde blev et resumé af hver bilagsrapport indarbejdet i en hovedrapport.
- 4. møde** blev afholdt på Charlottenlund Slot den 28. maj 1997 med det formål at diskutere de forskellige afsnit i reviewet samt at diskutere de anbefalinger, som skulle inddrages i rapporten. Mellem 4. og 5. møde blev bilagsrapporterne færdiggjort og hovedrapporten blev redigeret.
- 5. møde** blev afholdt på Nordsøcentret den 14. august 1997 var et redaktionsmøde. Hvorefter hovedrapporten blev færdigredigeret.

Denne rapport, der resumerer nedenstående bilag, er resultatet af Del 1 af projektets Fase 1.

Bilag A: Ib Svane & Jens Kjerulf Petersen, DMU: Om den økologiske forståelse af kunstige rev: et litteraturstudie af heterogenitet og dynamik.

Bilag B: Niels-Henrik Norsker, DFU: Status af forskning i fiskeribiologi på kunstige rev.

Bilag C: Carsten Krog: Det danske vragsfiskeri.

Bilag D: Stig Helmig, S&N: Materialevalg.

Bilag E: René Zorn & Erik Asp Hansen, DHI: Kunstig Rev Projekt: Design, hydrografiske og hydrodynamiske forhold.

Bilag F: Jørgen Olsen, Agri Contact: Kunstig Rev: Betonkonstruktion som levested for hummere (*Homarus gammarus*) - Designmæssige aspekter.

Bilag G: Arne Møller, Agri Contact: Rapport fra besøg i Japan maj 1997.

2. Formålet

Hovedformålet med det samlede projekt er at undersøge mulighederne for at reetablere, beskytte og udvikle fiskeressourcer i de indre danske farvande gennem etablering af kunstige rev. Hovedvægten lægges på hummerressourcerne samt visse kommercielt vigtige fiskeressourcer, der lever på eller nær bunden. Projektet's delmål er at undersøge muligheden for at:

- naturgenoprette områder, hvor der tidligere har været drevet stenfiskeri, med henblik på at genskabe habitater (levesteder) for den naturligt forekommende hårbundsfauna og flora

- etablere et miljø, der i stor udstrækning svarer til naturlige habitater med maksimal individtæthed for hummer i alle artens livsstadier, på lokaliteter, hvor disse omgivelser ikke eksisterer i forvejen, dvs. en styrkelse af hummerbestanden
- skabe et miljø, som beskytter hummer i alle livsstadier
- øge produktionen (og biomassen) af bundfaunaen i det pågældende område og dermed øge mængden af byttedyr for fisk
- etablere velegnede opvækst- og fourageringsområder for marine fisk (øget byttedyrproduktion, gode skjulemuligheder, beskyttelse mod slæbende fiskeredskaber)
- beskytte kysten ved hjælp af design og placering af et kunstigt rev (kystbeskyttelse).

3. Definition af kunstige rev

Ud fra et biologisk synspunkt kan næsten enhver hvilken som helst konstruktion eller struktur, som sættes ud i havet betragtes som et kunstigt rev. Selvom det i den videnskabelige litteratur om kunstige rev bliver diskuteret om kunstige rev skal betragtes på lige fod med naturlige rev eller om de skal betragtes som "fouling" objekter¹, så er der ingen grund til at antage, at der ikke skulle udvikles varieret plante- og dyreliv på en næsten hvilken som helst type konstruktion, der bliver udlagt som kunstigt rev. Hvis konstruktionen endvidere er af et holdbart stenlignende materiale, er det sandsynligt, at udviklingen af flora og fauna på revet ikke vil adskille sig signifikant fra udviklingen på naturlige stenrev. Udlægning af kunstige rev vil derfor kunne bidrage til en forøgelse af et områdes biologiske diversitet. Udlægges et kunstigt rev dog i et område, hvor der ikke tidligere har været naturlige rev, kan den ændrede sammensætning af fauna og flora på revet i det pågældende område næppe karakteriseres som en naturlig udvikling eller naturgenopretning.

Kunstige rev kan til tider forveksles med FAD²s, da der ikke findes et skarpt skel mellem definitioner af FAD og kunstige rev. Som oftest er FADs simple, ikke-permanente konstruktioner, der til tider kan flyde på eller lige ved vandoverfladen.

4. Baggrund

4.1. Formål og international udvikling

Etablering af kunstige rev har internationalt rettet sig mod mindst fem forskellige formål: fiskeressourceskabende formål, ressourceforvaltning, kystbeskyttelse (f.eks. bølgebrydere), videnopbygning samt naturgenopretning (f.eks. koralrev).

¹Fouling: begroning

²FAD: Fish Attracting Device: fisketiltrækningsanordninger

Formålet med etablering af kunstige rev er især at opnå bedre fiskemuligheder, spare tid og brændstof ved sejlads til fiskepladserne, at reducere arbejdsbyrden ved fiskeri og forbedre tilgangen for både fritids- og erhvervsfiskere. Igennem den senere tid er det tillige blevet hævdet, at kunstige rev øger den lokale biodiversitet og derfor bidrager til opretholdelsen af marinbiologiske miljøer i områder med høj udnyttelsesgrad. Imidlertid er de økologiske konsekvenser af etableringen af kunstige rev utilstrækkeligt dokumenteret til at få en egentlig forståelse af både strukturelle og funktionelle effekter.

En lang række lande har udlagt eller planlagt udlægning af kunstige rev. Der er rapporteret om kunstig rev aktiviteter i 29 lande. De mest ambitiøse revprogrammer er de japanske, der over de sidste 30 år har ført til udlægning af mere end 7.300 (1987) rev med et samlet udlagt volumen på 17 mio. m³ og til en samlet omkostning af 1,2 mia. US\$. Det nuværende nationale program til støtte for udsætning af fiske- og skaldyrsyngel er på 20 billioner (milliarder) yen svarende til 1 milliard Dkr.

Oprindeligt var formålet med anlæggelsen af kunstige rev udelukkende at *skabe* fiskeriressourcer - i overensstemmelse med alle de japanske og flertallet af de amerikanske projekter, dvs. revene i bred forstand er fiskeri- og/eller managementredskaber. Det strategiske mål i den nyere japanske revudlægning er at oprette fiskebanker i områder, hvor der ikke nødvendigvis tidligere har været sådanne. Udlægning af kunstige rev i Japan retter sig mod kommercielt fiskeri, og i særdeleshed det kystnære (artisanale) fiskeri, med det formål at bevare arbejdspladser i erhvervet. Svarende til ambitionsniveauet er der etableret en praksis, hvor disse fiskebanke-skabende projekter er associeret med rev-element udlægning i meget stor skala. Omkostninger for et sådant rev ligger i størrelsesordenen 3-4 mio. US\$. Et japansk rev af "normal størrelse" svarer til 500-2500 m³ (hvert revelement er 1-1,4 m³), men de meget store rev er 20 gange større. Der er endvidere en tendens i retning væk fra standard rev mod større projekter med specielt konstruerede rev til bestemte formål. Enkelte af de store rev projekter har det sekundære formål at skabe upwelling³ for at øge primærproduktionen. Oplysninger om udviklingen i Japan er besværliggjort af, at langt de fleste informationer og forskningsresultater kun foreligger på japansk. Der er dog indsamlet enkelte engelsksprogede publikationer samt en ca. 30 min. lang videofilm, der giver et godt indtryk af udviklingen i Japan. Det har ikke været muligt at finde egentlig dokumentation af japanske rev's funktion.

Japanske rev anlægges med statsstøtte på op til 60 %, og de øvrige udgifter deles af lokalsamfund og fiskekooperativer. Den statslige støtte stiger med projekternes størrelse.

Udviklingen indenfor de aktiviteter, der har relation til kunstig rev i Japan falder i tre grupper:

- 1) Akvakultur baseret opdræt af fiske-, skaldyr- og muslingeyngel
- 2) Overførsel af fiskeyngel til havmiljø
- 3) Opvækst i og fangst fra havmiljø

Udvikling og optimering af akvakulturbaseret opdræt af yngel fokuserer på 68 forskellige arter af fisk, skaldyr og muslinger. Dette udviklings- og optimeringsarbejde foregår dels ved nogle af de 9 nationale fiskeri-forskningsinstitutter i Japan, dels ved 16 nationale opdrætstationer lokaliseret i forskellige regioner og alle tilhørende sammenslutningen Japan Sea-Farming Association og dels ved 53 opdrætstationer, der drives af forskellige prefectures

³Upwelling: opstigning af næringsrigt vand fra havbunden

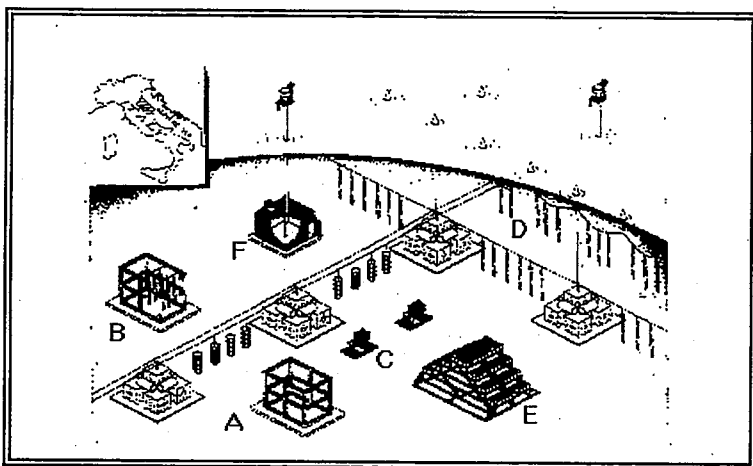
(amter) i Japan. Som et eksempel på omfanget af udsætninger kan nævnes, at der sidste år blev udsat ca. 300 millioner ca. 25 mm store Pruna Prawn.

CPUE⁴ data er det tættest man kommer på fiskeriøkonomiske data for kunstige rev, men de giver ikke sikkerhed for, om der er tale om tiltrækning eller egentlig øget produktivitet. CPUE er rapporteret stigende i forbindelse med udlægning af kunstige rev i Japan. Dette er også i overensstemmelse med de erfaringer danske fiskere har gjort i forbindelse med vragsfiskeri (se Kapitel 6). Denne stigende CPUE synes i for eksempel den japanske revpolitik at være tilstrækkelige til at retfærdiggøre selv høje omkostninger til udlægning af rev, idet tiltrækning og dermed koncentrationseffekten i sig selv er fordelagtig i forbindelse med energiforbrug i fiskeri samt ved forvaltning af fiskeressourcer (kan begunstige kystnært fiskeri i forhold til oceanisk fiskeri, hvilket for eksempel har været målet med mange bistandsprojekter i ulandene).

De amerikanske projekter fordelt over 12 stater har også overvejende ressourceskabende sigte, men de er generelt rettet mod fritidsfiskeri, og der er flere projekter med veldokumenterede resultater i form af registrerede øgede udbytter for fritidsfiskerne. Derudover kan man konstatere, at de amerikanske rev, i modsætning til de japanske, i meget stort omfang har bestået af affaldsmaterialer (bildæk, bilvrag, skibsvrag, off shore installationer m.m.), så et sekundært affaldsdeponeringsformål er måske rimeligt at antage. Størst aktivitet med hensyn til udlægning af kunstige rev findes i den Mexicanske Golf, alene i Alabama er flere end 6000 rev blevet udlagt. Men også i Washington (Puget Sound) er der udbredte fritidsfiskerorienterede revprojekter, der tillige er basis for flere videnskabelige studier. De tre store naturstensrev ud for La Jolla i Californien er veldokumenterede med hensyn til fisk.

Et ganske andet formål med udlægning af kunstige rev kan være naturgenopretning. I mange lande med koralrevforekomster, er der sket udbredt skade på koralrevene som følge af direkte industriel aktivitet på revene, f.eks. dynamitfiskeri, råstofindvinding (kalksten) og indsamling

af sjældne koraller til turistindustrien. I disse tilfælde kan det være relevant at reparere revformationer eller skabe erstatningshabitater for revfisk. Rev, der er orienteret mod sådanne formål, kendes fra Sri Lanka og Maldiveerne. I flere lande i det sydøstlige stillehavsområde, hvor der er koralrevsforekomster, er sådanne formål nævnt i statslige revprogrammer, men der er ikke fundet dokumentation for at rev med dette specifikke formål er blevet udlagt andre steder i verden. I det sydlige Stillehav har der været forholdsvis



Skematiseret diagram af et italiensk kunstigt kombi-rev; A: beton pyramider, B-E: beton eller jern konstruktioner til skaldyr, F: jernbur på bunden til fiskeopdræt. Taget fra Fabi & Fiorentini. 1996. In: Jensen (ed). European Artificial Reef Research, 123-140.

⁴CPUE: Catch Per Unit Effort: fangst per indsatsenhed - for eksempel antal fanget per trawltid

omfattende udlægning af FAD's, og for en dels vedkommende finansieret af internationale bistandsorganisationer.

Kunstige rev kan også være udlagt med det sekundære formål at hindre ulovligt trawlfiskeri i følsomme opvækstområder for fiskeyngel; eksempler herpå er italienske og spanske rev i nordvestlige Middelhav og ved Sicilien. I sådanne tilfælde vil man ofte kunne opleve en markant effekt på det stedlige kystfiskeri. Man kan endvidere med kunstige rev flytte en eksisterende fiskeressource og derved for eksempel reallokere den til andre brugergrupper.

4.2. Danske stenrev og naturgenopretning

Den hårde havbund har en særlig betydning for havets biologiske mangfoldighed - kun på denne bundtype kan den righoldige benthiske algevegetation finde fæste og kun her kan hårbundsfaunaen udvikles. Dertil kommer revenes betydning som forurageringsområder for fisk og fugle samt algeskovenes betydning som beskyttelsesområder for fisk og fiskeyngel. Endelig er revene levested for en række dyr, der lever frit mellem stenene og gemmer sig i huler under og mellem stenene.

Stenrevene i vore farvande er udvaskede postglaciale randmoræner. På søkortene kan stenrevene lokaliseres som større eller mindre øer i undersøiske buer svarende til formen på den afsmeltende istunge.

Vi kender ikke i dag den arealmæssige udbredelse af stenrev i danske farvande. Først i 1990'erne er der påbegyndt en detaljeret indsamling af viden om de danske stenrev. Flere stenrev er kortlagt akustisk ved side scanning og efterfølgende undersøgt biologisk ved en række punktdykninger. Omfattende artslistor over specielt algevegetationen på revene, beregninger af stentætheder og mængder samt kilometer af undervandsvideo er væsentlige dele af det datagrundlag, der på mindre end 10 år er indsamlet systematisk - et datamateriale, der endnu er under bearbejdning.

Trods stenrevenes biologiske betydning udgør de fortsat en af de mest komplekse og dårligst udforskede habitater i det marine økosystem. Selvom der findes henvisninger til stenrevenes rige fiskefauna i blandt andet Danmarks Natur, har det ikke været muligt at lokalisere videnskabelige værker om denne fiskefauna, og det vurderes, at der ikke har været udført undersøgelser af fisk på danske stenrev. Hårbundssubstrater har særlig betydning for havets mangfoldighed på grund af den specielle fauna og flora der udvikles her. Dette vil også have indflydelse på udbredelsen af fisk, men betydningen for fisk og fiskeri har ikke været undersøgt i dansk sammenhæng.

Netop fordi klipper og klippekyst er så godt som ukendt i Danmark har udnyttelsen af de undersøiske stenrev være stor til etablering af beskyttelsesværker først og fremmest i forbindelse med havneanlæg. Specielt den stenede bund på de lavere vanddybder langs kysten eller på flak og puller, hvor vanddybden er mindre end 10 meter, har været særlig attraktiv for stenfiskerne.

Indvinding af sten fra havbunden har fundet sted i årtier og det er i dag kun muligt at give en skønsmæssig vurdering af, hvor store stenmængder, der er fisket op fra havbunden. Antages det totale stenfiskeri i perioden 1950 - 2000 at være på 1,4 millioner m³ og antages

gennemsnitsstørrelsen på de opfiskede sten at være på 30 cm. i diameter og stenene i øvrigt at ligge enkeltvis på havbunden som halvkugler er der skønsmæssigt opfisket et hårbundsareal svarende til ca. 15 km² indenfor de seneste 50 år. Det lyder måske ikke som nogen væsentlig trussel. Tre forhold er dog væsentlige i vurderingen af den miljømæssige effekt - for det første er der tale om opfiskning af de store og største sten på revene, for det andet er så godt som alle rev hvor stenene ligger i stabler - de såkaldt *huledannende rev* - opfisket og for det tredje har opfiskningen været koncentreret om de helt lavvandede områder herunder områder hvor stenene på toppen var blotlagt ved lavvande.

I 1992 fik rev en særlig status, idet denne naturtype specifikt blev nævnt i EU-direktivet om bevaring af arter og levesteder, i daglig tale kaldet Habitatdirektivet. Medlemslandene forpligtiger sig til at beskytte blandt andet denne naturtype og til at udpege habitatområder samt overvåge plante- og dyrelivet på de udvalgte områder. Fra dansk side er 15 stenrev indstillet til udpegning.

Med baggrund i råstofindvindingen af søsten og Habitatdirektivets naturtypeudpegning kan der være god grund til at undersøge mulighederne for naturgenopretning af stenrev på udvalgte steder i danske farvande. Der gøres i dag en aktiv indsats for at genoprette områder af særlig betydning for plante- og dyrelivet, og i en række områder ses store forbedringer af den biologiske mangfoldighed. Den hidtidige indsats har betydet, at der er genskabt mere end 30 km² søer og lavvandede områder. Mere end 130 km² enge, strandenge, moser overdrev og heder er blevet plejet eller retableret. 91 km² skov er udpeget til naturskovedsarealer og arealer til urørt skov (Natur- og Miljøpolitisk Redegørelse, Miljø- og Energiministeriet, 1995). Hidtil har der ikke været foretaget naturgenopretning på søterritoriet (Biologisk mangfoldighed i Danmark - status og strategi, Miljø- og Energiministeriet, 1995).

Den eksisterende viden fra stenfiskerne, de geologiske og biologiske undersøgelser og viden fra erhvervsfiskerne om eksempelvis gode lokaliteter for fiskeri efter sorthummer udgør den viden, der i dag er grundlag for at udpege områder, hvor naturgenopretning i form af kunstige rev vil øge områdets økologiske og økonomiske værdi og ikke mindst grundlag for områder hvor en intensiv stenrevsforskning bør finde sted i åbne danske farvande.

Kriterie for naturgenopretning:

- Rev til rev. Kun lokaliteter, der i forvejen er klassificeret som stenrev kan omfattes af natur-genopretning.

Mål for naturgenopretning:

- Nichedannelse. Belyse forskellige stenstørrelses eller konstruktioners betydning for fremme af den biologiske mangfoldighed.
- Artsfremme. Belyse konstruktioner, der sigter mod specifikt at fremme bæredygtige bestande af udvalgte arter.
- Stabilitet. Belyse større sten eller konstruktioners stabiliserende effekt på rev, der har været underlagt et intensivt stenfiskeri af de store sten og som derfor i dag er under erosion.

5. Biologiske aspekter

5.1. Epifauna og flora⁵

I modsætning til, hvad der kan være gældende for fisk, vil den biomasse, som udvikles på et kunstigt rev, primært være at betragte som ny produktion og ikke blot biomasse tiltrukket fra andre rev i udlægningsområdet. Et kunstigt rev kan betragtes som tilvejebringelse af en ny habitat, og de larver og plantesporer, som bundfælder på revet, ville med stor sandsynlighed ellers være gået tabt. Dette forhold gør sig særligt gældende, hvis revet bliver udlagt på en bar bund med ringe heterogenitet, f.eks. en sand- eller mudderbund. Udover kunstige revs indlysende effekt som nyt substrat for bundfældende organismer, kan revene også påvirke den umiddelbart omkringliggende fauna og flora. Noget entydigt billede af denne påvirkning kan dog ikke udledes af litteraturen og vil givetvis afhænge af lokale hydrografiske og biologiske forhold.

Rekrutteringen⁶ til kunstige rev vil være styret af strømme, der fører larver og sporer til revet samt af revets placering og opbygning. I tempererede områder, som de danske farvande, vil rekrutteringen endvidere være sæsonbestemt. Plante- og dyrelivets udvikling i tid og rum på kunstige rev kan, på baggrund af den eksisterende litteratur, ikke umiddelbart forudsiges og der kan med afsæt i den eksisterende viden heller ikke forudsiges et generelt udviklingsmønster. Derfor vil rekruttering til og økologisk udvikling på et kunstigt rev, kun kunne forudsiges i relative termer. Udlægning af kunstige rev i danske farvande bør derfor ledsages af en målrettet forskningsindsats, der kan belyse de dynamiske aspekter af bundfældning, rekruttering og udvikling af epibentiske organismer og disses afhængighed af hydrografiske og biologiske faktorer. Anvendelsen af en sådan forskningsindsats vil ikke være begrænset til overvågning af kunstige rev, men rækker videre og er bl.a. af stor betydning for den indsats, der lægges i naturgenopretning.

Et vigtigt aspekt ved et kunstigt rev og i studierne af det, er dets fysiske heterogenitet og den heterogenitet det medfører i det område, hvor det udlægges. Det kan antages, at størrelse, diversitet og tæthed af organismer på og i et rev er betinget af den integrerede mængde og størrelse af nicher - her simpelt defineret som den plads, der beskytter et individ fra prædation⁷ - og ikke nødvendigvis tilstedeværelsen af føde. Det er derfor af største vigtighed, at der udvikles metoder til at bestemme et kunstigt revs heterogenitet således, at denne egenskab kan sættes i relation til opstillede krav og forventninger. Ønskes det kunstige rev f.eks. anvendt som rekrutteringsbase for juvenile⁸/små organismer vil kravene til revets strukturelle heterogenitet være anderledes end, hvis revet ønskes anvendt som habitat for større/ældre organismer med et længere livsforløb. Kendskab til revets fysiske heterogenitet vil også være af stor betydning, når den økologiske udvikling på og omkring revet, skal sammenlignes med omkringliggende naturlige rev.

Udlægning af et kunstigt rev vil i sig selv forandre udlægningsområdets fysiske heterogenitet. Områdets samlede fysiske heterogenitet vil påvirke den vegetation og fauna, som udvikles på

⁵Epifauna og flora: dyre- og planteliv, der sidder på et underlag

⁶Rekruttering: tilgang af nye individer til bestanden

⁷Prædation: det forhold, at et dyr angriber og æder et andet dyr

⁸Juvenile: stadiet mellem larve og kønsmodent individ

det udlagte rev. Denne påvirkning vil være relateret dels til afstanden fra det udlagte rev til andre kunstige revinstallationer, naturlige rev eller andre heterogene strukturer som enge af ålegræs eller makroalger, dels til den indbyrdes afstand og konfiguration af de enkelte revmoduler. Spredte enheder vil resultere i et anden artssammensætning på de enkelte revmoduler end kompakte enheder. Ved design af et kunstigt rev er det således nødvendigt at tage hensyn til både de enkelte elementers og til det samlede systems heterogenitet set i relation til de koloniserende arters spredningsbiologi, vækst og livscyklus. En komplikation ved beskrivelse af et kunstigt revs samlede heterogenitet er revets udvikling efter udlægning. Den påvækst som naturligt kommer på revet vil øge dets heterogenitet og dermed habitatsdiversitet.

Kunstige rev kan med fordel bruges som marine produktionssystemer, hvor organismer, der i tidlige stadier af deres livscyklus dyrkes i landbaserede akvakulturer eller indsamles som larver/juvenile, udsættes på revene for derefter senere at blive høstet. Denne form for produktion kan også bruges til at beskytte og udvikle overudnyttede bestande af kommercielt interessante arter. Det er specielt stationære eller semi-stationære arter som snegle, muslinger og hummere, der har været anvendt til dette formål.

5.2. Fisk og hummere

Kvaliteten af den eksisterende viden om kunstige revs effekt er meget forskellig for hummere og fisk, fordi betingelserne for at indhente viden om disse to dyregrupper på kunstige rev er vidt forskellige pga. stor forskel i mobilitet og stedbundethed.

Hummere er bundlevende, forholdsvis lette at indsamle, mærke og genudsætte i en given habitat, og mærkerne kan registreres elektronisk. I danske farvande må specielt hummere anses for at være egnede til dyrkning på kunstige rev. Resultater fra en række europæiske lande viser, at programmer til udsætning af juvenile hummere dyrket i akvakultur ud fra en biologisk betragtning har gode forudsætninger for succes. Ved etablering af kunstige rev i danske farvande med henblik på at dyrke hummer må det anbefales, at der ved design af revet tages hensyn til hummernes habitatskrav og at kun mærkede hummere udsættes således, at betydningen af udsætningen kan kvantificeres. Det er specielt vigtigt at sikre imod genetisk forurening ved at bruge moderdyr fra udsætningsområdet.

Effekten af kunstige rev er i litteraturen søgt dokumenteret ved følgende størrelser:

- Stående bestande (tæthed eller biomasse angivelser)

- CPUE (catch per unit effort) gennem kommercielt, forsøgs- eller fritidsfiskeri

- Biologisk produktivitet

Der er to forskellige grundudformninger af konstruktioner på havbunden, egentlige kunstige rev og FAD's, men deres biologiske funktioner overlapper hinanden, da egentlige kunstige rev også har tiltrækkende virkning på fisk. En stor del af diskussionen om revenes effekter går netop på, hvorvidt revenes hovedfunktion er tiltrækning eller produktion af fisk.

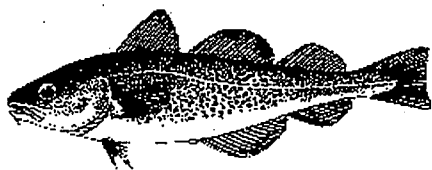
Det betragtes som en elementær konstatering, at FAD's afgjort *virker* efter hensigten. Alene den danske erfaring, at en betydelig del af landingerne af torsk til konsum stammer fra fiskeri på vrage (se kapitel 6) og det forhold, at vrage genkoloniseres efter få timer, er en simpel dokumentation af denne opfattelse. Det er også generelt accepteret, at der i mange tilfælde

over længere perioder foregår opbygning og tilpasning af fiskesamfundene på kunstige rev, hvilket kendetegner et dynamisk system.

5.3. Egentlig produktivitet

Bag vedtagelsen af de fleste kunstig revprojekter ligger intentioner om at øge produktionen af fisk i det område, revet udlægges i. Talrige artikler, der omhandler effektstudier på kunstige rev, anfører således indledningsvis, at der er behov for en vurdering af, hvorvidt de øgede fangster, der kan konstateres på revene udelukkende skyldes attraktion af fisk eller der er tale om en forøget produktion. Det er langt fra simpelt at måle sådanne effekter, både fordi der er store praktiske vanskeligheder forbundet med det, men også fordi der ikke hersker nogen klar opfattelse af, hvilken type produktionsdata, der kan tilfredsstille disse forventninger.

Endvidere hersker der ikke nogen konsensus om, hvorledes sådanne effektstudier skal kunne gennemføres for at give sammenlignelige resultater. Følgelig er det også meget begrænset, hvad der kan findes af *veldokumenterede* kriterier for konstruktion af kunstige rev. Det skal samtidig erindres, at manglen på dokumentation ikke er ensbetydende med, at revene ikke kan give en øget produktion - blot at en sådan effekt kun i ganske enkelte tilfælde har været påvist. Der er på den anden side enighed om, at en øget produktion ikke *automatisk* vil følge af udlægning af kunstige rev; at der ikke kan gives et entydigt og generelt svar på, om udlægning af kunstige rev vil øge fiskeproduktion samt at disciplinen endnu ikke er så moden, at der kan



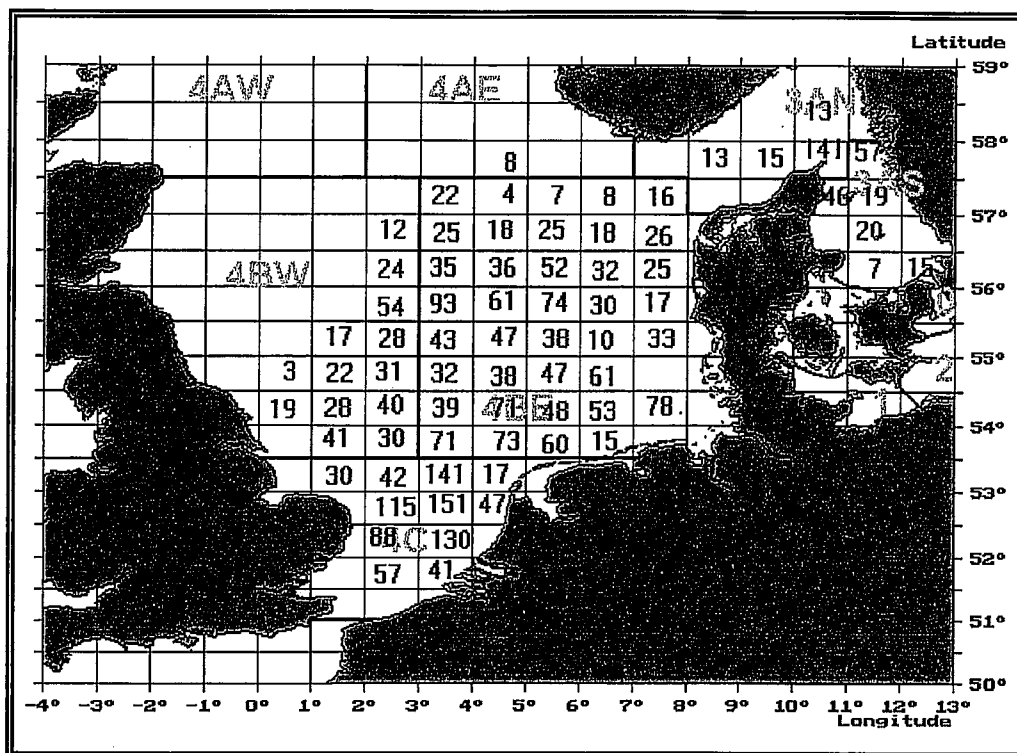
Torsk, *Gadus morhua*

refereres til accepterede konstruktions- og udlægningskriterier for at sikre effekt på en given lokalitet. Ved etablering af et kunstigt rev vil det derfor være af største vigtighed at der gøres en stor indsats for at udvikle metoder til at måle produktiviteten og at dokumentere en eventuel øgning af fiskebiomassen som kan relateres til en målbar revenhed.

6. Det danske vragsfiskeri

Den eksisterende, dokumenterede viden om effekten af kunstige rev på fiskebestandene i de nordøst atlantiske farvande er meget sparsom. Det har imidlertid i mange år været almen viden blandt fiskerne, at visse fiskearter med fordel kan fiskes på stenrev eller nær vrags, olieinstallationer og andre genstande på havbunden. Indtil omkring 1970 foregik det meste fiskeri på vrage med kroge/pilke, men med udviklingen af nøjagtige positioneringssystemer og af sonaren blev det muligt at placere garn på eller helt tæt på vrags m.v. og garnfiskeriet er herefter blevet det helt dominerende fiskeri på disse lokaliteter.

Fiskeri på vrags m.v. er især udbredt i Nordsøen og Skagerrak, men det er hovedsageligt begrænset til områder med vanddybder mindre end 75 m (se Figur 2). På større dybder er det vanskeligt/umuligt pga. den ofte stærke strøm at placere garnene med den tilstrækkelige præcision. Fiskerne har lokaliseret adskillige tusinder vrags og andre genstande på havbunden, der fiskes på efter bestemte mønstre og efter indbyrdes aftale.



Figur 2 Fiskernes registreringer af vrug fordelt på ICES-kvadrater. Tomme kvadrater betyder ikke nødvendigvis at der ikke findes vrug men at oplysninger mangler.

Den helt dominerende art er torsk (*Gadus morhua*), men i den dybere, nordlige del af Nordsøen og Skagerrak har også arter som mørksej (*Pollachius virens*), lyssej (*Pollachius pollachius*) og lange (*Molva molva*) en vis betydning. Omtrent halvdelen af den danske torskekvote i 1996 i Nordsøen blev fanget med garn og heraf blev ca. halvdelen af fangsterne gjort på vrug m.v. Garnfiskeriets betydning er aftagende fra Nordsøen ind i Østersøen.



Sej *Pollachius pollachius*

7. Design, hydrografiske forhold og hydrodynamiske forhold

Ud over de biologiske fordele og ulemper, der er ved at vælge den ene eller den anden revkonstruktion, vil der for det danske søterritorium være begrænsninger i valg af materiale og placering pga. eventuelle påvirkninger af det omliggende miljø (for eksempel afgivelse af stoffer, ændringer af strøm- og bølgeforhold) samt hensynet til andre interesser (for eksempel fiskeri, råstofindvinding, sejlruter).

Påvirkninger fra det fysiske miljø på konstruktionen (for eksempel strøm- og bølgeforhold) vil også give begrænsninger i valget af udformning og placering. Revet skal dimensioneres i forhold til bølge- og strømkræfter, således at konstruktionen er stabil (ikke bryder sammen, flyttes eller væltes). Hvis revet placeres på en eroderbar havbund, skal en erosionsbeskyttelse dimensioneres og eventuelt sandindfyld i revet bør vurderes.

Revene vil kunne påvirke vandudskiftningen nær ved revet, fordi modstanden fra revene har en bremsende effekt på strømningen i området. Størrelsen af disse ændringer skal vurderes i en dimensioneringsfase.

Nær revene vil der ske ændringer af bølge- og strømningsfeltet. Der vil være områder, hvor bølgerne ændres (diffraktion og refraction), hvor strømhastighederne reduceres (strømlæ) og der vil være områder, hvor der sker en forøgelse af strømmen (for eksempel gennem huller eller på oversiden af revene). Der kan forekomme upwelling, og endelig vil der være områder med kraftig turbulens. Hvis der er kendskab til, hvilket miljø fisk/hummere foretrækker, kan dette benyttes til at udforme revet optimalt. Endvidere skal et kunstige rev også vurderes for iskræfter (isskruninger) og dens placering i forhold til skibssejls.

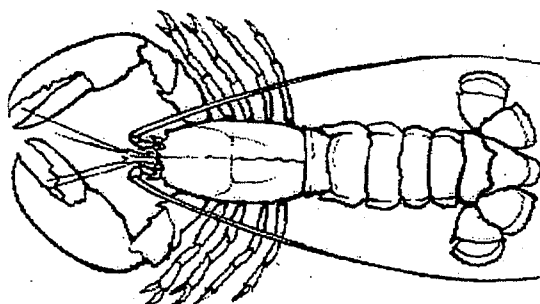
7.1. Design i forhold til hummere

Kunstige rev til sort hummer (*Homarus gammarus*) kan etableres af forskellige materialer. Under danske forhold vil det sandsynligvis kun være materialer som sten af varierende størrelse og betonkonstruktioner, der kan komme på tale, idet kunstige rev, der placeres på havbunden, ikke må have karakter af dumping/affaldsdeponering.

Hvis man vælger betonkonstruktioner, har man vide muligheder for at tilpasse designet til de(t) givne formål. Designet for kunstige rev til hummere skal tage hensyn til:

- 1) Hummernes krav til udformning af skjulesteder (dimensioner)
- 2) Antal af forskellige skjulesteder, baseret på størrelsesfordeling hummerpopulationen
- 3) Individtæthed, det vil sige hvor tæt kan man placere skjulene
- 4) Placering af konstruktionen.

Disse forhold er diskuteret i Bilag F ud fra litteraturoplysninger og enkle teoretiske overvejelser.



Sorthummer, *Homarus gammarus*.

Sorthummer lever i de tidligste bundlevende stadier i gange, de selv graver i bunden. Der er derfor ikke behov for at designe skjul til helt små hummere. Når de når en størrelse, hvor rygskjoldet måler 40 mm (målt fra øjehulens bagkant til rygskjoldet bagkant), søger de skjul i sprækker og huler i mere faste formationer. Observationer i naturen og akvarieforsøg viser at hummere foretrækker skjul, der er bredere end høje, og der er i en enkelt undersøgelse etableret en relation mellem hummernes størrelse og den foretrukne dimension af skjul.

Det relative antal af forskellige størrelser skjul, der bør indbygges/tilstræbes i et kunstigt rev, bør afspejle størrelsesfordelingen i den pågældende hummerbestand. Der findes kun meget få angivelser af størrelsesfordeling i naturlige bestande, ligesom der er meget varierende informationer om bestandstætheder. De største tætheder i naturlige bestande ligger på godt 3 hummere pr. m² (en kystnær lokalitet med sandbund/flade klippestykker i Gulf of Maine).

Det skønnes at være muligt at designe et kunstigt rev, der har overskud af skjulesteder til alle størrelsesklasser i en hummerbestand, således at behovet for skjul ikke er en begrænsende faktor.

Ved placering af kunstige rev som levested for hummere må der stilles visse krav:

- 1) Vanddybde ned til max. 40 m
- 2) Fast mudderbund eller lignende områder bør forefindes af hensyn til tidlige hummerstadier
- 3) Områder med risiko for iltsvind undgås. Iltindholdet bør ligge på 50% mætning eller derover
- 4) Områder med meget kraftige vandbevægelser bør undgås. I givet fald bør der skabes områder med strømlæ.

Det vil være nærliggende at etablere kunstige rev for hummere på eller i nærheden af lokaliteter, der oppebærer (eller har oppebåret) en naturlig hummerbestand, som af forskellige årsager er begrænset pga. mangel på skjulesteder. Det må sikres, at lokaliteten har et fødeudbud, der kan tilfredsstille en øget hummerbestand, samt at der er et stabilt underlag for revet.

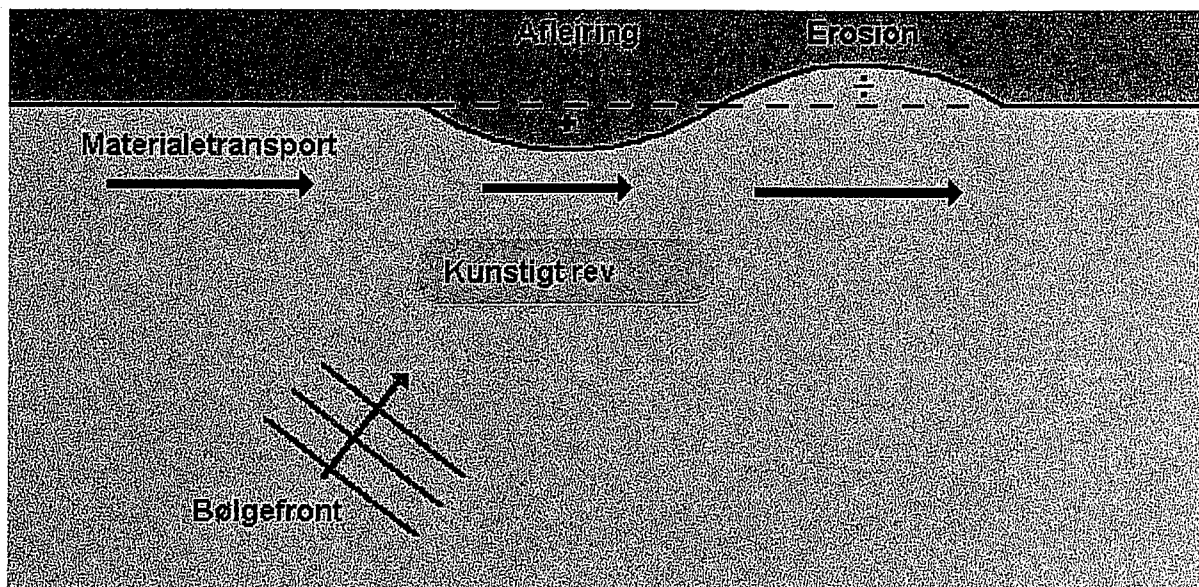
Inden der etableres kunstige rev for hummere, vil det være formålstjenligt at lave tankforsøg med forskellige konstruktioner/design med henblik på at belyse hummernes adfærd/præferencer under tilnærmelsesvis naturlige forhold.

8. Kunstige revs betydning for kystudviklingen

Et kunstigt rev kan betragtes som en undersøisk bølgebryder, når revets indflydelse på kystudviklingen skal bedømmes. I vandbygningssammenhæng er en bølgebryder en konstruktion placeret nogenlunde vinkelret på den dominerende bølgeindfaldsretning med det formål at reducere bølgehøjden bag konstruktionen. En bølgebryder opbygges normalt af sten eller betonelementer. Det kunstige revs bølgedæmpende virkning og dermed betydning for kystudviklingen afhænger af lokalitetens bølgeklima, anlægsdybden og revets dimensioner og opbygning.

8.1. Princippet i et revs påvirkning af kystudviklingen

Princippet i, hvordan et kunstigt rev påvirker kystudviklingen, er illustreret på Figur 3, hvor bølgerne kommer skråt ind mod kysten. Fordi bølgenes reaktionskraft har en kystparallel komponent, vil bølgerne generere en langsgående strøm mellem brydningszonen og kystlinien.



Figur 3 Princippet i et kunstigt revs påvirkning af kysten.

Kombinationen af bølger og strøm i og inden for brydningszonen vil på en normal kyst med sandbund skabe en langsgående materialtransport. Materialtransporten vil, hvis der ikke er naturlige eller kunstige hindringer, svare til den transportkapacitet, som den øjeblikkelige bølgesituation giver grundlag for.

Med placeringen af et kunstigt rev tæt ved kysten sker der et energitab ved bølgenes passage af revet. Bølgehøjden vil således være mindre inden for revet end på en tilsvarende position i profilet, hvor der ikke er et rev. Det betyder, at den drivende kraft på den bølgegenererede strøm også reduceres inden for revet. Strømhastigheden vil gå ned og dermed også materialtransportkapaciteten. Resultatet bliver aflejring inden for revet. Nedstrøms for revet er transportkapaciteten upåvirket, men tilførslen af sand bag om revet er reduceret. Derfor vil der her ske erosion.

Set over et langt tidsrum er hverken bølgehøjde eller indfaldsretning konstant. Mindre bølger vil påvirkes mindre af det kunstige rev, og en modsat bølgeindfaldsretning vil give erosion på den anden side af revet. Efter et stykke tid indstiller kystlinien sig i en ny dynamisk ligevægtstilstand svarende til lokalitetens bølgeklime med en fremskudt beliggenhed bag revet og en mere tilbagetrukket beliggenhed nedstrøms revet. Når den nye ligevægtstilstand er etableret, vil den overordnede kystudvikling fortsætte stort set som før etableringen af revet. Det betyder for eksempel, at hvis der før var kysttilbagerykning på strækningen, vil der også være kysttilbagerykning, når ligevægtstilstanden har indstillet sig. Dog vil tilbageryknings-hastigheden være reduceret lidt.

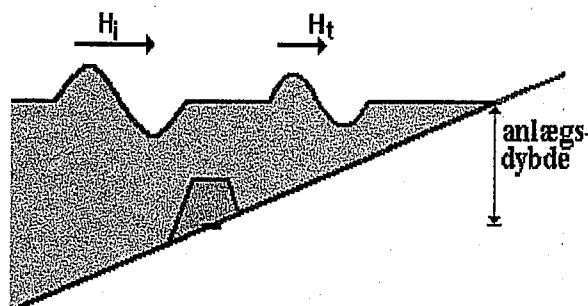
Om den ovenfor beskrevne påvirkning af kystudviklingen er acceptabel, må vurderes i hvert enkelt tilfælde. Det er klart, at reduktionen af kysttilbagerykningen inden for revet normalt er et positivt resultat, men denne gevinst skal sammenholdes med ulempen ved den forøgede tilbagerykning nedstrøms revet umiddelbart efter etableringen.

8.2. Eksempel på et revs bølgedæmpende effekt

For at anskueliggøre et kunstigt revs bølgedæmpende effekt er et eksempel gennemregnet ved anvendelse af van der Meer⁹. Revet tænkes placeret parallelt med kysten. Revets højde er 2 m, og bredden er ca. 10 m. Revets opbygning i øvrigt tænkes at være sammenlignelig med en undersøisk bølgebryder opbygget som en stenkastning. I Tabel 1 er bølgehøjden (H_t) inden for revet beregnet for forskellige anlægsdybder og højder af de indkommende bølger (H_i) (Figur 4).

Anlægsdybde	Indkommende bølgehøjde (H_i)			
	3 m	4 m	5 m	6 m
4 m	2,0 m	2,4 m	2,9 m	3,4 m
5 m	2,3 m	2,8 m	3,2 m	3,7 m
6 m	2,4 m	3,0 m	3,5 m	4,0 m
7 m	2,4 m	3,2 m	3,8 m	4,2 m
8 m	2,4 m	3,2 m	4,0 m	4,6 m

Tabel 1 Transmitteret bølgehøjde (H_t) som funktion af anlægsdybde og indkommende bølgehøjde (H_i).



Figur 4 Skitse til brug i Tabel 1.

Det fremgår af Tabel 1, at revets bølgedæmpende effekt er størst, når revet ligger tæt ved kystlinien, og de indkommende bølger er store. Der kan suppleres med, at den bølgedæmpende effekt forøges, hvis revet gøres højere.

Ud fra kendskab til lokalitetens bølgeklima helst i form af en bølgerose¹⁰ og med kendskab til, hvordan revet påvirker bølger af forskellig højde, kan materialtransporten beregnes med og uden tilstedeværelsen af revet. Herefter kan revets påvirkning af kystudviklingen vurderes. For større anlæg af kunstige rev kan det blive aktuelt at anvende en hydrodynamisk edb-model i analysen. Også i dette tilfælde bør der indgå en kvalificeret vurdering i bedømmelsen af den fremtidige kystudvikling.

8.3. Supplerende betragtninger

I det foregående er der hovedsageligt fokuseret på de problemer, der kan være ved, at et kunstigt rev påvirker kystudviklingen. På nogle kyststrækninger ville man imidlertid kunne drage fordel af tilstedeværelsen af et kunstigt rev, idet det i et vist omfang kunne erstatte en planlagt bølgebryder. Ved havne og landingspladser kunne man have nytte af et kunstigt revs bølgedæmpende virkning, idet man dermed reducerer bølgeuroen i havneindsejlingen og dermed også i selve havnen. I forbindelse med uddybede sejlrender kunne man også udnytte det kunstige revs bølgedæmpende virkning til at fremtvinge en sedimentaflejring, inden sedimentet når sejlrenden.

Som det fremgår, vil der altså for kunstige rev på lav vanddybde, kunne indregnes en nyttevirkning ud over den rent fiskerimæssige, forudsat at revet placeres med henblik herpå.

⁹Van der Meer, 1990. Data on wave transmission due to overtopping. Report H986 Delft Hydraulics.

¹⁰Bølgerose: Grafisk presentation af statistisk fordeling af bølgehøjde i forhold til retning.

Som det fremgår, vil der altså for kunstige rev på lav vanddybde, kunne indregnes en nyttevirkning ud over den rent fiskerimæssige, forudsat at revet placeres med henblik herpå.

9. Materialevalg

Udvikling og etablering af kunstige rev er almindelig kendt, måske nok især i de sydøstasiatiske lande, mens det tilsvarende forløb i Europa og Amerika er af noget nyere oprindelse.

De sydøstasiatiske rev er i et vist omfang konstrueret af naturlige materialer - bambus, palmeblade eller udtjente træbåde - med det sigte at fremme livsbetingelserne for især fisk i det lokale område. Revene i den vestlige verden er konstrueret med det sigte at kombinere forbedrede livsbetingelser for havets planter og dyr, også her især for fisk, med et stadigt stigende affaldsproblem fra kraft-/varmeproduktionen eller er konstrueret i kombination med det sigte at beskytte havbundens planter og dyr mod stadig stigende fysiske trusler i form af bundslæbende fiskeredskaber.

Omfanget af miljøfremmede stoffer og den nuværende usikkerhed om disse stoffers påvirkning af de biologiske systemer er i dag grundlag for det *forsigtighedsprincip*, der nødvendigvis må ligge til grund for udformningen af udledningstilladelser og overvågningsprogrammer.

Overvejelserne i forbindelse med etablering af kunstige rev i danske farvande må derfor indeholde væsentlige etiske betragtninger og væsentlige hensyn til de faglige og tekniske usikkerheder, der i dag gør sig gældende indenfor materialevalg til kunstige rev. Forsigtighedsprincip er netop internationalt vedtaget for at fastholde sund fornuft, hvor videnskabelige resultater mangler eller hvor lovgivning er utilstrækkelig.

Manglende viden om langtidseffekter herunder holdbarhed er generel for alle de materialetyper, der til dato er undersøgt og benyttet til etablering af kunstige rev - bortset fra natursten. For en række materialer er der ikke gennemført kemiske analyser af udgangsmaterialet og heller ikke gennemført analyser af materialet efter eksponering i havvand. De længste eksponeringsperioder er 3 år og omhandler måling af udsivning fra blokke indeholdende forbrændingsaske.

Undersøgelser af tryk- og trækstyrke hos henholdsvis askeblokke og betonblokke viser, at styrken hos askeblokke er halvdelen af styrken hos betonblokke efter samme eksponeringstid, (Sampaolo & Relini, 1994¹¹). Der er næppe grundlag for at antage at blokke indeholdende forbrændingsaske fra affaldsforbrændingsanlæg holder længere end betonblokke. Immobiliseret eller stabiliseret forbrændingsaske er formodentlig kun forhindret i at frigøres til havvandet så længe blokken er intakt, ved nedbrydning frigøres tungmetaller med videre i deres oprindelige struktur og med deres oprindelige miljøeffekt, (Macdonald, 1994¹²).

¹¹ Sampaolo, A. & G. Relini. 1994. Coal ash for artificial habitats in Italy. Bull. Mar. Sci., 55: 1277-1294.

¹² MacDonald, J.M. 1994. Artificial reef debate: Habitat enhancement or waste disposal? Ocean Devel. Int. Law, 25: 87-118.

Som grundlag for den miljømæssig vurdering af de materialer, der under danske forhold kunne tænkes at indgå i etablering af kunstige rev er opstillet følgende kriterier:

- Materiale af naturlig geologisk oprindelse antages miljømæssigt uproblematisk
- Udsivning af miljøfremmede stoffer fra materialet må ikke overskride nationale eller internationale grænseværdier for stoffets udledning i det marine miljø.
- Materialet må ikke på noget tidspunkt efter udlægning i havet nedbrydes under frigivelse af forurenende stoffer, tungmetaller m.m. i koncentrationer, der afviger signifikant fra områdets baggrundsværdier af de samme stoffer.
- Materialet skal være stabilt i mindst 100 år.
- Konstruktionen skal være stabil i mindst 50 år

På det foreliggende videngrundlag og med ophæng i de anførte miljøkriterier kan arbejdsgruppen alene anbefale kunstige rev af rent beton, armeret beton eller natursten.

10. Lovgrundlag og hjemmel

10.1. International praksis

Kunstige rev var oprindeligt udelukkende anlagt ud fra en forventning om at kunne forøge en fiskebestand, men der sket en gradvis bevægelse mod at betragte kunstige rev som et forvaltningsredskab, hvor den primære intention kan være at omfordele eller omplacere en ressource, for eksempel fremme kystfiskeriet, eller som naturgenopretning, d.v.s. kompensere for en habitat, der er tabt i anden sammenhæng.

Der er flere eksempler på kunstige rev med direkte fiskeproduktionsfremmende effekt og i nogle af de mange tilfælde, hvor udlægning af rev har resulteret i store fangstresultater, men hvor dette pga. mangel på dokumentation ikke kan tages til indtægt for øget produktion, kan der godt være tale egentlige produktivitetseffekter. Kunstige rev bør derfor ikke afskrives som udelukkende et forvaltningsværktøj, men som flere har påpeget, er der behov for en øget fiskeribiologisk indsats på dette område. Det fiskerøkonomiske aspekt af udlægning af kunstige rev har ikke i nogen af de beskrevne tilfælde været belyst.

10.2. Dansk lovgivning

I den eksisterende lovgivning eksisterer der ikke p.t. regler, der *direkte* sigter på etablering og drift af kunstige rev. Såfremt et kunstigt rev skal etableres på det danske fiskeriterritorium, vil det primære formål sandsynligvis være at skabe gode opvækstbetingelser for hummere, der udsættes på revet.

I følge lov bekendtgørelse nr. 798 af 29. september 1993 om saltvandsfiskeri (senest ændret med lov nr. 10821 af 22. december 1993) må opdræt af fisk, krebs og bløddyr samt alger kun finde sted efter tilladelse fra fiskeriministeren - (§ 14). I følge bekendtgørelse nr. 11 af 16.

januar 1996 om Fiskeridirektoratets opgaver og beføjelser er det Fiskeridirektoratet, der afgiver tilladelser til opdrætsanlæg.

Man kan til en vis grad sammenligne et kunstig rev med et muslingeopdrætsanlæg eller andre opdrætsanlæg, hvor der ikke fodres. Såfremt der fodres, skal ansøgning om etablering og drift behandles efter Fiskeriministeriets bekendtgørelse om saltvandsbaseret fiskeopdræt.

Fiskeridirektoratet vil derfor behandle en ansøgning om hummeropdræt på et kunstigt rev efter ovennævnte § 14 i Saltvandsfiskeriloven, som her gengives i uddrag:

§ 14:

Stk. 1

Opdræt af fisk, krebs- og bløddyr samt alger må kun finde sted efter tilladelse fra fiskeriministeren (Fiskeridirektoratet). Relevante myndigheder og organisationer, som berøres af etableringen, vil blive hørt. En ansøgning om tilladelse efter denne lov gælder samtidig som ansøgning om tilladelse efter anden lovgivning. Fiskeriministeren (Fiskeridirektoratet) fastsætter de vilkår, herunder eventuelle krav om tidsbegrænsning, som skal være gældende for sådanne tilladelser.

Stk. 5

Etablering af opdrætsanlæg må ikke ske nærmere end 565 m fra hver side og 50 m ud for yderste pæl af lovligt etablerede bundgarn, bundgarnslignende ruseredskaber eller lignende redskaber, der er indrettet til at klæde vandskorpen (ovenvandsruser).

Stk. 6

Efter forhandling med fiskeriets hovedorganisationer kan der i forbindelse med tilladelse til opdræt udstedes helt eller delvist forbud mod fiskeri på anlæggets område og i en nærmere angiven afstand fra dette.

Når Fiskeridirektoratet har modtaget en ansøgning om tilladelse til etablering og drift af opdræt af hummere på et kunstigt rev, skal sagen sendes i høring hos de øvrige berørte myndigheder, som vil være Farvandsvæsenet, Kystinspektoratet, Miljøstyrelsen, Skov- og Naturstyrelsen og evt. det lokale amt. Ligeledes vil Fiskeridirektoratet høre fiskeriets organisationer samt det lokale fiskeriinspektorat. På baggrund af de indkomne høringssvar, samt Fiskeridirektoratets egne vurdering af sagen vil der derefter bliver afgivet en tilladelse indeholdende en række vilkår, som blandt andet kan være krav fra Farvandsvæsenet om evt. afmærkning.

Fiskeridirektoratet vil efter en periode, hvor erfaringerne er indkommet fra et sådant forsøganlæg, vurdere om der måtte være behov for at anmode Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri om at udstede en ny bekendtgørelse, der udelukkende skal omhandle etablering og drift af kunstige rev.

Vedrørende Naturbeskyttelsesloven.

Anlæg, opfyldninger, inddæmninger m.v. - herunder formodentlig også kunstige rev - på søterritoriet er ikke reguleret efter naturbeskyttelsesloven, undtaget indenfor områder, der er fredet efter lovens §51, stk. 1 eller stk. 2 - fredninger på statsejede arealer og på søterritoriet

med videre, eller hvor der sker påvirkning af den naturlige tilstand af en strandeng, strandrøsump eller lignende beskyttet efter lovens §3.

Staten har højhedsretten over søterritoriet. Den generelle kompetence ifølge statens højhedsret er tillagt Trafikministeriet. For vindmøller er kompetencen dog tillagt Miljø- og Energiministeriet og for havbrug Miljøstyrelsen og Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.

Sagsområdet har imidlertid tillige forbindelse med naturbeskyttelsesområdet, idet der internationalt og nationalt gælder retningslinier for den praksis, som bør følges på dette område.

Lovens kapitel 8 om naturforvaltning indeholder hjemmelen for ejendomserhvervelse, lån og tilskud til naturforvaltningsformål.

Formålet med naturforvaltningsarbejdet er at fremme lovens formål, og naturforvaltningsprojekterne falder i følgende hovedkategorier: naturgenopretning og naturbevaring, statsæg skovrejsning og friluftsliv.

Skov- og Naturstyrelsen er myndighed på naturforvaltningsområdet og administrerer området sammen med amtskommunerne. Der er nedsat et bredt sammensat Naturforvaltningsudvalg til at rådgive i naturforvaltningsspørgsmål.

Blandt de principielle hovedkriterier for naturforvaltningsprojekter kan i uprioriteret rækkefølge fremhævet:

- Projektets relevans i forhold til lovens hovedformål.
- Projektets værdi med henblik på at sikre/genskabe alsidige naturforhold, landskabelige og kulturhistoriske værdier, samt fremme rekreative formål og øge skovarealet.
- Projektets realisme (gennemførlighed i teknisk, juridisk og politisk sammenhæng).
- Projektets økonomi, såvel i selve gennemførelsen, som i bæredygtigheden på længere sigt.

Herudover kan tilføjes, at naturforvaltningsmidlerne ikke kan anvendes til projekter, som er påbudt via lovgivning, herunder naturbeskyttelseslovens øvrige kapitler.

11. Konklusion og anbefalinger

Det største stridspørgsmål omkring udlægning af et kunstigt rev er, om der sker en øget fiskeproduktion eller om det kun tiltrækker fisk. Det er bevist at fangsteffektiviteten stiger omkring et kunstigt eller naturligt rev i forhold til nærmiljøet. Dette udnyttes blandt andre af danske fiskere i forbindelse med vrangfiskeri. Denne øgning i fangsten, uanset hvad det skyldes, har så stor en værdi, at den danner basis for det omfattende japanske revprogram.

Udlægning af et kunstigt rev kan betragtes som etablering af en ny habitat, og de larver og plantesporer, som bundfælder på revet, ville med stor sandsynlighed ellers være gået tabt.

Hvis konstruktionen endvidere er af et holdbart sten-lignende materiale, er det sandsynligt, at udviklingen i plante- og dyreliv ikke vil adskille sig signifikant fra udviklingen på naturlige stenrev. Udenlandske forsøg med eksperimentelle rev har vist, at revets fysiske heterogenitet samt dets placering har stor betydning for rekrutteringen af epifauna og flora. Ved design af et kunstigt rev er det således nødvendigt at tage hensyn til både de enkelte elementers heterogenitet og til fordeling og placering af elementerne set i relation til de koloniserende arters spredningsbiologi, vækst og livscyklus. Den eksisterende viden er endnu ikke stor nok og tillader ikke en eksakt forudsigelse af effekter på flora, fauna samt fisk. Udlægning af kunstige rev i danske farvande bør derfor ledsages af en målrettet forskningsindsats, der kan belyse de dynamiske aspekter af bundfældning, rekruttering og udvikling af revorganismer og disses afhængighed af hydrografiske og biologiske faktorer. Anvendelsen af resultaterne af en sådan forskningsindsats vil ikke være begrænset til overvågning af kunstige rev, men kan også få grundlæggende indflydelse på naturgenopretningspolitikken.

Hummere er bundlevende, forholdsvis lette at indsamle, mærke og genudsætte i en given habitat, og mærkerne kan registreres elektronisk. Generationstiden er så lang at reetablering af en naturlig bestand vil tage mere end et årti. Derfor må specielt hummere anses for at være egnede til bestandsophjælpning på kunstige rev i danske farvande. Resultater fra en række europæiske lande viser, at programmer til bestandsophjælpning af juvenile hummere dyrket i akvakultur har gode forudsætninger for succes. Ved etablering af kunstige rev i danske farvande med henblik på at ophjælpe hummerbestande må det imidlertid anbefales, at der ved design af revet gennemføres en mindre empirisk undersøgelse af hummernes habitatskrav og at man ved en eventuel udsætning af opdrættede hummere mærke disse således, at betydningen af udsætningen kan kvantificeres.

I Danmark er der et veludviklet vrage- og revfiskeri, hvor fiskeriet foregår med ikke bundsløbende redskaber. Udnyttelsen af fiskeriressourcer på et kunstigt rev vil derfor ikke kræve ny viden, nye holdninger eller redskaber. På den anden side er fiskeri på vrage eller rev meget effektivt og der kan opstå konflikt mellem en optimal udnyttelse af disse ressourcer og fiskeriforvaltningen. Derfor vil det med udlægning af et forsøgsrev være nødvendigt at identificere de fiskerimæssige interesser på danske stenrev og afklare disse forhold på kunstige rev, specielt i forhold til fiskeriforvaltning. I denne sammenhæng er det vigtigt også at inddrage socioøkonomiske analyser.

På grund af et omfattende stenfiskeri, der har stået på i flere årtier, er det blevet aktuelt med naturgenopretning på visse havbundstyper. Navnlige i sammenligning med hvad der gøres på landjorden forekommer det rimeligt nu også at inddrage havbunden i naturgenopretningspolitikken. Derfor vil et naturgenopretningsformål have sin berettigelse i denne sammenhæng og bør prioriteres højt med den stabiliserede effekt på havbunden som et kvantitativt mål.

Den hårde havbund har en særlig betydning for havets biologiske mangfoldighed, men kortlægning af udbredelsen og økologisk betydning af denne type bund har ikke været prioriteret i dansk forskning. Betydningen af hårde substrater (hård havbund og forskellige revtyper) for fisk og fiskeri har ikke været undersøgt i dansk sammenhæng. Udlægning af et forsøgsrev med klare og målbare formål vil bidrage til forståelse af revøkologien og dens betydning for fiskeriet og for det omgivende miljø.

Den eksisterende viden fra geologiske og biologiske undersøgelser samt viden fra erhvervsfiskerne om gode lokaliteter for sorthummerfiskeri udgør det vidensgrundlag, der skal til for at udpege områder, hvor naturgenopretning i form af udlægning af kunstige rev vil genskabe eller øge områdets økologiske og økonomiske værdi. Ligeledes kan det danne grundlag for en vurdering af, på hvilke områder stenrevsforskning bør sættes ind. Et væsentligt kriterie for udlægning af kunstige rev er, at der er blandet bund og ikke ren sandbund.

Det har ikke været hensigten med denne rapport at fastlægge konkret placering, form, størrelse og materialet for et kunstigt rev, men emnerne er blevet berørt og der er herfra udsprunget nogle kriterier og anbefalinger, som bør inddrages i det fortsatte arbejde.

Placering er tæt forbundet med formålene og derfor er den fysiske placering begrænset til områder, hvor der har været stenfiskeri, hvor der er blandet bund, og på forholdsvis lave dybder. Tæt på kyster vil dens udformning kunne tage hensyn til kystbeskyttelsen samt være placeret der, hvor fiskeyngel har behov for beskyttelse og hvor yngel af den sorte hummer normalt vil være at finde. Kattegat er udpeget som et område, der opfylder flere af kravene og hvor et sådant forsøgsprojekt også vil være praktisk at gennemføre.

Det anbefales, at materialet til kunstige rev er natursten eller beton. Konstruktionen skal have en levetid på minimum 50 år og materialet må ikke under nedbrydning frigive forurenende stoffer.

Vi anbefaler udlægning af et forsøgsrev. I stedet for en simpel udlægning af sten eller kampesten anbefales udlægning af et forsøgsrev med en specifik konstruktion baseret på at opfylde flere ligestillede målsætninger:

- naturgenopretning
- hummerbestandsophjælpning
- beskyttelse af fouragering og opholdsområder for fisk
- øge og sikre biodiversiteten

Sideordnet kan man undersøge muligheder for:

- at beskytte kyster
- at beskytte sejltreder
- at udforme beskyttelser omkring faste havkonstruktioner som bropiller, vindmøllefundamenter med videre på en måde, så de samtidig virker som velfungerende kunstige rev

Projektet kræver en integreret forskningsindsats og udføres som et samarbejdsprojekt mellem de partnere, der menes at have den nødvendige ekspertise for at tilvejebringe de videnskabelige beviser for i hvilket omfang revet opfylder målsætningerne. Der er enighed i nuværende gruppe om, at et sådant projekt bør indeholde følgende grundelementer:

- et afgrænset forsøgsområde, der er stort nok til at rumme et reference og et udlægningsområde.
- et areal, hvor der i et forsøgs- og et referenceområde kan studeres dels den naturlige kolonisering, dels kolonisering under påvirkning fra udsætning af hummere.

- områderne bør have den nødvendige afstand fra hinanden for at sikre, at de ikke influerer på hinanden.
- resultaterne fra udlægningen baseres på undersøgelser af området i mindst to år før udlægning og i mindst fem år efter udlægning af et kunstigt rev.
- data sammenlignes med information/viden fra studier om naturlige stenrev.
- socioøkonomiske studier kobles til projektet.
- fiskeriudnyttelsen og værdien af disse ressourcer undersøges i forhold til værdien af vrangfiskeriet og sammenholdes med den ekstraomkostning som er forbundet med målspecifikke revkonstruktioner i forhold til udlægning af sten og/eller kampesten.