



Miljøministeriet
Kystdirektoratet

Metoderapport for Kystplanlægger

Marts 2021,
revideret januar 2023



Titel:

Metoderapport for Kystplanlægger.

Udgiver:

Kystdirektoratet
Højbovej 1
7620 Lemvig
www.kyst.dk

Udgivelsesår:

Marts 2021, revideret januar 2023

Nøgleord:

Kystplanlægger, oversvømmelsesrisiko, erosionsrisiko, risikoreduktion, risikostyring, strategisk planlægning, kystzonen.

ISBN nr.:

978-87-7120-078-2

Må citeres med kildeangivelse

Kystdirektoratet, 2020. Metoderapport for Kystplanlægger.

Illustrationer og layout:

Birgit Byskov Kloster
Ragnhild Kørschen

Forsidegrafik:

Birgit Byskov Kloster

Områdechef:

Ane Høiberg Nielsen

Projektansvarlig:

Thorsten Piontkowitz

Projektledere:

Kaija Jumppanen Andersen
Lone Møller Dupont
Laura Storm Henriksen
Per Sørensen

Projektgruppen:

Lene Bonde
Ulf Radu Ciocan
Charlotte Ditlevsen
Karl-Søren Geertsen
Christina Grimstrup
Nick Schack Halvorsen
Morten Uldal Hansen
Henrik Vinge Karlsson
Birgit Byskov Kloster
Nanna Roland Knudsen
Ragnhild Kørschen
Marta Merino
Pernille Spangsberg Nielsen
Carlo Sass Sørensen
Jesper Thomassen
Ilse Gräber Toxvig
Michael Grønskov Jensen

Værd at vide

Kystplanlægger bygger på en risikobaseret og kystteknisk faglig tilgang til både kortlægningen i kystområderne, inddeling i hoved-, del- og strategitrækninger, strategiforslag og løsningsforslag.

Arbejdet bag Kystplanlægger er som helhed beskrevet i to dokumenter. De to dokumenter kan læses samlet for det fulde indblik i Kystplanlægger. De to dele kan dog også læses uafhængigt af hinanden, såfremt man f.eks. alene er interesseret i metoden bag Kystplanlægger eller modsat ønsker et hurtigt indblik i Kystplanlægger.

Opsummering

Det første dokument er en opsummering af Kystplanlægger, hvor der kort beskrives, hvordan Kystplanlægger kan anvendes og de overordnede metodemæssige greb i udviklingen af Kystplanlægger.

Opsummeringer er en hurtig introduktion til Kystplanlægger.

Metoderapport

Metoderapporten beskriver, hvordan fare-, sårbarheds- og risikoanalyserne i Kystplanlægger er gennemført, samt hvordan de vejledende strategier for risikohåndtering og forslag til løsninger er fastlagt.

Metoderapporten giver en grundigere gennemgang af de konkrete beregninger, modeller og faglige vurderinger, som ligger til grund for Kystplanlægger.

Indhold

1.	Indledning	5
2.	Fareanalyser	7
2.1	Hydrodynamisk data	7
2.2	Fare for oversvømmelse	17
2.3	Fare for erosion	17
3.	Sårbarhedsanalyser	28
3.1	Skade på infrastruktur	29
3.2	Skade på ejendomme og indbo	33
3.3	Virksomhedstab	37
3.4	Tab af grundværdi	40
3.5	Skade på husdyrproduktion	42
3.6	Skade på afgrøder	44
3.7	Total økonomisk skade	47
3.8	Uhåndgribelige sårbarheder	47
4.	Risikoberegning	48
5.	Inddeling af landet i strækningsniveauer	49
5.1	Hovedstrækninger	49
5.2	Delstrækninger	50
5.3	Strategistrækninger	50
6.	Strategier	53
6.1	Definition af strategier til risikohåndtering	53
6.2	Metode til valg af strategi for en kyststrækning	54
7.	Vejledende løsningsforslag	59
7.1	Løsningsforslagene	59
7.2	Valg af løsningsforslag	65
	Bilag A Procesdiagram for risikoanalyserne	66
	Bilag B Stormflods-vandstande	67
	Referencer	69

1. Indledning

Kystplanlægger har til formål at give den enkelte kystkommune detaljeret viden og vejledning om kommunens kyststrækning og herigennem understøtte kommunernes planlægning i kystområderne samt fremme og kvalificere helhedsorienterede kystbeskyttelsesløsninger.

Dette gøres i Kystplanlægger gennem to primære produkter:

1. Ny national kortlægning af oversvømmelsesrisikoen og erosionsrisikoen
2. Vejledende forslag til risikohåndtering på de enkelte kyststrækninger i hele landet

De nationale risikokortlægninger for oversvømmelse fra hav og kysterosion bygger på erfaringerne fra og er en vudereudvikling af risikoanalyserne i Kystanalysen fra 2016 og de nationale risikovurderinger jf. oversvømmelsesloven fra 2011 og 2018.

Risikokortlægningen i Kystplanlægger adskiller sig fra de tidligere kortlægninger bl.a. ved at inkludere flere hændelser i en samlet risikoberegningen for henholdsvis oversvømmelse og erosion, hvilket giver et mere nuanceret og reelt billede af risikoen i kystområderne. Desuden udregnes skader eller tab ved hændelserne økonomisk for hele landet og med flere skadesmodeller, end der tidligere har været anvendt. Metoden til disse analyser beskrives i rapportens Kapitler 2, 3 og 4.

Kystplanlægger adskiller sig yderligere fra Kystdirektoratets tidligere produkter ved at præsentere konkrete vejledende forslag til både strategier for risikohåndtering og løsningsmuligheder til reduktion af risikoen i kystområderne gennem beskyttelse. Kystdirektoratet har ikke tidligere arbejdet med konkret risikohåndtering på nationalt plan. I arbejdet med Kystplanlægger er der derfor udviklet helt nye metoder til, hvordan strategier for risikohåndtering skal fastlægges på baggrund af de nationale data, samt hvordan der forslås konkrete løsninger, udelukkende ud fra en kystteknisk vurdering og de tilgængelige nationalt dækkende data. Metoderne, der ligger til grund for dette arbejde og overvejelserne bag, er beskrevet i rapportens Kapitler 5, 6 og 7.

Resultaterne af dette arbejde præsenteres på Kystplanlægger's hjemmeside og tilhørende webGIS.

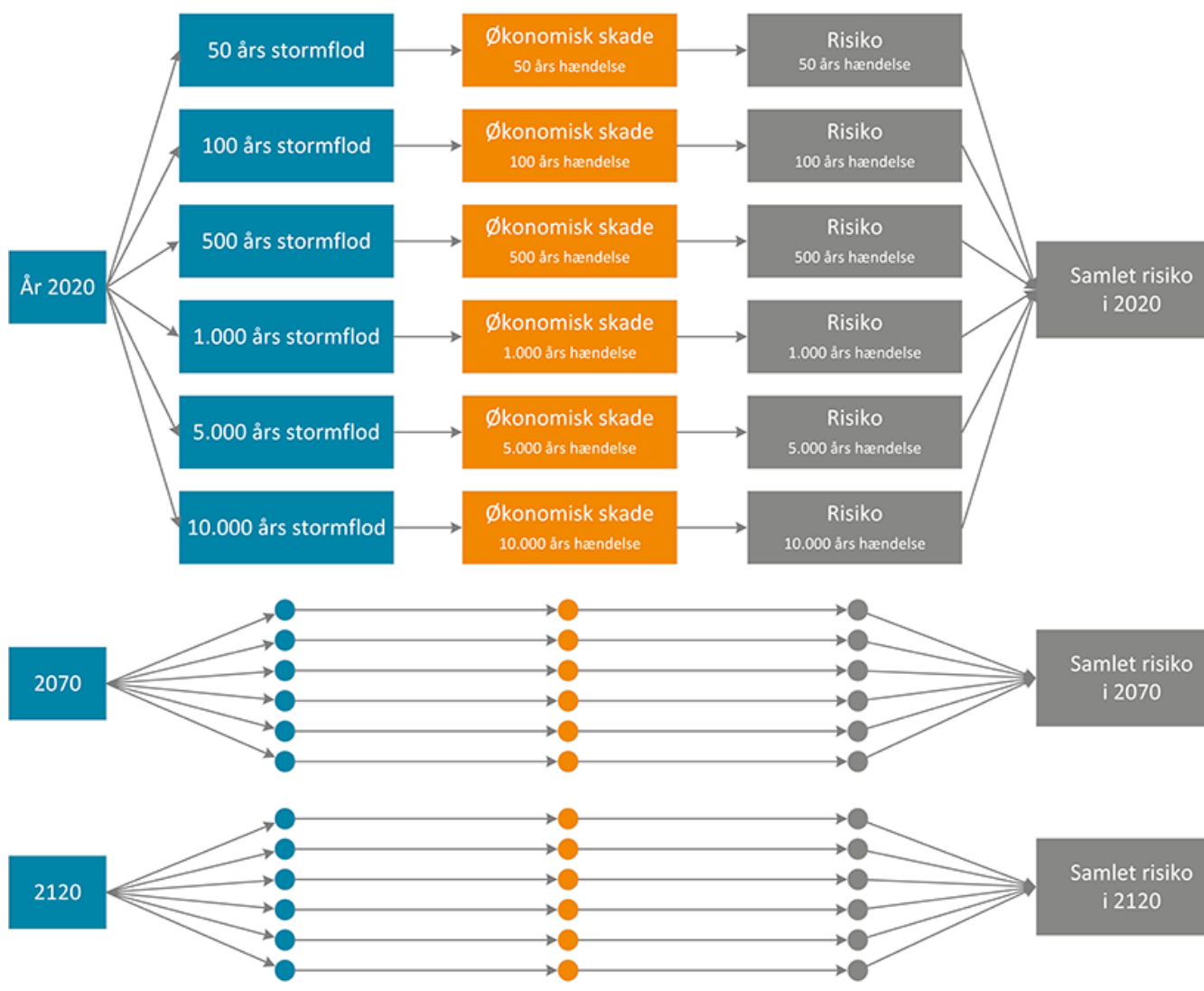
Link til hjemmesiden: www.kystplanlægger.dk

Link til webGIS: www.kystplanlægger.dk/webgis

Risiko er defineret som kombinationen af faren for en hændelse, forstået som sandsynligheden og omfanget af hændelsen, og sårbarheden, forstået som de skadevoldende konsekvenser af hændelsen.

Analysen af oversvømmelses- og erosionsrisikoen, illustreret i Figur 1-1, er opdelt i:

- 1) Fareanalysen, hvor omfanget af hhv. oversvømmelsen og erosionen beregnes for konkrete fysisk mulige stormflodsscenarioer, samt sandsynligheden for disse hændelser,
- 2) Sårbarhedsanalysen, hvor værdierne der kan blive berørt kortlægges og skaderne ved hændelser beregnes for de sårbarheder, hvor dette kan kortlægges økonomisk, samt
- 3) Risikoberegningen, hvor risikoen for de enkelte stormflodshændelser beregnes på baggrund af fare- og sårbarhedsanalyserne, og til sidst summeres til en samlet risiko.



Figur 1-1 Simpelt procesdiagram for risikoanalyse for oversvømmelse og erosion gennemført i Kystplanlægger. For uddybning henvises til Bilag A.

2. Fareanalyser

Faren for oversvømmelse eller erosion defineres som sandsynligheden for og omfanget af en oversvømmelse fra havet eller kysttilbagerykning. En analyse af denne fare danner sammen med en analyse af sårbarheden i kystområderne er baggrunden for beregning af oversvømmelses- og erosionsrisikoen. Fareanalyserne inkluderer analyser af to udfordringer, oversvømmelse fra hav og kysterosion. Gennem fareanalyserne undersøges disse to udfordrings fysiske påvirkning i kystområderne i dag og i år 2070 og 2120. Faren fremskrives således med 50 og 100 år, for at kunne give et langsigtet planlægningsperspektiv, da levetiden af den sårbarhed, eksempelvis bygninger eller trafikinfrastruktur, der potentielt placeres i de truede områder, kan have en levetid på 100 år eller mere.

Som beskrevet i teorikompendiet, er fareanalyserne todelte. Først analyseres kilden til oversvømmelserne eller erosionen og de hændelser, der kan forekomme. Derefter beregnes, hvor dette medfører oversvømmelser og erosion, samt hvor stor oversvømmelsen og kysttilbagerykningen bliver under de givne hændelser.

For at kunne beregne risikoen på nationalt niveau, er det nødvendigt at foretage beregningerne i 100 m × 100 m grid. Faren beregnes mere detaljeret på baggrund af bl.a. højdemodellen, men aggregeres til 100 m × 100 m grid til den efterfølgende sårbarhedsanalyse og risikoberegning. Denne aggregering er nødvendig i forhold til (1) computerregnekraften, som skal anvendes ved nationale analyser, (2) opløsningen af de data, som skal anvendes i sårbarhedsanalysen, og (3) endelig med udgangspunkt i, at et 100 m × 100 m grid danner et anvendeligt grundlag for kommunal planlægning. Aggregeringen medfører dog på den anden side nogle fejlkilder i beregningerne. Det vurderes dog, at beregningerne fortsat vil give et retvisende nationalt og kommunalt overblik af variationerne i faren for oversvømmelse og erosion og de dertilhørende udfordringer.

Kapitlet er bygget op, så først kilden til oversvømmelsen og erosion beskrives, dvs. de hydrodynamiske inputdata. Derefter beskrives, hvordan oversvømmelsesudbredelsen og -dybden er beregnet og til sidst, hvordan kysttilbagerykningen er beregnet.

2.1 Hydrodynamisk data

Danmark har et varieret kystlandskab med åbne kyster, øer, fjorde, sunde og bælder. Den varierende kystlinje og Danmarks placering mellem Nordsøen og Østersøen betyder, at stormflodsvandstande og bølgepåvirkninger varierer meget rundt om i landet.

Til beregningerne af faren for oversvømmelse anvendes vandstande for statistiske stormfloder langs hele kysten. Til beregningerne af faren for erosion, anvendes yderligere data om stormflodsforløb og bølger. Oversvømmelses- og erosionsfaren beregnes for år 2020, 2070 og 2120, hvorfor data skal fremskrives til de respektive år under hensyntagen til klimændringers forventede påvirkning.

Hvert år vil der kunne forekomme storme med varierende styrke, vandstande og forskellig sandsynlighed. I Kystplanlægger kortlægges oversvømmelses- og erosionsfaren for seks statistiske hændelser for hver tidshorisont. Derved fås et nuanceret billede af, hvordan faren og risikoen varierer rundt om i landet under forskellige scenarier. De seks fysisk mulige hændelser, der er kortlagt i Kystplanlægger, fremgår af Tabel 2-1. Kortlægningen af hændelser fra en 50-års hændelse til en 10.000-års hændelse afspejler derved spændet af hændelser fra nogle sandsynligt forekommende til meget sjældne hændelser.

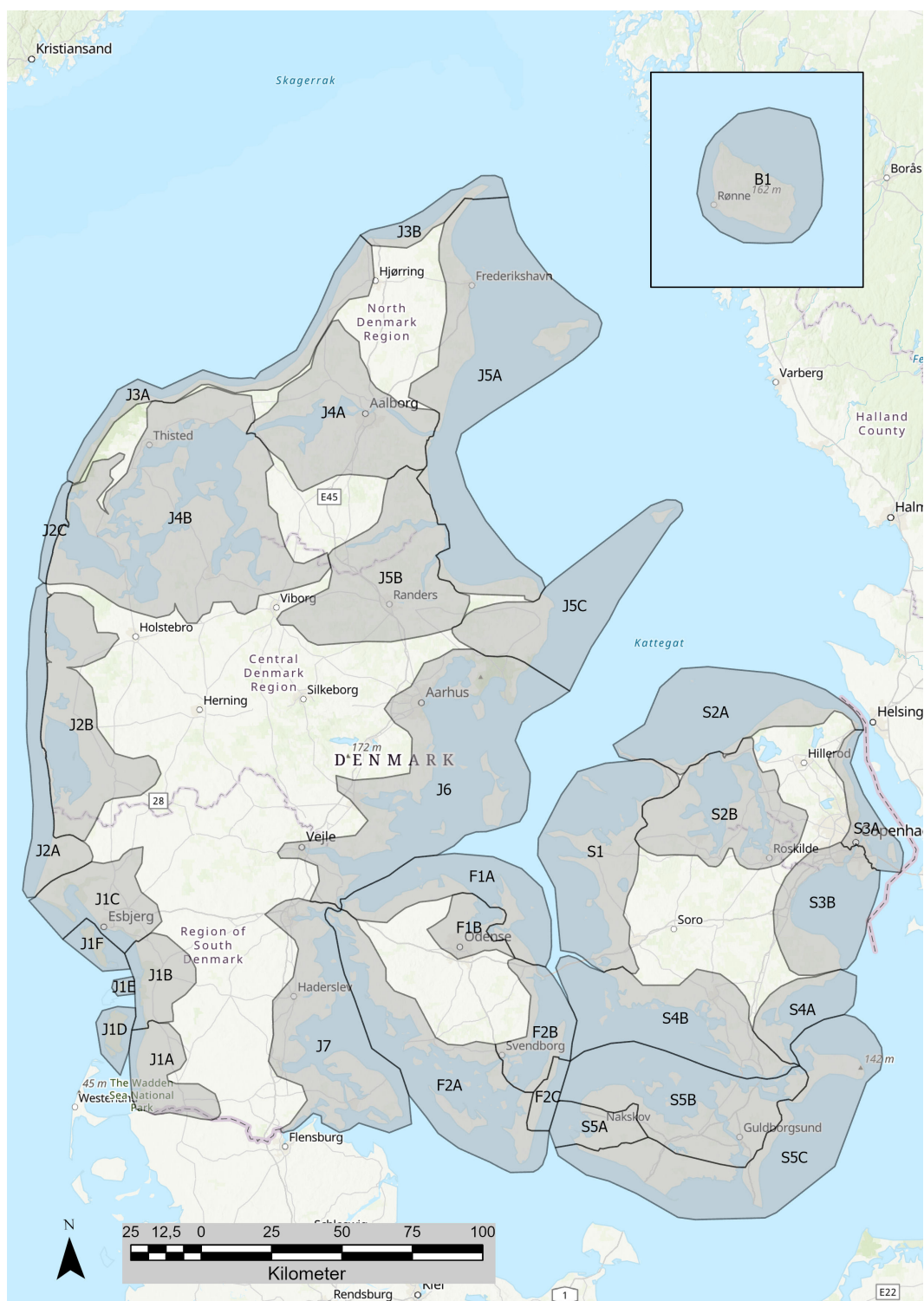
Tabel 2-1 I Kystplanlægger kortlægges oversvømmelses- og erosionsfaren og -risikoen for seks hændelser til hvert af årene 2020, 2070 og 2120.

Returperiode af statistiske hændelse	Årlig sandsynlig for at hændelsen forekommer
50	0,02
100	0,01
500	0,002
1.000	0,001
5.000	0,0002
10.000	0,0001

Vandstandene ved de statistiske hændelser varierer rundt om i landet afhængigt af kystforholdene og de geografiske og meteorologiske forhold. Ligeledes varierer stormflodsforløbet og bølgepåvirkningen. Disse data bestemmes derfor for repræsentative områder, hvor stormflodsvandstanden, -forløbet og bølgepåvirkningen anses for egnede til det videre arbejde med fareanalyserne. Områdernes størrelse og udformning varierer afhængigt af hvilke forhold, der undersøges og datakilderne.

2.1.1 Statistiske stormflodsvandstande

Til at bestemme de statistiske stormflodsvandstande til fareanalyserne inddeles landet i områder, hvor de hydrodynamiske forhold under en stormflod er sammenlignelige. Derudover inddrages viden om geologi, sedimenttransport m.v. På baggrund af dette inddeles landet i 34 områder, som fremgår af Figur 2-1. Til den nationale vurdering af risikoen for oversvømmelse fra hav og vandløb fra 2018, jf. oversvømmelsesloven (Kystdirektoratet, 2018c) anvendte Kystdirektoratet ligeledes en inddeling af landet til beregningerne. På det tidspunkt anvendtes 36 områder, som også er anvendt af DMI til Klimaatlas. De 34 områder anvendt i Kystplanlægger er en opdatering af de 36 områder fra 2018.



Figur 2-1 Inddeling i 34 områder ud fra hydrodynamiske og kysttekniske forhold.

Stormflodsvandstandene for de seks statistiske hændelser er bestemt på baggrund af forskellige metoder afhængig af datagrundlaget for det konkrete område og returperioden.

Vandstandene i Danmark måles kontinuerligt mere end 80 steder langs kysterne, typisk i havne. Ud fra de målte vandstande udarbejder Kystdirektoratet højvandsstatistikker, i form af stormflodsvandstande for forskellige returperioder samt usikkerheden på disse. Den seneste højvandsstatistik blev udarbejdet i 2017 (Kystdirektoratet, 2018a). En tommelfingeregel er, at det er statistisk forsvarligt at beregne returperioder på 2-3 gange længden af måleserien. Længden af måleserierne, der udarbejdes højvandsstatistikker for, varierer fra 15 år til 143 år. Det betyder, at returperioder på mellem 30-500 år kan beregnes ud fra de

målte vandstande, afhængigt af måleseriens længde. Når statistikker mellem stationer sammenlignes eller interpoleres, tillægges statistikker fra stationer med lange målerserier størst vægt, sammenlignet med stationer med kortere målerserier.

For de lave returperioder på 50, 100 og enkelte steder 500 år, anvendes således de beregnede returperioder fra højvandsstatistikkerne. Disse afrundes dog til halve decimeter, for at håndtere nogle af de usikkerheder, der er i data og statistikkerne for større områder.

Til vurdering af de sjældnere hændelser, svarende til (500-, 1.000-, 5.000- og 10.000-års hændelser, er der anvendt en kombination af litteraturstudier, målte og historisk dokumenterede højeste vandstande langs kysterne, samt en faglig vurdering baseret på de lokale hydrodynamiske forhold. Den historiske dokumentation af indtrufne vandstande varierer betragteligt på tværs af landet mht. datatilgængelighed og datakvalitet, som beskrevet nærmere i teorikompendiet. Da disse data og vurderinger er behæftet med usikkerhed, er der foretaget afrunding af stormflodsvandstandene til hele decimeter.

Under arbejdet med oversvømmelsesloven er der foretaget vurderinger af meget ekstreme vandstande til brug for den nationale risikovurdering og udpegningen af risikoområder. Værdierne anvendt i Kystplanlægger kan afvige fra dette og højvandsstatistikkerne. Dette skal ses i sammenhæng med formålet med Kystplanlægger, som fremgår af indledningen. De angivne niveauer i Kystplanlægger er derfor også første estimater til at vurdere indvirkningen af meget sjældent forekommende vandstande langs de danske kyster og er vejledende. Alle anvendte vandstande vurderes dog til at være fysisk mulige.

De konkrete stormflodsvandstande for de seks forskellige returperioder for de 34 områder fremgår af Tabel 2-4 på side 16.

Stormflodsforløb og bølgedata til erosionsfareberegninger

Til beregning af faren for erosionen under en stormflodshændelse er den maksimale vandstand tilstrækkeligt. Her er stormflodens forløb og bølgepåvirkningen på kysten ligeledes vigtige informationer, da det er disse forhold, der medfører erosionen. Til erosionsfareberegningerne er der derfor behov for stormflodsdata for alle kyststrækninger rundt om i hele landet. De nødvendige data er ikke tilgængelige for hele landet i tilstrækkeligt lange målte tidsserier og i den nødvendige kvalitet for, at der kan udarbejdes troværdige datasæt til fareberegningerne. Det er derfor besluttet at anvende modelleret vandstands- og bølgedata fra DHI's MetOcean-model (DHI, 2019a & 2019b).

DHI's MetOcean-model er en model over de danske farvande. Modellen er en kombineret model, som modellerer vandstand og bølgeklima ud fra vinddata. Der findes en national model, som er et udsnit af en europæisk model, og til Kystplanlægger er der udarbejdet en mere detaljeret model for de indre danske farvande, herunder Limfjorden og bælterne.

Til Kystplanlægger er der anvendt data fra 85 repræsentative punkter i de danske farvande, som er vist i Figur 2-2. Data fra DHI's model indeholdende vandstands- og bølgedata for perioden 1995-2017.

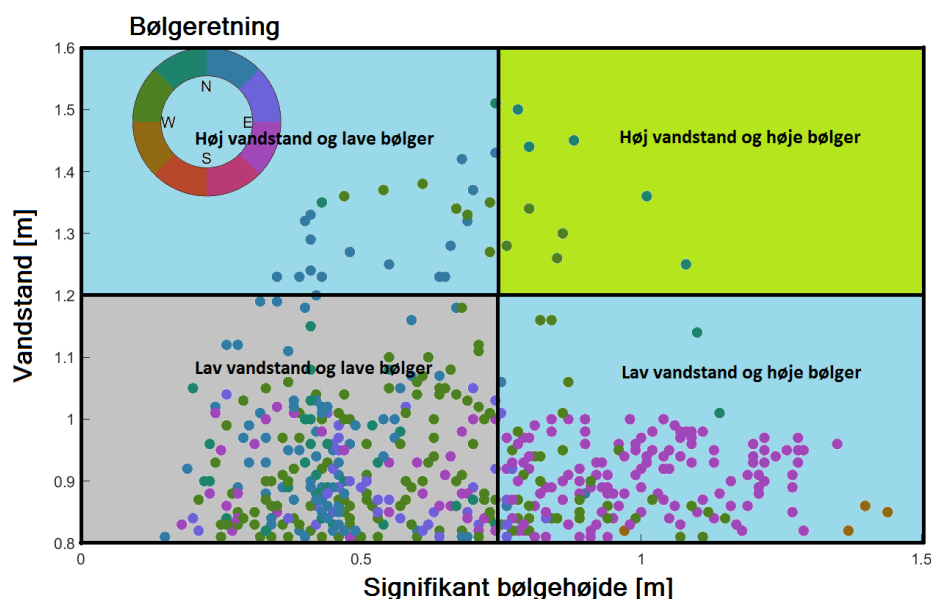


Figur 2-2. Placeringen af de 85 datapunkter med vandstands- og bølgedata fra DHI's MetOcean-model.

For hvert datapunkt udvælges flere stormforløb på baggrund af korrelationen mellem vandstand, bølgehøjde og bølgeretning. I de danske farvande er der ikke altid sammenhæng mellem høj vandstand og høje bølger under en storm. Der udvælges derfor tre storme, der vurderes at forårsage størst tilbage-rykning på en strækning under en stormflodshændelse. Disse skal danne grundlag for beregningerne af erosion under en stormflod. I Figur 2-3 ses et eksempel på, hvordan der for hvert datapunkt præsenteres forskellige kombinationer af vandstanden og den signifikante bølgehøjde. Fra dette udvælges:

1. Stormen med højest vandstand og højeste bølger fra det grønne felt, der typisk vil give størst akut erosion.
2. Stormen med den højeste vandstand fra det øverste blå felt i venstre hjørne
3. Stormen med de højeste bølger i det nederste blå felt i højre hjørne

Det er en forudsætning, at de udvalgte storme har pålandsbølger. Storme med lav vandstand og lave bølger fra det grå felt anvendes ikke i beregning af storm erosion.



Figur 2-3 Eksempel på stormudvælgelse fra et enkelt MetOcean-datapunkt. Farvelægning af datapunkter og felter viser korrelationsinddeling af vandstand, bølgehøjde og bølgeretning.

Kysttilbagerykningen regnes derefter med de udvalgte stormfloder. Det stormflodsforløb, der giver størst tilbagerykning på kystskrænten, er det repræsentative stormflodsforløb, der bruges til beregning af tilbagerykning under stormerosionsfareberegningerne.

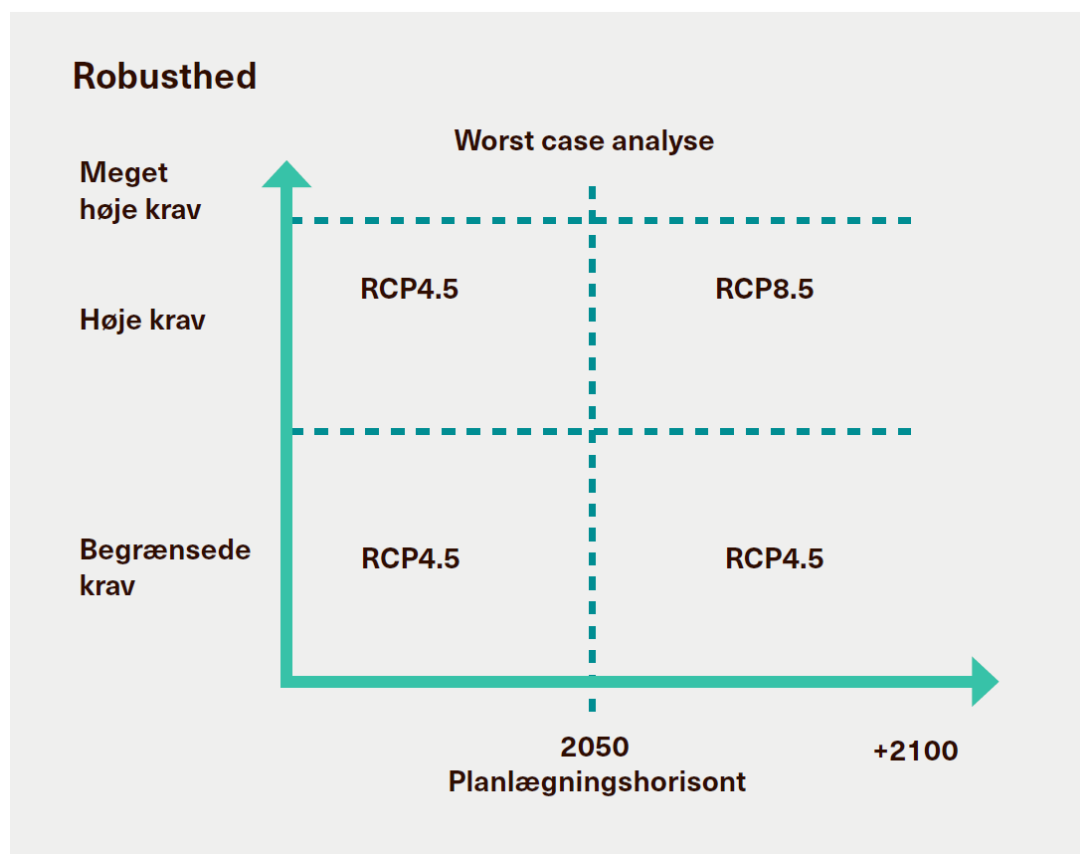
2.1.2 Fremtidige vandstande

Som følge af klimaforandringerne stiger middelvandstanden i de danske farvande. I fremskrivning af stormfloderne til år 2070 og 2120, skal disse ændringer derfor inkluderes sammen med andre forhold, der kan påvirke den lokale middelvandstand.

Klimaændringerne

I Kystplanlægger følges DMI's vurderinger af havstigninger og DMI's vejledning om valg af klimascenarier (DMI, 2018). I Figur 2-4 er vist, hvordan DMI anbefaler at man vælger, hvilket klimascenarie, der skal danne grundlag for ens arbejde, afhængigt af planlægningshorisonten og kravene til robusthed. Kystplanlægger er landsdækkende, hvorfor kravene til robusthed er meget varierende. Men da Kystplanlægger bl.a. kan bruges til planlægning af byudvikling og kystbeskyttelse i kommunerne, anbefaler Kystdirektoratet, at der stilles middel til høje krav til robustheden. Da planlægningshorisonten yderligere er længere end til 2050, anvendes i Kystplanlægger klimascenariet RCP8.5.

På baggrund af dette valg, har DMI estimeret de forventelige havstigninger frem til år 2070 og år 2120 i Danmark, hvilket er vist i Tabel 2-2.



Figur 2-4 DMI's anbefalede scenarier afhængigt af planlægningshorisont og krav til robusthed (DMI, 2018).

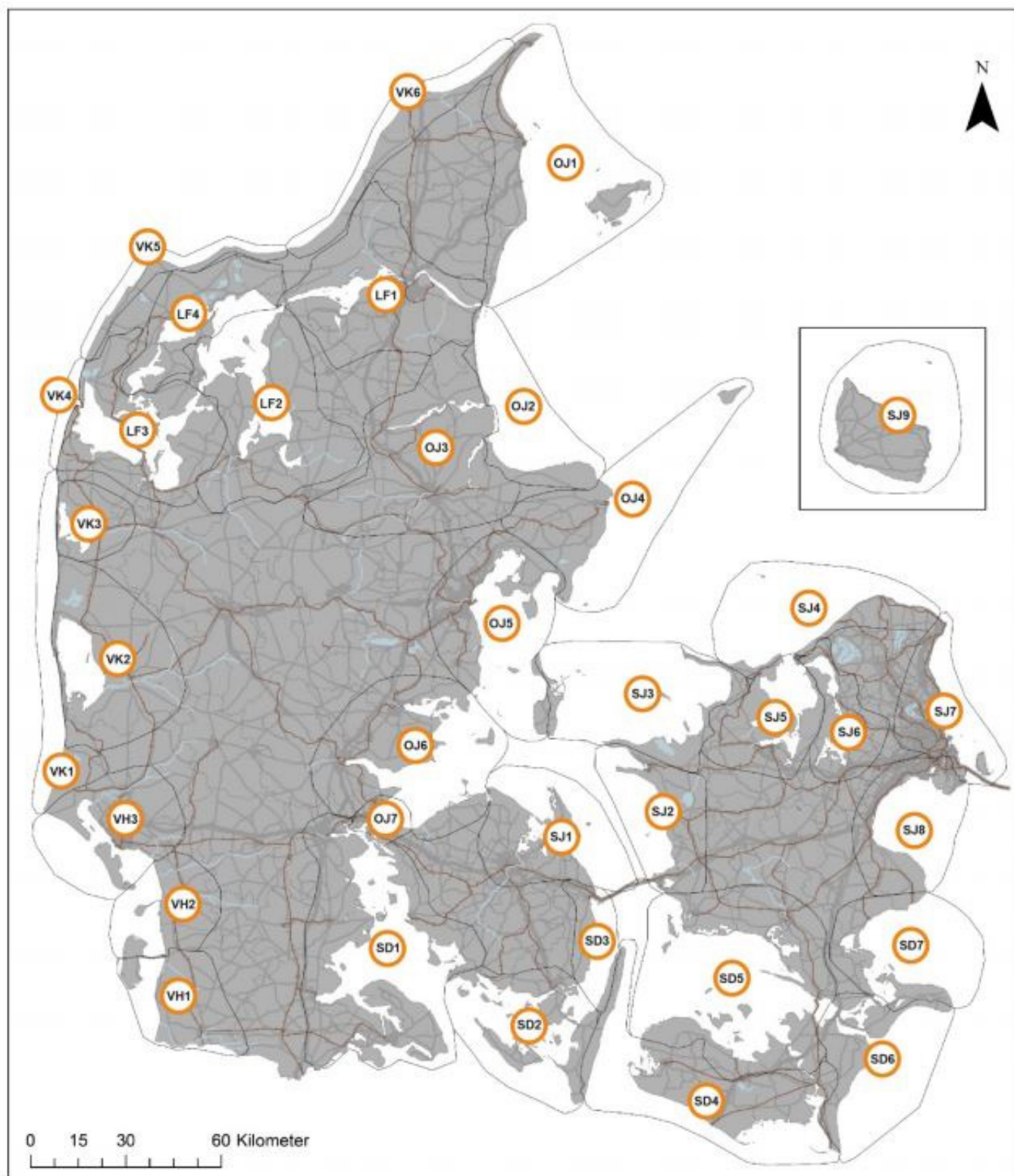
Tabel 2-2 DMI's estimering af stigningen i den absolutte middelvandstand for klimascenariet RCP8.5

År	Middelvandstandsstigning [m]
2070	0,46 m
2120	1,12 m

Landhævning

Som følge af at Danmark stadigvæk påvirkes af effekter af seneste istid, sker der en generel landhævning i Danmark, som skal fratrækkes den absolutte vandstand for, at få den relative middelvandstandsstigning rundt om i landet.

Landhævningen varierer hen over landet og DTU Space (DTU Space, 2016) har foretaget en analyse af landhævningshastigheden, sat i relation til de 36 områder, som Kystdirektoratet har anvendt i forbindelse med implementering af oversvømmelsesdirektivet (Kystdirektoratet, 2018c), Figur 2-5.



Figur 2-5 36 områder hvor landhævningerne er vurderet.

Tabel 2-3 Vurderede landhævninger i 36 områder i Danmark (DTU Space, 2016).

Område	Landhævning [cm/ år]
VH1	0,030
VH2	0,053
VH3	0,057
VK1	0,048
VK4	0,073
VK5	0,120
VK6	0,215
LF1	0,160
LF2	0,127
LF3	0,072
LF4	0,123
OJ1	0,212
OJ2	0,167
OJ3	0,150
OJ4	0,158
OJ5	0,133
OJ6	0,103
OJ7	0,085
SD1	0,065
SD2	0,077
SD3	0,102
SD4	0,072
SD5	0,112
SD6	0,100
SD7	0,118
SJ1	0,107
SJ2	0,120
SJ3	0,125
SJ4	0,167
SJ5	0,128
SJ6	0,132
SJ7	0,148
SJ8	0,125
SJ9	0,118

Øvrige forhold

Foruden de generelle havstigninger og landhævninger, er der andre forhold, der gør sig gældende for den fremtidige relative vandstand på en konkret kyststrækning. Dette inkluderer lokale sætninger og havstigning grundet øget vindbidrag.

Lokale sætninger forekommer bl.a. i områder, hvor menneskelig aktivitet har ændret forholdene, f.eks. ved opfyldte havneområder. Da der ikke eksisterer et nationalt overblik over lokale sætninger med robust information om sætningsrater, inkluderes dette forhold ikke i fremskrivningen af vandstanden.

I tidligere klimascenarier var der også et øget bidrag på den jyske vestkyst som følge af øget vindpåvirkning. Denne øgede påvirkning er ikke en del af de nuværende klimascenarier og inkluderes derfor ikke i fremskrivningerne.

De anvendte nutidige og fremtidige stormflodsvandstande

På baggrund af de fastlagte stormflodsvandstande, forventede havstigninger og landhævning, kan de fremtidige stormflodsniveauer udregnes. Disse fremgår af Tabel 2-4 og anvendes i oversvømmelses- og erosionsfareberegningerne. Det skal huskes, at dette er estimater for statistiske stormflodsvandstande, der inkluderer usikkerheder. Returvandstandene er derfor afrundede værdier til halve decimeter for de lave returperioder og hele decimeter for de høje returperioder.

Tabel 2-4 Stormflodsvandstande i cm DVR90 for de 34 områder for år 2020, 2070 og 2120.

År	2020						2070						2120					
Område Retur- periode	50	100	500	1.000	5.000	10.000	50	100	500	1.000	5.000	10.000	50	100	500	1.000	5.000	10.000
J1A	470	500	530	550	580	600	515	545	570	590	620	640	580	610	640	660	690	710
J1B	470	500	530	550	580	600	515	545	570	590	620	640	575	605	630	660	690	710
J1C	400	430	460	480	510	540	445	475	500	520	550	580	505	535	560	590	620	650
J1D	410	430	460	480	510	540	455	475	500	520	550	580	520	540	570	590	620	650
J1E	390	410	440	460	490	520	435	455	480	500	530	560	495	515	540	570	600	630
J1F	365	400	440	475	490	500	410	445	480	520	530	540	470	505	540	580	600	610
J2A	315	330	360	380	410	430	360	375	400	420	450	470	420	435	460	490	520	540
J2B	140	150	160	170	190	200	185	195	200	210	230	240	245	255	270	280	300	310
J2C	245	260	290	310	340	360	285	300	330	350	380	400	350	365	390	410	440	460
J3A	170	180	190	200	220	230	210	220	230	240	260	270	270	280	290	300	320	330
J3B	140	150	160	170	190	200	175	185	200	210	230	240	230	240	250	260	280	290
J4A	150	155	160	170	180	185	190	195	200	210	220	220	245	250	260	270	280	280
J4B	195	200	210	225	240	250	235	240	260	270	280	290	300	305	320	330	340	350
J5A	155	165	180	190	200	210	190	200	220	230	240	250	250	260	280	290	300	310
J5B	165	175	190	200	210	220	205	215	230	240	250	260	260	270	290	300	310	320
J5C	160	170	190	200	220	230	200	210	230	240	260	270	255	265	280	300	320	330
J6	165	175	190	200	220	230	205	215	230	240	260	270	270	280	290	300	320	330
J7	175	200	250	300	340	370	220	245	290	340	380	410	280	305	360	410	450	480
F1A	165	175	190	200	220	230	205	215	230	240	260	270	265	275	290	300	320	330
F1B	165	180	200	210	230	240	205	220	240	250	270	280	270	285	300	310	330	340
F2A	175	200	250	300	340	370	220	245	290	340	380	410	280	305	360	410	450	480
F2B	155	165	180	190	210	220	195	205	220	230	250	260	255	265	280	290	310	320
F2C	155	175	210	250	280	300	195	215	250	290	320	340	255	275	310	350	380	400
S1	155	170	190	200	220	230	195	210	230	240	260	270	255	270	290	300	320	330
S2A	175	185	200	215	230	240	210	220	240	250	270	280	270	280	300	310	330	340
S2B	170	185	200	215	230	240	210	225	240	250	270	280	270	285	300	310	330	340
S3A	155	165	180	190	210	220	195	205	220	230	250	260	250	260	280	290	310	320
S3B	155	190	230	270	310	350	195	230	270	310	350	390	255	290	330	370	410	450
S4A	150	190	230	270	310	350	190	230	270	310	350	390	250	290	330	370	410	450
S4B	160	170	190	200	220	230	200	210	230	240	260	270	260	270	290	300	320	330
S5A	160	185	220	250	270	290	205	230	260	290	310	330	265	290	330	360	380	400
S5B	155	170	190	200	220	230	195	210	230	240	260	270	260	275	290	300	320	330
S5C	170	190	230	270	310	350	210	230	270	310	350	390	275	295	330	370	410	450
B1	120	140	170	200	220	240	160	180	210	240	260	280	220	240	270	300	320	340

2.2 Fare for oversvømmelse

Faren for oversvømmelse defineres som sandsynligheden for og omfanget af en oversvømmelse fra havet.

Oversvømmelsesudbredelsen og -dybden beregnes på baggrund af datasættet Havvand på land og Danmarks højdemodel målt i perioden 2014-2015. Datasættene inkluderer de rettelser, kommunerne har indmeldt til SDFE under forberedelse af højdemodellens hydrauliske tilpasningslag. Det betyder, at de højvandsbeskyttelseskonstruktioner, som enten fremgår af højdemodellen, som diger og klitter og dem, som kommunerne har tilføjet rettelser om, er inddraget i analyserne. Oversvømmelser, der opstår på grund af brud på eksisterende beskyttelseskonstruktioner indgår ikke i analyserne i Kystplanlægger.

I Kystplanlægger er det kun oversvømmelsen under stormflodshændelser, der udregnes. Potentielle fremtidige permanente oversvømmelser grundet havstigningerne beregnes ikke. Sandsynligheden for oversvømmelsen antages i de efterfølgende beregninger at have samme sandsynlighed som højvands-hændelsen.

Faren for oversvømmelse beregnes for hvert af de 34 områder, på baggrund af de statistiske stormflodsvandstande i hvert område. Oversvømmelsesdybderne udregnes i samme opløsning som højdemodellen, i 0,4 m × 0,4 m grid. Til det videre arbejde anvendes data i 100 m × 100 m grid. Oversvømmelsesdybden i 100 m × 100 m grid beregnes som gennemsnittet af vanddybden i de oversvømmede 0,4 m × 0,4 m celler.

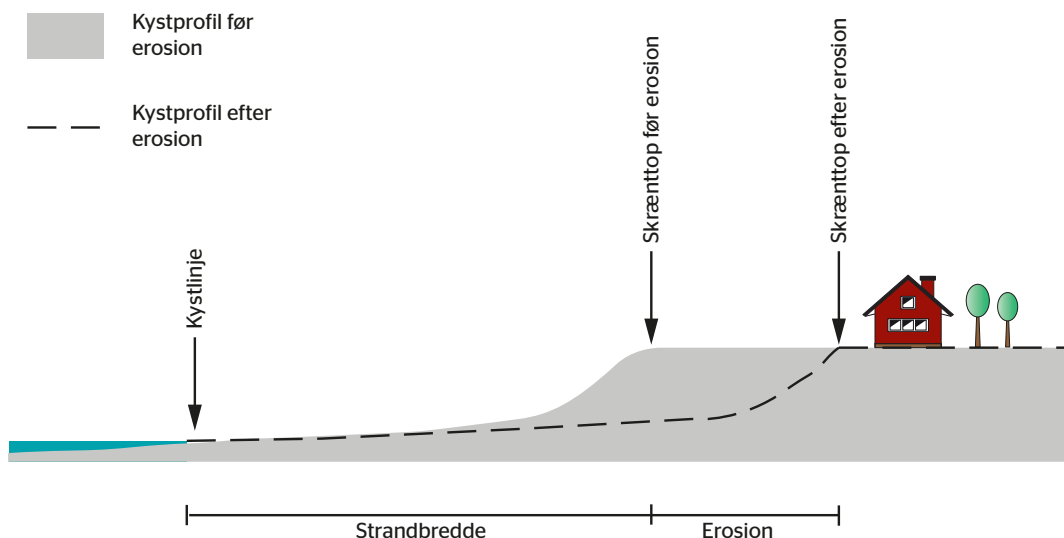
Til det videre arbejde i sårbarhedsanalyserne anvendes en vanddybde for hvert oversvømmelsesscenario i 100 m × 100 m grids.

2.3 Fare for erosion

Faren for erosion er defineret som sandsynligheden for og omfanget af en kysttilbagerykning. Dvs. hvor stor en del af kysten, der potentielt eroderes bort, altså det stykke kystskrænten rykker ind i land frem til og i det år hvor faren beregnes, som illustreret i Figur 2-6. Fareberegningerne for erosion består af to dele;

- 1) Den kroniske erosion: Den tilbagerykning af kysten, som er forårsaget af de daglige bølgepåvirkninger på kysten over et år, og
- 2) Den akutte erosion: Den akutte tilbagerykning af kysten, som opstår gennem bølgepåvirkning af en kyst under en ekstremhændelse/storm.

Faren for erosion som følge af kronisk og/eller akut erosion illustreret i Figur 2 6.



Figur 2-6 Principskitse over beregning af erosionsfaren i 2070.

Den akutte tilbagerykning er estimeret ved brug af en numerisk model, som beregner tilbagerykningen på en kyst under en stormhændelse. Dette beskrives i Afsnit 2.3.2. Den kroniske erosion bestemmes i Kystplanlægger med udgangspunkt i data fra Kystanalysen (Kystdirektoratet, 2016). I Kystanalysen er tilbagerykning bestemt ud fra bl.a. beregninger af sedimenttransportkapaciteten, historiske kystlinjeændringer, målte tilbagerykninger af kystprofilet og faglige vurderinger. Dette er beskrevet i Afsnit 2.3.1. Den samlede tilbagerykningen er summen af den årlige kroniske tilbagerykning og den akutte tilbagerykning og beskrives i Afsnit 2.3.3.

I sårbarhedsanalysen, hvor tabet grundet erosion skal beregnes, er det omfanget af erosionen, altså kysttilbagerykningen under de enkelte hændelser, der medfører skaden. Derfor er kysttilbagerykningen den faktor fra fareanalysen, der er central for skadesberegningerne.

Når erosionsrisikoen efterfølgende skal beregnes, på baggrund af skadesberegningerne, anvendes sandsynligheden for den enkelte hændelse til udregningen.

Sandsynligheden for erosion

Til risikoberegningerne antages sandsynligheden af den akutte tilbagerykning, der indtræffer under en højvandshændelse, at have samme sandsynlighed som højvandshændelsen. Det vil sige: Hvis den akutte erosion for en 100-års hændelse beregnes med den årlige sandsynlighed 1 %, er sandsynligheden for den akutte kysttilbagerykning 1 %.

For den kroniske erosion antages det, at kysttilbagerykningen forekommer kontinuerligt. Den kroniske erosion tildeles i risikoberegningerne altså en sandsynlighed på 100 %.

Betydningen af kystens geologi

Kyststrækninger bestående af lerede skrænter (moræne) eroderer ikke under direkte påvirkning af én ekstremhændelse, men kan ofte modstå flere hændelser. Tilbagerykningen af disse kyster sker primært som et geoteknisk brud forårsaget af grundvandsstrømninger. Derfor vil lerede kyststrækninger, hvor sedimenternes kohæsive kræfter spiller ind, ikke medtages i beregningen af den akutte erosion, som derfor udelukkende beregnes ved sandede kyster.

I den samlede fareberegning indgår tilbagerykningen i lerede strækninger via den kroniske erosion. Klippekyser undergår hverken akut eller kronisk erosion og vil derfor i den samlede fareberegning ikke have erosion.

2.3.1 Kronisk kysttilbagerykning

Den kroniske kysttilbagerykning er beregnet i Kystanalysen (Kystdirektoratet, 2016 <https://kyst.dk/publikationer/klimaaendringer/kystanalyse/>).

Den kroniske tilbagerykning forårsaget af erosion er i Kystanalysen beregnet som den afstand, en kystskrænt forventes at kunne erodere årligt i gennemsnit over en årrække. Dette tal angiver derfor den afstand fra kystskrænten i 2020, som en kystskrænt årligt i gennemsnit rykker tilbage. Dette er erosionspotentialet, som er den erosion og tilbagerykning en kyst vil udsættes for, når der ikke kystbeskyttes. I denne fareanalyse beregnes den kroniske erosion i løbet af en 50- og 100 års periode. Den kroniske erosion vurderes at ville bevirke, at eksisterende passiv kystbeskyttelse (hård kystbeskyttelse, som f.eks. høfder, skråningsbeskyttelse eller bølgebrydere) vil blive undermineret og kollapse i løbet af perioden. Derfor antages det, at tilbagerykningen af kystskrænten som følge af den kroniske erosion vil være den samme med og uden den eksisterende passive kystbeskyttelse.

I erosionsatlasset, som findes i Kystdirektoratets Kystatlas (<https://kyst.dk/kyster-og-klima/vaerktoejer/kystatlas/>), er kysten inddelt i en erosionsskala med inddelingerne lille, moderat, stor og meget stor. Herudover er der en særkategori af meget stor, som udelukkende hører til den meget udsatte jyske Vestkyst. Kyststrækninger, hvor kystlinjen er stabil eller under fremrykning hører under kategorien aflejring. Den årlige kroniske erosion er ens for alle strækninger inden for hver klasse og ses i Tabel 2-5.

Tabel 2-5 Erosionsklasser for årlig kronisk erosion og strandbredde i meter fra Erosionsatlasset (Kystdirektoratet, 2016).

Erosionsklasser	Årlig kronisk erosion [m]	Strandbredde [m]
Aflejring	0	0
Lille	0,15	7
Moderat	0,40	19
Stor	0,95	24
Meget stor (indre kyster)	1,20	24
Meget stor (jyske Vestkyst)	3,80	116

Da kystskrænten har en varierende højde langs kysten og derfor ikke er klart defineret, er der valgt at tage udgangspunkt i kystlinjens placering til at definere kystskræntens placering. Til denne skal strandbredden lægges til for at få et mål for kystskræntens placering. Strandbredden som anført i Tabel 2-5, er den bredde, stranden forventes at have ved en naturlig kystudvikling, hvor kystprofillet rykker naturligt tilbage, som illustreret Figur 2-7. Strandbredden er i Kystanalysen for hver af erosionsklasserne beregnet ved udvalgte lokaliteter og derefter udbredt til kyster inden for samme erosionsklasse. Strandbredderne er baseret på gennemsnitsberegning og kan derfor lokalt afvige fra de faktiske forhold. Det forudsættes, at kysten rykker parallelt ind i land under den kroniske erosion og det forventes derfor, at strandbredden er konstant over tid. Som det fremgår af Figur 2-7, er strandbredden den gule del mod vest. Strandbredden er vist fra kystlinjens placering og en strandbredde in i land. Den landværts begrænsning af strandbredden angiver kystskrænttoppens placering. De stiplede pink og orange linjer viser den afstand fra strandbredden, som kan erodere ved et givent tidsperspektiv. Det er den årlige kroniske erosion for klimascenarie RCP8.5, der er beregnet.



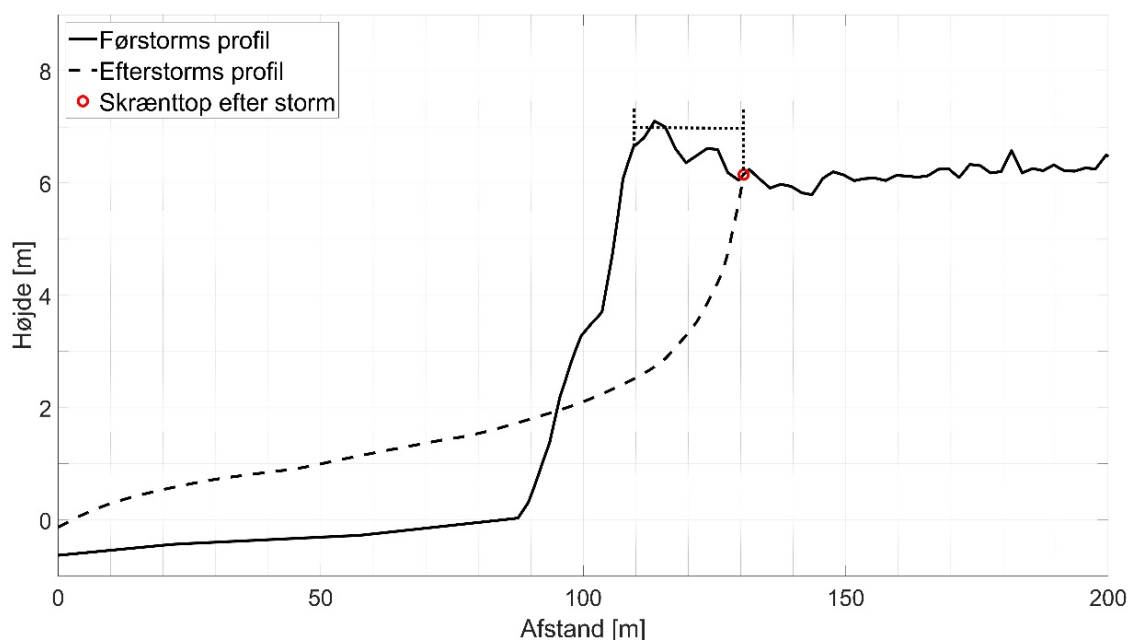
Figur 2-7 Eksempel på kroniske erosionsfareområder i 2070 og 2120.

Den kroniske erosion i 2070 og 2120 er beregnet som produktet af antal år fra 2020 til det givne år og den årlige kroniske erosion i meter. I 2020 er der ikke beregnet kronisk erosion, da 2020 er et nutidsperspektiv. Den samlede erosion består i 2020 derfor af akut erosion.

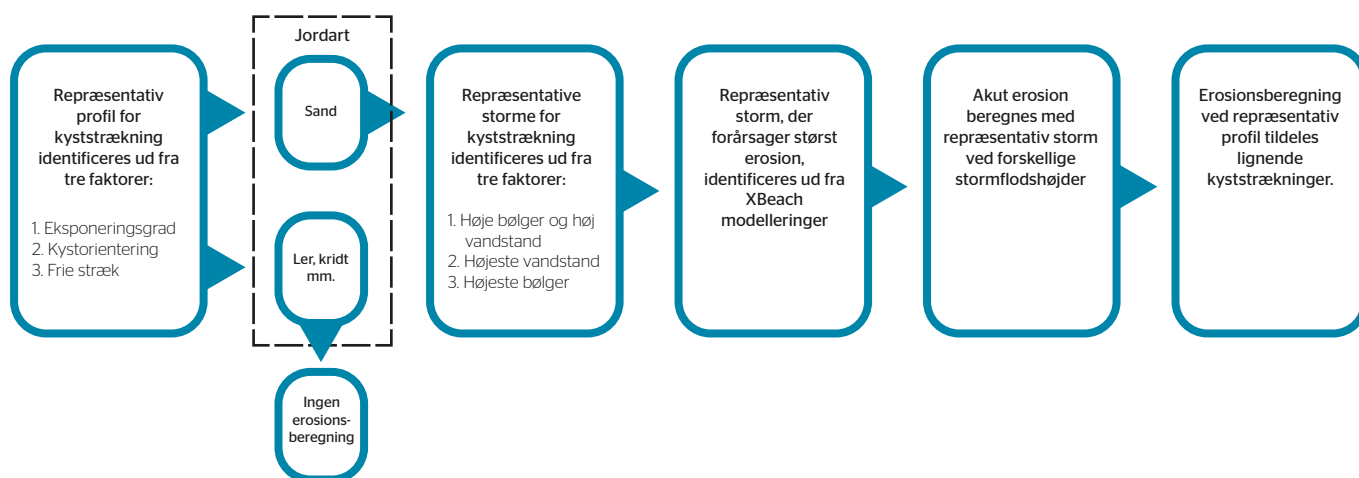
2.3.2 Akut erosion

Den akutte erosion defineres i dette projekt som en tilbagerykning af en sandet skrænt under en storm, jf. afsnit 2.3 Betydningen af kystens geologi. Det er skræntens top, der regnes fra, som vist i Figur 2-8. Den akutte erosion beregnes med open source softwaret XBeach, udviklet af Deltares til at modellere den akutte erosion i sandede kyster under en storm (Deltares, u.d.). XBeach har fokus på den indre aktive del af kystprofilen og modellerer de processer, der er betydende for den akutte erosion. Kystprofilen påvirkes af de hydrodynamiske forhold under en storm i form af en forhøjet vandstand og tilhørende bølgeklime. Effekten af stormen, dvs. kysttilbagerykningen, beregnes i den 'tørre del' af kystprofilen som skræntens tilbagerykning.

Beregningen af den akutte erosion følger processen illustreret i Figur 2-9, som beskrives i de kommende afsnit.



Figur 2-8 Eksempel på før- og efterstormsprofil for en kyststrækning modelleret i XBeach. Den målte erosion er markeret ved skrænttoppen.



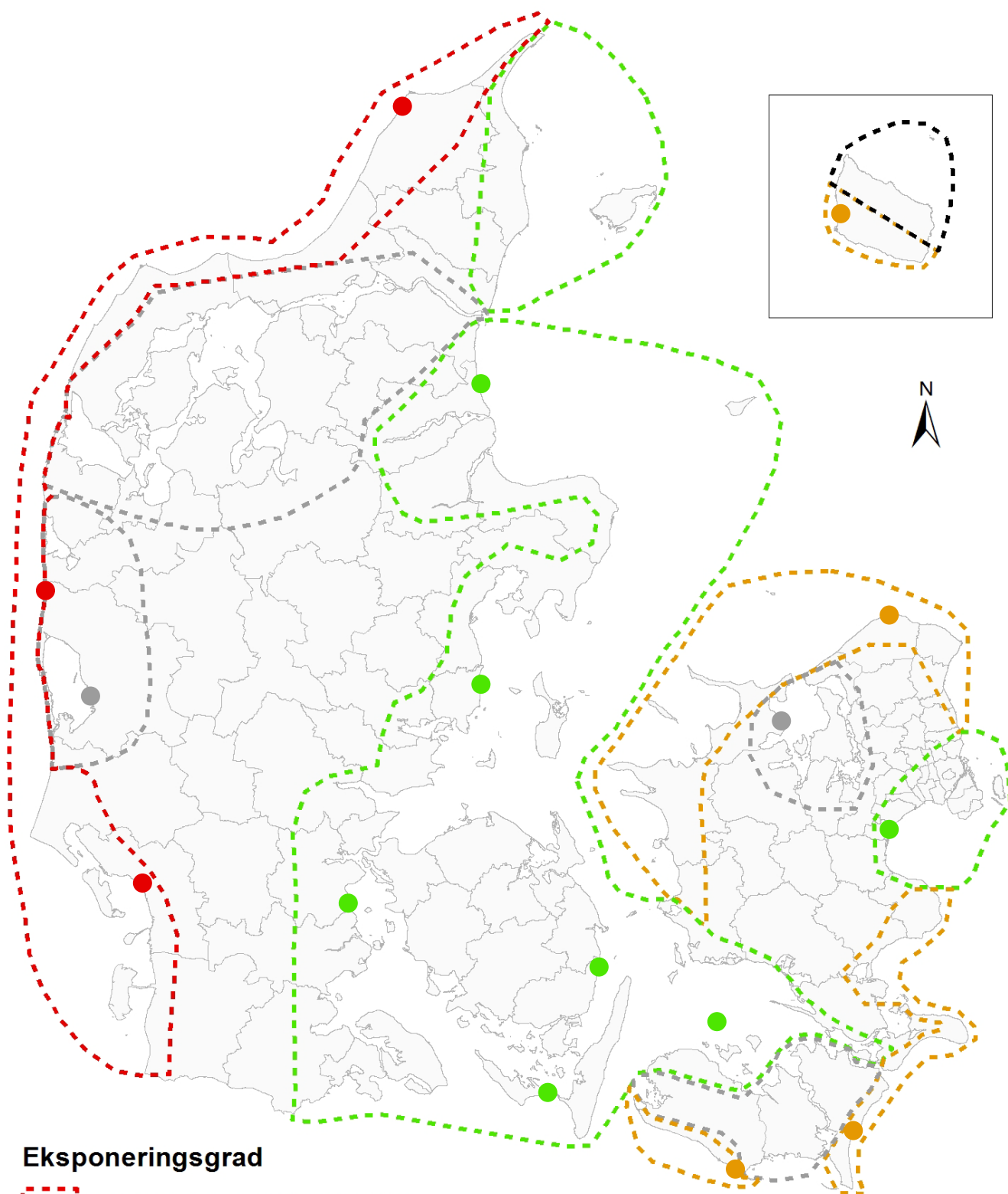
Figur 2-9 Procesdiagram for beregning af faren for akut erosion.

Udvælgelse af repræsentative profiler til farebegning af akut erosion

Til brug for beregning af den akutte erosion, skal de områder, hvor der potentielt kan være akut erosion identificeres. Herefter udvælges kystprofiler på disse strækninger, der kan være repræsentative for flere kyststrækninger i hele landet

Områderne med potentiel akut erosion identificeres med udgangspunkt i jordartskortet fra GEUS (GEUS, 2020a) og Kystanalysens eksponeringsgrader, som vist i Figur 2-10. Med disse data gennemgås Danmarks kyststrækning, og de kystområder i Danmark, som består af sandede jordarter, udvælges.

Som vist i procesdiagrammet, Figur 2-9, udvælges herefter kystprofiler, som er repræsentative for kyststrækninger med samme eksponeringsgrad. Udvælgelsen af repræsentative profiler beror på kystorientering og frit stræk. Inden for hver eksponeringsgrad er der udvalgt flere profiler, som er repræsentative for forskellige områder i landet. Kun kyststrækninger bestående af sandskrænter udvælges til fareberegning, jf. afsnit 2.3 Betydningen af kystens geologi. Der er udvalgt profiler, som dækker forskellige relevante kystorienteringer inden for hver eksponeringsgrad. Der er udvalgt 20 repræsentative kystprofiler for hele Danmarks kyststrækning. Deres placeringer ses på Figur 2-10.



Eksponeringsgrad

- Meget høj eksponeret -6m aktiv dybde
- Høj eksponeret -4m aktiv dybde
- Medium eksponeret -3m aktiv dybde
- Lav eksponeret -2m aktiv dybde
- Bornholm klippekyst

Figur 2-10 Inddelingen i eksponeringsgrader fra Kystanalysen, inklusiv lokaliteter for beregning af akut erosion. Figuren er en tilpasset version fra Kystanalysen (Kystdirektoratet, 2016).

Profilerne kan herefter anvendes andre steder i landet på kyster inden for samme eksponeringsgrad, som har lignende kystorientering og frit stræk. Derfor ses, at Limfjorden ikke har et særskilt profil, men at det derimod er omfattet af profiler fra andre lavekstonerede områder som f.eks. Ringkøbing Fjord og Roskilde Fjord. På lignende måde dækker det østhimmerlandske profil den østjyske kyst nord for Limfjorden.

XBeach er udviklet til at estimere den potentielle akutte erosion og den giver ift. anvendelsen i dette projekt de mest målbare resultater, når der benyttes et kystprofil med en markant skrænt, som er tilpas høj til, at den ikke oversvømmes. Derfor vil en lavtliggende kyst ofte resultere i en oversvømmelse af landet, snarere end at der kan måles en reel akut erosion på kysten. Det samme vil gøre sig gældende ved en kyststrækning, som har en meget lav hældning ind i land, her vil modellen også resultere i en oversvømmelse af landet. Derfor udvælges profiler med en markant kystskrænt. De steder, hvor profileres skrænttop ville blive oversvømmet i det mest ekstreme scenarie, er skrænttoppen manuelt forhøjet, så en reel akut erosion vil kunne modelleres. Resultatet af modelleringen giver en potentiel akut erosion, som tildeles de kyststrækninger, hvor profilet vurderes at være repræsentativt.

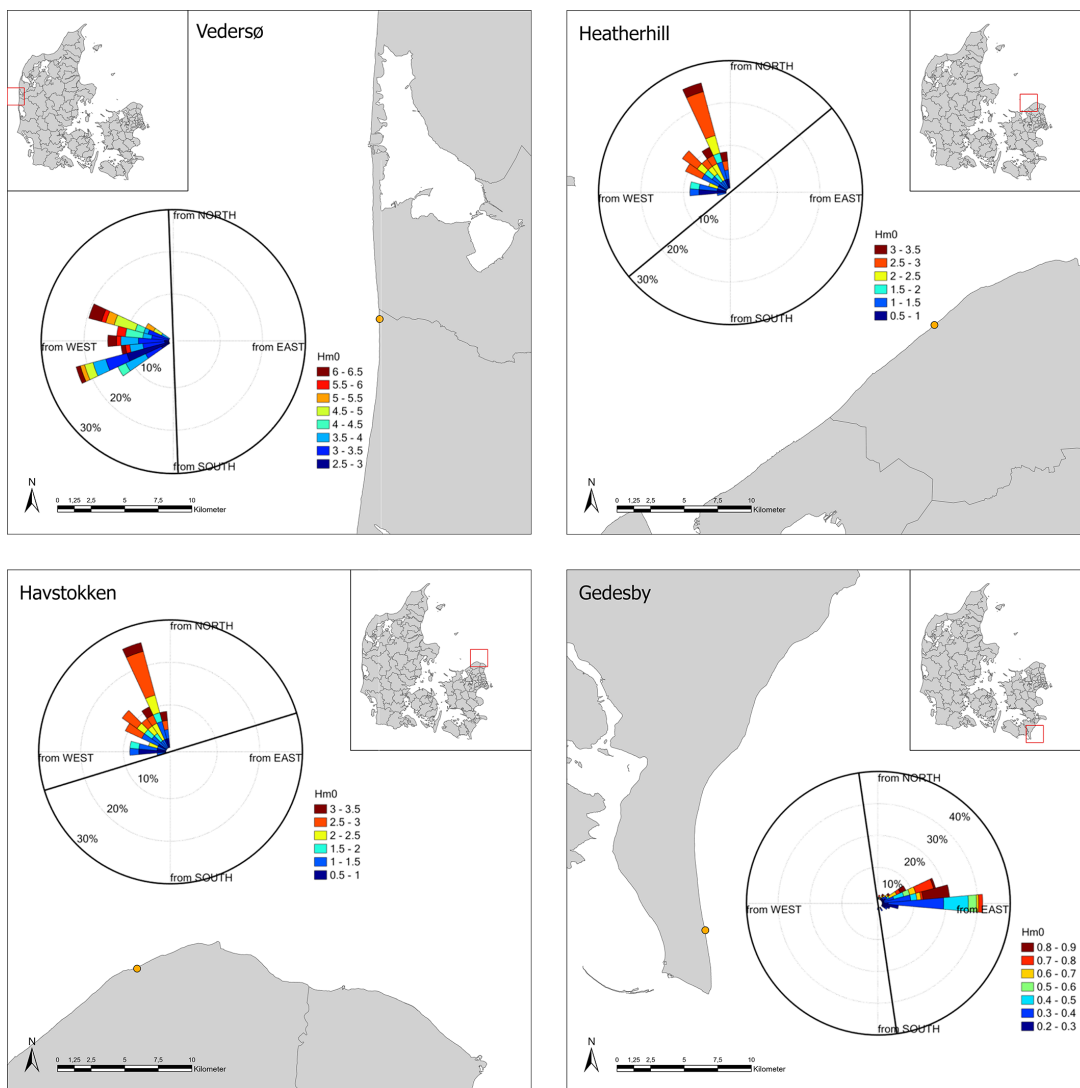
Eksisterende passiv kystbeskyttelse i form af skråningsbeskyttelse påvirker den akutte erosion. I udvikling af Kystplanlægger har Kystdirektoratet antaget, at størstedelen af skråningsbeskyttelserne i Danmark er dimensioneret til at kunne modstå en hændelse op til en 50-års hændelse, men der foreligger ingen informationer om skråningsbeskyttelsernes fremtidig vedligeholdelse og stabilitet ved større hændelser end de er dimensioneret til. I fareanalyserne beregnes faren for kraftigere storme op til en 10.000-års vandstand. Derved vil skråningsbeskyttelser sandsynligvis kollapse og miste deres effekt. Derfor medtages de ikke i XBeach beregningerne. En anden årsag er, at inspektioner viser, at skråningsbeskyttelserne har meget varierende kvalitet og dermed styrke. Generelle oplysninger om dette findes ikke.

Kalibrering og verificering af XBeach-model

For at kunne anvende XBeach på de forskellige sandkyster i Danmark er det nødvendigt at kalibrere og verificere modellen til disse. Derfor er modellen valideret mod fysisk målte stormdata, for at se, hvor godt modellen reproducerer de betydende fysiske processer for akut tilbagerykning under en storm. XBeach-modellen er først kalibreret til et profil på en højenergi-kyststrækning beliggende tæt på Vedersø Klitplantage ved den jyske vestkyst. Derefter er modellen verificeret med de fundne kalibreringsparametre ved et andet profil ved Vedersø Klitplantage (Vestkysten), Havstokken (Sjællands nordkyst), Heatherhill (Sjællands nordkyst) og fire profiler ved Gedesby (Falster), i alt syv yderligere lokaliteter i Danmark. Lokaliteter for verificering af XBeach-modellen er opført sammen med de respektive storme (bølgeklima og vandstandsforløb), der er brugt som input til verificeringen i Tabel 2-6. Lokaliteterne ses af Figur 2-11.

Tabel 2-6 Profiler til kalibrering og verificering af XBeach model og den anvendte storm.

Lokalitet	Storm	Datakilde
Vedersø (vestvendt kyst)	8. Jan. 2005	Bølgedata i Nymindegab, vandstandsdata i Ferring (Kystdirektoratet)
Havstokken (nordvendt kyst)	6. Dec. 2013 (Stormen Bodil)	Bølge og strømmåling på Sjællands nordkyst (Kystdirektoratet)
Heatherhill (nordvendt kyst)	6. Dec. 2013 (Stormen Bodil)	Bølge og strøm-måling på Sjællands nordkyst (Kystdirektoratet)
Gedesby (østvendt kyst)	4. - 6. Jan. 2017 (stille storm)	Bølge- og vandstandsdata fra DHIs numeriske Met-Ocean-model



Figur 2-11 Lokalteter anvendt som kalibrerings- og verificeringsprofiler til XBeach. Øverst til venstre: Vedersø, øverst til højre: Havstokken, nederst til venstre: Heatherhill, nederst til højre: Gedesby.

Ydermere er resultaterne af de i alt otte XBeach-analyser angivet i nedenstående Tabel 2-7. For hver analyse er den fysiske målte, akutte erosion noteret sammen med den XBeach-modellerede akutte erosion.

Tabel 2-7 Målte og XBeach modelleret tilbagerykning af kystskrænten under storm.

Kystprofiler	Målt [m]	Modelleret [m]
Vedersø profil O1 (kalibrering)	14	15
Vedersø profil O2 (verificering O1)	4	2
Gedesby O1 (verificering O2)	2	0
Gedesby O2 (verificering O3)	2	1
Gedesby O3 (verificering O4)	0	1
Gedesby O4 (verificering O5)	3	1
Havstokken (verificering O6)	8	8
Heatherhill (verificering O7)	0	1

Af ovenstående Tabel 2-7 fremgår det, at den kalibrerede og verificerede XBeach-model i 1D kan bruges til at estimere akut skrænttilbageknytning under storme på en dansk vest-, øst- og nordkyst, med varierende erosionseksponeringsgrad.

Fareberegning af akut erosion

De repræsentative profiler består af punkter langs den ønskede linje. Linjen forløber vinkelret på kysten og består af punkter med 2 meters afstand. Punkterne tildeles en kote fra hhv. den danske højdemodel (DTM 2014-2015) og den danske dybdemodel (GST Farvandsdybdemodel), med undtagelse af den centrale jyske vestkyst, som desuden er dækket af egne opmålingsdata.

Profilerne bruges som input i XBeach-modellen.

Modellernes resultater består af et nyt kystprofil, som indeholder den tilbagerykning af kystskrænten, som stormen vil kunne forårsage. I efterbehandlingen af det nye profil beregnes forskellen i skrænttoppens placering i forhold til det oprindelige profil, som vist i Figur 2-8. Dette udgør den potentielle akutte tilbagerykning til brug i den samlede fareberegning for erosion. Den potentielle akutte tilbagerykning forstås som den tilbagerykning, der er repræsentativ for en kyststrækning med samme eksponeringsgrad, kystorientering og frit stræk som det oprindelige profil. Det er en konservativ tilgang. Virkelighedens billede vil kunne se anderledes ud og dermed vil erosionsresultaterne nogle steder være overestimerede.

2.3.3 Den samlede fareberegning for erosion

Den samlede fare er summen af den akutte tilbagerykning for en given strækning og den kroniske tilbagerykning samme sted. Placeringen visualiseres, som tidligere nævnt, ud fra kystlinjen, som er vist med en rød linje i Figur 2-12. Denne linje forskydes landværts med strandbredden. Hermed gives en placering af skræntfoden/-toppen. Den beregnede tilbagerykning påsættes fra dette punkt og landværts og ses som det gule område i Figur 2-12.

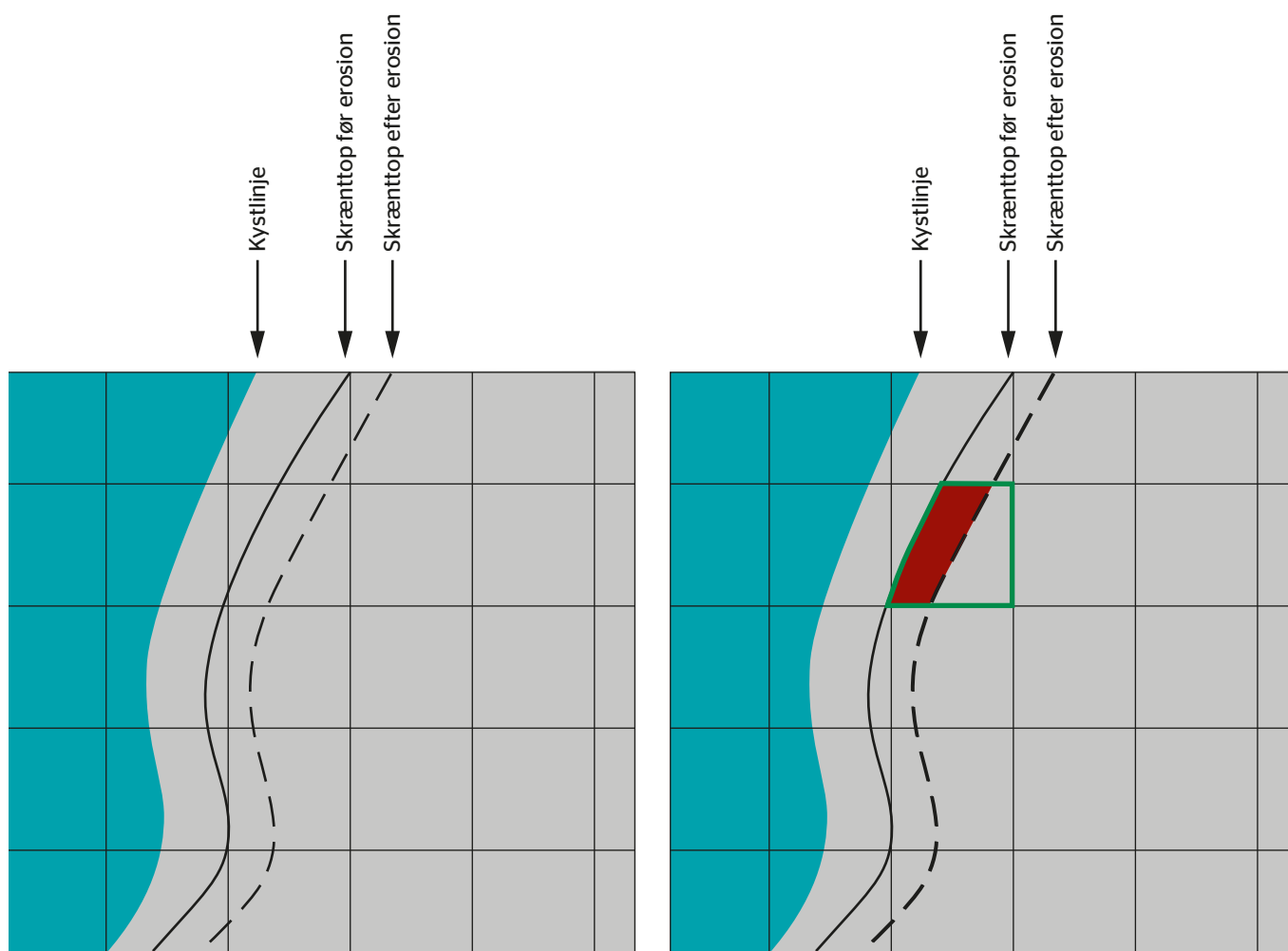


Figur 2-12 Eksempel på den samlede erosionsfare. Det gule område viser den samlede erosion. Det skraverede område viser andelen af den samlede erosion, som er akut erosion. Den røde linje er kystlinjen. Afstanden fra kystlinjen til det gule område er strandbredden.

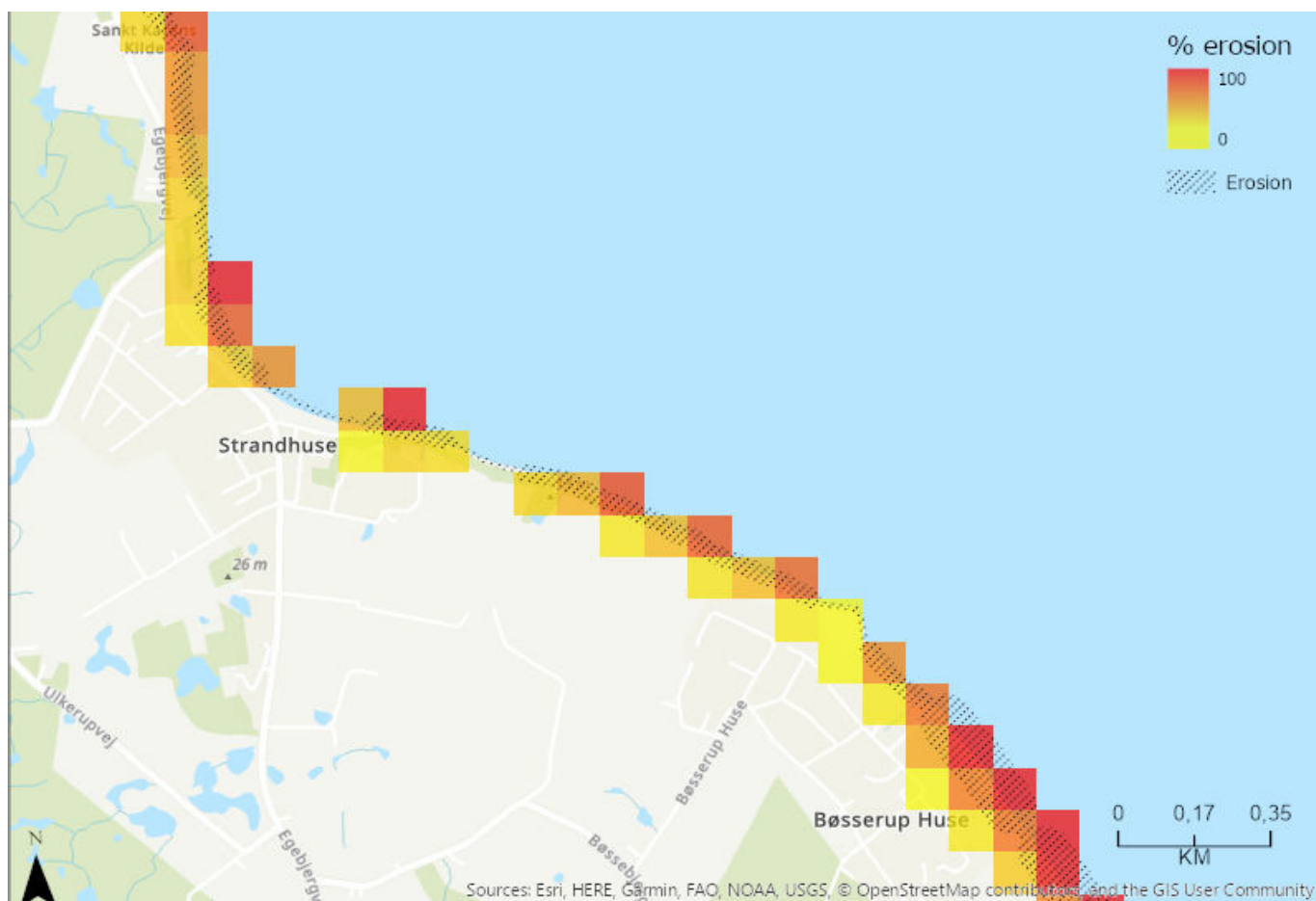
Til den efterfølgende sårbarhedsanalyse er der behov for, at erosionsfaren er opgjort i 100 m × 100 m grid. Dette gøres ved at tildele den enkelte 100 m × 100 m-celle en værdi svarende til, hvor stor en del af

cellen der eroderer i forhold til, hvor stor en del af cellen, der kan erodere. En 100 m × 100 m-celle kan dække et geografisk område, hvor der både er hav, strand og fast land. Erosionen beregnes kun for det faste land, hvorfor havet og stranden ikke regnes med som den del af cellen der kan erodere. Det er illustreret i Figur 2-13, hvor den procentvise erosion i den markerede celle i figuren til højre, beregnes som arealet af det med rødt markerede område, i forhold til arealet af det med grønt markerede område, da stranden, området mellem kystlinjen og skrænttop før hændelse, ikke eroderer, men blot rykker landværts. I Figur 2-14 ses et eksempel på beregningen af erosionen i procent for et konkret område.

Til det efterfølgende arbejde i sårbarhedsanalyserne anvendes den procentvise erosion ved hvert erosionsscenario i 100 m × 100 m-grid.



Figur 2-13 Illustration af, hvordan den procentvise erosion beregnes i 100 m × 100 m grid-celler. Det blå er hav, det grå land. Den fuldt optrukne linje er skrænttoppen før erosion, den stiplede linje er skrænttoppen efter erosion. I figuren til højre, beregnes den procentvise erosion som arealet af det med rødt markerede område i forhold til arealet af det med grønt markerede område, da stranden, området fra kystlinjen til den fuldt optrukne linje, ikke eroderer.



Figur 2-14 Eksempel på beregning af erosion til 100 m × 100 m-celler.

3. Sårbarhedsanalyser

Oversvømmelses- og erosionsrisikoen beregnes på grundlag af faren for hændelsen og de potentielle skader eller tab hændelsen kan medføre. Omfanget af de potentielle negative konsekvenser af en oversvømmelse eller erosion fastlægges ved en sårbarhedsanalyse, dvs. en analyse af, hvor sårbart et område er over for oversvømmelse eller erosion. Formålet med sårbarhedsanalysen er at analysere de negative følger af oversvømmelsen eller kysttilbagerykningen. De eventuelle positive konsekvenser, som f.eks. forbedrede levevilkår for fuglearter som følge af vanddækning af arealer eller øget indtjening for erhvervsdrivende i forbindelse med genopbygning inddrages ikke i analyserne.

Skaden ved oversvømmelse eller erosion bestemmes gennem skadesmodellerne. Disse modeller varierer afhængigt af sårbarheden og udfordringen og er forskellige for bygninger og veje, samt i forhold til, om det er oversvømmelse eller erosion, der påvirker området. Med modellerne og informationerne om oversvømmelsen og kysttilbagerykningen, kan skaden i de enkelte celler for hver kategori beregnes. Det vil sige, at det kan undersøges, i hvor høj grad de enkelte sårbarhedskategorier berøres af oversvømmelsen eller kysttilbagerykningen. For at kunne dette skal der have information om hvilke sårbarheder, der er i de berørte områder.

En økonomisk skade ved en konkret oversvømmelse eller erosion kan bruges til at udregne en kvantitativ risiko og fra dette udgangspunkt kan udgifter og gevinster ved tiltag, der reducerer risikoen, udregnes. For de sårbarheder, hvor skaden kan kvantificeres, gøres dette. Der er dog flere sårbarheder, hvor skaden ikke kan udregnes håndgribeligt, hvor den i stedet kvalificeres ved, at sårbarhederne kortlægges.

Alle beregninger laves i 100 m × 100 m grid, hvilket medfører usikkerheder i beregningerne, da der ikke tages højde for den præcise, fysiske placering af sårbarheden inde i en 100 m x 100 m celle. Denne usikkerhed accepteres dog for at kunne lave de nationale beregninger af skaden ved oversvømmelse og erosion samt de efterfølgende risikoberegninger. Det vurderes, at beregningerne fortsat vil give et godt nationalt overblik over i konsekvenserne ved oversvømmelse og erosion, hvordan de varierer rundt om i landet og de dertilhørende udfordringer.

I det følgende gennemgås de syv håndgribelige sårbarheder, der er inkluderet i denne kortlægning. Derefter præsenteres de uhåndgribelige sårbarheder, der indgår i Kystplanlægger.

Fremtidige sårbarheder

I Kystplanlægger fremskrives risikoen til år 2070 og 2120. I analyser af den fremtidige risiko er det vigtigt at tage højde for, at både faren for oversvømmelse og erosion samt værdierne i de berørte områder kan ændre sig i fremtiden. Udviklingen i faren afhænger bl.a. af klimaændringerne og ændringer i terrænet, hvilket er beskrevet i Kapitel 2.

Den anden faktor er udviklingen af sårbarheden i form af eksempelvis befolkningstilvækst, byudvikling, socioøkonomisk udvikling og lignende. Det er vanskeligere at lave en generel tendens for denne type udvikling, samt at omsætte en sådan tendens til konkret effekt på sårbarhederne. I analysen af den fremtidige oversvømmelses- og erosionsrisiko indgår derfor kun ændringer i faren, mens sårbarhedsanalysen gennemføres på værdierne, som de er i dag. Dette giver et billede af, hvordan risikoen kan ændre sig udelukkende afhængigt af ændringer i faren.

3.1 Skade på infrastruktur

Skadesmodellen beregner prisen for den skade, der vil ske ved hhv. oversvømmelse eller erosion på den danske infrastruktur. Modellen omfatter det danske vejnet, jernbanenetværk, lufthavne og færgenhavne. Skaden angives som den samlede pris for oprydning efter oversvømmelse eller reetablering efter erosion per 100 m × 100 m-celle.

Data er hentet fra KortIO, som indeholder oplysninger om bl.a. vejenes bredde, der er central information for modellen. Modellens nøjagtighed afhænger af infrastrukturtemaernes præcision. KortIO bliver ikke opdateret længere, og derfor har Kystdirektoratet manuelt opdateret nogle af linjeføringerne senest i forbindelse med udarbejdelse af kortlægningen i risikoområder, jf. oversvømmelsesloven i 2019 (Kystdirektoratet, 2020). Lufthavne er også inkluderet og optegnet manuelt. Færgenhavne antages at bestå af asfalt og inkluderes derfor på samme måde.

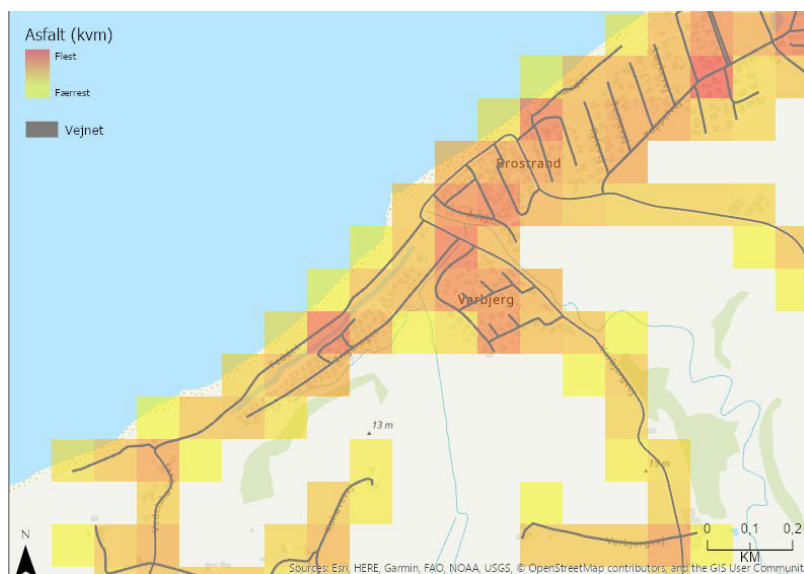
I modellen skal infrastrukturens areal bruges som input. I data er veje og jernbaner samt lufthavnenes landingsbaner angivet som linjer. Infrastrukturens areal er derefter bestemt ud fra den gennemsnitlige forventede bredde af vejen i henhold til vejtypen. Den antagne bredde fremgår af Tabel 3.1. Linjerne er til sidst samlet, således at overlappende veje ikke tælles dobbelt, dér hvor de krydser.

Færgenhavne er i forvejen angivet med et polygon, hvor polygonernes areal antages at udgøres af asfalt.

Tabel 3-1 Oversigt over antagne bredder for de forskellige typer infrastruktur.

Infrastruktur type	Antaget bredde (m)
Jernbane	2
Motorvej	26
Motortrafikvej	12
Vej > 6 m	6
Vej 3 - 6 m	5
Anden vej	6
Færgenhavne	
Lufthavn - startbaner	55

De bearbejdede datasæt angiver i 100 m × 100 m-grid, arealet af infrastruktur i hver celle, opdelt i asfalt og jernbane, som danner grundlag for den videre udregning for de to skadestyper. Et eksempel på transformation fra vejlinjer til 100 m × 100 m-grid kan ses i Figur 3.1.



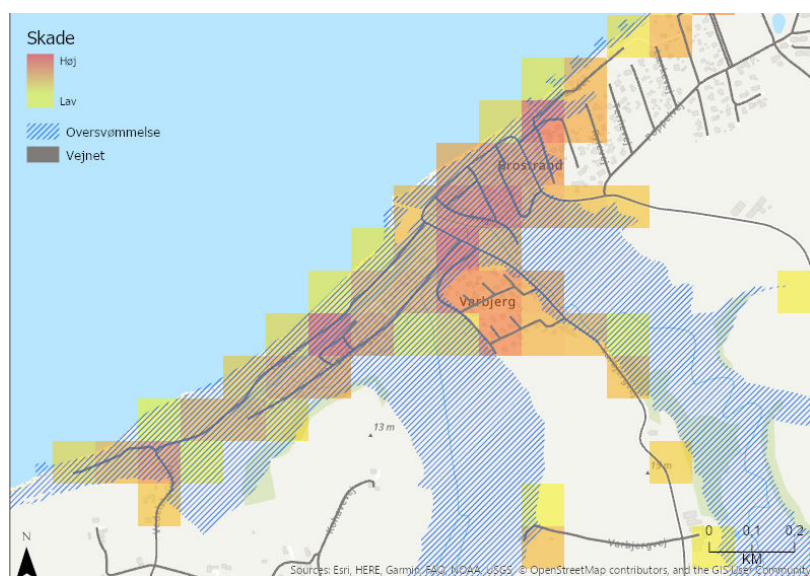
Figur 3-1 Transformation af vejnet fra linjer til kvadratmeter asfalt i 100 m × 100 m-grid.

3.1.1 Skade ved oversvømmelse

Ved oversvømmelse forventes der ikke at ske permanent skade på infrastrukturen, men det antages, at der kommer udgifter til oprydning af de oversvømmede arealer.

Prisen for oprydningen er fastsat til 3 kr. pr kvadratmeter. Denne pris er fastsat på baggrund af et estimat af, hvad oprydningen efter Aalborg karneval koster. Oprydningen efter et karneval vil i forhold til mængden og variationen i størrelsen af affaldet kunne sidestilles med oprydning efter oversvømmelser fra havet. Estimatet antages at dække prisen for både oprydning af asfalt såvel som jernbaner. Dette estimat er tidligere brugt i Kystdirektoratets arbejde (Kystdirektoratet, 2013, 2016 & 2020).

Det antages, at det først vil være nødvendigt med oprydning, såfremt der har været en oversvømmelsesdybde på minimum 10 cm. Oversvømmes en celle med mere end 10 cm vand ganges arealet af de forskellige typer af infrastruktur med prisen for oprydning. Derefter er udgifterne summeret for de forskellige typer infrastruktur for at få den samlede økonomiske skade på infrastruktur i 100 m × 100 m-grid. Se et eksempel i Figur 3-2.



Figur 3-2 Eksempel på infrastrukturel skade ved oversvømmelse.

3.1.2 Skade ved erosion

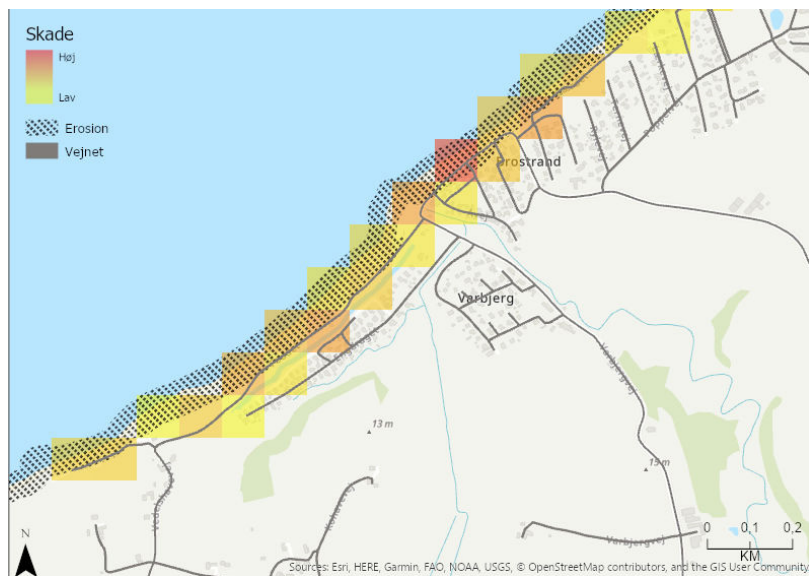
Ved beregningen af skaden antages det, at infrastruktur, som bliver eroderet og derfor går tabt, genetableres længere inde i land. Priserne for at genetablere en given infrastruktur varierer, og afhænger primært af typen, samt af den belastning, den udsættes for. Vejdirektoratet har til Kystplanlægger bidraget med priser for etablering af nye veje og BaneDanmark har bidraget med priser for at etablere nye jernbanestrækninger. Udgifterne er i begge tilfælde overslagspriser og varierer afhængig af de konkrete forhold. Priserne er enten angivet som en kvadratmeterpris eller pris pr. km. Data er til skadesberegningerne omdannet til pris pr. kvadratmeter infrastruktur, hvilke fremgår af Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Pris for etablering af nye vej- og jernbaner.

Infrastruktur type	Kvadratmeterpris på bebyggelse af ny vej
Jernbane	37.500 kr.
Vej	700 kr.

Da udregningen sker i 100 m × 100 m-grid, antages det, at arealet af den infrastruktur, der eroderer, er proportionelt med den procentdel af cellen, der eroderer. Dette gøres ud fra antagelsen om, at infrastrukturen ligger spredt i cellerne. Infrastrukturen kan dog reelt ligge helt uden for eller helt inden for den egentlige erosionszone, men prisen vil blive beregnet ud fra den procentvise erosion af cellen.

Det udregnede areal af de forskellige typer af infrastruktur er ganget med prisen for genetablering, og derefter summeret for at angive den samlede økonomiske skade på infrastruktur i 100 m × 100 m-grid, som illustreret i Figur 3-3.

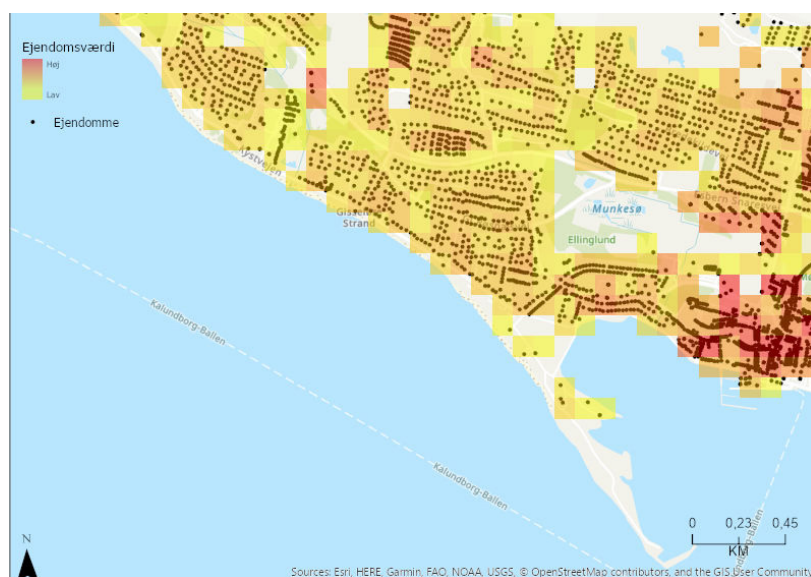


Figur 3-3 Eksempel på infrastrukturel skade ved erosion

3.2 Skade på ejendomme og indbo

Skadesmodellen beregner de forventede økonomiske tab for ejendomme i tilfælde af oversvømmelse eller erosion. Modellen tager udgangspunkt i punktdata fra BBR-registret, hvori der findes data om ejendomsværdi samt grundværdi. Data fra BBR-registret er kategoriseret i forskellige ejendomstyper, som i modellen bliver samlet til fire overordnede typer: Helårsboliger (både lejet og ejet), landejendomme, offentlige bygninger samt sommerhuse. Private virksomhedsbygninger medtages ikke, da de behandles i deres egen model, som beskrevet i Afsnit 3.3.

Punktdata bliver transformeret til 100 m × 100 m-grid for hver af de fire typer ejendomme, ved at summere alle bygningsværdierne i hver celle (ejendomsvurderingen fratrasket grundværdien), som illustreret i Figur 3-4. Ved at anvende bygningsværdien tages højde for bygningens geografiske placering, da bygningens nedskrevne værdi varierer som følge af bygningens beliggenhed i landet. Der regnes på skader på grunde i en separat model som beskrevet i Afsnit 3.4.



Figur 3-4 Eksempel på tranformationen fra ejendomsdata-punkter til rasterlag med samlet ejendomsværdi pr. celle

Det udarbejdes to separate grupper af datasæt til skadeberegningerne for henholdsvis oversvømmelse og erosion. Til oversvømmelse laves et datasæt, hvori de samme fire typer ejendomme indgår, men hvor kun bebyggelse i stueetage og ved jordhøjde bearbejdes, ud fra den antagelse, at en oversvømmelse sjældent direkte berører etager over stueplan. Til erosionsberegninger laves datasæt til hver af de fire typer af ejendomme jf. metoden ovenfor.

3.2.1 Skade ved oversvømmelse

Skadesmodellen for oversvømmelse, som inkluderer skader på bygninger og indbo, er udviklet af Kystdirektoratet (Jensen, et al., 2009). Modellen viser skadesomfanget på bygninger og indbo forårsaget af en given oversvømmelseshændelse. Modellen er lavet på baggrund af data indsamlet i forbindelse med oversvømmelser i Danmark i 1973 og 2006 i Sønderjylland, i Løgstør og på Nordfyn.

Modellen bygger på en funktion af vanddybde, den offentlige ejendomsvurdering og bygningens formål. Skaden på bygninger er beregnet som en lineær funktion af bygningsværdien og vanddybden. Den samlede værdi i hver 100 m × 100 m-celle for de enkelte typer bygninger findes i det bearbejdede datasæt, mens vanddybden er den gennemsnitlige vanddybde i cellen, som bekræftet i afsnit 2.2.

For både bygningsskade og indbo er det antaget, at vandet først vil løbe ind i bygninger og forurette skader, når det overstiger en vanddybde på 20 cm.

Den anvendte funktion for bygningsskade, som gælder for alle ejendomstyper, er:

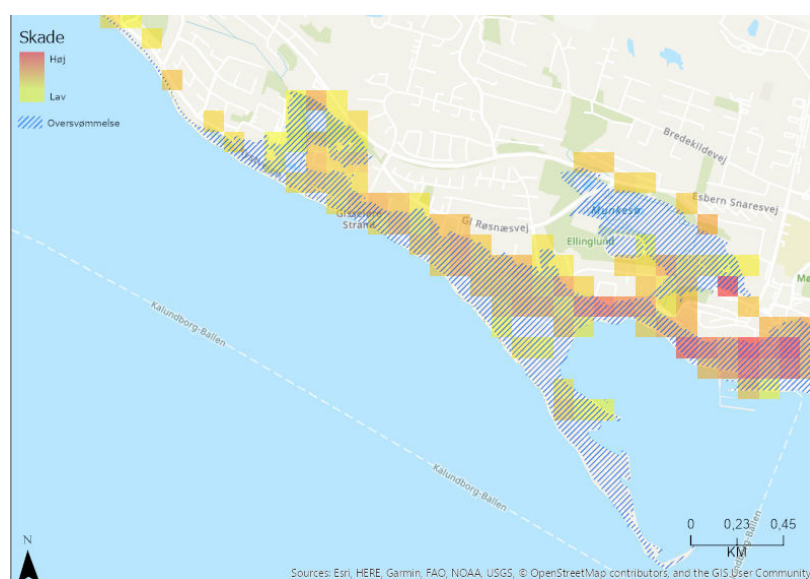
$$\text{Bygningsværdi} * \frac{13,3 * \text{vanddybde} + 22}{100}$$

Skaden på indbo er beregnet som en lineær funktion, hvor en procentdel af bygningsværdien er benyttet, afhængigt af bygningstypen. Funktionerne for de forskellige boligtyper kan ses i Tabel 3-3.

Tabel 3-3 Funktioner til udregning af skader på indbo for forskellige ejendomstyper.

Bygningstype	Funktion til udregning af indbo
Helårsboliger	$(50\% \text{ af bygningsværdien} \cdot 4,4 + 68) / 100 - 0,68$
Landbrugsejendomme	$(15\% \text{ af bygningsværdien} \cdot 4,4 + 68) / 100 - 0,68$
Fritidshuse	$(20\% \text{ af bygningsværdien} \cdot 4,4 + 68) / 100 - 0,68$
Offentlige institutioner	$(30\% \text{ af bygningsværdien} \cdot 4,4 + 68) / 100 - 0,68$

Når bygningsskade og skade på indbo er beregnet for alle de forskellige ejendomstyper, summeres disse til et datasæt med de samlede økonomisk tab for ejendomme angivet i 100 m × 100 m-grid, som det ses i Figur 3-5.



Figur 3-5 Eksempel på ejendomsskade ved oversvømmelse

3.2.2 Skade ved erosion

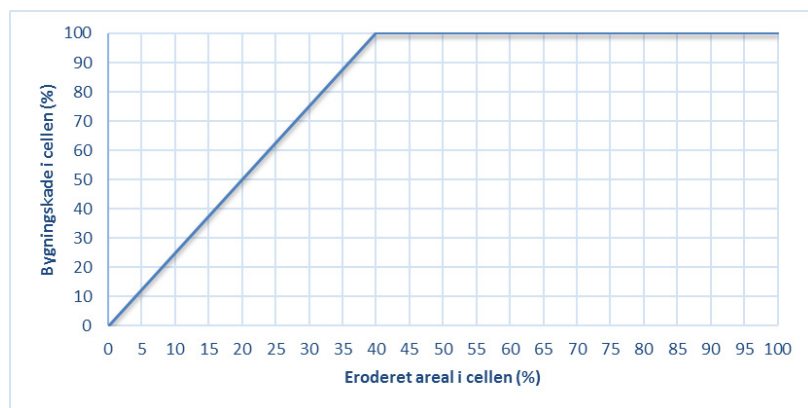
Modellen for skade på bygninger ved erosion er udviklet til Kystplanlægger. Udgangspunktet er, at der arbejdes med data i 100 m × 100 m-grid, hvorved modellen passer til den metodiske fremgangsmåde, som anvendes til beregning af skader ved oversvømmelse. I skadesmodellen inkluderes skader på helårsbeboelse og skader på fritidshuse, som dog har individuelle skadesmodeller.

For helårsbeboelse beregnes en direkte skade på bygningen afhængigt af det eroderede areal i cellen. Dertil beregnes udgifter til erhvervelse af ny bolig med tilhørende grund. Dette gøres ud fra den antagelse, at genanskaffelse vil finde sted, fordi helårsbeboelse er borgernes hjem, og dermed er central for borgernes levevilkår.

For fritidshuse beregnes den direkte skade på bygningen afhængigt af det eroderede areal i cellen. Der beregnes ikke udgifter til nyerhvervelse ud fra den antagelse, at et fritidshus er et ekstra gode, og at det ikke er centralt for borgerens levevilkår at erhverve sig et nyt.

For alle typer af bygninger antages det, at indbo flyttes inden bygningen eroderer, hvorfor der ikke regnes skade på indbo.

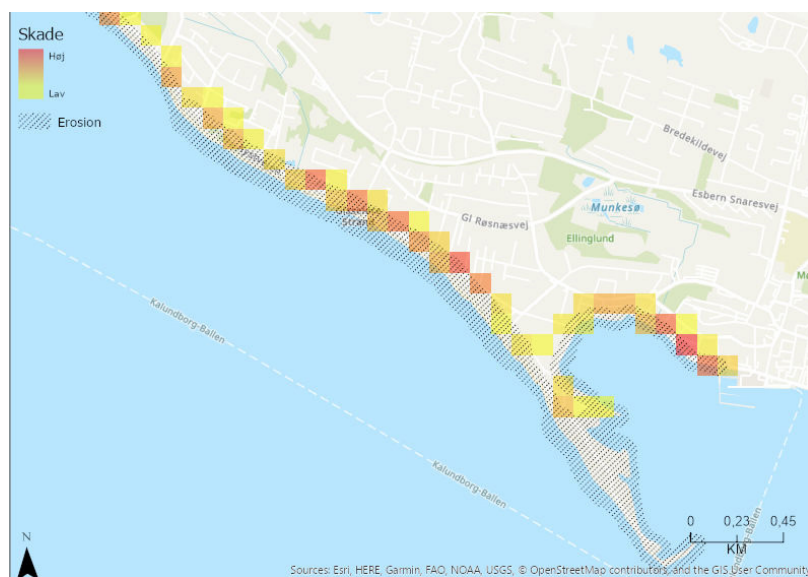
Den direkte skade på bygningerne til begge modeller beregnes som en procentsats af bygningsværdien afhængigt af det eroderede areal i cellen. Det antages, at når 40 % af cellen er eroderet, vil bygningen på styrte ned eller være så tæt på skrænten, at bygningen må forlades. Der antages derved totalt tab for bygningen, når mere end 40 % af cellen er eroderet. For erosion under 40 %, antages det at skaden stiger lineært op til 100 % skade ved 40 % erosion, som illustreret i Figur 3-6.



Figur 3-6 Sammenhæng mellem eroderet areal og bygningskade

Skade for helårsbolig omfatter desuden udgifter til erhvervelse af ny ejendom med bygning og grund, ud fra antagelsen ovenfor om, at det er nødvendigt med et sted at bo. Denne udregnes kun, når der antages total skade på bygningen, altså når mindst 40 % af cellen er eroderet. Udgifterne til ny erhvervelse af en grund og bygning antages at udgøre en værdi tilsvarende det tabte. Grundværdien lånes fra grundværdi-modellens output.

I Figur 3-7 ses eksempel på skade for ejendomme ved erosion.



Figur 3-7 Eksempel på ejendomsskade ved erosion

3.3 Virksomhedstab

Modellen udregner det forventede tab for virksomheder, hvis de udsættes for oversvømmelse eller erosion. De to skadesmodeller afviger væsentligt fra hinanden, da virksomheder påvirkes meget forskelligt afhængigt af om der er tale om oversvømmelse og erosion. Dataforberedelsen er derfor også forskellig for de to modeller og beskrives i de respektive afsnit.

3.3.1 Skade ved oversvømmelse

Skadesmodellen for oversvømmelse af private virksomheder er udviklet af den hollandske virksomhed Deltares (Burzel, et al., 2018), og er overført til danske forhold i forbindelse med kortlægningen i risikoområderne, jf. oversvømmelsesloven (Kystdirektoratet, 2020).

Inputdata kommer fra et udtræk af CVR-registret, med informationer om antal ansatte i de enkelte virksomheder, samt hvilken virksomhedssektor, der er tale om. Skadesmodellen differentierer mellem tre forskellige virksomhedstyper; industri, butik og kontor, som alle påvirkes forskelligt af en oversvømmelses-hændelse. Inkluderet i disse tre virksomhedstyper er i alt 127 forskellige sektorer.

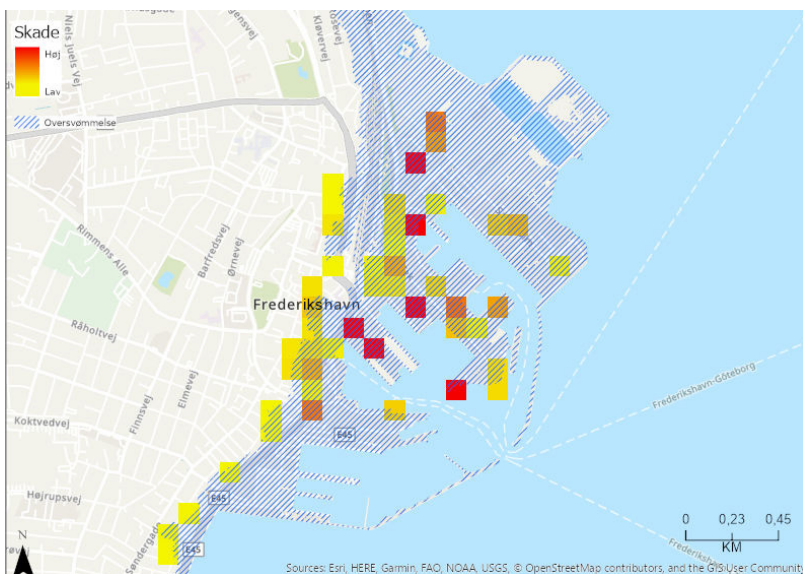
Med modellen beregnes den direkte skade på de påvirkede virksomheder som funktion af vanddybden. Modellen bestemmer således det økonomiske tab som følge af bygningsskade, tab af inventar og lagerbeholdning, samt det økonomiske tab ved indstilling af daglig drift. Den tidlige driftsforstyrrelse beregnes for hver virksomhedstype ligeledes som funktion af vanddybden.

Virksomhederne værdiansættes ud fra den gennemsnitlige værdi inden for hver sektor, baseret på data fra Danmarks Statistik. Værdierne udregnes for hver af de 127 sektorer, og angives som en gennemsnitlig værdi pr. fuldtidsansat (antal årsværk). Virksomheder uden registrerede fuldtidsansatte, så som hobby-virksomheder, værdisættes dermed ikke.

Data er knyttet op på et punkt, som er beliggende på den adresse, hvor CVR nummeret er registreret. Dette kan medfører at den økonomiske skade overestimeres, såfremt virksomhedens ansatte er fordelt på flere lokaliteter, men er registreret på ét punkt, der oversvømmes. Det omvendte kan også være tilfældet, da nogle virksomhedsbygninger kan blive oversvømmet, men ikke blive værdisat, da medarbejderne er registreret på virksomhedens hovedadresse, som er knyttet op på CVR nummeret.

Da bygningsskade for private virksomheder opgøres efter denne model, inkluderes den ikke i ejendomsskadesmodellen. Modsat inkluderes den offentlige sektor i ejendomsskadesmodellen, da den ikke indgår i denne model.

I Figur 3-8 ses eksempel på skade for private virksomheder som følge af oversvømmelse.



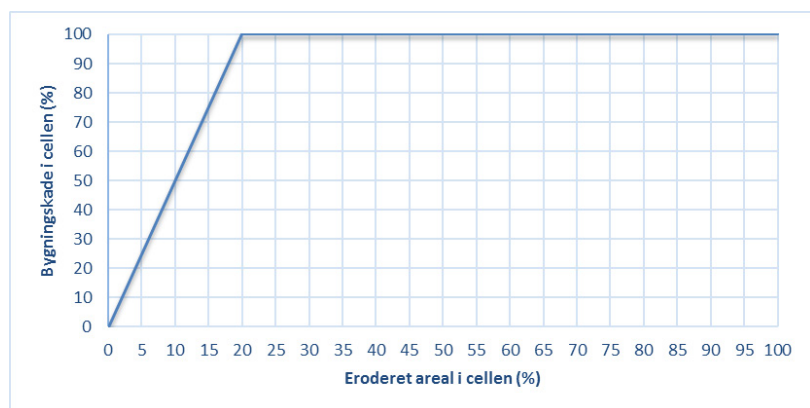
Figur 3-8 Eksempel på virksomhedsskade som følge af oversvømmelse

3.3.2 Skade ved erosion

I beregning af skade på virksomheder grundet erosion antages det, at virksomheder udviser rettidig omhu og flytter produktionen, inden der sker egentlig erosionsskade på virksomheden. Dermed forventes det, at virksomheden har flyttet inventaret og vil opleve minimale forstyrrelser på driften, da flytningen kan planlægges. Der medregnes ikke udgifter til flytning eller leje af midlertidige lokaler. Denne model tager derfor kun højde for direkte tab af bygninger, samt udgifter til erhvervelse af ny grund og bygninger.

Metoden fungerer i store træk som modellen for erosionsskade på ejendomme, som beskrevet i afsnit 3.2.2, og inputdata kommer ligeledes fra det samme BBR-datasæt med bygningsværdier. Punktdata for bygningsværdien transformeres til 100 m × 100 m-grid på samme måde som i ejendomsmodellen.

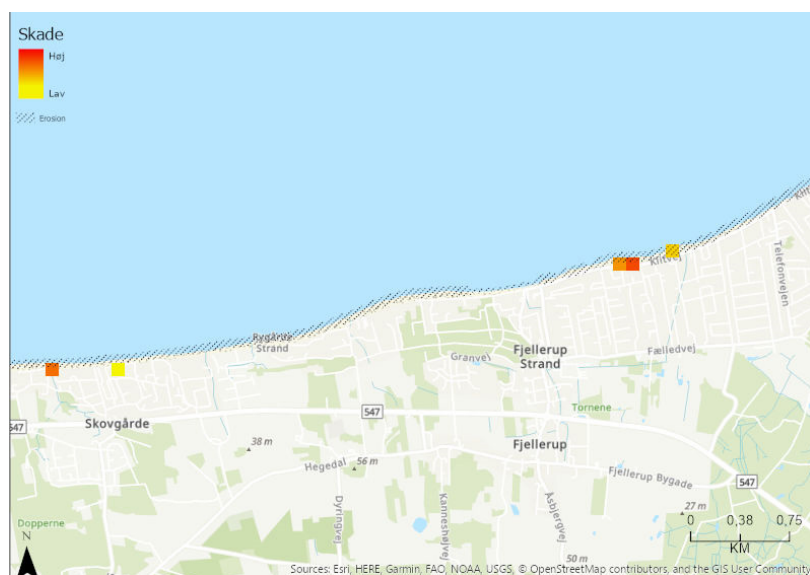
Da det antages, at virksomheder udviser rettidigt omhu og da virksomheder naturligt vil reagere tidligere på erosion, antages det, at når 20 % af cellen er eroderet, vil virksomheden flytte. Der antages derved totalt tab for bygningen, når mere end 20 % af cellen er eroderet. For erosion under 20 %, antages det, at skaden stiger lineært op til 100 % skade ved 20 % erosion, som illustreret i Figur 3-9.



Figur 3-9 Bygningsskade for virksomheder som funktion af eroderet areal i 100 m × 100 m-cellen

Ved erosion over 20 % beregnes yderligere udgifter til erhvervelse af ny ejendom og grund ud fra den antagelse, at produktionen genoptages på en ny adresse. Udgifterne til nyerhvervelse af grund og bygning ansættes til det samme som værdien af det tabte. Grundværdien lånes fra grundværdi-modellens output.

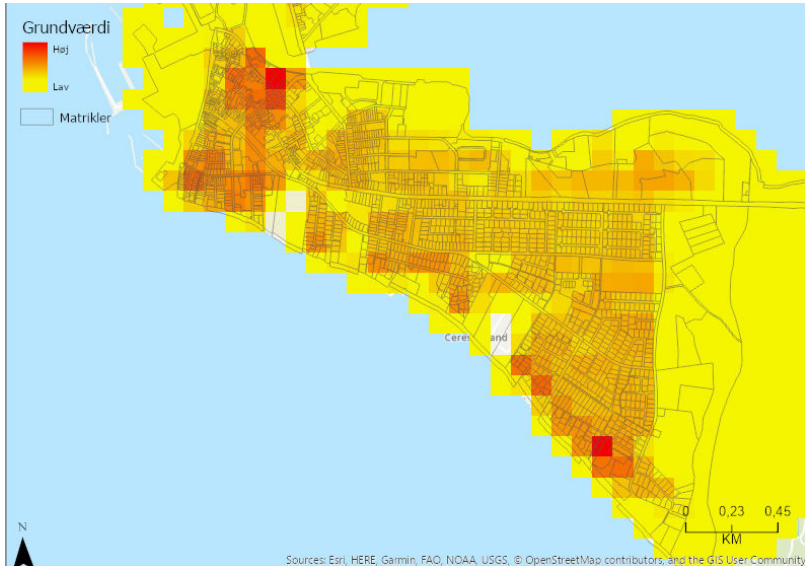
I Figur 3-10 ses et eksempel på beregning af skader for virksomheder som følge af erosion.



Figur 3-10 Eksempel på virksomhedsskade som følge af erosion

3.4 Tab af grundværdi

Modellen beregner forringelse af grundværdien som resultat af tabt areal til erosion. Input-data er modtaget fra LIFA, som er et matrikelkort med tilkoblede grundværdier. Disse matrikelkort er transformeret til 100 m × 100 m-celler, ved at hver matrikel har fået udregnet en kvadratmeterpris og i hver celle er det beregnet, hvor mange kvadratmeter af hver matrikel, der ligger indenfor den pågældende celle. Dette er til sidst summeret til en samlet grundværdi i hver celle, som det ses på Figur 3-11.



Figur 3-11 Eksempel på tranformation fra matrikler med grundværdi til 100 m × 100 m-grid.

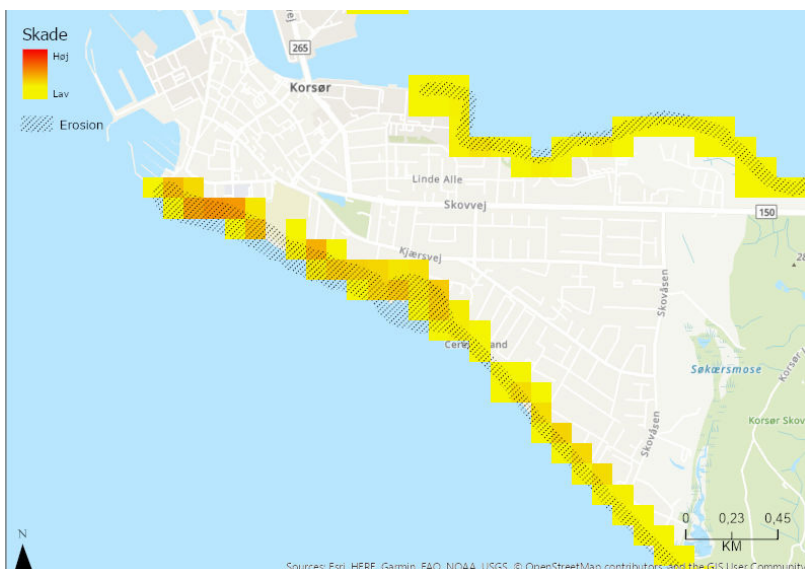
Det bearbejdede datasæt foreligger nu i et 100 m × 100 m-grid med den samlede grundværdi i hver celle og danner grundlaget for den videre skadesberegning.

3.4.1 Skade ved oversvømmelse

Der forventes ikke at ske skade på grundværdien ved oversvømmelse, da vandet trækker sig tilbage og intet land går tabt.

3.4.2 Skade ved erosion

Ved erosion sker der tab af land og det påvirker grundværdien. Skaden på grundværdien som følge af erosion regnes direkte proportionelt med den procentvise erosion i cellen. Den procentvise erosion i cellen ganges med grundværdien i cellen for at give den tabte værdi i cellen. Et eksempel på dette er vist i Figur 3-12.



Figur 3-12 Eksempel på tabt grundværdi ved erosion

3.5 Skade på husdyrproduktion

Skadesmodellen beregner de forventede økonomiske tab for husdyrbesætninger i tilfælde af oversvømmelse. Modellen tager udgangspunkt i det danske matrikelkort, koblet sammen med et husdyrdatasæt leveret fra Natur- og Erhvervsstyrelsen, hvori oplysninger om husdyrbesætningerne i Danmark kan findes. Modellen beregner skaden for de to mest udbredte husdyrtyper i Danmark: Svin og kvæg.

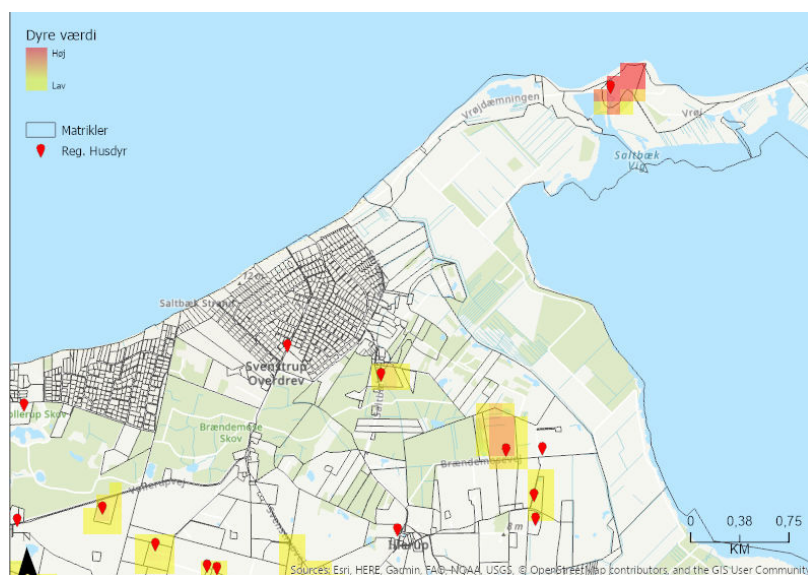
Ved hjælp af data kan antal husdyr på et areal bestemmes. Dette antal kan derefter overføres til antal dyr i 100 m × 100 m-celler. Landbrugsrådgivning Syd har lavet en model, som estimerer tabet ved oversvømmelse af svin og kvæg (Kystdirektoratet, 2004). I deres model arbejder de med flere typer af svin (søer, slagtesvin og smågrise) og kvæg (kødkvæg, slagtekalve, økologisk kødkvæg og malkekvæg), som tildeles hver deres værdi. Da disse typer data ikke er tilgængelige i datasættet over besætninger, bruges et gennemsnit af disse værdier, som fremgår af Tabel 3-4. Husdyrpriserne er opdateret i 2019 ifm. kortlægningsen i risikoområderne, jf. oversvømmelsesloven (Kystdirektoratet, 2020).

Tabel 3-4 Estimerede skadesomkostninger for husdyr (Kystdirektoratet, 2004)

Husdyr type	Skadesomkostning pr. dyr
Svin	3.079 kr.
Kvæg	11.642 kr.

I Figur 3-13 ses et eksempel på transformationen fra husdyrdata og matrikelkort til et 100 m × 100 m-grid. I punktdata ses også punkter, som ikke resulterer i data i cellerne. Dette skyldes, at disse punkter er registreret som husdyrhold, men enten har en registreret besætning på 0 dyr eller besætninger af andre typer husdyr end de to typer, der er inkluderet i denne model.

De bearbejdede datasæt indeholder nu den samlede skade ved tab af dyrene i hver 100 m × 100 m-celle, og danner grundlag for de videre udregninger.

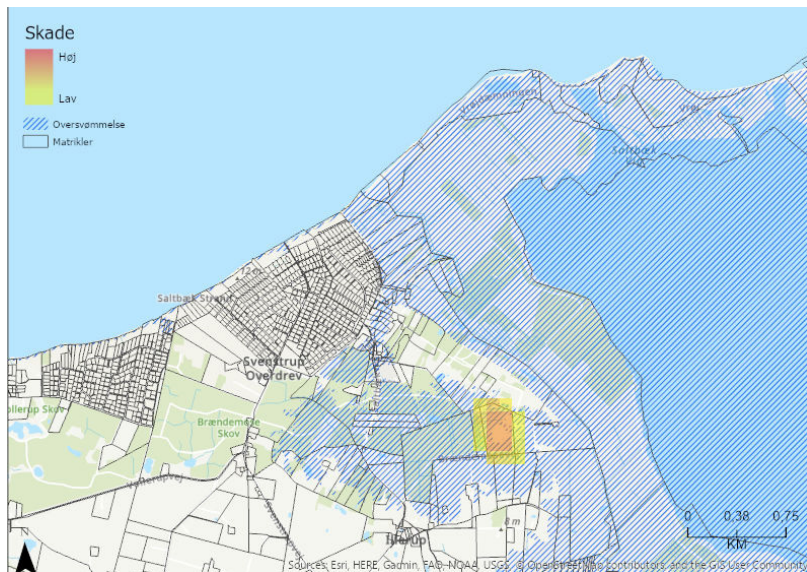


Figur 3-13 Eksempel på tranformationen af data til 100 m × 100 m grid

3.5.1 Skade ved oversvømmelse

I modellen fra Landbrugsrådgivning Syd, er der lavet nogle antagelser om, ved hvilken vandstand de to typer af husdyr forventes at gå tabt. Tabet af husdyr sker ikke nødvendigvis direkte ved drukning, men også fordi, dyret ikke er egnet til slagtning eller produktion grundet stress eller infektioner. For svin er oversvømmelses-grænsen sat til 10 cm, mens den for kvæg er sat til 80 cm. Overskrides denne tærskel, regnes der med tab af alle dyr i den pågældende celle.

Som det ses i Figur 3-14, betyder disse tærskler, at nogle besætninger godt kan blive ramt af oversvømmelse, uden at det resulterer i tab af besætningen, hvis den gennemsnitlige oversvømmelse i cellen er lavere end tærsklen.



Figur 3-14 Eksempel på skade på husdyrbesætninger i tilfælde af oversvømmelse

3.5.2 Skade ved erosion

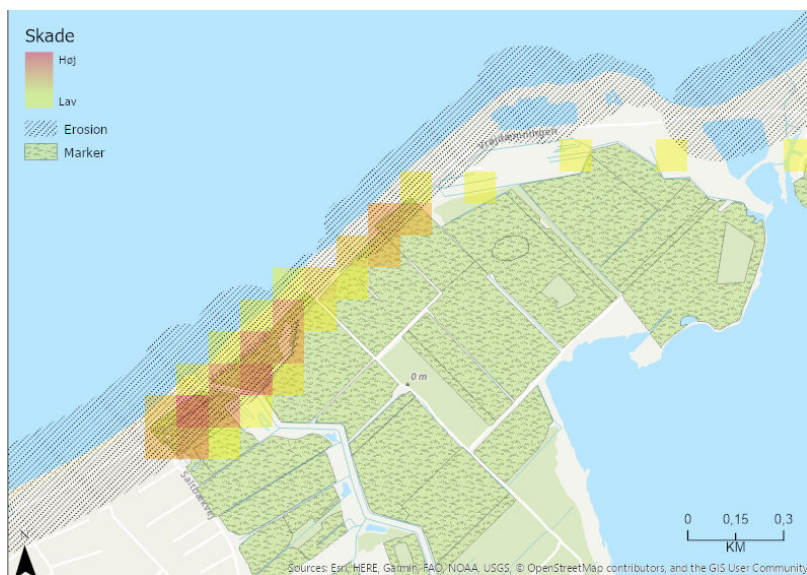
Det forventes at erosionen sker i et sådant tempo, at dyrene vil være i stand til at flytte sig andre steder hen, og at landmanden i tide vil flytte besætningen i tilfælde af større erosion. Det antages derfor, at der ikke sker skade på husdyrbesætninger i forbindelse med erosion.

3.6.2 Skade ved erosion

Hvis jorden eroderer væk og dermed forsvinder, kan der ikke længere dyrkes afgrøder på arealet. Modellen for erosion antager, at der går ét års produktion tabt, men der medtages ikke tab af indkomst i årene ud over det første år. Et års tab af afgrøder er sat til en fast pris på 5.500 kr. pr. hektar, hvilket er baseret på fra en gennemsnitlig afgrødepris på 1,0 kr. per kg, hvilket er baseret på gennemsnitsprisen for de mest producerede afgrøder i andet kvartal i 2018 ifølge Danmarks Statistik (dst.dk).

Procentdelen af det tabte landbrugsareal er i denne model direkte proportional med procentdelen af tabt landmasse i cellen. Først udregnes det, hvor stor en del af landmassen i cellen, der vil erodere, hvilket herefter ganges med det samlede areal af marker i cellen. Til sidst ganges det tabte areal med det forventede tab på 5.500 kr. pr. ha., hvilket giver den endelige skadesraster, som kan ses i Figur 3-16.

Ud over tabet af ét års indkomst, vil landmanden også opleve tabt værdi i form af eroderet areal på sin matrikel. Dette beregnes dog separat i grundværdimodellen, og medtages derfor ikke i denne model.



Figur 3-16 Eksempel på transformation fra markdata og erosionsdata til 100 m × 100 m-grid.

3.7 Total økonomisk skade

Den totale potentielle økonomiske skade er beregnet som summen af ovenstående skadesberegninger for hver hændelse hvert år. For både oversvømmelse og erosion er der foretaget en opsummering for følgende kvantificerbare skadestyper: bygningskader, virksomhedstab, skader på infrastruktur, og skader på afgrøder. Tab af husdyrsbesætning og skader på indbo indgår kun i den samlede økonomiske skade for oversvømmelse, mens grundværdi kun indgår i den samlede økonomiske skade for erosion.

Den samlede håndgribelige skade (tangible damage), D_t , for en konkret hændelse, s , udregnes således ved:

$$D_{t,s} = \sum_{j=1}^n \text{funktion} (\text{hændelse}_s, \text{sårbarhed}_j)$$

Herved opgøres de totale omkostninger ved en given hændelse på celleniveau, da der indenfor en given celle kan være flere forskellige skadestyper repræsenteret. Resultaterne opgøres i 100 m × 100 m-grid. Modellens præcision er afhængig af skadesmodellernes nøjagtighed.

3.8 Uhåndgribelige sårbarheder

Foruden de håndgribelige sårbarheder findes der en lang række af uhåndgribelige sårbarheder. Udfordringen med de uhåndgribelige sårbarheder i en risikokortlægning er, at de uhåndgribelige sårbarheder ikke kan kvantificeres. På den måde kan de økonomiske konsekvenser af en skade ikke udregnes på samme vis som det er tilfældet ved de håndgribelige sårbarheder. I stedet vises de uhåndgribelige sårbarheder på risikokortene i webGIS sammen med faren og risikoen.

I Kystplanlægger præsenteres flere typer uhåndgribelige sårbarheder. Med undtagelse af "Befolkning" vises alle uhåndgribelige sårbarheder som punkt- eller arealdata ud fra, hvor sårbarheden er lokaliseret. Alle data kommer fra nationale datasæt, og er kategoriseret til præsentation i Kystplanlægger. Følgende uhåndgribelige sårbarheder præsenteres i Kystplanlægger:

- *Befolkning* findes i celler i 100 m x 100 m-grid og viser, hvor mange mennesker, der bor i hver celle.
- *Særligt sårbare punkter* dækker over fem forskellige kategorier af dag- og døgninstitutioner, skoler og sundhedsfaciliteter som hospices, lægehuse, fødeklinikker m.m.
- *Beredskabspunkter* viser placeringen af beredskabsstationer, hospitaler og politistationer.
- *Forsyningsnetværket* viser placeringen af kraftvarmeværker, rensningsanlæg og vandforsyninger.
- *Potentielt forurenende virksomheder* består af Miljøstyrelsens klassificerede visning af potentielt forurenende virksomheder.
- *Kirker og fredede bygninger* viser placeringen af kirker og fredede bygninger.

Yderligere viser laget *Natur* placeringen af Natura2000-områder, habitatområder og områder beskyttet efter naturbeskyttelsesloven §3. Dertil vises strandbeskyttelseslinjen og klitfredningslinjen.

4. Risikoberegning

Risikoen ved både oversvømmelse og erosion beregnes ved at multiplicere sandsynligheden for de enkelte hændelser med de totale økonomiske skadesbeløb pr. celle for hvert scenarie. De økonomiske omkostninger for hver af de seks mulige hændelser i hvert af de tre tidsperspektiver er beregnet i sårbarhedsanalyserne, som beskrevet i Kapitel 3, hvor den samlede økonomiske skade for hver hændelse betegnes $D_{t,s}$.

Den kvantitative eller håndgribelige risiko beregnes ved at multiplicere sandsynligheden for hændelsen og de totale økonomiske skadesbeløb for hvert hændelsesscenarie. Dette betyder, at risikoen beregnes ved at vægte skaden ud fra hændelsens statistiske hyppighed. Risikoen præsenteres som et beløb pr. år (kr./år) og benævnes "forventet årlig skade" (FÅS). Derved er den håndgribelige risiko (tangible risk), R_t , for hændelsen s således:

$$R_{t,s} = P_s \times D_{t,s}$$

Hvor P_s er sandsynligheden for hændelsen s.

Den samlede håndgribelige risiko for en hændelse i en celle område kan således bestemmes, hvis der er lavet flere beregninger af risikoen for forskellige konkrete hændelsesscenarier:

$$R_t = \sum_{s=1}^m R_{t,s} = \sum_{s=1}^m D_{t,s} \times P_s$$

I Kystplanlægger er oversvømmelses- og erosionsfaren og de potentielle økonomiske konsekvenser bestemt for seks hændelser med tre tidshorisonter. Sandsynligheden for oversvømmelseshændelserne og de akutte erosionshændelser svarer til sandsynligheden for højvandshændelserne både i det nutidige og de fremtidige scenarier. Disse sandsynligheder fremgår af Tabel 4-1. Desuden er der for erosion beregnet den forventede kroniske erosion frem mod år 2070 og 2120. Sandsynligheden for at denne forekommer i er risikoberegningerne sat til 1.

Tabel 4-1 De modellerede hændelser til hvert af årene 2020, 2070 og 2120 og deres årlige sandsynlighed.

Returperiode for statistiske hændelse	Årlig sandsynlig for at hændelsen forekommer
50	0,02
100	0,01
500	0,002
1.000	0,001
5.000	0,0002
10.000	0,0001

Resultaterne fra risikoberegningerne kan sammenlignes for to forskellige kystområder, når den samme hændelse lægges til grund. Endvidere kan risikoberegningerne bruges til at følge udviklingen af risikoen over tid; f.eks. med 50 års mellemrum. Det er dog vigtigt, at grundlaget for beregning af hændelsen er det samme.

I mange tilfælde er det, udover at kende den samlede oversvømmelsesrisiko, også vigtigt at kende den arealmæssige fordeling af risikoen indenfor området. Oversvømmelses- og erosionsrisikoen præsenteres derfor i form af risikokort, som giver et overblik over, hvordan risikoen varierer inden for et område.

5. Inddeling af landet i strækingsniveauer

Kystdirektoratets fastlæggelse af strategier og vejledende løsningsforslag tager udgangspunkt i en inddeling af Danmarks samlede kyst i tre forskellige niveauer: hovedstrækning, delstrækning og strategistrækning. Der er et behov for denne underopdeling af Danmarks meget varierende kystline i mindre enheder for at give et bedre overblik over kysten, de informationer og den vejledning, som Kystplanlægger præsenterer for enkelte kyststrækninger. Inddeling af de tre strækingsniveauer tager ikke hensyn til administrative grænser, som f.eks. kommunegrænser.

5.1 Hovedstrækninger

Første niveau er en overordnet inddeling af landet i hovedstrækninger, som er det paraply-niveau, hvorunder de mere detaljerede informationer og oplysninger samles. Inddeling i hovedstrækninger er foretaget ud fra landemærker, kystlandskaber eller sammenhængende regionale kystområder. Eksempler på dette er Grenen, Vadehavet og Lolland-Falster. Den nøjagtige grænse på hovedstrækningen er afstemt med afgrænsningen af delstrækninger og strategistrækninger.

Danmarks mere end 7.300 km kystlinje er inddelt i 15 hovedstrækninger, som er opført med tilhørende kommuner i Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Oversigt over hovedstrækninger og berørte kystkommuner.

Nr.	Navn på hovedstrækning	Strækning	Berørte kystkommuner
J1	Vadehavet	Fra den tyske grænse til Blåvandshuk, inkl. alle vadehavsøer.	Esbjerg, Fanø, Tønder, Varde.
J2	Vestkysten	Fra Blåvandshuk til Lodbjerg Fyr, inkl. Ringkøbing Fjord og Nisum Fjord.	Holstebro, Lemvig, Ringkøbing-Skjern, Thisted, Varde.
J3	Nordjylland, Vest	Fra Lodbjerg Fyr til Grenen (Skagen).	Frederikshavn, Hjørring, Jammerbugt, Thisted.
J4	Limfjord	Hele Limfjorden - fra Thyborøn til Hals, inkl. alle Limfjordsøer.	Holstebro, Jammerbugt, Lemvig, Morsø, Struer, Skive, Thisted, Viborg, Vesthimmerland, Aalborg.
J5	Nordjylland, Øst	Fra Grenen (Skagen) til midt på Djursland, inkl. Anholt og Læsø.	Brønderslev, Frederikshavn, Mariagerfjord, Norddjurs, Randers, Syddjurs, Aalborg.
J6	Midtjylland, Øst	Fra midt på Djursland til motorvejsbroen over Lillebælt, inkl. Samsø og andre øer.	Fredericia, Hedensted, Horsens, Odder, Samsø, Syddjurs, Vejle, Aarhus.
J7	Syddjylland, Øst	Fra Motorvejsbroen over Lillebælt til den tyske grænse, inkl. alle øer.	Fredericia, Haderslev, Kolding, Sønderborg, Aabenraa.
F1	Fyn, Nord	Fra Motorvejsbroen over Lillebælt til Storebæltsbroen, inkl. Odense Fjord.	Kerteminde, Middelfart, Nordfyn, Nyborg, Odense.
F2	Fyn, Syd	Fra Storebæltsbroen til motorvejsbroen over Lillebælt, inkl. Ærø, Langeland og øvrige sydfynske øer.	Assens, Faaborg-Midtfyn, Langeland, Middelfart, Nyborg, Svendborg, Ærø.
S1	Sjælland, Vest	Fra Storebæltsbroen til Sjællands Odde.	Kalundborg, Odsherred, Slagelse.
S2	Sjælland, Nord	Fra Sjællands Odde til Kronborg.	Frederikssund, Gribskov, Halsnæs, Helsingør, Holbæk, Lejre, Odsherred, Roskilde.

S3	Hovedstad & Køge Bugt	Fra Kronborg til Stevns Klint, inkl. Peberholm.	Brøndby, Dragør, Fredensborg, Gentofte, Greve, Helsingør, Hvidovre, Hørsholm, Ishøj, Københavns, Køge, Lyngby-Taarbæk, Rudersdal, Solrød, Stevns, Tårnby, Vallensbæk.
S4	Sjælland, Syd	Fra Stevns Klint til Storbæltsbroen, inkl. alle øer.	Faxe, Næstved, Slagelse, Stevns, Vordingborg.
S5	Lolland, Falster & Møn	Lolland, Falster og alle omkringliggende øer.	Guldborgsund, Lolland, Vordingborg.
B1	Bornholm	Hele øen.	Bornholm

5.1.1 Beskrivelse af hovedstrækninger

På Kystplanlæggeres hjemmesiden findes en beskrivelse af hver hovedstrækningen. Beskrivelserne er lavet med udgangspunkt i flere datakilder. De geografiske afgrænsninger af strækningerne er benævnt med stednavne fra SDFEs kort Stednavne (SDFE, 2020b), hvorfra også navnene på større vandområder er hentet. Disse geografiske stednavne er, så vidt det har været muligt og hensigtsmæssigt, genanvendt i beskrivelsen af de del- og strategistrækninger, som afgrænses samme sted. Navnene på kommunerne er hentet fra samme datalag. GEUS' jordartskort (GEUS, 2020a) samt Kystdirektoratets Kystatlas (Kystdirektoratet, 2020) er anvendt som udgangspunkt for at beskrive kysttype og geologi på hovedstrækningen.

De overordnede betragtninger vedrørende erosions- og oversvømmelsesfare er vurderet ud fra Kystatlas, Havvand på land (Klimatilpasning, 2020) og øvrige data og målinger, som Kystdirektoratet ligger inde med. Herudover er historiske højvandshændelser i området beskrevet ved hjælp af Kystdirektoratets Højvandsstatistikker 2017 (Kystdirektoratet, 2018), den tekniske baggrundsrapport fra oversvømmelsesdirektivets første planperiode (Kystdirektoratet, 2011) og vandstandsmålinger. Fælles indvindingsområder nær hovedstrækningerne er hentet fra datagrundlaget i MiljøGIS (Miljøstyrelsen, 2020).

5.2 Delstrækninger

En hovedstrækning underopdeles i delstrækninger på baggrund af de kysttekniske (hydro-morfologiske) forhold, der kendetegner området. De kysttekniske forhold omfatter geomorfologiske kystprocesser og hydrauliske forhold, der varierer, alt efter om der er tale om eksempelvis åbent hav, fjord, sund eller bælt.

Geomorfologiske processer er afhængige af, om det er en åben og lige kyststrækning med langsgående sedimenttransport, eller f.eks. en bugt, som danner en sedimentcelle. Hydrauliske forhold omfatter f.eks. opstuvning af havvand i en fjord under kraftig pålandsvind eller længerevarende vandstandsændringer (seiching) i bælt og sund- områder. Endelig er der taget udgangspunkt i kystgeologien, f.eks. marine forlandsdannelser og øer.

Hver hovedstrækningerne er inddelt i et antal delstrækninger, der varierer fra to til 20 delstrækninger.

5.2.1 Beskrivelse af delstrækninger

Delstrækningerne er ligesom hovedstrækningerne beskrevet på www.kystplanlægger.dk. Beskrivelserne er udarbejdet på baggrund af flere datakilder. Foruden kilderne nævnt i Afsnit 5.1.1 for hovedstrækninger, er navne på byer og sommerhusområder langs delstrækningen navngivet ud fra KORT10-data-laget By-polygoner (SDFE, 2020a). Desuden nævnes de Natura2000-områder og §3-beskyttede naturtyper, som ligger inden for strækningen eller i umiddelbar nærhed af strækningen. Disse data er hentet fra Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen, 2020).

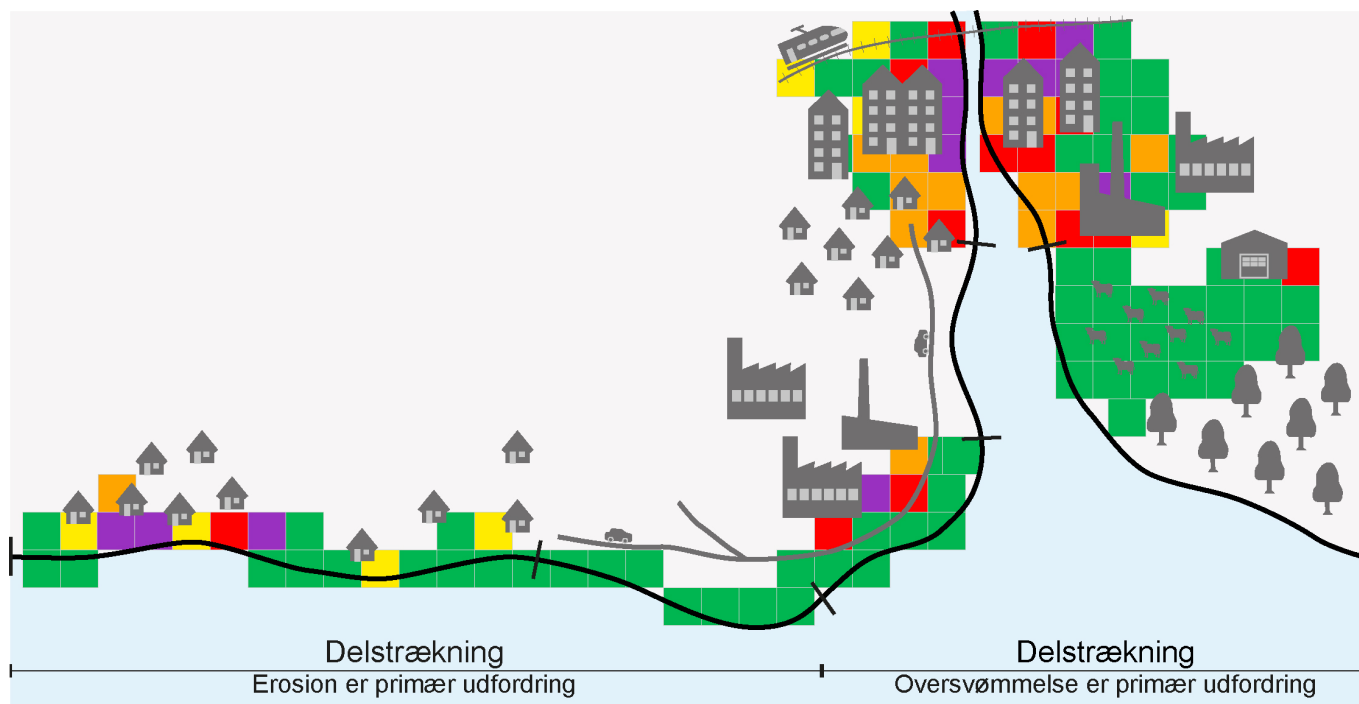
5.3 Strategistrækninger

Inddeling i strategistrækninger bygger hovedsageligt på risikobilledet for kysterosion og oversvømmelse langs kysten. Kystdirektoratets nyeste nationale analyse af oversvømmelses- og erosionsrisikoen, som er beskrevet i rapportens Del 2, danner grundlaget for disse risikobilleder.

Risikoen defineres som faren for kysterosion eller oversvømmelse kombineret med den sårbarhed, der findes på strækningen. Risikoen kan ændre sig på to måder: Enten ved at faren for oversvømmelse og/eller kysterosion ændres, eller ved at sårbarheden i området ændres.

Risikobilledet er den overordnede fortolkning af risikoen i et område. Selvom risikoen i de enkelte celler kan variere, er der oftest et visuelt udtryk af f.eks. en generelt høj risiko sammenlignet med lav risiko, eller generelt kystnær risiko sammenlignet med meget landværtsgående risiko, som vist i Figur 5-2.

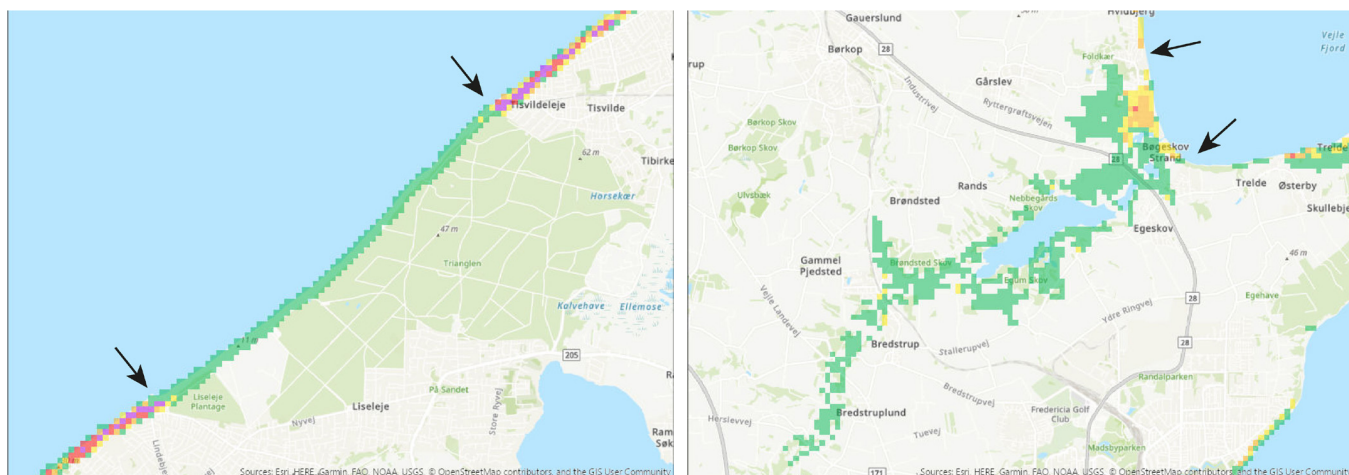
Inddeling og fastlæggelse af strategistrækninger tager udgangspunkt i ændringer af risikobilledet langs kysten. Sådanne ændringer hænger ofte sammen med f.eks. et skift fra by til land, åbent land til sommerhusområde, samt lavtliggende områder. Det er disse markante skift i risikobilledet langs de danske kyster, der er den primære faktor til inddelingen af strategistrækningerne, som illustreret i Figur 5-1.



Figur 5-1 Principskitse af hvordan del- og strategistrækningerne inddeler kysten afhængigt af henholdsvis kysttekniske forhold og risikobilledet.

Konkret er ændringen i risikobilledet nærmere defineret ved følgende karakteristikker:

- Tydeligt skift af risikoen, f.eks. ved at cellerne skifter fra orange, rød og lilla til gul og grøn, som vist i Figur 5-2 venstre.
- Udbredelsen af oversvømmelse, f.eks. ved at risikoen for oversvømmelse strækker sig langt ind i land som følge af et fladt og lavtliggende bagland.



Figur 5-2 Eksempler på risikobilleder fra risikoanalyserne for oversvømmelse og erosion. Til venstre ses tydeligt, hvordan risikoen kan skifte mellem høj til lav over en strækning. Til højre ses hvordan risikoen strækker sig langt ind i land på en strækning.

Grundet de både geografiske, kysttekniske og topografiske varierende forhold i kystzonen, er der situationer, hvor andre forhold er afgørende for afgrænsningen af strategistrækningerne. Dette kan eksempelvis være: Lokale kysttekniske forhold, eksisterende dæmninger, ønsket om at undgå for mange u hensigtsmæssigt små strategistrækninger i åbent land, samt ønsket om at undgå at dele byområder.

I inddelingen af strategistrækningerne ses både på risikobilledet for oversvømmelse og erosion. Er den ene udfordring væsentlig mere betydende for strækningen end den anden, betegnes dette som den primære udfordring og er den, der ligger til grund for fastlæggelse af strækningen.

5.3.1 Beskrivelse af strategistrækninger

Ligesom for hoved- og delstrækningerne, er der udarbejdet en kort beskrivelse af alle strategistrækningerne. Beskrivelserne er baseret på flere forskellige datakilder. Foruden kilderne nævnt i afsnit 5.1.1 og 5.2.1 anvendes informationer om skove og naturområder på strækningerne, som er beskrevet ud fra ortofotos og topografiske kort (SDFE, 2020a). Desuden er eksisterende kystbeskyttelses anlæg langs strækningen hentet fra Kystdirektoratets database, som stemmer overens med de anlæg der fremgår af Kystatlas (Kystdirektoratet, 2020). Det skal bemærkes, at der kan være anlæg, der ikke fremgår af databasen og som derfor ikke indgår i beskrivelsen.

Desuden nævnes diverse uhåndgribelige sårbarheder på strækningerne, som ikke indgår i risikoberegningerne. Beredskabspunkter i form af hospitaler, politi og beredskabsstationer er modtaget fra Beredskabsstyrelsen og SDFE. Forsyningsnetværket, som omfatter vandforsyning, kraftvarmeværker, transformatorstationer og rensningsanlæg er tilføjset fra Jupiter-databasen hos GEUS (GEUS, 2020b). Særlige sårbare punkter som f.eks. dag- og døgninstitutioner er trukket fra BBR registret. Endelig er kirker og fredede bygninger beskrevet på baggrund af data fra Slots- og Kulturstyrelsen (Slots- og Kulturstyrelsen, 2020).

6. Strategier

Ud fra risikoniveauet på den enkelte strategistrækning, foreslås i Kystplanlægger en strategi for risiko-håndtering på strækningen. Formålet med at foreslå en strategi er at sætte den overordnede retning for udviklingen af risikoniveauet på strækningen med forskellige tidshorisonter. Hvordan dette implementeres, afhænger af de konkrete forhold på strækningen og beskrives i Kapitel O. I det følgende forklares, hvordan de vejledende strategier i Kystplanlægger defineres og efterfølgende fastlægges for de konkrete strategistrækninger.

6.1 Definition af strategier til risikohåndtering

Kystdirektoratet har valgt at definere vejledende strategier til risikohåndtering ud fra grundlæggende principper om, at de skal være enkle og overskuelige. Derfor er antallet af strategier holdt begrænset, så anbefalingerne let kan forstås, anvendes og formidles, eksempelvis i forbindelse med kommunale fællesprojekter eller udarbejdelse af kystplaner.

På den baggrund tages der helt overordnet udgangspunkt i, hvorvidt risikoen på en strækning bør håndteres aktivt eller ej. Hvis risikoniveauet ikke kan betragtes som acceptabelt, foreslås en strategi, der kan reducere risikoen til et niveau, som anses for acceptabelt. Hvis risikoen er acceptabel, foreslås en strategi, hvor der ikke udføres risikoreducerende tiltag. På sigt betyder dette, at risikoniveauet stiger enten som følge af klimaændringer, udvikling i sårbarheden, eller en kombination af begge.

Dette resulterer i de to vejledende strategier; Reduktion af risikoniveauet og Accept af, at risikoniveauet stiger.

Accept af, at risikoniveauet stiger.

Strategien er at acceptere en stigning i risikoniveauet i området, som tiden går.

Der implementeres ingen beskyttende tiltag i form af ny kystbeskyttelse ved et forøget risikoniveau. Eksisterende kystbeskyttelse vedligeholdes, men der foretages ingen forstærkning eller udbygning. Accepten af en stigning i risikoniveauet forudsætter tilpasning gennem planlægning eller parathed i lokalsamfundet. Der skal være opmærksomhed på det stigende risikoniveau, hvis sårbarheden stiger.

Reduktion af risikoniveauet

Strategien er at reducere risikoen til et niveau, som kan betragtes som acceptabelt. Der foreslås som udgangspunkt beskyttende tiltag, der kan nedsætte risikoniveauet gennem reduktion af faren.

De beskyttende tiltag kan understøttes af forebyggende tiltag, planlægning og parathed for at opnå en høj robusthed på strækningen.

6.2 Metode til valg af strategi for en kyststrækning

For hver strategistrækning er der fastlagt en strategi på kort, mellemlangt og langt sigt. Det er risikoanalyserne for henholdsvis erosion og oversvømmelse, der danner grundlaget for valg af strategi. Det vil sige, at det er den konkrete beregning af oversvømmelses- og erosionsrisikoen på den enkelte strækning, som er afgørende for, om strategien for den pågældende strækning bliver Accept eller Reduktion.

Der er udviklet en metode til at komme fra risikoanalyserne til en konkret strategi for en strækning, ved at der er fastlagt et niveau for, hvornår risikoen vurderes at være så høj, at den bør håndteres. Desuden kan metoden håndtere de variationer, der er i risikoen langs den geografisk og topografisk diverse kyststrækning, samt de usikkerheder, der ligger i risikoberegningerne.

Metoden er fundet gennem tre skridt, som er beskrevet i de kommende afsnit:

- a) Identifikation af tærskelniveau for reduktion
- b) Vægtning af celler til håndtering af usikkerheder
- c) Beregning af risikoniveau på strategistrækningen

Efterfølgende belyses, hvordan metoden anvendes til at bestemme strategien og nogle af udfordringerne ved den valgte tilgang.

6.2.1 Tærskel for fastlæggelse af strategi

For at fastlægge den vejledende strategi til risikohåndtering for en strækning er der lagt en tærskel for, hvornår der foreslås Accept eller Reduktion af risikoen.

Som første skridt i fastlæggelse af denne tærskel, er der blevet udvalgt en række strategistrækninger rundt om i landet, der repræsenterer forskellige kysttekniske og topografiske forhold og varierende risikobilleder for oversvømmelse og kysterosion. På baggrund af det risikoniveau, der kan beregnes på disse strækninger, er det Kystdirektoratets faglige vurdering, at oversvømmelsesrisikoen eller erosionsrisikoen bør reduceres, når risikoniveauet på disse strækninger når op på 1,5 mio. kr. pr. år. En risiko på 1,5 mio. kr. pr. år betyder, at den forventede årlige skade er 1,5 mio. kr., beregnet på baggrund af flere statistiske hændelser og skade eller tabe forårsaget af disse hændelser.

Denne faglige vurdering af, hvornår risikoen for enten oversvømmelse eller kysterosion når et niveau, hvor den bør reduceres på de udvalgte strækninger, overføres derefter til samtlige strategistrækninger. Det vil sige, at tærsklen på 1,5 mio. kr. pr. år anvendes som kriteriet for, om strategien Accept eller Reduktion foreslås på en given strategistrækning.

Metoden, der ligger til grund for risikoberegningerne og risikokortlægningen for oversvømmelse og erosion, er beskrevet i rapportens forrige kapitler. Heraf fremgår det bl.a., at beregningerne bygger på nationale datasæt og modeller, som inkluderer flere usikkerheder, herunder kan oversvømmelsesudbredelsen overestimeres for især store lavtliggende kystområder. Desuden samles virksomhedsskader i ét punkt for virksomhedens hovedadresse, hvilket potentielt overestimerer skaden i dette ene punkt og underestimerer skaden på virksomhedens øvrige adresser.

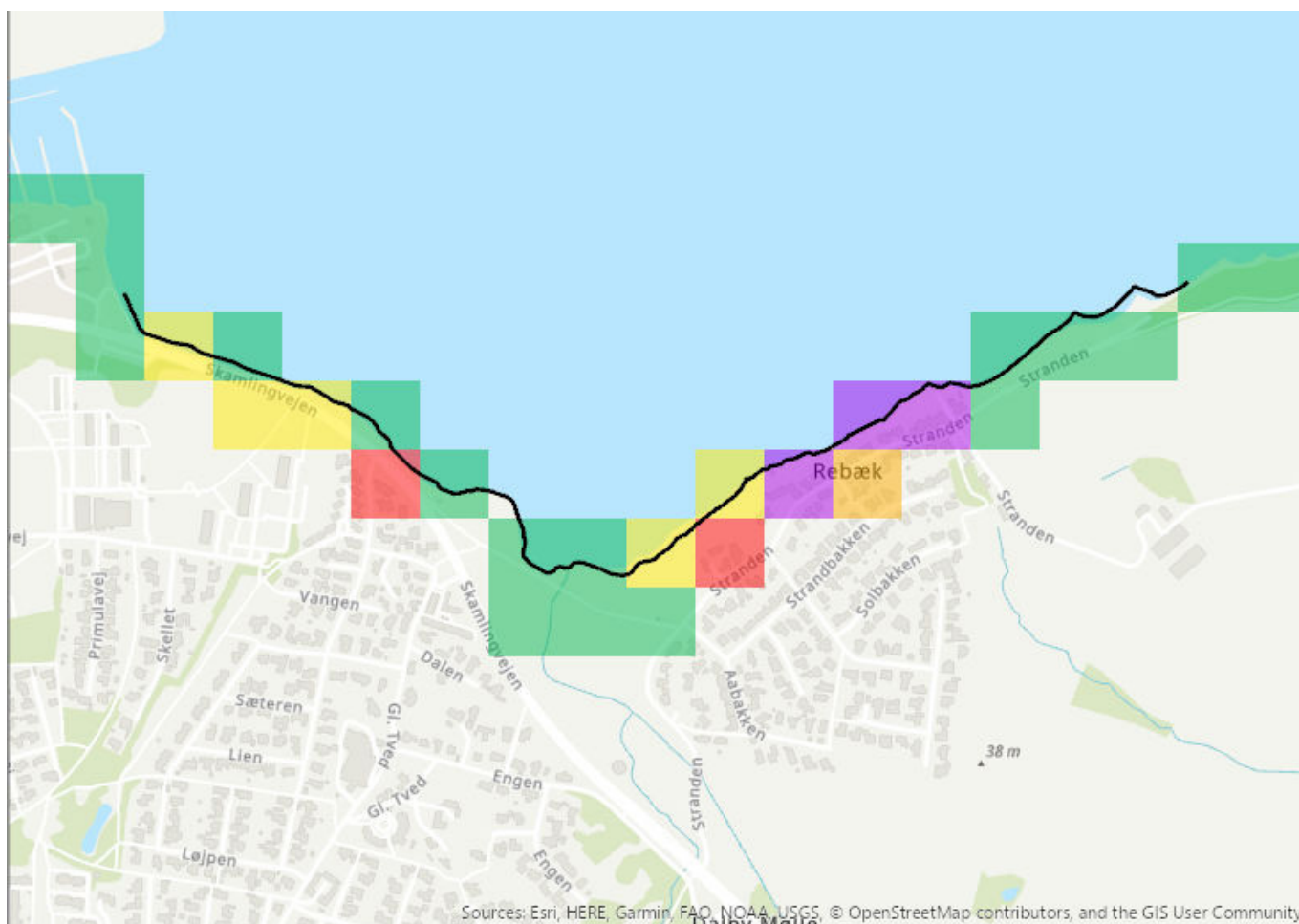
Resultatet af en risikoberegning er en risikoværdi i den enkelte celle i et 100 m x 100 m grid. I kortlægningen klassificeres risikoværdierne. Risikoklassificeringen er en statistisk inddeling af risikoværdierne, som er udarbejdet på baggrund af alle celler for hele landet. I Kystplanlægger inddeles risikoværdierne i fem klasser, som vist i Tabel 6-1.

Tabel 6-1 Oversigt over risikoklassificeringen

Risikoværdi	Risikoklasse	Farve
> 500.000 kr. pr. år	Meget høj risiko	Purpura
240.000 - 500.000 kr. pr. år	Høj risiko	Rød
100.000 - 240.000 kr. pr. år	Mellem risiko	Orange
25.000 - 100.000 kr. pr. år	Lav risiko	Gul
10 - 25.000 kr. pr. år	Meget lav risiko	Grøn

Ved at anvende denne risikoklassificering i det videre arbejde med fastlæggelse af strategier for strategistrækningerne, imødegås de usikkerheder, der ligger i risikoberegningen, fordi der ikke skal arbejdes med de enkelte risikoværdier og de usikkerheder, der er forbundet med disse værdier.

I risikoklassificeringen svarer en celle med meget høj risiko til en risikoværdi på minimum 500.000 kr. pr. år. Det vil sige, at tærsklen for reduktion af risikoniveauet nås, når der er tre celler med meget høj risiko på en strategistrækning. Et eksempel på dette fremgår af Figur 6-1.



Figur 6-1 Eksempel på strækning, hvor Kystdirektoratet har vurderet, at risikoen bør reduceres.

6.2.2 Vægtning af celler

På samme måde som tærskelniveauet på 1,5 mio. kr. pr. år kan opnås ved minimum tre celler med meget høj risiko, kan den opnås ved et antal celler med høj risiko eller mellem risiko. Da risikoen på en strækning næsten altid er en kombination af flere celler med forskellige risikoklasser, giver det ikke mening at tælle antal celler i hver risikoklasse. I stedet tildeles cellerne en vægtet værdi, der repræsenterer risikoklassen. Derved kan det beregnes om tærskelniveauet er opnået ved at opsummere de vægtede risikoceller for hver strækning.

Da det er blevet bestemt, at tre celler i den højeste risikoklasse, meget høj risiko, er tærskelniveauet, vægtes de øvrige celler i forhold til denne risikoklasse.

I denne relative vægtning sættes en celle med meget høj risiko til en værdi på 1. Tilsvarende får de øvrige celler en vægtet værdi svarende til forholdet mellem den nedre risikoværdi for den enkelte klasse og 500.000 kr. pr. år, som er minimumsværdien for en celle med meget høj risiko. Dette er illustreret i Tabel 6-2. På den vis arbejdes videre med cellernes klasse og ikke med den konkrete risikoværdi i den enkelte celle.

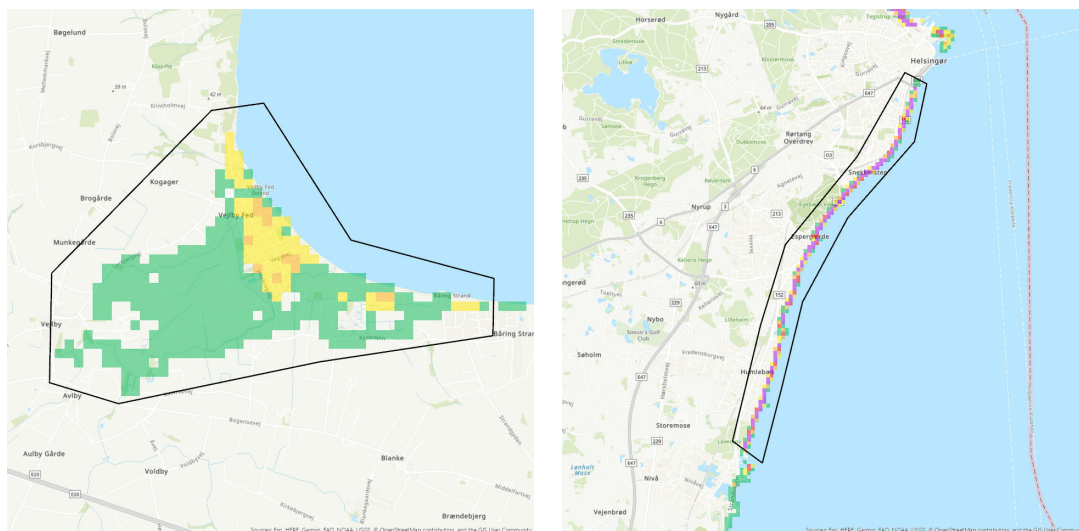
Tabel 6-2 Overblik over cellerne, risikoværdierne, den vægtede værdi og beregningen, der ligger til grund for vægtningen.

Risikoværdi	Vægtet risikoværdi	Beregning	Risikoklasse	Farve
> 500.000 kr. pr. år	1	$500.000 \text{ kr./år} \div 500.000 \text{ kr./år}$	Meget høj risiko	
240.000 - 500.000 kr. pr. år	0,48	$240.000 \text{ kr./år} \div 500.000 \text{ kr./år}$	Høj risiko	
100.000 - 240.000 kr. pr. år	0,2	$100.000 \text{ kr./år} \div 500.000 \text{ kr./år}$	Mellem risiko	
25.000 - 100.000 kr. pr. år	0,05	$25.000 \text{ kr./år} \div 500.000 \text{ kr./år}$	Lav risiko	
10 - 25.000 kr. pr. år	0,00002	$10 \text{ kr./år} \div 500.000 \text{ kr./år}$	Meget lav risiko	

6.2.3 Beregning af vægtet risikoniveau for strategistrækninger

På baggrund af den vægtede risiko for oversvømmelse og erosion, der er beregnet for hele landet, kan risikoniveauet for strategistrækningerne efterfølgende beregnes.

Dette gøres ved at identificere de celler med risiko for oversvømmelse og erosion, som er knyttet til den konkrete strategistrækning. Hermed menes oversvømmelsesrisikoen langs en strategistrækning, potentielt langt ind i land, og den erosionsrisiko, der er knyttet til og forekommer på strategistrækning. Disse celler afgrænses med et polygon, så det samlede vægtede risikoniveau for dette område for henholdsvis oversvømmelse og erosion kan udregnes. I Figur 6 2 er vist eksempler på, hvordan områder afgrænses.



Figur 6-2 Eksempler på afgrænsning af områder for oversvømmelse (til venstre) og erosion (til højre) til beregning af risikoniveau for en strategistrækning.

6.2.4 Identifikation af strategi og opmærksomhedsniveau

Når risikoniveauet for en strækning er beregnet for oversvømmelse og erosion med de tre tidshorisonter, kan strækningen tildeles strategier. Er det samlede risikoniveau på strækningen for enten oversvømmelse eller erosion tre eller højere, anbefales strategien, Reduktion, på strækningen. Er risikoniveauet derimod lavere end tre for begge udfordringer, anbefales strategien, Accept, på strækningen.

Ved et risikoniveau mellem to og tre opfordres der til øget opmærksomhed ud fra et forsigtighedsprincip. En fast tærskel mellem to meget forskellige strategier kan synes hård, da realiteten er, at risikoen ændrer sig løbende og forhold, som Kystdirektoratet ikke har inddraget i arbejdet med Kystplanlægger, kan spille

ind. Desuden bør man fortsat være bevidst om, at der er en fare for oversvømmelse eller erosion, selv om risikoniveauet ligger rundt om tærskelniveauet. I planlægningen kan det være væsentligt at tage højde for, om en evt. byudvikling på sigt vil kræve omfattende kystbeskyttelsesforanstaltninger. Dette særligt i områder, hvor risikoniveauet er tæt på tærsklen. Derfor er der også defineret et opmærksomhedsniveau.

Opmærksomhedsniveauet er bestemt dér, hvor den samlede vægtede risikoværdi overskrider to, men fortsat er lavere end tre. Det vil sige, hvor risikoniveauet er højt nok til, at kommunerne bør være særligt opmærksomme på strategistrækningen og udviklingen i baglandet, men ikke højt nok, til at der bør igangsættes decideret risikoreducerende tiltag. I disse tilfælde, foreslår Kystdirektoratet fortsat strategien Accept, men anbefaler samtidig at udviklingen af risikoen i området overvåges, samt at der eventuelt igangsættes planlægningstiltag, for at hindre at risikoen stiger.

6.2.5 Udfordringer med beregning af risikoniveau på strategistrækninger

Eksemplerne vist i Figur 6.2 repræsenterer forholdene i store dele af landet. Der er dog også områder, hvor forholdene ikke er helt så simple og lige til og hvor metoden til beregning af tærskelværdi for strategistrækningerne medfører nogle udfordringer.

Geografisk store områder

Det kan eksempelvis være områder, hvor oversvømmelsen strækker sig langt ind i land, så en strategistrækning dækker et meget stort areal, som vist i Figur 6.3. Den samlede vægtede risiko for dette område kan lettere nærme sig tærskelniveauet, selv om risikoen overvejende er meget lav til lav, udelukkende fordi området har en stor geografisk udbredelse.

I sådanne tilfælde arbejdes videre med strategien, Reduktion, og udvælgelsen af løsningsforslag tilpasses det konkrete område.



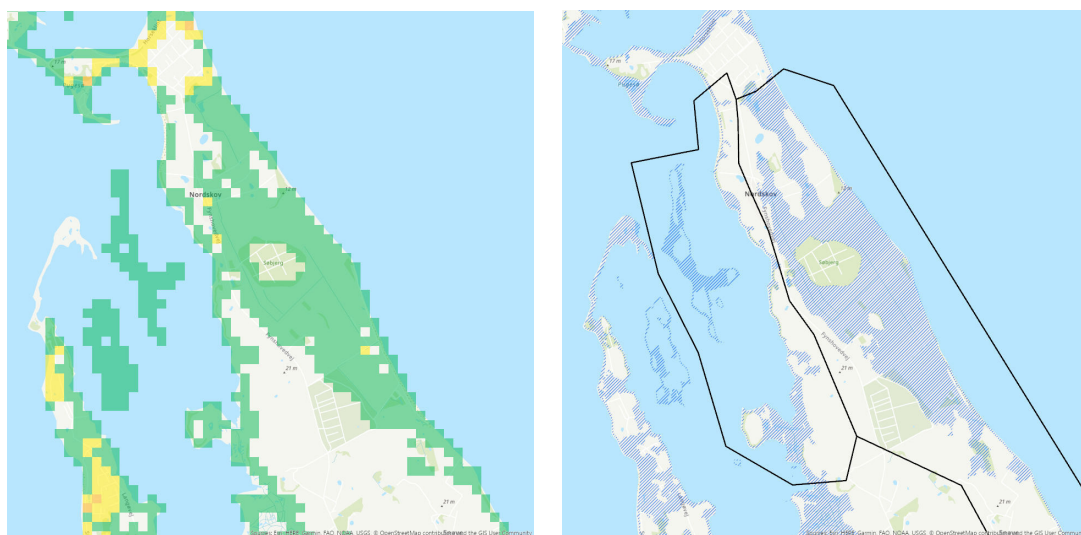
Figur 6-3 Eksempel på en strategistrækning med en meget stor geografisk udbredelse.

Områder oversvømmes fra flere sider

I nogle tilfælde kan risikoen synes at være sammenhængende mellem to strategistrækninger på tværs af land på hver side af en tange eller smalt landområde. Dette kan både ske ved erosion og oversvømmelse.

I tilfældene med oversvømmelse, skyldes det enten at landområdet generelt er lavtliggende sammenholdt med de ekstreme vandstande, op til en 10.000 års hændelse, der bruges i risikoanalyserne. Derved kan oversvømmelserne nå langt ind i land. Årsagen kan dog også være at der arbejdes i 100-m grid, som gør, at to oversvømmelsesområder synes at hænge sammen, selvom de måske er opdelt af højtliggende terræn indimellem.

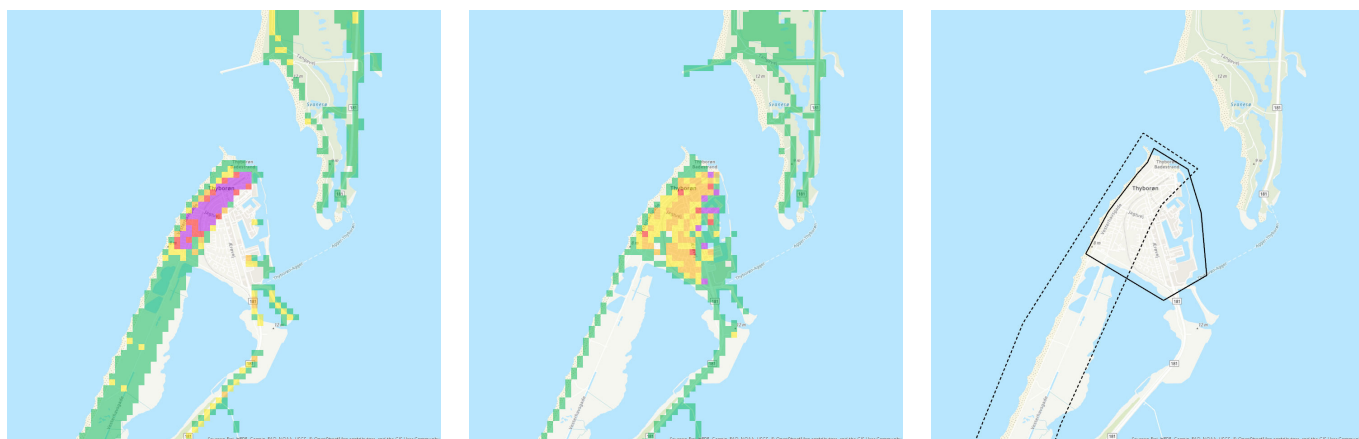
I disse tilfælde afgrænses områderne, så de følger det høje niveau i terrænet, som vil repræsentere afgrænsningen mellem oversvømmelserne fra de to strategistrækninger. Dette er illustreret i Figur 6-4.



Figur 6-4 Eksempel på hvordan oversvømmelsesrisikoen kan synes sammenhængende i 100-m grid (til venstre), selvom den egentlig er opdelt i oversvømmelse fra henholdsvis vest og øst (højre). Områderne udarbejdes, så de følger oversvømmelses-udbredelsen.

Risiko fra to separate strategistrækninger overlapper

I tilfældet hvor erosionen fra den ene side af en tange overlapper oversvømmelsen fra den anden side af tangen, tilpasses områdefrænsningen, så risikoen beregnes for den side af tangen, hvor faren kommer fra. Konkret gøres dette ved at lave flere områdefrænsninger, som bruges til at udregne risikoniveauet for hver fare individuelt. Derved regnes kun erosionen fra fjordsiden med i risikoniveauet for strategistrækningen på fjordsiden. Dette er illustreret i Figur 6-5.



Figur 6-5 Eksempel på problematikken på en tange. Til venstre ses erosionsrisikoen fra vest, i midten ses oversvømmelsesrisikoen fra øst, til højre ses områdefrænsningen til beregning af risikoniveauet.

7. Vejledende løsningsforslag

Når strategien er fastlagt som, Accept, foreslås der ikke beskyttende tiltag. Er strategien fastlagt som, Reduktion, er der vejledende forslag til, hvordan risikoen kan reduceres på den konkrete strækning. I dette kapitel beskrives de løsningsforslag, som Kystdirektoratet arbejder med og foreslår til kystbeskyttelse.

Når risikoen for oversvømmelse eller erosion skal reduceres eller forebygges, er der en bred vifte af løsningsmuligheder. Disse løsningsmuligheder inddeles i tre kategorier:

- Forebyggende tiltag
- Beskyttende tiltag
- Parathedsopbyggende tiltag

Kystplanlægger foreslår kun vejledende helhedsorienterede løsningsforslag inden for kategorien Beskyttelse, men det anbefales, at man forholder sig til alle tre kategorier af tiltag, når risikoen for oversvømmelse eller erosion skal reduceres eller forebygges, da der derigennem kan findes den bedste løsning til det specifikke område. Dette kræver indgående lokalkendskab og en kontinuerlig indsats i kommunen. For mere information om de tre kategorier henvises til Teorikompendiet.

7.1 Løsningsforslagene

I det følgende beskrives de løsningsforslag, som vil kunne findes på strategistrækningerne. Der er to hovedtyper: Erosionsbeskyttelse og højvandsbeskyttelse. Under erosionsbeskyttelse findes både de passive metoder, som høfder og skråningsbeskyttelse, og aktive metoder, som kystfodring og klitlandskab. Som højvandsbeskyttelse foreslås både konstruktioner på land, som diger og mure, og konstruktioner i vand, som stormflodsbarrierer og sluser. Under hvert enkelt løsningsforslag beskrives, hvordan den specifikke metode virker og hvilke fordele og ulemper, den har. Desuden forklares, hvornår metoderne bliver anvendt og hvordan ikonerne placeres i kortmaterialet i rapporter og i webGIS.

I Kystplanlægger foretages der ikke detailplanlægning af de vejledende løsningsforslag.

Der tages som udgangspunkt ikke hensyn til eksisterende kystbeskyttelsesplanlægning i risikokortlægningen eller i udarbejdelsen af vejledende løsningsforslag. En undtagelse til dette er diger, som fremstår som forhøjninger i landskabet og dermed er en del af Danmarks Højdemodel. Oversvømmelsesfaren er beregnet i Havvand på land, som bygger på Danmarks Højdemodel. Danmarks Højdemodel indeholder topografien i landskabet og herunder hører de barrierer, som beskytter lavtliggende områder både de menneskeskabte og de naturlige forhøjninger.

7.1.1 Højvandsbeskyttelse

Beskrivelse af de metoder til højvandsbeskyttelse, som Kystdirektoratet anbefaler og som anvendes i Kystplanlægger.

Dige

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 hav, fjorde, bæltter eller vandløb. 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, men kan også stå alene. Dette afhænger af de konkrete lokale forhold. Diger er skrånede konstruktioner, hvor styrken afhænger af en række parametre såsom græslaget, hældningen på dige-skråningerne



og dige-højden. Disse parametre har specifik betydning i forhold til at opretholde digets styrke og modstandskraft under stormfloder. Typisk er mindre diger opbygget af lerholdigt materiale for at stoppe vandgennemtrængningen. Ved større diger kan diget have en kerne af sand under en kappe af det lerholdige materiale. Yderst er et dække af muld, som der sås græs i. Græslaget på diget skal slås eller afgræsses, så det er tæt og forebygger digebrud.

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 påvirkningen fra bølgerne. Bølgepåvirkningen opstår under højvandshændelser og omfatter tre typer af påvirkning; bølgeslag, som opstår i forbindelse med bølgebrydning på for-skråningen, bølgeop- og tilbageløb, som opstår i forbindelse med bølgenes op- og nedløb på for-skråningen, og bølgeoverløb, som sker ved et bølgeopløb, der er større end dige-højden, hvor bølgerne skubber vand over digekronen.

Anvendelse i Kystplanlægger

Diger anvendes som højvandsbeskyttelse på strækninger, hvor der er fornuftig plads til at anlægge dem og hvor erosionsfaren ikke er høj. I kortmaterialet placeres ikonet centralt på den strækning, hvor det anbefales at diget etableres. Der vil på korte strækninger oftest være et enkelt ikon, hvorimod lange strækninger kan markeres med flere ikoner for at tydeliggøre, at et større område bør beskyttes. Forslaget vil i nogle tilfælde ses i kombination med andre metoder, f.eks. en højvandsmur, sluse eller klitlandskab.

Højvandsmur

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 højvandshændelse. Muren kan bestå af forskellige materialer, f.eks. plasts, ståls, træ, beton eller kombinationer. I alle typer kan der skabes passagemuligheder i form af åbninger, som lukkes med porte i ekstremt vejr.



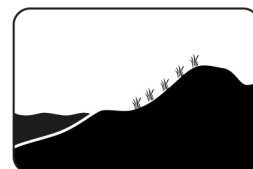
Højvandsmurens hovedfunktion er at beskytte tætbefolkede byområder eller større økonomiske aktiviteter (f.eks. havneområder) fra at blive oversvømmet under højvandshændelser. Højvandsmure installeres hovedsagelig i områder med begrænset plads, som byer eller havneområder, hvor en dige-konstruktion er umulig på grund af pladsforholdene. Ligeledes kan en mur vælges, fordi den passer bedre ind i byrummet og giver mulighed for multifunktionel udnyttelse. 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 eventuelt forberedes til senere forhøjelse.

Anvendelse i Kystplanlægger

Højvandsmure anvendes som højvandsbeskyttelse på strækninger, hvor den ville passe bedre ind i byrummet, end de andre løsningsforslag, eller hvor der er begrænset fysisk plads f.eks. langs havneområder og kystnær bymæssig bebyggelse. Metoden anvendes ofte. I kortmaterialet placeres ikonet centralt på den strækning, hvor det anbefales at etablere mure. Der vil på korte strækninger oftest være et enkelt ikon, hvorimod lange strækninger kan markeres med flere ikoner, for at tydeliggøre, at et større område bør beskyttes. Forslaget vil i nogle tilfælde ses i kombination med andre metoder, f.eks. et dige, en sluse eller et klitlandskab.

Klitlandskab (fungerer også som erosionsbeskyttelse)

Et naturligt klitlandskab består af flere klitter, som er forhøjninger af sand dannet af vindens bevægelser og kraft. Et klitlandskab dannes, hvor store sandmængder er tilgængelige for vindens påvirkning og hvor klitter derfor kan opbygges og ændre sig over tid. Dette er tilfældet ved f.eks. Vesterhavet, hvor brede sandstrande giver materiale til dannelse af dynamiske klitter. Klitternes form afhænger hovedsageligt af mængden af tilgængeligt sediment samt vindens retning, varighed og styrke. Disse faktorer varierer fra sted til sted, hvorfor der dannes forskellige klitformationer og skabes varierende klitlandskaber. Et klitlandskab kan udgøre en form for naturlig fleksibel beskyttelse af et lavtliggende bagland imod oversvømmelse.



Ved siden af den naturlige dannelse af et klitlandskab, kan klitter og klitlandskaber anlægges kunstigt ved hjælp af entreprenørmaskiner og store sandmængder. Efterfølgende beplantes klitterne med egnede planter og vegetationstyper, f.eks. hjælme eller marehalm. Når klitlandskabet har en tilstrækkelig højde og bredde, kan det beskytte baglandet mod oversvømmelse. Udover at beskytte mod oversvømmelse, har et klitlandskab en høj rekreativ værdi.

Klitlandskabets vegetation og tilgængeligheden af sand er afgørende for dets modstandsdygtighed over for gennembrud i forbindelse med akut erosion. Vegetationens rødder holder på sandet og samtidig danner planternes blade en forhindring, som får mere sand til at akkumuleres på klitten. Jo mere sand der akkumuleres, jo mere vokser klitten over tid. Herigennem reduceres næringsstoffer og salt på grund af den stigende klithøjde, og andre mindre salttålende planter kan få fodfæste sig på klitten. Klitten kan herigennem naturligt skifte karakter.

Naturlige klitter flytter sig ind i land sammen med en tilbagerykning af kystlinjen og sandstranden. I forbindelse med etablering af kunstige klitter er det vigtigt at tage højde for, at klitterne ikke nødvendigvis har mulighed for at følge en naturlig udvikling og at det derfor kan være nødvendigt at foretage fodring foran klitten. Herved sikres, at klitten har en tilstrækkelig bredde til at modstå akut erosion og dermed undgå klitgennembrud, og at klitten fortsat kan beskytte baglandet mod oversvømmelse.

Anvendelse i Kystplanlægger

Løsningsforslaget klitlandskab anvendes på strækninger, hvor der både er en risiko for erosion og oversvømmelse, samt er plads til løsningen. Der vil ofte være en høj eksponering af kysten ift. erosion og derfor vil et klitlandskab fungere bedre som højvandsbeskyttelse end et dige, da klitlandskabet bedre kan modstå erosion. I kortmaterialet placeres ikonet for klitlandskab langs den strækning på kysten, hvor det anbefales at blive etableret. Der vil kun være ét ikon når strækningen er kort, hvorimod en tilpas lang strækning vil kunne have flere ikoner. Nogle strækninger foreslås beskyttet af flere usammenhængende klitlandskaber og her vil der også være flere ikoner i kortene, placeret i de områder hvor de anbefales etableret.

Lokal beskyttelse mod oversvømmelse

Nogle kystområder i Danmark er kendetegnet ved, at risikoen i forhold til oversvømmelse er meget lokal, spredt over geografisk store områder. Dette skyldes enten, at oversvømmelser opstår meget lokalt, eller at oversvømmelser opstår over store geografiske områder, men at evt. berørte værdier ligger meget spredt. I disse tilfælde er det derfor mere hensigtsmæssigt at se på meget lokale løsninger end at gennemføre større helhedsorienterede kystbeskyttelsesprojekter.



Lokale løsninger skal gennemføres der, hvor risikoen for oversvømmelse er højst. Lokale løsninger i forhold til oversvømmelse kan f.eks. være etablering af et ringdige om en bygning, objektbeskyttelse i form af skotter og lignende eller et hegn langs skellet, som etableres vandtæt. Lokal beskyttelse mod oversvømmelse bør altid tænkes sammen med de lokale forhold.

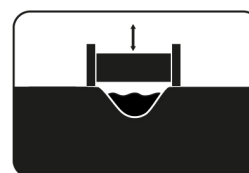
Anvendelse i Kystplanlægger

Løsningsforslaget, lokal beskyttelse mod oversvømmelse, anvendes i de områder, hvor værdierne ligger spredt over et stort område. Der kan derfor ud fra en faglig og økonomisk betragtning oftest ikke anbefales en helhedsløsning. Ikonet placeres der, hvor de truede værdier ligger, og vil i nogle tilfælde omfatte værdier andetsteds inden for samme strategistrækning.

Sluse

Sluser er konstruktioner, der etableres over et vandområde med formålet at regulere vandstanden, ved at åbne eller lukke for vandgennemstrømningen. Sluser etableres som udgangspunkt i flodudmundinger, fjorde, vandløb eller havne. Slusernes funktion kan opdeles i kategorierne: Afvandingsluse og navigationsluse.

Navigationsluser har til formål at sikre passage af fartøjer og den almindeligste form for navigationsluser er kammersluser. Disse vil ikke blive beskrevet nærmere her.



Afvandingssluser indgår oftest i større højvandsbeskyttende anlæg, som diger, klitbarrierer, dæmninger o.l. Afvandingsslusernes primære funktion er at forhindre oversvømmelse i baglandet under højvands-hændelser i havet. Desuden kan de bruges til at regulere den daglige vandstand ved at styre vandgen-nemstrømningen.

Eksempler på afvandingssluser, der kun lukker under højvandshændelser i havet for at beskytte det bagvedliggende område mod oversvømmelse, er sluserne i vadehavsområdet, som Kammerslusen, Kongeåslusen, Ballum Sluse m.fl., som er en integreret del af højvandsbeskyttelsen. Desuden er der flere eksempler på det i de indre farvande, som for eksempel slusen i Vejle.

Eksempler på afvandingssluser, der sikrer det daglige vandstandsniveau i det bagvedliggende område, er sluserne i Hvide Sande og Thorsminde, der sikrer vandstandsniveauet og saltholdigheden i henholdsvis Ringkøbing Fjord og Nissum Fjord.

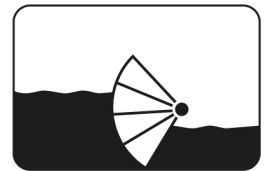
Anvendelse i Kystplanlægger

Sluser anvendes i form af sluser i åer og vandløb. I enkelte tilfælde anvendes slusen som et gennemløb med kontraklap i en å, hvor et dige, en højvandsmur eller et klitlandskab ellers ville spærre for vandfø-ringen. I kortmaterialet placeres ikonet, der hvor det anbefales at anlægge slusen. Forslaget vil i mange tilfælde forekomme i kombination med f.eks. en højvandsmur, et dige eller et klitlandskab.

Stormflodsbarriere

Stormflodsbarrierer er konstruktioner, der etableres over et større vandområde med det formål at beskyt-te baglandet mod oversvømmelser i tilfælde af stormflod eller sjældnere højvandssituationer. Stormflods-barrierer etableres som udgangspunkt i flodudmundinger, fjorde eller havne.

Når stormflodsbarrieren lukker, afskæres vandgennemstrømningen fra havet ind til baglandet, så den ikke forårsager oversvømmelse. Når vandstanden uden for barrieren er faldet til et normalt niveau, åbner barrieren igen.



Stormflodsbarrierer er altid større konstruktioner og kan eksempelvis bestå af flere åbninger med mobile porte eller en dæmning med en navigationssluse.

Anvendelse i Kystplanlægger

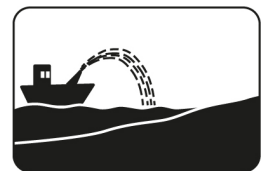
Stormflodsbarrierer anvendes som beskyttelse af f.eks. byområder i smalle fjorde, hvor f.eks. højvandsmu-re og diger ikke er tilstrækkelig beskyttelse, eller hvor en stormflodsbarriere kan etableres i stedet for ellers meget høje mure. Stormflodsbarrierer anvendes kun i større byområder, da det er en bekostelig metode. I kortmaterialet placeres ikonet, der hvor det anbefales at anlægge stormflodsbarrieren. Forsla-get vil i nogle tilfælde forekomme i kombination med f.eks. højvandsmure eller diger.

7.1.2 Erosionsbeskyttelse

Beskrivelse af de metoder til erosionsbeskyttelse, som Kystdirektoratet anbefaler og som anvendes i Kyst-planlægger.

Kystfodring

Kystfodring er den eneste kystbeskyttelsesmetode, der kan tilføre kysten det sediment, som mangler, for at standse en tilbagerykning. Kystfodring kan være en effektiv kystbeskyttelsesmetode mod både kronisk og akut erosion, såfremt der fodres med tilstrækkelige mængder sediment som en initialfodring, der fungerer som buffer mod akut erosion, og ved vedligeholdelsesfodringer, der modvirker den kroniske erosion.



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 for at fastholde kystlinjen er jævnlig tilførsel af sediment nødvendig. Nyt sediment tilføres med passende mellemrum som erstatning for det sediment, der løbende eroderes 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 sediment-underskud 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 graver 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 f.eks. skråningsbeskyttelser af sten, hofder eller bølgebrydere for at understøtte anlæggene samt kompensere for den erosion, der flytter sediment ud i kystprofilen foran anlægge samt nedstrøms disse.

Anvendelse i Kystplanlægger

Kystfodring anvendes som erosionsbeskyttelse på strækninger, hvor der hovedsagelig er erosionsrisiko. Denne metode anvendes ofte. I kortmaterialet placeres ikonet ud for den del af kysten, som anbefales beskyttet. Der vil på korte strækninger oftest være et enkelt ikon, hvorimod lange strækninger kan markeres med flere ikoner, for at tydeliggøre, at et større område bør beskyttes.

Klitlandskab (fungerer også som højvandsbeskyttelse)

Se forklarende tekst under Oversvømmelsesbeskyttelse.

Lokal beskyttelse mod erosion

Nogle kystområder i Danmark er kendetegnet ved, at risikoen for kysterosion er geografisk meget lokal og spredt. Dette skyldes enten, at kysterosion opstår meget lokalt, eller at kysterosion ses over en længere strækning, men at evt. berørte værdier ligger meget spredt. I disse tilfælde er det derfor mere hensigtsmæssigt at se på meget lokale løsninger, end at gennemføre større helhedsorienterede kystbeskyttelsesprojekter over længere strækninger.

Lokale løsninger skal gennemføres dér, hvor risikoen i forhold til kysterosion er højst. Lokale løsninger i forhold til kysterosion kan f.eks. være at gennemføre en lokal kystfodring ved at placere sand foran den berørte værdi, f.eks. ved hjælp af lastbiltransport. Lokal beskyttelse mod kysterosion bør altid tænkes sammen med de lokale forhold.

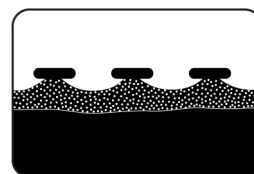
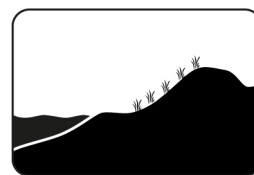
Anvendelse i Kystplanlægger

Løsningsforslaget, Lokal beskyttelse mod erosion, anvendes de steder på kysten, hvor meget få værdier er i fare. Der kan ud fra en faglig og økonomisk betragtning oftest ikke anbefales en helhedsløsning langs kysten. Ikonet placeres dér, hvor de truede værdier ligger, og vil i nogle tilfælde omfatte værdier andetsteds inden for samme strategistrækning.

Bølgebryder

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.

Bølgebryderen virker dels ved at mindske den bølgeenergi, der når ind på kysten og i højere grad ved at nedsætte den del af langstransporten, som foregår mellem strandlinjen og bølgebryderen. Derved fanges en del af langstransporten, og sand aflejres bag bølgebryderen. Bølgebryderne vil således reducere langstransporten bag sig og eventuelt helt blokere for den. Transportraten reduceres typisk med 50 % procent.



Ligesom det er tilfældet med kystbeskyttelsesforanstaltninger som høfder vil en række bølgebrydere skabe læsideerosion på kyststrækningen nedstrøms anlæggene, som nu får reduceret tilførselen af sand. For at imødegå denne konsekvens bør man gennemføre kompenserende sandfodring på den nedstrøms strækning.

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 høfder. Derfor er de velegnede til etablering på kyststrækninger, hvor der er en krumning.

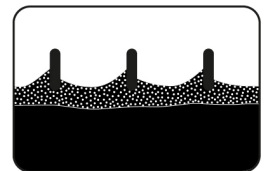
Bølgebrydere standser ikke akut erosion, men reducerer den.

Anvendelse i Kystplanlægger

Bølgebrydere anvendes sjældent, da de som udgangspunkt ikke kan stå alene, og da ulemperne ved bølgebrydere i form af læsideerosion er store. Metoden forslås oftest i kombination med kystfodring. I kortmaterialet placeres ikonet for bølgebryder det sted på kysten, hvor de anbefales etableret. Der vil kun være ét ikon på steder, hvor der eventuelt bør etableres en gruppe af bølgebrydere. Såfremt der ses flere ikoner, vil der være tale om forskellige tiltag.

Høfde

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.



Høfder er beregnet til at bremse erosion i det kystnære profil (nedbrydning fra havet). Høfder blokerer for den del af den langsgående sedimenttransport, som foregår mellem strandlinjen og høfdens afslutning. På den måde fanges en del af sedimentet og aflejres opstrøms på høfdens luvside (i forhold til sedimentets transportretning). Det aflejrede sediment reducerer altså kysttilbagerykningen opstrøms for høfden.

Ligesom det er tilfældet med kystbeskyttelsesforanstaltninger som bølgebrydere, vil en række høfder skabe læsideerosion på kyststrækningen nedstrøms anlæggene, som nu får reduceret sandtilførsel. For at imødegå denne konsekvens bør man gennemføre kompenserende sandfodring på den nedstrøms strækning.

Høfder 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 kystprofilen søværts høfdeenderne og læsideerosionen udgør typisk 50 % af erosionsraten.

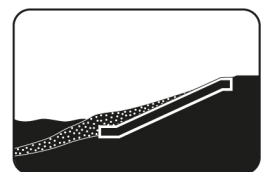
Anvendelse i Kystplanlægger

Høfder anvendes sjældent, da de som udgangspunkt ikke kan stå alene, og da ulemperne ved høfder i form af læsideerosion er store. Metoden forslås oftest i kombination med kystfodring. I kortmaterialet placeres ikonet for høfder det sted på kysten, hvor de anbefales etableret. Der vil kun være ét ikon, på trods af at der eventuelt bør laves en gruppe af høfder. Såfremt der ses flere ikoner, vil der være tale om forskellige tiltag.

Skråningsbeskyttelse

Skråningsbeskyttelse er en konstruktion bestående af bl.a. sten og evt. geotekstil, der etableres op ad en kystskrænt eller klit. Den bremser lokalt havets nedbrydning af klitter og skrænter.

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 på anlægget bryder bølgenes energi. Skråningsbeskyttelsen er velegnet til kyster udsat for en kombination af kraftige pålands-bølger og høj vandstand, som medfører akut erosion.



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. For at imødegå denne konsekvens bør man gennemføre kompenserende sandfodring foran eller på den nedstrøms strækning.

Anvendelse i Kystplanlægger

Skråningsbeskyttelse anbefales på de strækninger, hvor risikoen i forbindelse med erosion er høj. Skråningsbeskyttelse anbefales sjældent, da den som udgangspunkt ikke kan stå alene, og da ulemperne ved skråningsbeskyttelse er store. Metoden forslås oftest i kombination med kystfodring. I kortmaterialet placeres ikonet for skråningsbeskyttelse centralt på den strækning, hvor den anbefales etableret. Der vil på korte strækninger oftest være et enkelt ikon, hvorimod lange strækninger markeres med flere ikoner, for at tydeliggøre, at et større område bør beskyttes.

7.2 Valg af løsningsforslag

Når strategien for en strækning er fastsat til, Reduktion, findes et passende løsningsforslag til reduktion af risikoen for den eller de udfordringer, der er på strækningen. Formålet med Kystplanlægger er at præsentere vejledende løsningsforslag til risikoreduktion. Løsningsforslagene skal tage udgangspunkt i en helhedsbetragtning og skal være optimale ud fra kysttekniske vurderinger af forholdene. Der er derfor valgt en metode, hvor "tavlen er visket ren" og eksisterende kystbeskyttelse ikke inddrages i fastlæggelsen af de vejledende løsningsforslag. Yderligere har Kystdirektoratet ikke et nationalt overblik over kystbeskyttelsens vedligeholdelsestilstand i dag, og det er ikke realistisk at fremskrive kystbeskyttelsens vedligeholdelsestilstand og kystteknisk funktionsevne i hele landet i et 100-årigt perspektiv ud fra de oplysninger, Kystdirektoratet har til rådighed.

Ved valg af løsningsforslag vælges mellem de to grupper af forslag beskrevet i Afsnit 7.1 for henholdsvis højvands- og erosionsbeskyttelse. Såfremt begge udfordringer udløser en reduktion af risikoen findes der forslag på tværs af de to grupper.

De konkrete løsningsforslag vurderes ud fra en række faglige, tekniske og til en vis grad lokale forhold, så det optimale løsningsforslag for strækningen identificeres. Eksempelvis kan arealanvendelsen i et område være afgørende for valg af løsningsforslag. Ligger strækningen f.eks. midt i en by eller langs en havn, foreslås en mur som højvandsbeskyttelse frem for et dige, som der er bedre plads til i områder med landbrug eller spredt bebyggelse.

Værktøjet, Havvand på land, anvendes i kombination med Danmarks Højdemodel som baggrund for at undersøge udbredelsen af en oversvømmelse. Dette kan hjælpe til at bestemme, hvilket løsningsforslag, der er mest hensigtsmæssigt og hvor det teknisk vurderes at være bedst placeret.

Ved erosionstruede kyster undersøges kyststrækningens formodede sediment-transportretning ud fra eksisterende data og ortofotos. Ud fra disse kan aflejningsmønstre på havbunden og langs kysten give en god indikation af sedimenttransportens retning i et givet område.

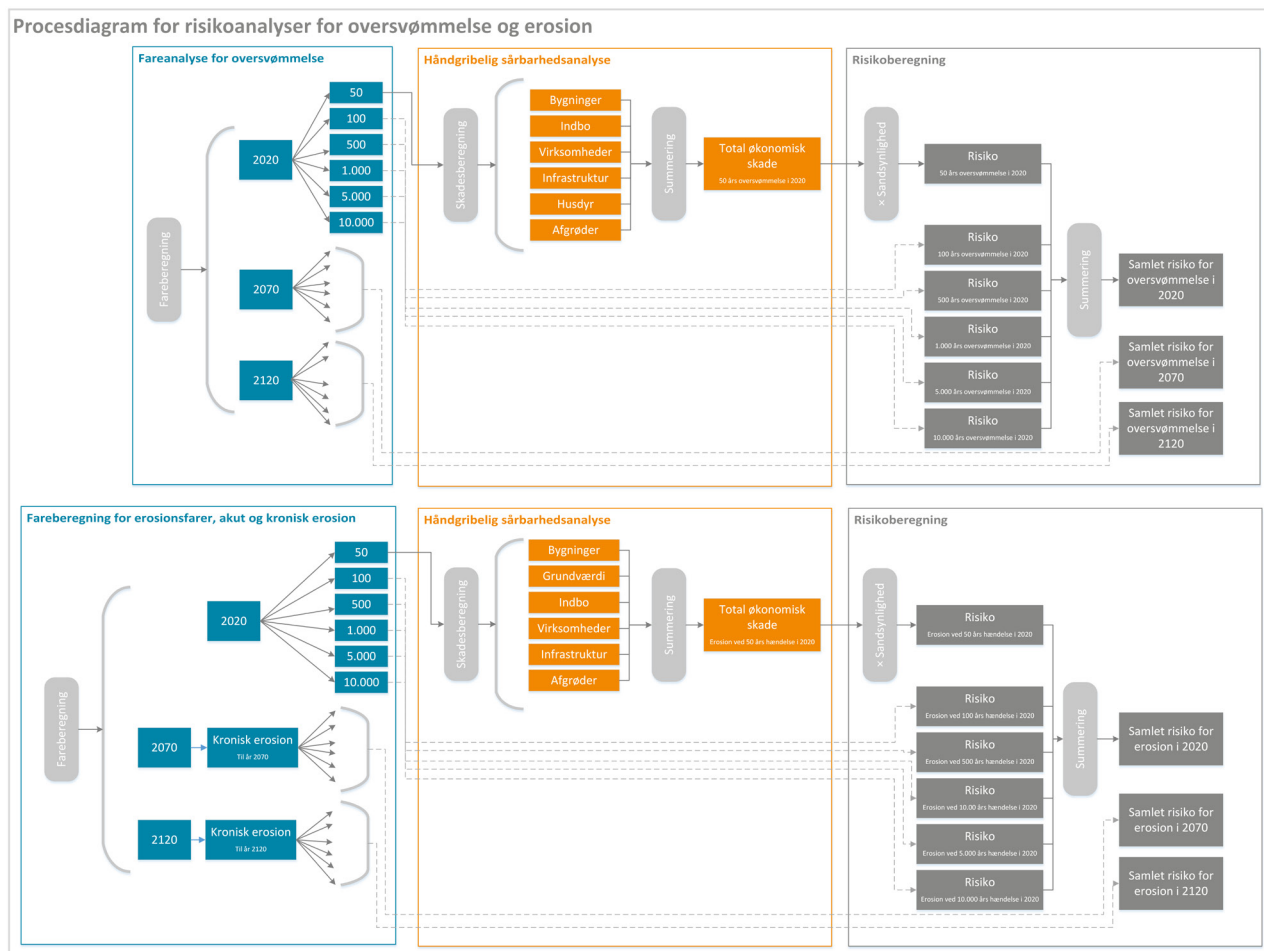
Når flere løsningsforslag er i spil til en enkelt strækning, vælges den bedste løsning ud fra en helhedsbetragtning af kyststrækningen. Nogle kommuner har indleveret input via et spørgeskema udsendt af Kystdirektoratet i januar 2020. I det omfang det har været muligt, er kommunernes input blevet inddraget i forbindelse med fastlæggelsen af løsningsforslag.

Det endelige løsningsforslag for en strækning er en anbefaling af den løsning, som Kystdirektoratet mener er den bedste tekniske løsning for et område. Denne løsning kan bestå af en enkelt kystbeskyttelses tiltag eller det kan være en kombination af flere typer løsninger.

Kystdirektoratets forslag er vejledende og der kan være alternative løsninger.

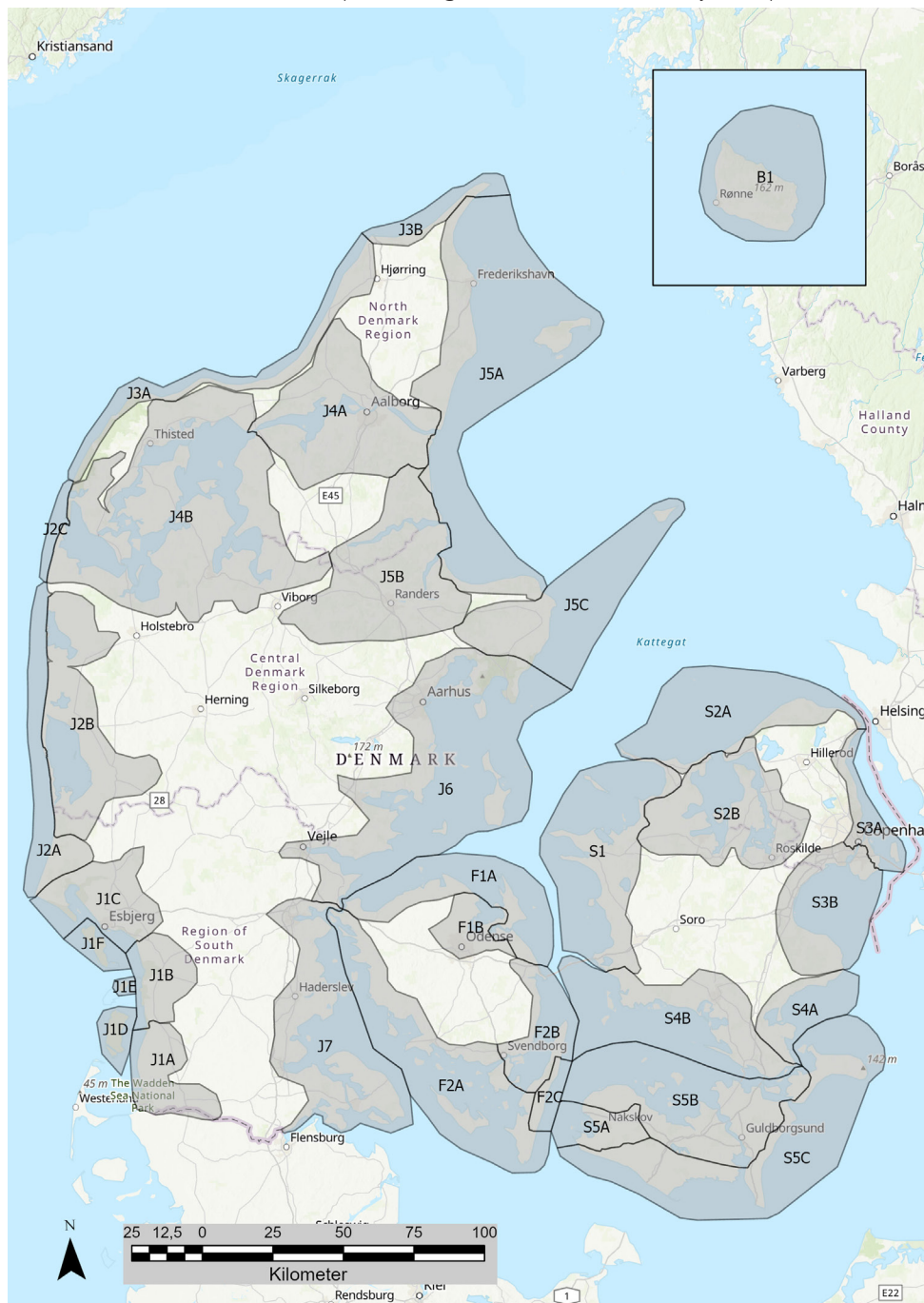
Bilag A Procesdiagram for risikoanalyserne

Procesdiagram for risikoanalyser, der illustrerer, hvordan faren beregnes for seks hændelser for tre tidshorisonter. Disse beregninger anvendes så i analysen af de håndgribelige sårbarheder, hvor skader og tab beregnes. Herefter regnes risikoen for de enkelte hændelser og den samlede risiko for hver udfordring for hver tidshorison.



Bilag B Stormflods- vandstande

Oversigt over stormflodsvandstandene anvendt i risikoanalyserne. Tabel B-1 angiver vandstanden i cm DVR90 for de seks statistiske hændelser for de tre tidshorisonter for hvert af de 34 områder, som er illustreret i Figur B-1. Det skal huskes, at det er estimater for statistiske stormflodsvandstande, der inkluderer usikkerheder. Returvandstandene er derfor afrundede værdier til halve decimeter for de lave returperioder og hele decimeter for de høje returperioder.



Figur B-1 Inddeling i 34 områder ud fra hydrodynamiske og kysttekniske forhold.

Tabel B 1 Stormflodsvandstande for de 34 områder for år 2020, 2070 og 2120.

År	2020						2070						2120					
Område \retur- periode	50	100	500	1.000	5.000	10.000	50	100	500	1.000	5.000	10.000	50	100	500	1.000	5.000	10.000
J1A	470	500	530	550	580	600	515	545	570	590	620	640	580	610	640	660	690	710
J1B	470	500	530	550	580	600	515	545	570	590	620	640	575	605	630	660	690	710
J1C	400	430	460	480	510	540	445	475	500	520	550	580	505	535	560	590	620	650
J1D	410	430	460	480	510	540	455	475	500	520	550	580	520	540	570	590	620	650
J1E	390	410	440	460	490	520	435	455	480	500	530	560	495	515	540	570	600	630
J1F	365	400	440	475	490	500	410	445	480	520	530	540	470	505	540	580	600	610
J2A	315	330	360	380	410	430	360	375	400	420	450	470	420	435	460	490	520	540
J2B	140	150	160	170	190	200	185	195	200	210	230	240	245	255	270	280	300	310
J2C	245	260	290	310	340	360	285	300	330	350	380	400	350	365	390	410	440	460
J3A	170	180	190	200	220	230	210	220	230	240	260	270	270	280	290	300	320	330
J3B	140	150	160	170	190	200	175	185	200	210	230	240	230	240	250	260	280	290
J4A	150	155	160	170	180	185	190	195	200	210	220	220	245	250	260	270	280	280
J4B	195	200	210	225	240	250	235	240	260	270	280	290	300	305	320	330	340	350
J5A	155	165	180	190	200	210	190	200	220	230	240	250	250	260	280	290	300	310
J5B	165	175	190	200	210	220	205	215	230	240	250	260	260	270	290	300	310	320
J5C	160	170	190	200	220	230	200	210	230	240	260	270	255	265	280	300	320	330
J6	165	175	190	200	220	230	205	215	230	240	260	270	270	280	290	300	320	330
J7	175	200	250	300	340	370	220	245	290	340	380	410	280	305	360	410	450	480
F1A	165	175	190	200	220	230	205	215	230	240	260	270	265	275	290	300	320	330
F1B	165	180	200	210	230	240	205	220	240	250	270	280	270	285	300	310	330	340
F2A	175	200	250	300	340	370	220	245	290	340	380	410	280	305	360	410	450	480
F2B	155	165	180	190	210	220	195	205	220	230	250	260	255	265	280	290	310	320
F2C	155	175	210	250	280	300	195	215	250	290	320	340	255	275	310	350	380	400
S1	155	170	190	200	220	230	195	210	230	240	260	270	255	270	290	300	320	330
S2A	175	185	200	215	230	240	210	220	240	250	270	280	270	280	300	310	330	340
S2B	170	185	200	215	230	240	210	225	240	250	270	280	270	285	300	310	330	340
S3A	155	165	180	190	210	220	195	205	220	230	250	260	250	260	280	290	310	320
S3B	155	190	230	270	310	350	195	230	270	310	350	390	255	290	330	370	410	450
S4A	150	190	230	270	310	350	190	230	270	310	350	390	250	290	330	370	410	450
S4B	160	170	190	200	220	230	200	210	230	240	260	270	260	270	290	300	320	330
S5A	160	185	220	250	270	290	205	230	260	290	310	330	265	290	330	360	380	400
S5B	155	170	190	200	220	230	195	210	230	240	260	270	260	275	290	300	320	330
S5C	170	190	230	270	310	350	210	230	270	310	350	390	275	295	330	370	410	450
B1	120	140	170	200	220	240	160	180	210	240	260	280	220	240	270	300	320	340

Referencer

Burzel, A., de Bel, M., Wagenaar, D. & Bachmann, D., 2018. Development of a Model for the Assessment of Costs of Business Interruption, Delft: Deltares.

Deltares, <https://xbeach.readthedocs.io/en/latest/>. XBeach Technical Reference: Kingsday Release, Delft: Deltares.

DHI, 2019a. Wave and water level hindcast of Danish Waters, Spectral wave and hydrodynamic modelling, Setup, calibration and validation, report for Danish Coastal Authority, Hørsholm: DHI.

DHI, 2019b. Metocean Data of Danish Waters for Risk Analyses, report for Danish Coastal Authority, Hørsholm: DHI.

DMI, 2018. Vejledning i anvendelse af udledningsscenarier, København: DMI.

DTU Space, 2016. Fremtidige landhævninger, s.l.: Per Knudsen, DTU Space.

GEUS, 2020a. Jordartskort. [Online]

Tilgængelig her: <https://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/danske-kort/download-jordartskort>

GEUS, 2020b. National Boringsdatabase (Jupiter). [Online]

Tilgængelig her: <https://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/national-boringsdatabase-jupiter>

Jensen, J., Jørgensen, J. & Klagenberg, P., 2009. Manual for udarbejdelse af bestemmelser knyttet til den samfundsøkonomiske analyse samt Oversvømmelsesdirektivet, Lemvig: Kystdirektoratet.

Klimatilpasning, 2020. Havvand på land. [Online]

Tilgængelig her: <https://www.klimatilpasning.dk/vaerktoejer/havvandpaaland/havvand-paa-land>

Kystdirektoratet, 2004. Risk assessment for the Wadden Sea. COMRISK - Common Strategies for Storm Flood Risk, Subproject 7., Lemvig: Kystdirektoratet.

Kystdirektoratet, 2011. Forslag til udpegning af risikoområder på baggrund af en foreløbig vurdering af oversvømmelsesrisikoen fra havet, fjorde eller andre dele af søterritoriet. Teknisk baggrundsrapport, Lemvig: Kystdirektoratet.

Tilgængelig her: <https://kyst.dk/media/80829/kdi-2011-tekisk-baggrundsrapport.pdf>

Kystdirektoratet, 2013. Kortlægning af fare og risiko for oversvømmelse. Metoderapport. EU's oversvømmelsesdirektiv (2007/60/EF), plantrin 2., Lemvig: Kystdirektoratet, Transportministeriet.

Kystdirektoratet, 2016. Kortlægning af erosion og oversvømmelse, Lemvig: Kystdirektoratet.

Kystdirektoratet, 2016. Kystanalyse, Kortlægning af erosion og oversvømmelse. Metoderapport for kortlægningen af faren for erosion og oversvømmelse samt de potentielle skadesomkostninger, Lemvig: Kystdirektoratet.

Kystdirektoratet, 2018a. Højvandsstatistikker 2017, Lemvig: Kystdirektoratet.

Tilgængelig her: <https://kyst.dk/kyser-og-klima/vaerktoejer/hoejvandsstatistikker>

Kystdirektoratet, 2018b. Revurdering og ajourføring af risikoområder for oversvømmelse fra hav og

vandløb. Oversvømmelsesdirektivet, Anden planperiode., Lemvig: Kystdirektoratet.

Kystdirektoratet, 2018c. Metode til national risikovurdering af oversvømmelse fra hav og vandløb samt ajourføring af risikoområder. Oversvømmelsesdirektivet, Anden planperiode., Lemvig: Kystdirektoratet.

Kystdirektoratet, 2018c-slet. Metode til national risikovurdering af oversvømmelse fra hav og vandløb samt ajourføring af risikoområder. Oversvømmelsesdirektivet, Anden planperiode, Lemvig: Kystdirektoratet.

Kystdirektoratet, 2020. Kystatlas. [Online]

Tilgængelig her: <https://kyst.dk/kyster-og-klima/vaerktoejer/kystatlas/>

Kystdirektoratet, 2020. Metode til kortlægning af fare og risiko for oversvømmelse. Oversvømmelsesdirektivet, Anden planperiode., Lemvig: Kystdirektoratet.

Miljøstyrelsen, 2020. MiljøGIS - data om natur og miljø på webkort. [Online]

Tilgængelig her: <https://mst.dk/service/miljoegis/>

SDFE, 2020a. Kortforsyningen. [Online]

Tilgængelig her: <https://kortforsyningen.dk/indhold/forside>

SDFE, 2020b. SDFE Kortviser. [Online]

Tilgængelig her: <https://sdfekort.dk/spatialmap>

Slots- og Kulturstyrelsen, 2020. Fredede og bevaringsværdige bygninger. [Online]

Tilgængelig her: <https://www.kulturarv.dk/fbb/index.htm?sessionId=82A8C658D9F825AC03E7AC41E3E03B53>



Kystdirektoratet
Højbovej 1
7620 Lemvig
www.kyst.dk