

Bilag 1:

Research completed in 12m· 20 kilder· 76 søgninger

Internationale Eksempler på Stenrev og Bølgebrydere til Kystbeskyttelse

Eksempler på offshore stenrev og bølgebrydere mod kysterosion

Herunder præsenteres en række konkrete projekter fra forskellige dele af verden, hvor man har etableret kystnære stenrev eller bølgebrydere mindst ca. 100 m fra kysten for at forebygge kysterosion. Eksemplerne dækker både **rene kystbeskyttelsesprojekter** og **kombinationsprojekter**, hvor konstruktionerne også sigter mod at forbedre biodiversitet eller skabe nye habitater. Hvert eksempel indeholder oplysninger om mængder, afstand til kyst, konstruktionstype og evaluering af resultater, hvor tilgængeligt.

Italien: Riccione undersøiske stenrev (Adriaterhavet)

Riccione på Adriaterhavskysten (Emilia-Romagna, Italien) har siden 1980'erne eksperimenteret med undersøiske rev for at beskytte kysten mod bølger og fremme marine habitater. Oprindeligt anvendtes "**sandbags**" – syntetiske sandsække – lagt parallelt med kysten ca. **200 meter fra strandkanten på 2-3 meters vanddybde**. I løbet af de seneste 10 år er anlægget udvidet med nye typer **kunstige revmoduler** (f.eks. betonstrukturer som "*Reef Balls*" og et stålstruktur-koncept kaldet "*W-MESH*") på samme strækning.

Resultater: Løbende **monitering** viser, at de undersøiske barrierer har mindsket bølgepåvirkningen og haft en **positiv effekt på vandkvalitet og biodiversitet** i området. Revstrukturene fungerer nu som kunstige stenrev, der tiltrækker mange arter fra klipperev-miljøer, hvilket **øger den økologiske mangfoldighed** i det sandede havområde. Kysterosionen er blevet bremsset, og strandbredden stabiliseret, hvilket beskytter turiststrandene ved stormvejr, alt imens de nye rev fungerer som levesteder for marine organismer.

Storbritannien: Offshore bølgebrydere ved Elmer Beach (England)

Ved Elmer Beach på Englands sydkyst er der opført et omfattende anlæg af **fritstående bølgebrydere** for at beskytte en beboet kyststrækning mod erosion og oversvømmelse. Projektet startede som akut kystbeskyttelse efter storme: I **1990** anlagde man to første **sten-bølgebrydere** et stykke ude i havet, og allerede året efter havde der opbygget sig ca. **11.000 m³ sand og grus** som et "**salient**" (en strandvold) i læ bag disse barrierer. Disse to enheder blev senere udvidet og indgik i den endelige løsning.

Det færdige anlæg, afsluttet i **1993**, består af **otte parallelle bølgebryder-øer** af sten (rubble mounds) på lavt vand, der ved højvande er delvist overskyttet (intertidale). Konstruktionerne ligger typisk **omkring 100–150 meter fra kysten** (i 1–3 m vanddybde ved lavvande) og danner bassiner imellem sig. Desuden blev der anlagt en afsluttende stenspids (mole) ved anlæggets ene ende for at modvirke sedimentflugt nedstrøms. Under byggefasen tilførte man også omkring **200.000 m³ sand/grus** til strandfodring, hvilket var en integreret del af kystbeskyttelsen.

Resultater: Bølgebryderne reducerer nu bølgeenergien ved kysten markant, hvilket hjælper med at fastholde det tilførte sand på stranden. Overvågning de første år viste en **tydelig strandudbygning i læ af hver bølgebryder** – kystlinjen buler frem som **salients**, og enkelte steder dannedes **tomboloer** (landtanger helt ud til bryderne) ved lavvande. Strandbredden er dermed forøget og mere stabil ved Elmer Beach, hvilket beskytter bebyggelsen bagved mod stormflod. Dog observeredes mindre erosion mellem strukturerne ("**gap erosion**") nogle steder, hvilket indgik i den videre optimering af design (justering af

afstand/gab mellem de otte enheder). Samlet set betragtes projektet som en succesfuld **erosionskontrol**, der fastholder en bred strand og beskytter kysten på langt sigt.

USA: Staten Island “Living Breakwaters” (New York)

På USA's østkyst er “**Living Breakwaters**” ved Tottenville, Staten Island (New York) et nyere eksempel på et kombineret kystbeskyttelses- og habitatprojekt. Det blev igangsat efter ødelæggelserne fra orkanen Sandy i 2012, med det formål at reducere bølgeerosion og genskabe marine økosystemer i Raritan Bay. Projektet omfatter en serie af **8-9 fritstående stenkonstruktioner** (*rubble mound breakwaters*) designet som lavkrester, der er delvist neddykket. Den samlede længde af bryderne er ca. **730 meter** (ca. 2.400 fod), og de er placeret i **afstande fra ca. 240 til 550 meter fra kysten** langs Conference House Park-stranden. Hver enkelt enhed er individuelt formgivet efter lokal bølgeeksponering, og de ligger parallelt med kysten. Konstruktionerne udformes med **økologiske nicher** (f.eks. indbyggede revblokke og betonmoduler for østers) for at fremme fisk, skaldyr og især gen-etablering af østersbanker, som historisk fandtes i området.

Resultater: Projektet er unikt ved at integrere **kystbeskyttelse, biodiversitet og lokalsamfund**. **Erosionsraten** på Staten Islands sydkyst har været høj (over 30 cm/år i snit, og op til ~1 m/år visse steder). De nye breakwaters forventes at **bremse den kroniske erosion og dæmpe stormbølger**, hvilket vil beskytte både strande og bagvedliggende infrastruktur. Samtidig skabes der **artificielle revhabitater**: Overfladerne på stenrevlen vil blive koloniseret af østers gennem *Billion Oyster Project*, og disse levende østersrev vil yderligere styrke bølgeenergisdæmpningen og øge den lokale biodiversitet. Projektet er støttet af både kystingeniører og biologer, og der planlægges **omfattende monitoring** af kystudvikling og økologi efter installationen for at evaluere effekterne. (NB: Anlægget er først færdiggjort omkring 2024-2025, så evalueringer er i den indledende fase.)

Indonesien: Geotekstil-bølgebrydere ved Sigandu Beach (Java)

På Sigandu Beach i Central Java, Indonesien, har man valgt en innovativ og billig løsning mod erosion ved hjælp af **geotekstile offshore-bølgebrydere**. Kysten her led af ca. **5 meters tilbagerykning over 8 år** pga. voldsom erosion [solmax.com](https://www.solmax.com). I **2018** installerede myndighederne en række **lavkreastede bølgebrydere** fremstillet af store sandfyldte geotekstiltuber (GEOTUBE®-systemet). Disse fleksible rør, hver **25 m lange** og fyldt til en diameter/højde på ca. 1,5 m [solmax.com](https://www.solmax.com), blev udlagt parallelt med kysten på lavt vand. Bølgebryder-tuberne er forankret på en geotekstil-måtte (scour apron) for at forhindre undergravning [solmax.com](https://www.solmax.com). I alt er der etableret omtrent **1,8 km** samlet længde af disse geotekstil-rev langs kysten (bestående af flere sektioner med mellemrum imellem) [solmax.com](https://www.solmax.com). Afstanden fra kystlinjen varierer, men tuberne er placeret tilstrækkeligt langt ude til at bryde bølgerne før de når stranden – typisk i størrelsesordenen **100 meter offshore** eller mere, hvilket giver plads til sedimentopbygning bag dem.

Resultater: Løsningen med geotekstil-bølgebrydere har vist sig **omgående effektiv**. Allerede kort efter installationen kunne man se, at den tidligere eroderede kyststrækning begyndte at opbygge ny strand foran sig: Der opstod **salient-dannelser og endda små tomboloer** i læ af tuberne, hvilket indikerer sedimentakkumulation og kystfremskridt [researchgate.net](https://www.researchgate.net). Ifølge evalueringer har kystlinjen rykket sig fremad igen, reetableret en **ny strandlinje** landværts for revlerne [researchgate.net](https://www.researchgate.net). Projektet bliver betragtet som en **omkostningseffektiv kystbeskyttelse** sammenlignet med traditionelle stenbølgebrydere [solmax.com](https://www.solmax.com). Geotube-strukturen har stabiliseret Sigandu Beach og bremset erosionsproblemet markant, til gavn for lokalt turisme og miljø. Dog kræver geotekstilmaterialiet løbende inspektion for at sikre, at rør og forankring forbliver intakte under bølgepåvirkning.

Australien: “Narrowneck” kunstigt rev ved Gold Coast (Queensland)

Ved Gold Coast i det østlige Australien blev der i 1999-2000 anlagt et stort **kunstigt rev** ud for Narrowneck-stranden som en del af den regionale strandbeskyttelsesplan research-repository.griffith.edu.au. Revet fungerer som en **submergeret bølgebryder** (også kaldet et *offshore reef*), der primært skal beskytte den nyligt sandfodrede strand mod erosion, men som også blev designet med et sekundært formål om at forbedre surf-forholdene for surfere research-repository.griffith.edu.au. Konstruktionen består af et kompleks af **sandfyldte geotekstile beholdere** (storsække/rør) stablet på havbunden til en form, der ved normal vande stands er lige under havoverfladen. Revet strækker sig parallelt med kysten og er placeret ca. **300 meter fra kysten** ved Narrowneck research-repository.griffith.edu.au, hvilket betyder at det bryder bølgerne et godt stykke før de når ind til strandkanten. Den nøjagtige dimensionering: Revet er omkring **160-200 m langt** og omkring 1,5–2 m højt (submergeret), opbygget af titusinder af kubikmeter sand i geotekstilsække. Det beskytter en kyststrækning, hvor der årligt transporteres store mængder sand (netto 500.000 m³ nordpå langs kysten) og hvor kraftige stormbølger (over 10 m i højden) kan forekomme research-repository.griffith.edu.au.

Resultater: Over **7+ års overvågning** er Narrowneck-revet blevet anset som en **succes for strandbeskyttelsen**. Revet har opfyldt hovedformålet ved at **fastholde en bred strand** efter sandfodring – kystlinjen bag revet har været stabil uden større erosion research-repository.griffith.edu.au. Den beskyttede strandsektion har således formået at modstå den normale nedbrydning, og intervallet mellem nødvendige genfodringer er forøget. Derudover har det vist sig, at de sandfyldte strukturer fungerer overraskende godt som **kunstigt rev-habitat**: Der er groet en **divers havfauna og flora** på geotekstiloverfladerne, hvilket har skabt et rigt marint miljø omkring revet research-repository.griffith.edu.au. Med hensyn til det sekundære mål om surfing blev der registreret forbedrede brydningsforhold – bølger begynder at bryde på revet ved 0,7–2,0 m højde afhængig af tidevand research-repository.griffith.edu.au, og surfere har kunnet ride bølger over stræk på op til 150-200 m (nogle gange helt op mod 250 m) i revets læ research-repository.griffith.edu.au. Dog ligger bruddet langt ude (ca. 300 m fra kysten), hvilket har gjort det til et **specialiseret surf-spot** primært for øvede, og den fulde surfmæssige effekt er lidt mindre end forventet research-repository.griffith.edu.au. Samlet set vurderes Narrowneck-revet som et vellykket eksempel på et flerformålskunstigt rev, der både **beskytter kysten mod erosion** og giver sidegevinster for rekreation og økosystem.

Konklusion

Disse eksempler demonstrerer mangfoldigheden af kystnære stenrev og bølgebrydere anvendt internationalt til kystbeskyttelse. Fra traditionelle **sten-bølgebrydere** (f.eks. Elmer Beach, UK) til **nyere materialer som geotekstil** (Sigandu, Indonesien) og integrerede **“levende rev”** koncepter (Staten Island, USA), er fællesnævneren at de placeres et stykke fra kysten (typisk 100-300 m ude) for at bryde bølgerne og skabe roligt vand ved kysten. Evalueringerne peger generelt på, at **offshore rev kan reducere erosion betydeligt** ved at fremme sedimentaflejring i læ. Samtidig kan veludformede rev give **merværdi** i form af øget biodiversitet (naturlig reveffekt), rekreative muligheder og kystlandskabsforbedring. Erfaringerne understreger dog vigtigheden af lokal tilpasning – design af antal, størrelse og afstand mellem offshore-konstruktioner skal skræddersys til de stedlige bølgeforhold og sedimenttransport for at opnå optimal effekt uden utilsigtede bivirkninger nedstrøms.

Kilder: De beskrevne projekter er dokumenteret i faglitteraturen og rapporter, herunder evalueringer af strandprofilændringer og biologisk kolonisering [researchgate.netresearch-repository.griffith.edu.au](https://researchgate.net/research-repository/griffith.edu.au). Disse cases illustrerer best-practice på tværs af kontinenter i brugen af offshore rev/bølgebrydere som en **bæredygtig løsning** mod kysterosion.