



Miljø- og
Fødevareministeriet
Kystdirektoratet

Vejledning om kystbeskyttelsesmetoder

November 2018
Rev.: November 2025

Titel:

Vejledning om kystbeskyttelsesmetoder

Udgiver:

Kystdirektoratet
Højbovej 1
7620 Lemvig
www.kyst.dk

Udgivelsesår:

November 2018
Rev.: November 2025, side 116

Forfattere:

Kystdirektoratet

Illustrationer og layout:

Kystdirektoratet

Forsidegrafik:

Luftoto, Hunderup Luftfoto

Projektansvarlig:

Kystdirektoratet

ISBN nr.:

xxxxxx

Må citeres med kildeangivelse

Indhold

1.	Indledning	5
1.1	Målgruppe	5
1.2	Sammenhæng med øvrige kystinitiativer	6
1.3	Vejledningens opbygning og læsevejledning	6
2.	Lovgivning og hensyn	8
2.1	Valg af kystbeskyttelsesmetode i forhold til hensynene i kystbeskyttelsesloven	8
2.2	Forsøgsprojekter	11
3.	Indledende overvejelser før projektstart	12
3.1	Projekttype – kommunale fællesprojekter eller øvrige projekter?	12
3.1.1	Inddragelse, formidling og kommunikation	13
3.2	Kystudviklingsstrategier	14
3.2.1	Strategier i kystzonen	14
4.	Kystdynamik	16
4.1	Vandstand	16
4.1.1	Kortvarige vandstandsændringer	17
4.1.2	Langvarige vandstandsændringer	20
4.2	Bølger	20
4.3	Strøm	22
4.4	Grundvand	23
4.5	Sedimentdynamik	24
4.5.1	De kystdynamiske processer	24
4.5.2	Ligevægtsprofil og aktiv dybde	26
4.5.3	Kronisk erosion	27
4.5.4	Akut erosion	30
4.5.5	Aeolisk transport	32
4.5.6	Sedimenttilgængelighed	32
4.6	Oversvømmelse	34
4.7	Kombinerede hændelser	36
4.8	Klimaforandringer	37
4.9	Valg af kystbeskyttelse	39

4.9.1	Klassifikation af kysten	39
4.9.2	Sårbarhed og kategorisering af risikoen i forhold til erosion	43
4.9.3	Sårbarhed og kategorisering af risikoen i forhold til oversvømmelse	45
4.9.4	Fastsættelse af målsætning for kystbeskyttelsen	46
5.	Kystbeskyttelsesmetoder	51
5.1	Erosionsbeskyttelse	51
5.1.1	Kystfodring	52
5.1.2	Bølgebrydere	58
5.1.3	Skråningsbeskyttelse	63
5.1.4	Høfde	67
5.2	Højvandsbeskyttelse	72
5.2.1	Dige	72
5.2.2	Højvandsmur	79
5.2.3	Stormflodsbarrierer og sluser	82
5.2.4	Mobile barrierer	89
5.3	Kombinerede løsninger	96
5.4	Strukturelle og ikke-strukturelle tiltag	101
5.4.1	Beredskab	102
5.4.2	Fysisk planlægning	102
6.	Multifunktionelle anlæg – eksempelsamling	104
6.1	Høfde Q, Vesterhavshøfde ved Lemvig	105
6.2	Gjellerodde Nordstrand – diger udnyttes rekreativt	106
6.3	Nationalpark Vadehavet – diger byder velkommen	107
6.4	Hasmark Strand, Nordfyn, diger med adgangsvej for gående	108
6.5	Køge Bugt Strandpark	109
6.6	Sandfodring på Jyllands vestkyst	111
6.7	Højvandsmuren i Lemvig	112
6.8	Adgang til vandet for handicappede – og beskyttelse mod oversvømmelse	113
6.9	Det fremskudte Dige – fra kontroversiel kystbeskyttelse til turistattraktion	114
	Begrebsliste	115
	Referenceliste	119

1. Indledning

I forbindelse med ændring af kystbeskyttelsesloven ved "Lov nr. 720 af 8. juni 2018 om ændring af lov om kystbeskyttelse, lov om miljøvurdering af planer og programmer og af konkrete projekter (VVM), lov om naturbeskyttelse, lov om jagt og vildtforvaltning og forskellige andre love" blev kompetencen til at træffe afgørelse i kystbeskyttelsessager overført fra staten til kommunerne pr. 1. september 2018. Som følge af lovændringen er det besluttet, at der skal udarbejdes en vejledning til kommuner og grundejere om kystbeskyttelsesmetoder.

Kystbeskyttelseslovens formålsbestemmelse var forinden blevet ændret ved "lov nr. 46 af 23. januar 2018 og trådte i kraft 1. februar 2018. Baggrunden for denne ændring var bl.a. et ønske om, at borgerne skal have mulighed for, i videre omfang end tidligere at kystbeskytte deres ejendomme, og at de enkelte grundejere i højere grad skal have frihed til at vælge, hvordan de vil beskytte deres ejendom, hvis der teknisk er flere muligheder, der ikke er til gene for naboerne.

Den foreliggende vejledning har derfor fokus på gængse kystbeskyttelsesmetoder, men indeholder desuden et kort afsnit om risikoreduktion gennem ikke-strukturelle tiltag til kystbeskyttelse (Afsnit 5.4).

[Risiko](#) er her defineret som sandsynligheden for, at der indtræffer oversvømmelse og/eller erosion ganget med konsekvenserne heraf. Risikoreduktion omfatter et bredt spektrum af foranstaltninger herunder såvel forebyggelse som beskyttelse og beredskab.

Forebyggelse kan eksempelvis bestå i, at eventuelle fremtidige oversvømmelsesskader undgås ved, at der ikke opføres beboelse og industrianlæg i områder, der er udsat for oversvømmelse.

Beskyttelse refererer til den mere traditionelle opfattelse af kystbeskyttelse, hvor der træffes foranstaltninger, både af anlægsmæssig og af anden art, for at formindske risikoen for oversvømmelser og erosion.

Beredskab vil i denne sammenhæng sige, at borgere oplyses om oversvømmelsesrisikoen, og om hvordan de skal forholde sig i tilfælde af oversvømmelse.

Vejledningen vil omhandle såvel løsninger, der kræver, at flere grundejere går sammen om at etablere kystbeskyttelse, de såkaldte [kommunale fællesprojekter](#) som løsninger, der ønskes foranstaltet af en enkelt grundejer, hvilket i Kystbeskyttelsesloven benævnes [øvrige projekter](#). Vejledningen skal ses som et levende dokument og vil blive justeret løbende i forhold til nyeste viden.

1.1 Målgruppe

Vejledningen er rettet mod kommunale sagsbehandlere, der skal forestå opgaven med at behandle ansøgninger om kystbeskyttelse.

Vejledningen giver en indføring i kystens dynamik, forskellige kysttyper og kystbeskyttelsesmetoder for derved at sætte den kommunale sagsbehandler i stand til at foretage en vurdering af ansøgninger om kystbeskyttelse.

Formålet med denne vejledning er altså ikke at uddanne den enkelte sagsbehandler til at dimensionere kystbeskyttelsesanlæg, men den er et godt udgangspunkt for at gå i dialog med ansøgere og rådgivere om forskellige muligheder for beskyttelse.

Vejledningen kan også gøre det lettere for ansøgere at udarbejde en ansøgning og træffe beslutning om kystbeskyttelse på et oplyst grundlag. Der vil i vejledningen blive redegjort for de

forskellige anlægstypers kystbeskyttende effekt, men også de negative effekter, et anlæg kan medføre.

1.2 Sammenhæng med øvrige kystinitiativer

Planloven

Folketinget har vedtaget flere ændringer af planloven, der indebærer, at klimatilpasning og sikring mod oversvømmelser og erosion bliver et fast tema i kommuneplanen. Ændringerne er vedtaget ved henholdsvis lov nr. 62 af 30. januar 2018 (forebyggelse af skader ved oversvømmelse eller erosion) og lov nr. 63 af 30. januar 2018 (mulighed for at etablere kystbeskyttelses-anlæg uden tilvejebringelse af en lokalplan). Den enkelte kommune skal kortlægge for oversvømmelse og erosion. Derudover skal kommunalbestyrelserne i kommuneplanen og lokalplanen sikre, at der optages retningslinjer og bestemmelser om afværgeforanstaltninger mod oversvømmelse eller erosion ved planlægning af byudvikling, særlige tekniske anlæg, ændret arealanvendelse m.v. i de udpegede områder. Mere information herom findes i "Vejledning i planlægning for forebyggelse af oversvømmelse og erosion", hvor der blandt andet i kapitel 4 redegøres for, hvornår der er lokalplanpligt i relation til kystbeskyttelsesplanlægning.

Vejledning for byggeri i kystnære områder

"Vejledning for byggeri i kystnære områder", som er udarbejdet af Transport- bygge og boligministeriet supplerer ligeledes nærværende vejledning. Hvor denne vejledning primært beskæftiger sig med kystbeskyttelsesplanlægning, retter "Vejledning for byggeri i kystnære områder" sig mod bygherrer i forbindelse med nybyggeri samt om- og tilbygninger i kystnære områder og oplyser om, hvordan man som bygherre skal forholde sig ved planlægning, projektering og opførelse af byggeri i kystnære områder.

Bemærk at vejledningen alene vedrører bygninger, som er omfattet af bygningsreglementet. Vejledningen kan findes her: https://bygningsreglementet.dk/Vejledninger/Klimasikring/Vejledning_Klimasikring/Version-2-Byggeri_i_kystnaere_omraader

Vejledning om bidragsfordelingsmodeller

Denne vejledning om kystbeskyttelsesmetoder omhandler ikke finansieringen af kystbeskyttelsesprojekter. Vejledning i fordelingen af bidrag til finansiering af kommunale fællesprojekter kan findes i Kystdirektoratets "[Vejledning om bidragsfordelingsmodeller](#)" fra september 2018.

1.3 Vejledningens opbygning og læsevejledning

Vejledningen tager sigte på at beskrive de forskellige overvejelser, som man bør gøre sig, når man er sagsbehandler og skal afgøre sager om kystbeskyttelse. Vejledningen kan ses som tre trin, der fører frem til den endelige beslutning om kystbeskyttelsesmetode.

Første trin udgøres af kapitel 2, 3 og 4, som omhandler de overvejelser, man bør gøre sig, inden man beslutter sig for et kystbeskyttelsesprojekt. Kapitel 2 indledes med den lovgivningsmæssige ramme for kystbeskyttelsesplanlægning. Kapitlet behandler ikke den konkrete sagsbehandling eller fortolker loven, men kommer alene ind på de hensyn, som skal afvejes, når man træffer afgørelse i kystbeskyttelsessager, og som kan have betydning for, hvilket anlæg, det vil være hensigtsmæssigt at etablere på den pågældende lokalitet. Kapitel 3 omhandler de overordnede formelle, praktiske og tekniske overvejelser, som bør være på plads inden projektstart, herunder redegøres der for forskellen på kommunale fællesprojekter og øvrige projekter samt fordele og ulemper herved. Endvidere indeholder kapitel 3 en præsentation af forskellige strategier for kystzonen.

Andet trin i vejledningen tilstræber at give den nødvendige forståelse for processer og dynamikker i kystzonen i forhold til at afgøre, hvilken kystbeskyttelsesmetode, der vil være mest

fordelagtig i forhold til beskyttelsesbehovet på den givne kyststrækning. Dette er beskrevet i kapitel 4.

Kapitel 5 udgør det tredje trin i forhold til at træffe den endelige beslutning om, hvilken kystbeskyttelsesmetode, der skal vælges. Her vil der mere konkret blive gået i dybden med de enkelte kystbeskyttelsesmetoder og redegjort for fordele og ulemper. Endvidere kommer kapitlet ind på, hvordan de forskellige beskyttelsestyper kan kombineres.

Vejledningen skal primært ses som en hjælp til at træffe beslutning om kystbeskyttelsesmetode, men kan også med fordel indgå i forbindelse med udarbejdelse af en egentlig kyststrategi. Ønskes alene et overblik over forskellige kystbeskyttelsesmetoder og deres virkning, kan man med fordel gå direkte til kapitel 5 og 6.

2. Lovgivning og hensyn

Dette kapitel indeholder en generel beskrivelse af kystbeskyttelsesloven, idet loven sætter en overordnet ramme for de hensyn, der skal afvejes, når man træffer afgørelse i kystbeskyttelsessager. Hensynene kan have betydning for, hvilket anlæg, det vil være hensigtsmæssigt at etablere på den pågældende lokalitet. I det følgende redegøres for kystbeskyttelsesloven og de kriterier, som en ansøgning skal vurderes ud fra. Endvidere vil der i kapitlet kort blive redegjort for muligheden for forsøgsprojekter til afprøvning af nye og endnu uprøvede kystbeskyttelsesmetoder på egnede strækninger.

2.1 Valg af kystbeskyttelsesmetode i forhold til hensynene i kystbeskyttelsesloven

Kystbeskyttelsesforanstaltninger forudsætter en tilladelse efter kystbeskyttelsesloven. Den 1. februar 2018 trådte en ændring af kystbeskyttelsesloven i kraft. Hensigten med lovændringen er, at grundejere har større mulighed for at kystbeskytte deres ejendomme, og at de enkelte grundejere i højere grad har frihed til at vælge, hvordan de vil beskytte deres ejendom, hvis der teknisk er flere muligheder, og hvor dette ikke skader andre. Lovændringen betyder, at der fremover i højere grad bør være metodefrihed for den enkelte borger i de tilfælde, hvor der er flere muligheder, der alle vurderes at være lige gode til at løse en konkret udfordring, eller såfremt der med etablering af afværgeforanstaltninger er mulighed for at sidestille flere tekniske foranstaltninger. Herunder vil det i visse tilfælde også blive lettere at få tilladelse til hård kystbeskyttelse uden supplerende sandfodring på strækninger, der i forvejen i vid udstrækning er beskyttet af lovlig hård kystbeskyttelse. Eksempelvis, hvor der skal "lukkes huller" mellem allerede etablerede hårde anlæg.

Ved vurderingen af de konkrete sager, skal øvrige hensyn fortsat vægtes, herunder kystbeskyttelsesforanstaltningens tekniske og natur- og miljømæssige kvalitet og den rekreative udnyttelse af kysten.

Selv om et anlæg kan have negative konsekvenser i forhold til et af de i formålsparagraffens listede hensyn, vil der alligevel kunne meddeles tilladelse, idet kommunen vil skulle foretage en samlet vægtning af hensynene. Anlægget må dog fortsat ikke skade naboer.

Efter lovændringen skal etablering af kystbeskyttelse også vurderes ud fra en risikobetragtning i området.

Formålet med kystbeskyttelse er at beskytte mennesker og ejendom ved at reducere risikoen ved oversvømmelser eller kystnedbrydning fra havet, fjorde eller andre dele af søterritoriet. Dette formål varetages ved, at myndigheden i forbindelse med et projekt afvejer følgende hensyn jf. kystbeskyttelseslovens § 1. Hensynene er ikke rangordnet:

1. Behovet for kystbeskyttelse
2. Økonomiske hensyn ved projekter omfattet af kapitel 1 a
3. Kystbeskyttelsesforanstaltningens tekniske og natur- og miljømæssige kvalitet
4. Rekreativ udnyttelse af kysten
5. Sikring af den eksisterende adgang til og langs kysten
6. Andre forhold

Kommunen skal foretage en konkret afvejning af de hensyn, der måtte være relevante i den enkelte sag, og som skal føre frem til, om der kan opnås tilladelse til kystbeskyttelse.

Hensyn 1: Behovet for kystbeskyttelse

Behovet for kystbeskyttelse er til stede, når risikoen ved oversvømmelse eller erosion for mennesker og ejendom kan reduceres. Ejendomsbegrebet fortolkes bredt og udover bebyggelse og infrastruktur, er det også muligt at beskytte ubebyggede arealer, f.eks. landbrugsarealer og haver. Udgangspunktet for en tilladelse er, at der skal være et behov. Hvor ingen af de øvrige hensyn taler imod etablering af kystbeskyttelse, kan der dog opnås tilladelse, selvom der ikke er et behov, eller behovet er meget lille.

Hensyn 2: Økonomiske hensyn

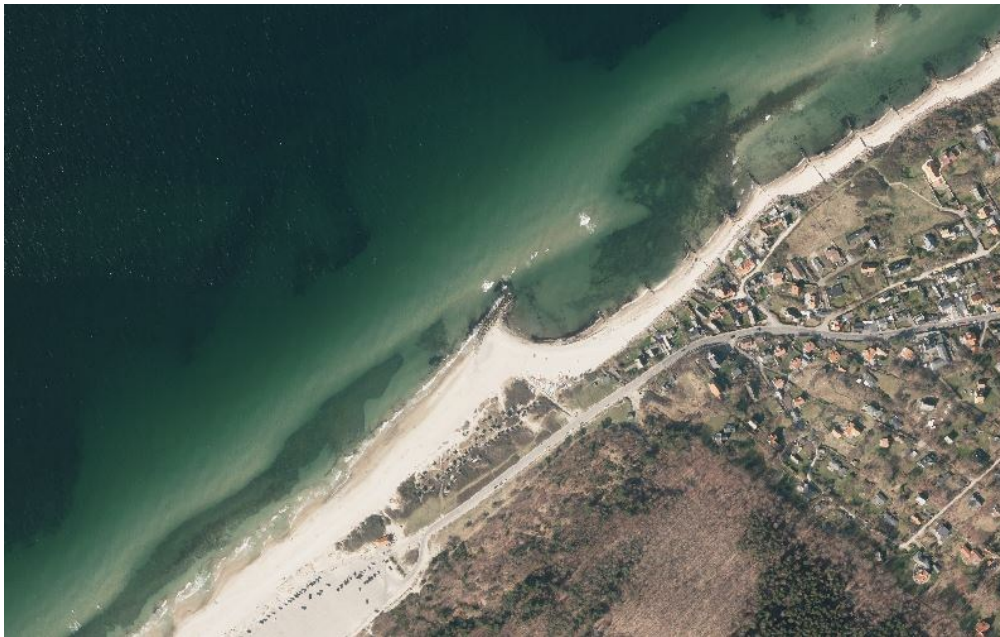
Det økonomiske hensyn indgår i afvejningen ved kommunale fællesprojekter, da ejere af fast ejendom kan pålægges en bidragspligt. I et kommunalt fællesprojekt skal det vurderes, om omkostningerne til kystbeskyttelsesforanstaltningen svarer til de værdier, som ønskes beskyttet. Det er f.eks. afgørende for, om kommunen kan fremme et projekt, at det økonomisk er optimeret i forhold til behovet for beskyttelse. Det vil ikke være rimeligt, hvis den enkelte borger f.eks. skal betale for "overbeskyttelse". For øvrige projekter tillægges det økonomiske hensyn ingen vægt. Det betyder, at i de sager, hvor en eller flere grundejere er enige om projektet, behøver grundejerne ikke at tage hensyn til, om etablerings- og vedligeholdelsesomkostninger evt. overstiger de værdier, der ønskes beskyttet.

Hensyn 3: Kystbeskyttelsesforanstaltningens tekniske, natur- og miljømæssige kvalitet

Valg af kystbeskyttelsesmetode afhænger af, om beskyttelsen skal forebygge erosion eller oversvømmelse. Metoden vurderes blandt andet i forhold til *kystbeskyttelsesforanstaltningens tekniske og natur- og miljømæssige kvalitet*. Ved anlæggets tekniske kvalitet forstås, at en kystbeskyttelsesforanstaltning skal være egnet til at løse det foreliggende problem. Ikke alle typer kystbeskyttelsesforanstaltninger er egnet til at løse alle udfordringer i forbindelse med nedbrydning fra havet eller oversvømmelse. Den tekniske kvalitet rummer også det hensyn, at en kystbeskyttelsesmetode ikke må skade nabostrækninger.

Flere kystbeskyttelsesmetoder, eksempelvis høfder og skråningsbeskyttelse af sten, kan efterhånden flytte et problem med erosion til naboejendommene, som efter etablering af et sådant anlæg vil blive væsentlig mere udsat for den såkaldte [læsideerosion](#).

Såfremt der teknisk er flere muligheder for kystbeskyttelse, og dette ikke skader nabostrækninger, kan ansøger selv vælge kystbeskyttelsesmetoden. Afhængig af den konkrete strækning kan dette eksempelvis være et valg mellem sandfodring eller en kombination mellem hårde kystbeskyttelsesanlæg og kompenserende fodring. Det kan også være et valg mellem f.eks. dige eller spuns.



Figur 2.1 Eksempel på læsideerosion (molen i Tisvildeleje)

Hensynet rummer også *den naturmæssige kvalitet*. Dermed menes, hvordan den valgte kystbeskyttelsesmetode påvirker naturens frie udfoldelse og kystlandskabets bevarelse og genopretning. Kystbeskyttelse i form af hårde konstruktioner vil ofte påvirke naturens frie udfoldelse over en længere strækning, mens sandfodring påvirker den lokalt.

Når der eksempelvis etableres en skråningsbeskyttelse af sten, vil der ikke længere blive frigivet sediment fra kystskrænterne til den sedimenttransport, som naturligt bidrager til opbygning af strand- og kystprofilen. Erosionen vil i stedet foregå foran og nedstrøms den hårde konstruktion, hvilket vil resultere i læsideerosion og over tid et [forstejlet](#) kystprofil. For at opveje denne effekt af hårde anlæg og skaffe bedre balance i sedimentbudgettet, kan der i en tilladelse stilles vilkår om kompenserende sandfodring, hvorved effekten af det hårde anlæg udlignes.

I forhold til projektets påvirkning af den naturmæssige kvalitet indgår også en vurdering af *kystlandskabets bevarelse og genopretning*. Det vurderes, om, og i givet fald hvordan, den valgte metode potentielt påvirker det konkrete kystlandskab. Derudover skal det undersøges, om metoden har en negativ påvirkning på beskyttede naturtyper, geologi og geomorfologi.

I forhold til den *miljømæssige kvalitet* lægges der vægt på, at kystbeskyttelsesforanstaltningen skal bestå af materialer, som ikke er forurenede.

Hensyn 4: Rekreativ udnyttelse af kysten

Visse kystbeskyttelsesforanstaltninger kan have betydning for, om den rekreative udnyttelse af kysten kan opretholdes. Manglende tilstedeværelse af strand, som kan skyldes en skråningsbeskyttelse, vil forringe mulighederne for rekreativ udnyttelse af kysten. En kompenserende fodring på stranden kan opretholde strandens rekreative værdi.

Hensyn 5: Sikring af den eksisterende adgang til og langs kysten

Visse kystbeskyttelsesforanstaltninger kan have betydning for, om adgangen til og langs kysten kan opretholdes. For eksempel kan kystbeskyttelsesmetoder som skråningsbeskyttelser af sten på sigt fjerne stranden og dermed umuliggøre adgang langs kysten. En kompenserende sandfodring på stranden kan fastholde en eksisterende passage. Alternativt kan der ovenpå hårde konstruktioner laves stier med adgang for gående og cyklister.

Hensyn 6: Andre forhold

Dette hensyn skal blandt andet kunne rumme de hensyn, som skal varetages i den lovgivning, som kan inkluderes i en tilladelse til kystbeskyttelse. Dette bliver muligt efter ændringen af kystbeskyttelsesloven, som træder i kraft 1. september 2018. Andre forhold end dem, som er nævnt, og som har en væsentlig betydning for projektet kan også indgå i afvejningen. Det kan f.eks. være en vurdering af, hvordan projektet er i overensstemmelse med kommunens planer for områdets fremtidige udvikling.

Efter kystbeskyttelsesloven er det sådan, at når flere metoder har samme virkning, og der ikke er andre hensyn, der taler imod, kan grundejere beslutte valget af kystbeskyttelsesmetode.

Yderligere oplysninger: Sagsbehandling efter 1. september 2018 er også beskrevet i undervisningsmaterialet, Kommune med kystansvar Modul 1, som er tilgængeligt [her](#):

2.2 Forsøgsprojekter

Kystbeskyttelsesloven åbner mulighed for at give tilladelse til *"forsøgsprojekter på egnede strækninger til afprøvning af virkningen af nye og endnu uprøvede kystbeskyttelsesmetoder, når metoderne har til formål at reducere risikoen ved oversvømmelser eller kystnedbrydning fra havet, fjorde eller andre dele af søterritoriet"*.

Det betyder, at der ikke skal være dokumenteret en effekt på forhånd, hvilket ellers er et hensyn, som afvejes i enhver ansøgning om kystbeskyttelse. Udgangspunktet i forsøgsprojekter er, at ansøger tilvejebringer finansiering. Det er kommunen, der giver tilladelse til forsøgsprojekter medmindre, det er staten, som er bygherre.

Kystdirektoratet har en stor teknisk viden om de danske kyster, og hvordan kysterne gennem tiden har udviklet sig, både under almindelige såvel som ekstreme vejrforhold. For at optimere de objektive forhold for forsøgsprojektet kan der indledningsvis søges vejledning hos Kystdirektoratet, der for eksempel kan konsulteres i forhold til placering af forsøget på en egnet kyststrækning. Valg af kyststrækning afhænger blandt andet af, om forsøgsmetoden er rettet mod oversvømmelse eller erosion. Det væsentlige er, at metodens stabilitet og effektivitet kan testes under naturlige forhold med vejræssige udfordringer.

Ud over de vilkår, der generelt stilles i en tilladelse til kystbeskyttelse, vil der ved tilladelse til forsøgsprojekter også stilles vilkår til blandt andet teknisk udførelse, materialevalg og hensyn til kyststrækningen og naboer. Teknisk udførelse betyder, at det på forhånd bør sandsynliggøres, at forsøgsprojektet har den ønskede effekt, monitorering af strækningen før, under og efter forsøget, overholdelse af dokumentationskrav i forhold til forsøgets effekt som kystbeskyttelse. Det kan for eksempel foregå på den måde, at projektet følges af et anerkendt forskningsinstitut. Desuden er det vigtigt, at det sikres, at der vil ske afhjælpning af evt. negative påvirkninger af nabostrækninger osv. Forsøg må, i lighed med lovens almindelige udgangspunkt, ikke medføre en væsentlig negativ virkning på nabostrækninger.

Det vil desuden i mange tilfælde være relevant at stille vilkår om økonomisk sikkerhed for, at et anlæg efter forsøgets afslutning fjernes, såfremt det ikke kan dokumenteres, at det har haft den ønskede effekt i forsøgets løbetid.

3. Indledende overvejelser før projektstart

En række ting skal være klarlagt, inden et kystbeskyttelsesprojekt sættes i gang.

Formelle overvejelser

- Projekttype: Først og fremmest er det væsentligt at gøre sig klart, om projektet skal gennemføres som et kommunalt fællesprojekt eller om flere enige grundejere ønsker at gå sammen om en fælles løsning (hvilket i Kystbeskyttelsesloven benævnes "øvrige projekter"). Disse grundejere kan med fordel organisere sig i private kystbeskyttelseslag. I afsnit 4.1 diskuteres fordele og ulemper ved henholdsvis kommunale fællesprojekter og øvrige projekter.
- Er der i kommuneplanlægningen fastsat retningslinjer om oversvømmelse/erosion for det konkrete område, herunder i form af en udpegning som et område, der kan blive udsat for oversvømmelse eller erosion?

Tekniske overvejelser

Inden et kystbeskyttelsesprojekt igangsættes bør ansøgeren (grundejere/kystbeskyttelseslag eller kommunen) blandt andet have gjort sig følgende tekniske overvejelser:

- Overblik over omfang og konsekvenser af kysttilbagerykning eller oversvømmelse samt fastsættelse af målsætning.
- Hvad er udfordringen eller problemet, og hvor stor er risikoen ved oversvømmelse eller erosion i området? Herunder hvad er sandsynligheden for en hændelse, og hvor store værdier vil gå tabt eller bliver beskadiget.
- Hvad er projektets levetid? Den tid, inden for hvilken målsætningen for et projekt ønskes opfyldt. En målsætning kan for eksempel være at standse kysttilbagerykning.

Disse overvejelser giver et grundlag for valg af kystbeskyttelsesmetode og evt. drøftelser med en rådgiver om udarbejdelse af et konkret projekt.

3.1 Projekttype – kommunale fællesprojekter eller øvrige projekter?

Processen i en kystbeskyttelsessag indledes og forløber på forskellige måder afhængigt af projekttype. Afhængigt af om der er tale om et kommunalt fællesprojekt eller et projekt i kategorien "øvrige" projekter.

I *kommunale fællesprojekter* er det kommunen eller én eller flere grundejere, som tager initiativ til at igangsætte en proces. Det er projekter, som omfatter beskyttelse af flere ejendomme, og hvor kommunen formelt står som beslutningstager på projektets udformning og finansiering.

Øvrige projekter kan være individuelle løsninger ud for en enkelt ejendom eller løsninger, hvor en gruppe grundejere er enige om et kystbeskyttelsesprojekt med hensyn til målsætning, metode, placering og finansiering. Her begrænser kommunens formelle rolle sig til at give tilladelse efter Kystbeskyttelsesloven.

Kystbeskyttelse i Danmark er i dag præget af mange individuelle løsninger, hvor én grundejer er ansøger. Ved erosion kan individuelle løsninger flytte en stor del af problemet til naboegrunde, hvilket også kan have konsekvenser for den lokale kystdynamik alt afhængig af, hvilken kystbeskyttelsesmetode, der anvendes. Ulempen ved individuelle løsninger er, at der på

en strækning kan findes forskellige kystbeskyttelsesmetoder (eksempelvis høfder og skråningsbeskyttelser) med forskellige sikringsniveauer, virkning og alder. Hvis et enkelt anlæg skader nabostrækningen, kan en løsning være en kompenserende fodring.

I kommunale fællesprojekter efter kystbeskyttelseslovens kapitel 1 a har kommunen en vigtig rolle som procesmyndighed. Kommunen skal i løbet af processen eksempelvis træffe beslutning om, hvorvidt sagen skal fremmes, træffe afgørelse om bidragsfordeling, ekspropriation, oprettelse af kystbeskyttelseslag, udarbejdelse af lagenes vedtægter og træffe afgørelse om det endelige projekt. Kommunale fællesprojekter udføres normalt over længere og sammenhængende områder. Kystbeskyttelseslovens regler om kommunale fællesprojekter lægger op til en helhedsorienteret tilgang til kystbeskyttelse, hvor der skabes balance mellem beskyttelse af menneskeskabte værdier og de øvrige hensyn i kystzonen. Forud for et kommunalt fællesprojekt har kommunen eventuelt vurderet, at der foreligger en uacceptabel erosions- eller oversvømmelsesrisiko. På baggrund af denne vurdering fastsættes en målsætning for risiko-håndtering, og herefter udarbejdelse af et eller flere projektforslag. En samfundsøkonomisk analyse kan understøtte valget af det mest omkostningseffektive projekt. [Kystanalysen](#) viser, at omkostningerne til erosionsbeskyttelse pr. meter kyst generelt falder, når længden af den strækning, hvorpå der foretages beskyttelse, stiger.

I kommunale fællesprojekter kan kommunen med fordel inddrage viden fra klimatilpasningsplaner og kommuneplanlægningen. Fordelen er, at der på denne måde kan udarbejdes projekter med en ensartet målsætning og metode samt en langsigtet effekt. I disse projekter er der også større muligheder for at indarbejde rekreative elementer til gavn for mange borgere i området.

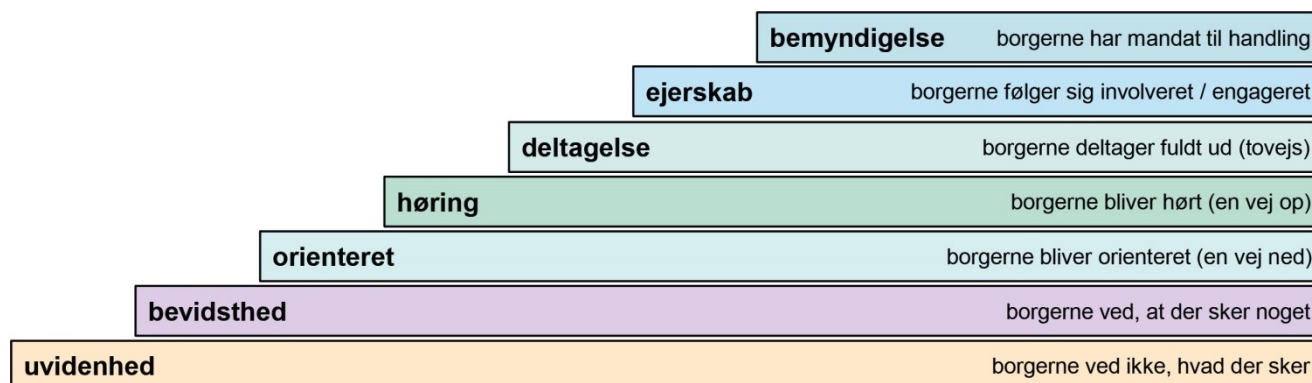
3.1.1 Inddragelse, formidling og kommunikation

Uanset projekttype men navnlig i forbindelse med større projekter, er det ofte praktisk at udarbejde en overordnet kommunikationsplan inden projektstart. Borgerne er naturligt involveret i de fleste kystbeskyttelsesprojekter. Projekter sættes ofte i gang af en eller flere grundejere, som ønsker at beskytte deres ejendom, og disse grundejere skal alene eller i foreningsregi finansiere initiativet. Også når der er tale om kommunale fællesprojekter, vil de, der har gavn af beskyttelsen, ofte skulle betale en del af regningen. Andre borgere skal måske ikke direkte bidrage økonomisk, men de berøres på anden måde. Måske skabes der ændrede adgangsforhold til stranden, måske forsvinder der en række p-pladser? Ofte er der derfor stor lokal interesse for kystbeskyttelsesprojekter og mange meninger om dem.

En kommunikationsplan kan sørge for at fastholde de involverede grundejeres ejerskab til projektet og sikre en grundig orientering og løbende opdatering af alle borgere, ikke bare omkring sagsforløbet, men også omkring fakta og data i forbindelse med de kysttekniske løsninger, der overvejes og vælges i et givet projekt. Der er en lang række fordele ved aktiv inddragelse af offentligheden og interessenter som for eksempel:

1. Borgerinddragelse er en metode til at sikre, at lokal viden og erfaring kan integreres i planlægning og forvaltningsprocesser.
2. Inddragelsen giver mulighed for at få gode ideer og input fra borgerne og i sidste ende styrke kvaliteten af den identificerede løsning og tilpasse den præcist til lokale forhold.
3. Information om kystbeskyttelsesprojekter kan øge bevidstheden om behovet for tilpasning i forhold til fremtidige klimaforandringer.
4. Inddragelse kan skabe forståelse for valg af en effektiv og brugbar metode.
5. Inddragelse i planlægning og problemidentifikation fremmer involvering i den faktiske gennemførelse af beslutninger.
6. Inddragelse sikrer at flest muligt tilgodeses i formuleringen af beslutningerne.
7. Fællesskabet omkring kystbeskyttelsesprojektet kan fremme etablering af frivilligt beredskab i forbindelse med højvandshændelser og stormflod. Som for eksempel hvor der er brug for opsætning af skotter i en højvandsmur, eller udlægning af water-gates.

Figur 3.1 viser de syv niveauer for interessentinvolvering. Interessentinvolveringen er relevant for kommuner i kommunale fællesprojekter, hvor kommunikationen spiller en stor rolle ikke mindst i forhold til de parter, som pålægges bidrag. Den er imidlertid også interessant for digelag og ejerforeninger, der også har brug for en klar kommunikationsstrategi for at hindre at et projekt går i stå på grund af misforståelser og mangel på korrekt information.



Figur 3.1. Syv niveauer af interessentinvolvering

For en uddybende gennemgang af kommunale fællesprojekter se Kystdirektoratets undervisningsmateriale [Kommune med Kystansvar - Modul 2: Kommunale fællesprojekter](#)

3.2 Kystudviklingsstrategier

En kystudviklingsstrategi beskriver, hvordan risikoen ved erosion/og eller oversvømmelse styres gennem planlægning, beredskab og andre tiltag ud fra en helhedsorienteret tilgang. Implementering af kystbeskyttelsesstrategier kræver stort fokus på planlægning og koordinering for at få helhedsorienterede løsninger, der tager højde for flere kilder til for eksempel oversvømmelse. Kystbeskyttelse og klimatilpasning kan bruges til på én og samme tid at reducere risikoen for erosion og oversvømmelse. Der skal planlægges med fokus på at reducere risici, således at kystnære områder bliver mindre sårbare og udsatte.

I den forbindelse kan kystbeskyttelse og klimatilpasning integreres i planlægningen både på lokalt, regionalt, nationalt og internationalt niveau.

Usikkerheden om, hvor meget risikoen ved erosion og oversvømmelse stiger som følge af klimaforandringerne medfører, at der nødvendigvis må arbejdes med langsigtede og overordnede kystudviklingsstrategier, der gradvist kan tilpasses den reelle udvikling. Samtidig er det i en kystudviklingsstrategi naturligvis ligeledes nødvendig at forholde sig til risikoen for oversvømmelse og erosion i den aktuelle situation.

3.2.1 Strategier i kystzonen

Kystzonen kan underlægges forskellige kystudviklingsstrategier, som tager udgangspunkt i en helhedsbetragtning og politiske ønsker om udvikling. Kommunen kan overordnet set benytte sig af tre kystbeskyttelsesstrategier: (Figur 3.2):

- Fastholdelse af nuværende risikoniveau (gul)
- Reduktion af nuværende risikoniveau (rød)
- Accept af stigende risikoniveau over tid (grøn)

Hvorvidt én eller måske en kombination af flere strategier er den mest effektive, afhænger af risikoen, mulighederne, udfordringerne og udviklingsønskerne for de enkelte kystområder samt levetiden for de tiltag, der ønskes anvendt. For de strategier, som kræver aktiv indgriben, fordi et risikoniveau ønskes fastholdt, reduceret eller styret, kan kommunerne anvende planlægning, beredskab og andre tiltag (afværgeforanstaltninger, kystbeskyttelse m.m.).



Figur 3.2 Kystudviklingsstrategier: Fastholdelse af nuværende risikoniveau, reduktion af nuværende risikoniveau og accept af stigende risikoniveau over tid

I det følgende gives der en nærmere beskrivelse af de tre kystudviklingsstrategier:

Fastholdelse af det nuværende risikoniveau

Fastholdelse af det nuværende risikoniveau er en strategi, der fortsat muliggør beboelse i kystområder, mens der foretages tilpasninger iht. en øget fare for oversvømmelse og erosion ved en stigende vandstand i havene. Som virkemiddel kan kommunerne anvende fysiske planlægning. I lokalplaner kan der eksempelvis være krav om en bestemt sokkelkote ved nybyggeri. Andre tiltag kan være en løbende tilpasning af eksisterende højvandsmur eller sandfodring, hvis udfordringen er henholdsvis oversvømmelse eller erosion. Overordnet set er det en strategi, der søger at fastholde det eksisterende risikoniveau også ved ændrende vandstands- og bølgeforhold.

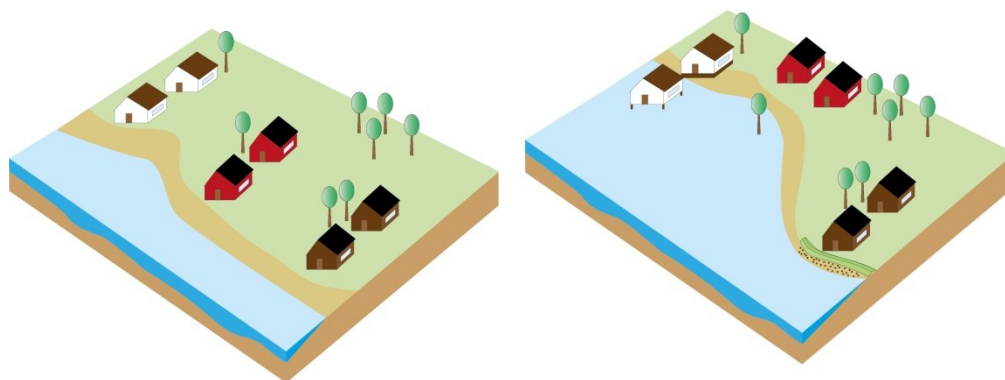
Reduktion af nuværende risikoniveau

I områder med betydelig økonomisk aktivitet, infrastruktur, boligområder, industri og samskudsinstitutioner, vil ønsket ofte være at beskytte disse værdier særligt. Denne strategi er forbundet med at etablere kystbeskyttelse, så der opnås en høj beskyttelse af værdierne, og risikoen for kystnedbrydning eller oversvømmelse nedsættes. Et virkemiddel kan også være fremrykning af kystlinjen ved at kystbeskyttelsen udvides eller fremrykkes. Dette kan eksempelvis ske via inddæmning, sandfodring eller opførelse af kunstige klitter.

Accept af stigende risikoniveau over tid

Planlagt styring af en forøgelse af risikoniveauet over tid betyder, at der i kommunen er bevidsthed om og accept af, at risikoniveauet for oversvømmelse og/eller erosion i et område stiger. Eksempelvis kan man i kommunen have en målsætning om at reducere en kysttilbagerykning, men ikke at standse den helt. Det kan også betyde, at der accepteres hyppigere oversvømmelser i et område, fordi oversvømmelse af værdierne kan accepteres.

Strategien kan også indebære, at man intet foretager sig, hvilket vil betyde, at risikoniveauet forøges over tid på grund af klimaforandringer.



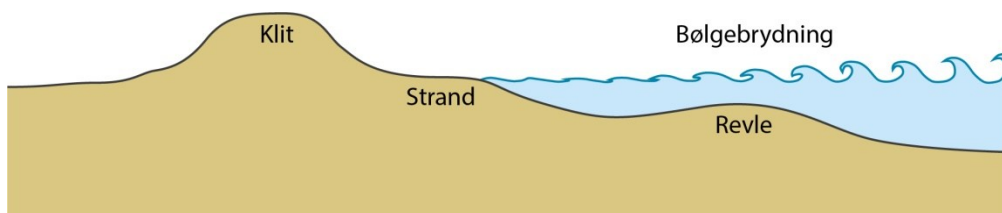
Figur 3.3 Kystudviklingsstrategier: Tilpasning, tilbagetrækning og beskyttelse

4. Kystdynamik

Den naturlige dynamik, der foregår i kystzonen, er primært præget af kystens geologi, topografi samt eksponering i form af påvirkninger fra vandstandsændringer, strømninger og brydende bølger. Kystdynamikken er en vigtig del af præmissen for, hvordan vores kyster udvikler sig og skaber de dynamiske rammer for vores aktiviteter i kystområdet. En forståelse for kystens dynamik er en forudsætning for at kunne arbejde med kystbeskyttelse, da enhver form for kystbeskyttelse påvirker den naturlige kystdynamik. Dette på en måde så menneskeskabte værdier beskyttes mod kysterosion/tilbagerykning og/eller oversvømmelse af baglandet.

Figur 4.1 illustrerer et naturligt kystprofil uden kystbeskyttelse. Den øvre del af profilet ligger over vandet og består her af en strand og et klitlandskab. Den ydre eller nedre del af profilet ligger under vandet og dækker over den [aktive zone \(det aktive kystprofil\)](#) hvor bølger bryder, og strømninger hvirvler sediment op fra havbunden.

Afhængigt af beskyttelsesbehovet og formålet med kystbeskyttelsesforanstaltningerne, kan disse placeres forskellige steder i kystprofilet. På land vil de typisk have til formål direkte at hindre erosion af en skrænt eller beskytte det lavtliggende bagland mod oversvømmelse. Anlæg i den aktive kystzone vil derimod have til formål at bryde bølger længere ude i profilet, end det ellers naturligt vil ske, og at omfordele det sediment, der transporteres langs kysten. Ved valg af kystbeskyttelsesmetode er det derfor afgørende, at der klart er taget stilling til, hvilken effekt der ønskes, og hvordan dette kan lade sig gøre i forhold til kystens dynamik på den konkrete kyststrækning.

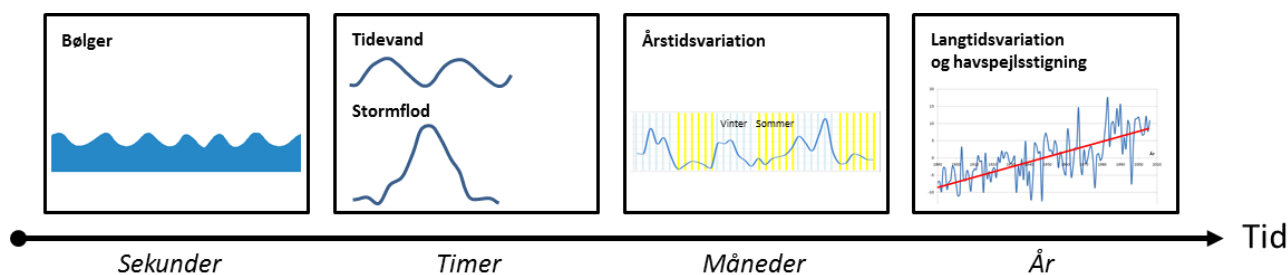


Figur 4.1 Principskitse af kystprofil. Kilde: DHI + Hasløv & Kærsgaard, 2015

De følgende afsnit vil gennemgå de naturlige kræfter, der påvirker kysten, den udvikling kysten herved gennemgår samt de udfordringer, det skaber.

4.1 Vandstand

I forbindelse med etablering af kystbeskyttelse er det vigtigt at forholde sig til ændringer i vandstanden, fordi vandstanden er bestemmende for omfanget af og tidspunktet for kysterosion og oversvømmelser. Vandstanden er højden af havet målt i forhold til den nationale højderedference Dansk Vertikal Reference 1990 (DVR90). Vandstanden varierer på tidsskalaer fra sekunder (bølger) over timer (tidevand og stormfloder) og år (forår, sommer, efterår og vinter) til århundreder (klimaforandringer), se Figur 4.2.



Figur 4.2 Vandstandens variation over tid

Overordnet opdeles vandstandsændringer i to kategorier: Kortvarige og langvarige vandstandsændringer.

4.1.1 Kortvarige vandstandsændringer

Kortvarige vandstandsændringer relaterer sig ofte til tidevandssystemet, som forårsager periodiske vandstandsændringer eller til meteorologiske forhold, så som stormflod. Kombinationen af tidevand og stormflod, hvor havvandstanden stiger på grund af både forudsigelige tidevandsforhold og mere uforudsigelige vejrforhold, kan betyde ekstraordinær påvirkning på kysterne i kortere perioder.

Tidevand

Tidevand er periodiske vandstandsændringer, som forekommer som følge af samspillet mellem de tiltrækningskræfter og centrifugalkræfter, der opstår, fordi jorden og månen, men også solen og jorden, drejer omkring et fælles tyngdepunkt. Disse periodiske vandstandsændringer udløses på grund af solens og månens massetiltrækning på vandet i verdenshavene kombineret med jordens rotation, månens rotation omkring jorden og jordens/månens rotation omkring solen. Tidevandet dannes hovedsagelig på dybt vand og forplanter sig derefter som en lang bølge ind over alle havvandsområder på jorden. Tidevandets størrelse varierer, afhængigt af tidevandsbølgens forplantning fra oceanerne ind i vandområder med begrænset vanddybde og udstrækning; derved kan tidevandet ændre størrelse indenfor relativt små afstande.

I Danmark er der højvande og lavvande to gange om dagen, og der er en overordnet variation mellem høj- og lavvande med en periode på ca. 14,8 dage. Dette resulterer i springtid, hvor man har maksimalt høj- og lavvande og niptid med et svagere tidevand. Springtid forekommer ved fuldmåne og nymåne.

I forhold til etablering af kystbeskyttelse kan det være nødvendigt at forholde sig til, om beskyttelsen etableres ved en kyst, hvor der er stor variation i høj- og lavvandsstand. Dette kan have betydning i forhold til vurderingen af for eksempel mulighed for fremtidige passage langs en kyst. Anlæg af et hårdt skråningsbeskyttelsesanlæg vil eksempelvis kunne betyde, at en del af stranden forsvinder, og at det derfor vil være muligt at passere ved lavvande men ikke ved højvande.

Tidevandet i Danmark er domineret af halvdagligt tidevand. Tidevandets størrelse i udvalgte havnebyer er angivet i følgende tabel:

Tabel 4.1 Klassifikation af tidevandets størrelse, som er forskellen på højeste og laveste vandstand

By/område	Tidevandets størrelse
Esbjerg (Vadehavet)	1,8 m
Thorsminde (Vestkysten)	0,6 m
Thyborøn (Vestkysten)	0,4 m
Frederikshavn	0,5 m
Århus (Kattegat)	0,4 m
Indre danske farvande	0,2 m

Af ovenstående tabel ses, at tidevandet i Danmark er størst langs den sydlige del af Vestkysten (Vadehavet), mens det i alle andre områder er mindre end ca. 0,5 m og specielt er det næsten helt fraværende i de indre danske farvande.

Stormflod

Stormflod er en forøgelse af vandstanden forårsaget af, at kraftig vind presser store vandmasser fra havet ind mod kysten og ind over land. Specielt i farvandene syd for Lillebælt, Storebælt og Øresund kan en stormflod dog også forekomme uden vindpåvirkning. Dette skyldes et specielt vejrphænomen, som betyder, at vand som er blevet presset op i den Botniske Bugt, skal tilbage igen gennem disse farvande.

Begrebet "stormflod" er uafhængig af tidevandet, hvilket vil sige, at stormflod kan opstå både ved kyster, som er påvirket af tidevandet og ved kyster, der ikke er. Ved kyster med tidevand er stormflodsvandstanden den samlede virkning af tidevandet og vindstuvninger af vand forårsaget af storm og farvandenens fysiske struktur samt orientering og disses indvirkning på stuvningsprocesserne. Stormflod forekommer således ikke regelmæssigt ligesom tidevandet, men under kraftige storme, som omfatter større havområder. Stormflod er derfor ud over vindstyrken ligeledes afhængig af vindens retning og stormens varighed.

Overordnet opdeles stormfloder i to typer: Stormflod ved åbne kyster, hvor bølgepåvirkningen er meget stor og stormflod ved beskyttede kyster, for eksempel fjorde eller sunde, hvor bølgepåvirkningen er betydeligt mindre i forhold til stormflodsvandstandens påvirkning på kysten og højvandsbeskyttelsesplanlægning. Ved åbne kyster er det således bølgepåvirkning, herunder bølgeopløb, der sammen med stormflodsvandstand, skal være dimensionsbestemmende ved etablering af diger. For beskyttede kyster er kun stormflodsvandstanden afgørende for dimensioneringen.

Stormfloder skal vurderes i henhold til deres

- Gentagelsesperiode (middeltidshændelse)
- Varighed

Stormfloder er tit grundlaget for planlægning og etablering af højvandsbeskyttelse. Mange historiske stormfloder har sat gang i diskussioner og politiske beslutninger om etablering af kystbeskyttelse. I forhold til dimensionering af kystbeskyttelse er det vigtigt at have kendskab til de historiske stormfloder, der har fundet sted i det konkrete område.

Stormflodsvandstande og tidevand måles ved ca. 60 marine målestationer på kysterne i de danske farvande, og stormflodernes størrelse er analyseret statistisk.

Kystdirektoratet udgiver hvert femte år opdaterede højvandsstatistikker, og beskriver på det grundlag de højeste vandstande under stormfloder i forhold til en [returperiode](#) (middeltidshændelse). En returperiode for højvande er den statistiske tid, der gennemsnitligt forløber mellem højvandsituationer. Der anvendes typisk returperioder på 20 år, 50 år og 100 år. En vandstand med en returperiode på 50 år kaldes også for "en 50-års hændelse".

Fordelingen af 100-års hændelser ved de danske målestationer fremgår af Figur 4.3.



Figur 4.3 Størrelsen af 100-års vandstandshændelser i Danmark angivet i cm (røde tal)

Vandstande med 100-års [returperiode](#) forskellige steder i Danmark er angivet i nedenstående Tabel 4.2. Tabel 4.2 Størrelser og klassifikation af 100-års returperioder for stormflodsvandstande.

By/område	100-års returperiode for stormflodsvandstande
Esbjerg og Vadehavet	> ca. 4,0 m
Hvide Sande til Thyborøn	2,5 – 3,3 m
Vestlige del af Limfjorden	1,9 – 2,0 m
Alle øvrige danske stationer	1,5 – 1,8 m
Bornholm	Ca. 1,2 m

For Østersøkysterne kan begrebet "stormflod" være misvisende, fordi stormfloder her ikke nødvendigvis har relation til en storm. Derimod kan der være mere tale om et højvande, som opstår efter storme fra nordvest, når vandet fra Nordsøen presses mod Østersøen og Botniske Bugt. Vinden blæser vandet sammen i en del af området, som man kan forestille sig, at det kan ske i et badebassin, hvor vandet samles i den ene ende. Dette "vandbjerg" skulper tilbage, så snart vinden løjer af, drejer eller lufttrykforholdene ændres. I værste fald forstærkes dette tilbageskulp, hvis den tilbagestrømmende vandmængde og den skiftende vind virker i samme retning. I sådanne tilfælde kan vandstanden langs de indre kyster stige med mere end 3 m og føre til katastrofale oversvømmelser, som det skete i 1872.

De indre danske farvande nord for Lillebælt, Storebælt og Drogden i Øresund inklusiv Københavns Havn hænger på grund af vandets strømning sammen med vandstanden i Nordsøen, og højvande i disse farvandsområder forekommer derfor også ved kraftige vinde mellem vest og nord.

De indre danske farvande syd for Lillebælt, Storebælt og Drogden-tærsklen hænger sammen med den sydlige del af Østersøen. Højvande i disse områder forekommer derfor oftest i forbindelse med kraftige vinde mellem nord og øst, og ovennævnte tilbageskulp fra den Botniske Bugt. Kendskab til disse højvandssituationer, der i nogle områder opstår som konsekvens af en tidligere storm, er afgørende for at kunne planlægge og etablere effektiv kystbeskyttelse.

4.1.2 Langvarige vandstandsændringer

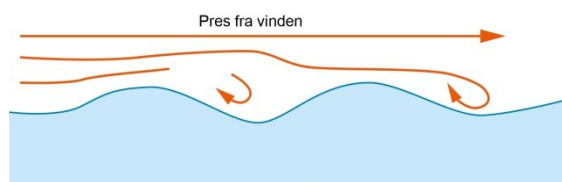
Middelhavvandstanden varierer over længere perioder som resultat af [eustatiske](#) og [isostatiske](#) ændringer. [Eustatiske](#) variationer relaterer sig til ændringer i verdenshavenes vandmasser og volumen og er derfor globale ændringer. [Isostatiske](#) variationer relaterer sig derimod til lokale eller regionale landhævninger eller landsænkninger.

4.2 Bølger

Både i forhold til erosionsbeskyttelse og højvandsbeskyttelse er det afgørende i forbindelse med valg af metode samt dimensionering af kystbeskyttelsesforanstaltningen at have kendskab til, hvordan den konkrete kyststrækning påvirkes af bølger. Kystbeskyttelsesforanstaltninger kan opbygges og placeres på forskellige måder i forhold til at afbøde eller udnytte bølgekraften. Eksempelvis skal man ved placering af høfder tage højde for bølgenes indfaldsvinkel.

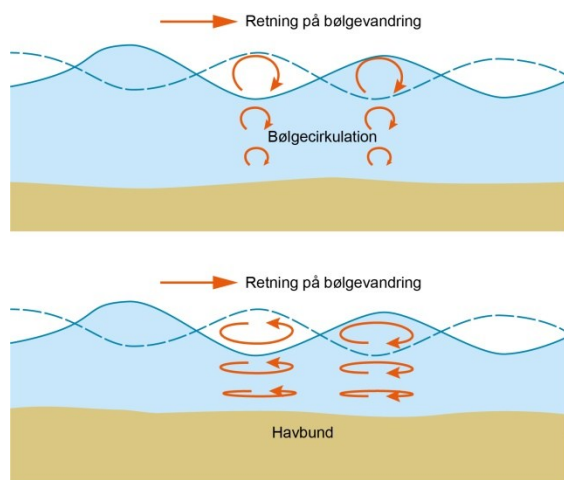
I den forbindelse gælder, at bølgenes størrelse er afhængig af den kraft eller energi, som skaber bølgerne. I denne vejledning fokuseres på bølger, der dannes af vinden og den energi, som vinden overfører til vandoverfladen.

Bølger dannes som følge af den friktion, der sker, når vinden blæser hen over en vandoverflade. Vindens energi overføres til vandet, hvor der opstår hvirvler og turbulens, som kaldes kapillarbølger. Fortsætter vinden med at blæse, dannes der tyngdebølger eller vindbølger, som er kraftigere og længere tid om at falde til ro.



Figur 4.4 Bølger dannet af vindens kræfter, som blæser hen over vandets overflade. Kilde: DHI + Hasløv & Kærsgaard, 2015.

Bølgestørrelsen er betinget af vindens hastighed, vindens varighed, størrelsen på det frie stræk (afstanden til kysten) og vanddybden. Når bølgerne er dannet, forplanter de sig i en bevægelse ind mod kysten, se Figur 4.5. Her tabes der i begyndelse kun ringe energi, fordi bølgerne på dybt vand (dybtvandsbølger) ikke påvirkes af bunden.

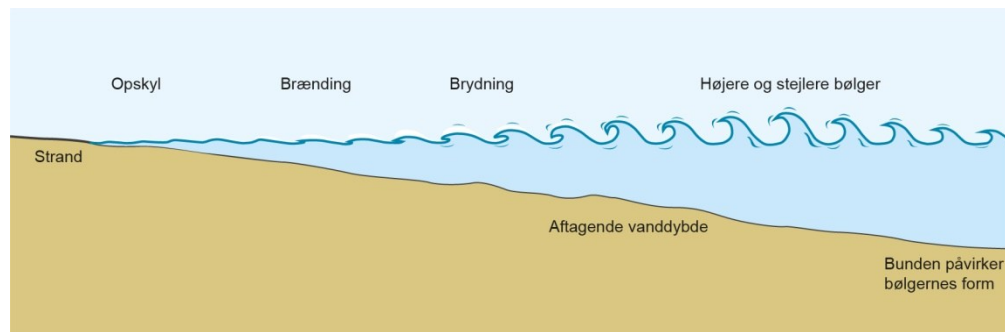


Figur 4.5 Bølgenes forplantning på henholdsvis dybt og lavt vand, grundet vandets cirkulære fremdriftsbevægelse. Kilde: DHI + Hasløv & Kærsgaard, 2015.

Når bølgerne nærmer sig kysten og møder en vanddybde, der er halvt så stor som bølgelængden, vil bunden begynde at påvirke bølgerne, og bølgenes form ændres (grundvandsbølger). Bølgenes friktion mod havbunden på de lave vanddybder betyder, at bølgelængden og bølgehastigheden mindskes, imens bølgerne samtidig bliver højere og stejlere. Bølgens form ændres ved, at bølgetoppene indsnævres, og bølgedalene bliver bredere. Bølgen bliver således stadig mere asymmetrisk. Med fortsat aftagende vanddybde vil bølgerne, ved en bølgehøjde der er 0,8 gange vanddybden, brydes (Figur 4.6).

Bølgebrydning skaber turbulens i vandsøjlen, hvor bundmateriale hvirvles op i vandmasserne og transporteres videre. Herefter gendannes bølgerne med mindre energi, der kan bryde igen helt inde ved kysten, hvor bølgerne til sidst skyller op på stranden.

Bølger kan inddeles i to kategorier: korte og lange bølger, hvilket afspejler måden, hvorpå de er dannet, og hvorpå de forplanter sig. Lange bølger, som oftest også betegnet dønninger, dannes på dybt vand og forplanter sig over længere stræk uden at tabe betydelig energi, hvorimod korte bølger i højere grad er afhængige af vindens konstante tilstedeværelse. Observeres bølger uden at et større vindfelt er til stede, er bølgerne som oftest lange bølger dannet andetsteds.



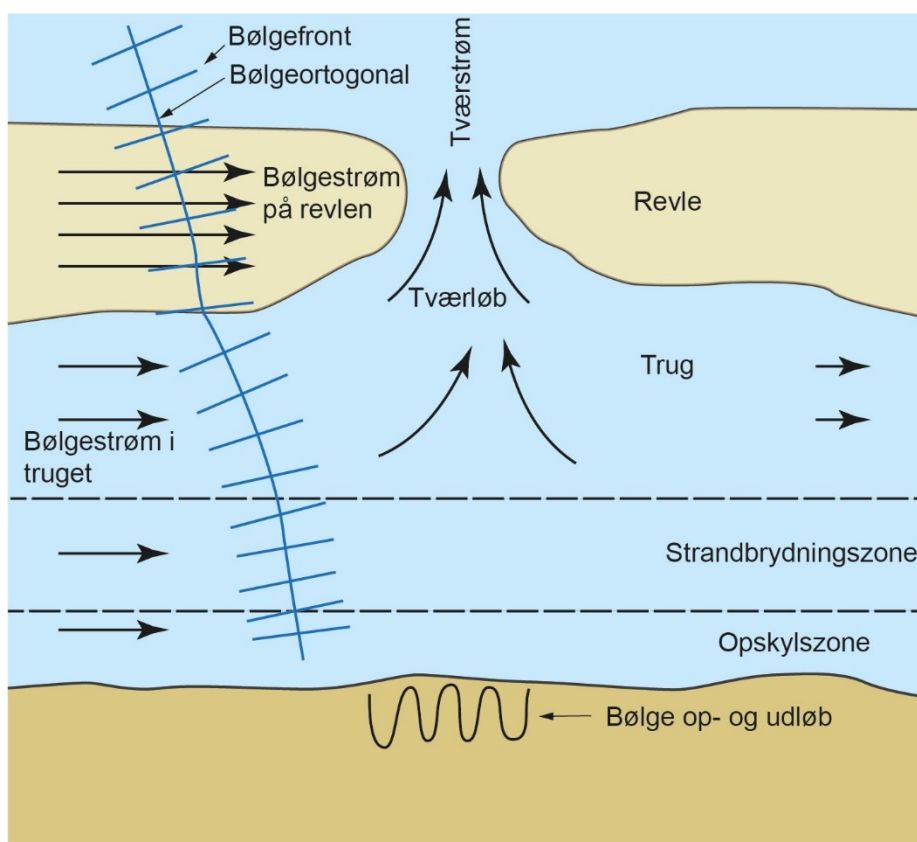
Figur 4.6 Bølgebrydning

4.3 Strøm

De naturlige strømforhold i kystprofilen påvirkes ved placering af kystbeskyttelsesforanstaltninger i det aktive profil. I forbindelse med et kystbeskyttelsesprojekt, er det derfor vigtigt at være opmærksom på strømforholdene på den konkrete strækning.

Vindgenererede bølger skaber strømninger, særligt i de øverste vandlag. Bølgestrømmen er mest betydningsfuld for materialeomlejring i kystzonen. Bølgestrømme dannes, når bølger løber skråt ind mod kysten. Bølgenes [refraktion](#) resulterer i, at deres impuls kraft kommer til at løbe på langs af kysten. Bølgestrømme finder sted fra kystlinjen og ud til den yderste brydningszone og knytter sig derfor til de kystnære zoner.

På kyster med revler er strømforholdene mere komplicerede. Bølgestrømme bevæger sig skråt indover revlerne og brydes, hvilket medfører kraftig bølgestrøm på revlen. Samtidig forhindrer revlerne vandmasserne i at løbe tilbage. Derfor bevæger vandet sig parallelt med kysten, indtil revlen ophører. Her strømmer vandmasserne i form af en tværstrøm tilbage til havet. Denne strøm eller passage kaldes også for [hestehuller \(revlehuller\)](#) og er karakteriseret ved kraftig strøm, figur 4.7.



Figur 4.7 Bølgestrøm på en revlekyst

Vindstrømme er strømme, som vinden skaber i havets overflade på grund af vindens friktion med vandet. Denne strøm opstår i de øverste vandlag og er på store vanddybder relativt svag, men på lavt vand ved kysterne vil strømmene afbøjes, og de kan opnå større hastigheder. Imidlertid dominerer bølgestrømmen ved de fleste kyster. Endelig dannes der også strømme som følge af tidevandsskifte.

Det er typisk en kombination af vejrforholdene og de oceanografiske forhold, der er afgørende for, hvilke strømninger der opstår.

Ved etablering af kystbeskyttelsesforanstaltninger i det aktive kystprofil, eksempelvis bølgebrydere og høfder, skal man være opmærksom på, at de naturlige strømninger påvirkes, og at der

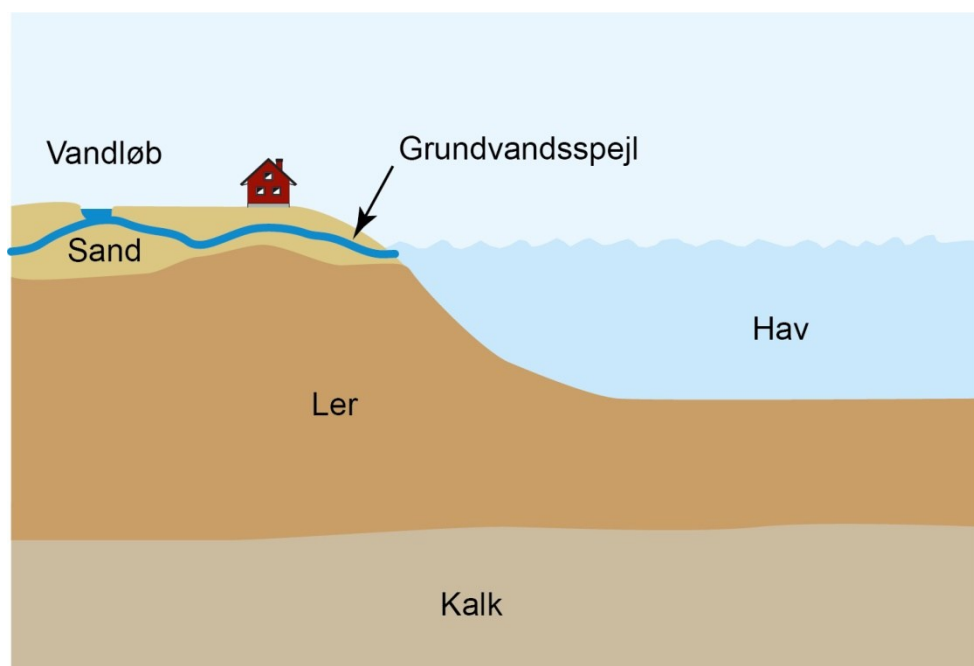
kan skabes ændrede strømninger omkring anlæggene. Disse kan være farlige i forbindelse med for eksempel badning. Endvidere kan hårde kystbeskyttelsesanlæg forårsage øget erosion af kyst skrænter. Hvis eksempelvis en hofde ikke er bygget helt ind til skræntfoden, vil der i forbindelse med højvande kunne skabes strømning mellem hofde og land, hvorved erosionen af skrænten øges.

4.4 Grundvand

Vandet i vores undergrund interagerer med vandet over jorden, i havet, i søerne og i vandløbene. Undergrunden er lagdelt og består af vekslende lag af ler, sand og kalk. Vandet strømmer mellem lagene, og denne strømning er styret af geologien, trykforhold og de enkelte lags egenskaber. Vandet ledes hurtigt i sand og kalklag, mens lerlag ofte begrænser vandets vertikale strømninger.

Ved kysten varierer grundvandsspejlet i det terrænnære magasin med havoverfladen. Derfor vil et stigende havvandsniveau også påvirke dette grundvandsspejl i kystzonen således, at hvis havniveauet stiger, vil grundvandsspejlet også stige på grund af det øgede tryk. Stigningen vil være størst tæt på kysten og aftage ind i landet, jo længere væk fra kysten, man kommer.

Hvor stor påvirkningen af grundvandsspejlet er, afhænger af flere faktorer. Geologien har stor betydning. Hvis undergrunden består af sand eller grus vil påvirkningen være størst, idet sand og grus er let og hurtigt gennemstrømmeligt, mens hvis undergrunden består af ler, vil der være en mindre påvirkning. Figur 4.8 illustrerer et eksempel på et tværsnit gennem de øverste jordlag og grundvandsspejlets interaktion med havvandstanden.



Figur 4.8 Grundvandsspejlets variation

Hvor hurtigt, terrænet stiger fra kysten, har også stor betydning, idet et lavtliggende område er mere udsat over for ændringer i grundvandstrykket, end hvis terrænet stiger hurtigt. Ligeledes vil grundvandsspejlet typisk ligge tættere på overfladen i et lavtliggende område, således at selv en lille havvandsstigning kan få vandspejlet til at stige, så grundvandet kan være tæt ved overfladen eller endda stige op og stå på overfladen.

Flere steder ved kysterne i Danmark, eksempelvis ved Vejlbj på den jyske vestkyst pumpes det overfladenære grundvand væk.

På samme måde som det terrænnære grundvandspejl og havoverfladen er sammenfaldende ved kysten, er også grundvandspejlet og vandløbsoverfladen forbundet. Tæt ved kysten kan en havvandsstigning således få trykket til at stige i det terrænnære grundvand, som derefter får vandstanden i vandløbene til at stige.

Tiden har også en effekt. Hvis stigningen i havvandsniveau sker over længere tid, vil dette give mere tid til, at trykændringerne forplanter sig videre til grundvandsmagasinerne. Strømningen af grundvand er meget langsommere i forhold til havstrømninger, så det har betydning, om vandstandsstigningen kun er en enkelt dag eller sker over flere uger.

4.5 Sedimentdynamik

Når bølgerne nærmer sig land, hvirvles sediment op fra havbunden. Sedimentet transporteres med de bølgegenererede strømninger på langs og på tværs af kysten, hvilket bevirker, at kystprofilen både over og under vand konstant er under forandring. Bølgernes opskyl og tilbageskyl bevirker, at stranden og eventuelt også skrænten og klitten ændrer form. Lokale strømninger og bølger har derfor afgørende indflydelse på, hvordan sedimentet flytter rundt. Når sedimentet aflejres ét sted, mangler det et andet sted. Denne proces forstærkes yderligere under storm, da den forhøjede vandstand muliggør, at bølgerne kan trænge længere ind på land.

Det samme gør sig gældende på strækninger, hvor kystprofilen på grund af hårde passive kystbeskyttelsesanstaltninger er blevet [forstejlet](#). Her vil processen forstærkes, og det eksisterende anlæg vil blive udsat for større bølger, end hvis det lå på et naturligt strandprofil, som har en fladere hældning.

Særligt i forhold til erosionsbeskyttelse spiller sedimentdynamikken i kystprofilen en afgørende rolle i forhold til hvilke løsningsmuligheder, der kan anvendes. Det er ikke muligt at standse den naturlige erosion på kysterne, men erosionen kan flyttes og omfordeles, og der kan kompenseres med nyt sediment i de tilfælde, hvor det er nødvendigt kunstigt at fastholde en kystlinje. De danske kyster består - som det meste af den danske undergrund - hovedsageligt af aflejringer af sediment (ler, sand, sten, osv.). Bølgers og strømmes kræfter kan derfor forholdsvis let flytte kystens materiale og forårsage erosion.

I visse områder er der desuden lag af mere eller mindre svært nedbrydelige kalk- og moræneaflejringer, som geologisk er mere stabile. Under erosion og transport af sedimenterne vil det fine ler blive vasket ud og ført til roligere områder på dybere vand eller til stille områder i en fjord eller lagune. Derfor ses næsten kun sand og grus på strandene, som er udsat for bølgepåvirkning.

For at udtale sig om kysterosion og mulige metoder til beskyttelse mod erosionen er det derfor nødvendigt at forstå spillet mellem bølge- og strømkræfter og sedimenternes transport. Eksponeringerne giver anledning til forskellige processer langs kysterne, herunder sedimenttransport og kystmorfologiske ændringer i form af aflejring og kysterosion.

Disse forhold kaldes under et sedimentdynamik, og kan opdeles i transportprocesser og resulterende morfologiske processer. De væsentligste træk ved disse forhold beskrives i det efterfølgende.

4.5.1 De kystdynamiske processer

I beskrivelsen af de forhold der kendetegner kysten, hvad enten der er tale om bølger, sediment eller flora og fauna, vil man ofte bruge begrebet "[litoral](#)". Litoral henviser i denne sammenhæng til det kystnære område, hvor sediment mobiliseres og flyttes af bølger og strøm. Med formuleringen "litorale processer" menes således bølger, strøm og sedimentbevægelser i den kystnære zone.

Typer af litorale processer

De litorale processer (bølger, strøm og sedimentbevægelser i den kystnære zone) foregår hele tiden, men varierer i størrelse og udstrækning afhængig af de aktuelle påvirkninger. I nærværende sammenhæng ses udelukkende på de *gennemsnitlige årlige forhold*, som beregnes som summen af alle transportkomponenter over et gennemsnitligt år.

De litorale processer kan inddeles i to typer:

- Langtransport
- Tværtransport

Langtransport

Transport af sediment på langs af kysten, den såkaldte *langtransport*, afhænger af bølge- og vandstandsforhold og er fordelt over kystprofilen ud fra strandlinjen. Den varierer afhængigt af bundformerne for eksempel i forhold til om der er revler. I følgende beskrivelse af transportforholdene forudsættes det, at bunden er fuldt dækket af almindeligt strandsand med mindre andet er nævnt. Man vil ofte tale om langtransporten som et gennemsnit af sedimenttransporten langs kysten over året. Sedimenttransporten langs kysten kan svinge året igennem, men langtransporten udregnes som et årligt gennemsnit for det pågældende område. Langtransporten er særdeles vigtig for det begreb, der kaldes *kronisk erosion*.



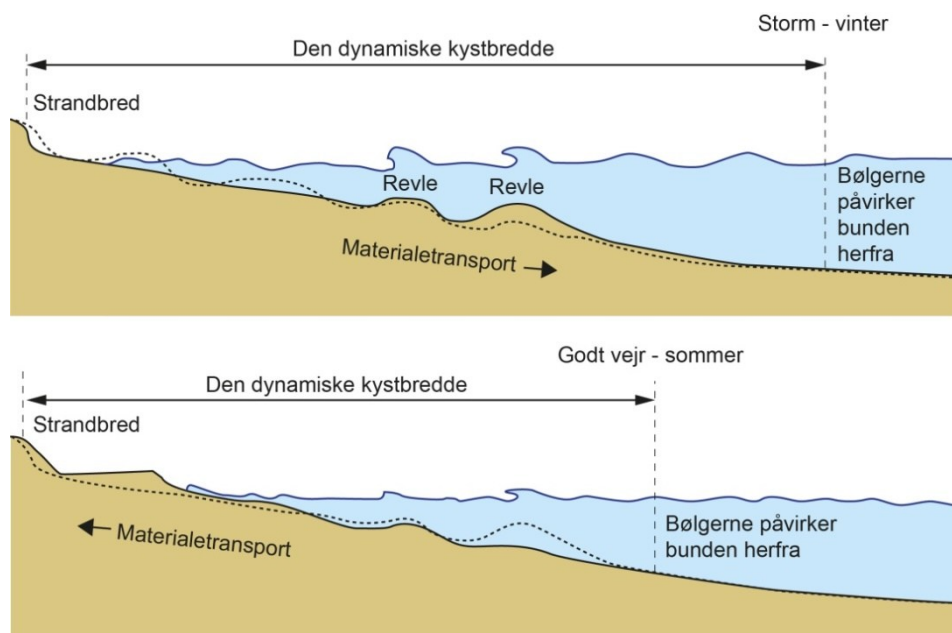
Figur 4.9 Bølger, som slår ind på en strand og driver en langsgående transport. Hvide linjer viser bølgetoppe. Orange pile indikerer langtransportens retning og størrelse.

Tværtransport

Transport af sand på tværs af kystprofilen kaldes *tværtransport*. Denne type transport inddeles i to typer:

- Søværts transport (udadgående), som vil medføre erosion af strand og klitfod og udrykning af eventuelle revler
- Landværts transport (indadgående), som vil medføre aflejring på stranden og indrykning af eventuelle revler.

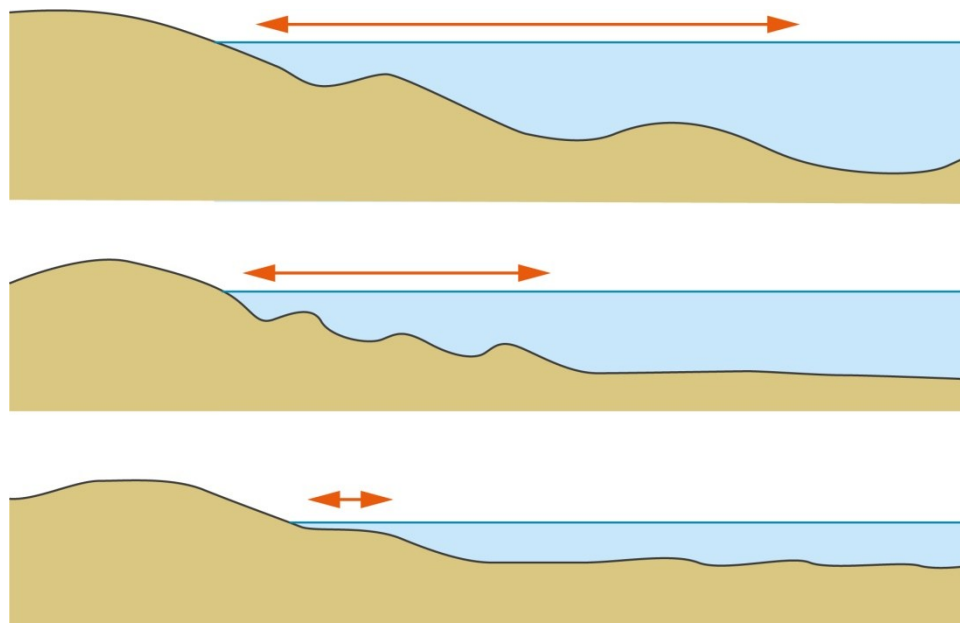
Man regner normalt med, at tværtransport-processerne over et år er nogenlunde lige store udadrettet som indadrettet, hvilket vil sige, at den søværts transport i gennemsnit udlignes af den landværts transport.



Figur 4.10 Tærtransport giver erosion under storm og opbygning under roligt vejr

4.5.2 Ligevægtsprofil og aktiv dybde

Tværtransportprocesserne giver anledning til, at kystprofilet over et længere tidsrum indstiller sig i et såkaldt ligevægtsprofil, som er udtryk for kystens gennemsnitlige profil over året (eller flere år). Ligevægtsprofilet går ud til den såkaldte "[aktive dybde](#)". Den aktive dybde er forskellig fra kyst til kyst og er i særdeleshed bestemt af den karakteristiske eller typiske bølgehøjde ved kysten. Jo større bølger, jo større aktiv dybde. Længere ude vil bunden i væsentlig grad ikke ændre form. Formen af ligevægtsprofilet og den aktive dybde for karakteristiske bølgehøjder ved Vestkysten, i Kattegat/Østersøen og i de indre sunde, bælter og fjorde er illustreret i nedenstående figur.



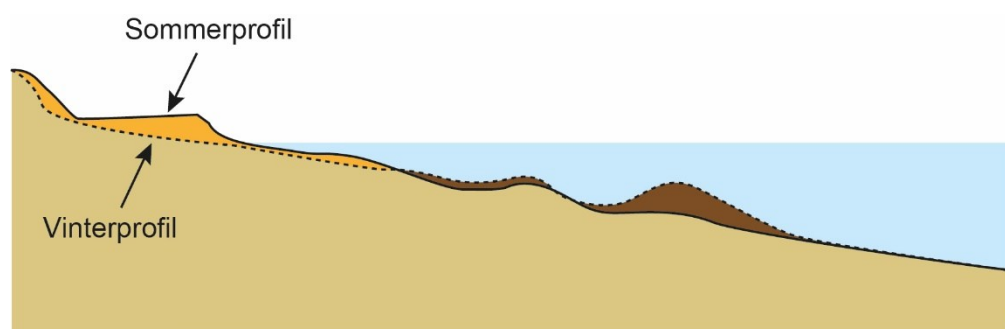
Figur 4.11 Bredden af den [aktive zone](#) for ved kyster med tre forskellige eksponeringsgrader. Øverst: Vestkysten. Midt: Kattegat/Østersøen. Nederst: Indre farvande

Ud over bredden af det aktive profil, der er dækket af vand, vil det som regel kunne konstateres, at strandens bredde på samme måde følger eksponeringsgraden: Jo større bølger, jo bredere strand. I nedenstående tabel er anført typiske værdier for bredden af den aktive zone og for den aktive dybde for kyster med forskellige eksponeringsgrader. Bemærk, at bredden af den aktive zone også varierer med sedimentets typiske størrelse. Jo finere sediment, jo fladere profil og jo bredere [aktiv zone](#).

Tallene nedenfor repræsenterer typiske sedimenttyper.

Tabel 4.3 Den [aktive zones](#) bredde og den [aktive dybde](#) for kyster med forskellige eksponeringsgrader

Farvandsområde	Eksponeringsgrad Typisk bølgehøjde (m)	Aktiv dybde (m)	Bredde af aktive zone (m)
Fjorde og beskyttede områder	0,7	1,3	65
Bælter	1,8	3,0	230
Kattegat og Østersøen	2,5	4,0	350
Bornholm	2,8	4,3	400
Nordsøen	5,0	6,5	730



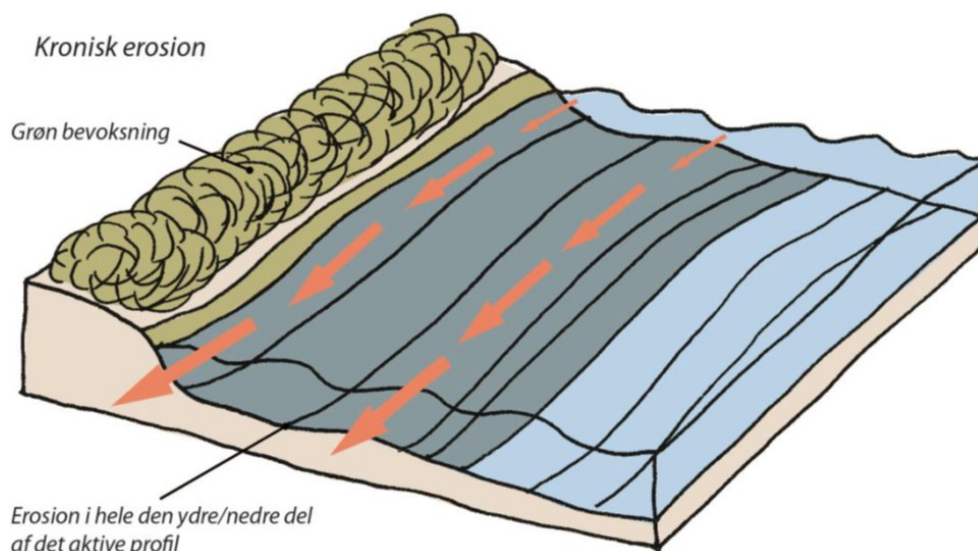
Figur 4.12 Ligevægtsprofilen er det gennemsnitlige profil over et eller flere år

4.5.3 Kronisk erosion

Hvis langstransporten varierer langs kysten, vil der blive eroderet eller aflejret sand i det pågældende område. Erosion sker, når transporten vokser i transportretningen, idet der på en sådan strækning vil blive transporteret mere sand væk, end der tilføres. Selv om der er variationer fra år til år, vil langstransporten gå i samme retning, og tendensen til erosion på en given strækning vil være permanent, derfor kaldes erosion, der skyldes variation i langstransporten, for *kronisk erosion*.

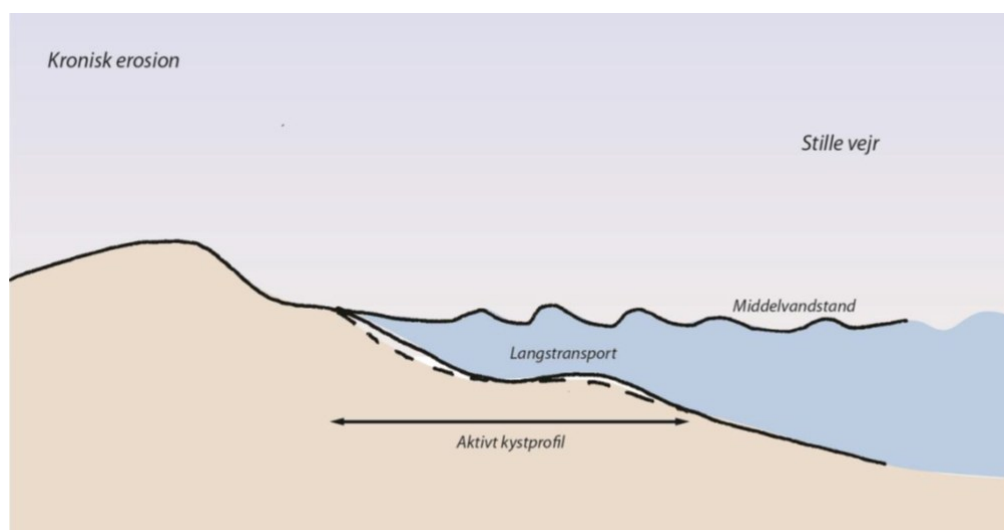
For en given strækning kan man opstille et budget for sediment, der siger:

Hvis der transporteres mere sediment væk fra et område, end der transporteres sediment ind i området, er området under erosion.



Figur 4.13 Kronisk erosion sker, når langstransporten stiger i transportretningen. Der transporteres mere sediment væk fra området end ind i det, hvilket betyder, at området er under erosion. Mørk blå viser de aktive dele af profilet. De lysere blå områder påvirkes ikke.

Fordi transporten foregår fordelt over profilet, vil erosionen ligeledes være fordelt over profilet. Set over et år kan man antage, at fordelingen af erosionen er nogenlunde ligelig, også selvom der måtte være revler. Mængden af sediment, der føres ud af området fratrækker mængden af sediment, som føres ind i området svarer til erosion.



Figur 4.14 Kronisk erosion under en typisk bølgesituation. På grund af den stigende langstransport (der føres mere sediment ud end ind) eroderes profilets ydre/dybere dele

Såfremt langstransporten aftager i transportretningen, vil der omvendt blive aflejret sand, hvilket tydeligst ses, hvor langstransporten bremses af en havn eller en anden stor konstruktion. En sådan akkumulation kaldes luvside tilsanding, et eksempel er vist på Figur 4.15.



Figur 4.15 Luvside tilsanding nordvest for Rødbyhavn, hvor der er en netto langstransport på ca. 30.000 m³/år imod sydøst fremkaldt af fremherskende bølger fra vestlige retninger. Området sydøst for havnen er omvendt under erosion.

Et andet eksempel på akkumulation (luvside tilsanding) er hele den nordlige del af Jylland, som er opbygget af materiale, der er eroderet af kysterne længere mod syd og transporteret nord på og aflejret. En aflejring som stadig foregår ved Skagens gren.

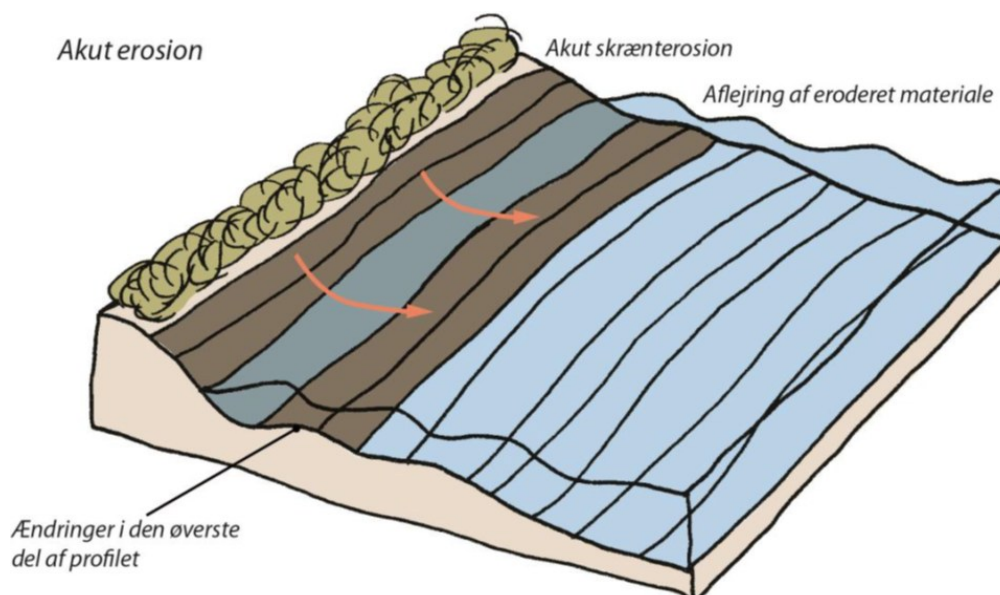
På grund af den konstante udvikling kan kronisk erosion (og akkumulation) beskrives gennem sedimentbudgetter, hvor der opstilles et regnskab for en given strækning: Hvor meget tilføres der fra den ene side, og hvor meget føres der ud på den anden, og resultatet giver så den kroniske erosion eller akkumulation på strækningen. Budgettet kan opstilles ud fra transportmængder, der beregnes med computermodeller for transporten, eller en målt erosion/akkumulation kan bruges til at beregne variationen af transporten. Hvor transporten er totalt blokeret, som ved en stor havn, kan den aktuelle transport beregnes ud fra den målte erosion/akkumulation, da denne må svare til den totale transporterede sandmængde.

Kronisk erosion kan forebygges ved at fodre kysten med sediment i en mængde svarende til [erosionsraten](#) på stedet. Ved etablering af kystbeskyttelse på strækninger med kronisk erosion kan alle former for hårde løsninger (f.eks. skråningsbeskyttelser i sten eller bølgebrydere) forårsage øget erosion nedstrøms og foran anlæggene. Dette skyldes, at den kroniske erosion ikke standses af sådanne anlæg, men udelukkende flyttes. Der kan her være behov for at kompensere for det sediment, der tilbageholdes af de hårde anlæg, såfremt der ønskes en holdbar løsning, der ikke påvirker nabostrækninger.

4.5.4 Akut erosion

Bølgebevægelsen medfører en transport på tværs af kysten. Kraftigst er transporten under brydende stormbølger, som fører sand væk fra kysten. Under mildere vejrforhold er transporten svagere og fører sand ind mod land. Disse to forskellige typer af transport vil opleves som henholdsvis erosion af stranden og kysten (klitfoden eller foden af en eventuel klint) og aflejring på stranden.

Søværts transport og tilhørende erosion i kystprofilet forekommer som nævnt specielt under storm i forbindelse med kombineret højvande og kraftig bølgepåvirkning og kaldes *akut erosion*.



Figur 4.16 Under akut erosion eroderes den øvre del af profilet ved højvande (storm). Det eroderede materiale lægger sig ud i de dybere dele af kystprofilet. Mørk brun og mørkeblå viser, hvor profilet er aktivt under akut erosion. Det lyseblå område er ikke aktivt.

Tværrtransporten opfattes normalt som sedimenttransport, der over en længere periode ikke giver anledning til tab af materiale fra området. Men i tilfælde af ekstremt højvande under en kraftig storm vil erosionen af de øvre dele, det vil sige skrænten, ikke umiddelbart blive bygget op igen, efter stormen har lagt sig.

Materialet har lagt sig længere ude i profilet, men er ikke nødvendigvis let tilgængelig for en naturlig genopbygning af klitten. Man kan sige, at processen i et sådant tilfælde er delvist irreversibel.

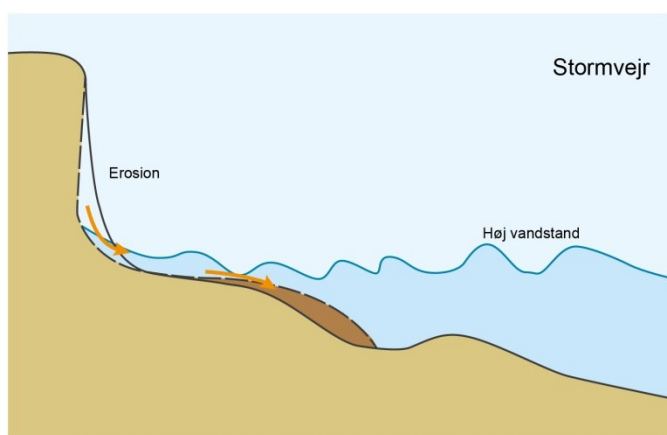
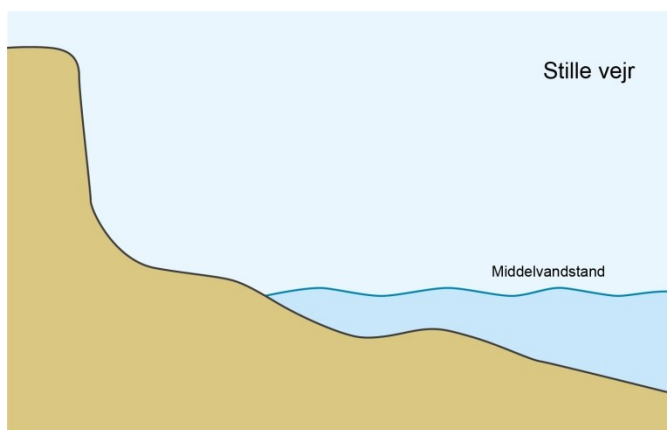
Set over hele profilet er sandet dog ikke tabt, og den øgede sandmængde foran klitten vil sandsynligvis virke beskyttende på klitten ved næste stormhændelse.

Dette gælder dog ikke, hvis der samtidig er tale om en kyst med kronisk erosion. I et sådant tilfælde vil det sand, der er aflejret i profilet under akut erosion forårsaget af en storm, blive fjernet af langstransporten, der fører sedimentet med sig ned langs kysten, uden at det erstattes med nyt.

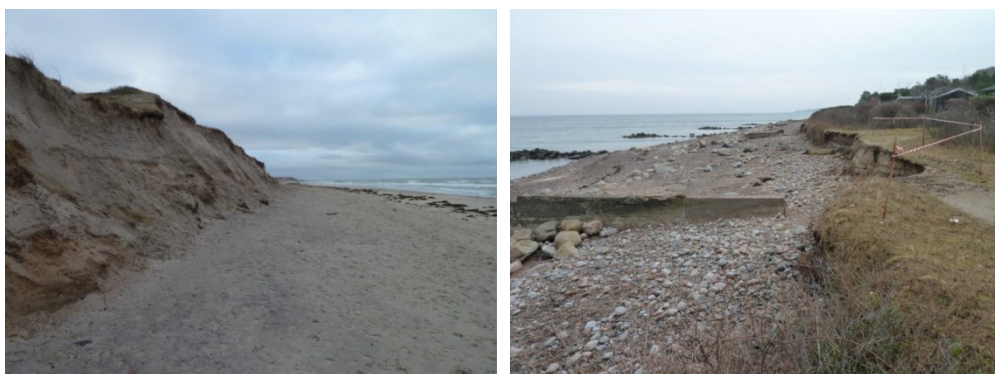
Det er derfor sandsynligt, at en kyst, der er under kronisk erosion, også er mere udsat for akut erosion under stormhændelser.

Dette uddybes i afsnit 4.5.6 om sedimenttilgængelighed.

Et andet tilfælde, hvor tabet af eroderet materiale vil være uigenkaldeligt, er, hvor der forekommer akut erosion i en morænekystskrænt, og leret skylles ud af skrænten og føres væk fra området. I et sådant tilfælde efterlades dog sten og ral, der beskytter foden af skrænten.



Figur 4.17 Akut erosion under storm og højvande



Figur 4.18 Fotos efter stormen Bodil den 6. december 2013. Stormen medførte ekstremt højvande på 1,9 m langs Sjællands Nordkyst.

Til venstre: Jævnt fordelt akut erosion langs klitrækken NØ for Liseleje.

Til højre: Skrænterosion langs Villingebækstien, bemærk at hofden ikke har haft nogen kystbeskyttende virkning.

For effektivt at imødegå akut erosion kan en eventuel kystfodring suppleres ved at der etableres hårde skråningsbeskyttelser som bagstopper. Med en bagstopper menes et anlæg, der kun kommer i funktion under ekstreme hændelser, og således er en ekstra sikkerhed mod den akutte erosion, der er identificeret i området. De samtidige kystfodringer kan sikre, at bagstopperen på sigt ikke vil påvirke den langsgående sedimenttransport og dermed forhindre, at erosionen forstærkes nedstrøms.

4.5.5 Aeolisk transport

Vinden er også én af de kræfter, som påvirker sedimentbudgettet. Når sandet flyttes med vindens kræfter, kaldes det aeolisk transport. Vinden kan for eksempel flytte sandet fra stranden ind bag klitterne. Konsekvensen er, at kysten taber sediment og dermed kan blive mindre modstandsdygtig overfor oversvømmelse og erosion. Langs den jyske vestkyst sker der sandflugt, som nogle steder forebygges med sandflugtdæmpende foranstaltninger som for eksempel beplantning med hjelme eller etablering af fyrretræer m.v.



Fig. 4.19 Beplantning med hjelme fastholder sandet

4.5.6 Sedimenttilgængelighed

Langs nogle kyster består alt materiale af løse sedimenter, typisk sand med en gennemsnitlig korndiameter på ca. 0,2 mm. Dette er typisk for områder, som er dannet under sidste istid som smeltevandssletter (store dele af Vestkysten) eller områder, hvor de [litorale processer](#) har aflejret store mængder sand, som eksempelvis på Grenen nord for Skagen. Langs sådanne kyster er der typisk klitter i baglandet.

Andre kyster er formet ved erosion af eksempelvis moræneaflejringer. Her vil stranden typisk bestå af en blanding af de grovere fraktioner, som bliver tilbage, når moræneklinten eroderer. De grovere fraktioner består af sand, grus, ral og sten. Sand og grus vil tilføres sedimentbudgettet og transporteres langs kysten, mens sten vil forblive på strand og strandplan, hvor de er frigivet fra den borteroderede moræne. Ral vil typisk skylles op i stejle ralstrandvolde på bagstranden.

Kilden til det sediment, som transporteres som langstransport langs de danske kyster, består helt overvejende af sand, som er eroderet fra kystprofilen grundet [gradienter](#) i langstransporten.

Det er en forudsætning for at opretholde en uændret langstransport på en strækning, at man ikke hindrer tilgangen af materiale til kysten ved at beskytte denne imod erosion og dermed fastlåse materialet. Derfor kan faste kystbeskyttelseskonstruktioner påvirke den naturlige frigivelse af sand, som kan medføre reduktioner i sandtilførslen og dermed forøget erosion. Hård kystbeskyttelse, som bølgebrydere og høfder vil som oftest medføre øget erosion nedstrøms for den beskyttede strækning. Disse konstruktioner flytter erosionen ned ad kysten.



Figur 4.20 Eksempel på virkning af hård skråningsbeskyttelse. Stranden er forsvundet. Liseleje før det "nye" bølgebryderprojekt.



Hård beskyttelse af kysten fjerner ikke årsagen til erosionen, som fortsætter i den ubeskyttede søværts del af kystprofilen. Skråningsbeskyttelse imod kronisk erosion kan derfor typisk medføre, at stranden bliver mindre og mindre for til sidst at forsvinde helt, hvilket kan medføre øget erosions-påvirkning af skråningsbeskyttelsen, hvorfor denne jævnligt skal forstærkes for at undgå tilbagerykning af kystlinjen og undgå skade på konstruktionen.

Man kan beregne langstransporten ved hjælp af formler eller computermødelles. I en situation, hvor kysten er i underskud af sand, som for eksempel ud for en hård skråningsbeskyttelse, hvor der ikke tidligere har været sandfodret, kan det være nødvendigt med en [initialfodring](#), som ikke bare kompenserer for det sand, der løbende føres bort med langstransporten, men også for det underskud af sand, som er skabt af erosion ud for skråningsbeskyttelsen. Dette er vigtigt at holde sig for øje, når en sandfodring skal beregnes og gentagelsesfrekvensen skal beregnes.

4.6 Oversvømmelse

Lavtliggende kystområder er gennem århundreder blevet oversvømmet i forbindelse med stormfloder, og mange vandløb går over deres bredder i forbindelse med en længere nedbørsperiode og skybrud. Oversvømmelser af normal eller ekstrem karakter er derfor helt naturlige hændelser i områder med vandløb, søer, flodmundinger og kyster. Men selvom oversvømmelser er naturlige, kan de udgøre en stor fare for de mennesker, som lever i de udsatte områder. Oversvømmelse af lavtliggende områder langs kysterne kan ske på forskellige måder afhængig dels af vandstands- og bølgeforhold, dels af baglandets opbygning. Ved bestemmelse af den nødvendige [geometri](#) på en konstruktion, der skal beskytte mod oversvømmelse, skal der derfor tages højde for vandstanden og effekten af bølgerne.

Vandstand

Vandstanden bestemmes ud fra det dimensionsgivende stormflodsniveau på stedet, for eksempel vandstanden med en [returperiode](#) på 50 år. Hertil lægges den forventede stigning i middelvandstanden i designperioden (levetiden) for eksempel 30 år.

Påvirkning af konstruktionen fra bølger

Bølger, der kommer ind mod konstruktionen, giver anledning til:

- **Bølgestuvning:** Den lokale hævnning af vandspejlet op mod konstruktionen. Ved en meget svagt skrånende forside, som ved en strand, kan denne estimeres til 30 % af bølgehøjden. På en mere stejl forside kan opstuvningen være forsvindende lille. Til gengæld kan der her ske erosion af forsiden af konstruktionen, som kan lede til brud.
- **Bølgeopløb** - eller bølgeopskyl - er bølgenes op- og nedløb på konstruktionen. Bølgeop- og tilbageløbet påvirker ved at slide på konstruktionens overflade og kan medføre skader, f.eks. huler, på overfladen. Yderligere kan der ske erosion af materialet under dækskene. Bølgeop- og tilbageløbets bidrag er af mindre betydning på den svagt skrånende forside, men kan på en stejle konstruktion udgøre op til 40 % af bølgehøjden.
- **Bølgeoverskyl** er betegnelsen for det vand, der skyller over konstruktionen, hvis en del af bølgen når over toppen, før den glider ned ad konstruktionen igen. Bølgerne kan medføre, at der skyller en vis mængde vand over konstruktionen. Dette kan være farligt på grund af erosion på konstruktionens bagside, og højden af konstruktionen skal være tilstrækkelig til at overskyllet er acceptabelt lille. Overskyllets størrelse kan også betyde oversvømmelser af baglandet, såfremt overskyl er relativt stor.

Der bør således inddrages flere parametre, når det skal vurderes, hvor langt vandet når op på en strand eller en konstruktion. For at vurdere risikoen for oversvømmelse af et lavtliggende kystnært område kan man lade sig inspirere af følgende situationer:

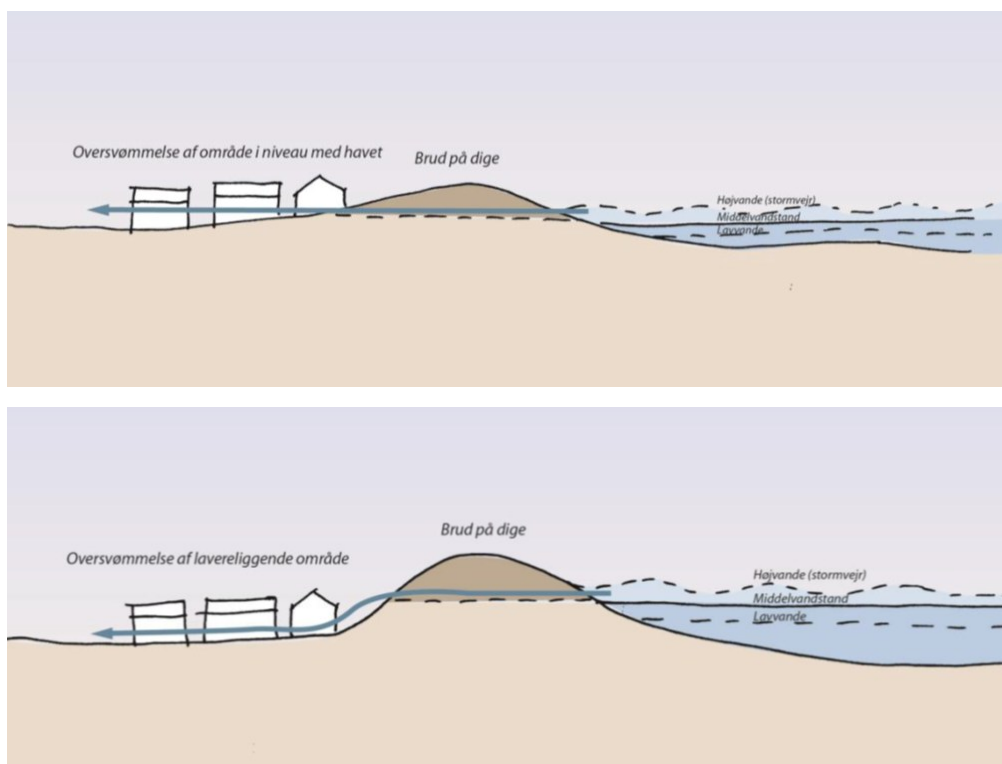
Naturlige områder

1. En jævnt skrånende kyst: Her anvendes bølgeopløbsniveauet beregnet for et strandprofil
2. Et lavtliggende bagland, der normalt ligger højere end havniveau, men dog under forhøjet vandstand ved stormflod og som er beskyttet imod oversvømmelse af en naturlig klitrække eller et dige: Her skal man i vurderingen medtage klitternes eller digets dimensioner og risikoen for, at der sker brud på disse. Omfanget af en evt. oversvømmelse er, ud over at være et resultat af evt. brud på klit eller dige, afhængig af, hvor lang tid stormen varer, og hvor lang tid, der går, før vandets niveau er tilbage til normal igen.

Inddæmmet land:

1. Et lavtliggende bagland, der ligger under havniveau, og som er beskyttet imod oversvømmelse af en dæmning. Eksempler på sådanne er for eksempel Lammefjorden og det sydøstlige Lolland. Brud på en sådant dæmning kan medføre alvorlige oversvømmelser, idet terrænniveauet er lavere end middelvandspejlet, og vandet således ikke umiddelbart dræner bort igen efter stormen efter et dæmningsbrud

Disse situationer er illustreret i nedenstående Figur 4.20.



Figur 4.21 Illustration af oversvømmelsessituationer.
Øverst: Naturligt lavtliggende bagland. Nederst: Inddæmmet bagland.

Den nødvendige højde er i det efterfølgende vurderet for to forskellige højvandsbeskyttelseskonstruktioner, dels i form af eksponerede diger beskyttet med skråningsbeskyttelse, dels højvandsbeskyttelse beliggende lidt længere inde i landet med et bredt forland eller en strand foran.

Eksponeret beskyttelse:

Med en forholdsvis stejl skråningsbeskyttelse på 1:4 eller 1:2 vil bølgeopstuvningen være ubetydelig, og en acceptabel overskylsmængde kan opnås med en topkote svarende til 1 bølgehøjde H over vandstanden V . Ligningen for topkoten af konstruktionen, TKK , bliver således:

$$TKK = H + V$$

Tilbagetrukket beskyttelse:

Trækkes højvandsbeskyttelsen tilbage, således at der er en strand eller et bredt forland foran konstruktionen ved daglig vande, og konstruktionen herved kan udføres som et traditionelt græsklædt dige, kan topkoten reduceres. Da den krævede topkote er afhængig af forlandets/strandens bredde, er det umuligt at anføre et generelt krav til topkoten, men et konservativt skøn kunne være:

$$TKD \text{ ca. } = 0,8H + V$$

Igen er H bølgehøjden, V vandstand under stormflod og TKD betegnelsen for topkoten af diget. De resulterende værdier er angivet i Tabel 4.4.

Farvandsområde	Bølgehøjde, H (m)	Total dimensionsgivende vandstand, V (m)	Topkote på bølgeekspanderet konstruktion, TKK (m)	Topkote på dige, TKD (m)
Fjorde og beskyttede områder	1,0	2,0	3,0	2,8
Vadehavet	3,0	4,7*	7,7	7,1
Bælter	2,5	1,9	4,4	3,9
Kattegat og Østersøen	3,5	1,9	5,4	4,7
Bornholm	4,0	1,5	5,5	4,7
Nordsøen	7,0	3,3	10,4	8,9

*Digerne i Vadehavet er typisk dimensioneret med en større [returperiode](#) end benyttet i denne tabel grundet det store bagland.

Tabel 4.4 Oversigt over krav til topkote for højvandsbeskyttelseskonstruktioner

4.7 Kombinerede hændelser

Det er vigtigt at være opmærksom på, at der kan forekomme kombinerede hændelser, som øger risikoen for oversvømmelse. Det er nemlig ikke ualmindeligt, at det under lavtrykspassager regner, hvorfor kraftig regn kan være sammenfaldende med højvande eller stormflod. Afsmeltning af sne og is, der bevirker en forøget afstrømning, kan ligeledes være medvirkende til øget sandsynlighed for oversvømmelse. Foregår disse processer nær et vandløb, kan regn og/eller afsmeltning af sne og is ligeledes forårsage, at nærliggende vandløb går over deres bredder. Højvande forårsager måske samtidig, at vandspejlsgradienten op i gennem et vandløb øges, hvorfor den naturlige afstrømning til havet midlertidigt begrænses og dette kan bevirke opstuvning og oversvømmelse.

Under højvande og stormflod kan der altså forekomme andre hændelser, som øger sandsynligheden for oversvømmelse, hvorfor det er vigtigt at holde sig dette for øje under screening af fare for oversvømmelse og ved etablering af kystbeskyttelsesforanstaltninger.



Figur 4.22 Udbredelse af oversvømmelse ved samtidig opstuvning af ferskvand i vandløbet på grund af forhøjet havvandstand (eksempel fra Horsens).

Til venstre: Oversvømmelsesudbredelse ved en 100 års vandføring ved en middelvandstand i havet (mørk blå), og en oversvømmelsesudbredelse ved en højvandshændelse i havet på 1,8 m (lys blå).

Til højre: Oversvømmelsesudbredelse ved en højvandshændelse i havet på 1,8 m og en samtidig opstuvning af en 100 års vandføring.

4.8 Klimaforandringer

De senere års mange oversvømmelser, kraftige storme, øget erosion, jordskred og andre klimatiske anormaliteter har øget fokus på klimaforandringer. Kombinationen af flere storme og forventede havspejlstigninger øger i høj grad faren for erosion og/eller oversvømmelse i kystområder. Danmarks omfattende kystlinje er ingen undtagelse.

De primære afledte effekter af klimaforandringer og temperaturstigninger er den generelle stigning i middelvandstanden, en stigning af stormvandstandene, forøget nedbør og et stigende grundvandsspejl.

For Danmark forudser DMI i perioden fra 2081-2100

- Op til 30 % mere vinternedbør, muligvis mindre sommernedbør, men større risiko for skybrud i sommer- forårs- og efterårsperioder
- Op til 4^o C varmere over året giver en længere vækstsæson
- Gennemsnitlig middel vandstandsstigning på 80 cm. Op til 1,2 m.

Der er forsat stor usikkerhed forbundet med, hvor store klimaforandringerne vil være, fordi forandringerne konsekvenser ikke kendes til fulde, og desuden afhænger klimaets udvikling af, hvad vi mennesker gør i fremtiden. Klimaændringerne indebærer derfor komplekse samspil, og sandsynlighed for, at de forskellige påvirkninger ikke er statiske, men forandrer sig løbende. Dog forudser alle scenarier for klimaforandringerne en højere eller lavere grad af stigning i havvandstanden.

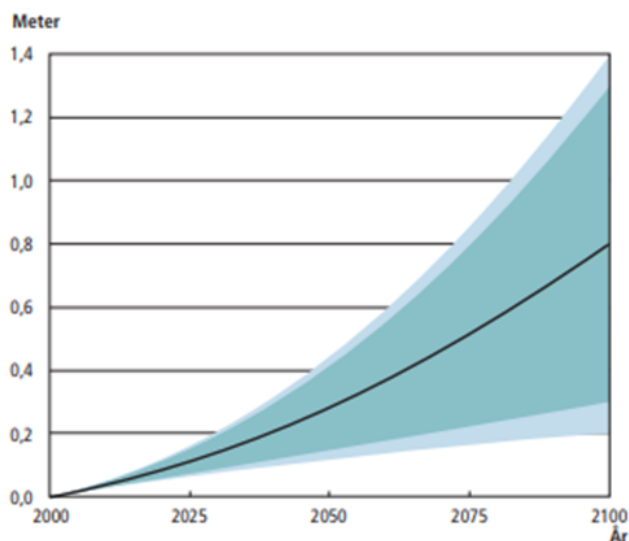
Det er derfor vigtigt at forstå, at det er en dynamisk og iterativ proces at arbejde med klimatilpasning. Beslutningsgrundlaget må derfor forventes at skulle opdateres og ændres, når nye oplysninger kommer til. Da klimaforandringerne sandsynligvis først bliver signifikante et stykke ind i fremtiden, vil konsekvenserne ligeledes først for alvor blive mærkbare efter en årrække. Det hindrer dog ikke, at klimaforandringerne på globalt og regionalt plan er reelle, og at der nødvendigvis allerede nu må udarbejdes strategier for kystens udvikling, således at risikoen for erosion og oversvømmelse kan minimeres.

Havvandstandsstigningerne vil forøge erosionen langs danske kyster. Selvom der ikke er en entydig tendens i fremskrivninger af de vejrfænomener, der forårsager stormfloder, så vil havvandstandsstigningerne forværre konsekvenserne af stormfloder.

Middelhavvandstand

Stigninger i havvandstanden er en afledt konsekvens af den globale opvarmning, hvor både smeltende ismasser og termisk ekspansion medvirker til højere middelvandstande. Der er dog en betydelig usikkerhed om, hvor meget og hvor hurtigt havvandstandene reelt vil stige. Dette afhænger nemlig af flere faktorer, herunder udviklingen i drivhusgassernes koncentration i atmosfæren. Den sandsynlige stigning i den globale og dermed den danske middelhavvandstand baserer sig på forskellige klimascenarier (Representative Concentration Pathways, RCP), som tager udgangspunkt i udviklingen af drivhusgassernes koncentration i atmosfæren.

Havet vil ikke stige jævnt over hele kloden. For Danmark gælder det ydermere, at der sker en landhævning og samtidig lokale sætninger, hvorfor der kan forventes forskellige påvirkninger langs de danske kyster. Prognoser, som angiver DMI's bedste bud på vandstandsstigningerne omkring Danmark frem til år 2100, er vist i figur 4.23.



DMI's bedste bud på vandstandsstigninger de næste 100 år i meter, når der ses bort fra landhævning. Den sorte kurve viser middelværdien, mens det grønne og blå areal viser usikkerheden henholdsvis globalt og omkring Danmark., Kilde: DMI

Figur 4.23 Forventede middelvandstandsstigninger

Det bemærkes, at der oftest i praksis benyttes centrale estimater af de forventede klimaforandringer, hvorfor udviklingen i realiteten enten kan gå hurtigere eller langsommere og blive større eller mindre. Derfor anbefales det at udføre en følsomhedsanalyse med udgangspunkt i det laveste og højeste scenarie og tage udgangspunkt heri ved beregning af variationen i den fremtidige risiko ved oversvømmelse.

Nedbør

Som en konsekvens af at middeltemperaturen stiger, vil Danmark fremover få ændrede nedbørsmønstre. Ekstrem nedbør i form af skybrud vil blive hyppigere med øget fare for oversvømmelser ikke mindst i byerne. Kombinationen af kraftig nedbør med højere havniveau fører til øget oversvømmelsesrisiko især i kystnære byer. Derfor skal fremtidig højvandssikring altså ikke alene beskytte mod indtrængende vand fra havet, men også kunne håndtere afstrømning af store mængder nedbør, der skal ledes ud til kysten fra det bagvedliggende opland.

Grundvand

Der er mange steder i Danmark, hvor grundvandet står så højt, at det ligger tæt ved overfladen. Med de forventede klimaforandringer vil grundvandsspejlet sandsynligvis stige endnu mere. Grundvandsstanden forventes at blive højere i vintermånederne og lavere i sommermånederne, men skybrud kan dog føre til et midlertidigt højt grundvandsspejl om sommeren. Det kan give problemer de steder i landet, hvor grundvandsspejlet i forvejen er højt, og hvor det så hæves yderligere af store mængder nedbør. På grund af den grundvandsdominerede hydrologi i Danmark vil oversvømmelser på lokalt plan i Danmark ofte være grundvandsbetingede. Samtidig vil havspejlstigningen og den hastighed, hvormed vandet stiger, også have indflydelse på grundvandsstanden. Da stigning i havvandsspejlet på grund af klimaforandringer vil ske over en lang tidshorizont, vil påvirkningen fra stigende havvand på grundvandsstanden være af mere permanent karakter i modsætning til de relative kortvarige forandringer i grundvandsstanden, der for eksempel ses hen over et år eller i tilfælde af stormflod.

4.9 Valg af kystbeskyttelse

Når det er valgt, at der skal udføres kystbeskyttelse, er det også underforstået, at der er en risiko for erosion, oversvømmelse eller begge dele. Deri ligger også implicit, at risikoen er så stor, at en investering i kystbeskyttelse er den bedste løsning. For at sikre størst muligt udbytte af en sådan investering i kystbeskyttelse, er det afgørende, at der opstilles en målsætning for kystbeskyttelsens funktion over dens levetid.

Først når der er opstillet en målsætning, kan det beslutes hvilken kystbeskyttelse, der vil være bedst egnet. Målsætningen kan bestå af flere delmålsætninger. Et eksempel kan være, at en grundejer har en målsætning om, at der i løbet af højvandsbeskyttelsens levetid på 40 år, ikke løber mere en 0,5 m³ vand pr. meter i sekundet over højvandsbeskyttelsen ved en 100-års storm. Desuden er der en målsætning, at højvandsbeskyttelsen ikke må være højere end kote 3,2 af hensyn til udsigten fra stuen.

Et andet eksempel på en målsætning kunne være, at udgiften til beskyttelse mod risikoen for erosion i en levetid på 50 år altid er mindre end 15.000 kr. pr år, samt at strandens bredde ved kote 0 er mindst 10 meter.

I dette kapitel vil der blive opstillet en mulig fremgangsmåde til valg af kystbeskyttelse. Fremgangsmåden indeholder følgende trin:

1. Klassificering af kysten
2. Sårbarhed og kategorisering af risikoen i forhold til erosion
3. Sårbarhed og kategorisering af risikoen i forhold til oversvømmelse

4.9.1 Klassifikation af kysten

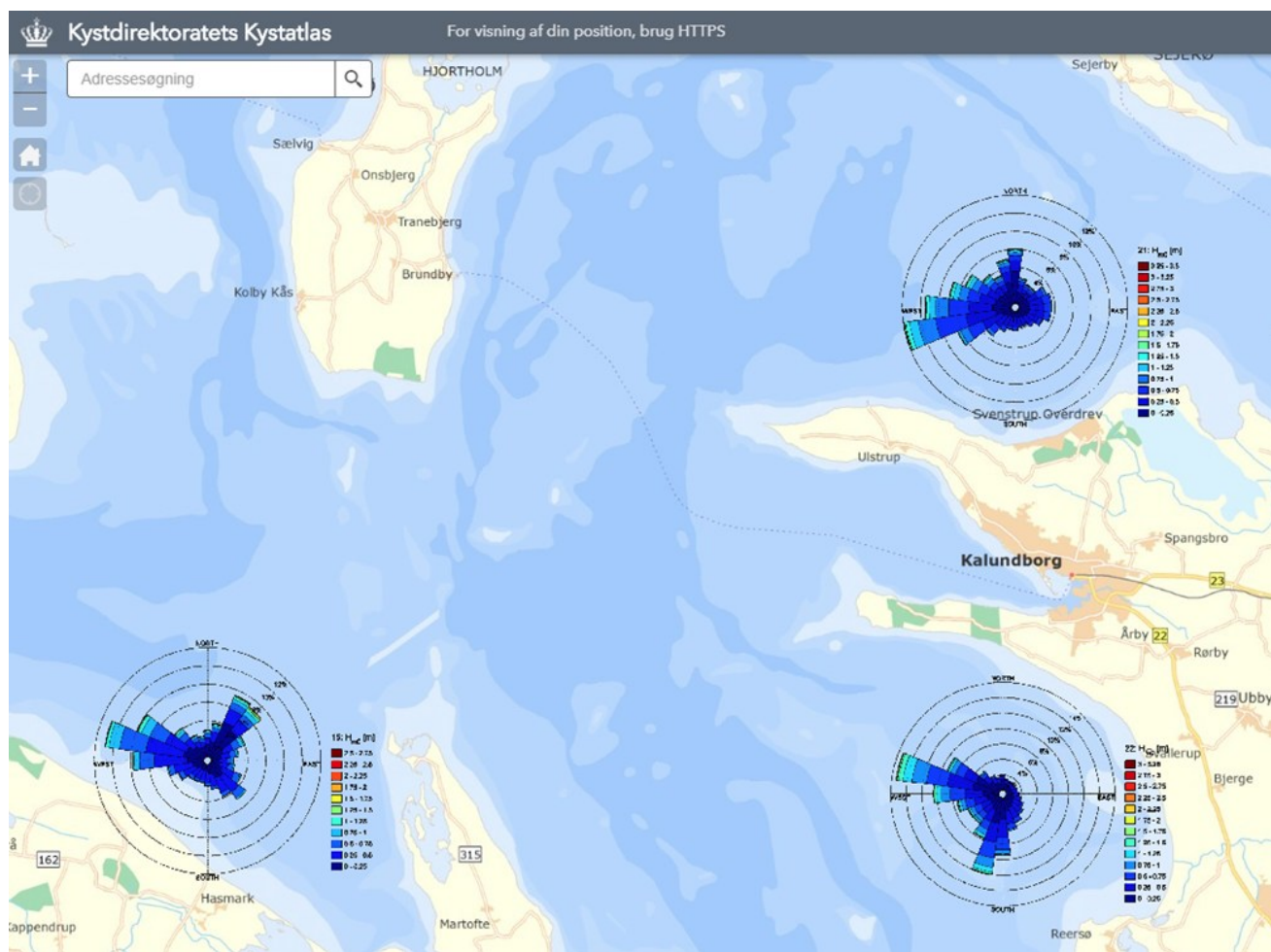
Første trin omhandler en klassifikation af kysten. I det følgende vil det blive forklaret, hvordan kysterne klassificeres, og hvordan denne klassifikation anvendes som udgangspunkt for valg af kystbeskyttelse.

Næsten lige kystlinjer

Strækninger med næsten lige kystlinjer inddeles i fem hovedtyper baseret på de for kystdynamikken dominerende bølgers vinkel på dybt vand i forhold til kystnormalen (linje vinkelret på kystlinjen).

1. Vinkelret bølgeretning, dybtvands-bølgeretning tæt på 0.
2. Næsten vinkelret bølgeretning, dybtvands-bølgeretning tæt på 1°-10°. Netto langsgående sedimenttransport lille til moderat.
3. Moderat skrå bølgeretning, dybtvands-bølgeretning tæt på 10°-50°. Stor netto langsgående sedimenttransport.
4. Meget skrå bølgeretning, dybtvands-bølgeretning tæt på 50°-85°. Stor netto langsgående sedimenttransport.
5. Næsten kystparallel bølgeretning, dybtvands-bølgeretning >85°. Netto langsgående sedimenttransport tæt på 0.

De dominerende bølgers størrelse og retning kan blandt andet findes på www.kystatlas.dk, se et eksempel på figur 4.24.

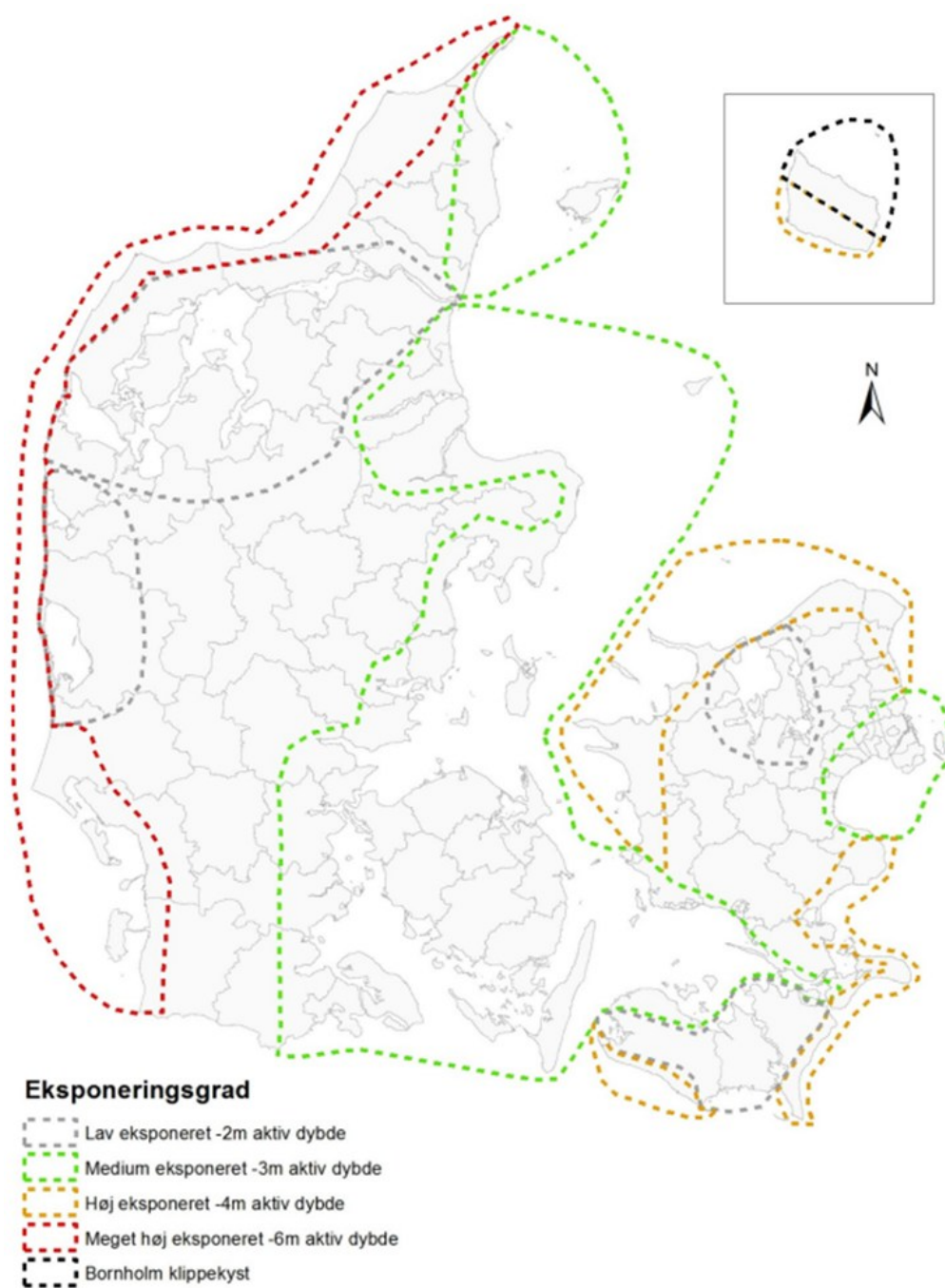


Figur 4.24 Oplysninger om bølge-højde-retning samt hyppighed fra www.kystatlas.dk

Mere detaljerede oplysninger kan desuden findes på <https://www.dhigroup.com/marine-wa-ter/metocean-data-portal>.

Dernæst underopdeles kystklassifikationen i henhold til, hvor kraftig en bølgepåvirkning, som kysten udsættes for - kendetegnet ved den karakteristiske bølgehøjde, som overskrides 12 timer pr. år, $H_s, 12 \text{ t/år}$:

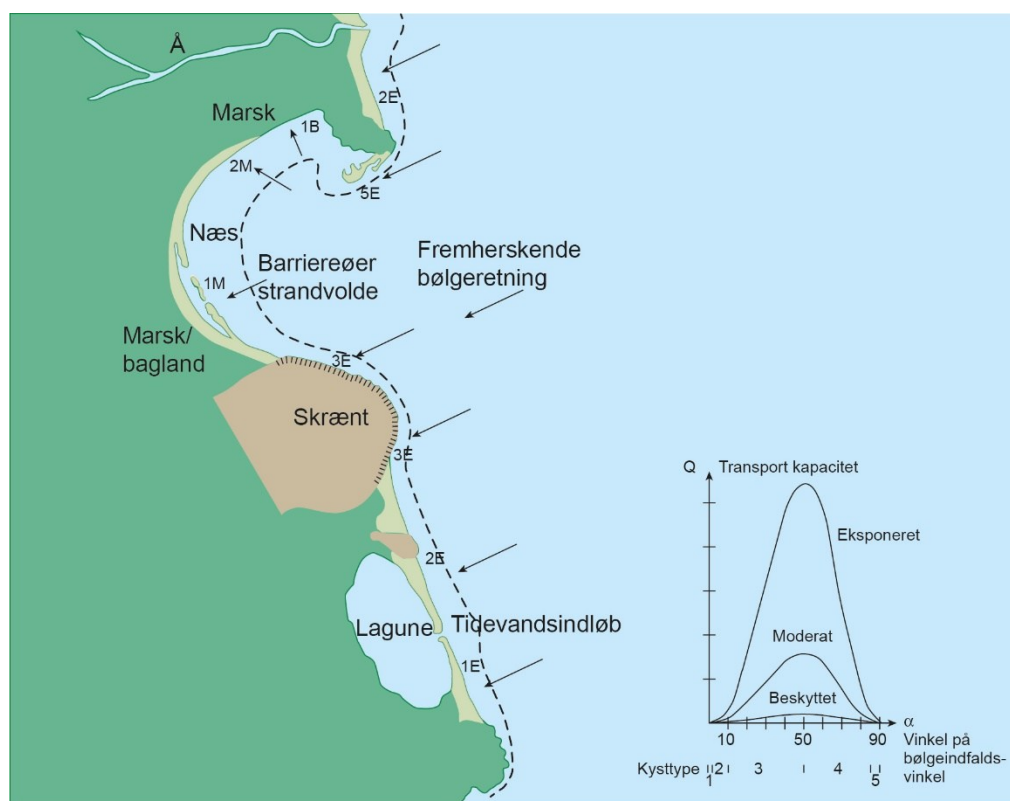
- B: beskyttet kyst (protected), $H_s, 12 \text{ t/år} < 1 \text{ m}$
- M: moderat eksponeret kyst (moderately exposed), $1 < H_s, 12 \text{ t/år} < 3 \text{ m}$
- E: eksponeret kyst (exposed), $H_s, 12 \text{ t/år} > 3 \text{ m}$



Figur 4.25 Eksponeringsgraden og den bølgebetingede aktive dybde

Figur 4.25 viser et eksempel på eksponeringsgrader.

På figur 4.26 og i tabel 4.5 vises kystklassificering samt de tilhørende karakteristiske landformer.



Figur 4.26 Kystklassifikation, bølgepåvirkning og morfologiske karakteristika.

Tabel 4.5 Kystklassifikation som funktion af bølgeindfaldsvinklen, bølgeeksponeringen og de karakteristiske landformer

Kysttype	Bølgeindfaldsvinkel (0°= kystnormal)	Eksponeringsgrad	Kystens hovedkarakteristika
1B	0°	Beskyttet	Marsk
1M		Moderat	Smal, stabil sandstrand, barriereøer, næs/tanger
1E		Eksponeret	Bred, stabil sandstrand, barriereøer, næs/tanger
2B	1°-10°	Beskyttet	Marsk
2M		Moderat	Smal, stabil sandstrand, barriereøer, næs/tanger
2E		Eksponeret	Bred, stabil sandstrand, barriereøer, næs/tanger
3B	10°-50°	Beskyttet	Marsk
3M		Moderat	Smal ral/sandstrand af varierende stabilitet, skrænter eller klitter
3E		Eksponeret	Bred ral/sandstrand af varierende stabilitet, skrænter eller klitter
4B	50°-85°	Beskyttet	Marsk
4M		Moderat	Smal, ustabil sand/ralstrand, barriereøer, tanger/næs
4E		Eksponeret	Bred, ustabil sand/ralstrand, barriereøer, tanger/næs
5B	85°-90°	Beskyttet	Marsk
5M		Moderat	Sandkyster, aflejringslandformer, tanger/næs
5E		Eksponeret	Sandkyster, aflejringslandformer, tanger/næs

B: Beskyttet kyst (B), $H_s, 12/\text{år} < 1\text{m}$ M: Moderat eksponeret kyst (M), $1 < H_s, 12/\text{år} < 3\text{m}$

E: Eksponeret kyst (E), $H_s, 12/\text{år} > 3\text{m}$

Den ovenfor angivne klassifikation er vejledende. Andre parametre som sedimentkilder fra na-boområder, sæsonvariationer i bølger og vandstande kan også være vigtige.

I nedenstående tabel ses et eksempel på, hvornår høfder og bølgebrydere kan anvendes afhængig af kysttype og eksponeringsgrad.

Tabel 4.6 Anvendelse af høfder og bølgebrydere afhængig af kysttype og eksponeringsgrad

Kysttype\Eksponeringsgrad	Høfder			Bølgebrydere		
	B	M	E	B	M	E
Type 1	-	X	X	-	X	X
Type 2	-	X	X	-	X	X
Type 3	-	(-)	(-)	-	(X)	(X)
Type 4	-	-	-	-	-	-
Type 5	-	-	-	-	-	-

Den specifikke kysttype definerer hvilken kystbeskyttelsesmetode eller kombination, som kan tages i anvendelse.

Odder

Der er to forskellige former for sandodder. Odder med næsten vinkelret bølgeindfald (klasse 1M til 2E som benævnes barriereøer) og odder med meget skråt indfaldene bølger (klasse 4-5M til 4.5E, som benævnes akkumulerende odder), se Figur 4.26.

Barriereøer og odder kan have deres oprindelse i to typer af mekanismer, en langsgående forsyning af sediment fra nabostrækninger, eller en tværgående sedimenttransport fra dybere vand. Disse formationer er meget morfologisk aktive, hvilket vil sige, at formen kan ændres meget. Derfor skal det undgås at planlægge for eksempelvis boliger i disse områder.

Akkumulerende odder optræder typisk for enden af en kyststrækning med meget skråt indfaldene bølger, hvor sand aflejres som følge af en aftagende langsgående sedimenttransport. Ved meget skråt indfaldende bølger er kystudviklingen ofte ustabil, og udvikling i disse områder skal overvejes nøje.

Barriereøer og tidevandsløb

Barriereøer løber parallelt med kysten og er adskilt fra hovedlandet af et tidevandsområde, hvis hældning typisk er fladere, end den hældning som svarer til et ligevægtsprofil. Der er forskellige sedimenttransportmekanismer, som afhænger af tidevand, bølger, sedimenttilførsel og det bagvedliggende tidevandsområde. Samspillet kan både medføre erosion af barriereøerne eller aflejring af sediment, afhængig af de lokale forhold.

4.9.2 Sårbarhed og kategorisering af risikoen i forhold til erosion

Sårbarhed og risikokategorier benyttes for kyster, der er udsat for erosion, til at finde den mest velegnede type kystbeskyttelse mod akut erosion og / eller kronisk erosion. Valg af kystbeskyttelse vil desuden afhænge af:

- Kysttype
- Landanvendelse
- Strandanvendelse
- Ressourcer (management og design, udstyr og tilgængelige materialer)
- Økonomi
- Påvirkning på miljøet
- Badesikkerhed (på rekreative strande)

I Tabel 4.7 gives der overblik over de forskellige kystbeskyttelsesmetoder som funktion af risikokategorier, landanvendelse og beskyttelsesniveau. De foreslåede risikokategorier er relateret til to hovedtemaer:

1. Risikoen for skade på infrastruktur i tilfælde af kritisk erosion, hvis området ikke beskyttes.
2. Risikoen for tab af strand i områder med kritisk erosion og hvor der i forvejen er passiv erosionsbeskyttelse

Tabel 4.7 Overblik over foreslåede kystbeskyttelsesmetoder som funktion af risikokategorien, landanvendelse og beskyttelsesstatus

Type af erosion	Situation	Erosionsstatus	Anvendelse	Nuværende beskyttelse	Risiko kategori	Type af tiltag
Akut	Reversibel (temporær)	Akut tilbagevinding mindre end bufferbredden	Land	Ikke beskyttet	Sårbar for erosion men ikke kritisk for faciliteter	Sandfodring eller aktivt kystdræn for at vedligeholde bred strand, indføre statisk setback -linie
			By	Beskyttet eller ikke		
	Ikke reversibel (permanent)	Akut tilbagevinding større end bufferbredden	Land	Ikke beskyttet	Ikke kritisk pt.	Indføre statisk setback-linie
			By	Ikke beskyttet	Kritisk overfor skade på permanente faciliteter	Sandfodring, passiv skråningsbeskyttelse (begravet) eller kombineret beskyttelse
				Beskyttet og eksponeret	Kritisk fordi stranden forsvinder	Sandfodring kan overvejes for at retablere sandstranden, men ingen tiltag nødvendig for at beskytte faciliteter
				Begravet beskyttelse	Kritisk for tab af strand	Sandfodring kan overvejes
Kronisk	Umiddelbar erosion	Ikke kritisk indenfor 2 år	Land	Ikke beskyttet	Sårbar for erosion men ikke kritisk for faciliteter	Ingen
			By	Beskyt eller ej		
		Kritisk indenfor 2 år	Land	Ikke beskyttet	Ikke kritisk pt.	Indføre statisk setback-linie
			By	Ikke beskyttet	Kritisk overfor skade på permanente faciliteter	Sandfodring, Katastrofe beskyttelse (midlertidig) eller skråningsbeskyttelse
				Beskyttet og eksponeret	Kritisk fordi stranden forsvinder	Sandfodring kan overvejes for at retablere sandstranden, men ingen tiltag nødvendig for at beskytte faciliteter
				Begravet beskyttelse	Kritisk for tab af strand	Sandfodring kan overvejes
	Langtids erosion	Ikke kritisk indenfor 20 år	Land	Ikke beskyttet	Sårbar for erosion men ikke kritisk for faciliteter	Indføre statisk setback-linie
			By	Beskyt eller ej		
		Kritisk indenfor 20 år	Land	Ikke beskyttet	Ikke kritisk	Indføre statisk setback-linie
			By	Ikke beskyttet	Kritisk overfor skade på permanente faciliteter	Kyststabilisering er nødvendig
				Beskyttet og eksponeret	Kritisk fordi stranden forsvinder	Strand-retablering nødvendig
				Begravet beskyttelse	Kritisk for tab af strand	Strand-retablering nødvendig

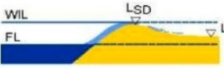
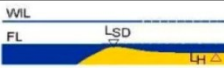
4.9.3 Sårbarhed og kategorisering af risikoen i forhold til oversvømmelse

Sårbarheden og risikokategorier benyttes for oversvømmelsestruede kyster til at finde den mest effektive beskyttelse mod oversvømmelse. Bemærk at der også kan være erosion af oversvømmelsestruede kyster. Valg af kystbeskyttelse vil afhænge af:

- Baglandets niveau (LH) relativt til stormflodsvandstandens niveau (FL)
- Kystbeskyttelsens niveau (SD) i forhold til FL og bølgepåvirkningsniveau (WIL)
- Typen af bagland, land eller by
- Størrelsen af baglandet, hvis niveauet er lavere end FL (stort eller lille)

Sårbarheden og risikokategorier i forhold til oversvømmelse ses i Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Sårbarhed og risikokategorier i forhold til oversvømmelse

Niveau af bagland L_H		Beskyttelses-status og niveau af beskyttelse (SD)* L_{SD}	Illustration	Udnyttelse af lavtliggende bagland	Risiko kategori og bemærkning	
$L_H > FL$	$L_H > WIL$	$L_{SD} > WIL$		Alle typer	Ingen risiko	
	$L_H < WIL$	Lav beskyttelse $FL < L_{SD} < WIL$		Alle typer	Ingen risiko for oversvømmelse, sårbar overfor at baglandet bliver vådt	
$L_H < FL$		Lav beskyttelse $FL < L_{SD} < WIL$		Land/alle størrelser	Risiko for moderat oversvømmelse, hvis oversvømmelsesbeskyttelsen er stabil.	Ikke kritisk da oversvømmelse af bagland er en naturlig proces
				By/lille	Risiko for store oversvømmelser, hvis beskyttelsen ikke er stabil	Moderat kritisk fordi det potentielle oversvømmelsesareal er lille
				By/stor		Kritisk fordi større områder måske oversvømmes i tilfælde af et brud på beskyttelsen. Check status på beskyttelsen
		Ingen beskyttelse $L_{SD} < FL$		Land		Ikke kritisk, sårbar overfor stor oversvømmelse, indfør bindinger gennem planlægning
				By/lille		Kritisk overfor oversvømmelsesskade, introducer beskyttelse i forhold til den potentielle skade
				By/stor		

Hvis der også sker erosion på strækningen, skal dette indtænkes i anvendelse af Tabel 4.8. Dette kan gøres ved at tage hensyn til hvilken erosion, der kan forekomme (akut, kronisk eller begge dele) samt erosionens varighed. Bemærk, at erosion ofte er en irreversibel proces. Det vil sige, at risikoen forøges for hver erosionshændelse.

4.9.4 Fastsættelse af målsætning for kystbeskyttelsen

Der er en række overvejelser, som bør gøres, inden valget af kystbeskyttelsesmetoder kan foretages. I det følgende præsenteres en proces, som kan understøtte disse overvejelser:

1. Fastsættelse af den acceptable risiko i forhold til erosion og/eller oversvømmelse

Indledningsvis skal der fastsættes et mål for den grad af beskyttelse, der ønskes i forhold til erosion og/eller oversvømmelse. Et sådant mål må nødvendigvis variere fra sted til sted afhængigt af de lokale forhold. Det er imidlertid aldrig muligt at beskytte sig fuldstændigt.

Ved en vurdering baseret på risiko lægges der vægt på at finde det niveau for kystbeskyttelse (strukturelt eller ikke-strukturelt), der ud fra et menneskeligt og samfundsøkonomisk perspektiv tilgodeser området bedst muligt.

Risikoen er det ideelle udgangspunkt for valg af målsætning, fordi risikoen både tager hensyn til værdien af det, som beskyttes, og sandsynligheden for at disse værdier beskadiges ved erosion og/eller oversvømmelse. Hvis man begrænser sig til de værdier, som direkte kan prissættes, kan risikoen udtrykkes i kr. pr. år. Københavns kommune har i deres klimatilpasningsplan /2/ angivet, at risikoen for oversvømmelse af København er uacceptabel, såfremt den overstiger 1500 mio. kr. på 10 år, dvs. ca. 150 mio. kr. om året.

Der kan også anlægges et sandsynlighedskriterium, som udtrykkes i %. Eksempelvis kan det bestemmes, at sandsynligheden for at kystbeskyttelsen svigter højst må være 50 % i løbet af levetiden. Til at fastlægge det samfundsøkonomisk optimerede sikringsniveau for et område kan det, foruden en kortlægning af risikoen, også være nyttigt at gennemføre en interessentanalyse og en økonomisk analyse, der viser sparede skadesomkostninger og samfundsøkonomiske gevinster sat overfor investerings- og driftsomkostninger ved kystbeskyttelse.

2. Fastsættelse af levetiden

Det er vigtigt at definere levetiden (L) under udarbejdelsen af et projekt, fordi påvirkningerne over tid ændres på grund af klimaforandringer. Den valgte levetid er også medbestemmende for nedsættelse af risikoen for oversvømmelse/erosion og det således valgte acceptable risiko. Den valgte levetid er afhængig af typen af projektet, størrelsen af det beskyttede område, samt hvad der ønskes beskyttet. Tabel 4.9 viser mulige valg til levetider.

Tabel 4.9 Eksempler på valg af mulige levetider i år som funktion af projekt, størrelse af beskyttet område og det som beskyttes

Type af projekt	Hvad beskyttes?	Størrelse af beskyttet område	Levetid i år
Naturrelateret beskyttelse (klitter eller sandfodring)	Landbrugsland og rekreative faciliteter	Lille	~20
		Stort	~50
	Bebyggelser og infrastruktur	Lille	~30
		Stort	~100
Fast beskyttelse (mur eller diger, hård konstruktioner, f.eks. skråningsbeskyttelse)	Landbrugsland og rekreative faciliteter	Lille	~50
		Stort	50-100
	Bebyggelser og infrastruktur	Lille	~100
		Stort	>100

3. Fastsættelse af design-returperioden

Design-retur perioden (T_d) anvendes til at dimensionere en kystbeskyttelsesforanstaltning i forhold til en given hændelse. Sammenhængen mellem sandsynlighed, levetid og design-returperiode er givet ved formelen:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_d}\right)^L$$

Sammenhængen er præsenteret i Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Sammenhæng mellem sandsynlighed, levetid og returperiode

Levetid L [år]	Returperiode T [år]							
	5	10	25	50	100	500	1.000	10.000
1	18	10	4	2	1	0	0	0
5	63	39	18	10	5	1	0	0
10	86	63	33	18	10	2	1	0
30	100	95	70	45	26	6	3	0
50	100	99	86	63	39	10	5	0
100	100	100	98	86	63	18	10	1
200	100	100	100	98	86	33	18	2
500	100	100	100	100	99	63	39	5

4. Fastsættelse af stormflodsvandstand inklusiv klimatillæg

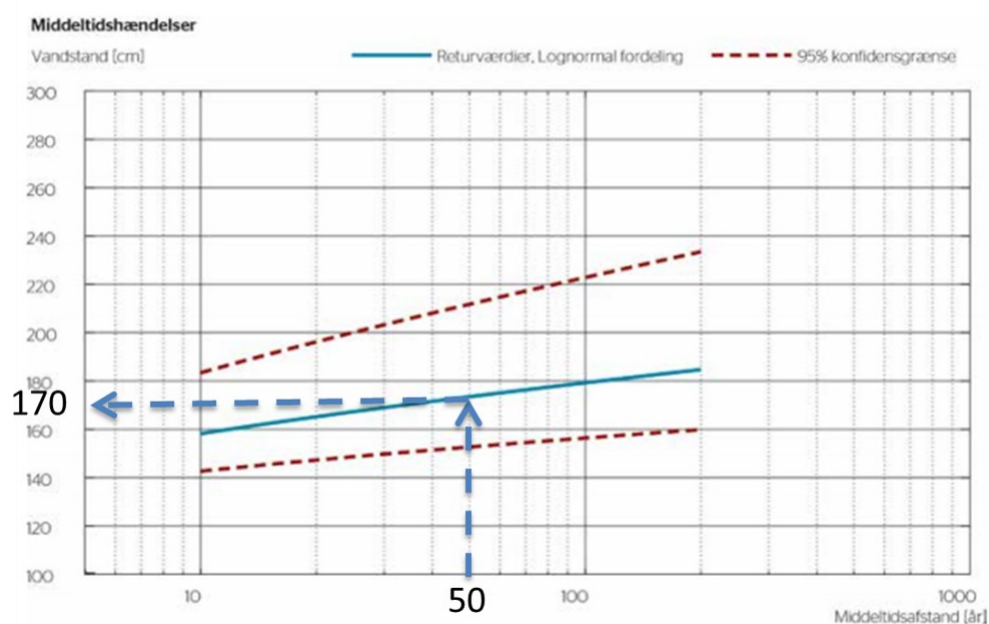
Nu er der valgt en [returperiode](#) T_d , og det skal bestemmes, hvilken vandstand denne modsvarer i forhold til at kunne vælge og dimensionere kystbeskyttelsen under hensyntagen til de vedtagne målsætninger.

Vandstanden måles forskellige steder i Danmark. Baseret på disse målinger beregner Kystdirektoratet en såkaldt højvandsstatistik, hvor den statistiske sammenhæng mellem vandstand og returperiode/middeltidshændelse er fastlagt.

Figur 4.27 viser højvandsstatistikken for Assens Havn. Returperioden er vist ud ad X-

aksen, og den tilhørende vandstand vises op ad Y-aksen. De stiplede linjer angiver usikkerheden for vandstanden. Usikkerheden afspejler typisk dataperiodens længde, idet en kort dataperiode øger usikkerheden på den statistiske sammenhæng mellem højvandstand og returperiode. Usikkerheden kan dog også være forårsaget af, at stormvandstandene på en given lokalitet skyldes forskellige meteorologiske fænomener, som har hver deres forskellige statistiske ophæng.

Hvis perioden, hvori vandstandene er målt, er relativt kort, er det ikke muligt at angive høje returperioder uden en meget stor usikkerhed. Derfor stopper eksempelvis kurven for Assens ved en returperiode på 200 år.



Figur 4.27 Højvandsstatistik for Assens havn. Dataperiode 16 år

Af figuren ses, at vandstanden for en 50-års [returperiode](#) ved Assens er 170 cm.

Til den fundne vandstand skal nu lægges den klimabetingede stigning i den årlige middelvandstand i levetiden. Det er en stor udfordring i denne sammenhæng, at der er beregnet en række scenarier for mulige klimaforandringer af det internationale klimapanel IPCC. Det vides ikke hvilket, som vil være det mest realistiske, men valget af mulig fremtidig havspejlsstigning bør afhænge af, hvor stor risikoen er for forskellige scenarier, hvilket forsimplet er udtrykt i Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Vejledende klimabetingede stigninger i årlig middelvandstand i relation til det, som beskyttes

Type af infrastruktur	Konsekvens af svigt	Typisk vandstandsstigning [m] i år			
		2030	2050	2100	Senere end 2100
Landbrugsland og rekreative faciliteter	Lav	0,1-0,2	0,2-0,4	0,5-1,0	Op til 1,2
Bebyggelser og infrastruktur	Medium	0,15-0,3	0,3-0,6	1,0-1,2	Op til 1,5
Større bebyggelser og offentlige anlæg	Høj	0,2-0,4	0,4-0,8	1,1-1,5	Op til 2,0 eller højere

Brugen af ovenstående fremgangsmåde kan føre til forskellige designvandstande inklusiv klimatilæg, som vist i Tabel 4.12.

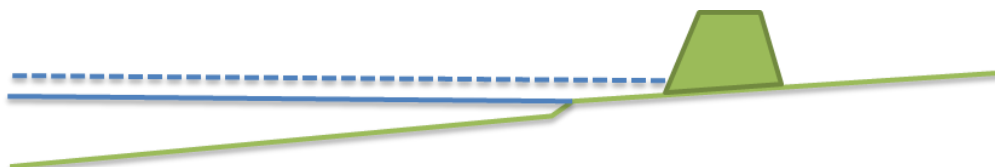
Tabel 4.12 Eksempel på proces for valg af designvandstand under påvirkning af klimaforandringer

Trin	Type af projekt	
	Landbrugsland beskyttet af dige	Mindre infrastruktur bygget på indvundet land
Levetid	20 år	100 år
Klimascenarie og værdi for vandstand	Lavt, 0,15 m	Middel, 1,1 m
Acceptabel sandsynlighed i %	65 %	15 %
Returperiode (Td)	20 år	500 år
Design vandstand eksklusiv vandstandsstigning	1,3 m	1,7 m
Design vandstand inklusiv vandstandsstigning	1,45 m	2,8 m

5. Valg af yderligere målsætninger

De naturlige kyster har mange værdier, som gør at mennesker gerne vil bosætte sig og opholde sig ved kysterne, selvom der er fare for erosion og/eller oversvømmelse. Forskellige former for kystbeskyttelse kan muliggøre bosættelse meget tæt ved kysten. Omvendt kan samme kystbeskyttelse betyde, at de eftertragtede kystværdier reduceres eller helt forsvinder.

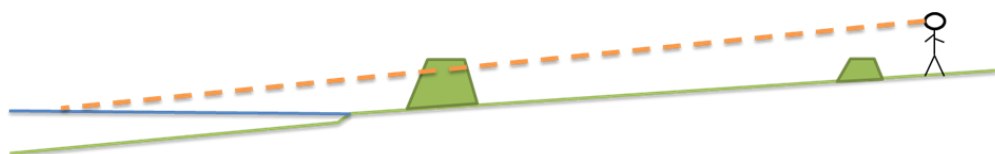
Et eksempel kan være, at forlandet forsvinder, hvis et dige placeres meget kystnært og vandstanden stiger, se figur 4.28.



Figur 4.28 Forland forsvinder ved stigende vandstand og kystnært placeret dige

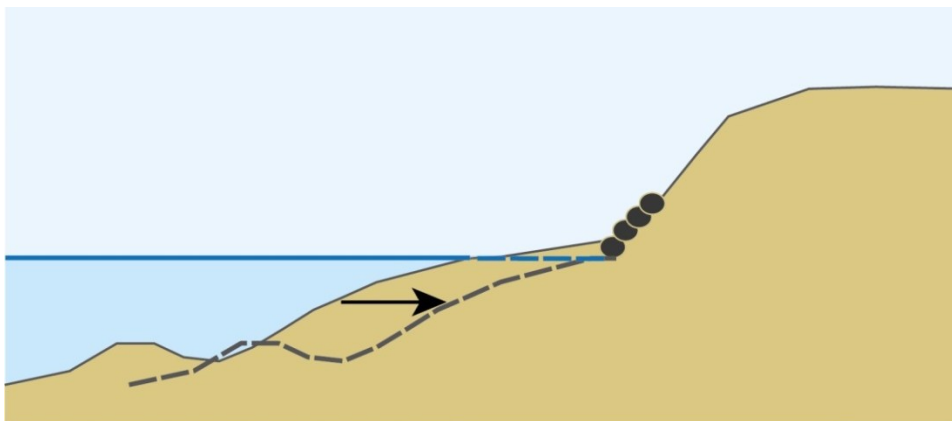
Derfor kan risiko- eller sandsynligheden-for-svigt målsætningen suppleres med en målsætning om, at diget skal placeres, så der i løbet af levetiden skal være et forland på mindst en given bredde. Derved vil diget ofte kunne bygges lavere, fordi påvirkningen fra havet reduceres.

Et andet eksempel er at diget fjerner udsigten til havet, hvis det placeres kystnært i stedet for tæt ved den bebyggelse, som ønskes beskyttet. Figur 4.29 viser et eksempel herpå. Digets kote/højde over middelvandstanden er den samme i figuren. I praksis vil digets kote/højde typisk kunne udføres lavere, fordi bølgerne mister energi og er lavere i større afstand fra kystlinjen. Målsætningen kan derfor suppleres med, at diget skal udføres, så udsigten til havet bibeholdes gennem levetiden.



Figur 4.29 Kystnær placering af dige kan fjerne udsigten

På kyster med erosion kan kystbeskyttelsen bevirke, at stranden helt forsvinder, så det ikke længere er muligt at gå langs med kysten eller opholde sig på stranden, se figur 4.30. Fordi skrænten låses fast og erosionen foran fortsætter, sker der ligeledes en [forstejling](#) af kystprofilen.



Figur 4.30 Stranden forsvinder foran skråningsbeskyttelse over tid, fordi erosionen fortsætter.

Der kan derfor suppleres med en målsætning om, at der skal opretholdes en strand af en vis bredde ved normal vandstand i anlæggets levetid. Dette kan opnås gennem jævnlige sandfodringer. En sådan strand vil desuden bevirke, at skråningsbeskyttelsen kan gøres lavere, fordi stranden bevirker, at bølgerne brydes, før de rammer skråningsbeskyttelsen og derved har tabt en del af deres energi.

6. Valg af kystbeskyttelsesmetoder

Det er afgørende for valget af kystbeskyttelsesmetoder, at der er en grundlæggende forståelse for kystdynamikken på strækningen, både på kort men især også på lang sigt. Derved kan der opnås en forståelse for, hvilke metoder, som vil være velegnede under de givne forudsætninger og hvilke, som ikke vil være det. Grundejeren skal i sin ansøgning gøre rede for metodens effekt og virkning. Grundejeren kan evt. henvende sig til en rådgiver, såfremt der er behov for bistand til at redegøre for dette. Det er i sidste instans myndigheden, som vil skulle foretage den endelige vurdering af, om den ansøgte metode har den ønskede virkning, og at denne ikke har skadesvirkninger.

Følgende opmærksomhedspunkter iagttages i forbindelse med valget af kystbeskyttelsesmetoder:

- Vælg en løsning som passer til den pågældende kyststrækning og som opfylder flest muligt af de mål, som interessenterne har sat op.
- Kysten er grundlæggende et dynamisk landskab. Opførelse af strukturer på kysten ændrer landskabet og påvirker kystdynamikken.
- U hensigtsmæssig eller u virksom, gammel kystbeskyttelse bør så vidt muligt fjernes.
- Vær opmærksom på så vidt muligt at fremme adgang til og langs stranden.
- Strande, der er eksponeret for bølger, kan ikke benyttes til badning under alle vejrforhold, men de har typisk god vandkvalitet, mens strande, som er beskyttet af hårde kystbeskyttelses anlæg ofte har vedvarende reduceret badesikkerhed, smallere strand og dårligere vandkvalitet.
- Hvis kysten i forvejen er stærkt beskyttet, kan der måske udvikles mindre områder på stranden, hvor tilgængeligheden er god og der er mulighed for at bade og udnytte stranden rekreativt.
- Ved kommunale fællesprojekter skal også det økonomiske hensyn iagttages, da ejere af fast ejendom kan pålægges en bidragspligt. Der skal være proportionalitet mellem omkostningerne til kystbeskyttelsesforanstaltningen og de værdier, som ønskes beskyttet.

Ovenstående kan sammenfattes i, at kystbeskyttelse opererer i krydsfeltet mellem behovet for beskyttelse af mennesker og ejendom og behovet for beskyttelse af de naturlige og landskabelige værdier. For at imødekomme begge beskyttelsesbehov vil der i denne sammenhæng ofte være brug for langsigtede helhedsløsninger, der omfatter længere kyststrækninger.

5. Kystbeskyttelsesmetoder

Der vil i dette kapitel blive redegjort for forskellige typer af kystbeskyttelsesmetoder. Der er udarbejdet et skema, som anvendes for hvert af de respektive beskyttelsestiltag. Skemaformen er valgt for at give et hurtigt overblik over mulige kystbeskyttelsesløsninger. Skemaet indeholder oplysninger om bl.a. det enkelte anlægs virkning og vedligeholdelse. Endvidere er der opgivet et estimat over anlægsomkostninger. Alle priser er baseret på rapporten "Kystdynamik og kystbeskyttelse, naturlige erosions- og oversvømmelses processer – beskyttelsesmetoders virkning og økonomi" (DHI, Hasløv & Kjærsgaard, april 2015), som blev udarbejdet i forbindelse med "Kystanalysen Det er vigtigt at understrege, at der er tale om et estimat, og at der er en stor usikkerhed forbundet med prissætning af anlægsprojekter. Man bør derfor altid forholde sig til lokale forhold. Private grundejere kan med fordel indhente overslag fra forskellige entreprenører i forbindelse med udarbejdelse af et skitseprojekt. Kommunale bygherrer skal dog altid iagttage de til enhver tid gældende udbudsregler.

Der skal særligt gøres opmærksom på kategorien "dimensioneringsgrundlag", da de oplistede punkter under denne kategori angiver forhold, som med fordel kan indgå i en evt. drøftelse med rådgiver og ansøger.

Kapitlet er opdelt i et afsnit 5.1, der omhandler tiltag, der beskytter mod erosion og et afsnit 5.2, der redegør for metoder til oversvømmelsesbeskyttelse.

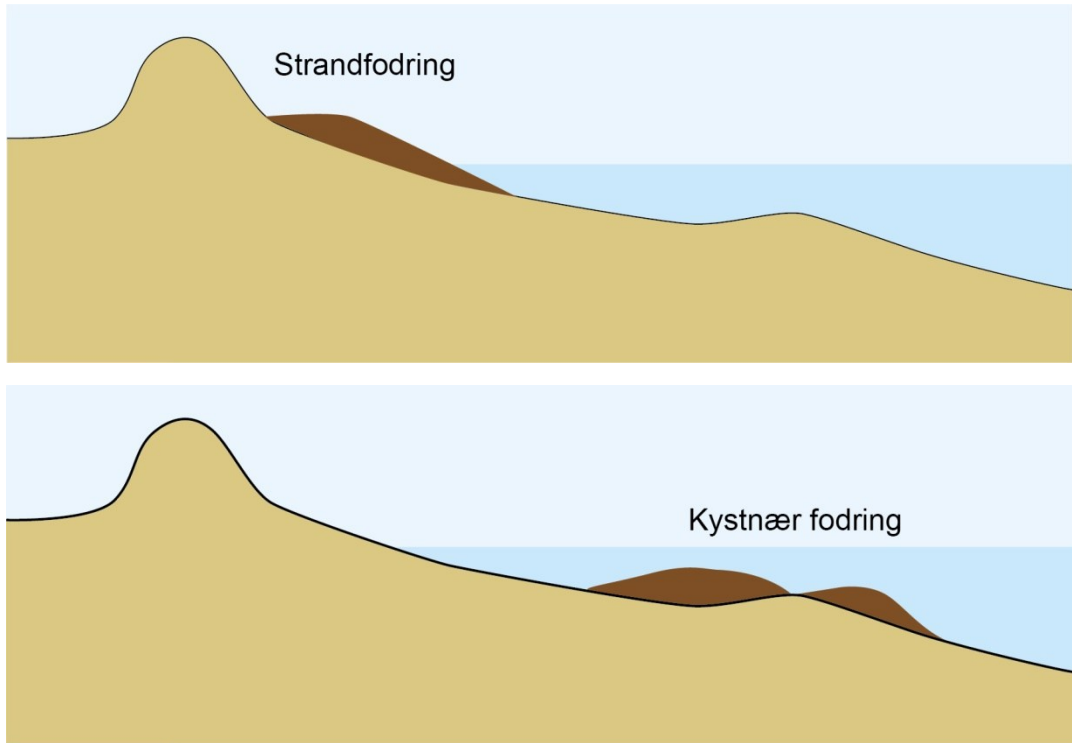
5.1 Erosionsbeskyttelse

I det følgende beskrives kystbeskyttelsesforanstaltninger, der forebygger erosion. Der skelnes mellem aktiv og [passiv kystbeskyttelse](#). Ved [aktiv kystbeskyttelse](#) (sand- og ralfodring), kompenseres for sedimentunderskuddet på en strækning ved tilførsel af nyt sediment til strækningen. Ved [passiv kystbeskyttelse](#) (høfder, bølgebrydere og skråningsbeskyttelse af sten) kompenseres der ikke for sedimentunderskuddet. [Passiv kystbeskyttelse](#) omfordeler sediment, hvilket vil sige, at erosionen kan forstærkes på andre strækninger som følge af beskyttelsen.

5.1.1 Kystfodring

Foranstaltning	Kystfodring
Beskrivelse	Kystfodring er den eneste kystbeskyttelsesmetode, der kan tilføre kysten det sediment, som mangler, for at standse tilbagemykningen. Kystfodring kan være en effektiv kystbeskyttelsesmetode mod både kronisk og akut erosion, såfremt der fodres med tilstrækkelige mængder sand som en initial-fodring, der fungerer som buffer mod akut erosion, og ved vedligeholdelsesfodringer, der modvirker den kroniske erosion.  Kystnær fodring ved indpumpning af sand i en stråle ('Rainbow') fra sandsugeren. Generelt om kystfodring: Kystfodring kan være strandfodring eller kystnær fodring. Fodringsmaterialet skal være uforurenet materiale, der ikke er alt for finkornet. Det lidt grovere sand har den fordel, at det ikke eroderes helt så let og er mindre udsat for fygning. Fodring med grovere materiale som ral sker inde på stranden. Ved større sandfodringer, typisk på Vestkysten, indvindes sandet fra indvindingsområder til søs med en sandsuger og sejles til den kyststrækning, som skal fodres. Ved små strandfodringer kan fodringen dog også foretages fra landsiden, hvor sandet transporteres med lastvogn. Strandfodring: Strandprofilet tilføres sand, så stranden kan opretholdes eller evt. blive bredere, hvis der samlet set tilføres mere sand, end der eroderes bort, når bølger og strøm rammer kysten (akut erosion og kronisk erosion). Sandet pumpes ind på stranden via et rør og fordeles med entreprenørmateriel. Der kan også foretages en fodring af bagstranden, som forstærker den øvre del af stranden f.eks. langs en klitfod eller foran en skråningsbeskyttelse af sten. Sandet skal forebygge erosion af skrænt- eller klitfoden. Strandfodringen kan også udgøre en buffer i tilfælde af ekstrem vejrhændelse og på denne måde forhindre gennembrud eller kollaps af den hårde beskyttelse. Endvidere kan en strandfodring opveje den negative effekt fra de hårde kystbeskyttelsesanstaltninger. Uden ekstra tilførsel af sand kan stranden foran en skråningsbeskyttelse blive smallere og vanddybden kan øges, da erosionen fortsætter ud for anlægget. Strandfodring kan også ske for at kompensere for læsideerosion fra hårde kystbeskyttelsesforanstaltninger som høfder og bølgebrydere.

Foranstaltning	Kystfodring
	Kystnærfodring: Revler i kystprofilen fungerer som sanddepoter og har afgørende betydning for mængden af den bølgeenergi, der når helt ind på kysten. De lave vanddybder over revlen bevirker nemlig, at bølgerne bryder på revlen og dermed frigiver en masse energi, som ellers ville have ramt kysten og eroderes af strand og klitter. Ved revlefodring klappes (placeres) det ekstra sand ude i kystprofilen enten på en eksisterende revle eller på en sådan måde, at der opbygges en ny kunstig revle. Sand klappes gennem en række bunddøre, der normalt er placeret i to rækker parallelt med lastens centerlinje i hver side i bunden af skibets lastrum. Dørene åbnes ned ad under skibets bund og bort fra skibets centerlinje, for at mindske risikoen for at dørene begravnes i den klappede last. Metoden kræver større vanddybde under skibets køl, og der bruges jetvand til at skylle lasten ud med. En anden metode af klappning er splitning. Et splitfartøj består af to skibshalvdele, der er hængslet sammen med et stort hængsel på dækket foran og agten for lastrummet. De to skibshalvdele holdes sammen med to kraftige hydrauliske cylindere i skibets bund foran og agten for lastrummet. Lasten klappes ved at de to skibshalvdele åbnes bort fra hinanden i bunden, hvorved hele lasten klappes meget koncentreret og kompakt. Der kan klappes med kun få centimeter vand under kølen. Af de to metoder kan klappings-metoden betragtes som den mest miljøvenlige grundet den hurtige lossetid (minimeret brændstofforbrug). Erfaring fra Holland og Danmark viser, at klappning ved splitning kan ske indenfor 4-5 meter dybdekurven, og klappning med bunddøre indenfor 6 meter kurven. Sandet tilføres i det aktive kystprofil og modvirker kronisk erosion, idet sandtilførslen bremser forstejling af kystprofilen. Revlefodring modvirker dog ikke akut erosion umiddelbart efter en fodring. Fodringssandet bevæger sig over tid ind mod stranden.  Depotfodring: En metode, der kendes fra Holland Depotfodring: Ved en depotfodring placeres der en større mængde sand på kysten. Mængden af sand i den kunstige "sandopfyldning" modsvarer den mængde sand, som vil blive ført væk fra kysten af langstransporten gennem en årrække. Som tiden går, vil den naturlige sedimenttransport sørge for at fordele sandet langs kysten i transportretningen. Efterhånden som sandet fordeles sig, vil det udgøre en effektiv erosionsbeskyttelse. Denne proces vil dog tage en del år. Metoden kendes fra Holland, hvor sand har en meget finere kornkurve end sand, der anvendes til kystfodring i danske farvande.

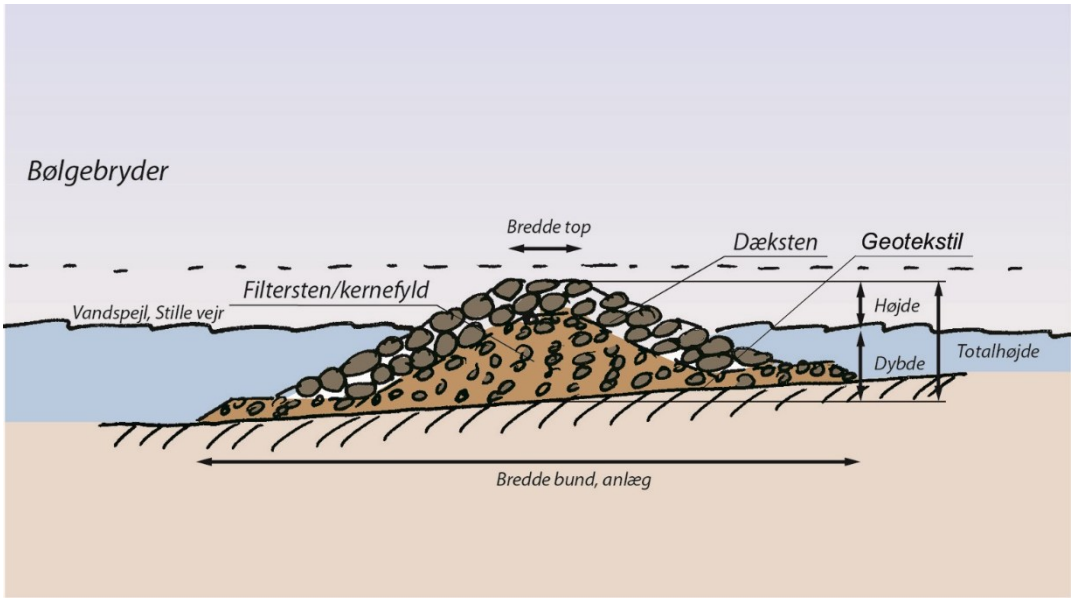
Foranstaltning	Kystfodring																														
	Ralfodring: Ralfodring anvendes primært ved kyster, der i forvejen er karakteriseret ved at have ralstrande. Sten og ral forekommer naturligt på erosionskyster, som består af moræne eller kridt. Ral transporteres typisk landværts over stranden og danner højtliggende ralvolde, som udgør en form for naturlig beskyttelse. På klintekyster, hvor der ikke er tilstrækkelige mængder ral til, at disse ralvolde kan dannes naturligt, kan man beskytte mod især akut erosion ved at tilføre ral til den øvre del af strandprofilen langs klintfoden.																														
Tværsnit (tegning)																															
Dimensioneringsgrundlag	For at dimensionere kystfodringen det vigtigt at kende følgende forhold på strækningen: • Kystens eksponeringsgrad (bølgeforhold) • Længde af strækning, der ønskes beskyttet • Kystprofilen (skrænttop, skræntfod, kystlinje, dybdekurverne) • Erosionsraten (både den kroniske og akutte erosion) • Naturligt materiale på stranden For formel for sandfodring, se begrebslisten Oversigt over kystfodringsmængder i forhold til kystens eksponeringsgrad: Lille = fjorde, Moderat = sunde og bæltter, Stor = Kattegat og Østersøen, Meget stor = Vesterhavet <table><tr><th>Eksponering</th><th>Dybde (m)</th><th>Topkote (m)</th><th>Projektområde (m)</th><th>Initial sandtilførsel* (m³/m)</th><th>Vedligeholdelse*** (m³/m per år)</th></tr><tr><td>Lille</td><td>1,3</td><td>2,0</td><td>100</td><td>6*</td><td>0,2</td></tr><tr><td>Moderat</td><td>3,0</td><td>1,9</td><td>500</td><td>15*</td><td>0,5</td></tr><tr><td>Stor</td><td>4,0</td><td>1,9</td><td>1.000</td><td>60*</td><td>2,0</td></tr><tr><td>Meget stor</td><td>6,5</td><td>3,3</td><td>25.000</td><td>30**</td><td>30</td></tr></table>	Eksponering	Dybde (m)	Topkote (m)	Projektområde (m)	Initial sandtilførsel* (m³/m)	Vedligeholdelse*** (m³/m per år)	Lille	1,3	2,0	100	6*	0,2	Moderat	3,0	1,9	500	15*	0,5	Stor	4,0	1,9	1.000	60*	2,0	Meget stor	6,5	3,3	25.000	30**	30
Eksponering	Dybde (m)	Topkote (m)	Projektområde (m)	Initial sandtilførsel* (m³/m)	Vedligeholdelse*** (m³/m per år)																										
Lille	1,3	2,0	100	6*	0,2																										
Moderat	3,0	1,9	500	15*	0,5																										
Stor	4,0	1,9	1.000	60*	2,0																										
Meget stor	6,5	3,3	25.000	30**	30																										

Foranstaltning	Kystfodring																														
	*Forudsætter at strækning har været sikret med faste konstruktioner i lang periode ~ 30 år og at det aktive kystprofil skal genoprettes, eksempelvis Sjællands Nordkyst. Det er således fodring for at oprette 30 års underskud. **Forudsætter at kysten har været vedligeholdt med fodringer årligt, eksempelvis Vestkysten. Det er således fodring for et års underskud. ***Vedligeholdelsesfodringsmængden skal modsvare erosionsraten på kysten. Oversigt over ralfodringsmængder i forhold til kystens eksponeringsgrad: Lille = fjorde, Moderat = sunde og bæltter, Stor = Kattegat og Østersøen, Meget stor = Vesterhavet <table><tr><th>Eksponering</th><th>Dybde (m)</th><th>Topkote (m)</th><th>Projekt-område (m)</th><th>Initial sandtilførsel* (m³/m)</th><th>Vedligeholdelse*** (m³/m per år)</th></tr><tr><td>Lille</td><td>1,3</td><td>2,0</td><td>100</td><td>6*</td><td>0,2</td></tr><tr><td>Moderat</td><td>3,0</td><td>1,9</td><td>500</td><td>15*</td><td>0,5</td></tr><tr><td>Stor</td><td>4,0</td><td>1,9</td><td>1.000</td><td>60*</td><td>2,0</td></tr><tr><td>Meget stor</td><td>6,5</td><td>3,3</td><td>25.000</td><td>30**</td><td>30</td></tr></table>	Eksponering	Dybde (m)	Topkote (m)	Projekt-område (m)	Initial sandtilførsel* (m³/m)	Vedligeholdelse*** (m³/m per år)	Lille	1,3	2,0	100	6*	0,2	Moderat	3,0	1,9	500	15*	0,5	Stor	4,0	1,9	1.000	60*	2,0	Meget stor	6,5	3,3	25.000	30**	30
Eksponering	Dybde (m)	Topkote (m)	Projekt-område (m)	Initial sandtilførsel* (m³/m)	Vedligeholdelse*** (m³/m per år)																										
Lille	1,3	2,0	100	6*	0,2																										
Moderat	3,0	1,9	500	15*	0,5																										
Stor	4,0	1,9	1.000	60*	2,0																										
Meget stor	6,5	3,3	25.000	30**	30																										
Funktion/ Virkning	I overordnede træk virker fodring ved at tilføre kysten eller kystprofilen det sediment, som normalt vil eroderes bort over en vis periode. For at undgå erosion og fastholdelse af kystlinjen er jævnlig tilførsel af sediment nødvendig. Nyt sediment tilføres med passende mellemrum til erstatning for det sediment, der løbende føres bort med den langsgående transport. Mængden af sediment, der anvendes til fodring, skal modsvare den aktuelle erosionsrate på den strækning, der ønskes beskyttet, hvis målsætningen er at standse kysttilbagerykningen. Der skal naturligvis også tages hensyn til, om, og i hvor høj grad der allerede måtte være sedimentunderskud på strækningen, inden fodringen igangsættes. Kystfodring beskytter mod akut og kronisk erosion på kyststrækningen. For at beskytte mod akut erosion forudsættes dog, at der er tilstrækkeligt med sediment, der kan fungere som en buffer i tilfælde af stormflod. Kystfodring kan anvendes som selvstændig kystbeskyttelse. Fodringsmetoden afhænger af kystens udseende, den ønskede virkning og ikke mindst økonomien. Det handler om at kystbeskytte i tide. Kystnærfodring og strandnær fodring ses typisk i områder, hvor sikkerheden i forvejen er moderat eller høj. I områder, hvor strand, skrænter og klitter ikke giver den ønskede sikkerhed og buffer, benyttes i højere grad strandfodring. Ved strandfodring opnås, at bølgerne i højere grad gnaver i fodringsmaterialet end i eksisterende klitter og skrænter. På den måde bremses skrænttilbagerykning og den nødvendige sikkerhed kan opretholdes. Kystfodring bør ligeledes igangsættes som supplement til hårde kystbeskyttelsesforanstaltninger som fx skråningsbeskyttelser af sten, høfder eller bølgebrydere for at kompensere for den læside-erosion, som disse forårsager.																														
Påvirkning af naturens frie dynamik, kystlandskab og miljø	Kystfodring giver generelt god mulighed for naturlig indpasning i kystmiljøet, såfremt der fodres med det materiale, som er naturligt forekommende på strækningen. Der, hvor sandet placeres, ændres den naturlige dynamik, mens dynamikken opretholdes i resten af profilet og nedstrøms. Hyppige kystfodringer må dog bringe en vis forstyrrelse i økosystemet på kysten (afhængig af metode, tidspunkt og fodringsinterval).																														

Foranstaltning	Kystfodring
Anlægs-omkostninger	Kystfodringer vil kunne udføres for gennemsnitligt 2250 kr. pr. meter, dog afhængigt af mængde, sedimentets herkomst, leveringsmetode m.m. Prisen vil dog i høj grad være afhænge af det konkrete sted herunder transportomkostningerne. Kystfodringer bør udføres i samarbejde mellem grundejere over længere strækninger for at gøre den omkostningseffektiv.
Drift og vedligeholdelse	Ved kystfodringer er det typisk nødvendigt at vedligeholdelsesfodre. Et kystfodringsprogram er derfor nødvendigt for at holde trit med den naturlige erosion samt kompensere for ekstreme vejrhændelser som fx stormflod. Ralfodring kræver mindre vedligeholdelse. For at nedsætte omkostninger kan kystfodring foretages med nogle års mellemrum, så der bliver færre mobiliseringer af entreprenørmateriellet.
Fremtidssikring	Kystfodringer skal typisk vedligeholdes og kan vanskeligt fremtidssikres i langsiget perspektiv. Til gengæld kan fordringsmængde og -hyppighed løbende tilpasses ændringer i vandstand og klima.
Generelle fordele	• Kystfodring løser det generelle erosionsproblem ved at erstatte det sand, som forsvinder pga. en netto langs- og tværgående sedimenttransport. • Forårsager ikke læsideerosion nedstrøms og gør ikke stranden smallere. • Afhængig af metode kan kystfodring iværksættes rimeligt hurtigt. • Falder ind i det omgivende kystlandskab, understøtter muligheden for at færdes langs kysten og fremmer rekreative værdier på kysten. • Afhængig af fodringsmængden kan kysttilbagerykningen bremses eller også kan kystprofilen forstærkes, så stranden bliver bredere eller den kystnære havbund forstærkes.
Generelle ulemper	• Kystfodringer skal gentages periodisk for at opretholde kystprofilen. • Det er vanskeligt at kommunikere nytten af kystfodring, fordi sandet med tiden forsvinder, og man derfor let kan tro, at "det ikke nytter". Det er derfor nødvendigt at skabe en forståelse for, at netop det faktum, at det er fodringssandet, der forsvinder, betyder, at kystprofilen kan opretholdes.
Muligheder for multifunktionalitet/ rekreativ merværdi	Selve den kendsgerning, at der er en strand og måske endda en strand af høj kvalitet har stor rekreativ værdi. Strandene i Danmark har generelt stor betydning for turismen, og der kan udføres mange aktiviteter på stranden.
Eksempler	Kystfodringen beskytter baglandet mod oversvømmelse.  Kontinuerlig strandfodring på Nordfyn har forbedret strandens kvalitet

Foranstaltning	Kystfodring
Yderligere oplysninger	Undersøgelser med sandfodring (10 områder) (Kystdirektoratet, DHI, Geografisk Institut, 2017) https://mst.dk/publikationer/2014/december/coadapt Kystfodring og sandressourcer (Kystdirektoratet, 2014) https://mst.dk/publikationer/2014/januar/kystfodring-og-sandressourcer Analyse af revlefodringer (Kystdirektoratet, 2012) https://mst.dk/publikationer/2012/februar/analyse-af-revlefodringer Højvandsstatistik (statistikker for ekstreme vandstande) https://mst.dk/publikationer/2024/juli/hoejvandsstatistikker Beach Nourishment Theory and Practice Dean, R. G. (2002): Beach Nourishment Theory and Practice, World Scientific Kystmorfologi (læren om kystzonens former og deres dannelse) Aagaard T., Nielsen N. & Nielsen J. (2008): Kystmorfologi. Københavns Universitet. Shoreline Management Guidelines (giver bl.a. overblik over kystdynamiske processer, kystmorfologi, kysttyper, planlægning) Mangor, K., Drønen, N. K., Kærgaard, K. H. & Kristensen S. E. (2017): Shoreline Management Guidelines. DHI. Kort uddrag: https://www.dhigroup.com/upload/campaigns/shoreline/assets/ShorelineManagementGuidelines_Feb2017-TOC.pdf Sedimentklassifikation https://www2.mst.dk/Udgiv/kyst/VejledningOmKystbeskyttelsesmetoder/Sedimentklassifikation%20Wentworth.pdf

5.1.2 Bølgebrydere

Foranstaltning	Bølgebrydere
Beskrivelse	En bølgebryder er en konstruktion, typisk af sten, som er opført i en vis afstand fra stranden og parallelt med kysten. Bølgebrydere bygges ofte i grupper i den indre del af det aktive kystprofil. Afstanden til stranden bør svare til ca. 30 % af bølgebryderens bredde. Afstanden mellem de enkelte bølgebrydere bør svare til halvanden gange længden af den enkelte bølgebryder. Højden kan variere, men vælges typisk til omkring 80 % af den dimensionsgivende vandstand.  Bølgebrydere ved Skagen
Tværsnit (tegning)	Bølgebrydere er som oftest opbygget med en kerne af fyld/filtersten dækket af to lag dæksten. 

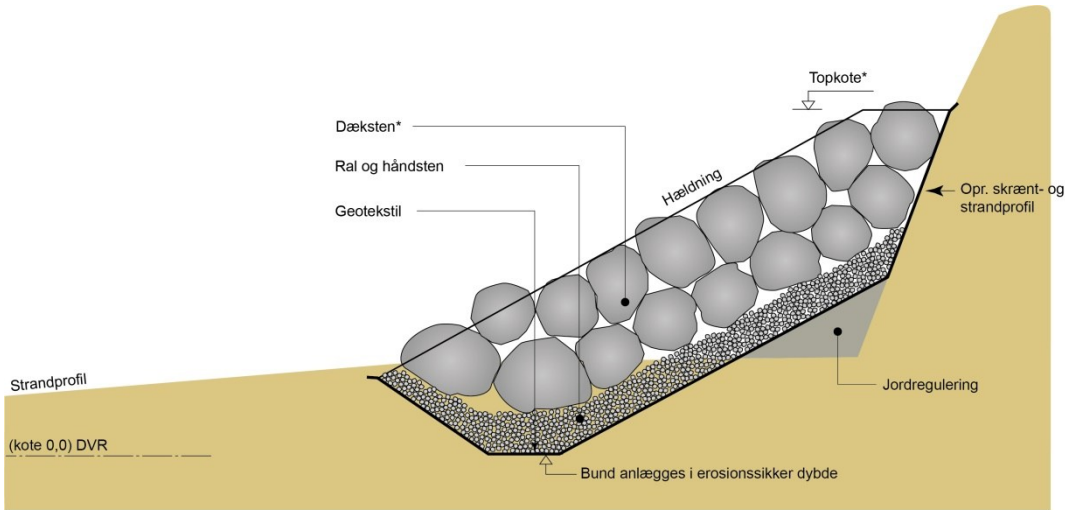
Foranstaltning	Bølgebrydere																																																					
Dimensioneringsgrundlag	Følgende parametre skal indgå ved dimensionering af bølgebryderen:																																																					
	- Bølgeforhold (fx bølgehøjde og bølgeperiode) - Dimensionerende vandstand (højvandsstatistik) - Længden af den strækning, der ønskes beskyttet - Kystprofil (skrænttop, skræntfod, kystlinje, dybdekurver) Erosionsraten, i forhold til at beregne evt. kompenserende fodring																																																					
	Oversigt over bølgebrydere som funktion af eksponeringsgraden (farvandsområder)																																																					
	Lille = fjorde, Moderat= sunde og bæltter, Stor= Kattegat og Østersøen, Meget stor = Vesterhavet																																																					
	<table><tr><th>Eksponering</th><th>Dybde</th><th>Topkote</th><th>Længde</th><th>Afstand</th><th>Sandfyld</th><th>Læsideerosion</th><th>Totalvolumen</th><th>Dæksten</th></tr><tr><td></td><td>(m)</td><td>(m)</td><td>(m)</td><td>(m)</td><td>(m³/m)</td><td>(m³/m/år)*</td><td>(m³)</td><td>(m³)</td></tr><tr><td>Lille</td><td>0,7</td><td>1,5</td><td>20</td><td>25</td><td>3</td><td>0,1</td><td>260</td><td>160</td></tr><tr><td>Moderat</td><td>1,5</td><td>1,5</td><td>64</td><td>80</td><td>20</td><td>0,3</td><td>1440</td><td>740</td></tr><tr><td>Stor</td><td>2,0</td><td>1,5</td><td>100</td><td>125</td><td>40</td><td>1</td><td>3000</td><td>1380</td></tr><tr><td>Meget stor</td><td>3,5</td><td>2,6</td><td>200</td><td>250</td><td>150</td><td>15</td><td>18.000</td><td>9000</td></tr></table>	Eksponering	Dybde	Topkote	Længde	Afstand	Sandfyld	Læsideerosion	Totalvolumen	Dæksten		(m)	(m)	(m)	(m)	(m³/m)	(m³/m/år)*	(m³)	(m³)	Lille	0,7	1,5	20	25	3	0,1	260	160	Moderat	1,5	1,5	64	80	20	0,3	1440	740	Stor	2,0	1,5	100	125	40	1	3000	1380	Meget stor	3,5	2,6	200	250	150	15	18.000
Eksponering	Dybde	Topkote	Længde	Afstand	Sandfyld	Læsideerosion	Totalvolumen	Dæksten																																														
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m³/m)	(m³/m/år)*	(m³)	(m³)																																														
Lille	0,7	1,5	20	25	3	0,1	260	160																																														
Moderat	1,5	1,5	64	80	20	0,3	1440	740																																														
Stor	2,0	1,5	100	125	40	1	3000	1380																																														
Meget stor	3,5	2,6	200	250	150	15	18.000	9000																																														
	*Denne mængde er regnet i forhold til længden af den beskyttede strækning. Det er i tabellen forudsat, at der som en del af byggeprojektet fyldes sand ind bag bølgebryderne. Såfremt dette ikke sker, vil den umiddelbare virkning af bølgebryderne være erosion mellem dem. Sandfodringen kan s reducere læsideerosionen i den tid efter etableringsfasen, hvor sandet endnu ikke har lejret sig. Herudover er det forudsat, at der over årene kompenseres for læsideerosionen ved at fodre langs strækningen på læsiden af gruppen af bølgebrydere. Den mængde, der evt. ville skulle fodres med for at kompensere for bølgebrydernes læsideerosion, svarer til det sand, som bølgebrydergruppen tilbageholder, hvilket her anslås til at være ca. 50 % af den erosion, der ville have fundet sted, der hvor bølgebryderne er placeret. En sådan kompensationsfodring kan indgå som et krav for fremtidige projekter set i lyset af lovens krav om, at en kystbeskyttelsesforanstaltning ikke må skade nabostrækninger.																																																					
Funktion/ Virkning	Bølgebryderen virker dels ved at mindske den bølgeenergi, der når ind på kysten og i højere grad ved at nedsætte den del af langtransporten, som foregår mellem strandlinjen og bølgebryderen. Derved fanges en del af langtransporten, og sand aflejres bag bølgebryderen. Bølgebryderne vil således reducere langtransporten bag sig og eventuelt helt blokere for den. Transportraten reduceres typisk med 50 % procent. Ligesom det er tilfældet med kystbeskyttelsesforanstaltninger som hofder_vil en række bølgebrydere skabe læsideerosion på kyststrækningen nedstrøms anlæggene, som nu får reduceret sin tilførsel af sand, og man må derfor regne med, at der kan blive stillet krav om kompenserende sandfodring på den nedstrøms strækning. På strækninger med bølger, der kommer ind med en lille vinkel, kan det være en fordel at opføre færre men større bølgebrydere, som er placeret med større afstand. Ved små indfaldsvinkler er langtransporten af mindre betydning, alligevel vil der også i sådanne tilfælde samle sig sand bag																																																					

Foranstaltning	Bølgebrydere
	konstruktionen. Grunden er, at de brydende bølger virker ind mod stranden med en kraft, som forårsager bølgestuvning. Bag bølgebryderen er bølgerne meget svagere, og vandet vil derfor strømme ind bag bølgebryderen, hvor der ikke er nogen opstuvning. Resultatet er en cirkulationsstrøm, som trækker sandet ind bag bølgebryderen. Da bølgebryderne mindsker bølgeenergien lokalt, har de en vis virkning mod akut erosion bag den enkelte bølgebryder. Mellem dem er den akutte erosion dog ikke mindsket væsentligt, og på grund af cirkulationsstrømmen vil det eroderede sand føres ind bag bølgebryderne, hvilket kan forsinke den efterfølgende naturlige retablering af stranden. Bølgebrydere er velegnede på erosionskyster, dvs. hvor kystprofilen rykker tilbage pga. en langsgående sedimenttransport, og hvor der føres mindre sediment ind i profilet, end der føres ud af profilet (kronisk erosion). Bølgebrydere fanger bølgetransporteret sand og kan bryde bølger fra flere indfaldsvinkler i modsætning til hølfer. Derfor er de velegnet til etablering på kyststrækninger, hvor der er en krumning. Bølgebrydere bremser/reducerer erosionshastigheden på kysten, men stopper den ikke. Erosionsraten reduceres typisk med 50 %. Erosionen føres blot længere ned ad kystprofilet, og læsideerosionen udgør typisk 50 % af erosionsraten. Bølgebrydere standser ikke akut erosion, men reducerer den.
Påvirkning af naturens frie dynamik, kystlandskab og miljø	Påvirker naturens frie dynamik, idet langstransporten bremses. Falder i øjnene som en menneskeskabt struktur i kystlandskabet. Grupper af bølgebrydere skaber "guirlande-strand". 
Anlægs-omkostninger	På en moderat eksponeret kyst er prisniveauet ca. 1,28 mio. kr. for et stk. bølgebryder. Anlægsomkostningerne afhænger dog af den ønskede størrelse på konstruktionen, kystens eksponeringsgrad, hvorfra materialet kommer m.m.
Drift og vedligeholdelse	Udgifterne til reparation af en korrekt dimensioneret bølgebryder vil være marginale, dog vil der kunne forekomme udgifter til jævnlig kompensationsfodring på læsiden af bølgebryderne.

Foranstaltning	Bølgebrydere
	Det kan over tid blive nødvendigt at efterfylde stenkastningerne, fordi stenene synker ned i sandet, og især fordi vanddybden ud for bølgebryderen øges, og stenene derfor kan blive revet ud af konstruktionen på grund af bølgepåvirkningen.
Fremtidssikring	Bølgebrydere kan forstærkes / forhøjes med henblik på fremtidssikring.
Generelle fordele	• Reducerer bølgepåvirkningen på kysten og bremser erosionen. • En del af den langsgående transport vil kunne passere uden for bølgebryderen. • Der dannes små sandstrande bag bølgebryderne, hvis konstruktionen er dimensioneret korrekt.
Generelle ulemper	• Begrænser den langsgående sandtransport, hvilket giver forøget erosion nedstrøms – læside-erosion. • Forringer strandens æstetiske værdi. • Skaber et stejlere og dybere kystprofil søværts for bølgebryderne. • Nedsætter badesikkerheden pga. stærk strøm omkring bølgebryderen.
Muligheder for multifunktionalitet/ rekreativ merværdi	Bølgebrydere er et teknisk anlæg, hvorpå ophold ikke er muligt.
Eksempler	 Bølgebrydere ved Skagen. Bemærk læsideerosionen og den karakteristiske guirlandeformede strand
Yderligere oplysninger	Højvandsstatistik (statistikker for ekstreme vandstande) https://mst.dk/publikationer/2024/juli/hoejvandsstatistikker Kystmorfologi (Læren om kystzonens former og deres dannelse) Aagaard T., Nielsen N. & Nielsen J. (2008): Kystmorfologi. Københavns Universitet. Shoreline Management Guidelines (Giver bl.a. overblik over kystdynamiske processer, kystmorfologi, kysttyper, planlægning) Mangor, K., Drønen, N. K., Kærgaard, K. H. & Kristensen S. E. (2017): Shoreline Management Guidelines. DHI.

Foranstaltning	Bølgebrydere
	Kort uddrag: https://www.dhigroup.com/upload/campaigns/shoreline/assets/ShorelineManagementGuidelines_Feb2017-TOC.pdf Rock Manual (kan anvendes til dimensionering) CIRIA, CUR, CETMEF (2007): The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition), C683, CIRIA, London http://www.kennisbank-waterbouw.nl/DesignCodes/rockmanual/introduction.pdf Stenkurver (viser vægten af sten som funktion af diameteren) https://www2.mst.dk/Udgiv/kyst/VejledningOmKystbeskyttelsesmetoder/stenkurver_rev.pdf Sedimentklassifikation (korndiameter af sten, ral, grus, sand, silt, ler) https://www2.mst.dk/Udgiv/kyst/VejledningOmKystbeskyttelsesmetoder/Sedimentklassifikation%20Wentworth.pdf

5.1.3 Skråningsbeskyttelse

Foranstaltning	Skråningsbeskyttelse																																												
Beskrivelse	En konstruktion bestående af sten og evt. geotekstil, der etableres op ad en kystskrænt eller klit. Den bremser lokalt havets nedbrydning af klitter og skrænter.																																												
Tværsnit (tegning)	Skråningsbeskyttelsen kan funderes på en dug af geotekstil og afretningslag af håndsten eller ral, som dels holder dugen på plads, dels virker trykfordelende for dækstenene. Der bør være to lag dæksten. Hældningen på anlægget må ikke være stejlere end 1:2, da det ellers bliver for ustabil. Af hensyn til anlæggets stabilitet bør skråningsbeskyttelsen etableres i erosionssikker dybde. Stenstørrelse i dækstenslaget kan være mindre, hvis der vælges en fladere hældning på anlægget. Afretningslagets sten skal opfylde filterkriteriet i forhold til dækstenene, så de ikke trækkes ud.  * Lagtykkelse, stenstørrelse og topkote tilpasses de lokale påvirkninger																																												
Dimensioneringsgrundlag	Skråningsbeskyttelsens opbygning og dimensioner beregnes ud fra den konkrete lokalitet og kystdynamiske forhold, herunder: • Højvandsstatistik • Kystprofil (skrænttop, skræntfod, kystlinje, dybdekurverne) • Variationer af strandens højde (for at kunne fastlægge anlæggets bundkote) • Bølgeforhold (anvendes til beregning af stenstørrelser) • Erosionsraten (for at kunne bestemme kompenserende fodring) Oversigt over skråningsbeskyttelsens parametre som funktion af eksponeringsgraden Lille = fjorde, Moderat = sunde og bælt, Stor = Kattegat og Østersøen, Meget stor = Vesterhavet <table><tr><th rowspan="2">Eksponering</th><th rowspan="2">Bund- kote</th><th rowspan="2">Top- kote</th><th rowspan="2">Sandop- fyldning</th><th rowspan="2">Læside- erosion</th><th colspan="2">Stenvolumen per. m længde beskyttelse</th></tr><tr><th>Dæksten</th><th>Afretningslag</th></tr><tr><th></th><th>(m)</th><th>(m)</th><th>(m³/m)</th><th>(m³/m/år)</th><th>(m³/m)</th><th>(m³/m)</th></tr><tr><td>Lille</td><td>0,0</td><td>3,0</td><td>3</td><td>0,2</td><td>5,5</td><td>5</td></tr><tr><td>Moderat</td><td>-0,5</td><td>4,4</td><td>20</td><td>0,5</td><td>10</td><td>7</td></tr><tr><td>Stor</td><td>-1,0</td><td>5,4</td><td>40</td><td>2,0</td><td>15</td><td>22</td></tr><tr><td>Meget stor</td><td>-1,0</td><td>10,4</td><td>150</td><td>30</td><td>50</td><td>13</td></tr></table> *Det antages, at der sandfodres foran eller nedstrøms beskyttelsen, da den kroniske erosion ikke forsvinder.	Eksponering	Bund- kote	Top- kote	Sandop- fyldning	Læside- erosion	Stenvolumen per. m længde beskyttelse		Dæksten	Afretningslag		(m)	(m)	(m³/m)	(m³/m/år)	(m³/m)	(m³/m)	Lille	0,0	3,0	3	0,2	5,5	5	Moderat	-0,5	4,4	20	0,5	10	7	Stor	-1,0	5,4	40	2,0	15	22	Meget stor	-1,0	10,4	150	30	50	13
Eksponering	Bund- kote						Top- kote	Sandop- fyldning	Læside- erosion	Stenvolumen per. m længde beskyttelse																																			
		Dæksten	Afretningslag																																										
	(m)	(m)	(m³/m)	(m³/m/år)	(m³/m)	(m³/m)																																							
Lille	0,0	3,0	3	0,2	5,5	5																																							
Moderat	-0,5	4,4	20	0,5	10	7																																							
Stor	-1,0	5,4	40	2,0	15	22																																							
Meget stor	-1,0	10,4	150	30	50	13																																							

Foranstaltning	Skråningsbeskyttelse
Funktion/ Virkning	En skråningsbeskyttelse bremser/reducerer erosionen af skrænten/klitten, men stopper ikke erosionen på stedet, da erosionen i stedet vil foregå foran og nedstrøms anlægget. En skrænt eller klit beskyttes mod erosion ved at anlægge en skråningsbeskyttelse af sten, beton eller andet op ad den. Den ujævne overflade fra anlægget bryder bølgenes energi. Skråningsbeskyttelsen er velegnet til kyster udsat for kombination af kraftige pålandsbølger og høj vandstand, som medfører akut erosion.
Påvirkning af naturens frie dynamik, kystlandskab og miljø	Etablering af en skråningsbeskyttelse vil påvirke naturens frie udfoldelse ved at sedimentkilden fra skrænten fastlåses. Skråningsbeskyttelsen griber ikke ind i transporten på den ubeskyttede del af profilet. Derfor vil den kroniske erosion i kystprofilet fortsætte. Idet der ikke tilføres sediment fra skrænterne længere, vil det give et sedimentunderskud og øget erosion ud for og nedstrøms for anlægget. En skråningsbeskyttelse kan på åbne kyster uden eksisterende skråningsbeskyttelser stikke markant ud fra omgivelserne. I et anlæg, der indeholder en geotekstil, skal det sikres, at dette ikke spredes i miljøet, hvis skråningsbeskyttelsen ødelægges. Hvis der etableres en skråningsbeskyttelse i form af en lodret mur, vil bølgerne i højere grad blive reflekteret. Refleksionen giver forøget bølgeaktivitet foran konstruktionen, hvilket medfører større dybde foran anlægget og deraf efterfølgende større bølger (selvforstærkende). Dette sker ikke i så høj grad ved en skråningsbeskyttelse udført som en skrå stenkastning.
Anlægs-omkostninger	Anlægsomkostningerne afhænger af kystens eksponering. Prisen på de dyreste elementer i konstruktionen, som er dæksten og filtersten, samt transport og indbygning af disse sten, er bestemmende for den endelige pris. Prisen for anlægs-omkostninger varierer henholdsvis fra 6.800 kr. pr. m. for kyster med lille eksponering til 51.000 kr.pr. m for kyster med meget stor eksponering.
Drift og vedligeholdelse	Udgifterne til en korrekt dimensioneret skråningsbeskyttelse vil være relativt begrænsede. Der kan foretages kompenserende kystfodring for at forebygge den kroniske erosion, så anlægget ikke bliver undermineret. Stilles der krav om fodring, bør der også tages højde for evt. gentagne kompensationsfodringer i forhold til drift- og vedligeholdelse
Fremtidssikring	Skråningsbeskyttelsen kan fremtidssikres vha. kompenserende kystfodring eller forstærkes.
Generelle fordele	En skråningsbeskyttelse af sten forhindrer klit- og skrænterosion, både kronisk og akut erosion på det sted, hvor skråningsbeskyttelsen er placeret.
Generelle ulemper	- En skråningsbeskyttelse af sten hindrer erosionen af skrænten, men den kroniske erosion fortsætter i resten af det aktive kystprofil. Kystprofilet bliver stejlere, og større bølger kan ramme kysten. Med tiden kan stranden foran anlægget forsvinde, og passagen langs stranden vanskelig- eller umuliggøres. Endvidere kan der opstå fare for sætninger i skråningsbeskyttelsen, som følge af, at anlægget undermineres. - En skråningsbeskyttelse blokerer sedimentkilden i skrænten, og der frigives ikke sediment. Konsekvensen er, at der mangler sediment nedstrøms, og erosionen forøges nedstrøms (læsideerosion). - En skråningsbeskyttelse kan fjerne en eksisterende adgang til kysten. Der kan evt. indbygges en trappe i løsningen. - Al klit- og skrænterosion standses, indtil skråningsbeskyttelsen kolliderer, hvis der ikke tilføres sediment i form af kystfodring.
Muligheder for multifunktionalitet/ rekreativ merværdi	En skråningsbeskyttelse alene giver ikke umiddelbart muligheder for rekreativ merværdi. Der kan dog stilles krav om, at der på skråningsbeskyttelsen skal være passage for gående langs kysten. Såfremt en skråningsbeskyttelse kombineres med en kompenserende fodring, der genopbygger kystprofilet, giver dette en merværdi i forhold til adgang langs stranden og ophold ved kysten. Figuren viser, at stranden ud for en skråningsbeskyttelse forsvinder, da erosionen ud for anlægget fortsætter.

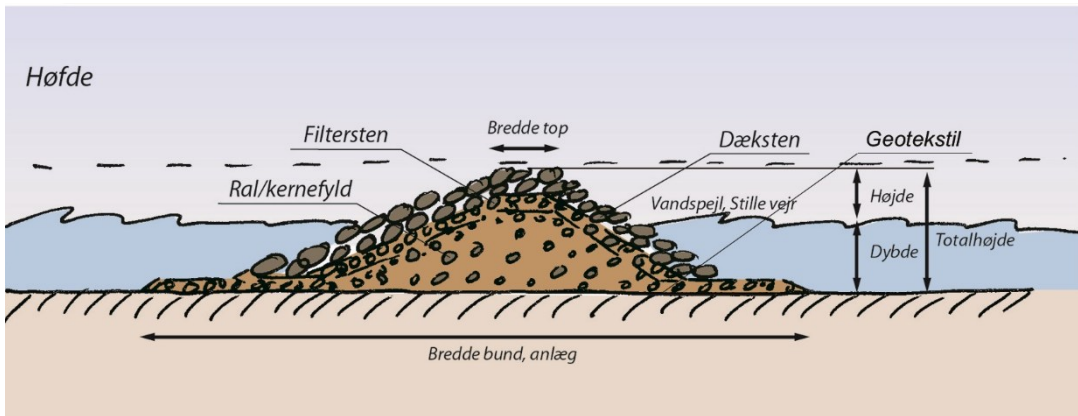
Foranstaltning	Skråningsbeskyttelse
Eksempler	Sandtilførsel stoppes, giver læsideerosion Erosion fortsætter foran Vandet er blevet dybere ud for anlægget og stranden er forsvundet på grund af fortsat erosion Opbygning af en skråningsbeskyttelse af sten med geotekstil, håndsten og dæksten

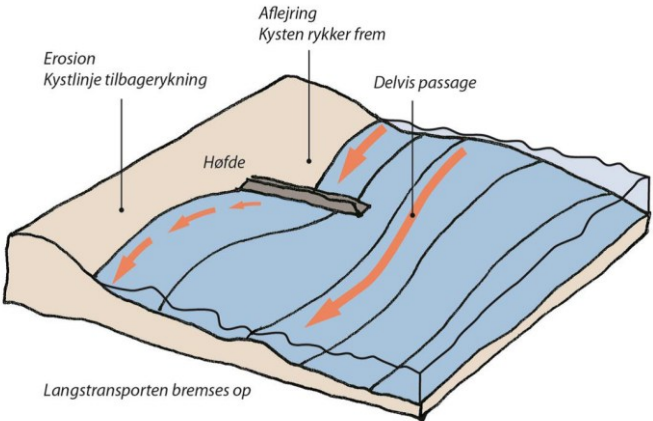
Foranstaltning	Skråningsbeskyttelse
	 Etableret skråningsbeskyttelse af sten

Yderligere oplysninger	Højvandsstatistik (statistikker for ekstreme vandstande) https://mst.dk/publikationer/2024/juli/hoejvandsstatistikker Kystmorfologi (Læren om kystzonens former og deres dannelse) Aagaard T., Nielsen N. & Nielsen J. (2008): Kystmorfologi. Københavns Universitet. Shoreline Management Guidelines (giver bl.a. overblik over kystdynamiske processer, kystmorfologi, kysttyper, planlægning) Mangor, K., Drønen, N. K., Kærgaard, K. H. & Kristensen S. E. (2017): Shoreline Management Guidelines. DHI. Kort uddrag: https://www.dhigroup.com/upload/campaigns/shoreline/assets/ShorelineManagementGuidelines_Feb2017-TOC.pdf Rock Manual (kan anvendes til dimensionering) CIRIA, CUR, CETMEF (2007): The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition), C683, CIRIA, London http://www.kennisbank-waterbouw.nl/DesignCodes/rockmanual/introduction.pdf Stenkurver (viser vægt af sten som funktion af diameteren) https://www2.mst.dk/Udgiv/kyst/VejledningOmKystbeskyttelsesmetoder/stenkurver_rev.pdf Sedimentklassifikation: https://www2.mst.dk/Udgiv/kyst/VejledningOmKystbeskyttelsesmetoder/Sedimentklassifikation%20Wentworth.pdf
------------------------	---

5.1.4 Høfde

Foranstaltning	Høfde
Beskrivelse	En høfde er en konstruktion, typisk af sten eller betonblokke, som er opført fra stranden og vinkelret på kystlinjen ud til en vis afstand fra kysten. Høfder bygges ofte i grupper. Afstanden mellem høfderne afhænger af høfdens længde og bølgenes fremherskende indfaldsvinkel. Høfde (kernehøfde med en kerne af betonblokke flankeret af sten). Kronen er bred, hvilket giver besøgende en mulighed for at gå ud på høfden. Kernehøfder anvendes primært, hvor den rekreative værdi vægtes højt.   Høfder i de indre farvande vil oftest være brudstenshøfder. Denne type høfde har samme kystbeskyttende effekt som kernehøfden, men vil ofte være billigere at bygge og vedligeholde. Brudstenshøfder kan bygges med en lavere, smal krone. Afhängigt af, hvad man ønsker at beskytte sig i mod, kan brudstenshøfden gøres meget lav udenfor kystlinjen. Dette gør stenmængden og dermed prisen mindre. Det har også den fordel, at høfden vil være langt mindre dominerende i landskabet end kernehøfderne. Til gengæld kan man ikke gå på den eller anvende den som udkigspunkt. Høfder skal føres så langt ind i land, så de ikke bliver bagskåret.

Foranstaltning	Højde																																													
Tværsnit (tegning)	En højde er typisk opbygget med kernefyld inderst, filtersten samt to lag dæksten øverst. Filterstenene skal opfylde filterkriteriet i forhold til dækstenene, så de ikke trækkes ud. Det anbefales at udlægge en filterdug under højdekonstruktionen for at forhindre erosion, sætning samt at højden sandgår. Højdesidernes hældning er i reglen 1:2. Pga. større eksponering af bølger bør hældningen være fladere på højdehovedet. Bredden på højdens vandrette top kan fastlægges som lig med topkoten for alle farvande bortset fra Vesterhavet. Ved Vesterhavet er højderne ofte bredere – svarende til 2 x topkoten - ud fra en betragtning om, at det letter vedligeholdelsen, fordi man kan køre på toppen af højden. Ofte er denne type højde populære blandt strandgæsterne, fordi de har en plan vej på toppen, som man kan gå ud ad. 																																													
Dimensioneringsgrundlag	For at dimensionere højden anvendes følgende parametre: • Bølgeforskel, herunder fremherskende bølgeretning og bølgehøjde • Højvandsstatistik • Længden af den strækning, der ønskes beskyttet • Kystprofil (skrænttop, skræntfod, kystlinje, dybdekurverne) • Erosionsraten med henblik på en evt. kompenserende fodring Oversigt over højdeparametre som funktion af eksponeringsgraden (farvandsområder): Lille = fjorde, Moderat = sunde og bæltter, Stor = Kattegat og Østersøen, Meget stor = Vesterhavet <table><tr><th>Eksponering</th><th>Dybde (m)</th><th>Topkote (m)</th><th>Længde (m)</th><th>Afstand (m)</th><th>Sandfyld (m³/m)</th><th>Læsideerosion* (m³/m/år)</th><th>Totalvolumen (m³/højde)</th><th>Dæksten (m³/højde)</th></tr><tr><td>Lille</td><td>0,7</td><td>1,5</td><td>25</td><td>60</td><td>3</td><td>0,1</td><td>270</td><td>110</td></tr><tr><td>Moderat</td><td>1,5</td><td>1,5</td><td>80</td><td>200</td><td>20</td><td>0,3</td><td>1300</td><td>410</td></tr><tr><td>Stor</td><td>2,0</td><td>1,5</td><td>125</td><td>300</td><td>40</td><td>1</td><td>2565</td><td>675</td></tr><tr><td>Meget stor</td><td>3,5</td><td>2,6</td><td>250</td><td>600</td><td>150</td><td>15</td><td>19000</td><td>2300</td></tr></table> *I forhold til længden af den beskyttede strækning. Sandtilførslen er beregnet ud fra følgende: I anlægsfasen fodres der med sand mellem højderne. På den måde mindskes læsideerosionen i starten, efter byggeprojektet er færdiggjort. Det tager tid for sandet at "sætte sig" og det kan betyde forværret læsideerosion, hvis der ikke er overskud af sand.	Eksponering	Dybde (m)	Topkote (m)	Længde (m)	Afstand (m)	Sandfyld (m³/m)	Læsideerosion* (m³/m/år)	Totalvolumen (m³/højde)	Dæksten (m³/højde)	Lille	0,7	1,5	25	60	3	0,1	270	110	Moderat	1,5	1,5	80	200	20	0,3	1300	410	Stor	2,0	1,5	125	300	40	1	2565	675	Meget stor	3,5	2,6	250	600	150	15	19000	2300
Eksponering	Dybde (m)	Topkote (m)	Længde (m)	Afstand (m)	Sandfyld (m³/m)	Læsideerosion* (m³/m/år)	Totalvolumen (m³/højde)	Dæksten (m³/højde)																																						
Lille	0,7	1,5	25	60	3	0,1	270	110																																						
Moderat	1,5	1,5	80	200	20	0,3	1300	410																																						
Stor	2,0	1,5	125	300	40	1	2565	675																																						
Meget stor	3,5	2,6	250	600	150	15	19000	2300																																						

Foranstaltning	Højde
	Der kompenseres desuden for læsideerosion ved sandfodring på læsiden af højdegruppen med mindst den mængde sand, som svarer til den erosion, som højderne forhindrer. Dette er den erosion, som højderne "sender videre" til læsideområdet. (Dette kan være et myndighedskrav ifølge lovens hovedregel om, at man ikke må skade nabostrækninger)
Funktion/ Virkning	Højder er beregnet til at bremse erosion i det kystnære profil (nedbrydning fra havet). Højder blokerer for den del af den langsgående sediment-transport, som foregår mellem strandlinjen og højdens afslutning. På den måde fanges en del af sedimentet og aflejres opstrøms på højdens luvside (i forhold til sedimentets transportretning). Det aflejrte sediment reducerer altså kysttilbagerykningen opstrøms for højden.  Højder bremser/reducerer erosionshastigheden på kysten, men stopper den ikke. Anlægget omfordeler alene sandet, men der tilføres ikke nyt sand. Erosionsraten reduceres typisk med 50 %. Erosionen fortsætter i kystprofillet søværts højdeenderne og læsideerosionen udgør typisk 50 % af erosionsraten. Højder standser ikke evt. skrænterosion og akut erosion.
Påvirkning af naturens frie dynamik, kystlandskab og miljø	Falder i øjnene som en menneskeskabt struktur i kystlandskabet. Påvirker naturens frie dynamik, hvilket ses ved kystens savtaktede struktur, som bliver tydeligere med stigende langstransport. Passage langs stranden vanskeliggøres.
Anlægs-omkostninger	Anlægsomkostninger varierer, da det afhænger af, hvor materialet kommer fra, og hvor eksponeret kysten er. På en kyst med lille eksponering anslås prisen til ca. 190.000, mens en højde anlagt på en kyst med stor eksponering vil være væsentlig dyrere helt op til en pris på over 2 mio.
Drift og vedligeholdelse	Jævnlig kompensationsfodring på læsiden af højderne. Udgifterne til reparation af en korrekt dimensioneret højde vil være lille, dog kan der være udgifter til kompensationsfodring, såfremt der er sat vilkår herom. Hvis kysttilbagerykning ikke standses med kompenserende fodring, kan det være nødvendigt med mellemrum at forlænge højdernes ender ind mod land for at undgå bagskæring. Desuden kan det over tid blive nødvendigt at efterfylde højderne, fordi stenene synker ned i sandet, og især fordi vanddybden langs højden øges, og stenene derfor kan blive revet ud af konstruktionen på grund af bølgepåvirkningen.

Foranstaltning	Højde
	Kernehøjder er lettere at vedligeholde, da det er muligt at køre på høfden. Brudstenshøjder kræver et stort sandlag som kørevej, før man kan bevæge sig rundt vedligeholdelsesmæssigt.
Fremtidssikring	Det er en god idé at lægge f.eks. geotekstil under højdekonstruktionen for at forhindre erosion og sætning.
Generelle fordele	• Breder strande på opstrøms siden af høfden (luvsiden). • Bremser kysttilbagetrækningen opstrøms for høfden.
Generelle ulemper	• Blokerer den langsgående sandtransport, hvilket giver forøget erosion nedstrøms – læsiderosion • Forringer strandens æstetiske værdi • Skaber et stejle og dybere kystprofil særligt for høfderne • Kan vanskeliggøre passage på stranden • Reducerer badesikkerheden pga. stærk strøm omkring høfden • Forhindrer ikke tilbagerykningen af kysten.
Muligheder for multifunktionalitet/ rekreativ merværdi	Kernehøjder, der har brug for at maskiner kan køre på dem pga. vedligeholdelse, har en bred krone, som man kan gå på. De bruges derfor ofte som udsigtspunkter.
Eksempler	 Højdegruppe ved Vestkysten. Bemærk læsiderosionen og den karakteristiske savtakkede strand.

Foranstaltning	Højde
	 Højde i indre farvande
Yderligere oplysninger	Højvandsstatistik (statistikker for ekstreme vandstande) <a data-bbox="408 1070 1021 1093" href="https://mst.dk/publikationer/2024/juli/hoejvandsstatistikker">https://mst.dk/publikationer/2024/juli/hoejvandsstatistikker Kystmorfologi (læren om kystzonens former og deres dannelse) Aagaard T., Nielsen N. & Nielsen J. (2008): Kystmorfologi. Københavns Universitet. Management Guidelines (Giver bl.a. overblik over kystdynamiske processer, kystmorfologi, kysttyper, planlægning) Mangor, K., Drønen, N. K., Kærgaard, K. H. & Kristensen S. E. (2017): Shoreline Management Guidelines. DHI. Kort uddrag: <a data-bbox="408 1411 1394 1469" href="https://www.dhigroup.com/upload/campaigns/shoreline/assets/ShorelineManagementGuidelines_Feb2017-TOC.pdf">https://www.dhigroup.com/upload/campaigns/shoreline/assets/ShorelineManagementGuidelines_Feb2017-TOC.pdf Rock Manual (kan anvendes til dimensionering) CIRIA, CUR, CETMEF (2007): The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition), C683, CIRIA, London <a data-bbox="408 1603 1257 1626" href="http://www.kennisbank-waterbouw.nl/DesignCodes/rockmanual/introduction.pdf">http://www.kennisbank-waterbouw.nl/DesignCodes/rockmanual/introduction.pdf Stenkurver (viser vægt af sten som funktion af diameteren) <a data-bbox="408 1693 1378 1715" href="https://www2.mst.dk/Udgiv/kyst/VejledningOmKystbeskyttelsesmetoder/stenkurver_rev.pdf">https://www2.mst.dk/Udgiv/kyst/VejledningOmKystbeskyttelsesmetoder/stenkurver_rev.pdf G:\Projektinfo\Projekter\lgangværende\PK-Initiativer 2018-20\P5_Programsekretariat_LSH\Vejledning kysttekniske metoder\Figurer mm\Kapitel 6 Anlægstyper Sedimentklassifikation (korndiameter af sten, ral, grus, sand, silt, ler) <a data-bbox="408 1872 1385 1935" href="https://www2.mst.dk/Udgiv/kyst/VejledningOmKystbeskyttelsesmetoder/Sedimentklassifikation%20Wentworth.pdf">https://www2.mst.dk/Udgiv/kyst/VejledningOmKystbeskyttelsesmetoder/Sedimentklassifikation%20Wentworth.pdf

5.2 Højvandsbeskyttelse

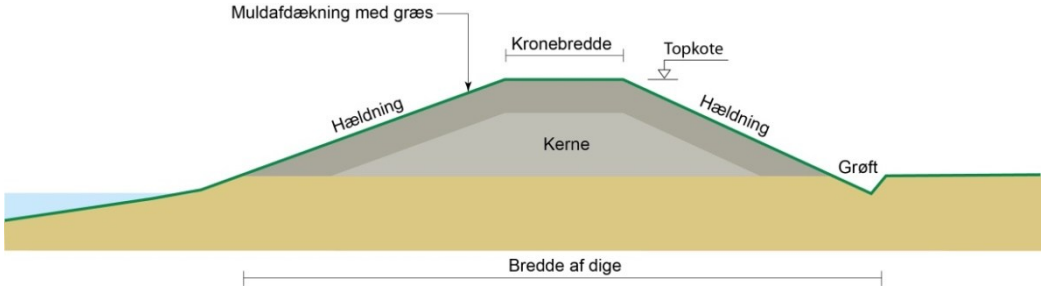
I det følgende beskrives kystbeskyttelsesforanstaltninger, der beskytter mod oversvømmelse. Det kan være løsninger placeret i baglandet, typisk i form af diger eller klitforstærkning. I byer eller havne anvendes ofte højvandsmure, eller stormflodsbarrierer samt sluser og mobile barrierer.

5.2.1 Dige

Foranstaltning	Dige
Beskrivelse	Et dige er en teknisk konstruktion på land, som normalt placeres langs en kyst eller et vandløb. Diget er højere end de omgivende områder og beskytter baglandet mod oversvømmelse fra havet, fjorde, bæltter eller åer. Diger er normalt en del af et overordnet højvandsbeskyttelsessystem, der kan bestå af en række naturlige eller menneskeskabte anlæg, som havdiger, tvær- eller fløjdiger, klitter, sluser eller udløb. Digets oversvømmelsesbeskyttede funktion opnås ved digets højde og tværsnitsgeometri. Diger er skrånende konstruktioner, der består af en række komponenter, såsom græslag, hældning af forskråning og digehøjde. Disse komponenter har specifikke funktioner til at opretholde digets styrke og modstandskraft under stormfloder. <i>Havdige:</i> Et havdige placeres mest hensigtsmæssigt tilbagetrukket fra kystlinjen, fordi området foran diget har en beskyttende effekt på diget. Området foran diget, som kaldes forland, er en zone, hvor indkommende bølgeenergi svækkes, hvilket resulterer i et fald i bølgehøjden foran diget. Et højt forland har følgende fordele: • Forlandet skaber en brydezone for bølgerne under højvande (storm), hvilket reducerer den indkommende bølgeenergi og følgelig bølgepåvirkningen af diget (se figur nedenfor). • Reduktionen af bølgeenergi giver mulighed for en lavere digehøjde og fjerner behovet for en særlig sikring af digefoden. • Forlandet forhindrer indstrømning af havvand i baglandet efter et digebrud, indtil bruddet er lukket. • Forlandet letter vedligeholdelses- og reparationsarbejdet ved diget. • Forlandet kan udgøre et vigtigt naturområde og levested for f.eks. fugle. Figuren viser, hvordan bølgeenergien fordeler sig ved henholdsvis et højt og et lavt forland og den resulterende bølgeenergi på diget. Forlandet afbøder bølgepåvirkningen og begrænser dermed erosion og slitage på diget i højvandssituationer. Et havdige, der fx af pladshensyn placeres fremskudt uden forland, kræver derimod ofte beskyttelse af digefoden i form af f.eks. fodring alene eller en fodsikring af sten kombineret med fodring, da placeringen tæt ved kystlinjen udsætter digefoden for kraftigere bølgepåvirkning og dermed øget slitage.

Foranstaltning	Dige
	Nedbrydning af bølgeenergi Middelvandstand Højt forland Nedbrydning af bølgeenergi Middelvandstand Lavt forland Havdige med forland (ved Vadehavet)

Foranstaltning	Dige
	 Dige i Sønderjylland  Adiger placeres som oftest direkte på åbrinken langs med åens forløb. I mundingsområder skal der tages højde for særligt høje vandstande, som kan opstå som følge af tragt-effekten, hvor havvand løber op ad vandløbet, og åens vandføring staves op som følge af den forhøjede vandstand i havet. Disse særlige forhold skal der tages højde for ved dimensionering af diger ved å-udløb. Hvor ådiger kan opføres tilbagetrukket fra åen, kan dette være at foretrække, fordi det giver mulighed for, at engarealerne langs åen kan oversvømmes naturligt, når der er meget vand i åen til stor gavn for naturen i ådalen.

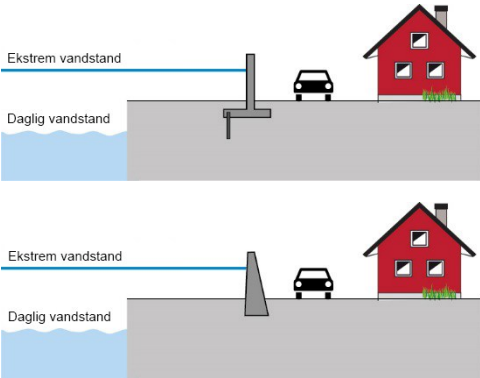
Foranstaltning	Dige
Tværsnit (tegning)	Digets hældning ud mod havet hedder forskråning, og hældningen ind mod land kaldes bagskråning. Dikekronen er toppen af diget. Dikekronen kan have forskellige bredde, som kan være afhængig af andre funktioner på dikekronen, fx en sti på dikekronen. Et korrekt opbygget og vedligeholdt dige kan modstå store bølgepåvirkninger under en storm. Et havdige er typisk opbygget med en kerne af sand og/eller ler samt et muldlag med græs. Græslaget og kernen gør diget modstandsdygtigt, og det er afgørende for digets styrke og stabilitet, at græslaget vedligeholdes. Et hul i græslaget er det første skridt mod et digebrud. Digets forskråning kan også udføres med f.eks. betonsten, asfalt eller andre bitumenprodukter, hvilket dog ikke er særligt typisk for danske diger. Havdiger kan udføres med en afvandingsgrøft på bagsiden, som har til formål at understøtte dræning af digekonstruktionen for at holde digekonstruktionen tør, samtidig med at grøften anvendes til opsamling af evt. overløbende vand under en højvandssituation. 
Dimensioneringsgrundlag	Digets styrke er afhængig af en række parametre. Overordnet set er det højden på diget og digets volumen, som er afgørende for digets højvandsbeskyttende funktion. Det anbefales, at havdiger opbygges med svagt hældende forskråning (f.eks. mellem 1:5 og 1:10). Derved fordeles bølgeenergien over et større areal. Bølgerne taber kraften, mens de ruller hen over den flade forskråning og derved mindskes bølgepåvirkningen på diget og risikoen for gennembrud. Bagskråningen kan være stejlere, eksempelvis 1:3. Bagskråninger, der er stejlere end 1:3, kan være svære at vedligeholde. Diger med svagt hældende skråninger kræver et stort fodaftryk, dvs. at de behøver et stort areal. I grundlaget for dimensionering indgår forskellige parametre: • Hældning på forskråning • Vanddybden foran diget (ved digefoden) • Bølgeforhold: Bølgehøjde og -periode ved digefoden samt bølgenes dominerende indfaldsvinkel på kysten • Hældning på bagskråning • Bølgeoverløb, navnlig hvor meget vand, der kan accepteres i baglandet • Overfladen på forskråningen og dens ruhed • Landhævning/sænkning • Kvaliteten på jordmaterialer der anvendes til anlæg af diget • Jordbundstype til vurdering af sætning samt understrømning (piping) af diget, evt. geotekniske undersøgelser • Klimatillæg • Usikkerhed i forhold til dimensioneringsgrundlaget • Højvandsstatistik Endvidere bør det afklares, hvordan afvandingen fra baglandet er, når diget er etableret. Dvs. det skal vurderes, om der skal etableres drænsystemer på indersiden af diget. Det bør også undersøges, om der er problemer med højt grundvandsniveau.

Foranstaltning	Dige
Funktion/ Virkning	Digets højde sikrer mod oversvømmelse (stormflod, højvande eller overløb i åer eller vandløb) af baglandet og lavtliggende kystområder. Diget skal være geoteknisk stabilt, så det kan modstå vandtrykket og påvirkning fra bølger. Bølgepåvirkningen opstår under højvandssituationer og omfatter tre typer af påvirkning: • Bølgeslag, som opstår ifølge bølgebrydning på forskråning • Bølgeop- og tilbageløb, som opstår ifølge bølgenes op- og nedløb på forskråningen • Bølgeoverløb, som sker ved et større bølgeopløb end digehøjden, hvor bølgerne skubber vand over digekronen
Påvirkning af naturens frie dy- namik, kystland- skab og miljø	Diger kræver megen plads, da de pga. krav til stabiliteten normalt har en flad forskråning (f.eks. 1:10) og en stejlere bagskråning (f.eks. 1:3). Derfor er de bedst egnede til åbne områder, eller hvor der er relativ stor afstand fra kysten og ind til bebyggelsen. Etablering af et dige kan påvirke naturen og naturbeskyttelsesinteresser ganske betydeligt. Det kan fx være nødvendigt at indrette digerne, så særligt beskyttede arter som fx markfirben og visse fugle fortsat kan finde sig tilrette i området. Græsklædte diger er artsfremmede i kystlandskabet, men det bør tilstræbes at trække diget længst muligt tilbage mod den bebyggelse eller andet, som skal beskyttes, så kystlandskabet påvirkes mindst muligt.
Anlægs-om- kostninger	Omkostningerne til bygning af diget afhænger af digets ønskede dimensioner og typen af dæklag. Endvidere kan transportbehovet for de nødvendige jordmaterialer være en afgørende udgift. Et dige ved en kyst med lille eksponering kan typisk opføres for under 20.000 kr. pr m., mens et dige etableret på en kyst med stor eksponering kan etableres for omkring 30.000 kr. pr m. Store komplekse diger er typisk dyrere. I forbindelse med dimensionering af diger er det afgørende at tage hensyn til, at digets volumen stiger mere end lineært med digets højde. Omkostninger kan minimeres, hvis diget etableres tilbagetrukket, da digets bredde kan minimeres og højden reduceres sammenholdt med et fremskudt dige.
Drift og vedlige- holdelse	Digets vedligeholdelse er central i forhold til digets funktion. Græslaget skal være tæt og velholdt, uden bare pletter, og direkte "forbundet" til resten af konstruktionen. Dette sker ved hjælp af kohæsi- onskræfterne i lermaterialet og græsplanternes rodnet. En speciel græsblanding anbefales, hvor den største del af græssorterne danner buskagtige rødder direkte under overfladen (dybde ca. 6-8 cm) og en mindre andel af græssorterne danner pælerødder (dybde ca. 25-45 cm), som binder hele græslaget sammen med konstruktionen (kernen af diget). Der bør afholdes et årligt digesyn. Diget kræver regelmæssig inspektion for at sikre, at højden er i orden, og at græslaget er intakt. Græsklædte diger bør regelmæssigt inspiceres for huller (gravet af ræve, kaniner eller mosegrise) og hybenroser, træer og buske på diget bør fjernes. Buskene lukker bl.a. for lys, hvilket medfører, at nye græsskud ikke kan vokse frem. Vedligeholdelsesomkostningerne vil typisk være relativt begrænsede i form af påfyldning af jord, samt såning og klipning af græs. Det anbefales, at græsset slås ca. 3 gange i løbet af vækstsæsonen (april til september). Græsset kan også vedligeholdes af græssende får. Hvis diget har en hældning på minimum 1:3 kan det slås med en græsslåmaskine.
Fremtidssikring	Når diget konstrueres, kan der med fordel tages højde for en beregnet fremtidig vandstandsstigning (klimatillæg). Ved ændringer i havvandstand, stormintensitet og bølgepåvirkning kan diget forhøjes. Dette er imidlertid omkostningstungt, specielt hvis der er anlagt veje eller stier på diget. Diger kan med fordel anlægges, hvor en senere forhøjelse er tænkt ind. Dvs. digets tværprofil forbedres på en sådan måde, at der på et senere tidspunkt nemt kan sættes en "kappe" på, der fx forhøjer diget med 50 cm.

Foranstaltning	Dige
Generelle fordele	• Diget er enkelt i sit design og kan som regel etableres anlægsteknisk nemt. • Diget kan som regel forstærkes anlægsteknisk nemt. • Vedligeholdelsen er relativ enkel og ikke særligt omkostningstung. • Det græsklædte dige er visuelt et accepteret indslag i det danske kystlandskab.
Generelle ulemper	• Diget er pladskrævende og kan påvirke naturen i kystlandskabet negativt i forhold til fx fugle, som raster eller yngler på stranden. • Diget vil spærre for den direkte adgang til kysten og kan være en spærring af en biologisk korridor. Især fremskudte diger påvirker den naturlige kystdynamik negativt. • Diget kan spærre for udsynet til vandet. • Færdsel på diget kan være til gene for sommerhusbeboere bag diget.
Muligheder for multifunktionalitet/ rekreativ merværdi	Der kan etableres gang- og cykelstier samt mindre veje langs diget (eller på toppen hvis digets størrelse, konstruktion og beskaffenhed tillader det). Der kan desuden indrettes udsigtspladser eller lignende på digekronen. Dette kræver dog tilladelse efter anden lovgivning. Fremskudte diger og fremskudte klitter kan i nogle tilfælde skabe naturområder bag ved diget eller klitten og dermed fremme et områdes naturmæssige og rekreative fordele,
Eksempler	 Dige på Mandø. Her er der etableret en sti langs diget. Græslandet holdes tæt og solidt ved hjælp af græssende får.

Foranstaltning	Dige
	 Nyanlagt dige foran sommerhuse ved As Vig i Hedensted Kommune.
Yderligere oplysninger	Højvandsstatistik https://mst.dk/publikationer/2024/juli/hoejvandsstatistikker Anbefalet græsblanding (Side 7 i PDF-filen) https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2024/05/Guide-til-vedligeholdelse-af-diger.pdf Shoreline Management Guidelines Mangor, K., Drønen, N. K., Kærgaard, K. H. & Kristensen S. E. (2017): Shoreline Management Guidelines. DHI. Kort uddrag: https://www.dhigroup.com/upload/campaigns/shoreline/assets/ShorelineManagement-Guidelines_Feb2017-TOC.pdf EurOtop Manual http://www.overtopping-manual.com/

5.2.2 Højvandsmur

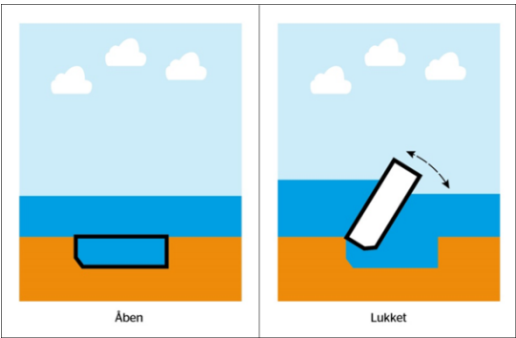
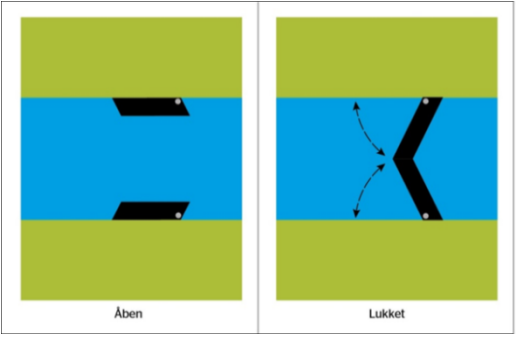
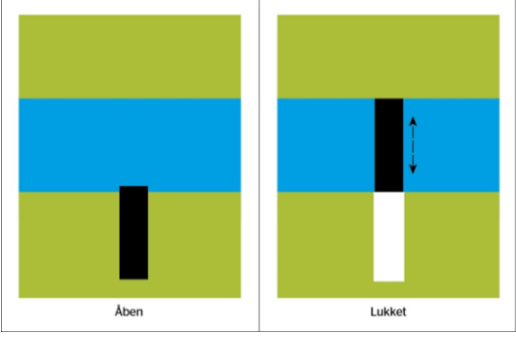
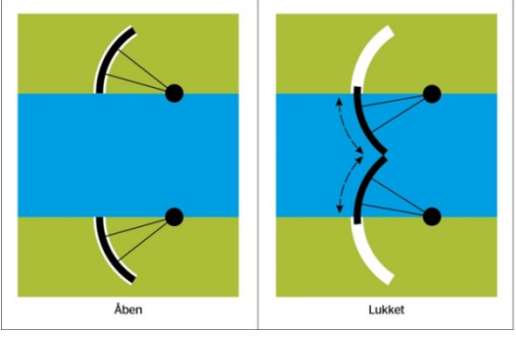
Foranstaltning	Højvandsmur
Beskrivelse	En højvandsmur er en hård konstruktion, der beskytter mod oversvømmelse. Højvandsmuren er normalt en fritstående konstruktion, som etableres i bebyggede områder i en vis afstand fra kysten. Højvandsmuren designes til at modstå kraftig bølgepåvirkning og høj vandstand under en højvandssituation. Muren kan bestå af forskellige materialer, f.eks. som plastspuns, stålspons, træspuns, betonavæg eller kombinationer. I alle typer kan der skabes passagemuligheder i form af åbninger, som lukkes med porte i ekstremt vejr.  Højvandsmur i Lemvig
Tværsnit (tegning)	Tværsnittet på en højvandsmur varierer i henhold til murens højde, placering og materialevalg. Med hensyn til formen består de mest almindelige typer af højvandsmure af T-type eller I-type mure. Ved betonelementer af T-typen tjener tværbøjlen af T'en som basis, og stilken tjener som vandbarrieren. Når man bygger på jord, bruges en lodret forankring til at øge modstanden mod konstruktionens glidning. I-type højvandsmur består ofte af en spunsvæg, som "indpakkes" af en betonavæg. En højvandsmur er ofte konstrueret af præfabrikerede betonelementer og er designet med porte eller skotter for at give adgang til / fra vandet til landsiden. 
Dimensioneringsgrundlag	Dimensionering afhænger af den konkrete kyststrækning og terræn. Det er vigtigt i den planlæggende fase, at der fastsættes, hvilken vandstand, man ønsker at beskytte sig imod, og hvilket klimatilæg, der evt. skal indgå. I grundlaget for dimensioneringen indgår forskellige parametre:

Foranstaltning	Højvandsmur
	• Højvandsstatistikken for at fastlægge designgivende vandstand • Vanddybder ud for kysten • Vindforhold • Bølgeforhold: Bølgehøjde og -periode ved muren samt bølgenes dominerende indfaldsvinkel på kysten • Bølgeoverskyl, navnlig hvor meget vand, der kan accepteres i baglandet. • Landhævning/sænkning • Jordbundstype til vurdering af sætning af muren, evt. geotekniske undersøgelser • Klimatillæg • Særlige lokale forhold Endvidere bør det afklares, hvordan afvandingen fra baglandet er, når muren er etableret. Det skal vurderes, om der er behov for supplerende drænsystemer og pumper. Bølgeslag på muren og bølgeoverløb skal tages med i overvejelserne for at forhindre sammenbrud eller større skader på konstruktionen under en storm.
Funktion/ Virkning	Højvandsmurens hovedfunktion er at beskytte tætbefolkede byområder eller større økonomiske aktiviteter (fx havneområder) fra at blive oversvømmet under højvandshændelser. Højvandsmure installeres hovedsagelig i områder med begrænset plads, som f.eks. byer eller havneområder, hvor en digekonstruktion er umulig pga. pladsforholdene.
Påvirkning af naturens frie dynamik, kystlandskab og miljø	Ved placering af en højvandsmur tæt på kysten, vil en evt. beskyttelse af muren, fx mod erosion, have indflydelse på sedimenttransporten langs kysten og andre processer i kystområdet, idet den udgør en fast barriere. Højvandsmure bør således placeres i afstand fra kysten.
Anlægs-omkostninger	Omkostningerne varierer meget i forhold til, hvilken type mur der anlægges og hvor. Priserne for betonmure har erfaringsmæssigt ligget omkring 3000 kr. pr m. Omkostninger til mere avancerede mure, eller mure der kræver forudgående funderingsarbejde vil i sagens natur blive større.
Drift og vedligeholdelse	Muren bør inspiceres med jævne mellemrum for at komme skader i forkøbet. Mure af stål vil kræve løbende beskyttelse mod korrosion, mens betonmure kun sjældent vil kræve vedligeholdelse. Træmure vil skulle beskyttes mod råd og svamp med træbeskyttelse.
Fremtidssikring	En højvandsmur er en langsigtet investering, og det vil derfor være naturligt at indtænke fremskrivninger af vandstandsstigninger og mere ekstremt vejr. I givet fald kan muren forberedes til en senere forhøjelse.
Generelle fordele	• Effektiv løsning i byområder, hvor pladsen er begrænset • Muren kan relativt let integreres i bymiljøet • Langsigtet løsning med lang levetid • Andre funktioner kan forholdsvis nemt kombineres
Generelle ulemper	• Relativt høje etableringsomkostninger • Højvandsmur/spuns-løsninger er vanskelige at integrere i naturområder • Griber ind i færdsel i området • Bølgenes tilbagekastning fra murens lodrette flade fører til gradvis underminering

Foranstaltning	Højvandsmur
Muligheder for multifunktionalitet/ rekreativ merværdi	Løsningen kan indgå som et rekreativt element i byrummet. F.eks. kan muren forsynes med åbninger, som tillader færdsel på begge sider af muren og opretholder adgangen til vandet. Åbningerne i muren lukkes automatisk eller manuelt i ekstreme vejsituationer.
Eksempler	 Højvandsmur bestående af mur og glasvæg. Foto venligst udlånt af Dansk Stormflodsikring.
Yderligere oplysninger	Højvandsstatistik https://mst.dk/publikationer/2024/juli/hojevandsstatistikker Shoreline Management Guidelines Mangor, K., Drønen, N. K., Kærgaard, K. H. & Kristensen S. E. (2017): Shoreline Management Guidelines. DHI. Kort uddrag: https://www.dhigroup.com/upload/campaigns/shoreline/assets/ShorelineManagement-Guidelines_Feb2017-TOC.pdf EurOtop Manual http://www.overtopping-manual.com/

5.2.3 Stormflodsbarrierer og sluser

Foranstaltning	Stormflodsbarrierer og sluser
Beskrivelse	Stormflodsbarrierer og sluser er konstruktioner, der etableres over et vandområde, som udgangspunkt i flodudmundinger, fjorde, vandløb eller havne. Der skelnes imellem stormflodsbarrierer og sluser med følgende definitioner: • Stormflodsbarrierer konstruktioner, der kun i tilfælde af stormflod eller højvandssituationer beskytter mod oversvømmelse ved at lukke for vandgennemstrømning fra havet ind i baglandet. • Sluser er en fællesbetegnelse for konstruktioner, der har en daglig funktion i at regulere de ellers naturligt forekommende vandstande i vandområdet. Slusernes funktion kan opdeles i kategorierne afvandingssluse og navigationssluse. En konstruktion kan varetage funktionen som både stormflodsbarriere og sluse; altså både den beskyttende effekt mod oversvømmelse samt den daglige regulering af vandstande. I et større oversvømmelsestruet område kombineres en konstruktion, der fungerer som barriere eller sluse ofte med andre løsninger mod oversvømmelse, som pumper, diger og højvandsmure. Et eksempel er digerne og sluserne i Vadehavet. Sluserne tillader ved lavvande i Vadehavet afvanding fra Ribe Marsken med vand fra Ribe Å, Kongeåen og flere små vandløb. I tilfælde af højere vandstand i Vadehavet end i vandløbene lukkes sluserne, så vandet ikke strømmer ind i Marsken. Der findes forskellige typer af barrierer eller sluser. Disse har forskellige påvirkninger på vandområdet. Nogle konstruktioner er helt åbne under daglige forhold, og vil ikke forårsage større ændringer i sejlads, natur eller miljø. Andre konstruktioner er mere lukkede og kan have store påvirkninger på alt fra vandstand, strømhastigheder, saltindhold, miljøforhold og andre påvirkninger til følge.

Foranstaltning	Stormflodsbarrierer og sluser
Tværsnit (tegning)	Der findes forskellige typer af konstruktioner med porte, som er cirkulerende eller roterende, skydeporte og pneumatiske konstruktioner. Port, som vipper op fra bunden (Venedig-barrieren)  Roterende Port (f.eks. Kammerslusen i Ribe)  Skydeport – horisontal (eksempel slusen i Hvide Sande)  Cirkulerende porte (eksempel Measlant Stormflodsbarriere, Holland) 

Foranstaltning	Stormflodsbarrierer og sluser
Dimensioneringsgrundlag	Dimensionering af stormflodsbarrierer afhænger af de lokale forhold i en sådan grad, at det er vanskeligt at give generelle retningslinjer herfor.
Funktion/Virkning	Stormflodsbarrierer beskytter mod høj vandstand under en stormflod. Er barrieren opført som en sluse, tillader den under normale vejrforhold samtidigt trafik og/eller afvanding af vand fra vandløb eller overfladevand fra baglandet. Stormflodsbarrierer fungerer ved fysisk at spærre for gennemstrømningen af vand gennem konstruktionen under en højvandssituation. Dette kan gøres med metalporte, skodder, oppustelige gummimembraner eller andet. Stormflodsbarrierer er velegnede til at beskytte mod oversvømmelse via en fjord, flodmunding eller vandløb. Barrieren bruges ofte i kombination med diger, da de tillader daglig afvanding gennem digelinjen. Stormflodsbarrieren er åben, når der ikke er et varsel om forhøjet vandstand, og generer dermed ikke skibstrafikken. En stormflodsbarriere kan med fordel anvendes, hvor der ikke er behov for daglig regulering af vandstande, men hvor der udelukkende er risiko ved oversvømmelser under stormflod. For at konstruktionen kan anvendes som stormflodsbarriere, forudsættes et varslingsystem. Ved et varsel, hvor vandstanden kommer over et fastsat niveau, lukkes konstruktionen. Under en højvandssituation vil vandstanden derfor være lavere inden for barrieren og højere uden for barrieren. Den kan først åbnes igen, når vandstanden på begge sider af barrieren er i samme niveau. Dette kan under længerevarende storme føre til forhøjede vandstande på indersiden af barrieren, da vand fra baglandet ikke har mulighed for at løbe ud i havet. Dette kan nødvendiggøre andre tiltag, så som pumpeanlæg. Stormflodsbarrierer og sluser kan lukkes enten automatisk eller manuelt. Det stiller forskellige krav til beredskabet. Ud over at være en stormflodsbarriere har sluser også andre funktioner. Der findes to kategorier af sluser, som er navigationssluser (typisk kammersluser) og afvandingssluser. Navigationsslusers funktion er at tillade trafik af skibe, eller anden transport som f.eks. tømmer fra skovhugning, at blive transporteret fra et vandsystem til et andet med forskellige vandstande uden at udligne vandstandene eller tillade gennemstrømning. Dette ses f.eks. i klassiske kammersluser eller i skibselevatore. Afvandingssluser bruges til at regulere vandstande ved at tilpasse gennemstrømningen gennem slusen fra siden med høj vandstand til siden med lavere vandstand. Afvandingssluser opretholder typisk en nøje planlagt balance i vandstanden på begge sider af slusen. Dette klares ved at variere gennemstrømningen f.eks. ved at åbne eller lukke et tilpasset antal sluseporte. Dette er ofte nødvendigt, da vandstande på begge sider af slusen varierer som resultat af årstid, vind og vejr, som giver forskellige behov eller begrænsninger for gennemstrømningen.
Påvirkning af naturens frie dynamik, kystlandskab og miljø	Ved planlægningen af en stormflodsbarriere og sluse, skal det forinden undersøges, hvordan konstruktionerne kan ændre hydrologien og dermed naturens frie dynamik. Dette vil påvirke miljøet ift. flora og fauna på land og på søterritoriet, fiskebestand, sedimenttransport mm. Påvirkning af miljøet skal vurderes i anlægsfasen og i driftsfasen. I anlægsfasen sker der eksempelvis inddragelse af havbundsareal, spredning af spildt sediment som følge af gravearbejder, indsnævring af gennemstrømningsbredden, lokal ændring i vanddybden mm. Fysiske ændringer i driftsfasen kan være et ændret oversvømmelsesmønster af naturarealer, f.eks. strandenge, som dermed påvirkes, ændring af saltholdighed mm. Afhængig af, hvilken stormflodsbarriere eller sluse, der vælges, kan anlægget være en synlig konstruktion i kystlandskabet. Der findes dog løsninger, hvor barrieren ligger på havbunden (fx Venedig-barrieren), og alene vil være synlig, når den er i funktion.

Foranstaltning	Stormflodsbarrierer og sluser
Anlægs-omkostninger	Etablering og vedligeholdelse kan være omkostningstunge. Prisen vil afhænge af den valgte konstruktion og dimensioneringen af denne. Endvidere vil omkostningerne afhænge af valgte materialer, gennemstrømningskapacitet, vandstanden den skal beskytte imod mm. I forbindelse med anlægsomkostninger bør også indregnes udgifter til projektering og rådgiver, forundersøgelser (fx geotekniske undersøgelser og opmåling af havbund), forskellige miljøundersøgelser og evt. miljøvurdering ift. VVM samt konsekvensvurdering ift. Natura 2000 samt bilag IV-arter. Derudover kan der være udgifter til overvågnings- og prognosesystem.
Drift og vedligeholdelse	Lokalisering af skader samt større eftersyn, hvor hele konstruktionen gennemgås, foretages med et fastsat antal års mellemrum. Det er vigtigt, at lukning af barrieren og slusen afprøves årligt. I den forbindelse kan beredskabet også gennemføre en øvelse, som var det en stormflodssituation. I forhold til drift af eksempelvis afvandingssluser, som har indflydelse på vandstand og saltholdighed bag ved slusen, afstemmes slusedriften med andre interessenter i området (f.eks. landbrug, fiskeri), Vedligeholdelse og drift af stormflodsbarrierer og sluser afhænger af det valgte system, f.eks. om det er et pneumatisk/hydraulisk system eller fysisk/elektrisk system. Det er vigtigt at have et overblik over alle komponenter, der indgår i konstruktionen, herunder hvor tilgængelige de er på markedet, og hvor mange, der bør være på lager. Det anbefales, at der udarbejdes en vedligeholdelsesplan i forhold til, hvornår de enkelte komponenter skal udskiftes. Som en del af vedligeholdelsen forudsættes eksempelvis ved vedligeholdelsen af sluserne i Thorsminde og Hvide Sande, men også i tilfældet med Venedig barrieren, at der er en ekstra port til rådighed. Dette skal indberegnes i anlægs- og vedligeholdelsesudgifterne. Vedligeholdelsesarbejder bør planlægges i god tid, især når der skal foretages reparationer, hvor slusekamre skal tømmes for vand. På grund af trykforskelle skal det planlægges, hvor hurtigt et slusekammer kan tømmes og fyldes i forhold til differensvandtryk, så der ikke sker skade på konstruktionen. Til reparationer under vand skal der bruges dykkere. Til vedligeholdelse og drift kræves en faglig kvalificeret medarbejderstab.
Fremtidssikring	Det er vigtigt at få fastsat en målsætning for, hvilken vandstand, bølger mm, barrieren skal beskytte imod. Da der er store udgifter forbundet med etablering af slusen, bør man se på fremtidige vandstandsstigninger. Det samme gælder for kapacitet til afvanding og vandstandsregulering.
Generelle fordele	• Ved at etablere en stormflodsbarriere forkortes kyststrækningen, og det stiller mindre krav til højvandsbeskyttelse bag ved barrieren. • Kan etableres som en regional løsning. Barrieren kan beskytte store områder mod oversvømmelse og derved beskytte mange værdier.
Generelle ulemper	• Der kan være store omkostninger forbundet med etablering og drift af en stormflodsbarrierer og sluser. • Mere lukkede konstruktioner kan påvirke miljøet og skibstrafikken. • Der skal være fokus på øvelser, vedligeholdelsesplan, uddannelse og opretholdelse af betjening og beredskab.

Foranstaltning	Stormflodsbarrierer og sluser
Muligheder for multifunktionalitet/ rekreativ merværdi	En stormflodsbarriere og sluse kan kombineres med en broforbindelse til at forbinde bredderne af en fjord eller vandløb afhængigt af lokale forhold og miljøpåvirkninger. En afvandingsluses mulighed for at regulere vandstandene kan i nogle tilfælde have positive effekter på sejlads, fiskemuligheder, natur og miljø. Stormflodsbarrierer og sluser kan være et tilløbsstykke for turister i området. Ved Kammerslusen ved Ribe er der eksempelvis en rampe/bro, som besøgende kan gå hen over. Slusen i Hvide Sande er et populært fiskested. Men mange stormflodsbarrierer, som de er designet i dag, giver ikke mange muligheder for multifunktionalitet.
Eksempler	 Ribe Kammersluse Højer Sluse (den gamle) og Ribe Kammersluse er kammersluser, som tillader sejlads selv ved forskellige vandstande på hver side af slusen. De kan stå helt åbne for at udligne vandstandene på hver side af slusen. Vidåslusen (den nye sluse på det fremskudte dige ved Højer) og slusen i Thorsminde er afvandingsluser. I Hvide Sande er der både en afvandingsluse og kammersluse.  Kammersluse i Hvide Sande

Foranstaltning	Stormflodsbarrierer og sluser
	Slusen i Hvide Sande har flere funktioner: 1) beskytte fjorden mod stormflod, 2) regulere vandstand i fjorden 3) opretholde en saltbalance i fjorden (gøres ved at lukke vand ind fra havet under visse forhold), 4) tillade passage for fisk. Slusemesteren skal altså planlægge, hvor mange sluseporte, der skal åbnes og lukkes, samt hvornår, for at dette regnestykke går op.  Vidåslusen på det fremskudte dige ved Højer
	 Maeslant Stormflodsbarriere, Holland (kilde: I-storm Conference 2007, Venedig)  Venedig Barriere (kilde: Deltares, I-Storm & Rijkswaterstaat: Overview Storm Surge Barriers 2018)

Foranstaltning	Stormflodsbarrierer og sluser
Yderligere oplysninger	Højvandsstatistik https://mst.dk/publikationer/2024/juli/hoejvandsstatistikker Film om oversvømmelse og stormflodsbarriere i Holland – Rijkswaterstaat https://vimeo.com/253609871 I rapporten "Overview Storm Surge Barriers" udarbejdet af det hollandske konsulentfirma Delta-res sammen med det internationale I-STORM netværk og det hollandske ministerium for infrastruktur og miljø Rijkswaterstaat er der flere informationer om forskellige typer konstruktioner, der fungerer som stormflodsbarrierer, og mange af dem også som sluser: https://mst.dk/publikationer/2018/januar/overview-storm-surge-barriers Shoreline Management Guidelines Mangor, K., Drønen, N. K., Kærgaard, K. H. & Kristensen S. E. (2017): Shoreline Management Guidelines. DHI. Kort uddrag: https://www.dhigroup.com/upload/campaigns/shoreline/assets/ShorelineManagementGuidelines_Feb2017-TOC.pdf

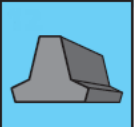
5.2.4 Mobile barrierer

Foranstaltning	Mobile barrierer
Beskrivelse	Mobile højvandsbeskyttelsessystemer (MHB-systemer) har til formål at beskytte infrastruktur og værdier mod oversvømmelse. Som hovedregel er systemerne derimod ikke beregnet til at beskytte mennesker, idet systemerne kun muliggør en beskyttelse fra en begrænset vandstand (0,8 – 1,5 m). MHB-systemer anvendes derfor især til at forhindre skader og reducere skadesomfanget på infrastruktur og værdier som følge af en oversvømmelseshændelse, hvor der ikke opstår ekstreme vandstande, høje bølger, store strømhastigheder, sediment transport eller en høj koncentration af drivgods. I modsætning til planlagte, faste højvandsbeskyttelseskonstruktioner (f.eks. diger) har MHB-systemer fordelen ved at være mobile, og afhængig af MHB-systemets funktionsmåde kræver systemerne ingen eller kun begrænsede faste installationer. Hermed kan systemerne enten opsættes på forskellige lokaliteter ved varslinger om oversvømmelseshændelser eller på den samme lokalitet med mulighed for at fjerne beskyttelsen mellem hændelserne, hvorved man undgår at forstyrre driften og udsynet i det daglige. Overordnet set kan mulige indsatsområder for MHB-systemer være:  Langs åer og floder, hvor de skal beskytte bebyggede områder mod oversvømmelse. MHB-systemer opstilles i en linje langs med vandløbet. Højvandsbeskyttelsen påvirkes af både et vandtryk (hydrostatisk tryk) og et hydrodynamisk tryk i form af vandets strømningshastighed, som normalt vil forløbe parallelt med eller i en spids vinkel mod MHB-systemet. Påvirkningen fra bølger vil være lille, men der skal tages højde for muligt drivgods, som kan beskadige systemet og medføre lækager  I lavtliggende områder med infrastruktur og værdier, som kan blive udsat for oversvømmelser. MHB-systemet kan opstilles i en lukket ring omkring f.eks. en ejendom, der skal beskyttes. I områder, der i forbindelse med oversvømmelser har en forhøjet følsomhed over for miljøforurening (f.eks. industriområder), kan en mobil ringbeskyttelse øge beskyttelsen mod oversvømmelse som følge af et brud på den permanente ydre digebeskyttelseslinje. Et MHB-system kan derfor også anvendes i kombination med fast etableret kystbeskyttelse. I kystområder påvirkes systemet af et hydrostatisk vandtryk. Strømningshastigheden omkring systemet vil som regel være lille. Ved design af systemet skal der tages højde for, at der kan forekomme en vis bølgepåvirkning og påvirkninger fra drivgods. En vandtæt bundtætning over varierende terræn er påkrævet.  I havneområder hvor lavtliggende bebyggelser og aktiviteter skal beskyttes mod indtrængende havvand under en stormflod. MHB-systemet opstilles i linje, f.eks. langs med kajen, imellem bygninger eller langs med eller på tværs af veje. Højvandsbeskyttelsen påvirkes af et hydrostatisk vandtryk, mens strøm- og bølgepåvirkningen som regel vil være lille. Der skal dog også her tages højde for påvirkninger fra drivgods. En vandtæt bundtætning over varierende terræn er påkrævet.
Tværsnit (tegning)	Mobile højvandsbeskyttelsessystemer kan være meget forskellige i form, materiale og udførelse. Der kan således ikke gives en repræsentativ tværprofil tegning. For en beskrivelse af de forskellige anlæg og metoder henvises der til "Funktion/Virkning"

Foranstaltning	Mobile barrierer
Dimensio- ningsgrundlag	Før et MHB-system anskaffes og tages i brug, er der en række forskellige faktorer og randbetingelser, som skal undersøges og vurderes. Kilde til og hyppighed af oversvømmelser Oversvømmelser kan have mange forskellige årsager/kilder: Ekstrem nedbør kan medføre opstuvning af vand i vandløb og kloaksystemer eller stormvejr kan forårsage en stormflod med forhøjet vandstand og høje bølger osv. Den geografiske udstrækning og hastigheden, hvormed det ramte område oversvømmes, er afhængig af oversvømmelsens kilde og kan derfor være meget forskellig. Endvidere vil påvirkningerne på MHB-systemet være forskellige alt efter hvilke bølge- og strømforhold, der gør sig gældende. Oversvømmelsens varighed skal også tages med i overvejelserne, dvs. det skal vurderes, hvor lang tid MHB-systemet kan blive udsat for vand. En oversvømmelse i forbindelse med en stormflod har som regel en kortere varighed end en oversvømmelse langs et vandløb som følge af ekstrem nedbør, hvor vandstanden stiger langsommere. Oversvømmelseshændelsernes hyppighed er afgørende for, hvor hurtigt og hvor ofte MHB-systemet skal sættes op, og hvor stor slidtage, som systemet udsættes for. I den forbindelse skal det desuden vurderes, om det ved hyppig oversvømmelse ikke er mere hensigtsmæssigt at etablere permanent højvandsbeskyttelse. Værdier og objekter der skal beskyttes Det skal vurderes hvilke værdier og objekter, som ønskes beskyttet. For nogle objekter kan en højere grad af sikkerhed være nødvendig f.eks. på grund af faren for en miljøforurening. Områdets størrelse og antallet af objekter kan ligeledes have betydning for valget af system, idet beskyttelsen af en enkelt ejendom stiller andre krav til systemet end beskyttelsen af en hel bydel. Beskyttelseshøjden De ovenfor listede systemer kan tilbageholde vand op til 0,6-1,2 m over terrænet. Det skal derfor vurderes, om det pågældende MHB-system har en tilstrækkelig beskyttelseshøjde i forhold til de lokale forhold og behov. I denne sammenhæng er det vigtig, at der tages højde for et tilstrækkeligt højt fribord. Tekniske beregninger skal endvidere dokumentere, at systemet kan modstå det hydrostatiske vandtryk, som opbygges på vandsiden. Terrænforhold på langs og tværs af systemet MHB-systemerne stiller forskellige krav til terrænforholdene. Nogle systemer kræver et jævnt terræn, mens andre kan tilpasse sig et varierende terræn. I den forbindelse er det afgørende, at terrænforholdene på langs og på tværs af systemet undersøges nøje for at sikre systemet mod at forskyde sig eller tippe. Placering og undergrund Grundlæggende skal MHB-systemet placeres, så det beskytter så mange værdier som muligt med så få opstillede meter af beskyttelse som muligt. Samtidigt skal der tages højde for, hvordan systemet ved den pågældende placering påvirkes af vandstand, strøm og bølger. Især i by- og havneområder er det derfor oplagt at undersøge højdeforholdene præcist. Ved placering af MHB-systemet skal der endvidere tages højde for undergrundens egenskaber. Nogle MHB-systemer (klapper, barrierer, betonelementer, bassiner) kræver en fast undergrund, mens andre systemer (f.eks. rør med luft) som følge af mindre egenvægt ikke behøver så fast

Foranstaltning	Mobile barrierer
	en undergrund. Desuden kan undergrundens overflade og dens ruhed (f.eks. asfalt, græs, grus) spille en rolle. Vedligeholdelse af systemet og lagerkapacitet MHB-systemerne har forskellige behov for vedligeholdelse, som bl.a. kan omfatte rengøring og reparationer efter en oversvømmelseshændelse. Det er vigtigt at undersøge hvor stor lagerkapacitet, som opbevaringen af systemet mellem oversvømmelseshændelserne kræver, ligesom lagerets placering i forhold til mulige indsatsområder skal inddrages i overvejelserne. Maskiner og infrastruktur for opsætning Det skal undersøges nøje, hvilke maskiner og infrastruktur, der er nødvendig for at opstille det pågældende system. Dette kan f.eks. omfatte adgang til fyldmaterialer som vand eller sand. Skal der bruges redskaber som pumper eller blæsere, kræves der adgang til elektricitet. For at løfte og fylde nogle af systemerne kan der være behov for adgang til mellemstore maskiner. Der skal være gode adgangsforhold (faste veje), når systemet transporteres til indsatsstedet med lastbil. Lys- og temperaturforhold under opsætning For nogle systemer kan en opsætning i mørke være meget vanskelig, især hvis systemet består af små dele og kræver meget håndslag. Sandsynligheden for at systemet opsættes forkert kan derfor stige, når opsætningen foregår om natten. Forkert opsætning kan desuden ske, når tidspresset er stort. Temperaturer omkring eller under frysepunktet kan vanskeliggøre opsætningen af plastikmembraner såvel som demonteringen af vandfyldte systemer. Hærværk MHB-systemer kan udsættes for hærværk eller anden påvirkning fra uautoriserede personer (der klatres op eller over systemerne). Anvendelsen af MHB-systemer kræver derfor et kontinuerligt tilsyn med systemet under indsatsen. Mobile højvandsbeskyttelsessystemer skal kunne modstå en række påvirkninger under driften. I tilfælde af at systemet ikke kan modstå en eller flere påvirkninger, vil systemet svigte og det beskyttede område oversvømmes. Generelt skal systemernes design tage højde for følgende påvirkninger: - Hydrostatisk vandtryk - Hydrodynamisk belastning (strømhastighed og -retning) - Bølgepåvirkning (bølgeslag, bølgeoverløb) - Drivgods - Vindpåvirkning - Menneskelig påvirkning (aktiviteter på eller ved systemet)
Funktion/ Virkning	Anvendes mod oversvømmelse, især fra åer og vandløb. De mobile barrierer kan opsættes dér, hvor en oversvømmelse truer og holde vandet tilbage. De mobile barrierer kan også i nogle tilfælde anvendes i byer til beskyttelse mod oversvømmelse direkte fra havet, men det skal være i områder, hvor der ikke er nogen væsentlig bølgepåvirkning, da de fleste mobile løsninger kun er beregnet til hydrostatisk vandtryk. Oversvømmelsesbeskyttelse i byer og beboelsesområder samt i industri- og havneområder, hvor der på grund af plads- og adgangsforhold ikke kan etableres permanent beskyttelse. Ud fra opsætnings- og funktionsmåde kan MHB-systemerne opdeles i 6 overordnede grupper. De 6 grupper omfatter systemer bestående af:

Foranstaltning	Mobile barrierer
	• Sandsække • Midlertidige højvandsvægge • Klapper og barrierer • Rør • Bassiner • Betonelementer  Sandsække Sandsække er den mest kendte og anvendte metode til at beskytte mod oversvømmelser. Fordelene ved brug af sandsække er, at sandsække er mindre enheder, som kan håndteres af en enkelt person, og at de har mange anvendelsesmuligheder samtidig med at fyldmaterialet kan skaffes nemt og billigt. Sandsække kan stables til en barriere, hvis stabilitet forøges, når sækkenes retning, på langs og på tværs, skiftes fra lag til lag. Barrierens stabilitet kan yderligere forøges, hvis der anvendes såkaldte tandem-sandsække bestående af to sandsække af polypropylen, som er forbundet af en trækfast plastikmembran. Ved anvendelsen af disse tandem-sandsække, kan der opnås en barrierehøjde på op til 2 m. Der er som nævnt mange anvendelsesmulighederne for sandsække, f.eks. til beskyttelse af en eller flere ejendomme (ringdige), til beskyttelse ved at lave barriere foran døre eller kældervinduer, til øget beskyttelse i en kombination med primære højvandsbeskyttelseskonstruktioner (diger) eller andre mobile højvandsbeskyttelsessystemer. En sandsækkebarriere tilpasser sig en varierende terrænoverflade. Der er ingen yderligere foranstaltninger påkrævet forud for etablering af barrieren, som f.eks. monteringen af stolper eller etablering af en plan bund.  Midlertidige højvandsvægge En midlertidig højvandsvæg består af tavler, planker eller et skot og udføres som oftest i linje langs med potentielt udsatte områder. Højvandsvæggene er kun i et vist omfang mobile, idet der skal opsættes bærende elementer, f.eks. stolper, som holder tavler eller planker på plads. Stolperne bliver dog tit udført på en sådan måde, at de kan fjernes mellem højvandshændelserne. Stolperne og tavlerne/planker består af stål, aluminium eller lignende materiale og kan stilles op af nogle få personer. Højvandsvæggene påvirkes hovedsageligt af et hydrostatisk vandtryk, hvilket betyder, at højden på væggene kun begrænses (0,5 - 1,5 m) af elementernes størrelse og vægt med hensyn til håndteringen. Midlertidige højvandsvægge anvendes især i havne- og byområder, som er lavtliggende og truet af oversvømmelse fra havet eller vandløb. Undergrunden/terrænet skal være fast og jævnt for at sikre en tæt sammenslutning mellem systemets dele. Det kan være nødvendigt at tætnes sammenføjningerne yderligere med sandsække. Før systemet kan tages i brug, skal der udføres et anlægsarbejde i forbindelse med etableringen af stolpernes monteringsanordninger. Hvis systemet er designet og konstrueret korrekt, er det dog et meget pålideligt beskyttelsessystem mod oversvømmelse. I forbindelse med afspærring af f.eks. gader/veje eller foran forretningsindgange kan der installeres automatiske højvandsvægge, som lukker automatisk ved en oversvømmelse. Denne form for højvandsvæg er forbundet med et større anlægsarbejde og kan derfor heller ikke flyttes til andre lokaliteter.

Foranstaltning	Mobile barrierer
	  Klapper og barrierer Klapper og mobile barriersystemer foldes ud på stedet og kan anvendes i mange forskellige sammenhænge som f.eks. langs kajkanter i havneområder, ved lange vandløb eller i oversvømmelsestruede byområder. Klappe- og barriersystemer kan stilles op i linje eller i en ringformation. Systemerne består som regel af en støttende underkonstruktion, et pladeelement og en tætningsmembran. Terrænet skal være jævnt og fast, og klapperne og barriersystemerne skal forankres i undergrunden mod glidning. Der kan opnås beskyttelseshøjder mellem 0,5 og 1,2 m. Systemet kræver ved opsætning over en 100 m lang strækning 4 personers arbejdskraft i en time, og ressourcebehovet til opsætning må derfor anses for at være begrænset.    Rør Der findes mange forskellige rørsystemer, som dog bygger på det samme princip: Rørene, som består af armeret plastik, lægges ud og fyldes maskinelt med vand, sand eller luft. Rørsystemer til vand eller luft er udstyret med et skørt på den side af røret, som vender mod oversvømmelsen. Under en stigende vandstand presses skørtet som følge af vandtrykket ned mod jorden, hvorved rørsystemet fikseres på stedet. Rør, der er fyldt med sand, har en stor egenvægt og kræver derfor ikke et skørt. Rørsystemer er meget fleksible, hvad angår anvendelsesmuligheder, og kræver ingen større forberedelse. Systemet kan lægges ud i linje eller i ring. Systemet tilpasser sig nemt terrænet, når det rulles ud og fyldes med vand, sand eller luft. Beskyttelseshøjden ligger mellem 0,5 og 1,0 m, dog kan højden i særlige tilfælde forøges ved, at et tredje rør stables ovenpå to fyldte og sammenkoblede rør. Rørsystemer er lette at håndtere (dog ikke i kraftig vind) og kræver begrænset lagerkapacitet. Anvendelsen af vandfyldte rør kan dog være problematisk i frostvejr, ligesom de vand- og luftfyldte rør jævnligt kræver kontrol i forhold til skader fra hærværk og lignende.   Bassiner Bassiner kan fyldes med enten sand eller vand. Bassinvæggene stabiliseres med metalrammer eller gabioner (bure til sten). Disse iklædes indvendigt med et geotekstil, når bassinerne fyldes med sand, eller en PVC-presenning når bassinerne fyldes med vand. Bassinerne kan sættes sammen for at danne en højvandsbeskyttelse over en længere strækning. Terrænet skal være fast og jævnt. Det er endvidere nødvendigt, at bassinerne er udformet, så de kan løftes og transporteres. Sand- eller vandfyldningens egenvægt medfører, at sammenføijningen mellem terrænet og bassinet ikke kræver yderligere foranstaltninger. Beskyttelseshøjden ligger mellem 0,5 og 1,0 m og opstillingen kræver kun begrænset arbejdskraft. Påfyldningen af bassinerne med sand kan fortages ved hjælp af maskiner.   Betonelementer Mobil højvandsbeskyttelse bestående af betonelementer anvendes som regel til at skabe en lineær beskyttelse langs f.eks. kajkanter eller til afspærring af gader eller veje. Betonelementer anvendes ofte på kortere strækninger, hvor der forventes en vis bølgepåvirkning. Elementerne er omkring 2 m lange og udformes tit i L- eller A-profil for at undgå, at elementerne tipper. Den maksimale beskyttelseshøjde er på ca. 1 m.

Foranstaltning	Mobile barrierer
	Terrænet skal være fast og jævnt. Endvidere er det nødvendigt, at elementerne er konstrueret, så de kan løftes til og fra lokaliteten. Ulempen ved betonelementerne er, at de kræver store maskiner til transport og opsætning. Desuden kræves der stor lagerkapacitet til opbevaring af elementerne, når de ikke er i brug.
Påvirkning af naturens frie dynamik, kystlandskab og miljø	Barriererne er ikke permanent opstillede og har derfor ingen længerevarende effekt på omgivelserne.
Anlægs-omkostninger	Prisen på de forskellige barriere-typer varierer. Barrierer af watertube-typen er relativt billige, men der må dog påregnes udgifter til mandskab til udlægning, opbevaring af slangerne med videre. Udgiften til mobile anlæg er dog under alle omstændigheder mindre end til permanente anlæg.
Drift og vedligeholdelse	Afhængigt af typen af barriere kan det være nødvendigt med et effektivt beredskab til opsætning. Rollerne og opgaverne skal være klart definerede, og folk skal være uddannede i opsætning af netop den type barriere, som skal anvendes i situationen. Desuden skal opsætningen ofte gennemføres i et ret snævert tidsinterval. Der kræves løbende eftersyn af (alle dele i) barrieren og evt. øvelser, hvis der går lang tid imellem, at barrieren anvendes.
Fremtidssikring	Nogle af de mobile barrierer kan tilpasses en højere vandstand. Hvis konstruktionen bliver højere, er der dog brug for mere materiale til at sikre stabiliteten og løsningen bliver væsentligt tungere.
Generelle fordele	• Optager ikke plads i landskabet, når der ikke er brug for det. • Materiellet er billigere end permanente konstruktioner og kan relativt let håndteres og opbevares. • Mobile barrierer kan anvendes både til enkelte bygninger og begrænsede områder og til større områder.
Generelle ulemper	• Kræver et effektivt beredskab for at opbygningen af de mobile barrierer kan ske korrekt, sikkert og i tide. Dette omfatter personaleressourcer men også mindre løfte- og køregrej. • Det er tidskrævende at opsætte mobile barrierer i stor skala og barriererne skal opsættes tæt på de steder, hvor der kommer oversvømmelse ofte under besværlige forhold. • Er ikke beregnet til moderat eller stor bølgepåvirkning.
Muligheder for multifunktionalitet/ rekreativ merværdi	Ingen muligheder for rekreativ værdi. En alternativ funktion kan være, at de også kan anvendes efter en evt. oversvømmelse til at lette en tørpumpning af et oversvømmet område.

Foranstaltning	Mobile barrierer
Eksempler	Oversvømmelsesbeskyttelse, som ikke kræver permanent monterede stolper, men som under normale omstændigheder er nedpakket og kun aktiveres, når der er udsigt til ekstremt vejr. Foto: Dansk Højvandssikring. Mobile elementer kan supplere faste konstruktioner fx i forbindelse med lukning af adgangsveje Foto: Dansk Højvandssikring.
Yderligere oplysninger	Der henvises til, at de forskellige leverandører har hjemmesider, hvor der kan søges yderligere oplysninger.

5.3 Kombinerede løsninger

I det følgende vises en række eksempler på kystbeskyttelse sammensat af flere kystbeskyttelseselementer på basis af givne målsætninger.

På de danske kyster findes utallige eksempler på kystbeskyttelse, som er sammensat af flere forskellige kystbeskyttelseselementer. Der vises nedenfor udelukkende eksempler, hvor den grundlæggende problemstilling i form af fare for oversvømmelse og/eller erosion er håndteret med en langtidsholdbar helhedsløsning.

Højvandsbeskyttelse placeret så tæt på kysten, at det udsættes for bølgepåvirkning

Diger kan være placeret så tæt på kysten, at de påvirkes af bølger og erosion. For at imødegå erosionen kan der derfor sandfodres. Diget kan have så stejl en forskråning og så lav en højde, at bølgerne kan skade diget, og bølger løber hen over diget. Det kan afhjælpes på mange måder. Diget kan flyttes ind i land, men hvis ikke det er en mulighed, så kan diget forhøjes og forskråningen flades ud. Der er dog situationer, hvor dette ikke er en ønskelig løsning, da udsigten fra husene bagved forringes markant. I stedet kan der anvendes bølgebrydende kystbeskyttelsesmetoder foran diget. En naturlig mulighed er at forøge strandens volumen, så bølgerne brydes inden de rammer diget. En sådan løsning er anvendt ved Krogen på den jyske vestkyst, se figur 5.1.



Figur 5.1 Dige/klit med sandfodring foran for at kompensere for erosionen og bryde bølgerne. Fyrretoppe og hjelme er nedsat foran klitten for at mindske vindtransporten af sand hen over klitten.

Målsætningen for strækningen er, at sikkerheden mod gennembrud er mindst svarende til en [returperiode](#) på 100 år med tilhørende bølgepåvirkning. Dette opnås ved dels at have en bredde på klitten på mindst 40 m ved den kote, der svarer til 100-års returperiode vandstanden. Desuden at standse tilbagerykningen af det aktive kystprofil.

En anden mulighed er at anlægge en eller flere bølgebrydere ude i vandet parallelt med stranden. Det er en mulighed, hvis bølgerne ikke kommer for skråt ind langs kysten. På Figur 5.2 ses et eksempel på en sådan kombination ved Tørresø på Nordfyn.



Figur 5.2 Dige med sandfodring for at kompensere for erosionen og bølgebrydere for at reducere bølgepåvirkningen på diget

På strækningen har målsætningen været at beholde højden på diget ved at anlægge bølgebrydere og sandfodring for dels at reducere bølgeopløbet på diget, dels at kompensere for erosionen. Der foretages løbende sandfodringer.

Hvis bølgerne kommer ind i en meget skrå vinkel, altså tæt på parallelt, er bølgeopløbet mindre, men har man alligevel brug for en bølgebrydende effekt, kan der anvendes høfder i stedet.

I forbindelse med byudvikling indvindes der ofte nyt land ved at nedsætte/ramme en lodret stålvæg/spunsjern ned i havbunden og fylde baglandsarealet op med sand. Hvis en sådan lodret konstruktion rammes af bølger, skal stålvæggen være meget høj for, at der ikke kommer et uacceptabelt stort bølgeroverskyl ind over væggen. For at kunne holde højden nede på baglandet og derved sikre nærhed til vandet, kan der anlægges en bølgebrydende stenskråning foran. Det ses også, at stenskråningen kan gøres visuelt mindre over vandet ved at udforme dens fod som en vandret banket af sten, der bryder bølgerne.

Et eksempel på dette ses på Aarhus ø i Aarhus Havn, se figur 5.3.



Figur 5.3 Bølgebrydende skråningsbeskyttelse med undersøisk banket

Erosionsbeskyttelse placeret hvor kystens orientering ændrer sig markant

På erosionskyster hvor kystens orientering ændrer sig markant, typisk ved kystfremspring, sker der er markant ændring i bølgenes evne til at transportere sand, hvilket fører til øget erosion.

På sådanne steder er det vanskeligt at have en tilstrækkelig bølgebrydende strand til at beskytte infrastruktur meget tæt på vandet under storm. I disse tilfælde kan den kompenserende sandfodring suppleres med strukturer, typisk i form af en eller flere bølgebrydere, til at sikre bølgebrydning under storm.

Et eksempel på en sådan kombination ses ved Lønstrup i Nordjylland. Her er målsætningen at forhindre husene på kanten i at skride i havet, samt at kompensere for erosionen indenfor bølgebryderne ved sandfodring. En yderligere målsætning er at have en strand i sommermånederne for at kunne færdes langs med kysten.



Figur 5.4 Bølgebryder hvor erosionen forøges, fordi kystens orientering ændres. Der kompenseres for erosionen med sandfodring som det ses midt i billedet.

Erosionsbeskyttelse placeret nedstrøms for en længere strækning udelukkende med [passiv kystbeskyttelse](#)

På strækninger med erosion forstærket af [læsideerosion](#) fra passive(hårde) anlæg kan det, udover at standse skrænttilbagerykningen ved sandfodring, være målsætningen at reducere effekten af [læsideerosionen](#) fra de opstrøms beliggende passive kystbeskyttelses anlæg. Dette kan gøres ved at etablere bølgebrydere. På Figur 5.5 ses et eksempel fra Heatherhill på Sjællands Nordkyst, hvor sandfodring er kombineret med tre bølgebrydere. De passive kystbeskyttelses anlæg uden kompenserende sandfodring ses nederst i billedet.



Figur 5.5 Bølgebrydere med kompenserende sandfodring

Dige placeret så kystnært, at foden er dækket af vand

Nogle diger placeres, så foden af disse er placeret i vandet. Det kan der være flere årsager til. Den typiske årsag er, at baglandets arealanvendelse ikke gør det muligt at trække diget ind i land. Det vanddækkede område vil være sårbart for bølgepåvirkning, fordi græs ikke kan gro der. Derfor udføres ofte en fodbeskyttelse. Den kan udformes på mange måder. Det kan være en række betonfliser lagt ud på forskråningen, fra havbunden og et stykke op ad diget. Det kan være en skråningsbeskyttelse af sten som også lægges ud fra havbunden og et stykke op ad diget. Et eksempel herpå er diget nord for Tårs på Lolland, se figur 5.6.



Figur 5.6 Meget kystnært placeret dige med fodbeskyttelse af sten, Nord for Tårs Lolland

Erosionsbeskyttelse på en lige kyst, ikke en langtidsholdbar helhedsløsning

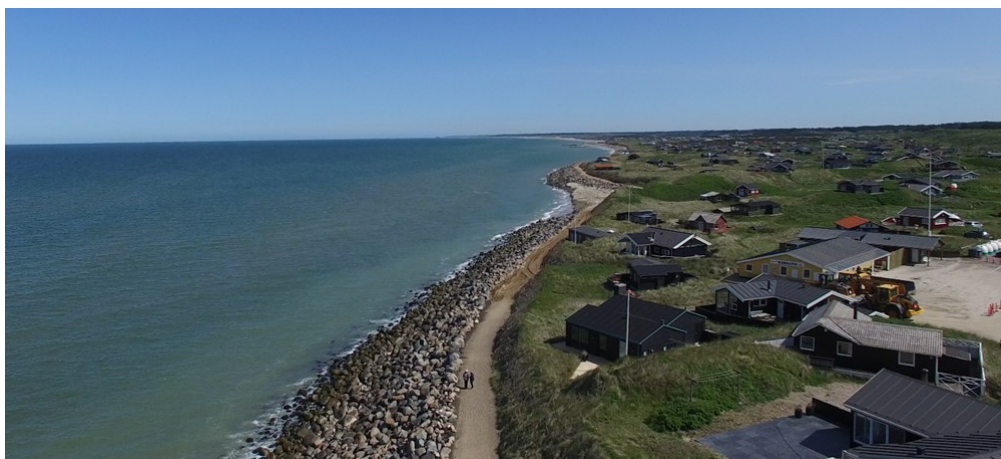
Der findes talrige eksempler på, at serier af høfder eller bølgebrydere er anvendt til at beskytte det bagvedliggende land mod erosion. Som tidligere nævnt i denne vejledning er det ikke en

holdbar løsning, fordi erosionen fortsætter på strækningen, og der er [læsideerosion](#) fra kystbeskyttelsen. Fordi erosionen på en eksempelvis høfdebeskyttet strækning foregår relativt langsomt over mange år, kan det være svært at erkende, at den foregår. Et tydeligt eksempel ses på figur 5.7, fra Harboøre Tange på den jyske vestkyst, hvor det ses, at høfderne ikke har forhindret kysten i at rykke tilbage, og høfdernes yderste ender derved er flyttet landværts. Senere er stenene anvendt til at få høfdernes landender til igen at have forbindelse til den bagvedliggende klit.



Figur 5.7 Høfder og klitbeskyttelse mod højvande. Blå prikker viser høfdernes oprindelige ende. Blå stiplede linje viser kystlinjen 40 år før baggrundsbilledet.

Et andet eksempel er [passiv kystbeskyttelse](#) i form af en skråningsbeskyttelse, som er anlagt uden kompenserende fodring. På sådanne strækninger vil stranden helt forsvinde ad åre, se figur 5.8.



Figur 5.8 Passiv skråningsbeskyttelse bevirker, at stranden forsvinder, Harrerenden Nordjylland.

Desuden øges bølgepåvirkningen på skråningsbeskyttelsen, fordi kystprofillets bølgebrydende effekt reduceres. Derved reduceres skråningsbeskyttelsens sikkerhed og vedligeholdelsesomkostningerne øges.

Et andet eksempel på en ikke langtidsholdbar kystbeskyttelse ses på figur 5.9, hvor et dige er placeret på forstranden i et område, hvor der er erosion. For at fastholde stranden er der anlagt høfder, men høfderne forhindrer ikke erosionen, så stranden er gradvist forsvundet, hvilket har gjort, at digets sikkerhed er blevet for lille. Grundejerne har så startet med at anlægge en skråningsbeskyttelse af sten for at gøre diget stærkere overfor bølgeslag. Det ses at stranden er helt væk, og i løbet af nogle år vil skråningsbeskyttelsen af sten sætte sig og gøre diget svagere igen.



Figur 5.9 Dige beliggende på forstrand udsat for erosion

Sandbuffer med bagstopper på kystrækninger, hvor hensynet til en naturligt udseende strand vægter højt

Sanddækket skråningsbeskyttelse med tilhørende kompensationsfodringen (sandbuffer) har været anvendt på et par lokaliteter i Hjørring Kommune. Metoden kan have sin berettigelse i den situation, hvor værdier på erosionskyst er akut truet, men hvor man samtidig ikke tåler at gå på kompromis med de rekreative værdier i området.

En sandbuffer vil opretholde den lokale skræntdynamik og naturlige kystdynamik. I forbindelse med akut erosion vil sandbufferen således sikre, at der kan ske en naturlig frigivelse af sediment, og at der derfor ikke sker en negativ påvirkning af strandens rekreative værdi.

Størrelsen af tildækningen skal som udgangspunkt svare til en sandmængde, som alene vil kunne give den ønskede sikkerhed mod nedstyrtningssfare. I forhold til dimensionering af sandbufferne henvises til [begrebslisten](#).

5.4 Strukturelle og ikke-strukturelle tiltag

Ved siden af kystbeskyttelse kan der også være ikke strukturelle tiltag. Med ikke-strukturelle tiltag menes for eksempel indsats fra beredskabet og fysisk planlægning i kommunen. Fysisk planlægning omhandler, at f.eks. fremtidige skader kan undgås ved ikke at opføre beboelse og industrianlæg i områder, der historisk har været - eller i fremtiden kan forventes at blive - udsat for oversvømmelser eller erosion.

Beredskabsindsats indebærer blandt andet, at borgere oplyses om oversvømmelsesrisikoen og om, hvordan de skal forholde sig i tilfælde af oversvømmelse. Andre ikke-strukturelle tiltag kan for eksempel være varsling og lovgivning.

De ikke-strukturelle tiltag kan iværksættes alene eller i sammenhæng med strukturelle kystbeskyttelsesmetoder. Et dige vil være dimensioneret til eksempelvis en 100 års hændelse, men i tilfælde af en 1000-års hændelse, vil diget blive overskyllet. Her vil eksempelvis watertubes kunne komme i spil og sammen med diget kunne holde vandet tilbage. Endvidere vil selv det største dige kunne bryde.

Ved at supplere med ikke-strukturelle tiltag, vil risikoen i mange tilfælde kunne imødegås på en mere smidig og omkostningseffektiv måde. Internationale cost-benefit analyser viser, at beredskab og varslingsystemer er op til ti gange billigere end fysisk beskyttelse.

De følgende afsnit vil kort behandle beredskab og fysisk planlægning som alternativ og/eller supplement til traditionelle strukturelle kystbeskyttelsesmetoder.

5.4.1 Beredskab

Beredskabet kan yde forebyggende, begrænsende og afhjælpende indsats i forbindelse med ulykker og katastrofer, herunder oversvømmelser. Beredskabet spiller således en væsentlig rolle i forhold til risikostyring af oversvømmelser. Indsatsplaner for oversvømmelse kan udarbejdes og bør gå på tværs af fagforvaltningerne og redningsberedskabet. Indsatsplaner kan indeholde tiltag, som ikke kun er akutte, men forudsætter varslings og derefter tilstrækkelig responstid. Under oversvømmelse vil det være relevant at have fokus på, dels at hindre oversvømmelsens udbredelse, dels sikre områder mod følgerne af en oversvømmelse, dels at yde bistand til ofre for oversvømmelsen.

Endvidere etableres højvandsbeskyttelse altid kun til en vis kote, et bestemt sikringsniveau. En hændelse, der ligger over sikringsniveauet, kan altid forekomme, selvom sandsynligheden kan være lille. Derfor er et beredskab af bl.a. kommunale, regionale og private aktører en nødvendighed i de allerfleste tilfælde.

Beredskabet kan effektueres på mange niveauer (lokalt, kommunalt, regionalt eller nationalt). Beredskabet er ofte planlagt af professionelle i kommunen eller gennem politi og brandvæsen, men udføres i en kombination af trænet personel og frivillige. Forebyggelse gennem aktivering af offentlige og private aktører, brug af nationale varslingsystemer og udvikling af beredskabs-samarbejde i lokalmiljøet er et væsentligt supplement til etablering og vedligeholdelse af strukturel kystbeskyttelse.

5.4.2 Fysisk planlægning

Fysisk planlægning er et vigtigt redskab, når kommunerne skal sikre nye og eksisterende by- og sommerhusområder mod oversvømmelse og erosion". Folketinget har vedtaget flere ændringer af planloven, der indebærer, at klimatilpasning og sikring mod oversvømmelser og erosion bliver et fast tema i kommuneplanen. Ændringerne er vedtaget ved henholdsvis lov nr. 62 af 30. januar 2018 (forebyggelse af skader ved oversvømmelse eller erosion) og lov nr. 63 af 30. januar 2018 (mulighed for at etablere kystbeskyttelsesplan uden tilvejebringelse af en lokalplan). Mere information herom findes i "Vejledning i planlægning for forebyggelse af oversvømmelse og erosion", hvor der blandt andet i kapitel 4 redegøres for, hvornår der er lokalplanpligt i relation til kystbeskyttelsesplanlægning.

Forebyggende planlægning kan være et værktøj til at nedsætte risikoen for tab på grund af oversvømmelse eller erosion. Forebyggelse kan handle om:

- At etablere foranstaltninger, som kan tilpasses arealanvendelsen
- At udpege områder til vandtilbageholdelse og opmagasinering, da højvande kan forårsage tilbagestuvning og blokere for naturlig afvanding fra land

Generelt at undgå, at der fremadrettet etableres nye aktiviteter i områder, hvor der kan forudses fremtidige oversvømmelsesskader og erosionstab.

Arealanvendelse

Arealanvendelsen har stor betydning for konsekvensen af oversvømmelse eller erosion og dermed risikoen. Udviklingsplaner for nye (by-)områder, der tager højde for kystens udvikling og kommende klimaændringer, kan være en effektiv beskyttelse mod oversvømmelser og erosion og dermed forebygge fremtidige omkostninger og tab.

Ved at danne sig et overblik over udfordringerne vil kommunen blive i stand til at udpege zoner, hvor der er en erosions- og oversvømmelsesrisiko, og hvor der bør indføres relevante krav til, hvordan området må anvendes og udvikles. For eksempel kan kommunen stille krav om, at kystbeskyttelse skal indgå i projektet, når der søges om tilladelse til byudvikling i havneområder. Muligheden for at stille klimakrav i kommunernes lokalplaner er et betydningsfuldt redskab til at realisere klimatilpasningsplanerne.

Byggetekniske foranstaltninger

Hvis der ønskes ny bebyggelse i risikoområder, kan en række byggetekniske foranstaltninger indtænkes. Nye bebyggelser kan pålægges at overholde en vis sokkelhøjde, der kan udstedes forbud mod, at der bygges med kælder, eller der kan stilles krav om, at byggeriet placeres højt på grunden eller hviler på pæle. Sådanne tiltag kan dog være svære at tilpasse, hvorfor denne mulighed skal sammentænkes med øvrige strategier og prognoser for risikoudvikling.

6. Multifunktionelle anlæg – eksempelsamling

Ofte når der planlægges kystbeskyttelsesprojekter, tages der alene udgangspunkt i beskyttelsesaspektet. Dette er naturligt, men det vil ofte give god mening også at se projektet i en større sammenhæng og afsøge mulighederne for at tænke andre funktioner ind i løsningen end alene beskyttelsen mod erosion og oversvømmelse.

"Multifunktionel" kystbeskyttelse har til formål at beskytte baglandet mod oversvømmelse eller kystlinjen mod erosion, men anvendes også til andre formål, såsom infrastruktur, naturformidling og rekreation. Multifunktionalitet kan implementeres på mange måder og i forskellig skala.

Således kan et dige med en cykelsti på toppen ansues som et multifunktionelt kystbeskyttelsesanlæg, idet diget både sikrer mod oversvømmelse fra havet, men samtidig leverer infrastruktur og giver mulighed for rekreative oplevelser. Ved at tænke multifunktioner ind i udformningen af anlægget, kan der desuden ofte kompenseres for visse af de eventuelt negative konsekvenser, som et kystbeskyttelsesanlæg kan have.

Hindres passagen langs stranden ved et digebyggeri kan en løsning netop være en sti. I den anden ende af skalaen kan fremhæves projekter, hvor projektet oprindeligt er startet som et kystbeskyttelsesprojekt, men hvor man over tid har glemt den oprindelige funktion, idet den rekreative merværdi har været så stor, at den har overskygget kystbeskyttelsesaspektet. Køge Bugt Strandpark er et godt eksempel. Projektet er en visionær kombination af menneskeskabt natur og kystbeskyttelse, som i synergi med baglandet har bidraget til udvikling og økonomisk vækst.

Multifunktionelle løsninger er særligt velegnede i forbindelse med kommunale fællesprojekter, hvor projekterne ofte er store og strækker sig over en længere kyststrækning. Også i forbindelse med byudviklingsprojekter eller omdannelse af havnearealer til byområder giver det god mening at tænke kystbeskyttelsen ind i byrummet og derved skabe en ekstra dimension i anvendelsen. Der er ofte et potentiale for at optimere ressourcer ved at udnytte nye kombinationsmuligheder og integrerede løsninger. Dette gælder både i forhold til at optimere arealanvendelsen, men også i forhold til at skabe merværdi. Der er efterhånden en række eksempler på, at kystbeskyttelse med en helhedsorienteret målsætning, hvor flere funktioner er sam-tænkt, og hvor målet har været synergi med hele området, har resulteret i projekter, hvor kystbeskyttelsen, foruden at levere beskyttelse, også bidrager til at udvikle lokalområdet positivt og dermed leverer en økonomisk og rekreativ merværdi.

Følgende eksempler på multifunktionelle løsninger af både nyere og ældre dato kan forhåbentlig tjene til inspiration.

6.1 Høfde Q, Vesterhavshøfde ved Lemvig



Høfde Q ved Fjaltring vest for Lemvig er anlagt som en høfde med en bred handicapvenlig adgangsvej på selve høfden. I tilknytning til høfden er der etableret P-plads med kørestolsrampe til stranden. Bag klitterne er der etableret en handicapvenlig grill- og shelterplads.

Da adgangen til stranden er gjort let, er Høfde Q blevet et populært samlingssted for såvel de lokale som turister, der bruger lokaliteten som samlingspunkt bl.a. til Sankthansfesten. Men lokaliteten trækker også folk til udefra, som fx turister, campister, lystfiskere og surfere.

Høfde Q har foruden sin funktion som kystbeskyttelse altså også funktion som aktivitetscentrum, rekreativt samlingssted og turistattraktion.

6.2 Gjellerodde Nordstrand – diger udnyttes rekreativt



Diget ved Gjellerodde Nordstrand ved Lemvig er bygget for at beskytte det lave bagvedliggende område mod oversvømmelse fra Nissum Bredning.

Ovenpå diget er der etableret en cykelsti, som indgår i et større netværk af cykelstier herunder en 44 km lang panoramarute, og som giver mulighed for adgang til det imponerende kystlandskab langs fjorden.

Cykelstien medfører forøget slid på diget og derfor også større vedligeholdelsesomkostninger. Til gengæld får området en værdifuld rekreativ gevinst.

6.3 Nationalpark Vadehavet – dige byder velkommen



Ved Rømhøddæmningen i Nationalpark Vadehavet er diget blevet indlemmet i nationalparkens velkomstanlæg. En sti nord for landevejen leder den besøgende op over en høj og videre herfra over en bro og ad en trappe op på selve diget.

Turen giver den besøgende mulighed for at opleve det inddigede marsklandskab, vaden og fuglelivet – og diget får derved tilført en ekstra værdi.

6.4 Hasmark Strand, Nordfyn, dige med adgangsvej for gående



Hasmark Strand på Nordfyn er et populært område i sommersæsonen og har været yndet udflugtsmål for odenseanerne gennem flere generationer.

Kysten er kendetegnet af lavtliggende strandenge bebygget med sommerhuse og beskyttet mod oversvømmelse af diger. Lag og grundejerforeninger i området har været meget aktive i arbejdet for at modvirke nedslidning og vedligeholde og udvikle det rekreative område. Regelmæssig sandfodring, der bekostes af lodsejerne, har sammen med et fondsfinansieret projekt, der har skaffet flere opholds- og fællesområder i kystområdet, betydet, at området fortsat er attraktivt trods intensiv brug.

Der er udarbejdet en overordnet kystgenopretningsplan for strækningen på Nordfyn, som primært er baseret på kystfodring for at genetablere sandstrandene langs sommerhusene og derved forøge kystens rekreative værdi og samtidig øge beskyttelsen af diger og sommerhuse.

Projektet har vist, at kystfodring kan genskabe sandstrandene. Sandet bliver generelt på kysten og er dermed til gavn i mange år, selvom stranden ikke er stabil og sandet gradvist transporteres langs kysten. En ekstra rekreativ funktion er, at diget i Hasmark samtidig har funktion som adgangsvej for gående færdsel.

6.5 Køge Bugt Strandpark



Køge Bugt Strandpark er et visionært eksempel på en kombination af menneskeskabt natur og kystbeskyttelse, som i synergi med baglandet har bidraget til udvikling og økonomisk vækst. Køge Bugt Strandpark var da også et led i efterkrigstidens sammenhængende plan for udvikling af hovedstadsområdet med tilhørende købstæder, den såkaldte Fingerplan.

Strandparken er en kunstigt anlagt strand i den nordlige del af Køge Bugt. Den er primært skabt for at beskytte lavtliggende kystområder med mange boliger mod oversvømmelse. Dette til trods er området i dag nok mere kendt for sine rekreative kvaliteter end for sin (uomtviselige) effektivitet som kystbeskyttelsesforanstaltning.

Det kunstigt skabte naturområde strækker sig fra Hundige i syd til Avedøre Holme i nord og omfatter i alt ca. 7 km sandstrand samt klitter, søer og strandenge. Om sommeren er strand og klitter flittigt besøgt af badegæster. For at befæste de kunstige klitter, er de beplantet med hjelme, der er hentet ved Jyllands vestkyst. Endvidere rummer kyststrækningen fire lystbådehavne, nemlig i Brøndby, Vallensbæk, Ishøj og Hundige og området er gennemsåret af et net af meget benyttede vandrestier.

Køge Bugt Strandpark blev indviet i 1980 og har haft stor betydning for udviklingen i lokalområdet. Strandparkens rekreative kvaliteter bidrager til at styrke bosætningen og ejendomspriserne, og naturområdet bruges aktivt af lokalsamfundet til idræt og motion samt i forbindelse med helse og kultur. Især området omkring kunstmuseet Arken trækker hvert år mange besøgende til fra hele verden.

Amager Strandpark er også et kunstigt anlæg, som har forøget københavnernes rekreative muligheder betydeligt og har styrket områdets økonomiske udvikling, men anlægget har dog ikke på samme måde en kystbeskyttende funktion, som det er tilfældet med strandparken i Køge Bugt.

6.6 Sandfodring på Jyllands vestkyst



Uden sandfodring som kystbeskyttelse ville Jyllands vestkyst på strækningen fra Lodbjerg til Nymindegab rykke mellem en og otte meter tilbage om året, ligesom en stor del af klitterne ville forsvinde. Et eventuelt gennembrud af klitterne og oversvømmelse af baglandet ville have store menneskelige og økonomiske konsekvenser. Sandfodringen langs den jyske vestkyst har altså helt klart kystbeskyttelse som sit formål.

Alligevel er der ikke tvivl om, at pleje af eroderede kyststrækninger ved hjælp af sandfodring samtidig er en investering i styrkelse af den økonomiske aktivitet i området. Vedligeholdelse af stranden understøtter turisterhvervet og den generelle erhvervsudvikling og investeringslyst i disse områder.

6.7 Højvandsmuren i Lemvig



Højvandsmuren i Lemvig er en effektiv oversvømmelsesbeskyttelse af den lavtliggende bykerne. 350 meter kraftig betonmur slynger sig gennem havneterrænnene, afbrudt af solide stålporte, som kan lukkes, når der er fare for ekstremt højvande eller stormflod.

Højvandsmuren indgår naturligt i byrumsarkitekturen og skaber en havnefront, hvor fodgængerne er adskilt fra den kørende trafik. Murens slyngninger skaber forskellige rum på hver sin side af muren. Markedsplads og legeplads, som tåler oversvømmelse på ydersiden af muren, p-pladser med overløbspumpesikring på den indvendige side, som kan klare det regnvand, som ofte kommer samtidig med stormen.

Der er skabt plads til boldspil og leg, og muren er forsynet med siddepladser til stille ophold med udsigt til havnebassinet osv. Foruden sin funktion som kystbeskyttelse har muren tilføjet nye rum og nye brugsmuligheder til havnearealet.

Højvandsmuren i Lemvig har været inspiration til opførelse af lignende mure flere steder i landet blandt andet i Roskilde Inderhavn Vest, hvor man dog har valgt, at åbningerne i muren lukkes manuelt med løse stålelementer, når der er optræk til forhøjet vandstand.

6.8 Adgang til vandet for handicappede – og beskyttelse mod oversvømmelse



Foto: Dansk Handicapforbund

Dansk Handicapforbund har opført en højvandsmur som værn mod oversvømmelse ud for deres ejendom "Stranden" på Strandvejen i Charlottenlund. Højvandsmuren er gennemskåret af to åbninger, og i konstruktionen er der ud over beskyttelsen lagt vægt på et andet lige så væsentligt formål: At give handicappede en brugervenlig adgang til vandet. Denne adgang sker via en rampe, som gør det muligt for kørestolebrugere at komme helt ud i havet.

Udover det rekreative formål til handicappede beskytter højvandsmuren effektivt mod oversvømmelse. Muren er forsynet med to skydedøre fremstillet i rustfrit stål. Disse aktiveres manuelt og lukker åbningerne i muren ved stormflodsvarsling.

6.9 Det fremskudte Dige – fra kontroversiel kystbeskyttelse til turistattraktion



I forbindelse med en række kraftige storme i 1976 måtte ca. 20.000 personer evakueres fra Tønder og Ribe-marsken. Stormene var den afgørende årsag til, at Det Fremskudte Dige blev bygget fra 1979-81. Diget strækker sig over grænsen til Tyskland med 8,6 km på dansk og 3,6 km på tysk side. Vidåen passerer diget gennem Vidå Slusen.

Da diget blev opført, opstod Magrethe Kog. I den vestlige del af den fredede Magrethe Kog er der anlagt en 2,6 km² stor saltvands-sø, hvor der pumpes frisk havvand ind, så der er et rigt marint dyreliv som fødegrundlag for fuglene. Søen er en kompensation for den del af Vadehavet, der forsvandt ved anlæg af Det Fremskudte Dige.

Bygningen af Det Fremskudte Dige og ønsket om en sø bag diget gav i sin tid anledning til megen lokal diskussion. Denne diskussion er dog nu ophørt. Hjulpet godt på vej af fine parkeringsforhold, nem adgang og mulighed for forfriskninger undervejs, er Det Fremskudte Dige og Vidå-slusen i dag turistattraktioner, der hvert år tiltrækker mange besøgende og flittigt anmeldes på sociale medier.

Begrebsliste

Aeolisk transport: Når sandet flyttes med vindens kræfter, kaldes det aeolisk transport

Aktiv kystprofil (aktiv zone): Det aktive kystprofil er den del af profilet der påvirkes af bølger og strøm. Udstrækningen er som udgangspunkt fra toppen af skrænten og ud til den dybde, hvor bølgerne og strøm flytter sediment. Den aktive dybde afhænger af farvandet. Overslagsmæssig kan det angives, at for Nordsøen er den aktive dybde 6,5 m, mens den for bælterne er 3,0 m. I fjorde og beskyttede områder den som udgangspunkt 1,3 m, mens den i Kattegat og Østersøen er 4,0 m.

Aktiv kystbeskyttelse: Aktiv kystbeskyttelse er betegnelsen for løbende foranstaltninger til modvirkning af en naturlig tilbagerykning af kysten. Eksempelvis kystfodring, hvor der ved løbende placering af sediment i kystprofilet skabes en buffer af materiale, hvori den naturlige erosion kan foregå.

Aktivt kystdræn: Aktivt kystdræn er en blød kystbeskyttelsesmetode. Et drænsystem installeres under strandfladen og parallelt med kystlinjen for at øge opbygning af strand ved kunstigt at sænke grundvandstanden under stranden.

Dimensionering af sandbuffere:

Tildækningsmængde

I det følgende er den maksimale akutte erosion $B_{\text{maks, akut erosion}}$, som kan optræde under storm, gennemgående basis for fastlæggelse af fodringsmængder og den morfologiske skala, som tager hensyn til randeffekter.

Tildækningsmængden skal sørge for, at skråningsbeskyttelsen aldrig blottes og dermed får en negativ effekt på et eller flere af de hensyn, som kommunen skal afveje jf. kystbeskyttelsesloven. Den sikkerhed, myndigheden skal have for at dette ikke sker, er den samme som ansøger ville vælge, hvis beskyttelsen mod akut erosion udelukkende etableredes som en sandbuffer. Figur 1 viser de forskellige betegnelser.

Bredden af tildækningsmængden $B_{\text{tildækning, skråning}}$ foran skråningsbeskyttelsen er mindst $2 \cdot B_{\text{maks akut erosion}}$, såfremt der fodres mindst hvert 5 år. Bredden af tildækningsmængden i enderne $B_{\text{tildækning, morfologisk skala}}$ er $0,25 \cdot B_{\text{tildækning, skråning}}$

Af hensyn til den morfologiske skala skal L_{luvside} være længere end $L_{\text{læsside}}$. Af hensyn til at dette er tommelfingerreglen, at $L_{\text{luvside}} = 2 \cdot L_{\text{læsside}}$.

$$L_{\text{luvside}} = 10 \cdot B_{\text{maks akut erosion}}$$

Længden af skråningsbeskyttelsen $L_{\text{skråning}}$ er to gange **husets** bredde L_{hus}

Tildækningsmængdens topkote $K_{\text{tildækning top}}$ skal være lig med eller større end topkoten på skråningsbeskyttelsen $K_{\text{skråning top}}$ plus 1 meter.

Tildækningsmængdens bundkote $K_{\text{tildækning bund}}$ skal være lig med eller mindre end bundkoten på skråningsbeskyttelsen $K_{\text{skråning bund}}$.

Kompensationsfodring

Kompensationsfodringen for den kroniske erosion skal foregå i hele tildækningsmængdens længde, og være mindst modsvarende den gennemsnitslige profilerosion.

Dokumentation

Opfyldelsen af vilkår om tildækningsmængde skal dokumenteres vha. opmåling og mængdeberegninger i tværprofilerne. Der skal være et tværprofil for minimum hver $3 \cdot B_{\text{maks akut erosion}}$

Opfyldelse af vilkår ved kompensationsfodring sker typisk gennem vejersedler eller anden form for dokumentation for tilført mængde til kystprofil

Erosionsrate: Erosionsraten er en måling af den tilbagerykning, der sker af kystprofilen over tid. Hvis en kystprofil over ti år rykker to meter tilbage, er erosionsraten i gennemsnit 0,2 meter pr. år.

Eustatisk ændring: Eustasi betyder ændring af verdenshavens vandvolumen. Det kan være pga. stigende temperatur i vandet eller ændringer i volumen af den globale ismasse.

Filterkriteriet: Et filterelement, er det element, der skal forhindre den omgivende jord i at trænge ind i konstruktionen. Filterelementer er enten sammensat af 2-4 lag af forskellige størrelser af sand, grus eller småsten, eller af et geotekstil. Filterlaget skal have en passende porøstørrelse og være i stand til at tilvejebringe vedvarende permeabilitet og filtrering. Denne egenskab beskrives gennem filterkriteriet. Som udgangspunkt skal hvert lag være mere gennemtrængeligt end laget nedenunder.

Formel for sandfodring: Mængden af materiale, der skal placeres som en buffer i kystprofilen, for at beskytte mod erosion af kysten, kan beregnes ud fra [erosionsraten](#) og skræntens højde over en given strækning.

Følgende beregningsmetode kan anvendes i et kystprofil, der består af sand.

$$F = l * (h + d) * s * t$$

F: Fodringsmængde [m³/år i fast mål]

l: længde af strækning [m]

h: kote til terræn inden for skrænten [m]

d: aktiv dybde – der hvor bølger og strøm flytter sediment [m]

s: periode [år]

t: tilbagerykning/erosion [m/år]

Forstejlet kystprofil: Der sker en forstejling af kystprofilen, når den naturlige erosion af kystens skrænter forhindres, og der således ikke frigives materiale til opbygning af et naturligt kystprofil. Eksempelvis vil en hård skråningsbeskyttelse flytte den naturlige erosion ud foran anlægget og dermed skabe et unaturligt stejlt profil af kysten foran anlægget.

Geometri: I denne sammenhæng menes geometri af oversvømmelsesbeskyttelsen. Eksempelvis er det afgørende for et digets funktion og stabilitet, at diget har en flad forskråning [1:5 eller 1:10]. Bagskråningen kan være stejlere [1:3]. Højden af digets krone fastsættes ud fra den hændelse, som man vil beskytte sig imod.

Gradient: Gradienten i langtransporten er et udtryk for, om der over en vis afstand fjernes eller tilføres sediment via langtransporten. Hvis gradienten er positiv, er det et tegn på at mere sediment transporteres væk fra området, end der tilføres, altså at der netto fjernes sediment fra kysten. Hvis gradienten derimod er negativ tilføres der sediment til kysten.

Initialfodring: I forbindelse med et kystfodringsprojekt benyttes betegnelsen initialfodring om den første fodring, der har til formål at genopbygge et naturligt kystprofil og dermed danne grundlag for efterfølgende vedligeholdelsesfodringer. Eksempelvis vil der på en kyst, der igen en længere årrække har været påvirket af hård skråningsbeskyttelse, være et underskud af sediment, og dermed et behov for at genopbygge et naturligt profil, forud for at kysten efterfølgende kan beskyttes effektivt med vedligeholdende fodring.

Isostatisk ændring: Isostasi betyder hævn eller sænkning af jordskorpen. Dette kan skyldes belastningsændringer pga. et varierende isdække.

Kommunale fællesprojekter: Med kommunale fællesprojekter menes kystbeskyttelsesprojekter, der gennemføres efter reglerne i kystbeskyttelseslovens kapitel 1a. Et kommunalt fælles projekt kan indledes efter anmodning fra en eller flere grundejere eller efter beslutning i kommunen.

Litoral: Litoral henviser til det kystnære område hvor sedimenter mobiliseres og flyttes af bølger og strøm. Med formuleringen "litorale processer" menes således bølge, strøm og sedimentbevægelser i den kystnære zone.

Læsideerosion: Læsideerosion er den erosion, der forekommer på læsiden af en konstruktion, der er placeret i kystprofilen. Ved eksempelvis høfder, bølgebrydere og havneanlæg er denne erosion således forårsaget af, at disse konstruktioner standser den naturlige sedimenttransport på strækningen, og dermed skaber et sedimentunderskud nedstrøms anlæggene. En skråningsbeskyttelse af eksempelvis sten skaber også læsideerosion, da den lukker sedimentkilden i skrænten, som dermed ikke bliver tilgængelig i forhold til opbygning af kysten nedstrøms.

Passiv kystbeskyttelse: Passiv kystbeskyttelse er betegnelsen for faste anlæg, der med deres placering har til formål standse eller omfordele den naturlige sedimenttransport på kysten. Passive anlæg kan eksempelvis være høfder eller skråningsbeskyttelser. Passive anlæg standser ikke erosionen.

Piping: Diger har flere fejlmekanismer. En af disse fejlmekanismer er piping. Piping er processen under en højvandshændelse, hvor der dannes små strømningsveje og udvaskningskanaler under et dige i en sandet undergrund fra indgangspunkt til udgangspunkt. Indgangsstedet og udgangspunktet er ved digets havside og ved digets landside. Under højvandshændelser synliggøres piping ved dannelse af sandudvaskninger, som træder ud på digets landside. Piping medfører ikke digebrud så længe strømningsveje og udvaskningskanaler ikke har nået en kritisk længde. Derefter er udvaskningsprocessen irreversibel og diget vil bryde sammen.

Refraktion: Bølger bevæger sig med en hastighed der afhænger af det medium, bølgerne færdes i. Bevæger en plan bølge sig fra et område med én udbredelseshastighed til et andet område med en anden udbredelseshastighed, ændres bølgens udbredelsesretning som følge af et fænomen der kaldes **refraktion** eller **brydning**.

Returperiode: En returperiode for højvande under stormflod er den statistiske tid der forløber mellem højvander. F.eks. bruger man typisk returperioder på 20 år, 50 år og 100 år. En vandstand med en returperiode på 50 år kaldes også for "en 50 års hændelse". Returperioden anvendes til at dimensionere for en given hændelse. Kystdirektoratet beregner en såkaldt højvandsstatistik, hvor den statistiske sammenhæng mellem vandstand og returperiode/middeltidshændelse er fastlagt. Hvis perioden hvori vandstandene er målt er relativt kort er det ikke muligt at angive høje returperioder uden en meget stor usikkerhed.

Revhul/hesthul: Et revhul/hesthul er et hul i en revle, hvor der kan dannes en kraftig udadgående lokal og midlertidig strøm. Hestehullerne opstår, når der er tilstrækkeligt meget vand inden for revlen, som giver et pres, der danner en udadgående strøm gennem revlen.

Risiko, definition

Risiko = sandsynlighed x konsekvens

- Begge faktorer – sandsynligheden for hændelsen (oversvømmelse/erosion) og potentielle konsekvenser – skal være til stede, før der kan tales om en risiko. Eksempel: Et lille rødt sommerhus, der koster 700.000 kr. ligger ved kysten, udsat for oversvømmelse. Der er ofte vinterstorme i området, så der er sandsynlighed for, at en storm vil føre til, at huset bliver oversvømmet. Konsekvensen af at huset rammes af en voldsom oversvømmelse bliver et tab på 100.000 til udskiftning af gulve, døre og en del af inventaret.

Sandsynlighed x Ingen konsekvens = ingen risiko

Der kan forekomme oversvømmelse/erosion uden, at der opstår en risiko. For eksempel, hvor der er sandsynlighed, men ingen konsekvens.

Eksempel: En forladt, gammelt fårehus ligger på en skrænt ved kysten, udsat for erosion. Der er ofte vinterstorme i området, så der er sandsynlighed for, at en storm vil føre til, at fårehuset rykker tættere på skrænten. Konsekvensen af at fårehuset styrter i havet er ikke eksisterende. Ingen lider tab.

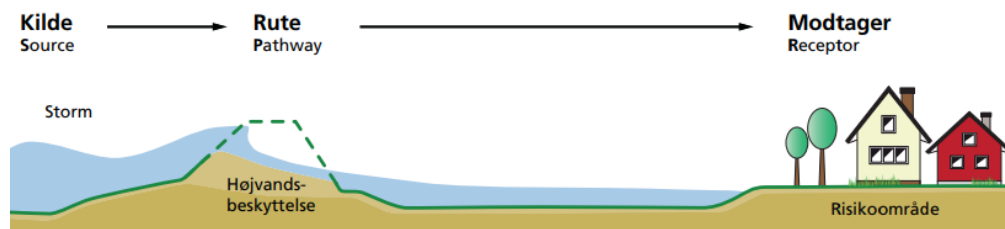
Lille sandsynlighed x stor konsekvens = stor risiko

En stor risiko kan også opstå, hvis sandsynligheden er lille, men konsekvenserne er store.

Eksempel: Et museum med en stor samling af sjældne, illustrerede sagager ligger i nærheden af stille indre kyst, som normalt ikke er udsat for voldsomt vejr. En usædvanlig kombination af vind, højvande og styrtregn betyder, at museet oversvømmes og sagaerne går tabt. Konsekvensen er et stort kulturhistorisk tab.

Setback-line: En "setback line" afgrænser en zone langs kysten, inden for hvilken alle eller visse former for udvikling er forbudt. Denne zone afgrænses på havsiden af kystlinjen og på landsiden af "setback" linjen. Herigennem fastlægges en minimumsafstand fra kystlinjen til nye bygninger eller infrastrukturfaciliteter. En setback linje kan også anvendes i vertikal retning, hvor der angives en minimumshøjde over havets overflade til udvikling. En horisontal setback linje omhandler kysterosion, hvorimod en vertikal setback linje bruges til at tilpasse sig kystnære oversvømmelser. En vertikal setback linje kan f.eks. medfører fastlæggelse af en minimum sokkelkote.

SPR-model, Vandets vej: En systematisk tilgang til at afdække risikoen for erosion og oversvømmelse, er "source-path-receptor" modellen (kilde- vandets vej-modtager). S-P-R modellen er en simpel model, der anskueliggør systemer og processer, som er årsag til specifikke konsekvensers opståen. Altså et princip der følger "vandets vej" og dermed belyser konsekvenserne ved at undersøge kilden og dens rute hen til modtageren. Det forudsættes derfor, at man har kendskab til sandsynligheden for oversvømmelse og erosion, samtidig med at man er bevidst om, hvem eller hvad der bliver ramt af eventuelle konsekvenser.



Source – Pathway – Receptor (SPR-model)

Øvrige projekter (i modsætning til kommunale fællesprojekter): Med øvrige kystbeskyttelsesprojekter menes projekter, der ikke gennemføres efter reglerne i kystbeskyttelseslovens kapitel 1a, dvs. uden at kommunen har en styrende rolle. Øvrige projekter er således projekter, hvor en enkelt, eller flere enige grundejere, selv udarbejder ansøgning om et konkret projekt, og ansøger kommunen om tilladelse til kystbeskyttelsen.

Referenceliste

- /1/ Vejledning for byggeri i kystnære områder, Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen marts 2018
- /2/ Vejledning om bidragsfordelingsmodeller, Kystdirektoratet september 2018
- /3/ Kommune med kystansvar Modul 1, undervisningsmateriale, Kystdirektoratet april 2018
- /4/ Kommune med kystansvar Modul 2, undervisningsmateriale, Kystdirektoratet august 2018
- /5/ Kystatlas – et kystplanlægningsværktøj, Kystdirektoratet
- /6/ Undersøgelser med sandfodring (10 områder), Kystdirektoratet, DHI og Geografisk Institut 2017
- /7/ Rapport om kystfodring og sandressourcer, Kystdirektoratet 2014
- /8/ Analyse af revlefodringer, Kystdirektoratet 2012
- /9/ Højvandsstatistikker, Kystdirektoratet 2017
- /10/ Beach Nourishment Theory and Practice, Dean, R.G. World Scientific 2002
- /11/ Kystmorfologi – læren om kystzonens former og deres dannelse, Aagaard T., Nielsen N. & Nielsen J., Københavns Universitet 2008
- /12/ Shoreline Management Guidelines, Mangor K., Drønen N. K., Kærgaard K. H. & Kristensen S. E., DHI 2017
- /13/ The Rock Manual – The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition), CIRIA, CUR, CETMEF, CIRIA 2007
- /14/ EurOtop Manual – manual on wave overtopping of sea defences and related structures (2nd edition), van der Meer J. W., Allsop N. W. H., Bruce T., De Rouck J., Kortenhaus A., Pullen, T., Schüttrumpf H., Troch P., Zanuttigh B., HR Wallingford 2016



Kystdirektoratet
Højbovej 1
7620 Lemvig

www.kyst.dk