

Kystsikring og tilpasning til stigende havvandstand: økologiske konsekvenser og innovative løsninger



Gyldensteen Strand, Bogense. Foto: Viggo Lind

Cintia O. Quintana*

Erik Kristensen

Susan G. G. Petersen

*redaktion og korresponderende forfatter: cintia@biology.sdu.dk

Biologisk Institut

Syddansk Universitet

Campusvej 55, 5230 Odense M, Danmark

Titel

Kystsikring og tilpasning til stigende havvandstand: økologiske konsekvenser og innovative løsninger

Forfattere

Cintia Organo Quintana (redaktion og korresponderende forfatter)

Erik Kristensen

Susan G. G. Petersen

Bedes citeret

Quintana C.O., Kristensen E., Petersen S.G.G. (2021) Kystsikring og tilpasning til stigende havvandstand: økologiske konsekvenser og innovative løsninger. Notat, maj 2021, Syddansk Universitet, Odense, 33 s.

Udgiver

Syddansk Universitet

Biologisk Institut

Campusvej 55

5230, Odense M

<https://www.sdu.dk/en/forskning/ecology>

Gengivelse er tilladt med tydelig kildeangivelse

Skriftlig tilladelse kræves, hvis man vil bruge instituttets navn og/eller dele af dette notat i sammenhæng med salg og reklame

Udarbejdet for Realdania i regi af kampagnen "Byerne og det stigende havvand" i samarbejde med Københavns Universitet (KU), Danmarks Tekniske Universitet (DTU) og Arkitektskolen Aarhus (AARCH)

Resumé

Formålet med denne rapport er at give et overblik over de miljømæssige konsekvenser af kystsikring når man integrerer innovative naturbaserede løsninger (NbS) i fremtidige kystsikringer og klimatilpasningsprojekter. På baggrund af eksempler på bedste praksis og vores egne forskningsprojekter giver vi anbefalinger til og en ramme for, hvordan NbS kan implementeres. I Danmark er der kystsikring langs ca. 25 % af kystlinjen. Eksisterende hårde kystsikringer har førte til tab af kyst- og havhabitaters evne til at levere økosystemtjenester. Kystzoner og indre fjordområder har således mistet deres evne til at filtrere næringsstoffer, fange fine partikler og opretholde en rig biodiversitet af flora og fauna. Her undersøger vi potentialet for økologisk genopretning af kyster med hårde kystsikringer ved etablering af tidevandsmarsker (saltmarsker og strandenge), oversvømmede kystlaguner (uddigning) og ålegræsenge som NbS. De fleste af disse habitater er egnede som NbS og kan integreres i kystsikringen. Kontrolleret kysttilbagetrækning og oversvømmelse med havvand giver en optimal NbS til opskalering af kystbeskyttelse med flere forskellige fordele for naturen og for samfundet. Kompleksiteten af lokale og regionale miljøer kan udfordre resultatet og implementeringen af NbS i forbindelse med kystsikring. Derfor opfordrer vi til inddragelse af miljømæssige, arkitektoniske og kulturelle aspekter samt deltagelse af forvaltninger og samfundssektorer med det formål at udarbejde optimale NbS. Vi håber på at kunne inspirere aktørerne til at bruge disse innovative løsninger, der samtidigt kan tackle klimaændringer og genoprette et mere harmonisk havlandskab i tilknytning til fremtidige udviklinger af byområder og bynære områder.

Indholdsfortegnelse

1. Indledning.....	4
2. Økologiske konsekvenser af kystsikringsanlæg	5
3. Innovativ praksis og casestudier af kysttilpasning	12
3.1. Betonkonstruktioner.....	14
3.2. Strandenge og saltmarske.....	15
3.3. Uddigning ved "managed realignment" og casestudiet Gyldensteen Strand	17
3.4. Genplantning af ålegræs	23
4. Juridiske, forvaltningsmæssige aspekter og EU-politikker	24
5. Anbefalinger og integrerede tilgange på tværs af forskellige sektorer: den vellykkede vej til innovative løsninger	26
6. Konklusioner.....	29
7. Referencer	30

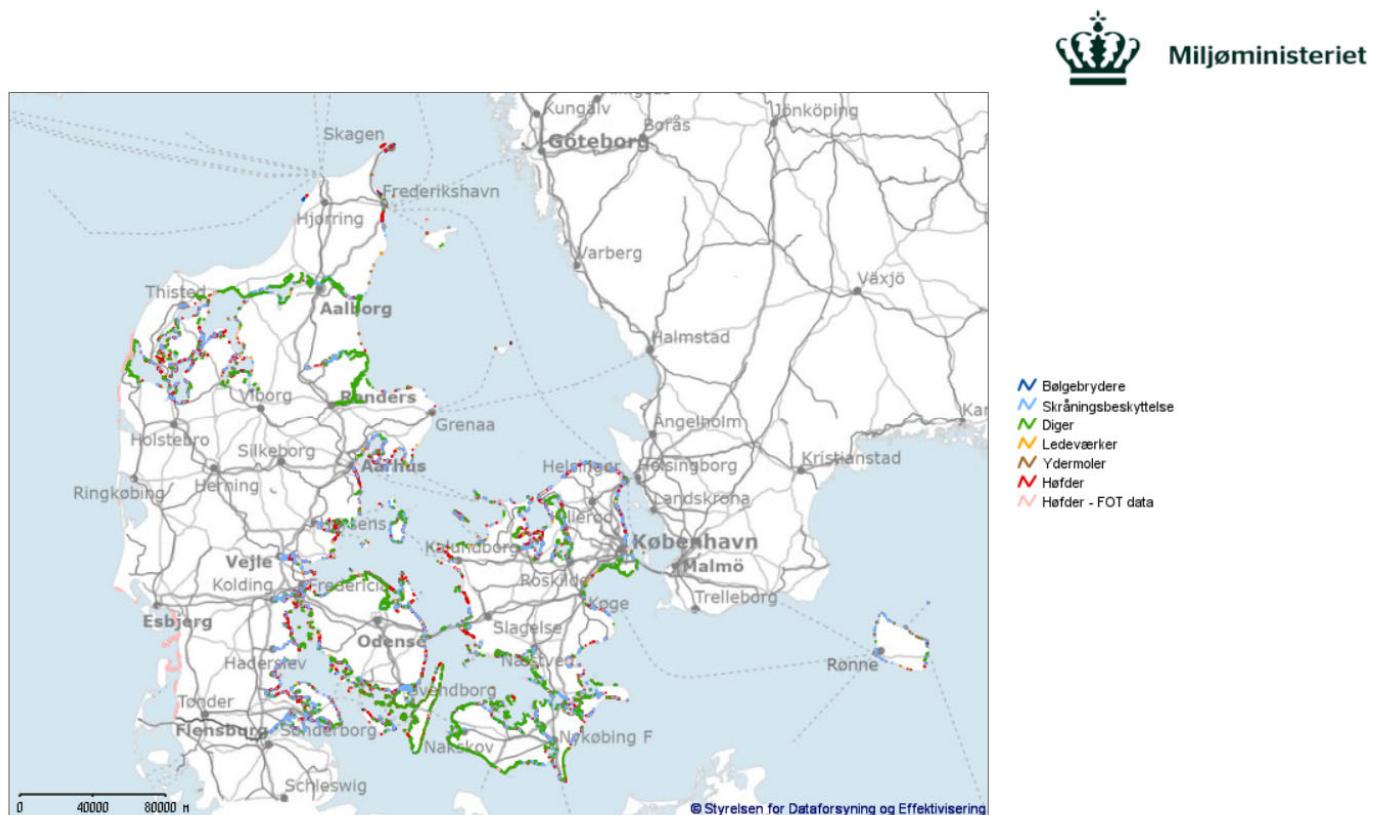
1. Indledning

Stigende havvandstand, mere intens nedbør og større hyppighed af storme er følger af ændringen i atmosfæriske og oceaniske fysiske processer på grund af den 47 % øgede koncentration af drivhusgasser i atmosfæren sammenlignet med før industrialiseringen (det førindustrielle niveau lå på ca. 280 ppm sammenlignet med 409,8 ppm i 2019). I Danmark forventes havvandstanden at være steget ca. 70 cm i år 2100 (Christensen et al., 2014). Byområder og bynære områder langs kysterne vil være i høj risiko for oversvømmelse. Derfor er der et stigende behov for investeringer i effektive, holdbare og tilpasningsdygtige kystsikringsanlæg. Traditionelle kystsikringsanlæg, der er blevet implementeret og udviklet i århunderder i lavliggende lande, omfatter hårde konstruktioner som diger og havvægge (Wiberg, 2919). De velkendte diger og afvandingssystemer i Holland har inspireret kystsikringspraksiser over hele verden. Denne praksis består dog normalt af hårde konstruktioner, som blev bygget for at indvinde kyst- og havøkosystemer med tab af vigtige habitater og deres økologiske funktioner og tjenester. De nuværende samfundsmæssige udfordringer forbundet med klima- og biodiversitetskrisen kræver innovative løsninger, især i lavbundsområder med risiko for oversvømmelse ved overgangen mellem land og hav (IPBES, 2019). Disse løsninger til kyst- eller stormflodssikring kan kun implementeres ved at integrere samfundsbehov og kulturarv med bevarelse og genopretning af naturen. I denne rapport fokuserer vi først på de økologiske konsekvenser af kystsikring og beskyttelsesanlæg baseret på den nuværende traditionelle praksis (afsnit 2). Derefter diskuterer vi, hvordan man kan anvende alternative naturbaserede løsninger (NbS) ved at give flere eksempler på innovative og arkitektonisk fordelagtige kystnære genopretningsprojekter, under hensyntagen til vigtige juridiske krav og støtte fra EU-initiativer (afsnit 3, 4). Derudover giver vi en ramme for tværfagligt arbejde, der skal løse komplekse problemer ved implementeringen af NbS-genopretninger, der kan gavne biodiversiteten i kyst- og havøkosystemer

(afsnit 5). Til sidst diskuterer vi oplagte fremtidige NbS-tiltag med baggrund i konklusionerne i denne rapport (afsnit 6).

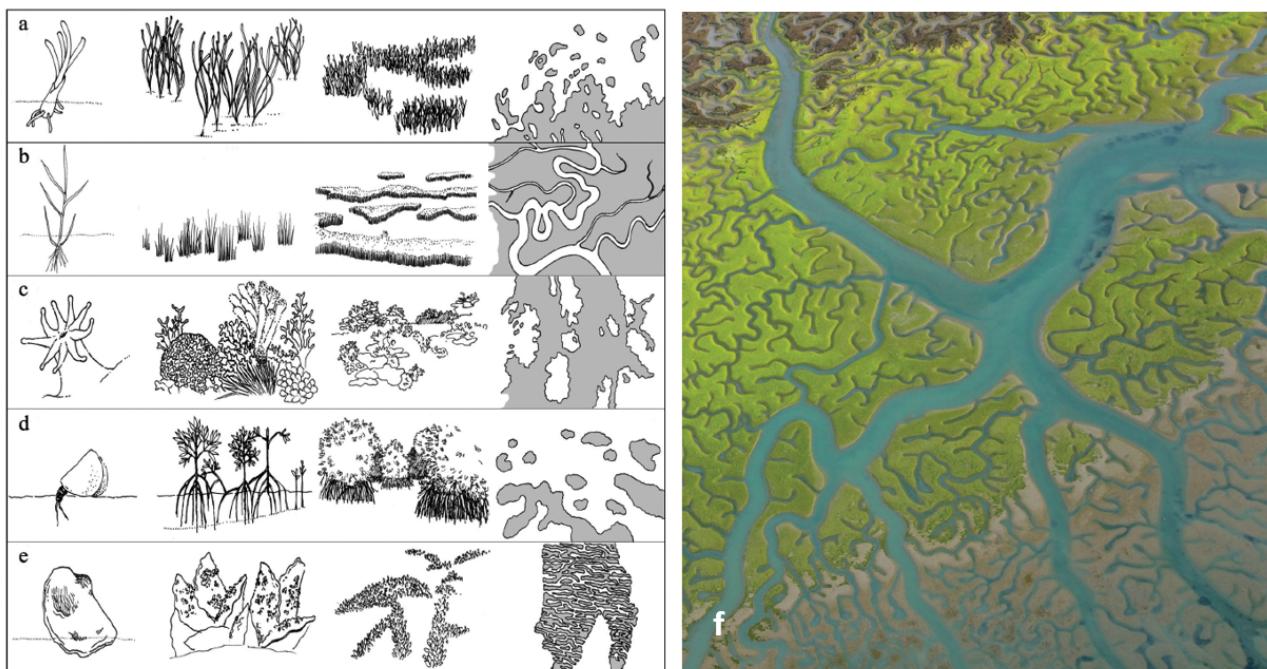
2. Økologiske konsekvenser af kystsikringsanlæg

Traditionelle hårde kystsikringer som diger, havvægge, høfder, bølgebrydere og hævede veje er hyppige konstruktioner i hele verden til at beskytte kyster mod oversvømmelse og erosion. Kystlinjen i Danmark er cirka 7.300 km lang, og der kræves kystsikring i mange områder for at beskytte det lavtliggende bagland. Derfor er Danmark et af de fem lande i Europa, der vil få de højeste forventede skadesomkostninger forbundet med stigende havvandstand i forhold til bruttonationalproduktet (Christensen et al., 2014). Størstedelen af den beskyttede danske kystlinje har en eller flere typer af sikring (figur 1). De mest almindelige og bredest anvendte sikringer langs østkysten og i fjordene er de hårde kystsikringer som diger, mens høfder dominerer langs vestkysten. Bløde sikringer som strandfodring kan kombineres med både diger og høfder og fungerer som yderligere støtte mod kysterosion. En tredje almindelig form for kystsikring er skråningsbeskyttelse, som også bruges til at forhindre erosion af kystlinjen. I alt beskytter diger 1.100 km og skråningsbeskyttelse anvendes på 700 km af de danske kyster. Derfor er der på mere end 25 % af den danske kystlinje en eller anden form for menneskeskabt ændring på grund af opførelsen af kystsikring.



Figur 1: Kystbeskyttelse langs kysten i Danmark. Fra: Kystdirektoratet.

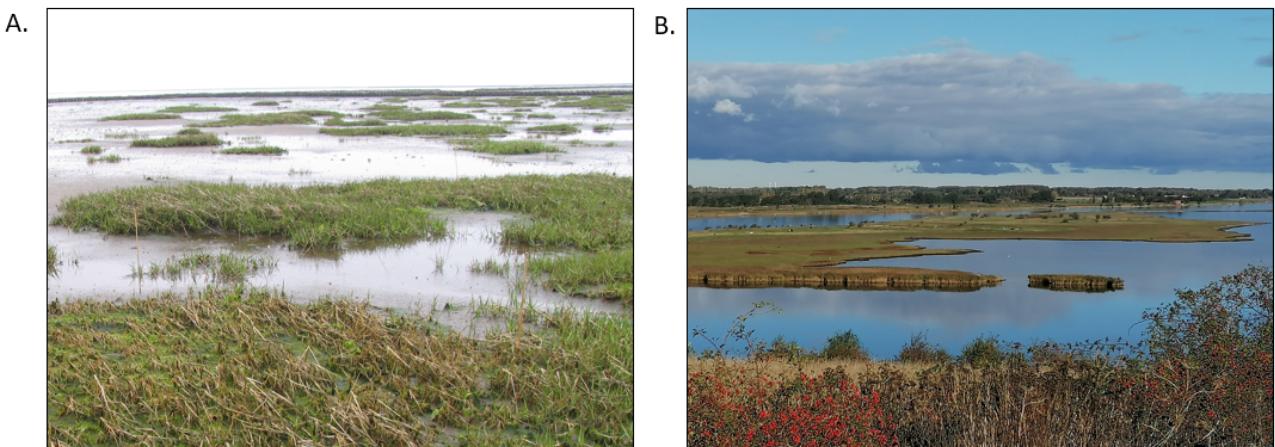
Ændringerne af kystlinjen når havets vandstand stiger kan medføre tab af værdifulde kystzoner og forårsage habitatfragmentering og ødelæggelse af habitater i og omkring tidevandszonen. Tabet af habitater ved oprettelsen af fysiske barrierer i form af kystsikring hindrer økologiske forbindelser og hindrer arternes frie bevægelighed mellem de forskellige habitater hvor de indtager føde og formerer sig (Bishop et al., 2017). Tidevandszonen omfatter området mellem den højeste og den laveste vandstand. Den supratidale og subtidale zone er områderne henholdsvis over og under tidevandszonen. Disse tre kystzoner og deres habitater bør integreres i et kontekstspeficikt "havlandschap" eller "seascapes" (figur 2, Böstrom et al., 2011). I tempererede områder er typiske habitater i den supratidale og intertidale zone ved overgangen mellem land og hav, strandenge, saltsumpe, saltmarske, havgræsenge (*Ruppia maritima* og *Zostera noltii*) og bløde sedimenter med tilhørende østers- og blåmuslingerev. Strandenge og saltmarske er den tempererede zones pendent til mangroveskogene i tropene (figur 2). Ålegræsenge (*Zostera marina*), blåmuslingebanker og stenrev udgør habitater i den subtidale zone ned til en dybde på 20 meter. Stenrev skaber habitater og understøtter høj biodiversitet med frodig vækst af makroalger og hårbundsfauna. De supratidale, intertidale og subtidale habitater er således centrale områder i kyst- og havøkosystemer.



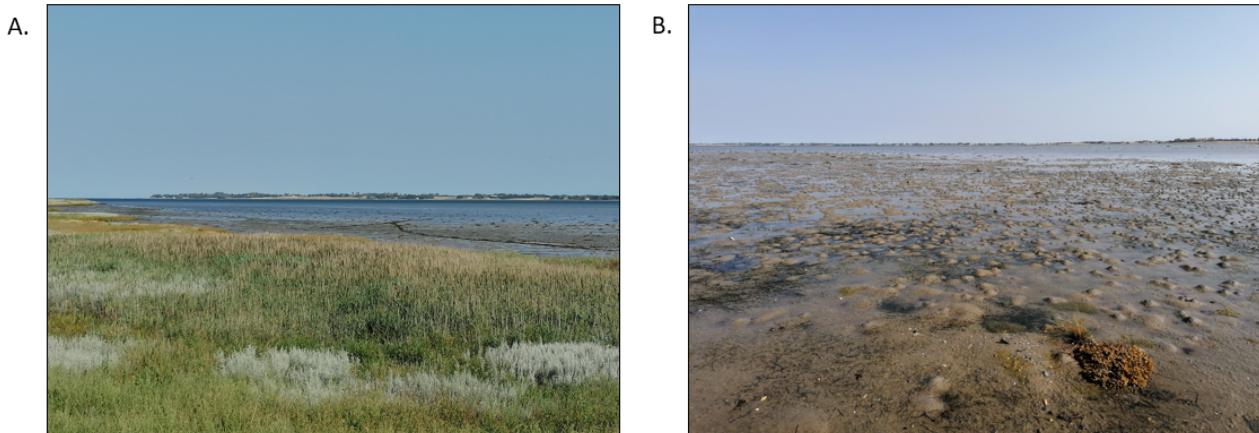
Figur 2: Havlandskaber af tempererede og tropiske kystøkosystemer: a) havgræsenge, b) saltmarske, c) korallrev i tropene, d) mangroveskove i tropene, e) østersrev og f) luftfoto af saltmark i Cadiz Bay Naturpark, Spanien, (Foto: J. C. Muñoz). Modificeret fra Böstrom et al. (2011).

Den arealmæssige dækning af strandenge og saltmarske er afhængig af tidevandsamplituden. Jo større forskel mellem lavvande og højvande, jo større og mere udviklede er plantesamfundene. I Danmark er tidevandsamplituden højest ved sydvestkysten med 200 cm efterfulgt af 20-30 cm i den

østlige del og kun 4 cm ved Bornholm (Vestergaard, 2000). Derfor har Vadehavet med sine store tidevandsområder de mest udviklede saltmarske (figur 3A). Saltmarske i det danske, tyske og hollandske Vadehav udgør det tredjestørste tidevandsmarskområde blandt UNESCOs havkulturarvslokalteter (Unesco, 2020). Strandenge har tidligere været meget almindelige i danske fjorde og langs lavvandede tidevandsområder. De kan både blive afgræsset og ikke afgræsset af kvæg (figur 3B og 4A og B). Små saltmarskområder findes ofte tæt på floder i bynære områder (figur 3B). Danmark har i alt 39.440 ha strandenge og saltmarske (Habitatbeskrivelse, 2016). De største virkninger af kystsikring på disse habitater er: (1) tab af habitater i områder med diger og i indvundne områder (med og uden landbrugsdrift), (2) kysterosion og oversvømmelse ("coastal squeeze") og (3) tab af habitater til urbanisering (havne, hævede veje, ændring af kystlinjen) (tabel 1). Tabet af habitater på grund af digekonstruktioner omdanner tidligere strandenge og saltmarskområder til ferskvandsvådområder eller landbrugsjord. Selvom disse vådområder kan bebos af hundredvis af fuglearter som observeret langs vestkysten (<https://dofbasen.dk>), udleder de 75 % flere drivhusgasser i form af kuldioxid (CO₂) og metan (CH₄) end saltmarske og tidevandsområder med blød bund (Petersen et al., 2021). Digerne forhindrer desuden kontinuerlig forbindelse mellem havet og vandløbene, som mindsker vandringen af hvirvelløse dyr og fisk til og fra havet med henblik på fødesøgning og reproduktion (Belletti et al., 2020). Det smalle bånd af strandenge og saltmarske på kystsiden af digerne er meget sårbart over for oversvømmelser forårsaget af stigende havvandstand (SLR). Derfor forudsæs det, at disse habitater smallere, et fænomen kaldet "coastal squeeze". I de værst tænkelige scenarier vil 67-74 % af de nuværende danske saltmarske gå tabt inden år 2100 med en forventet SLR på 1,15-1,35 m (Moeslund et al., 2011). I den østlige del af Danmark er strandenge og saltmarske gået tabt som følge af urbanisering eller strukturændringer af kystlinjen. Fjernelsen af disse habitater førte sandsynligvis til tab af evnen til at filtrere næringsstoffer. Derfor kan der ses overskydende næringsstoffer i kystvandene, som ofte fører til grumset vand i de indre dele af fjorde (Wendländer, 2020) (tabel 1).



Figur 3: A: Nærbillede af saltmarsk domineret af *Spartina anglica* i Vadehavet. B: afgræsset saltmarsk på Stige Ø, Odense Fjord.



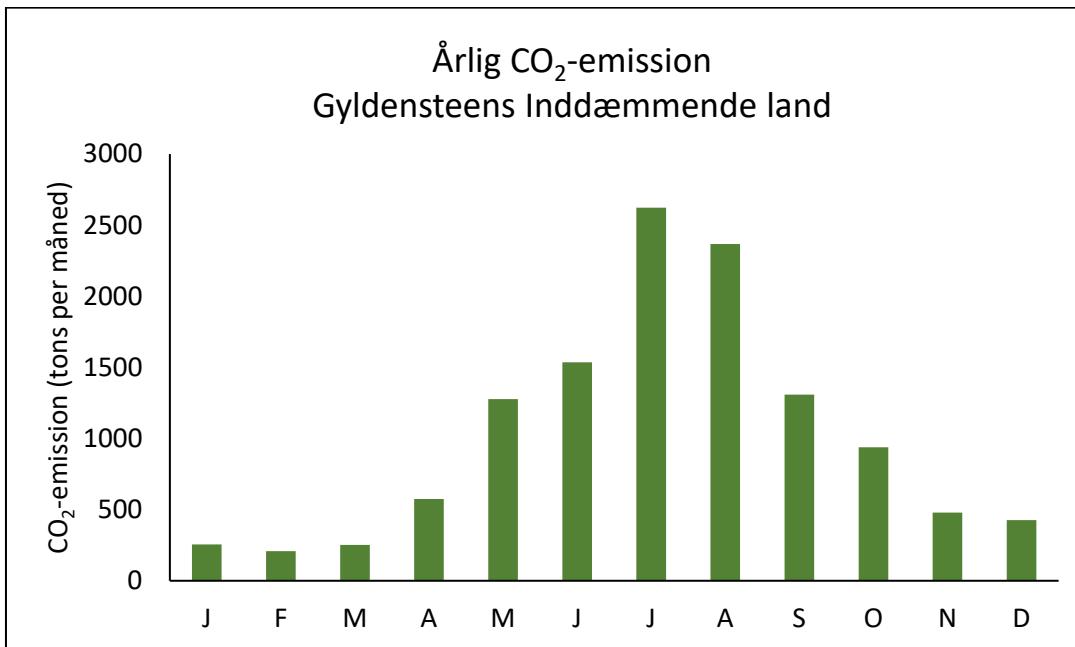
Figur 4: A: Strandenge og B: tidevandsområde med *Ruppia maritima* i Bregnør Bugt, Odense Fjord. Disse er typiske kysthabitater i det sydøstlige Danmark.

Tabel 1. Eksempler på større direkte og indirekte virkninger af kystbeskyttelser og affødte ændringer i udvalgte kyst- og havtyper. Virkninger på biodiversiteten af flora- og faunaarter i de forskellige zoner inkluderer habitat med almindeligt havgræs, østers og blåmuslinger. Virkninger repræsentes af cirkler som angiver tab af habitat (rød), ændret jord/sedimentbiogeokemi (blå), erosion og turbiditet (gul), og frigivelse af overskydende næringsstoffer (grøn).

Kystzone	Supratidal		Intertidal				Subtidal	
	Kystbeskyttelse/ændring	Strandenge	Saltmarsk	Blød bund	Biodiversitet	Ålegræs		
Havne	●		●	●	●	●	●	●
Diger	●	●	●	●	●	●	●	●
Indæmmende land	●	●		●	●	●		●
Høfter	●		●		●	●		●
Bølgebrydere				●	●			
Skråningsbeskyttelse	●		●		●			
Strandfodring				●	●	●	●	●
Havvægge		●	●	●	●	●		●

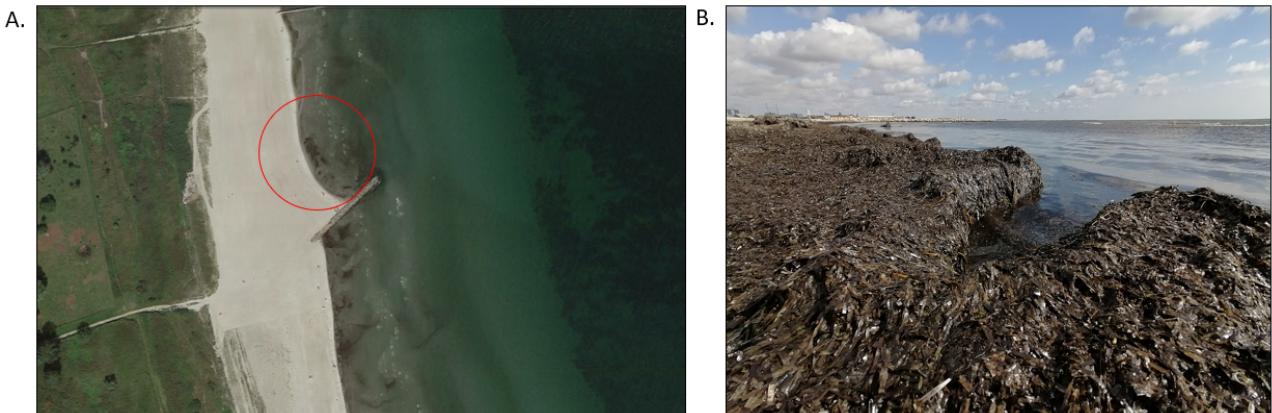
Landvindinger i Danmark for 150 år siden førte til massiv fjernelse af strande og tidevandsområder med blød bund (Stenak, 2005). Der blev indvundet landbrugsjord på bekostning af 14 % naturlig dansk kystlinje og omkring 180-1.100 øer (Fenger et al., 2008). Langs dæmningerne blev supratidale og intertidale områder erstattet af små sandstrande, der kræver konstant vedligeholdelse på grund af øget kysterosion. Disse områder havde inden landvindingen vigtige økosystemfunktioner som tidevandshabitater med blødt sediment til gavn for planter, hvirvelløse dyr, små fisk og fugle og havde en effektiv tilbageholdelse af næringsstoffer og organisk materiale fra land (tabel 1). Det indvundne land får normalt store mængder gødning, når det omdannes til landbrugsarealer, typisk 20 og 160 kg pr. ha pr. år af henholdsvis fosfor (P) og kvælstof (N). Disse drænede landbrugsområder frigiver også store mængder CO₂ på grund af iltning af jorden. Ud fra vores data for CO₂-emission i Gyldensteens indvundne jord har vi beregnet, at den samlede CO₂-frigivelse fra indvundet landbrugsjord på national målestok udgør 2,5 millioner tons om året (figur 6, Petersen et al., 2021). Desuden har vi beregnet, at afvandingssystemerne ved Gyldensteen Gods efter

afgrødernes optagelse udleder overskydende næringsstoffer svarende til 0,5 kg P og 28 kg N pr. ha pr. år til kystområderne uden for dæmningerne.



Figur 6: Eksempel på en årlig variation af CO₂ emission målt i det inddæmmende land ved Gyldensteen Strand i 2013. Det giver en frigivelse på i alt 12,245 tons CO₂ fra området om året. X-aksen repræsenter årets måneder.

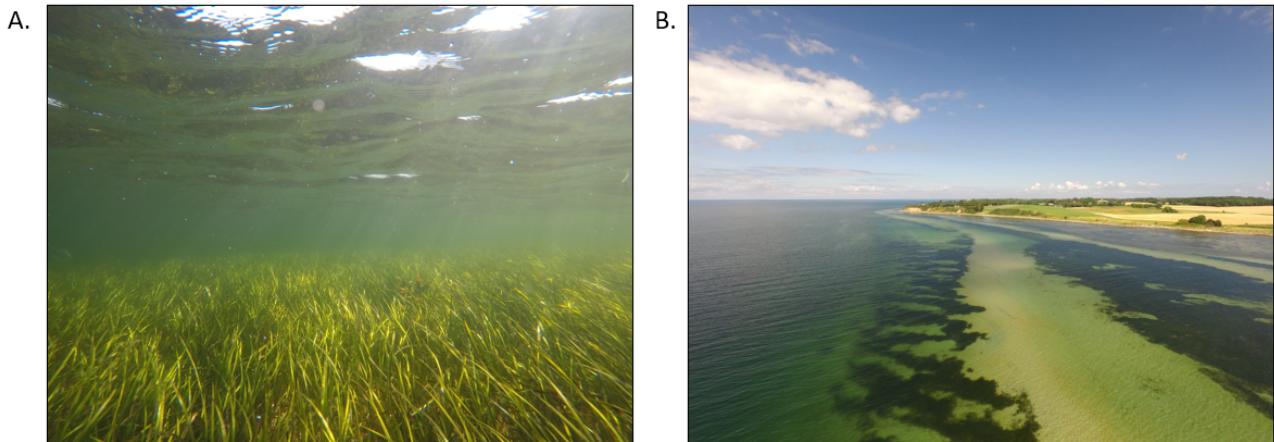
Andre typer af kystsikringer, høfder, bølgebrydere og havvægge, kan mindske bølger og tidevandsstrømme. Høfder er bygget vinkelret på kystlinjen, og er specielt designet til at skabe barrierer for bevægelse af vand og sedimenter, mens bølgebrydere og havvægge er bygget parallelt for at afskære tidevandsstrømme og bølgeslag. Disse konstruktioners ændring af vandcirkulationen kan føre til akkumulering af sediment og næringsstoffer, hvilket kan forårsage overdreven vækst af opportunistiske makroalger som søsalat og trådformede brunalger (fedtemøg: *Pilayella littoralis* eller *Ectocarpus siliculosus*), som ofte observeres i Køge Bugt i sommermånederne (figur 5A og B). Disse makroalger ophobes i vandet, og den efterfølgende nedbrydning af dem kan føre til iltsvind og udpinte miljøforhold (tabel 1). Derudover kan de overskydende makroalger skylle op på strandene i store mængder som tang ("beach wrack"), ændre havlandskabet og forringe kystlinjens æstetiske udseende og mindske dens potentielle for rekreative aktiviteter (De Falco et al., 2008) (figur 5A og B). Biodiversiteten af havets flora og fauna i nærheden af disse typer kystsikringer kan blive yderligere påvirket, og små krebsdyr og fisk vil enten dø eller svømme væk.



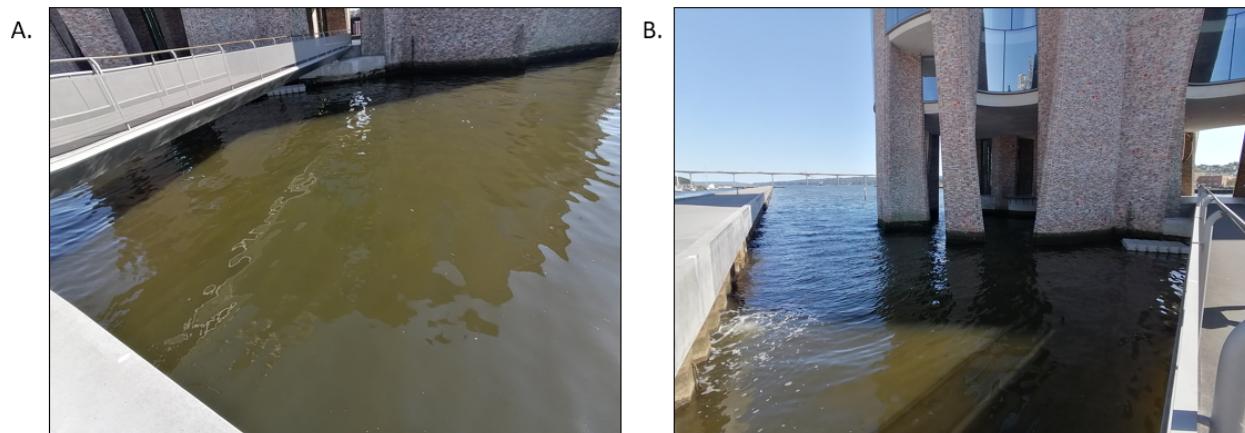
Figur 5: A: Luftfoto af høfte ved Køge Sydstrand (Google Earth) og B: Akkumulering af opskyllet tang, en blanding af brune trådalger (fedtemøg) og ålegræs om sommeren i området angivet med den røde cirkel ved siden af høfden.

I subtidale zoner er virkningerne af kystsikring og kystanlæg på makrofytter som ålegræs og makroalger indirekte. Væksten af ålegræs (*Zostera marina*) og makroalger i blødbundssedimenter er meget afhængig af tilgængeligheden af lys i de danske vandområder. Før år 1900 voksede ålegræs på blød sandbund ned til en vanddybde på 10 m og dækkede omkring 6.700 km² af de danske lavvandede farvande (Ostenfeld, 1908). Ålegræs døde massivt i 1930 på grund af "wasting disease", en svampeinfektion, og udbredelsen svandt ind med 90 %. Efter næsten fuld genopretning i de følgende årtier forværrede den øgede eutrofiering i 1970'erne lysforholdene i vandet på grund af opblomstringer af planteplankton. Dette vanskeliggjorde vækstbetingelserne og førte til et massivt tab af ålegræs. Nu er ålegræs for det meste begrænset til vanddybder på 1-4 m og dækker mindre end 2.200 km² af de danske farvande (figur 6A og B), og ålegræsset lider stadig under dårlige lysforhold og iltsvind forbundet med eutrofiering (Stæhr et al., 2019). Brune og røde alger kan vokse på dybt vand (>20 m) under klare vandforhold og forekommer i forskellige typer habitater, herunder stenrev, blødkoraller, sandbanker og lavt vand i fjorde og kystlaguner (Hansen, 2019). Ligesom ålegræs påvirkes flerårige makroalger som blæretang, *Fucus vesiculosus*, af de dårlige lysforhold tæt på bunden og forekommer i de indre fjorde kun ned til en dybde på 5 m. I modsætning hertil er der en hastig vækst af enårige og hurtigtvoksende opportunistiske arter og epifytter (vækst af mikroalger og makroalger på f.eks. ålegræsblade) og grønne makroalger som søsalat i de næringsrige indre fjordområder (Fyns Amt, 2006). Udbredelsen af makroalger synes at være øget til en dybde på mere end 10 m i åbne kystfarvande efter implementeringen af vandplaner i 1990'erne, mens der ikke er observeret ændringer i de indre fjordområder (Hansen, 2019). Lysforholdene i disse lavvandede områder påvirkes primært af resuspension og partikler, der udledes fra vandløb samt vækst af planteplankton. Urbanisering og fjernelse af vegetation i og langs vandløb har forhindret tilbageholdelsen af fine sedimentpartikler og overskydende næringsstoffer (tabel 1). De generelt dårlige lysforhold, der er observeret i de indre fjordområder, kan delvist forklare manglen på genopretningen af ålegræs og flerårige makroalger (tabel 1). Det skal dog understreges, at der må forventes et vist niveau af turbiditet og forhøjede næringsstofkoncentrationer (N og P) i uberørte og naturlige indre fjorde og nær vandløbs udmundinger, men ikke i det omfang, der er observeret i de

seneste årtier. Fine partikler aflejres ofte i de mudrede dybere dele af fjordene. De højere nedbørsmængder forbundet med klimaændringer og den nuværende lave kapacitet i disse fjordsystemer til at afbøde fysiske processer vil opretholde de dårlige miljøforhold.



Figur 6: A. Nærbillede af ålegræseng ved Bisholt, Horsens Fjord (Foto: Troels Lange). B: Ålegræseng på 1,5 m vanddybde i Dalby Bugt, Fyn (Foto: Niels Svane). Bemærk nærhed til kysten.



Figur 7: A: Nærbillede af uklart vand i den indre urbaniserede del af Vejle Fjord og B: Uklart vand tæt på Fjordenhus, Vejle Fjord.

3. Innovativ praksis og casestudier af kysttilpasning

Vi står i øjeblikket over for nogle af de største globale udfordringer med hensyn til klima og biodiversitet. Kystsikringer bidrager til tab af habitater og biodiversitet, og deres rolle i forbindelse med disse udfordringer skal derfor undersøges grundigt. De seneste rapporter fra IPCC (2019) og IPBES (2019) har vist, at vores indsats i forhold til at stabilisere klimaet, forhindre det konstante tab af habitater og bekæmpe biodiversitetskrisen på land og i havet overhovedet ikke er effektiv. Vi har lært, at disse udfordringer er komplekse og indbyrdes forbundne og derfor ikke kan løses separat, men i stedet kræver en kombination af eksperter og engagement fra borgerne til at opnå sammenhængende og innovative løsninger (Sauders et al., 2020; Aminpour et al., 2021).

Boks 1: EU-definition på naturbaserede løsninger

"Løsninger, der er inspireret af eller understøttet af naturen. De er omkostningseffektive og indebærer både miljømæssige, sociale og økonomiske fordele samt bidrager til at øge økosystemers modstandsdygtighed. Sådanne løsninger giver mere forskelligartet natur og naturlige funktioner og processer i byer, landskaber og havlandskaber gennem lokalt tilpassede, ressourceeffektive og systemiske indgreb."

Naturbaserede løsninger vil derfor gavne biodiversitet og understøtte en række økosystemtjenester.

Naturbaserede løsninger (NbS, boks 1) er en ny tilgang, der har fået stor opmærksomhed på højt niveau, f.eks. partskonferencen (COP) i Madrid, Spanien, 2019, og hos forskellige interesser, herunder IPBES, IPCC, IUCN, UNEP, FN og Europa-Kommisionen. NbS består af bæredygtige løsninger til afbødning af klimaændringerens udfordringer og de kan fungere som redskaber til klimatilpasning samt medvirke til genopretningen af økosystemtjenester, som tilvejebringes af høj biodiversitet af planter og dyr (Seddon et al., 2021). NbS er derfor et vigtigt redskab i forbindelse med fremtidige kystsikringer og klimatilpasningsprojekter. En af de vigtigste

tilgange til NbS er økologisk genopretning defineret som "processer der hjælper med genopretningen af forringede, skadedyne eller ødelagte økosystemer" (Gann et al., 2019). I overensstemmelse hermed kan genopretning af kyst- og havhabitater integreres med innovative NbS-tiltag i kystsikrings- og tilpasningsprojekter. Andre vigtige tilgange til NbS omfatter naturbeskyttelse og -bevarelse i forbindelse med problemspecifikke sager (en mindsket risiko for økologiske katastrofer), samt infrastrukturbaserede (dvs. grøn infrastruktur) og forvaltningsbaserede (dvs. integreret kystforvaltning) tiltag (figur 8). Fem spørgsmål kan anvendes til at verificere, om en intervention kan betegnes som NbS (IUNC 2020; Society for Environment Policy, 2021):

- i) Anvender den naturen eller naturlige processer?
- ii) Giver den samfundsmæssige fordele?
- iii) Giver den økonomiske fordele?
- iv) Giver den miljømæssige fordele?
- v) Giver den gevinst i forhold til biodiversitet?



Figur 8: Naturbaserede løsninger er en samlebetegnelse for økosystembaserede tilgange til at løse samfundsmæssige udfordringer for at forhindre f.eks. nedbrydning af økosystemet og tab af biodiversitet. Kilde: IUCN 2020.

Disse spørgsmål er også de principper, der behandles i eksemplerne beskrevet nedenfor, som fokuserer på fordelene ved at genoprette kyst- og havhabitater for naturen og for samfundet (tabel 2). De økonomiske fordele ved eksemplerne i denne rapport er indlejret som en holistisk analyse af kystsikring, kystbeskyttelse og tilknyttede økosystemtjenester uden detaljerede beløbsmæssige vurderinger, f.eks. af en øget biodiversitets betydning som grundlag for opretholdelse af fiskebestandene. For yderligere oplysninger om anvendelsen af NbS og evalueringen af fordelene heraf henvises der til IUCN (www.iucn.org/theme/nature-based-solutions) og Society for Environment Policy, [Future Brief: the solution is on nature](#).

Tabel 2: Vigtigste økosystemtjenester leveret af naturbaserede løsninger i kyst- og havhabitater. De grønne cirkler repræsenterer de økosystemtjenester, der er veldokumenteret af videnskabelig forskning, mens i.t. betyder ikke tilgængelige og/eller tilstrækkeligt videnskabeligt testet. Kystbeskyttelse henviser til både forebyggelse af kysterosion og bølgedæmpning. CO₂-lagring er angivet som tons pr. hektar pr. år (t ha⁻¹ yr⁻¹) og antallet i parentes repræsenterer permanent kulstoflagring i den samme enhed. Bemærk at CO₂ tilbageholdelse ikke er afbalanceret med udledning af drivhusgasser. *data om kulstoftilbageholdelse er fra Mcleod et al. (2011) og Kristensen et al. (2021); **Danske skoves og plantagers CO₂ tilbageholdelse og kulstoflagring er vist til sammenligning (Nord-Larsen et al. 2014). Næringsstofkredsløb dækker både makrofyter næringsstofoptagelse og regenerering ved mikrobiel aktivitet. Biodiversitet er relateret til antallet af plante- og dyrearter. Samfund. eng.: refererer til det samfundsmæssige engagement, der er forbundet med implementering af naturbaserede løsninger.

Naturbaserede løsninger	Økosystemtjenester				
	Kystbeskyttelse	CO ₂ lagring (t ha ⁻¹ yr ⁻¹)	Næringsstofkredsløb	Biodiversitet	Samfund. eng.
Tangdyrkning	i.t.	i.t.	●	●	●
Musling dyrking/banker	i.t.	i.t.	●	i.t.	●
Betonkonstruktioner	●	i.t.	●	●	●
Stenrev	●	i.t.	●	●	●
Strandenge/Saltmarske	●	7,6 (2,0)	●	●	●
"Managed realignment"	●	0,4 (0,1)	●	●	●
Ålegræsenge	●	2,0 (0,5)	●	●	●
Danske skove og plantager**	i.t.	0,6 (0,2)	●	●	●

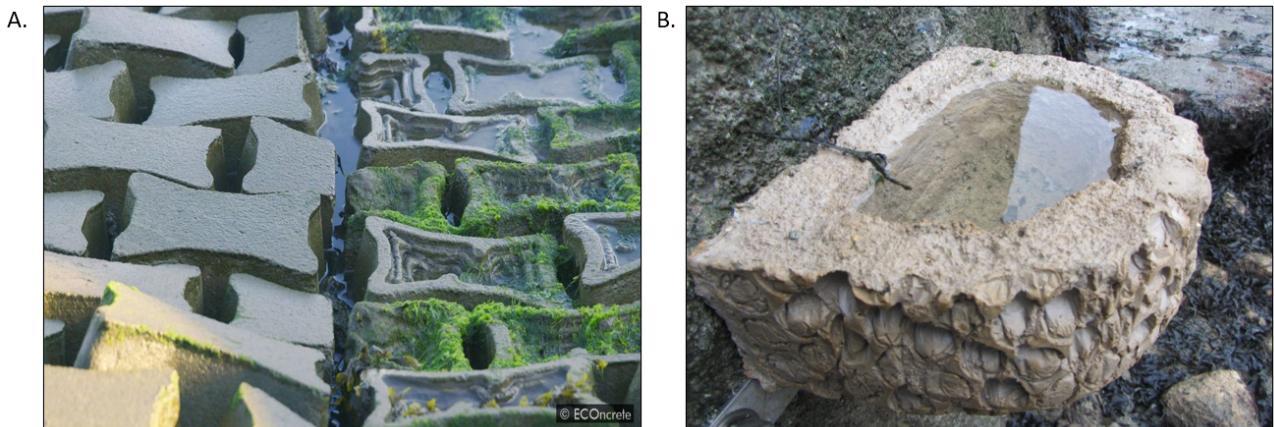
Forringede økosystemer kan kun komme sig efter menneskelige påvirkninger ved aktiv genopretning af habitater. De påvirkninger, som skal genoprettes, er blandt andet ovennævnte

strukturelle kystændringer, eutrofiering på grund af overdreven næringsstofbelastning og overudnyttelse af havets ressourcer (IPBES, 2019). Derfor er økologisk genopretning ved NbS via havbaserede storskala løsninger en nøgleaktion i EU's strategi for biodiversitet 2030, EU's naturgenopretningsplan og EU's klimastrategi 2050. Kyst- og havgenopretningsstiltag omfatter gendannelse af saltmarske, kystlaguner ved kontrolleret uddigning eller "managed realignment" (MR) samt genplantning af havgræsser. Disse tiltag kan medvirke til at binde store mængder kulstof (også kendt som "blue carbon") og samtidig give kystsikring til gavn for biodiversitet og derved løse den dobbelte krise med hensyn til klima og biodiversitet på én gang (tabel 2). Genopretning ved hjælp af havvegetation giver faktisk mere CO₂-lagring end skovrejsning (tabel 2). Andre NbS-tilgange som etablering af tangskove, muslinge-/østersbanker og stenrev har et stort potentiale for genopretning af habitater, men opfylder ikke alle de fem krav som ægte NbS, da kulstofbindingskapaciteten endnu ikke er dokumenteret (tabel 2). De er imidlertid vigtige elementer af havlandskabet, og en kombination af disse og ovennævnte kyst- og hav-NbS bør anvendes for at sikre succesfuld gendannelse af økosystemtjenester og modstandsdygtighed. I denne rapport fokuserer vi primært på det innovative potentiale af kyst-NbS i overgangen mellem land og hav ved hjælp af hårde konstruktioner, saltmarske og kontrolleret uddigning (MR). Sidstnævnte vil blive præsenteret ved casestudiet Gyldensteen Strand. Vi diskuterer desuden kort udplantning af havgræsser (ålegræs), da det har et stort potentiale i kombination med andre hav-NbS til at forbedre havlandskabets funktionalitet.

3.1. Betonkonstruktioner

Hård kystsikring er traditionelt bygget af konventionel beton. Cement er en af hovedingredienserne i beton, som produceres i stort omfang til relativt lave omkostninger, men det har et meget højt CO₂-aftryk. Der udledes gennemsnitligt 927 kg CO₂ for at producere 1.000 kg cement (NSF, 2009). De glatte og homogene overflader på konventionel beton, der anvendes til havvægge, bølgebrydere og havne, giver ikke mulighed for en optimal kolonisering af makroalger og hvirvelløse dyr med høj biodiversitet. Desuden hæmmer disse konstruktioners grå udseende det æstetiske indtryk af og integrationen med havlandskabet. Innovative og bæredygtige NbS alternativer med overflader, der efterligner stenede kyster, har potentiale for stimulering af høj biodiversiteten. Betonblandinger og granitblokke med forhøjet overfladetekstur hvor rock pools kan opstå, er eksempler på sådanne NbS (figur 9). Ændringer i betonblandinger ved brug af alternative materialer som knuste muslingskaller og industrielle biprodukter kan reducere CO₂-udledningen med 30-46 % sammenlignet med konventionel beton (Yang et al., 2015). Disse ændringer øger overfladeruheden på både mikro- og makroskala og giver mulighed for etablering af liv i forskellige former og farver (figur 9A og B). Tang og skaldyr bruger disse konstruktioner som habitater ved vækst i fordybninger, sprækker, rock pools og rum mellem store sten. Der er et stærkt engagement fra borgerne om at udføre overvågning af disse konstruktioner, hvilket fremmer befolkningens holdning til disse tiltag (www.marineeff-project.eu) (tabel 3). En anden fordel er muligheden for at udvikle disse konstruktioner i kunstnerisk stil (www.artecology.space) og dermed forbedre det visuelle havlandskabs udseende. Der er dog et par forbehold, der skal tages i betragtning, når disse konstruktioners fulde potentiale som NbS vurderes. For det første bør koloniseringen fortrinsvis være domineret af ønskede arter. Balancen mellem disse og uønskede invasive eller opportunistiske arter afhænger af de lokale miljøforhold,

som lys og mængden af næringsstoffer i vandet. For det andet er det udfældede CaCO_3 fra skaldyr eller kalkalger en CO_2 -kilde til atmosfæren. Havenes karbonat-bikarbonat-buffersystem er komplekst og tolkes ofte forkert. Dannelsen af CaCO_3 medfører faktisk frigivelse af CO_2 og kan ikke fungere og/eller fortolkes som et CO_2 -dræn (Ware et al. 1992).



Figur 9: A: Betonblokke arrangeret i tidevandsområde og B. en "rock pool" installeret ved en havvæg. Begge strukturer tilbageholder havvand under lavvande, hvilke hjælper kolonisering af flora og fauna. Fra: ECOConcrete og Marineff projekter.

Tabel 3: Resumé af økosystemtjenester leveret ved implementeringen af betonstrukturer som naturbaserede løsninger. Betonstrukturer betragtes her som af hård kystbeskyttelse.

Betonkonstruktioner som naturbaserede løsninger

Kystbeskyttelse

X CO_2 lagring

Næringsstofkredsløb

Biodiversitet

Samfund. engag.

3.2. Strandenge og saltmarske

De fleste af genopretninger af saltmarske er knyttet til tidevandets tilbagevenden efter fjernelse af diger eller ved uddigning (MR). Idéen er, at havvandet kommer ind i vådområder eller på landbrugsmarker, der tidligere var placeret bag diger, og sætter den naturlige vækst af marskvegetationen i gang (Warren et al., 2002). Det vil betyde ændringer i flora- og faunasammensætningen, blandt andet vil nogle landfuglearter blive erstattet af kyst-, vade- og svømmefugle. Kendskabet til det historiske landskab og havlandskab i sådanne områder er afgørende for at forstå topografien og vandets naturlige dynamik. Saltmarskplanter vender tilbage inden for 5-20 år, mens det tager ca. 15 år for topografien at stabilisere sig (Warren et al., 2002; Gerwing et al., 2020). Fuglearter, der er afhængige af fuldt udviklede saltmarske for at yngle, viser sig således inden for 15 år (Warren et al., 2002). Imidlertid vil den fulde genopretning og afbalancerede sedimentforhold muligvis først finde sted efter 60-130 år (Gerwing et al., 2020). Derfor udvikles og testes innovative og bæredygtige NbS for at fremskynde processen med genopretning af saltmarsken (www.bese-products.com) såvel som andre ferskvands- og havhabitater (figur 10 og 11). Fysiske strukturer bestående af bionedbrydelige net-elementer og bløde netposer er blevet anvendt til at understøtte en aktiv genopretning af saltmarske, idet de giver det nødvendige vækstmedium og

beskyttelse til optimal plantevækst. Disse strukturer kan etableres når som helst og ikke nødvendigvis i forbindelse med det indledende digebrud, men i kombination med genopretningen af andre havhabitater (figur 10 og 11). Anvendelsen af disse net-elementer øgede saltmarskplanternes overlevelse med 80-100 % i Holland og Florida, USA, hvilket bekræfter for deres potentiale i genopretningen af saltmarske (Temmink et al., 2020). Genopretningen af saltmarsker og strandenge som et NbS-redskab er endnu ikke implementeret i Danmark i samme omfang som genopretningen af vådområder og andre havhabitater som ålegræs (Bruhn et al., 2020). Genopretningen af saltmarske bør kontrolleres ved at vælge de ønskede naturligt hjemmehørende arter som *Salicornia europaea* (kveller), *Puccinellia maritima* (strandannelgræs) og *Festuca rubra* (rød svingel) i stedet for den invasive art *Spartina anglica* (engelsk vadegræs). Spredningen af *Spartina anglica*-marske i Vadehavet er kritisk, fordi de understøtter lav biodiversitet, hvilket giver færre fødekilder og levesteder til vadefugle (Nehring og Hesse, 2008). Strandenge og mindre saltmarske er almindelige i de indre dele af de danske kystvande, hvor de kan leve lignende økosystemtjenester som de mere udviklede saltmarske i Vadehavet. Blandt disse økosystemtjenester er en højere kapacitet til at lagre kulstof sammenlignet med andre havhabitater og de kan filtrere næringsstoffer og fine partikler, samt forebygge kysterosion (tabel 2, afsnit 3). Der kunne udvikles nye muligheder for at få strandenge og saltmarske inkluderet som NbS, når der iværksættes planer om at oversvømme nye områder, for eksempel ved uddigning (MR) og i forbindelse med nye indvindingsprojekter.



Figur 10: A and B: Saltmarskudplantning ved hjælp af biologisk nedbrydelige net for at sikre en vellykket vækst. C og D: Saltmarskudplantning i kanaler for at forhindre erosion. Fra: www.bese-products.com.



Figur 11: Eksempel på hård (hvid farve til muslinger) og bløde net (brun farve til strandplanter), der bruges til at genoprette et havlandskab på en caribisk strand. Fra: www.bese-products.com.

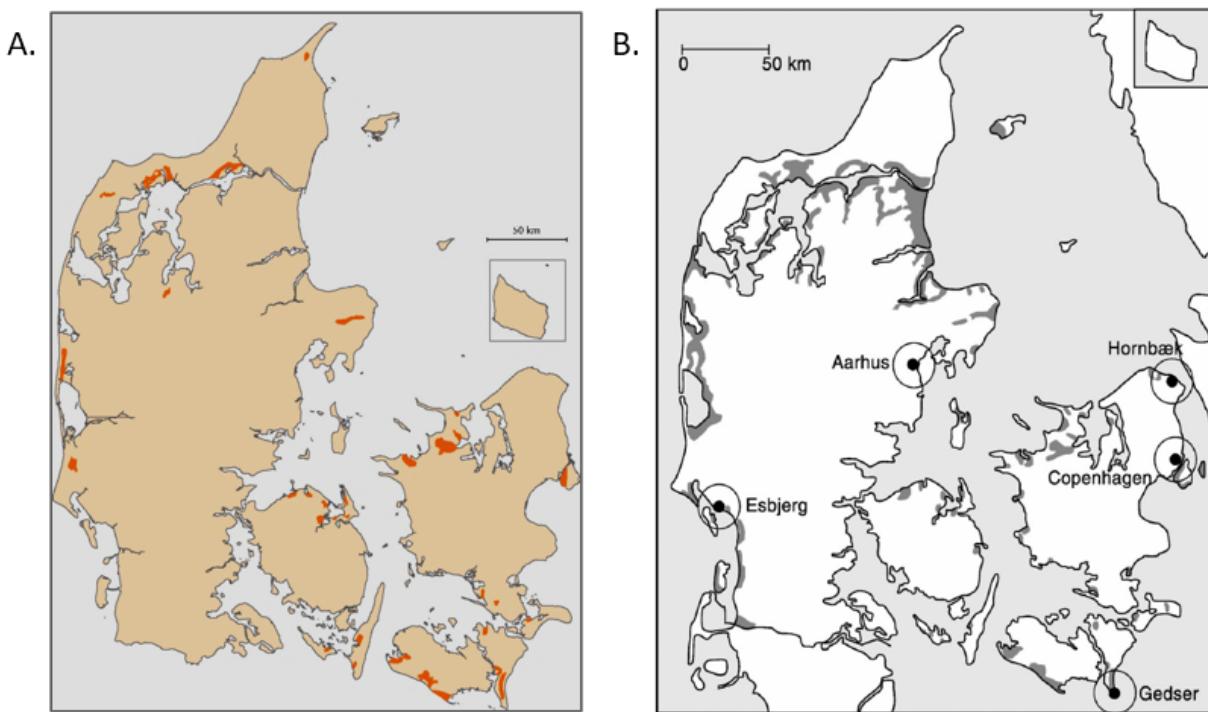
Tabel 4: Resumé af økosystemtjenester der leveres ved genetablering af strandenge/saltmarsk som naturbaserede løsninger. Kystbeskyttelser repræsenterer her forebyggelse af kysterosion.

Strandenge/Saltmarker som naturbaserede løsninger

- | | | | | |
|---|---|---|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Kystbeskyttelse | <input checked="" type="checkbox"/> CO ₂ lagring | <input checked="" type="checkbox"/> Næringsstofkredsløb | <input checked="" type="checkbox"/> Biodiversitet | <input checked="" type="checkbox"/> Samfund. engag. |
|---|---|---|---|---|

3.3. Uddigning ved "managed realignment" og casestudiet Gyldensteen Strand

Uddigning af kystlinjen (i.e. managed realignment) er for nylig blevet anerkendt som en omkostningseffektiv NbS (Seddon et al., 2021). Det er en fordelagtig klimatilpasning, idet den virker som kystbuffer mod stormfloder. Det er en fleksibel NbS med virkning overfor de værste scenarier for stigende havvandstand, især ved opførelse af indre diger (tabel 2). Selvom uddigning er meget udfordrende nær byområder, er det en relativt nem opgave i landområder (Carey, 2020). Indvundet landbrugsjord skal konstant drænes for at modvirke akkumuleringen af regnvand. Indtrængen af ilt i den drænede jord fører til en øget nedbrydning af organisk materiale, som bevirket at jordoverfladen gradvist synker. Dyrkning af afgrøder er ikke altid rentabel i den synkende jord, som ofte er for våd selv efter dræning (Gerwing et al., 2020). Desuden er der høje omkostninger forbundet med vedligeholdelse af de diger, der beskytter det indvundne land. I Danmark er der i øjeblikket 146 indvundne områder med et samlet areal på 45.382 ha (ca. 450 km²) hvilket udgør ca. 1 % af det landets samlede areal (Stenak, 2005) (figur 12A). Ikke overraskende er der et stort overlap mellem det indvundet land og forudsigelser af områder, der vil blive oversvømmet i forbindelse med stigende havvandstand i Danmark inden år 2100 (figur 12A og B). Derfor har Danmark som et lavliggende land et stort potentiale for at implementere uddigningsprojekter.



Figur 12: A: Rød farve viser de største inddæmninger i Danmark (modificeret fra Stenak 2005). B: Grå farve viser de kystområder, der er truet af oversvømmelse forbundet med stigning i havniveauet (fra Fenger et al. 2008). Bemærk det store overlap af områder i A og B ved især østkysten.

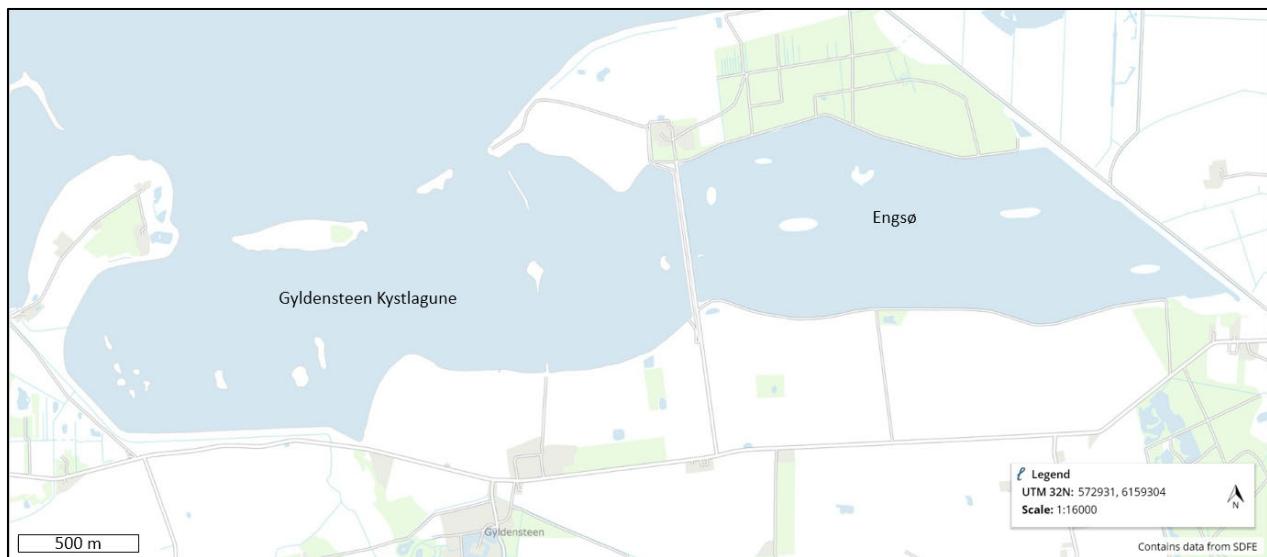


Figur 13: Skader på den vestlige del af Gyldensteen diget i januar 1954. Diget havde en samlet længte på 2273 m og blev beskadiget tre gange.

Det første større projekt vedrørende uddigning i Danmark blev iværksat i 2011 ved Gyldensteen Strand af Aage V. Jensen Naturfond (www.avjf.dk/avjnf/naturomraader/gyldenstein-strand/), og fra 2013 stod Syddansk Universitet for den videnskabelige overvågning af det genoprettede område.

Fonden købte et areal på 616 hektar af Gyldensteen Gods. Dette område blev efter inddæmning, afvanding og tørlægning af en marin kystlagune i 1870 brugt til landbrug i 140 år (Kjeld Hansen, "Det tabte land" <https://www.dettabteland.dk/FYN.htm>). Digerne, der beskyttede den inddæmmede Gyldensteen Strand, blev beskadiget af stormflod tre gange efter 1870, og vedligeholdelsen af diger og dræningssystem blev meget dyr (figur 13). Aage V. Jensen Naturfond foretog en vellykket genopretning af det inddæmmede område til både en kystlagune og ferskvandssø. Digerne til kystlagunen blev brudt (uddiget) i marts 2014 for at forbinde det inddæmmede område med havet og skabe den 214 ha store Gyldensteen Kystlagune (figur 14, 15). Ferskvandssøen (Engsøen) på 144 ha blev skabt ved at standse dræningen af jorden. Der blev oprettet små øer i både Kystlagunen og Engsøen for at give fuglene beskyttede redepladser. Den nærliggende by Bogense med ca. 4.000 indbyggere beskyttes stadig mod stormfloder og SRL af en kystbuffer i form af indre diger bygget i forbindelse med projektet (figur 17).

Oversvømmelsen af landbrugsjord med havvand og dermed fjernelse af ilt fra jorden hæmmer de mikrobielle processer, der driver nedbrydningen af organisk stof i jorden (Petersen et al., 2021). Kystlagunen er på nuværende tidspunkt næsten klimaneutral med en lille optagelse på ca. 2.000 tons CO₂ om året i 2019 (figur 16). Desuden forventes den organiske kulstofpulje på ca. 10.000 tons i de øverste jordlag at blive deponeret i mere end 100 år, hvilket er kriterierne for et virkemiddel til afbødning af klimaændringer (Mcleod et al., 2011). I modsætning hertil førte oversvømmelse af Engsøen til en stor frigivelse af drivhusgassen metan (CH₄) svarende til 9.000 tons CO₂ om året (Petersen et al., 2021). Udledningen af CH₄ var mest i form af bobler, der blev frigjort fra jorden i sommermånederne. Det er derfor vigtigt at tage CH₄-udledninger i betragtning og undgå vanddækkede ferskvandsvådområder, når fremtidige oversvømmelsesstrategier langs kysterne planlægges.



Figur 14: Gyldensteen kystlagune i vest med 11 nye øer og Engsø med 6 nye øer i øst. De to vandområder er adskilt af et indre dige og udgør det større naturreservat Gyldensteen Strand nær Bogense. Kort hentet fra Scalgo.

Deltagelse af interesserter inden oversvømmelse ved uddigning er kritisk med hensyn til bevarelse af og respekt for kulturarven. Inden projektet ved Gyldensteen startede, og diger blev brudt, var det vigtigt med en vurdering fra Odense Bys Museer om behovet for at bevare eventuelle historiske steder i området. Efter miljørapporten blev det besluttet, at de fleste af de bekymringer, som museet rejste, ville blive inddraget i projektet, herunder dræningskanalerne, pumpehuset og de to vindmøller på Langø og Stegø. Disse vindmøller er nu renoveret. Interessenter som Dansk Ornitoligisk Forening – DOF, Nordfyns Kommune, lokale skoler og frivillige har været vigtige aktører efter oversvømmelsen af Gyldensteen Kystlagune. De har blandt andet været ansvarlige for guidede ture for at fortælle om projektet og forskningsresultaterne. De nye faciliteter i området som fugleudkigstårne, naturrum og laboratorium for skoleelever giver mulighed for åbne videnskabsdage, tematiske workshops med forskere og andre formidlingsaktiviteter. Det lokale engagement har bidraget til den generelle accept af den omfattende ændring fra et landbrugslandskab til et kystlagune-havlandschap. Derudover er Gyldensteen Strand blevet til en kæmpe turistseværdighed på Nordfyn med op til 60.000 gæster hver sommer.

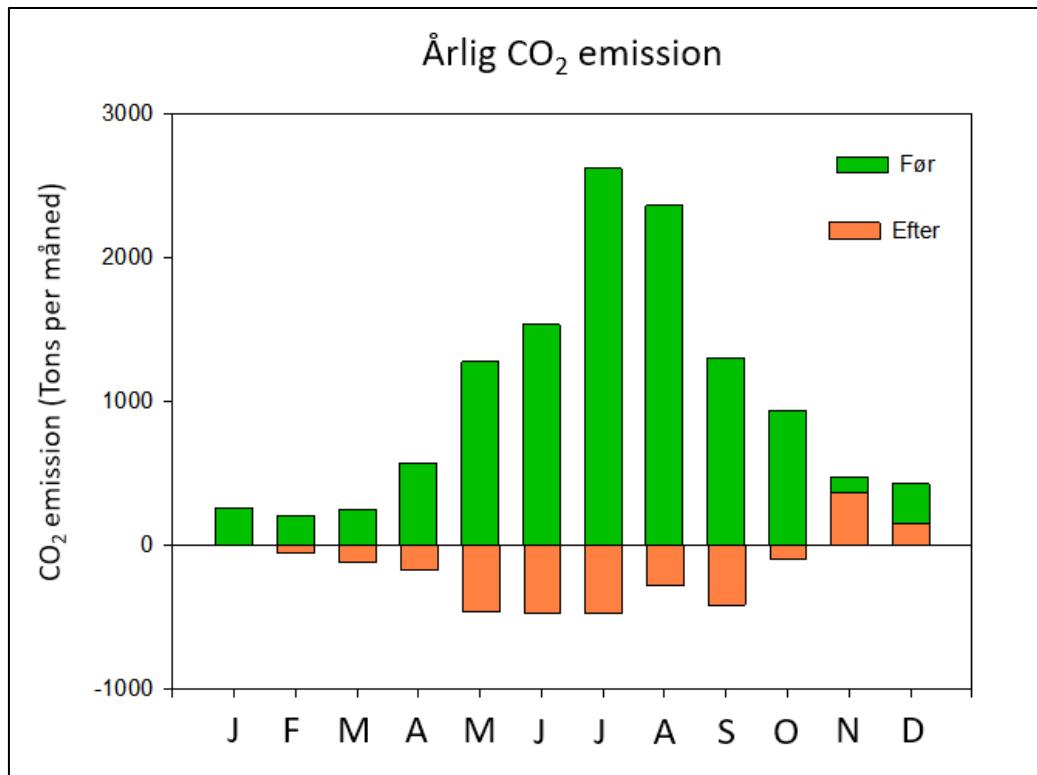
A.



B.



Figur 15: Luftfoto af Gyldensteen Kystlagune. A: Før oversvømmelse og B: efter oversvømmelse i 2014.
Fotoer: Viggo Lind.

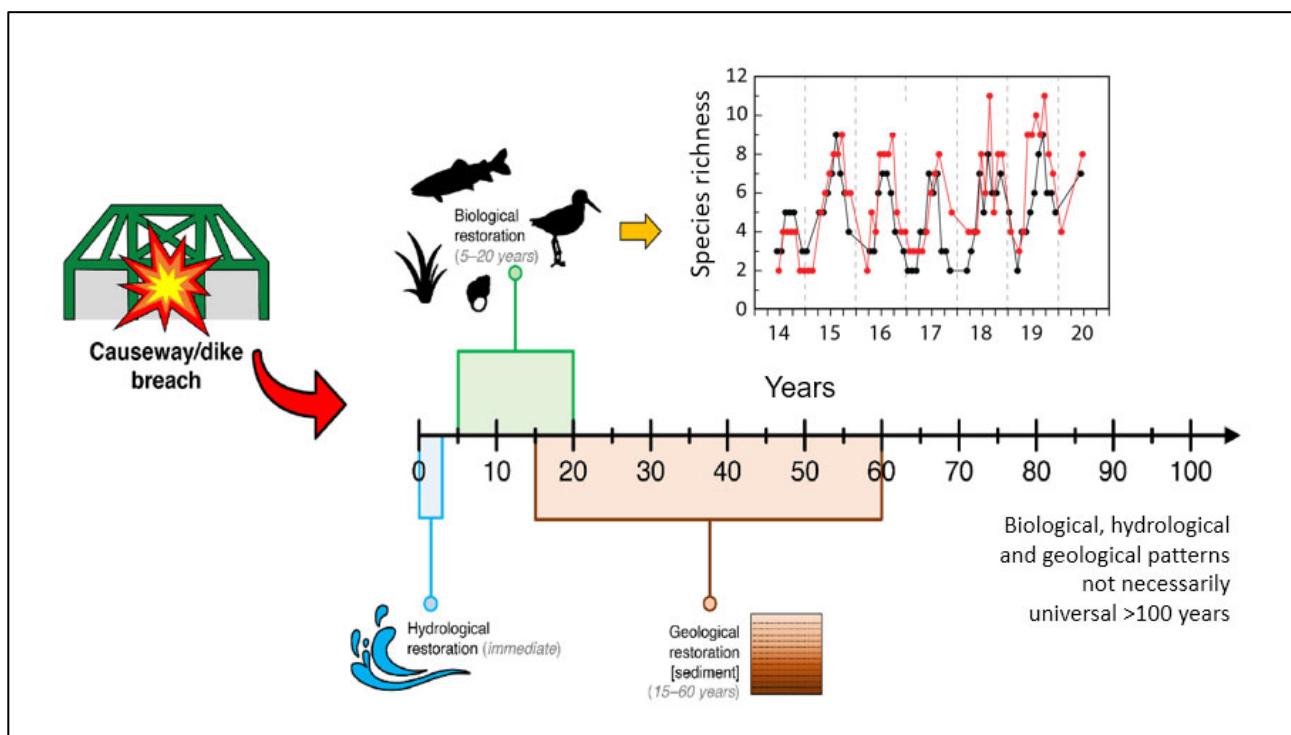


Figur 16: CO₂ emission i Gyldensteen Kystlagune før og efter oversvømmelse. Målinger efter oversvømmelse blev fortaget i 2019, fem år efter digebruddet. Negative værdier indikerer en netto CO₂ optagelse af mikroalger, der vokser på bunden af lagunen.



Figur 17: Uddigning ("managed realignment") for at genoprette Gyldensteen Kystlagune og Engsøen blev kombineret med etablering af 3,5 km indvendige diger (røde linjer) på 3 meter høje.

Diversiteten af flora og fauna i Gyldensteen Kystlagune blev i starten påvirket af miljømæssige ændringer forbundet med frigivelse af næringsstoffer fra den resterende gødning på landbrugsmarkerne. Vi har målt frigivet fra jorden til vandet på op til $299 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ og $63 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ det første år efter oversvømmelsen efterfulgt af et fald på 81 % og 58 % de næste fem år (Kristensen et al., 2020). Den høje frigivelse af N og P stimulerede en massiv opblomstring af få arter grønne makroalger i løbet af den første sommer (2014), men makroalgesamfundet ændrede sig hurtigt og voksede fra 2 arter i 2014 til 11 arter i 2020 (figur 18) (Thorsen et al., 2021). Det 5-6 år lange tidsrum for disse ændringer passer med den generelle hydrologiske og biologiske genopretningshastighed i andre indvundne områder i Canada og Storbritannien (Gerwing et al., 2020). Dybdepløjning af jorden ned til 1 meter omkring 1960 blandede marint sand med silt og ler fra den dybere morænejord (Stenak, 2005). Fine partikler af silt og ler resuspenderes let af bølger og tidevandsstrømme og gør regelmæssigt vandet i Gyldensteen Kystlagune grumset. Denne konstante resuspension fra bunden har påvirket fremgangen for og koloniseringen af bunddyr, der lever af suspenderede planktonalger, som blåmuslinger, ved at tilstoppe deres filtreringssystemer. Desuden blev fitness af nogle havbørsteorme påvirket af jordkomprimering og rødder fra den sidste dyrkning af afgrøder (Valdemarsen et al., 2018). Til gengæld er Gyldensteen Strand nu blevet rig på fugle, hvor både havlagunen og ferskvandssøen tiltrækker op til 179 ynglende og fouragerende fuglearter. DOF anser i dag Gyldensteen Strand for et af de bedste lokaliteter på Fyn til at observere mange fuglearter.

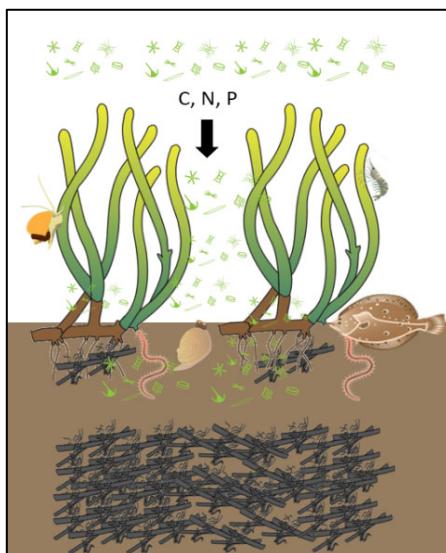
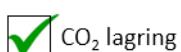
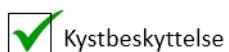


Figur 18: Typisk tidsmæssig progression af hydrologisk, biologisk, og geologisk restaurering efter digebrud. Bemærk, at ikke alt inddæmmet land vil følge dette generaliserede tidsforløb efter oversvømmelse, og forskelle fra referencebetingelse bør observeres indenfor veldefinerede tidsrammer. Artsrigdom er baseret på makroalgesuccession i Gyldensteen Kystlagune. Modificeret fra: Gerwing et al. (2020).

Projekter vedrørende uddigning, som Gyldensteen Kystlagune og Engsø repræsenterer, giver mulighed for en omfattende genopretning og klimatilpasning samt afbøder effekter af klimaændringer. Dette bidrager derved til en bred vifte af miljømæssige og samfundsmaessige fordele, der opfylder alle NbS-kriterierne (tabel 5). Vores erfaringer med oversvømmelse af landbrugsjord med havvand og ferskvand kan være en skabelon til fremtidige uddigningsprojekter. Der er planlagt yderligere forbedringer af Gyldensteen Kystlagune ved hjælp af innovative marine virkemidler for at reducere resuspensionen af silt og ler i lagunen og derved øge biodiversiteten. Der vil således blive udlagt en 10 cm tyk sandkappe på to hektar af lagunen i 2021 for at forhindre resuspension og sørge for sandhabitater til bundfauna. Ålegræs vil blive udplantet på udvalgte steder for at fange flere fine partikler og blive et tilholdssted for en høj diversitet af mobil havfauna. Der vil blive etableret lave stenrev i lagunen for at frembringe hårde substrater til vækst af makroalger. Denne nye tilgang vil give mulighed for at vurdere anvendeligheden af en række marine virkemidler i uddigede områder til forbedring af miljøforholdene og genoprette arters konnektivitet i kystlagunen.

Tabel 5: Resumé af økosystemstjenester leveret efter implementering af uddigning som en naturbaseret løsning. Kystbeskyttelse her er en direkte effekt af diger bygget inde i landet. Biodiversitet er her repræsenteret som de observerede fugle i området.

Uddigning (“Managed realignment”) som naturbaserede løsninger



Figur 19: Ålegræsskud og deres evne til at begrave fytoplankton og eget plantemateriale såvel som at være vært for biodiversitet hos hvirvelløse dyr, vigtig forbindelse til små og store fisk.

3.4. Genplantning af ålegræs

Genopretning af ålegræs (*Zostera marina*) har et stort potentiale som NbS, da dette kysthabitat giver flere økosystemtjenester, herunder kystsikring forbundet med bølgedæmpning, CO₂-lagring, reduktion af næringsstoffer og høj biodiversitet hos hvirvelløse dyr og små fisk (tabel 2). Den rige fauna udgør grundlaget for fødenettet og spiller en vigtig rolle i opretholdelsen af fiskebestandene og fiskeri. Som tidligere nævnt lagrer ålegræsbiomasse næringsstoffer og kulstof, og dets "løvtag" fanger organiske partikler fra vandet, som til sidst begraves i sedimentet (figur 19). Store ålegræsenge er modstandsdygtige over for fysiske forstyrrelser og klimaændringer, hvilket resulterer i et højere potentiale for overlevelse, ekspansion og derfor levering af bæredygtige økosystemtjenester. Nuværende innovative løsninger i Danmark fokuserer på genetablering af ålegræsenge på op til

>5 ha (Bruhn et al., 2020). Genplantninger vil aldrig medføre tilnærmelsesvis samme udbredelse af ålegræs som tidligere, men er rettet mod bestemte lokaliteter, hvor den største forbedring af økosystemtjenester kan opnås. Størstedelen af de danske lavvandede farvande med dybder på op til 2 m har dårlige eller ringe miljøforhold, hvilket forhindrer en naturlig genetablering af ålegræs. Den kritiske udfordring ved genopretningen af ålegræs som NbS er derfor identifikationen af egnede områder i fjerne til en implementering og de arbejdskrafttunge indsatser, der kræves til den manuelle genplantning. Den mest effektive og testede metode til genopretning af ålegræs både i Danmark og Sverige er plantning af enkeltskud (planter) (figur 19) foretaget af erfarne dykkere med en anslætt pris på ca. DKK 1,3 mio. pr. ha (Moknes et al., 2016). Omkostningerne til manuel plantning kan reduceres ved citizen science arrangementer. Ved at inddrage skoler og lokale fiskere skabte et projekt i Horsens Fjord en effektiv win-win-ramme for genopretning af ålegræs med samfundsengagement og øget offentlig opmærksomhed. Det næste trin er at kombinere genplantningen af ålegræs i forskellige kysthabitater med etablering af blåmuslingebanker og stenrev for at gøre succesen med genopretningen af ålegræs større. En sådan tilgang testes i øjeblikket i Vejle Fjord og Gyldensteen Kystlagune.

Tabel 6: Resumé af økosystemtjenester leveret af ålegræsgenopretning som naturbaserede løsning. Kystbeskyttelse referer her til den indirekte effekt af bølgedæmpning.

Restaurering af ålegræs som naturbaserede løsninger

- | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|---------------|-------------------------------------|-----------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Kystbeskyttelse | <input checked="" type="checkbox"/> | CO ₂ lagring | <input checked="" type="checkbox"/> | Næringsstofkredsløb | <input checked="" type="checkbox"/> | Biodiversitet | <input checked="" type="checkbox"/> | Samfund. engag. |
|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|---------------|-------------------------------------|-----------------|

4. Juridiske, forvaltningsmæssige aspekter og EU-politikker

Flere myndigheder og interesser bør involvere sig i genopretningen af økosystemer ved hjælp af naturbaserede løsninger (NbS). Som en tommelfingerregel må kystområdernes og fjordenes nuværende miljøtilstand ikke umiddelbart ændres af aktiviteter forbundet med NbS eller opførelsen af kystsikringer. Danske kyster er beskyttet af enten klitfredningen eller strandbeskyttelseslinjen og reguleret af naturbeskyttelsesloven (tabel 7). Desuden er lavvandede farvande og fjorde beskyttet af national og international lovgivning som Natura 2000, habitatdirektivet, fuglehabitatområder og rødlisten over truede arter. Alle konstruktions- og manipulationsaktiviteter i kystområder, som estuarier og fjorde, skal derfor godkendes og overvåges af Kystdirektoratet, Naturstyrelsen og Miljøstyrelsen. Da NbS er kontekstspezifik, kan andre interesser blive involveret, som kommuner, museer, NGO'er, jordbesiddere, landmænd osv. i henhold til de specifikke ændringer, der er behov for i hvert enkelt tilfælde. NbS relateret til køb af store kystområder til oversvømmelse og konstruktion af kystsikring kræves yderligere miljøgodkendelser.

Tabel 7: Oversigt over love og myndigheders regler og licenser, der er skal tages hensyn til i forbindelse med af økologisk genetablering via NbS og enhver anden ændring i danske kyst- og fjordområder. Denne tabel er ikke en fuldstændig liste, men giver et overblik over de vigtigste bestemmelser.

Kystdirektoratet/Naturstyrelsen	Gravning og anden bearbejdning af havbunden
Miljøstyrelsen	Naturområder, Natura 2000, Habitatdirektivet, Fuglehabitattdirektivet, Rødliste af truede arter
Miljøstyrelsen	Miljøtilstand, Vandplaner, VVM-rapporter
Naturbeskyttelsesloven	Klitfredning
Naturbeskyttelsesloven	Strandbeskyttelseslinjen
Kystbeskyttelsesloven	Gravning og anden bearbejdning af havbunden.
Kystbeskyttelsesloven	Placering af anlæg i forbindelse med høst af marine produkter
Miljøbeskyttelsesloven	Deponering af stoffer, produkter og materialer, der kan forurene grundvand, jord og undergrund
Kommuner, Museer, Lodsejere, NGOs	Strukturelle ændringer af store områder

Europa-Kommissionen ønsker at fremme NbS gennem flere politikområder (tabel 8) som EU's biodiversitetsstrategi for 2030 og EU's Grøn Omstillingen. Målene med disse politikker er definere dagsordenen for igangværende og fremtidige nationale og internationale EU-projekter med NbS, som vil bidrage til beskyttelse af Natura 2000-områder. Rammen for NbS giver en systematisk og integreret tilgang for fremtidig byplanlægning, infrastruktur, design af bygninger i kystområdet (kystsikring, havne, boliger) og genopretningsprojekter langs kyster og under vandet. Det bør desuden tilsigtes, at alle disse aktiviteter foregår inden for rammerne af reducerede drivhusgasudledninger, tilpasning til klimaændringer og samfundsmaessige udfordringer.

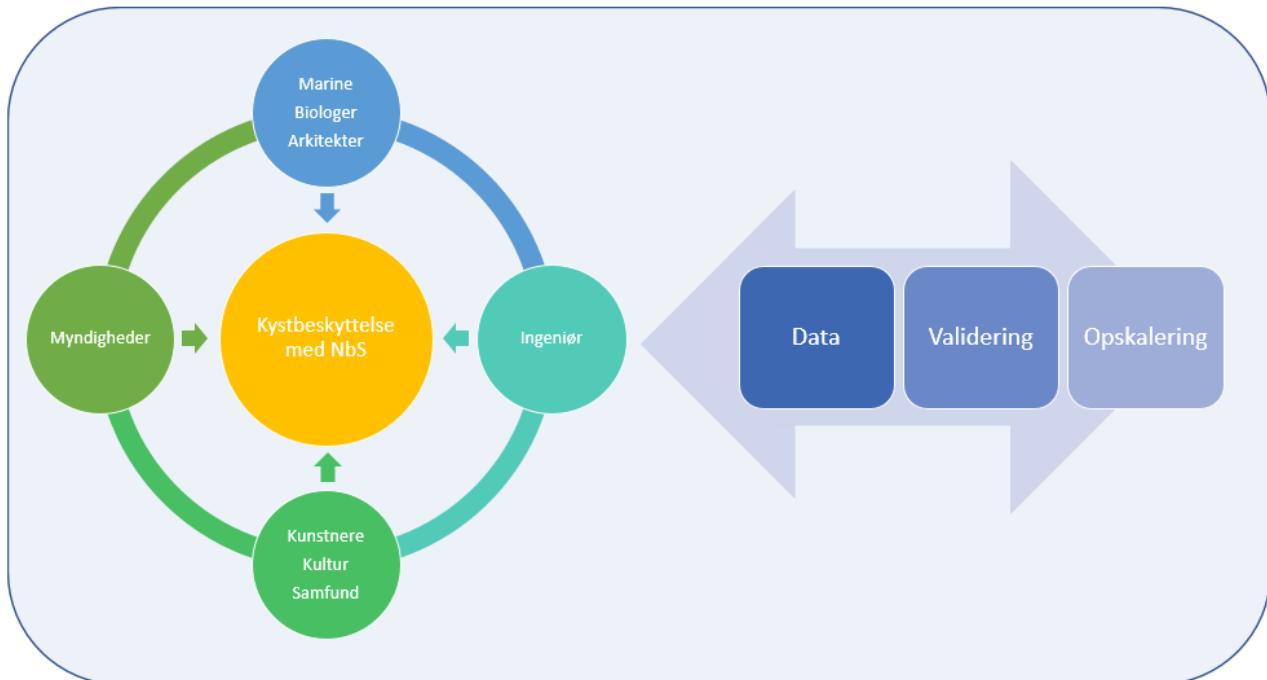
Tabel 8: Oversigt over EU-politikker og initiativer, der er relevante for NbS i kyst- og havhabitater.

EU's Biodiversitetsstrategi 2030 (2020)	Fremhæver værdien og vigtigheden af NbS i kampen mod tab af biodiversitet, klimaændringer og andre udfordringer. En af de største ambitioner er at genoprette forringede levesteder og overvinde biodiversitetskrisen.
EU's Grøn Omstillingen (2019)	Overordnet strategi for et klimaneutralt Europa, der gør klima- og miljøændringer til innovative muligheder.
EU's F&I-dagsorden for NbS	Forbedrer rammer i samfundet til støtte for, forskning, innovation og projekter hvor NbS benyttes til bedring af kystmodstandsdygtighed og havbeskyttelse.
EU's handlingsplan for Sendai-rammen til reduktion af katastroferisiko (2015)	Præsenterer måder, hvorpå risici kan mindskes ved at arbejde med naturen end imod den, samtidig med

	at det giver fordele for mennesker, biodiversitet og klima.
EU's strategi for Grøn Infrastruktur (2013)	Anbefaler at konsolidere grøn infrastruktur og økosystembaserede løsninger baseret på netværket af Natura 2000-beskyttede område (der dækker over 18% af EU's landareal og 10% af EU's marine område).
EU's tilpasningsstrategi til klimaændringer (2013)	Anbefaler økosystembaserede tilgange (EbA) til at levere omkostningseffektive og tilgængelige fordele i forskellige scenarier.
EU's biodiversitetsstrategi til 2020 (2011)	Opfordrer til kortlægning af EU's økosystemer og -tjenester med fokus på afbødning af klimaændringer.
Mod bedre miljømuligheder og oversvømmelseshåndtering (2009)	Styring af tiltag til mindskelse af oversvømmelsesrisiko i pagt med naturen snarere end imod den. Opbygge nye infrastrukturer ved at investere i økosystemer.

5. Anbefalinger og integrerede tilgange på tværs af forskellige sektorer: den vellykkede vej til innovative løsninger

Der er ingen tvivl om, at integration af havhabitater via naturbaserede løsninger (NbS) i form af kystsikring og kysttilpasninger er en lovende og væsentlig vej for den fremtidige planlægning af byområder og bynære områder ved kysten. Investeringer fra Europa-Kommissionen inden for forskning og innovation vil presse på for nye løsninger og forretningsmodeller, der er klar til at blive anvendt i flere forskellige specifikke tilfælde. Generelt set bør enhver ændring af kystlinjen eller kystområdet via NbS tage det historiske landskab og havlandskab i betragtning. Det er også vigtigt at respektere samfundets og historiske steders kulturarv for at opnå en øget samfundsmæssig accept af og engagement i disse ændringer. Der er et stort behov for en tværsektoriel tilgang, der involverer forskellige interesser, for at opnå succes ved implementering af NbS til kystsikring og kysttilpasning (figur 20). Disse omfatter arkitekter, ingeniører, havbiologer og kunstnere, der kan tilbyde forskning og kulturel vurdering for at optimere designet af NbS i flere kyst- og havhabitater. De mulige løsninger med henblik på et NbS-design skal diskuteres og udformes sammen med politikere, beslutningstagere og borgere på nationalt såvel som lokalt plan. Det er vigtigt for det endelige design, at alle interesser inddrages, og det kræver tid og aktiv deltagelse i flere mødearrangementer med mange aktører. Endelig er implementering af NbS en løbende proces, hvor bedste praksis kan opskaleres efter indhentning og validering af data, mens det kan være nødvendigt med designændringer på baggrund af erfaringer fra igangværende projekter (figur 20). Hovedmålet i dette sidste trin er at opskalere NbS for at sikre det fulde udbytte af økosystemtjenesterne.



Figur 20: Behovet for flere kompetencer for at opbygge en effektiv ramme til planlægning og implementering af et kystforsvar ved hjælp af naturbaserede løsninger (NbS). Data og validering af resultater fra eksisterende NbS og opskalering er sammenkædede trin, som giver feedback om nødvendige forbedringer og justeringer af NbS til at opnå højere effektivitet.

På baggrund af vores nye viden og erfaringer med ovennævnte eksempler på kyst- og hav-NbS anbefaler vi:

- ✓ At integrere NbS i planlægningen af fremtidig by udvidelse og/eller alle former for ændringer af kysten.
- ✓ At undersøge miljøforholdene, samt det historiske landskab og havlandskab for at vælge de(t) kysthabitatområder, der skal integreres i kystsikringen og kysttilpasningen.
- ✓ Hårde kystsikringer bør sikre habitater til flora og fauna ved, at overfladearealet får en topografi med huller, sprækker, fordybninger og/eller rock pools.
- ✓ Indvundne områder tæt på kysten har et stort genopretningspotentiale som tidevands- og kystlaguner, der opfanger betydelige mængder CO₂ og giver direkte kystsikring og habitater til flora og fauna.
- ✓ Indvundne områder tæt på kysten bør genoprettes som kyst- og havhabitater i stedet for ferskvandssøer for at forhindre betydelig frigivelse af metan i sidstnævnte.
- ✓ Kyst- og havhabitater skal udgøre havlandskaber, der skal genoprettes i samlet for at opnå optimale økosystemtjenester. Samtidig genoprettelsen af mange forskellige habitater vil øge chancerne for at arterne er forbundne og dermed opnå den biodiversitet, der er nødvendig, for at små og større fisk kan finde føde.

Anvendelsen af NbS i idékonkurrencen "["Kanten"](#)" i Vejle Kommune er et godt eksempel på inddragelsen af arkitekters anbefalinger til en gennemgribende ændring af kyst- og havhabitater. Efter flere storme og oversvømmelser bad Vejle Kommune om innovative kystsikringsprojekter ved havnen og det nærliggende kystområde. Der blev opfordret til at komme med usædvanlige ideer for at undgå "business as usual" ved at erstatte traditionelle hårde kystsikringer med bløde, fleksible og naturlige løsninger. Vejle by er bygget i en dal, der bestod af vådområder og strandenge før urbaniseringen (figur 21). By- og havneudviklingen førte til tab af kysthabitater. I forbindelse med "Kanten" blev en vinder og tre innovative NbS-projektløsninger valgt. Det vindende projekt foreslog at integrere kyst- og havhabitater ved at genoprette vandløb, strandenge, tidevandsmarsker og store sten (figur 22 A). En af de innovative projektløsninger foreslog desuden et projekt med specialdesignede betonkonstruktioner, kunst og saltmarske. Disse idéer vil blive brugt som inspiration og yderligere diskuteret blandt de vigtigste interesser (figur 22 B). Bedste praksis for NbS og yderligere test foretaget af forskere kan blive nødvendig (figur 20). Resultaterne af disse vurderinger kan indgå i implementeringsmuligheder når de kombineres med hydrodynamiske modeller og miljørapporter, der tager hensyn til forholdene i Vejle Havn og de omkringliggende områder ved havnefronten.



Figur 21: A: Vejle Fjords havlandskab ("seascape") illustreret i maleriet "Indsejling til Vejle Fjord" af Vilhelm Kyhn 1862. Strandengene er tydeligt synlige på maleriet. Strandenge udfører de samme funktioner som

saltmarske, selv når de græsses af kvæg. B: Transformationen af Vejle Fjord ved havnefronten i dag. Foto: Mads Fjeldsø Christensen



Figur 22: Forslag til Vejle havnefront ved en integreret NbS tilgang af Josephine Philipsen, Andres Hernandez Williamson og Luisa Brandon. B: Område i nærheden af Vejle Havn med et idealiseret tidevandsområde efter genetablering af sandbund ved Superflex og Baldios.

6. Konklusioner

Denne rapport identificerer og angiver de største trusler og virkninger af væsentlige kystsikrings- og tilpasningspraksisser i Danmark. Enhver ændring i kysters og haves økosystemer sker på bekostning af tabte habitateter og kan føre til udledning af overskydende næringsstoffer og højere erosion, hvilket kan skabe barrierer for økologisk samspil af ressourcer og organismer. Fjernelse af vegetation i vandløb og kystområder mindsker kapaciteten til at filtrere og tilbageholde næringsstoffer og fine partikler. Desuden er de små strande og tidevandsområder uden for diger tilbøjelige til at erodere og skabe "coastal squeeze". De overskydende næringsstoffer og partikler i vandet medfører en mangel på biodiversitet og færre rekreative muligheder. Innovative og naturbaserede løsninger, især løsninger, der fokuserer på genopretning af kyst- og havhabitater, giver integrerende og lovende rammer for kystsikring og kysttilpasninger i både byområder og bynære områder.

Vi har evalueret casestudier af forskellige NbS, og vurderet hvordan de kan integreres i kystsikring med fokus på bæredygtighed af kyst- og havhabitater og deres økosystemtjenester. Vurderingen er baseret på tilgængelig evidensbaseret viden fra litteraturen og vores egne igangværende forskningsprojekter. Vi konkluderer, at hårde kystsikringer som havvægge kan øge biodiversiteten og det æstetiske udseende, når de fysiske konstruktioner efterligner naturlige former og overflader. Saltmarske og uddigning kan med succes anvendes som NbS til at genoprette havets biodiversitet og tab af levesteder, samtidig med at de giver kystsikring og klimatilpasning og afbøder klimaændringer. Saltmarske har den højeste kapacitet til at lagre kulstof efterfulgt af ålegræsenge og bløde sedimenter fra indvundet land. I modsætning til de fleste andre genopretningsmetoder kan omfattende genopretninger på >200 ha opnås ved uddigning af indvundet land. Landbrugsjord bør oversvømmes med havvand i stedet for ferskvand for at undgå for store CH₄-udledninger. Enhver

forbehandling af landbrugsjord før oversvømmelse, f.eks. påfyldning af sand, er gavnlig for at undgå resuspension af ler og for at kunne fungere som habitat for små dyr.

Succesen med at genoprette både hårde og bløde habitater afhænger i høj grad af områdets miljøforhold. Dette kan potentielt løses ved at integrere genopretning af flere habitater samtidigt, da de kan drage fordel af hinanden ved at levere økosystemtjenester, som indfangning af fine partikler, forbedring af lysforholdene og reduktion af næringsstofniveauerne. Vi mener, at integreret genopretningen af mange habitater sikrer yderligere økologisk samspil og succes med kolonisering af arter. Resultaterne af vores igangværende projekter vil give fuld afklaring af hvordan en multi-genopretning af habitater fungerer. Vores sidste konklusion understreger behovet for flere kompetencer som involverer miljømæssige og arkitektoniske aspekter såvel som forvaltninger og samfundssektorer til at understøtte planlægningen og implementeringen af NbS i kystsikringen. I sidste ende kan disse innovative løsninger afbøde både klimaændringer og lav biodiversitet og samtidig genoprette et mere harmoniseret havlandskab med gensidige fordele for naturen og samfundet.

7. Referencer

- Aminpour P, Gray SA, Singer A, Scyphers SB, Jetter AJ et al. (2021) The diversity bonus in pooling local knowledge about complex problems. Proceedings of the National Academy of Sciences 118: e2016887118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2016887118>
- Belletti B, Garcia de Leaniz C, Jones J, Bizzi S, Böger L et al. (2020) More than one million barriers fragment Europe's rivers. Nature 588: 436–441. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-3005-2>
- Bishop MJ, Mayer-Pinto M, Airolidi L, Firth LB, Morris RL et al. (2017) Effects of ocean sprawl on ecological connectivity: impacts and solutions. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 492: 7-30. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2017.01.021>
- Boström C, Pittman SJ, Simenstad C, Kneib RT (2011) Seascape ecology of coastal biogenic habitats: advances, gaps and challenges. Marine Ecology Progress Series 427: 191-217
- Bruhn A, Flindt MR, Hasler B, Krause-Jensen D, Larsen MM et al. (2020) Marine virkemidler – beskrivelse af virkemidernes effekter og status for vidensgrundlag. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 126. - Videnskabelig rapport nr. 368 <http://dce2.au.dk/pub/SR368.pdf>
- Carey J (2020) Managed retreat increasingly seen as necessary in response to climate change's fury. PNAS 117: 13182-13185 <https://doi.org/10.1073/pnas.2008198117>
- Christensen JH, Arnbjerg-Nielsen K, Grindsted A, Halnæs K, Jeppesen E et al. (2014) Analyse af IPCC delrapport 2 – Effekter, klimatilpasning og sårbarhed. Miljøministeriet, Naturstyrelsen. 54 s.
- De Falco, G., Simeone, S., Baroli, M., 2008. Management of beach-cast *Posidonia oceanica* seagrass on the island of Sardinia (Italy, Western Mediterranean). Journal of Coastal Research 24: 69–75.
- Esteves LS (2014) What is Managed Realignment? In: Esteves LS, Managed realignment: A viable long-term coastal management strategy? Springer Briefs in Environmental Science, Dordrecht, pp. 19–28

Fenger J, Buch E, Jakobsen PR, Vestergaard P (2008) Danish attitudes and reactions to the threat of sea-level rise. *Journal of Coastal Research* 24: 394-402. <https://www.jstor.org/stable/30137844>

Fyns Amt (2006) Miljøfarlige stoffer og Ålegræs i Odense Fjord. Fyns Amt, Natur- og Vandmiljøafdelingen, 106 pp.

Gann GD, McDonald T, Walder B, Aronson J, Nelson CR et al. (2019) International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology* 27: S1-S46. <https://doi.org/10.1111/rec.13035>

Gerwing TG, Davies MM, Clements J, Flores AM, Thomson HM et al. (2020) Do you want to breach an embankment? Synthesis of the literature and practical considerations for breaching of tidally influenced causeways and dikes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 245: 107024

Habitatbeskrivelse (2016) Beskrivelse af danske naturtyper omfattet af habitatdirektivet (Natura 2000 typer). Miljøstyrelse 38 s. <https://mst.dk/media/128611/habitatbeskrivelser-2016-ver-105.pdf>

Hansen JW (red.) (2019) Marine områder 2017. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 128 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 308 <http://dce2.au.dk/pub/SR308.pdf>

IPBES (2019) Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S Díaz, J Settele, ES Brondízio, HT Ngo, M Guèze, et al. (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 pages. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>

IPCC (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, RK Pachauri and LA Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC (2018) Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V Masson-Delmotte, P Zhai, HO Pörtner, D Roberts, J Skea, PR Shukla, et al. (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.

IPCC (2019) Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [HO Pörtner, DC Roberts, V Masson-Delmotte, P Zhai, M Tignor, et al. (eds.)]. In press.

IUCN (2020) Global Standard for Nature-based Solutions. A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS. First Edition. Gland, Switzerland: IUCN

Kristensen E, Quintana CO, Valdermarsen T, Flindt MR (2020) Nitrogen and Phosphorus Export After Flooding of Agricultural Land by Coastal Managed Realignment. *Estuaries and Coasts*. <https://doi.org/10.1007/s12237-020-00785-2>

Kristensen E, Quintana CO, Petersen SGG (2021) The role of biogenic structures for the green-house gases balance in intertidal vegetated wetlands. In: *Carbon mineralization in coastal wetlands: from litter decomposition to greenhouse gas dynamics*. (Eds) Ouyang X, Lee SL, Lai YFD, Marchand C. Elsevier.

Mcleod E, Chmura G, Bouillon S, Salm R, Björk M et al. (2011) A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and in the Environment* 9: 552-560 <https://doi.org/10.1890/110004>

Moksnes PO, Gipperth L, Eriander L, Laas K, Cole S, Infantes E (2016) Handbook for restoration of eelgrass in Sweden - National guideline. Swedish Agency for Marine and Water Management, Report number 2021:5, 111 pages (excluding appendices).

Nehring S, Hesse KJ (2008) Invasive alien plants in marine protected areas: the *Spartina anglica* affair in the European Wadden Sea. *Biological Invasions* 10: 937–950.

Nord-Larsen T, Johannsen VK, Riis-Nielsen T, Thomsen IM, Larsen K, Jørgensen BB (2014) Skove og plantager. Skov & Landskab. Frederiksberg.

NSF, National Science Foundation (2009) "How Solid Is Concrete's Carbon Footprint?" ScienceDaily. ScienceDaily, 24 May 2009. www.sciencedaily.com/releases/2009/05/090518121000.htm

Ostenfeld C (1908) Aalegræsset (*Zostera marina*'s) Vækstforhold og Udbredelse i vore Farvande. In CGJ Petersen (Ed.), *Beretning til Landbrugsmindisteriet fra den danske biologiske station* (pp. XVI: 1–61). Centraltrykkeriet.

Petersen SGG, Kristensen E, Quintana CO (2021) Drivhusgasser ved Gyldensteen Strand deler vandende. Vand og Jord 1: 44-47.

Sauders MI, Doropoulos C, Bayraktarov E, Babcock RC, Gorman D et al. (2020) Bright spots in coastal marine restoration 30: PR1500-R1510 <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.10.056>

Seddon N, Smith A, Smith P, Key I, Chausson A et al. (2021) Getting the message right on nature-based solutions to climate change. *Glob Change Biol.* <https://doi.org/10.1111/GCB.15513>

Stenak M (2005) *De inddæmmede landskaber*. Landbohistorisk selskab, Gylling.

Staehr PA, Göke C, Holbach AM, Krause-Jensen D, Timmermann K et al. (2019) Habitat model of eelgrass in Danish coastal waters: Development, validation and management perspectives. *Frontiers in Marine Science*, 6: 1–18. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00175>

Science for Environment Policy (2021) *The solution is in nature*. Future Brief 24. Brief produced for the European Commission DG Environment. Bristol: Science Communication Unit, UWE Bristol.

Temmink RJM, Christianen MJA, Fivash GS et al. (2020) Mimicry of emergent traits amplifies coastal restoration success. *Nature Communications* 11: 3668 <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17438-4>

Thorsen SW, Holmer M, Quintana CO, Valdemarsen T, Kristensen E (2021) Internal nutrient loading controls macroalgal and cyanobacterial succession in a coastal lagoon restored by managed realignment of agricultural land. *Frontiers in Marine Science*.

UNESCO (2020) *UNESCO Marine World Heritage: Custodians of the globe's blue carbon assets*. Paris, France
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375565>

Valdemarsen T, Quintana CO, Thorsen ST, Kristensen E (2018) Benthic macrofauna bioturbation and early colonization in newly flooded coastal habitats. *Plos One* 13(4): e0196097
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196097>

Vestegaard P (2000) Strandenge - en beskyttet naturtype. G.E.C.Gads Forlag Miljø- og Energiministeriet, Skov- og Naturstyrelsen, 223 s.

Ware JR, Smith SV, Reaka-Kudla ML (1992) Coral reefs: sources or sinks of atmospheric CO₂? *Coral reefs* 11: 127-130

Wendländer N (2020) Environmental stressors associated with large-scale benthic restoration activities in coastal ecosystems. PhD thesis, Department of Biology, University of Southern Denmark, 211 s.

Waddenarchieven P (2010). *Waddenarchieven Landaanwinning en Bedijking*. 22-10-2010 Edition (Leeuwarden, Nederlands: Waddenacademie), p. 57.

Yang KH, Jung YB, Cho MS, Tae SH (2015) Effect of supplementary cementitious materials on reduction of CO₂ emissions from concrete. *Journal of Cleaner Production* 103: 774-783.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.018>