

Til
Greve Kommune

Dokumenttype
Rapport

Dato
April, 2018

FORUNDERSØGELSE KYSTBESKYTTELSE VED OLSBÆK OG KARLS- LUNDE STRAND



FORUNDERSØGELSE KYSTBESKYTTELSE VED OLSBÆK OG KARLSLUNDE STRAND

Revision **2**
Dato **17-04-2018**
Udarbejdet af **MSKV, KRSP, TRIT**
Kontrolleret af **JAN**
Godkendt af **JAN**
Beskrivelse **Forundersøgelse**
Kystbeskyttelse ved Olsbæk og Karlsunde Strand

Dokument ID 1100031059-1609323442-3

INDHOLD

1.	INDLEDNING	1
2.	OMRÅDEBESKRIVELSER	2
2.1	Olsbæk Strand	2
2.1.1	Topografi	4
2.1.2	Ejerforhold	5
2.1.3	Vandløbet Olsbækken	6
2.1.4	§ 3 Naturtyper	8
2.1.5	Spildevands- og regnvandsbetingede udledninger	9
2.2	Karlslunde Strand	10
2.2.1	Ejerforhold	11
2.2.2	Topografi	12
2.2.3	Spildevands- og regnvandsbetingede udledninger	14
2.2.4	§ 3 Naturtyper	16
3.	STORMFLODER – VANDSTAND OG BØLGER	18
3.1	Højvandsstatistik	18
3.1.1	Nuværende forhold	19
3.1.2	Forventet fremtidige forhold	19
3.2	Bølgepåvirkning under højvandshændelser	21
3.3	Bølgeoverskyl ved etablering af kystbeskyttelse	23
3.4	Sikringskote	24
4.	KONSEKVENSER VED OVERSVØMMELSE	25
4.1	Risikoanalyse	25
4.1.1	Forventede årlige omkostninger (EAD)	25
4.1.2	Estimering af skadesomkostninger	26
4.1.3	Beregningsgrundlag og antagelser	26
4.2	Olsbæk Strand	26
4.2.1	Oversvømmelsesudbredelse	26
4.2.2	Udsatte værdier	27
4.2.3	Skadesomkostninger	28
4.2.4	Risikoudvikling	29
4.3	Karlslunde Strand	30
4.3.1	Oversvømmelsesudbredelse	30
4.3.2	Udsatte værdier	31
4.3.3	Skadesomkostninger	31
4.3.4	Risikoudvikling	32
5.	SKITSEFORSLAG	33
5.1	Olsbæk Strand	33
5.1.1	Bølgeoverskyl og Sikringskote	33
5.1.2	Valg af kystbeskyttelse	34
5.1.2.1	Dige krydser over vandløb	36
5.1.2.2	Vandløb krydser igennem dige	39
5.1.3	Kystbeskyttelseslinje	43
5.1.4	Kombinerede hændelser	43

5.1.5	Anlægsoverslag	43
5.1.6	Visualisering	44
5.2	Karlslunde Strand	45
5.2.1	Bølgeoverskyl og Sikringskote	46
5.2.2	Valg af kystbeskyttelse	46
5.2.3	Kystbeskyttelseslinje	47
5.2.4	Anlægsoverslag	48
5.2.5	Visualisering	49
5.3	Ansøgning om kystbeskyttelse	50
5.4	Matrikulering og tinglysning af kystbeskyttelsesanlæg	50
5.5	Bidragsfordelingsprincipper	51
6.	ØKONOMISK OPTIMERINGSANALYSE	52
6.1	Metode til bestemmelse af optimalt sikringsniveau	52
6.1.1	Omkostningsanalyse	52
6.1.2	Benefit-Cost-Analyse	52
6.1.3	Optimalt sikringsniveau	52
6.2	Olsbæk Strand	53
6.2.1	Skadesomkostninger	53
6.2.2	Anlæg- og driftsomkostninger	54
6.2.3	Effektanalyse	55
6.3	Karlslunde Strand	55
6.3.1	Skadesomkostninger	55
6.3.2	Anlæg- og driftsomkostninger	56
6.3.3	Effektanalyse	57
7.	KONKLUSION	58
8.	REFERENCER	59

BILAG

Bilag 1 - Økonomiske begreber, beslutningsgrundlag og antagelser

1. INDLEDNING

Greve Kommune planlægger at etablere en oversvømmelsessikring af hele kommunen, der indeholder en sikring mod stormflod op til kote +2,8. Den planlagte kystbeskyttelse indeholder generelt indsatser, der ligger tilbagetrukket fra kysten, hvilket bevirker at enkelte kystnære boligområder er derfor ikke omfattet af den generelle kystbeskyttelse. Greve Kommune har udpeget to områder ved hhv. Olsbæk Strand og Karlslunde Strand, hvor det skal undersøges, om der skal etableres lokale sikringsløsninger mod stormflod.

Ved Olsbæk Strand planlægger Greve Kommune at etablere en højvandssluse ved Strandvejen, som skal forhindre højvande i at brede sig til de store lavtliggende områder i Olsbækkens opland. Området langs bækken, der ligger mellem Strandvejen og stranden, er dog ikke beskyttet af denne løsning og er udsat i forbindelse med højvandshændelser, da flere ejendomme ligger på lavt terræn.

Ved Karlslunde Strand er der ligeledes områder umiddelbart ned til stranden, hvor der vil forekomme oversvømmelser ved vandstande under den planlagte sikringskote på 2,8 m.

Greve Kommune har på denne baggrund bedt Rambøll undersøge mulighederne for kystbeskyttelse af de to lokaliteter, henholdsvis Olsbæk Strand og Karlslunde Strand, som er beskrevet i nærværende forundersøgelsesrapport. Forundersøgelserne indeholder både en teknisk beskrivelse af oversvømmelseskonsekvenser ved stormflod og forslag til kystbeskyttelse samt en økonomisk analyse af effekten.



Figur 2: Olsbæk Strand set fra nord mod syd.

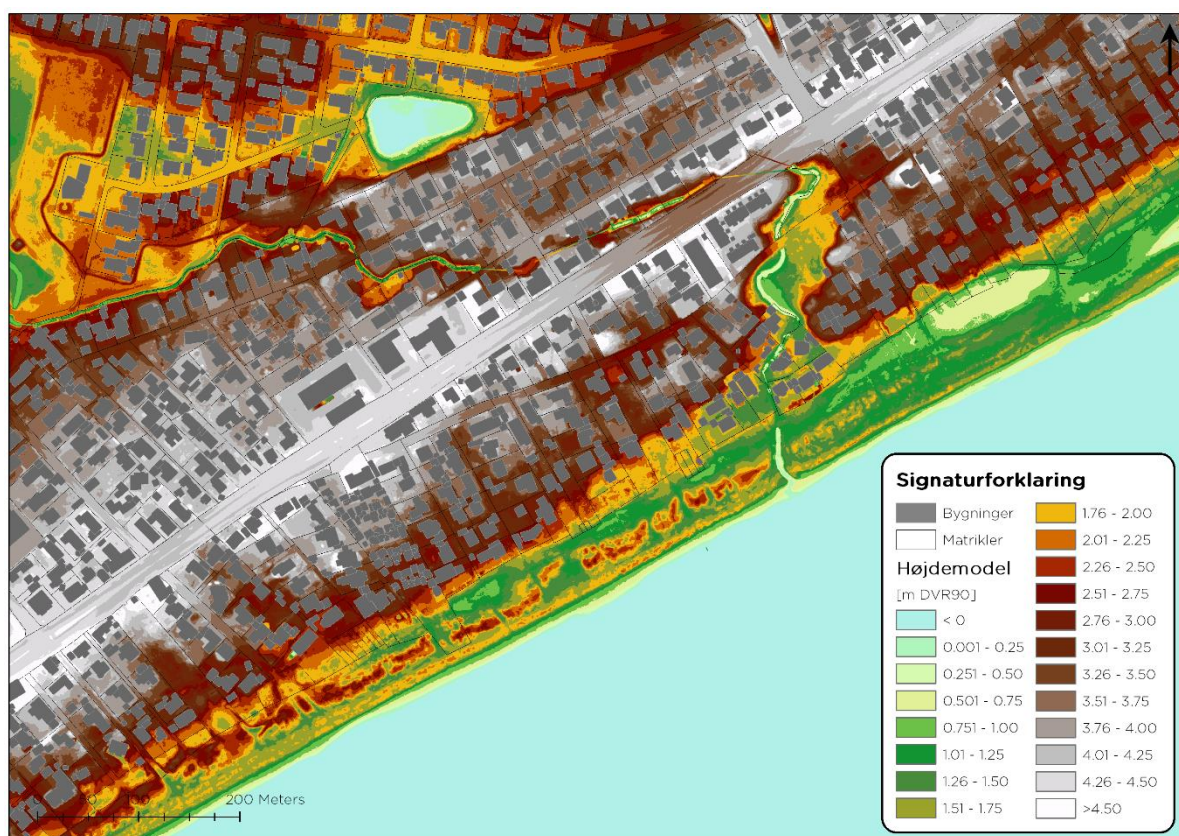


Figur 3: Bebyggelsen set fra strandsiden

2.1.1 Topografi

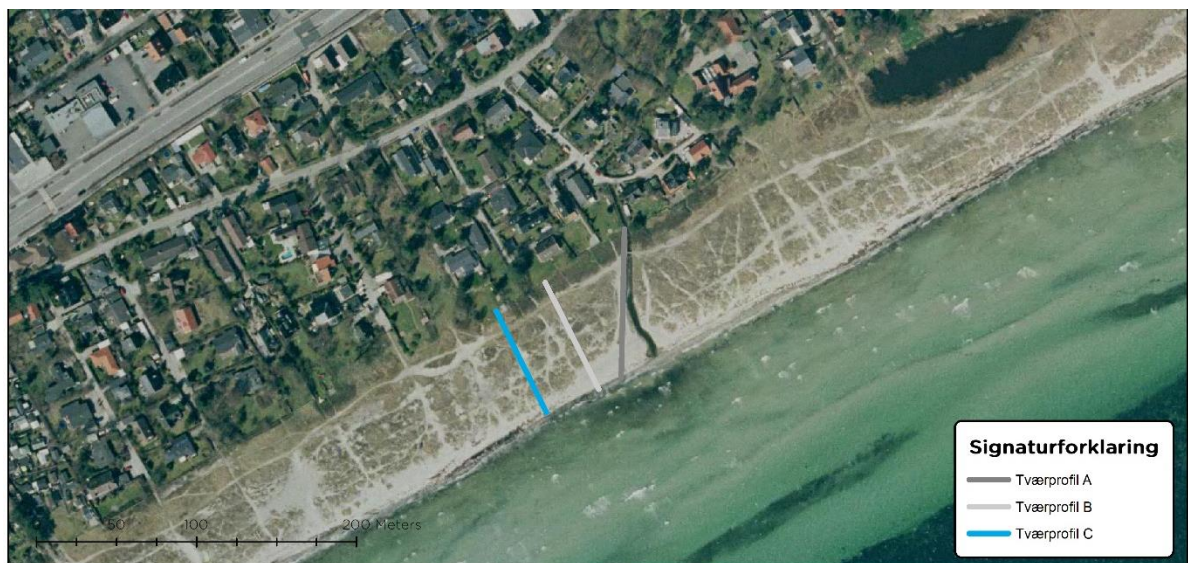
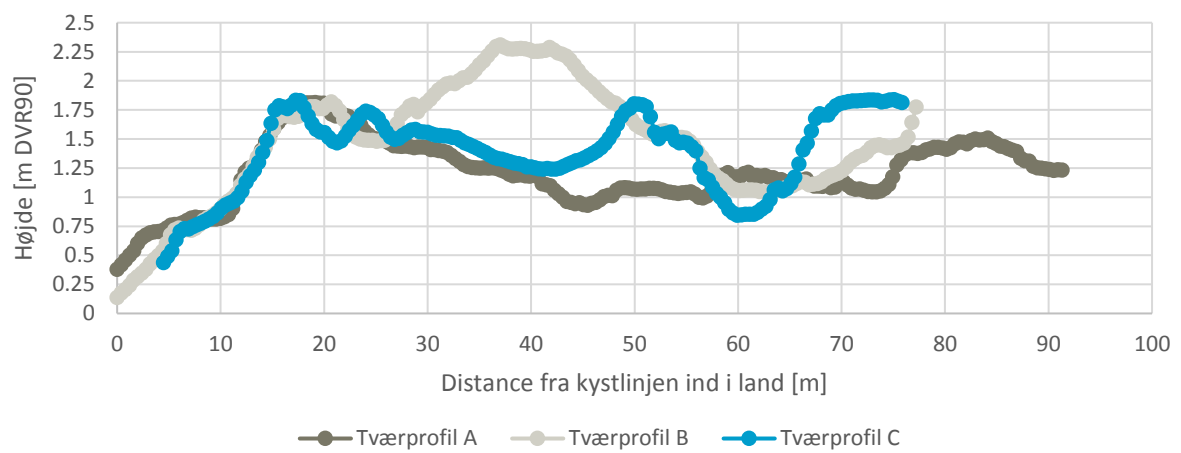
Områdets topografi er vist i Figur 4. Terrænet stiger gradvist fra kystlinjen ind i land men omkring Olsbækken og Olsbækkens udløb ligger terrænet generelt lavere end i de omkringliggende områder. Vandløbets tracé giver mulighed for at havvand kan trænge ind i baglandet og ind til den lavtliggende bebyggelse, hvilket gør området sårbart i forhold til oversvømmelse i forbindelse med højvande.

På selve stranden er der en del gangstier, der nogle steder gennemskærer klitterne i lavninger både langs med og på tværs af kysten. Stierne kan således udgøre sekundære kanaler for udbredelse af oversvømmelse på land i forbindelse med stormflodssituationer i Køge Bugt.



Figur 4: Terrænforhold, Olsbæk Strand. Kilde: Den danske højdemodel i 40cm x 40 cm opløsning udgivet af Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering

Geometrien af forstranden og klitterne er varierende for området, dog afspejler den gennemsnitlige form og hældning, de dominerende vej- og bølgeforhold og tilgængeligheden af sand i området. Området er en tilvækstkyst, hvorfor stranden bliver bredere over tid. Eksempel på udvalgte tværprofiler i området er vist i Figur 5. Det ses af tværprofilerne på figuren, at den forreste klitrække har en nogenlunde konstant højde, mens de bagerste klitrækker varierer en del i højde og afstand fra strandlinjen.



Figur 5: Eksempel på udvalgte tværprofiler, Olsbæk Strand

2.1.2 Ejerforhold

På Figur 6 ses en oversigt over matrikler i området. Størstedelen af matriklerne er ejet af private grundejere. Matrikel nr. 11cf, der ligger umiddelbart nord for Olsbæk er dog ejet af Greve Kommune. Desuden er matrikel nr. 11 n ejet af Krogårdens grundejerforening. Strandarealet er umatrikuleret.



Figur 6: Matrikler, Datakilde: Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering

2.1.3 Vandløbet Olsbækken

Olsbækken har som ovenfor beskrevet sit udløb gennem stranden, hvilket derfor gør det nødvendigt at forholde sig til vandløbets karakteristika og regulering. Olsbækken har et naturligt forløb mellem Olsbæk Strandvej og Falkevej i en lavning i terrænet. Fra Falkevej løber vandløbet i en betonkanal under vejen og langs matriklerne i 1. række til stranden, hvorefter det løber frit ud gennem strandarealet. Se Figur 7-Figur 9 herunder.

Jf. vandløbsregulativet "Regulativ for den nedre del af Olsbækken – Kommunevandløb nr. 24" fra Greve Kommune, har Olsbækken i st. 6481, som repræsenterer den nedre del af bækken, følgende karakteristika:

Bundkote: 0,07 m
 Fald: 0,5 ‰
 Bundbredde: 2,2 m

Median maksimum-vandføring ved udløb i Køge Bugt er 2340 l/sek. Olsbækkens opland er 22 km².

Jf. ovennævnte vandløbsregulativ, må regulering, rørlægning af vandløbet, faskinesætning, udførsel af rørledninger mv., kun finde sted efter vandløbsmyndighedens godkendelse. En eventuel etablering af kystbeskyttelse vil have indflydelse på vandløbets forløb og udfoldelse.



Figur 7: Opstrøms Falkevej, hvor vandløbet går gennem privat have



Figur 8: Nedstrøms Falkevej. Olsbæk løber i en betonkanal frem til strandarealet



Figur 9: Naturligt vandløb gennem strandarealet

2.1.4 § 3 Naturtyper

Kystzonen er ofte et unikt naturområde, hvori særlige naturværdier er tilstede. På Figur 10 er der vist en oversigt over beskyttede naturtyper inden for området omkring Olsbækkens udløb. Området indeholder et langstrakt område beskrevet som strandeng både nord og syd for vandløbet, som kan påvirkes af etableringen af kystbeskyttelse.

Som følge af at dele af området ved Olsbæk Strand er udpeget som §3-områder, skal der indhentes dispensation hos kommunen, hvor disse områder påvirkes. En dispensation kan eventuelt kræve, at der findes områder, hvor der kan etableres passende erstatningsnatur.



Figur 10: Beskyttede naturtyper, kortlagt af Miljøstyrelsen

2.1.5 Spildevands- og regnvandsbetingede udledninger

Der er indhentet oplysninger om eksisterende ledninger i området. På Figur 11 er vist en oversigt over ledninger fra KLAR forsyning. Der er ikke fundet udledningpunkter i det område, der er undersøgt i forhold til etablering af kystbeskyttelse.



Figur 11: Ledningsoplysninger fra KLAR forsyning, Olsbæk Strand

2.2 Karlslunde Strand

En oversigt over området i Karlslunde Strand er vist i Figur 12.



Figur 12: Projektområde, Karlslunde Strand

I Karlslunde Strand er stranden generelt set smallere end i området ved Olsbæk Strand og i mindre grad præget af klitter. I den nordlige ende af området går stranden hurtigt over i et relativt fladt engareal, der grænser op til det bebyggede areal. Længere mod syd, mellem Ellebovej og Hartmannsvej ses et område, hvor bølgepåvirkningen har eroderet sig længere ind i landet end i den øvrige strækning. Billeder fra stranden og bebyggelsen er vist i Figur 13 til Figur 15.



Figur 13: Karlslunde Strand set fra nord mod syd



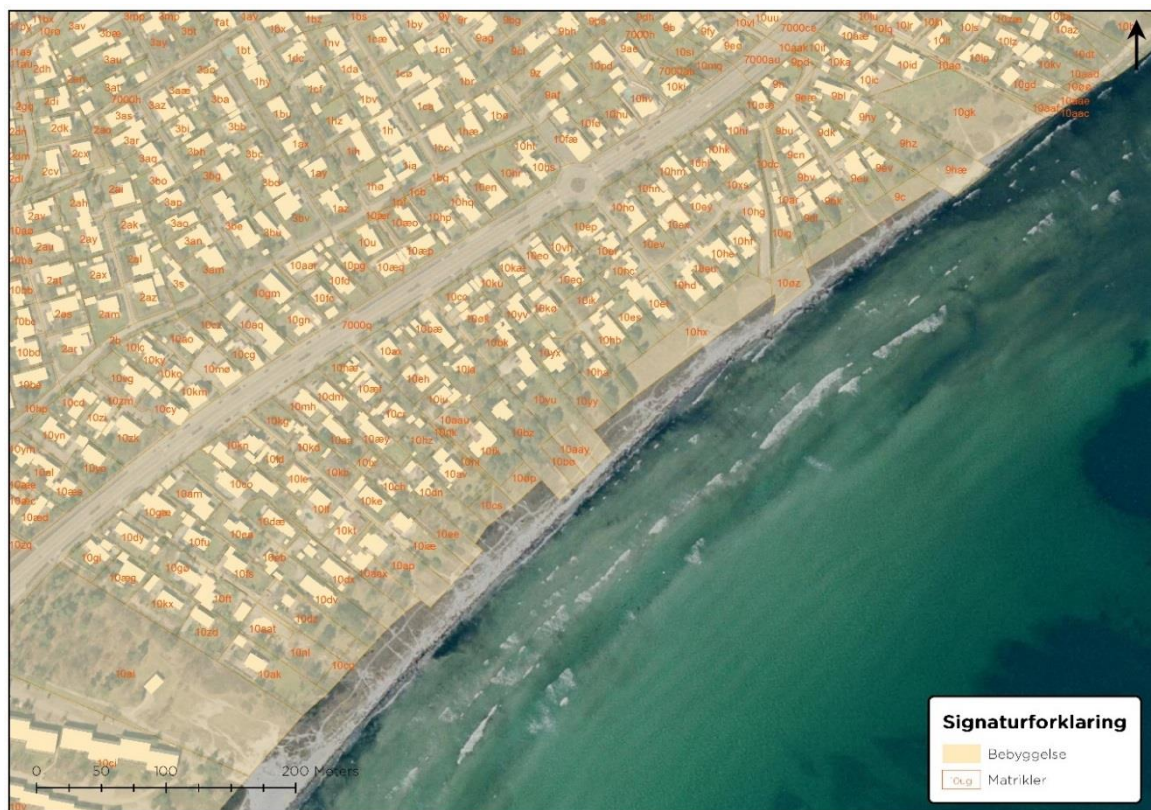
Figur 14: Bebyggelsen set fra strandsiden



Figur 15: Område, hvor der er eroderet et langt stykke ind mod land i forhold til den øvrige del af Karlslunde Strand

2.2.1 Ejerforhold

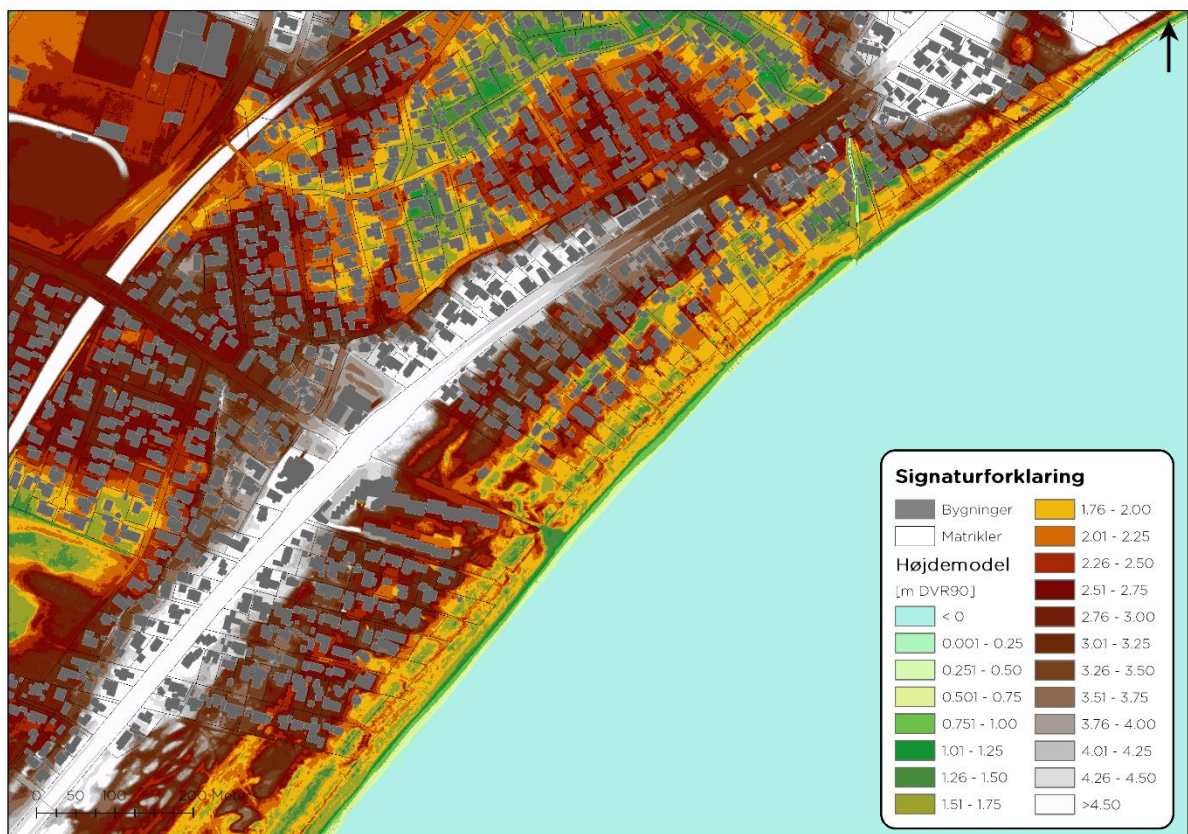
På Figur 16 ses en oversigt over matrikler i området. Størstedelen af matriklerne er privatejede, men enkelte matrikler og arealer er ejet af Greve Kommune. I den nordlige ende af området er matrikel nr. 9hæ og 9c ejet af Greve Kommune. Matriklerne 10 gk og 10hx, der ligger ud mod stranden, er ejet af grundejerforeninger/vejlaug. Længere mod syd, er matrikel 10ai ejet af Greve Kommune.



Figur 16: Matrikler, Datakilde: Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering

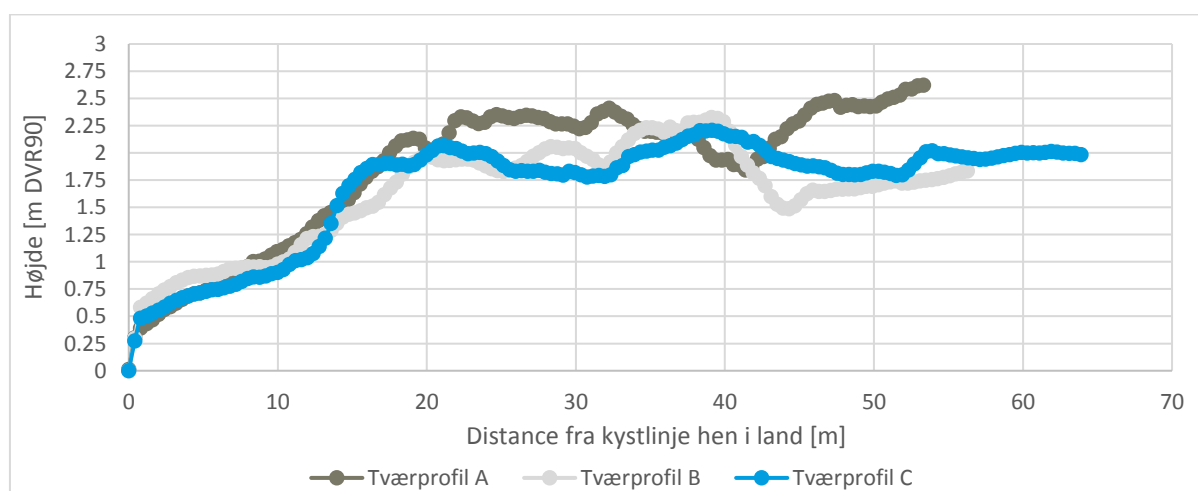
2.2.2 Topografi

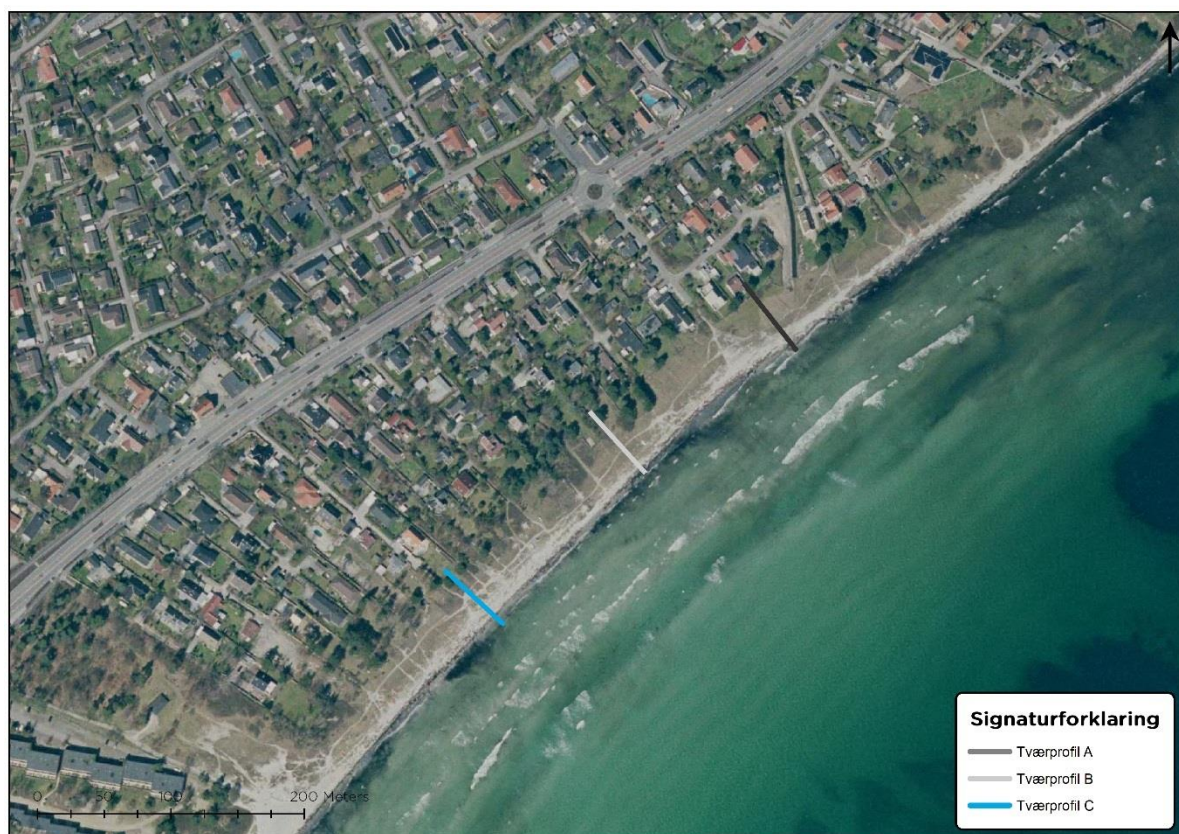
Områdets topografi er vist i Figur 17. Terrænet stiger gradvist fra kystlinjen ind i land. I dele af området ses der at være en lavning bag den forreste række af bygninger, hvor en oversvømmelse kan udbrede sig i store stormflodssituationer.



Figur 17: Terrænforhold, Karlslunde Strand. Kilde: Den danske højdemodel i 40cm x 40 cm opløsning udgivet af Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering

Geometrien af forstranden er varierende for området, dog afspejler den gennemsnitlige form og hældning, det dominerende vejrforhold og tilgængeligheden af sand i området. Terrænet ved Karlslunde Strand stiger hurtigt til et relativt fladt plateau på forstranden, der ligger omkring kote 2. Et eksempel på udvalgte tværprofiler er afbildet i Figur 18.





Figur 18: Eksempel på udvalgte tværprofiler, Karlslunde Strand

2.2.3 Spildevands- og regnvandsbetingede udledninger

I den nordlige del af området i Karlslunde Strand ligger en pumpestation, der pumper vand ud fra en åben regnvandsledning. Regnvandsledningen følger et ældre vandløbstracé. På Figur 19 og Figur 20 ses hhv. indløb til pumpestationen og udløb til Køge Bugt.

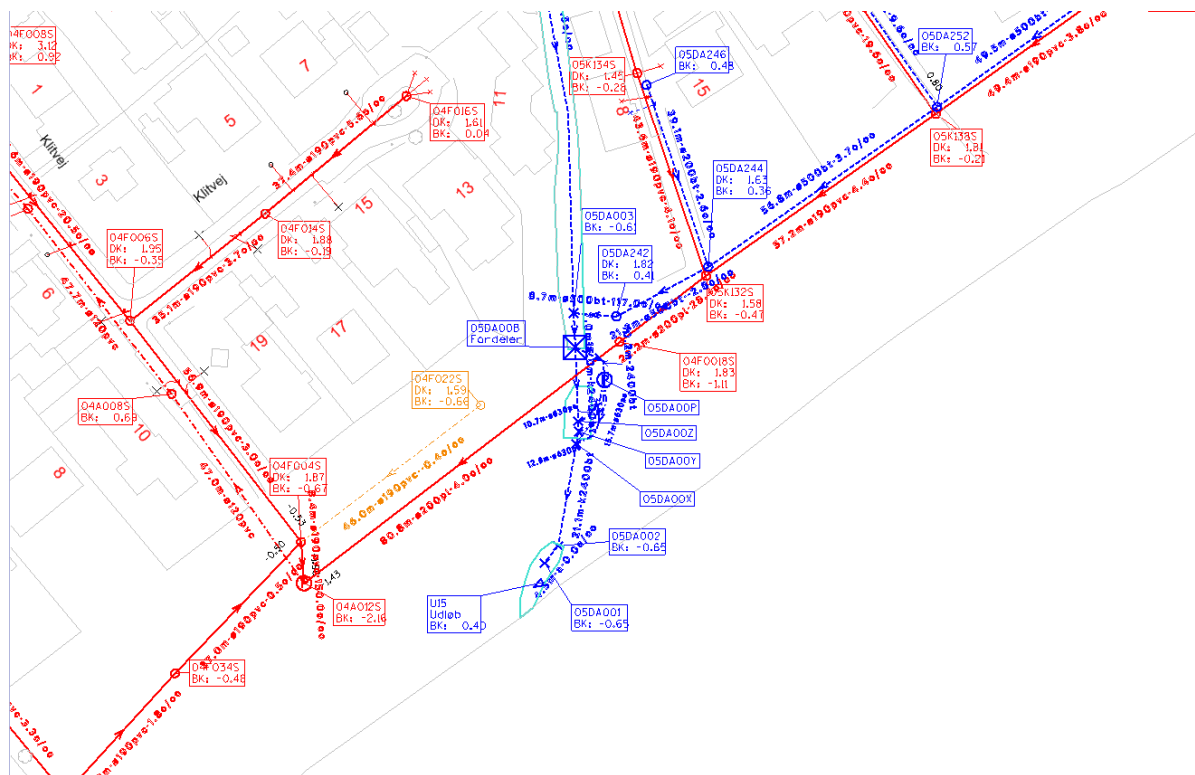


Figur 19: Indløb til pumpestation



Figur 20: Udløb fra pumpestation

Der er indhentet oplysninger omkring eksisterende ledninger hos KLAR forsyning, hvor pumpestation og udløb fremgår. Ledningsoplysningerne omkring pumpestationen er vist i Figur 21.



Figur 21: Ledningsoplysninger fra KLAR forsyning ved pumpestation, Karlslunde Strand

2.2.4 § 3 Naturtyper

På Figur 22 er der vist en oversigt over beskyttede naturtyper inden for området i Karlslunde Strand. Området indeholder et bredt område mellem strand og bebyggelse beskyttet som overdrev, der kan påvirkes af etableringen af kystbeskyttelse.

Som følge af at dele af området ved Karlslunde Strand er udpeget som §3-områder, skal der indhentes dispensation hos kommunen, hvor disse områder påvirkes. En dispensation kan eventuelt kræve, at der findes områder, hvor der kan etableres passende erstatningsnatur.



Figur 22: Beskyttede naturtyper, kortlagt af Miljøstyrelsen

3. STORMFLODER – VANDSTAND OG BØLGER

En redegørelse for stormfloder, er udarbejdet på baggrund af tilgængelige informationer og data om vandstand, vind og bølger, samt centrale estimater for de forventede klimaforandringer.

3.1 Højvandsstatistik

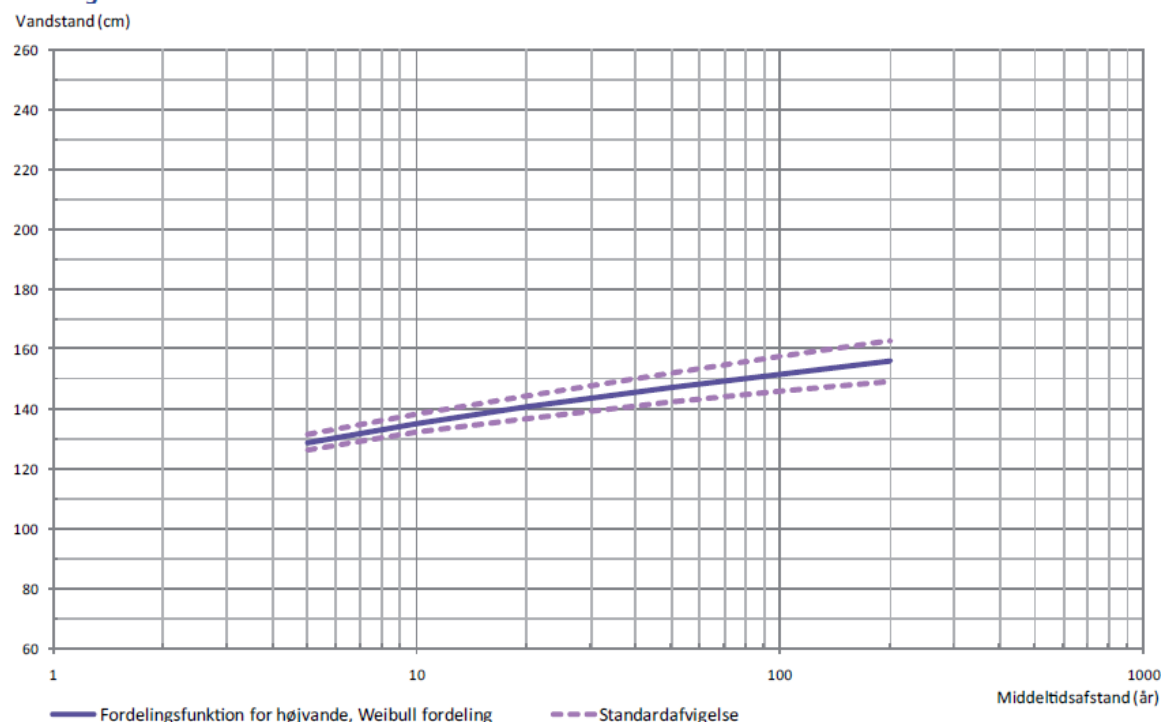
I Danmark er der etableret en række vandstandsmålere spredt langs kysterne, der giver oplysninger om de historiske vandstandsvariationer. Dog er ikke alle steder dækket, ligesom ikke alle tidsserier er lige lange. Kvaliteten er derfor varierende afhængig af lokalitet.

For at kunne vurdere risikoen for oversvømmelse udarbejder Kystdirektoratet en højvandsstatistik på baggrund af de tilgængelige vandstandsmålinger, der estimerer sandsynligheden for at en given vandstand overskrides ved hver enkelt lokalitet. Højvandsstatistikken er derfor essentiel for at vurdere risikoen for oversvømmelse ved stormflod.

Kystdirektoratet udarbejder gennemsnitlig hvert 5. år en højvandsstatistik for de tilgængelige målestationer. Kystdirektoratets højvandsstatistik forholder sig primært til målte data. Vidnesbyrd fra historiebøgerne eller data fra vores nabolande er derfor ej medtaget /2/. Selvom måleren skulle være i drift, når større højvandshændelser indtræffer, er det ikke unormalt, at måleren falder ud under stormflod, så disse vigtige data ikke er med i statistikken. Foruden at skele til andre omkringliggende målestationer, kan eventuelle historiske beskrevne hændelser opjustere estimeringen af middeltidsafstandene.

Den tætteste vandstandsmålestation på Greve Kommune, hvor data er bearbejdet og tilgængelig, er vandstandsmåleren i Køge Havn. Den samlende måletidsserie for Køge Havn er 52,5 år, dog ikke som sammenhængende tidsserie, grundet måler nedtagning og udfald /2/. KLAR Forsyning har dog en lokal vandstandsmåler i Hundige Havn, men data er ej tilgængelig eller indgår i Kystdirektoratets Højvandsstatistik.

De estimerede middeltidsafstande angiver, den statistiske gentagelsesperiode for hvor ofte en given vandstand forventes at indtræffe eller bliver overgået /2/. For Køge Bugt, antages følgende fordelingsfunktion, Figur 23.

Fordelingsfunktion

Figur 23: Højvandsstatistik, Køge Havn. Kilde: Kystdirektoratet, 2012 /2/

3.1.1 Nuværende forhold

Til bestemmelse af ekstremvandstande ved Olsbæk og Karlslunde Strand tages der udgangspunkt i det allerede udførte arbejde i forbindelse med Oversvømmelsesdirektivet og Greve Kommunes Klimatilpasningsplan og Risikostyringsplan, hvor højvandshændelser for nutidige og fremtidige hændelser er undersøgt. Disse undersøgelser baserer sig på højvandsstatistikken i Køge Havn, vist i Figur 23, men statistikken er viderebearbejdet for at finde vandstande med gentagelsesperioder op til 1000 år.

På baggrund af dette er følgende højvandshændelser svarende til middelvandstand i år 2012 udvalgt til nærværende analyse for Olsbæk og Karlslunde Strand, som vist i Tabel 1.

Tabel 1: Estimerede udvalgte højvandshændelser 2012

2012			
100 års hændelse	400 års hændelse	500 års hændelse	1000 års hændelse
+1,54 m DVR90	+2,21 m DVR90	+2,35 m DVR90	+2,80 m DVR90

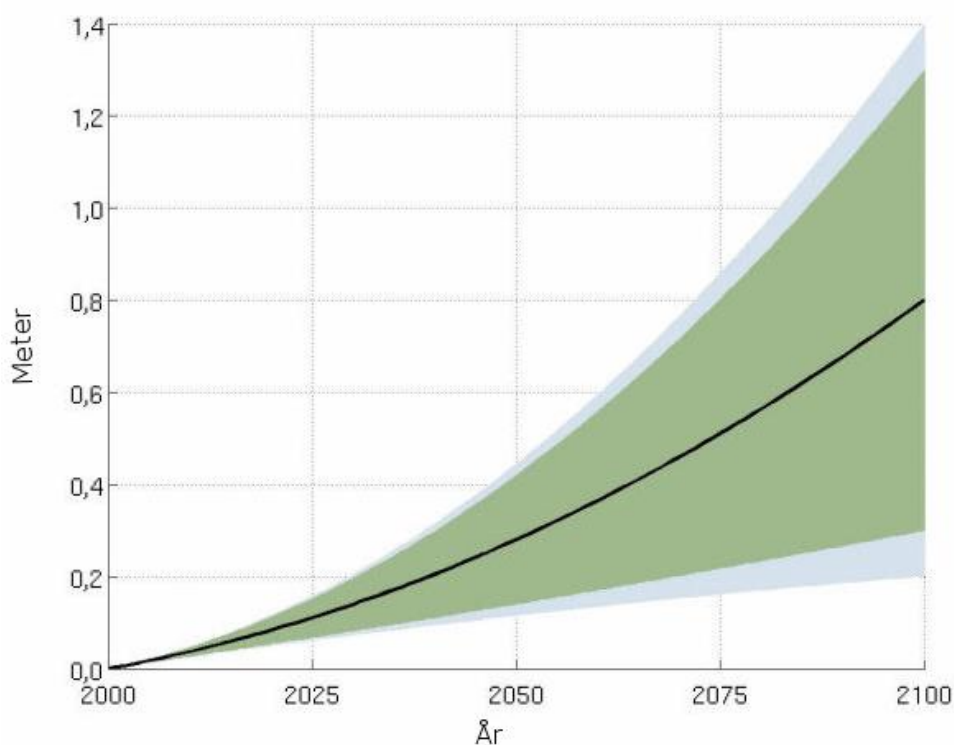
3.1.2 Forventet fremtidige forhold

De fremtidige klimaforandringer vil ikke kun forårsage havspejlstigninger, men der forventes også hyppigere og kraftige storme grundet ændrede vejrforhold. Havspejlstigningerne vil bl.a. afhænge af de fremtidige tiltag for at reducere udledningen af drivhusgasser.

Danmark forventes at opleve hyppigere og kraftigere storme. De største bidrag til stigningen forventes at være den generelle stigning i middel havvandsstandsspejlet samt de ændrede kystmorfologiske processer som følge af ændrede vejrforhold. Det må derfor forventes, at risikoen for problematisk højvande stiger over tid, hvilket bevirker større risiko for oversvømmelse og deraf følgende skader.

Der er udført flere fremskrivninger af de forventede fremtidige havspejlstigninger. I Figur 24 er DMI's bedste bud på fremtidige havspejlstigninger for danske forhold gengivet, ref. /7/, som dog er udarbejdet før den seneste ICCP rapport om klimaforandringer. Denne forventes dog ikke at give anledning til væsentlig ændring af den viste fremskrivning.

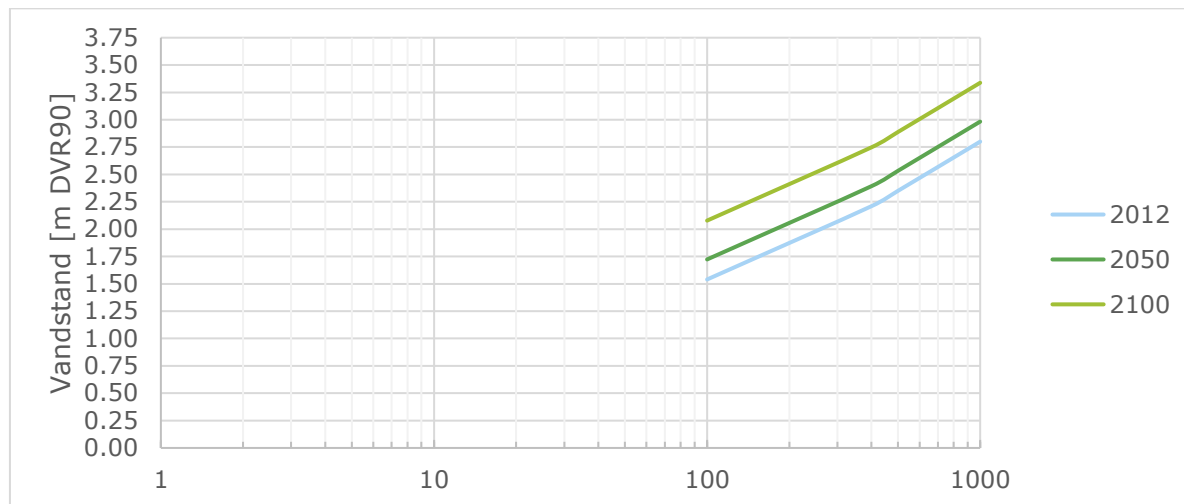
Det forventes på denne baggrund at havvandstanden vil stige yderligere, fra niveauet i 2012, med i størrelsesordenen 24 cm frem mod 2050 og 67 cm indtil år 2100.



Figur 24: Vandstandsstigning som skyldes klimaforandringer. Grønne og blå bånd er usikkerhed. Kilde: Kystdirektoratet /7/

Stigningen i havvandsspejlet skal korrigeres for de isostatiske landhævninger og sætninger, som forventes i samme periode. Landhævningen vil reducere havvandstandsstigningen, mens sætninger vil forstærke effekten, men generelt vurderes disse bevægelser væsentlig mindre end den forventede stigning i det globale havvandstandspejl. Landhævningen i Køge Bugt vurderes at være i størrelsesordenen 1,5 mm/år eller ca. 6 cm frem til 2050 og ca. 13 cm frem til 2100, /9/. Det er konservativt i det følgende valgt at se bort fra effekten af landhævning.

Den korrigerede statistik for området estimeres som følgende, Figur 25.



Figur 25: Estimeret fremtidige højvandstatistik

De estimerede gentagelsesperioder for de udvalgte vandstande er anført i Tabel 2 og Tabel 3. Bemærk at vandstande som kan give oversvømmelser, sker oftere i fremtiden.

Tabel 2: Estimerede udvalgte højvandshændelser 2050

2050			
10 års hændelse	270 års hændelse	330 års hændelse	700 års hændelse
+1,54 m DVR90	+2,21 m DVR90	+2,35 m DVR90	+2,80 m DVR90

Tabel 3: Estimerede udvalgte højvandshændelser 2100

2100			
1 års hændelse	100 års hændelse	130 års hændelse	400 års hændelse
+1,54 m DVR90	+2,21 m DVR90	+2,35 m DVR90	+2,80 m DVR90

Estimering af højvande er forbundet med utallige usikkerheder, hvorfor det centrale for undersøgelse af problemstillingerne vedrørende kystoversvømmelse derfor ikke alene er højvandsestimaterne, men en analyse af sårbarheden overfor oversvømmelse, altså en kortlægning af konsekvenserne.

Estimaterne for fremtidige højvande anbefales løbende revurderet i forhold til eksisterende datagrundlag. Dette skyldes både et foranderligt klima, og at to storme sjældent er ens, da der er mange parametre som gør sig gældende.

Med baggrund i højvandsestimaterne kan en sikringskote, som bl.a. omfatter tillæg for vind og bølger, og valg af kystbeskyttelsestiltag designes. En risikoanalyse vil kunne understøtte en beslutningsproces, og dermed sikre en bæredygtig klimatilpasningsindsats.

3.2 Bølgepåvirkning under højvandshændelser

Bølgeforholdene i Køge Bugt bestemmes ud fra "frit-stræk" metoden beskrevet i ref. /3/. Når bølgerne nærmer sig Greve Strand kan bølgehøjden begrænses af vanddybden. Den signifikante bølgehøjde kan blive 0,5-0,6 gange vanddybden, ref. /5/. Den signifikante bølgehøjde foran kystbeskyttelsen bestemmes således ved:

$$H_s = \min(H_{s, \text{frit stræk}}; 0,6 \times h)$$

hvor h er vanddybden ved foden af kystbeskyttelsen.

De største bølger i Køge Bugt vil genereres under vind fra øst. Det maksimale frie stræk over hvilket bølger kan genereres er omkring 20 km i østlig retning. Kombinationer af østenvind og højvande ved forskellige stormflodshændelser i Køge er præsenteret i Tabel 4.

Tabel 4: Kombinationer af østenvind og højvande i Køge, ref. /1/, /2/ og /6/.

Dato	1872	6. december 2003	4. januar 2017
Vandstand	Ca. 3m	1,43m DVR90	1,57m DVR90
Vindhastighed (middel)	Ca. 32 m/s	17 m/s	8 m/s

Til beregning af bølgepåvirkning under stormflodshændelser antages det, at de undersøgte vandstande skal kombineres med en østenvind på 17 m/s.

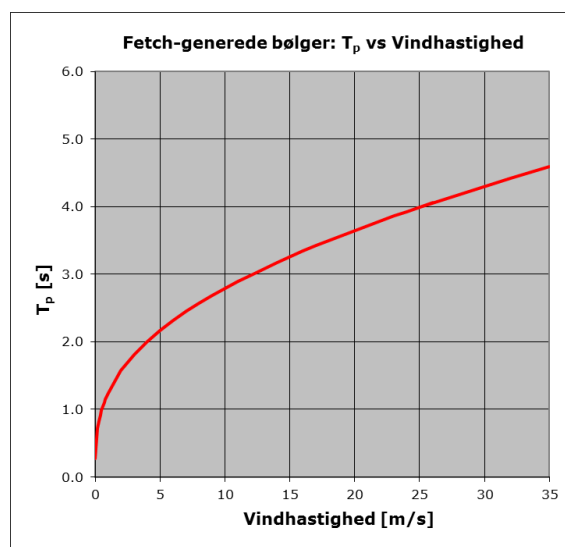
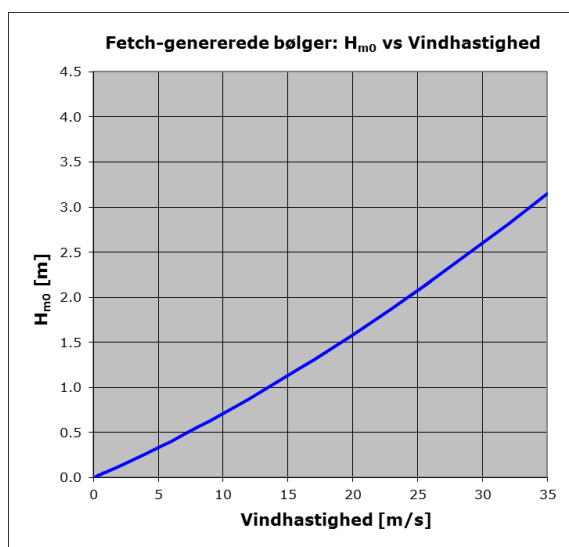
Det antages, at vinden har en konstant retning og styrke i beregningen af bølgedata. Endvidere antages det konservativt at vanddybden i Køge Bugt er stor nok til at bølgebrydning ikke foregår. Det bemærkes at beregningsmetoden /3/ er uafhængig af vanddybde og derfor vil give konservative resultater.

I Tabel 5 er vist signifikant bølgehøjde og peak bølgeperiode som funktion af vindhastighed for et frit stræk på 20 km.

I Figur 26 er vist de beregnede bølgeforhold ved frit-stræk metoden ud for Greve Strand for ekstreme stormsituationer med vind fra østlig retning.

Tabel 5: Bølgeforhold ud for Greve Strand bestemt med frit-stræk metoden.

Frit stræk	Vindhastighed	Signifikant bølgehøjde	Peak bølgeperiode
[km]	U [m/s]	H_s, frit stræk [m]	T_p [s]
20	17	1,31	3,42
20	32	2,81	4,42



Figur 26: Signifikant bølgehøjde og peak bølgeperiode som funktion af vindhastighed. Frit stræk på 20km.

For kystbeskyttelseskonstruktioner, der planlægges på land, kan bølgehøjden blive begrænset af vanddybden foran konstruktionen på grund af bølgebrydning, som beskrevet i starten af dette

afsnit. De relevante vanddybder til bestemmelse af dybdebegrænsningen ved forskellige stormflodshændelser er bestemt på baggrund af højdekurver udtrukket ved henholdsvis Olsbæk Strand og Karlslunde Strand.

Ved Olsbæk Strand ligger den eksisterende forreste klitrække (nærmest havet) omkring kote +1,75. Det antages således, at indkommende bølger i stormflodshændelserne vil begrænses af vanddybden i denne kote.

Ved Karlslunde Strand kan vandet trække et stykke op på den nuværende strand og bølgerne vurderes at blive begrænses ved et terrænniveau omkring kote +1,65m.

Bølgehøjder begrænset af vanddybden ved henholdsvis Olsbæk Strand og Karlslunde Strand er givet i Tabel 6. Bølgehøjder begrænset af vanddybden er beregnet for vandstande i hhv. kote 2,21 og kote 2,35, svarende til vandstande med nuværende gentagelsesperiode på hhv. 400 og 500 år.

Tabel 6: Bølgeforhold ud for henholdsvis Olsbæk og Karlslunde Strand bestemt $H_s = 0,6 \times h$.

Lokation	Vandstand [m]	Vanddybde [m]	Signifikant bølgehøjde $H_{s, 0,6 \times h}$ [m]
Olsbæk Strand	2,21	0,46	0,28
	2,35	0,59	0,35
Karlslunde Strand	2,21	0,56	0,34
	2,35	0,71	0,43

Ved sammenligning af bølgehøjderne som angivet i Tabel 6 ses det, at bølgerne ved både Olsbæk og Karlslunde Strand er dybdebegrænsede. Det antages, at bølgeperioderne ikke ændres grundet bølgebrydning. Bølgeforholdene til design af kystbeskyttelsen er givet i Tabel 7.

Tabel 7: Bølgeforholdene til design af kystbeskyttelsen for henholdsvis Olsbæk og Karlslunde Strand bestemt ved $H_s = \text{minimum } (0,6 \times h; H_{s, \text{frit stræk}})$.

Lokation	Vandstand [m]	Vindhastighed [m/s]	Signifikant bølgehøjde H_s [m]	Bølgeperiode, T_p [s]
Olsbæk Strand	2,21	17	0,28	3,42
	2,35	17	0,35	3,42
Karlslunde Strand	2,21	17	0,34	3,42
	2,35	17	0,43	3,42

3.3 Bølgeoverskyl ved etablering af kystbeskyttelse

Ved etablering af kystbeskyttelse, skal tiltaget sikres i forhold til bølgeoverskyl. Bølgeoverskyllet på kystbeskyttelse, q , vurderes i henhold til EurOtop, ref. /4/, ved følgende:

$$\frac{q}{\sqrt{g H_{m0}^3}} = \frac{0.067}{\sqrt{\tan \alpha}} \gamma_b \xi_{m-1,0} \exp \left(-4.3 \frac{R_c}{\xi_{m-1,0} H_{m0} \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \gamma_v} \right)$$

$$\log \text{ maximum } \frac{q}{\sqrt{g H_{m0}^3}} = 0.2 \exp \left(-2.3 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_f \gamma_\beta} \right)$$

H_{m0} er den signifikante bølgehøjde, α er digets hældning, og $\xi_{m-1,0} = \tan(\alpha) / \sqrt{2\pi H_{m0} / g T_{m-1,0}^2}$ er det såkaldte Irribaren-tal, som vurderer graden og typen af bølgebrydning. $T_{m-1,0} = T_p / 1.1$.

$\gamma_b = \gamma_\beta = \gamma_v = 1$ er reduktionsfaktorer for henholdsvis fod (berm), bølgers indfaldsvinkel og tilstedeværelsen af en bølgevæg. For konservativ beregning sættes de alle lig 1. γ_f er en reduktionsfaktor, som tager højde for ruheden af diget. I dette tilfælde sættes $\gamma_f = 1$, svarende til græsbeplantning.

R_C er det såkaldte 'crest freeboard'; afstanden fra vandspejl til toppen af diget.

Denne metode til vurdering af bølgeoverskyl er udarbejdet for traditionelle diger.

Ref. /4/ præsenterer forskellige grænser for bølgeoverskyl afhængigt af beskyttelsesniveau af personer og materiel. Det antages, at bølgeoverskyllet ikke må være til stor gene for fodgængere samt at der ikke må ske skade på bagsiden af kystbeskyttelsen. Dette kræver en maksimalt tilladelig overskyldsmængde på 0,1 l/m/s (middelværdi).

3.4 Sikringskote

Målet med etablering af kystbeskyttelse i Olsbæk og Karlslunde Strand er, at bringe Olsbæk og Karlslunde op på et sammenligneligt sikkerhedsniveau i forhold til stormflod, som resten af kommunen. Generelt sikres Greve Kommune mod en vandstand i kote + 2,8 m DVR90 svarende til en nuværende 1000 års hændelse. I de kystnære områder som Olsbæk og Karlslunde Strand er en del af, skal en kystbeskyttelseskonstruktion designes for både vandstand og et bølgetillæg, for at begrænse bølgeoverløbet i en stormflodssituation. Generelt set kan kronekoten af kystbeskyttelseskonstruktionen bestemmes ud fra følgende bidrag:

- Designvandstand
- Bølgetillæg
- Tillæg for vandstandsstigning
- Korrektion for landhævning/sænkning
- Tillæg for sætninger i jord

Med udgangspunkt i en sikring mod en vandstand i kote + 2,8 DVR90 (inkl. vandstandsstigning) vurderes det nødvendige bølgetillæg, for at begrænse bølgeoverskyllet som angivet i afsnit 3.3, at bringe kronekoten over kote 3. Tillæg for sætninger og korrektion for landhævninger ses der i første omgang bort fra. Sætninger imødegås typisk enten ved at designe med en overhøjde, eller ved at efterfylde når sætningerne registreres.

En kronekote, der ligger over kote 3m, vurderes ikke at være ønskeligt af grundejere i området og kommunen hvorfor det er besluttet at undersøge muligheden for at etablere kystbeskyttelse med to forskellige lavere kronehøjder i hhv. kote +2,6 og kote +2,8 m DVR90.

For hver af disse kronekoter bestemmes den vandstandskote som kystbeskyttelsen kan modstå, under hensyntagen til at bølgeoverskyllet skal begrænses til maksimum 0,1 l/s/m og dermed også hvilken sandsynlighedshændelse dette svarer til under nuværende forhold og ved fremtidige forhold med vandspejlsstigning. Dette er behandlet nærmere i afsnit 5, hvor der er gjort antagelser om kystbeskyttelsens udformning. En oversigt over resultaterne er vist i Tabel 8.

Tabel 8: Sammenfatning af bestemmelse af designvandstand

Designvandstand (m DVR90)	Bølgetillæg (m)	Kronekote (m DVR90)	Gentagelsesperiode af designhændelse i 2012	Gentagelsesperiode af designhændelse i 2100
2,21	0,39	2,6	400 år	100 år
2,35	0,45	2,8	500 år	130 år

4. KONSEKVENSER VED OVERSVØMMELSE

I dette afsnit bestemmes, hvilke arealer og hvor store værdier, der er i risiko for at blive oversvømmet ved forskellige højvandshændelser i hhv. Olsbæk Strand og Karlslunde Strand. Olsbæk Strand og Karlslunde Strand er allerede, under implementering af Oversvømmelsesdirektivet og de nationale klimatilpasningsplaner, udpeget som områder med forhøjet risiko. En supplerende analyse med fokus på risikoudviklingen og de økonomiske konsekvenser er udført og beskrevet i indeværende afsnit.

Oversvømmelsesudbredelsen er vurderet på baggrund af SCALGO live værktøjet, som statisk udregner oversvømmelsesudbredelsen i den danske hydraulisk tilpassede højdemodel udgivet af Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering, til vandstandskoter estimeret fra Højvandsstatikken udgivet af Kystdirektoratet jf. afsnit 2.1.1 og 3.1.

4.1 Risikoanalyse

Til bestemmelse af forventede skadesomkostninger i forbindelse med stormflod indenfor de to områder i Olsbæk og Karlslunde Strand, udføres en risikoanalyse. Risiko kan defineres som produktet af sandsynlighed og konsekvens. Risiko er hermed resultatet af sandsynligheden for en konkret oversvømmelsesfare samt områdets sårbarhed og graden af eksponering. Der er ofte store samfundsøkonomiske omkostninger forbundet med oversvømmelse, hvorfor det er vigtigt at identificere risikoområder.

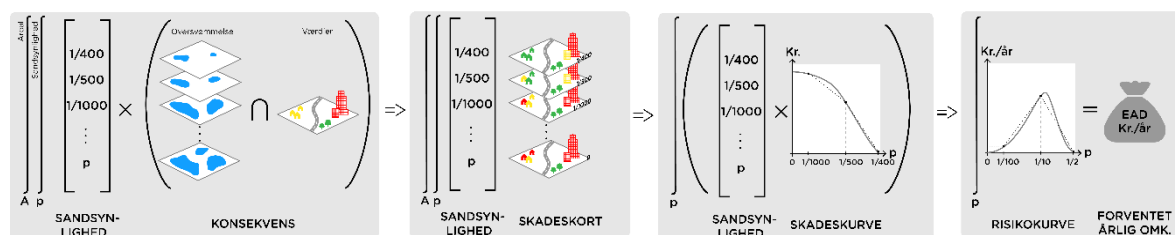
Risikoanalysen giver et overblik over, hvilke områder der er særligt udsatte for oversvømmelser og samtidig er værdifulde for samfundet. Det er derfor et effektivt værktøj til at målrette klimatilpasningen til områder, hvor der kan skabes de største besparelser på omkostninger relaterede til oversvømmelser.

I det allerede udførte arbejde under Oversvømmelsesdirektivet og klimatilpasningsplanen er risikoen udregnet for udvalgte hændelser. En såkaldt risikoscreening er dermed foretaget. For de konkrete projektområder, Olsbæk Strand og Karlslunde Strand, opkvalificeres tidligere analyser med udregningen af de gennemsnitlige forventede årlige omkostninger for skaderne.

4.1.1 Forventede årlige omkostninger (EAD)

Kortlægningen af risikoen kan opgøres økonomisk som de gennemsnitlige forventede årlige omkostninger (EAD: Expected Annual Damage). Altså er EAD et økonomisk udtryk for de omkostninger, der må forventes at være ved oversvømmelse. Ved at beregne og sammenholde de gennemsnitlige forventede årlige omkostninger for forskellige klimatilpasningsstrategier kan den økonomisk mest fordelagtige indsats identificeres.

Beregningen af de forventede årlige omkostninger (EAD) foretages i praksis ved, at man for en række sandsynligheder udregner skadernes udbredelse og dernæst integrerer op over både arealet og alle sandsynligheder, Figur 27. Alle skader, der kan prissættes, bør inkluderes i beregningerne, således samfundsøkonomiske omkostninger afspejles.



Figur 27: Forventede årlige omkostninger (EAD) beregninger

Optimalt set, fås det bedste estimat af EAD ved at beregne skader for en lang række gentagelsesperioder. Men da det er ressourcekrævende at lave hydrauliske beregninger for samtlige gentagelsesperioder, udvælges et langt færre antal gentagelsesperioder, som der efterfølgende interpoleres imellem.

Det er derfor kritisk at udvælge repræsentative gentagelsesperioder, da skadeskurven typisk ikke udvikler sig lineært, men har en karakteristisk af en logaritmisk kurve med hurtigt voksende skadesomkostninger i begyndelsen, hvorefter skadeskurven flader ud, som gentagelsesperioden stiger. Bemærk analysen er meget sensitiv til valg af antal og valg af gentagelsesperioder

4.1.2 Estimering af skadesomkostninger

Skadesomkostninger dækker skaderne, der opstår under og efter oversvømmelser, fx skader på bygninger, oprydning i huse og på veje, tab af indbo og inventar, genhusning, forsinkelser for private og erhverv, etc. Opgørelsen af skadesomkostningerne eller de markedsomsatte omkostninger, kan dog laves mere eller mindre kompleks hvorfor det er vigtigt at være opmærksom på forudsætningerne.

Opgørelse af skader i forbindelse med oversvømmelser er en omfattende opgave, der både kræver store mængder data, men også er forbundet med store usikkerheder. Det er derfor vigtigt, at afgrænse sig på forhånd og fastlægge detaljeringsgraden.

Indeværende analyse medtager dog kun potentielle skadesomkostninger ved oversvømmelse af bebyggelse. De økonomiske beregninger tager udgangspunkt i opgjorte offentlige kvadratmeter for ejendomme hentet fra Bygnings- og Boligregisteret (BBR). Skaderne er forsøgt estimeret på baggrund af antal oversvømmelsestruet kvadratmeter bygning.

Til at prisfastsætte de kvadratmeter som bliver skadet under hver hændelse er der i denne analyse anvendt enhedspriser fra PLASK, som er et samfundsøkonomisk beregningsværktøj til klimatilpasningsproblemer fra Miljøministeriet. Beregningsværktøjet PLASK version 2.1, som estimerer en enhedspris for oversvømmelse af stueetagen i privat bebyggelse til 1153 kr./m² i 2017.

Det kan diskuteres hvorvidt de estimerede nationale skadespriser er repræsentative, men de opdateres løbende, som følge af at flere registreringer og frigivelse af datasæt finder sted. Det bemærkes ligeledes at de potentielle skader og tab ved oversvømmelse ikke er stigende med stigende vanddybde i denne type estimat. Endvidere er eventuelle udgifter forbundet med saltvandsindtrængning eller løst flydende objekter, som kan forvolde yderligere skade på materielle værdier, ikke medtaget.

4.1.3 Beregningsgrundlag og antagelser

Analysen er udført under følgende antagelser:

- Analyseperiode 2017-2100
- Eksponentiel vækst af skadesomkostninger
- Priseniveau 2017
- Diskonteringsrente 3%

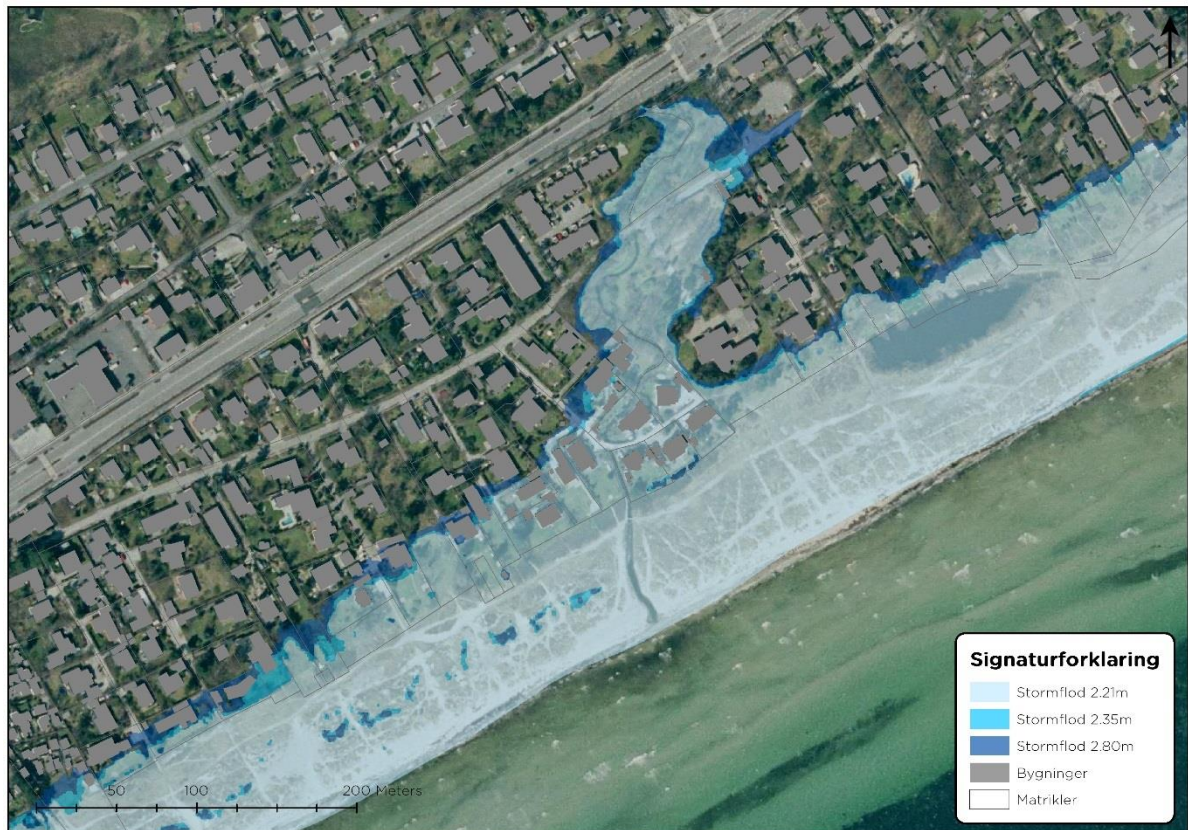
De anvendte økonomiske begreber er defineret i Bilag 1.

4.2 Olsbæk Strand

4.2.1 Oversvømmelsesudbredelse

Området omkring Olsbækkens udløb er særligt udsat under oversvømmelse grundet det lavtliggende terræn. På Figur 28 ses den estimerede oversvømmelsesudbredelse ved vandspejlskoter i

hhv. 2,21, 2,35 og 2,8. Det ses at oversvømmelsesudbredelsen ikke varierer betydeligt indenfor de udvalgte gentagelsesperioder.



Figur 28: Oversvømmelsesudbredelse for udvalgte hændelser, Kilde: SCALGO LIVE.

4.2.2 Udsatte værdier

Området omkring Olsbækkens udløb består primært af enkeltstående helårs enfamiliehuse, som under højvande ligger udsat. Figur 29 indikerer hvilke bygninger, der er udsatte under de forskellige udvalgte hændelser, idet de bebyggelser, som allerede er udsatte for oversvømmelser under hyppigere hændelser, også er indeholdt i de mere sjældne hændelser. Det ses, at den største andel huse allerede rammes under højvande på +2,21 m DVR90 og der ikke kommer et større antal bygninger til ved højere vandstand, hvilket også understøttes af analysen for terrænet udformning og oversvømmelsesudbredelsen, jf. afsnit 2.1.1 og 4.2.1.



Figur 29: Potentielt udsatte bygninger under udvalgte stormflodshændelser.

Området indeholder ikke kun bygninger, men også infrastruktur som oversvømmes under højvande. Dette hindrer adgangsforhold til udvalgte bebyggelser, særligt omkring Falkevej, se eventuelt Figur 1 og Figur 28.

4.2.3 Skadesomkostninger

Skadesomkostningerne er udregnet for områdets beboelse og erhvervsbygninger under udvalgte hændelser, Tabel 9.

Tabel 9: Estimeret skadesomkostninger for bygninger, Olsbæk Strand

	Antal udsatte bygninger	Antal udsatte BBR estimerede bebygget kvadratmeter (m ²)	Estimerede skadesomkostninger for udsatte bygninger (mio. kr.)
+ 1,54 m DVR90	0	0	~ 0
+ 2,21 m DVR90	14	2108	~2,4
+ 2,35 m DVR90	15	2183	~2,5
+ 2,80 m DVR90	17	2553	~2,9

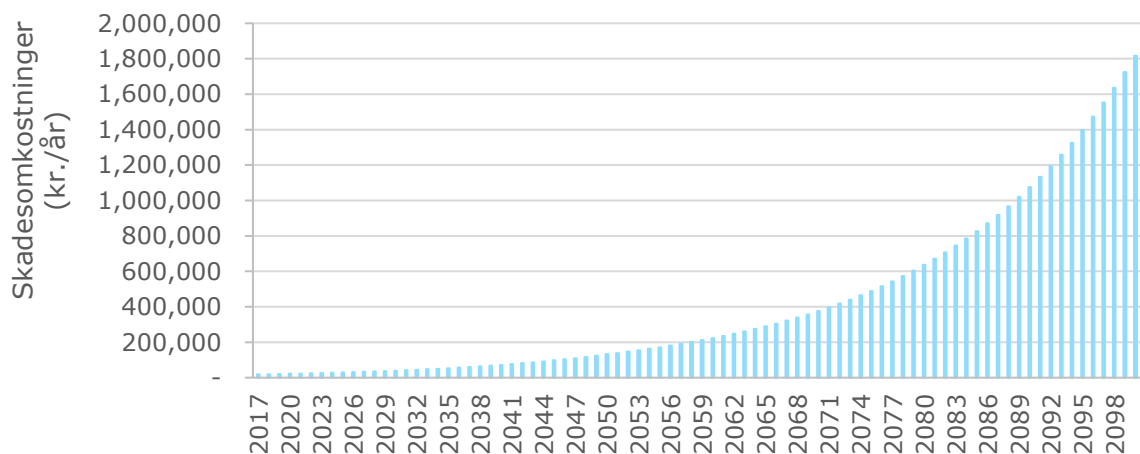
Den approksimerede skadeskurve for Olsbæk Strand bliver derfor som følger,



Figur 30: Approksimerede skadeskurve for Olsbæk Strand

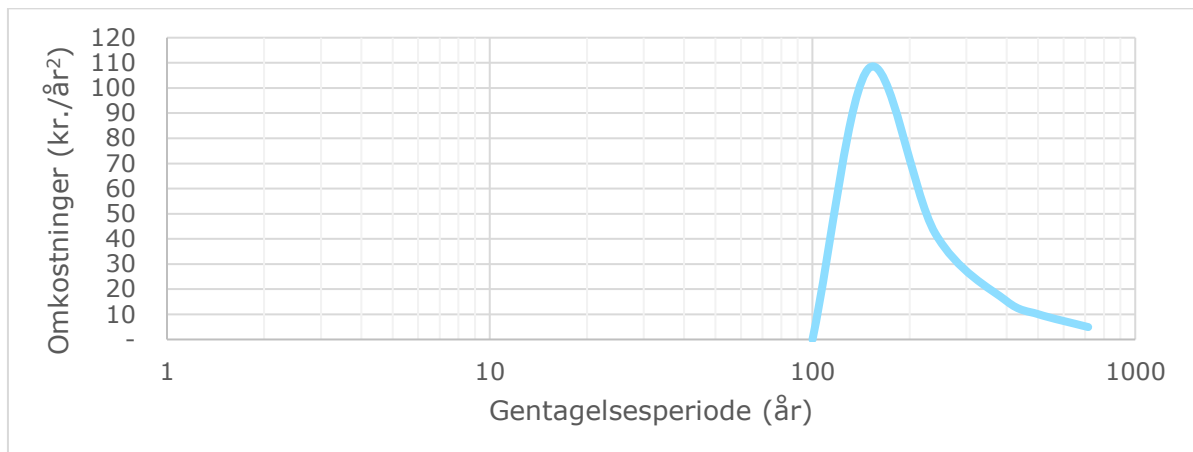
4.2.4 Risikoudvikling

De gennemsnitlig forventede årlige omkostninger formodes kun at øges over tid uden kystbeskyttelse, som resultat af hyppigere højvande og flere akkumuleret værdier, Figur 31.



Figur 31: Risikoudvikling under nuværende forhold, Olsbæk Strand

Risikotætheden angiver det relative bidrag til den samlede forventede årlige omkostninger som funktion af gentagelsesperioden. I dag indikerer risikotætheden for projektområdet Olsbæk Strand derfor, at de største risici er forbundet med de skadesomkostninger, der indtræffer som resultat af mere hyppige gentagelsesperioder (~125-200 års stormflodshændelser) end dem der indtræffer sjældnere (~300-1000 års stormflodshændelserne), Figur 32.

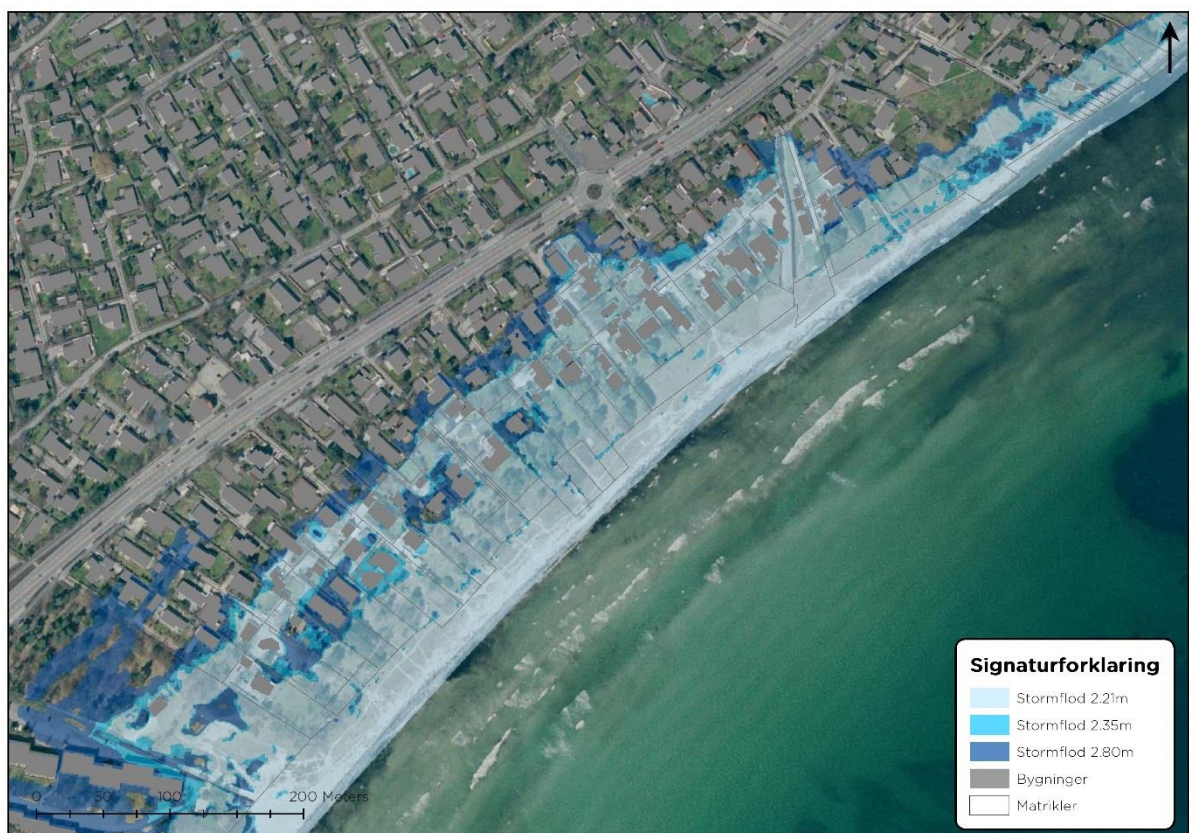


Figur 32: Risikotæt for Olsbæk Strand, 2017

4.3 Karlslunde Strand

4.3.1 Oversvømmelsesudbredelse

Karlslunde Strand ligger højere end Olsbæk Strand og er derfor først udsat ved højere vandstandshændelser. Oversvømmelsesudbredelsen ved vandspejlskoter i hhv. 2,21 m, 2,35 m og 2,8 m er vist i Figur 28. Det ses at oversvømmelsesudbredelsen gradvist øges indenfor de udvalgte gentagelsesperioder, Figur 28.



Figur 33: Oversvømmelsesudbredelse for udvalgte hændelser, Kilde: SCALGO LIVE.

4.3.2 Udsatte værdier

Området omkring Karlslunde Strand består primært af enkeltstående enfamiliehuse og sommerhuse, som under højvande ligger udsat. Området indeholder ikke kun bygninger, men også infrastruktur som oversvømmes under højvande. Figur 34 indikerer hvilke bygninger, der er udsatte under de forskellige udvalgte hændelser, idet de bebyggelser, som allerede er udsatte for oversvømmelser under hyppigere hændelser, også er indeholdt i de mere sjældne hændelser. Ved Karlslunde Strand ligger bebyggelsen så relativt højt, at der ikke sker nogen oversvømmelse af bygninger og infrastruktur ved vandspejlskoter mellem 1,5 og 1,7. Derimod er der relativt store arealer, der bliver oversvømmet ved vandspejlskoter på 2,2 og derover. Det ses, at den største andel huse allerede rammes under vandstande til +2,21 m DVR90, men at antallet af oversvømmede bygninger stiger gradvist med højere vandstande, hvilket også understøttes af analysen for terrænets udformning og oversvømmelsesudbredelsen, jf. afsnit 2.2.2 og 4.3.1.



Figur 34: Potentielt udsatte bygninger under udvalgte stormflodshændelser, Karlslunde Strand.

De udsatte værdier begrænser sig derved primært til private grundejere og enkelte erhverv. Pumpestationer relaterende sig til regnvandsbetinget udledning er ligeledes udsatte under ekstremt højvande jf. 2.2.3.

4.3.3 Skadesomkostninger

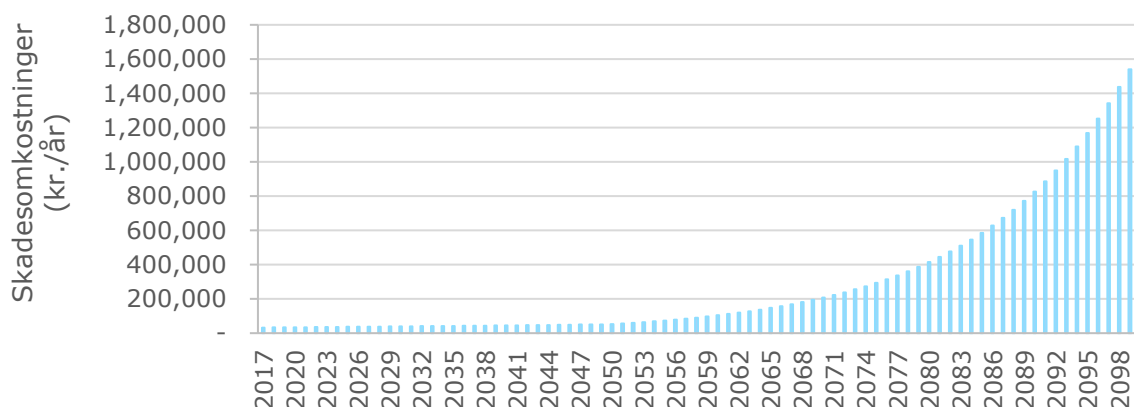
Skadesomkostningerne er udregnet for områdets sommerhuse, beboelse og erhvervsbygninger under udvalgte hændelser, Tabel 10.

Tabel 10: Estimeret skadesomkostninger for bygninger, Karlslunde Strand

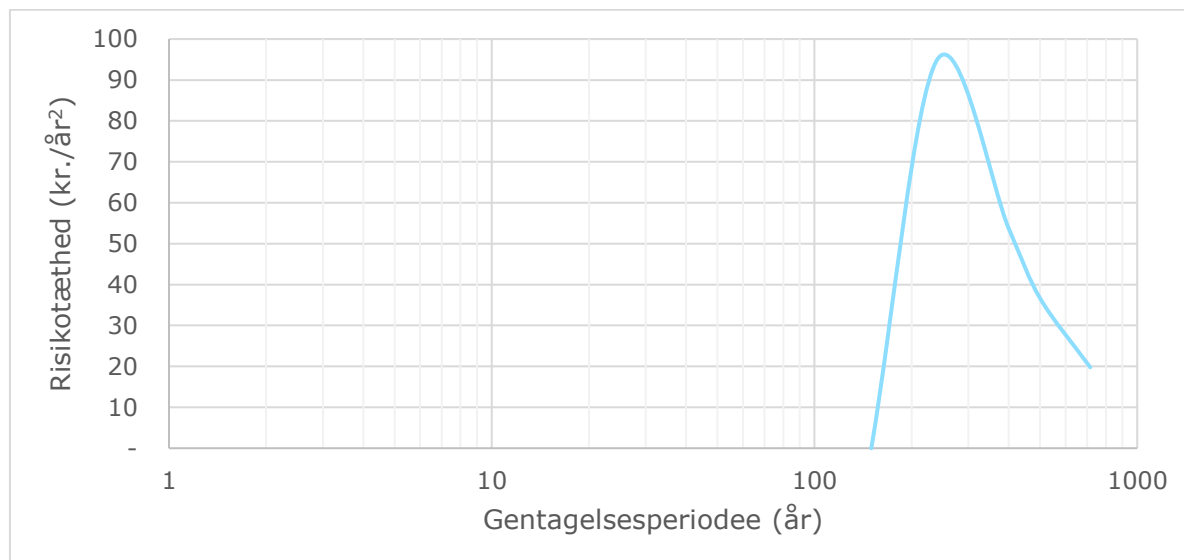
	Antal udsatte bygninger	Antal udsatte BBR estimerede bebygget kvadratmeter (m ²)	Estimerede skadesomkostninger for udsatte bygninger (mio. kr.)
+ 1,54 m DVR90	0	0	~ 0 kr.
+ 2,21 m DVR90	47	7430	~ 8.6 mio. kr.
+ 2,35 m DVR90	49	7929	~ 9,2 Mio kr.
+ 2,80 m DVR90	60	9257	~ 10,7 mio. kr.

4.3.4 Risikoudvikling

De gennemsnitlig forventede årlige omkostninger formodes kun at øges over tid uden klimatilpasningstiltag, som resultat af hyppigere højvande og flere akkumuleret værdier, Figur 35.

**Figur 35: Risikoudvikling under nuværende forhold, Karlslunde Strand.**

Risikotætheden angiver det relative bidrag til den samlede forventede årlige omkostninger som funktion af gentagelsesperioden. I dag indikerer risikotætheden for projektområdet Karlslunde Strand derfor, at de største risici er forbundet med de skadesomkostninger, der indtræffer som resultat af mere hyppige gentagelsesperioder (~200-300 års stormflodshændelser) end dem der indtræffer sjældnere (~500-1000 års stormflodshændelserne), Figur 36.

**Figur 36: Risikotæthed for Karlslunde Strand, 2017**

5. SKITSEFORSLAG

I det følgende er der givet forslag til kystbeskyttelse for hhv. Olsbæk og Karlslunde Strand. Der sigtes mod, at en eventuel kystbeskyttelsesindsats, i videst muligt omfang, både skal være teknisk optimeret og fremstå som en helhedsorienteret løsning, hvor lokale interesser og lovgivning er inkluderet.

Der tages udgangspunkt i de identificerede forhold omkring højvandstande, bølger, vind, vanddybder mv. for at sikre effektiv kystbeskyttelse med minimale gener. Indsatserne må derfor ikke forøge risikoen for oversvømmelse væsentlig uden for indsatsområderne.

Afhængig af sikringstype og indsats varierer designkoten for kystbeskyttelses anlæg.

Nærværende afsnit, belyser relevante problemstillinger.

5.1 Olsbæk Strand

Ved analyse af den nuværende topografi i området ved Olsbæk Strand findes det, at klitterne og det nuværende terræn skråner med hældninger i størrelsesordenen mellem 1:10 og 1:15. Ved forslaget til kystbeskyttelse tilstræbes det, at der mod de eksisterende strandklitter ikke skabes terrænhældninger, der kommer til at virke unaturligt stejle. Det er i den indledende fase undersøgt om kystbeskyttelsen kan etableres ved at forhøje de eksisterende klitter og bevare hældningerne på 1:10-1:15. Dette giver dog problemer med gennemførelse af vandløbet gennem klitrækken, da det vil være vanskeligt at etablere en passende konstruktion der kan lukke vandløbet af i højvandssituationer. I stedet foreslås det at etablere et traditionelt dige med græsbeklædning, der er trukket tilbage fra stranden, og beliggende umiddelbart på havsiden af de eksisterende matrikler. Det foreslås at etablere diget med en forholdsvis flad skråning mod stranden, så det bedst muligt indgår i det eksisterende terræn. Dimensionerne af de foreslåede digekonstruktioner er sammenfattet i Tabel 15.

Tabel 11: Dimensioner af diger Olsbæk

Kronekote	Kronebredde	Anlæg havside	Anlæg landside	Fodafttryk	Gennemsnitshøjde
+ 2,6m DVR90	1 m	1:8	1:3	Ca. 15 m	Ca. 1,5 m
+ 2,8 m DVR90	1 m	1:6.5	1:3	Ca. 15 m	Ca. 1,5 m

5.1.1 Bølgeoverskyl og Sikringskote

For Olsbæk Strand er der udført en bølgeoverskylsanalyse, resultater heraf findes i Tabel 12. Som beskrevet i afsnit 3.3 er det vurderet at et bølgeoverskyl af digerne på maksimum 0,1 l/s/m er tilrådeligt. Bølgeoverskyllet er bestemt for forskellige vandstande under antagelse af en kronekote af diget på hhv. 2,6 og 2,8.

Tabel 12: Bølgeoverskyl ved dige med hældning på 1:6,5, for forskellige kronekoter

Vandstand [mDVR90]	Kronekote [m DVR90]	Vindhastighed [m/s]	Bølgehøjde, Hm0 [m]	Bølgeperiode, Tp [s]	Bølgeoverskyl, q [l/m/s]
2,40	2,60	17	0,39	3,42	7,05
2,30	2,60	17	0,33	3,42	0,97
2,21	2,60	17	0,28	3,42	0,10

Vandstand [mDVR90]	Kronekote [m DVR90]	Vindhastighed [m/s]	Bølgehøjde, Hm0 [m]	Bølgeperiode, Tp [s]	Bølgeoverskyl, q [l/m/s]
2,55	2,80	17	0,48	3,42	6,03
2,45	2,80	17	0,42	3,42	1,06
2,35	2,80	17	0,35	3,42	0,10

Det er fundet, at ved en kronekote på + 2,6 m DVR90 kan diget modstå en vandstand i kote 2,21 m, hvis kriteriet for bølgeoverskyl skal overholdes. Ved kronekote på +2,8 m DVR90 er det fundet, at diget kan modstå en vandstand i kote 2,35 m, hvis kriteriet skal overholdes.

Samlet vurderes det, på baggrund af ovenstående beregninger, at de undersøgte kronekoter for diget ved Olsbæk Strand giver beskyttelse for de vandstande og gentagelsesperioder, der er angivet i Tabel 13.

Tabel 13: Vandstandskoter ved forskellige sikringskoter ved Olsbæk Strand.

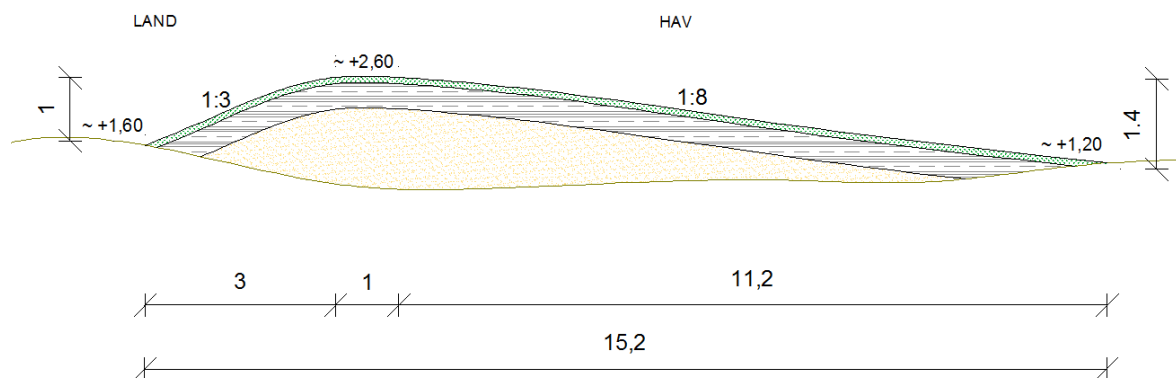
Sikringskote [m]	Vandstand [m]	Vandstandshændelse, 2012
2,60	2,21	400 års hændelse
2,80	2,35	500 års hændelse

Det antages, at den lokale ændring i digets geometri lige omkring Olsbækkens udløb ikke har udtaget betydning for bølgepåvirkningen og bølgeoverskyllet på diget.

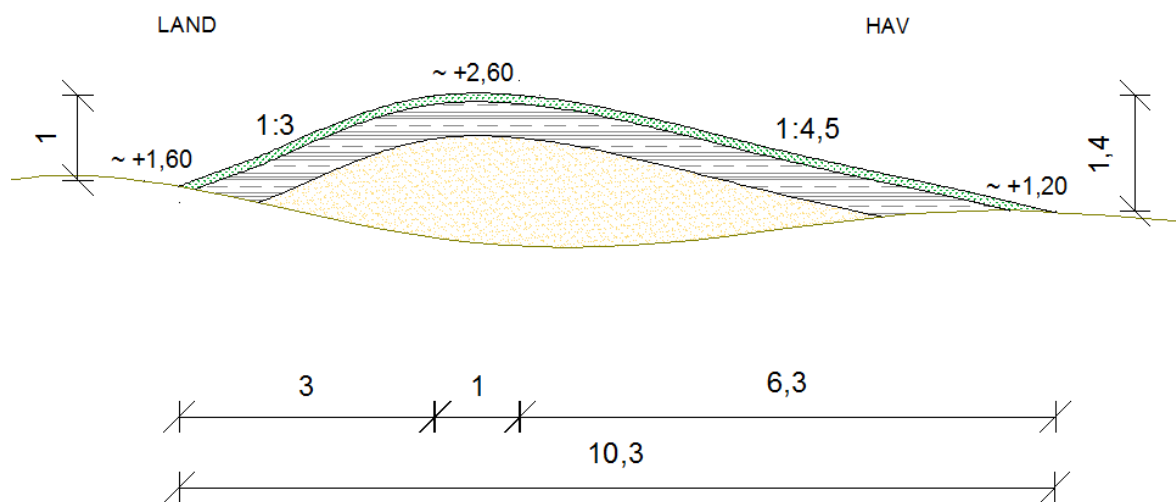
5.1.2 Valg af kystbeskyttelse

Der antages i dette projektstadium, et simpelt dige med kerne af friktionsmateriale, membran af lavpermeabelt ler materiale og overjord af muld med græsbeplantning. I et senere projektstadium bør der udføres geotekniske undersøgelser med henblik på fastlæggelse af jordbundens sammensætning og gennemstrømningsevne. Dette bør gøres for at afdække om det vil være nødvendigt at etablere diger med yderligere afskærende effekt på understrømmende vand. Dette kan f.eks. etableres ved, at der ved digets fod på havsiden, etableres et dybere tracé med ler, der forbindes til digets ler membran. I nuværende projektstadium er det ikke antaget, som værende nødvendigt med yderligere afskærende tiltag.

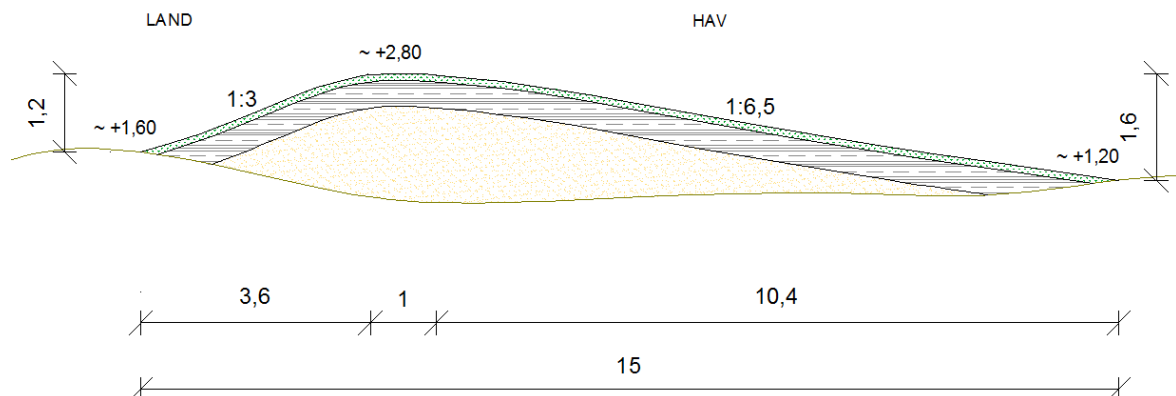
Da det ønskes at begrænse sikringens indgriben i det eksisterende terræn ved Olsbæk, forsøges fodaftryk af diget minimeret, imens der tages hensyn til skråningernes følsomhed overfor vandpåvirkning. Skråningsanlægget mod land forslås etableret med 1:3, mens skråningsanlægget mod hav forslås med en fladere hældning 1:6,5 – 1:8. Kronebredden antages til 1 m. Da kystbeskyttelsesdiget ønskes minimeret yderligere i udbredelse, lokalt ved krydsning af Olsbækken, fastlægges bredden af digets fodaftryk her til 10 m. For at kunne fastholde denne bredde af fodaftrykket regnes der baglæns, for at fastlægge digets skråningshældning på havsiden, ved top af dige i hhv. +2,60 og +2,80. Digets bredde opgøres i to tværsnit, et generelt tværsnit, samt et mindre tværsnit på de fornævnte 10 m's bredde lokalt ved krydsning af bækken. Passage kan eksempelvis være i form af trug eller buetunnel. Tværsnit af foreslåede digekonstruktioner kan ses herunder i Figur 37 til Figur 40.



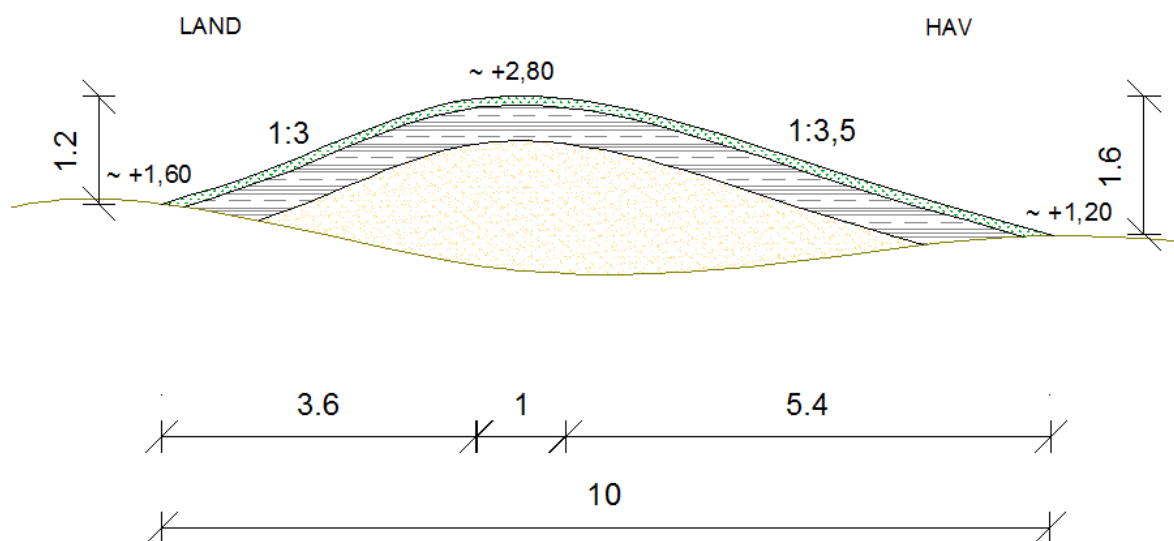
Figur 37: Generelt tværsnit i dige ved topkote +2,60 og skråningshældninger som beskrevet herover. Forløb af eksisterende terræn er antaget.



Figur 38: Smaller tværsnit i dige ved krydsning af Olsbækken, med topkote i +2,60 og skråningshældninger svarende til et fodaftryk af dige på ca. 10 m. Forløb af eksisterende terræn er antaget.



Figur 39: Generelt tværsnit i dige ved topkote +2,80 og skråningshældninger som beskrevet herover. Forløb af eksisterende terræn er antaget.



Figur 40: Smaller tværsnit i dige ved krydsning af Olsbækken, med topkote i +2,80 og skråningshældninger svarende til et fodaftryk af dige på ca. 10 m. Forløb af eksisterende terræn er antaget.

Det eksisterende terræn forberedes forud for etableringen af diget, ved afrømning og bortskaffelse af eksisterende vækstlag, i området hvor diget etableres.

Diget etableres med kerne af friktionsmateriale, sand eller grus. Ovenpå kernematerialet etableres en 400 mm tyk membran, af lavpermeabelt materiale som fx ler. Som top lag udlægges et 100 mm muldlag hvorpå der etableres beplantning i form af græs. Den anbefalende græsblanding bør bestræbe sig på at indeholde en sammensætning som svarer til hvad der typisk anvendes på den danske vestkyst, Tabel 14.

Tabel 14: Græssammensætning Kilde: Piontkowitz /8/

Græsart		Sort	Procentdel
Latin	Dansk		
Festuca arundinacea	Strandsvingel	Fine Lawn	20%
Festuca rubra	Rødsvingel	Suzette S	20%
Festuca rubra	Rødsvingel	Echo	40%
Lolium hybridum	Rajgræs, hybrid	Avance	15%
Agrostis stolonifera	Krybende hvene	Kromi S	2,5%
Agrostis capillaris	Hvene, alm.	Highland bent.	2,5%

5.1.2.1 Dige krydser over vandløb

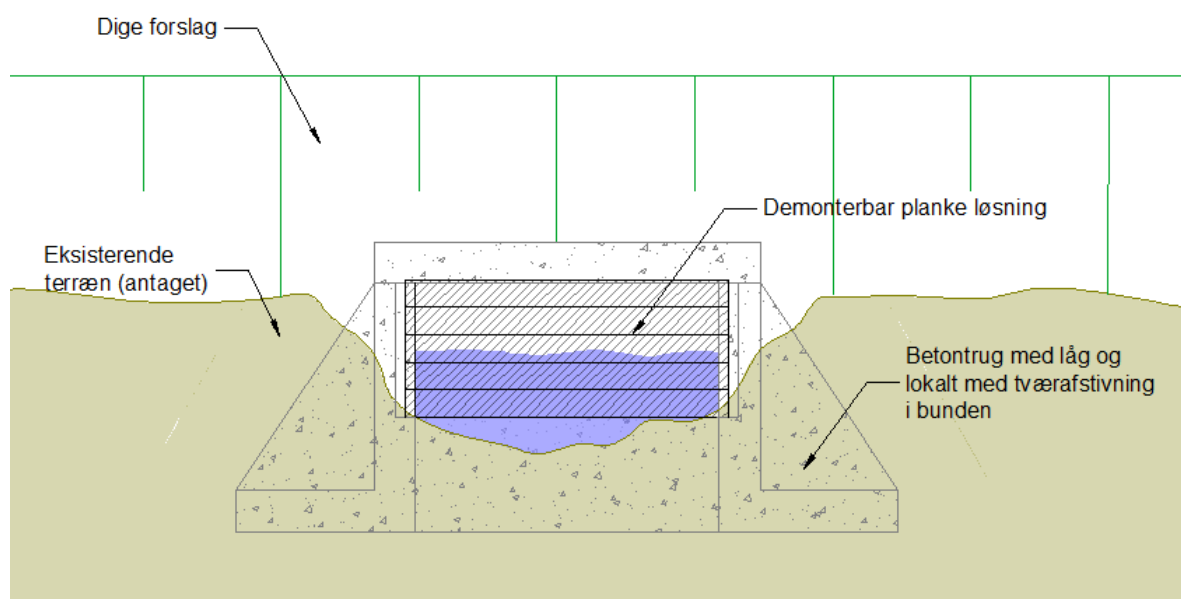
Umiddelbart opstrøms for det sted det foreslåede dige krydser Olsbækken, da løber bækken igennem et trug med betonsider, se Figur 41 herunder. Det antages derfor, at fortsættelsen af Olsbækken i et lignende betontrug eller buetunnel, vil være en mulighed, i det område hvor diget krydser bækken.



Figur 41: Eksisterende beton-trug/vægge ved Olsbækken, hvor evt. fremtidigt dige vil krydse bækken. Eksisterende bro nedtages og erstattes.

Hvor dige og bæk krydses kan krydsningen udføres på flere måder. Der fokuseres i denne rapport på to overordnede typer af krydsning, en hvor bækken rørlægges og diget føres over bækken (dige krydser over bæk). En hvor bækken holdes åben og diget afbrydes på hver side af bækken (bæk krydser igennem dige).

Ved denne løsning antages det at Olsbækken rørlægges eller føres igennem et betontrug med låg, således diget kan fortsættes ovenpå låget, på tværs af bækken, se eksempel på en sådan løsning i Figur 42.



Figur 42: Tværsnit af oplæg til løsning med rørlagt bæk og krydsende dige med top i $\sim +2,80$.

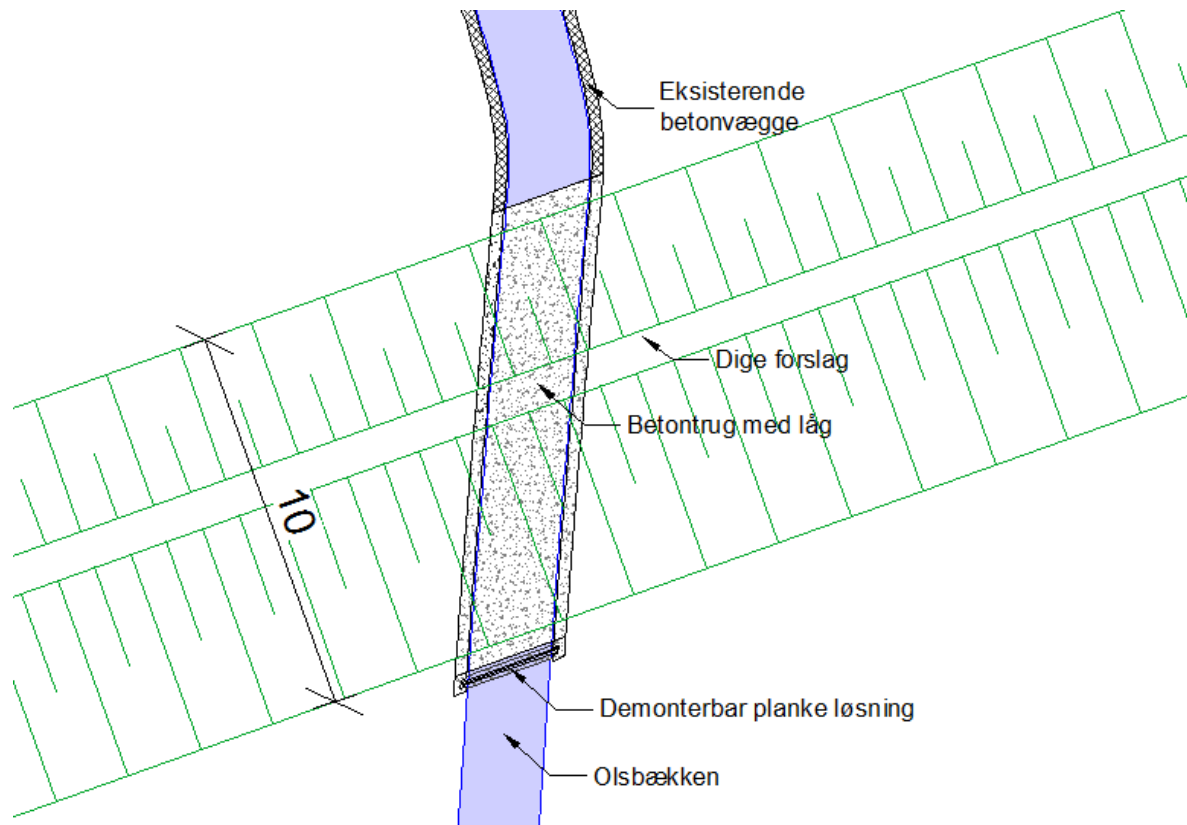
Eksisterende betontrug der afgrænser Olsbækken opstrøms for den foreslåede digekonstruktion, fortsættes i et nyt betontrug eller buetunnel, der hvor diget krydser bækken. Bækken omlægges til et midlertidigt tracé under udførelsen, der udføres som en simpel gravet rende og det eksisterende forløb af bækken afspærres midlertidigt med en stålplade eller lignende. Derved kan beton og udgravningsarbejderne udføres tørt.

Forud for detailprojekteringen bør der udføres supplerende geotekniske borer, på baggrund af disse skal funderingen af de kommende betonkonstruktioner vurderes. I dette projektstadium antages det, at funderingen af betonkonstruktioner kan udføres som direkte fundering på intakte jordlag, det er antaget at funderingen sker i kote ca. -0,5 m.

Der udføres små støttevægge i beton på begge sider af bækkens bred, i digets fulde bredde, samt yderligere 0,5-1,0 m på hver side. I samme udstrækning udføres betonlåg i 1 m segmenter på tværs henover væggene. Enkelte steder udføres der i nødvendigt omfang, tværafstivninger imellem væggene ved bækkens bund. På enten havside eller landside af betonkonstruktionen etableres en mulighed for at afspærre bækkens forbindelse til Køge Bugt. Denne afspærringsmulighed kan etableres som en demonterbar kystbeskyttelse bestående af løse aluminiums planker med tætningslister. I betonen indstøbes u-skiner til montage af planker, u-skiner kan afspærres når plankerne ikke er monteret. Plankerne kan monteres som en del af lokalområdets beredskab ved stormflodvarsler. Plankerne kan monteres på enten havside eller landside, i Figur 43 er de vist på havsiden, dette er dog blot en skitsering af én af mulighederne.

Ovennævnte plankeløsning kan også erstattes af en løsning med et stigbord, der manuelt eller automatisk kan hæves/sænkes til den ønskede vandregulering opnås. For beskrivelse af stigbord henvises til afsnit 5.1.3.

Ved afspærringsmuligheden etableres tværgående afstivning i beton på bækkens bund, således plankerne ved isætning, kan sluttes tæt til betonen. Den endelige udførelse af bæk afspærring i tilfælde af stormflod bør undersøges yderligere i et senere stadium, for at fastlægge den mest optimale og tætteste løsning til stedet.

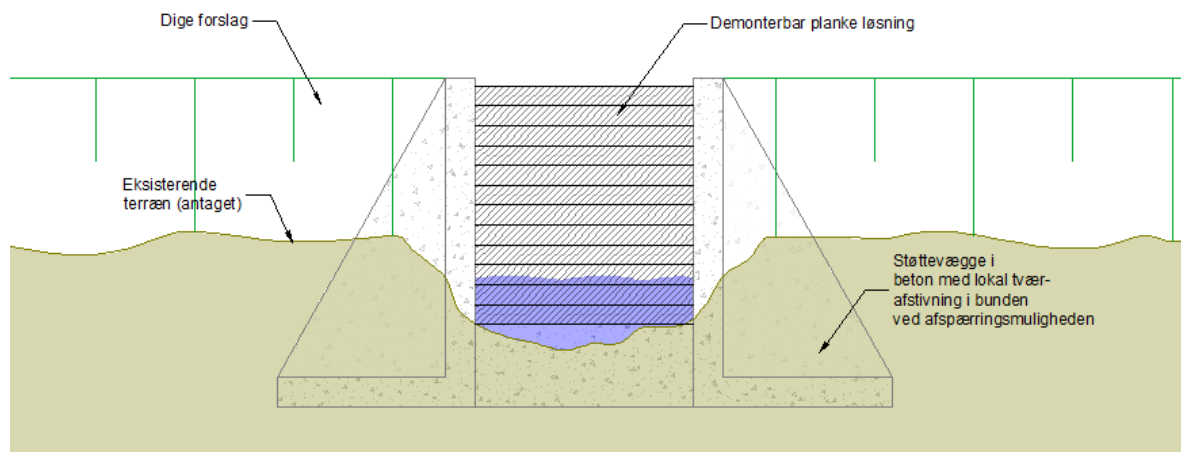


Figur 43: Forslag til dige krydsning af Olsbækken. Planker kan også placeres på landsiden af betontrug.

Fordelen ved denne løsning er, at diget kan føres igennem på hele strækningen, hvilket visuelt vil være en rolig løsning at se på i landskabet. Ulemperne kan være at løsningen er dyr i betonkonstruktioner, kan være svær at tætte ved stormflodssituationer, samt vil kræve en rørlægning af bækken, hvilket obstruerer vandløbet og kræver tilladelse fra vandløbsmyndigheden.

5.1.2.2 Vandløb krydser igennem dige

En anden løsning for dige og bækkrydsningen, kan være at afbryde diget ved bækken. Langs begge sider af bækken opføres støttevægge i beton, hvis top følger digets skråningsanlæg. Midt imellem støttevæggene udføres en afspærringsmulighed for afspærring af bækløbet ved højvande/stormflod. Afspærringen udføres på samme måde som beskrevet i løsningen hvor diget krydser bækken, nemlig med demonterbare aluminiumsplanker der skal isættes et indstøbt skinsystem, ved stormflodsvarsel. Afspærringen vises herunder på Figur 44.

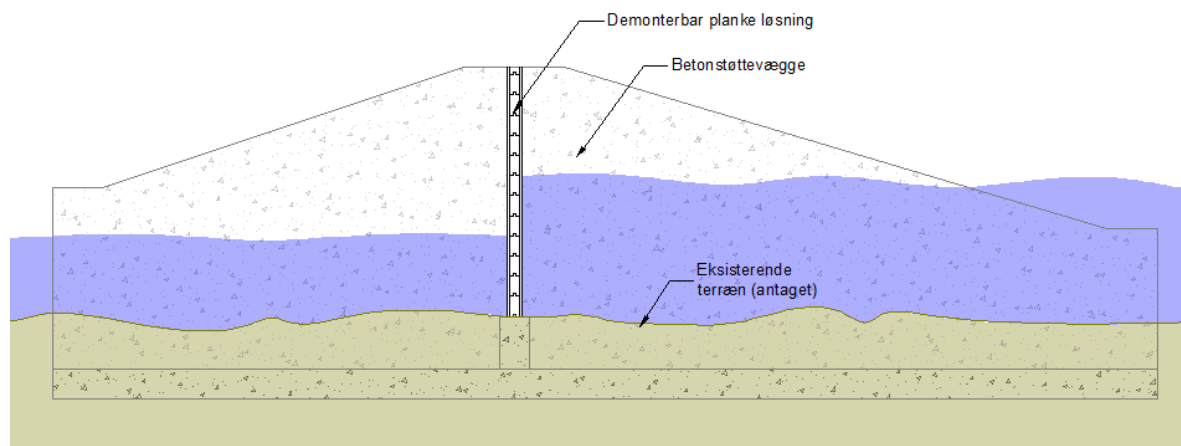


Figur 44: Oplæg til afspærring af bækken med demonterbare planker, ved midt af dige.

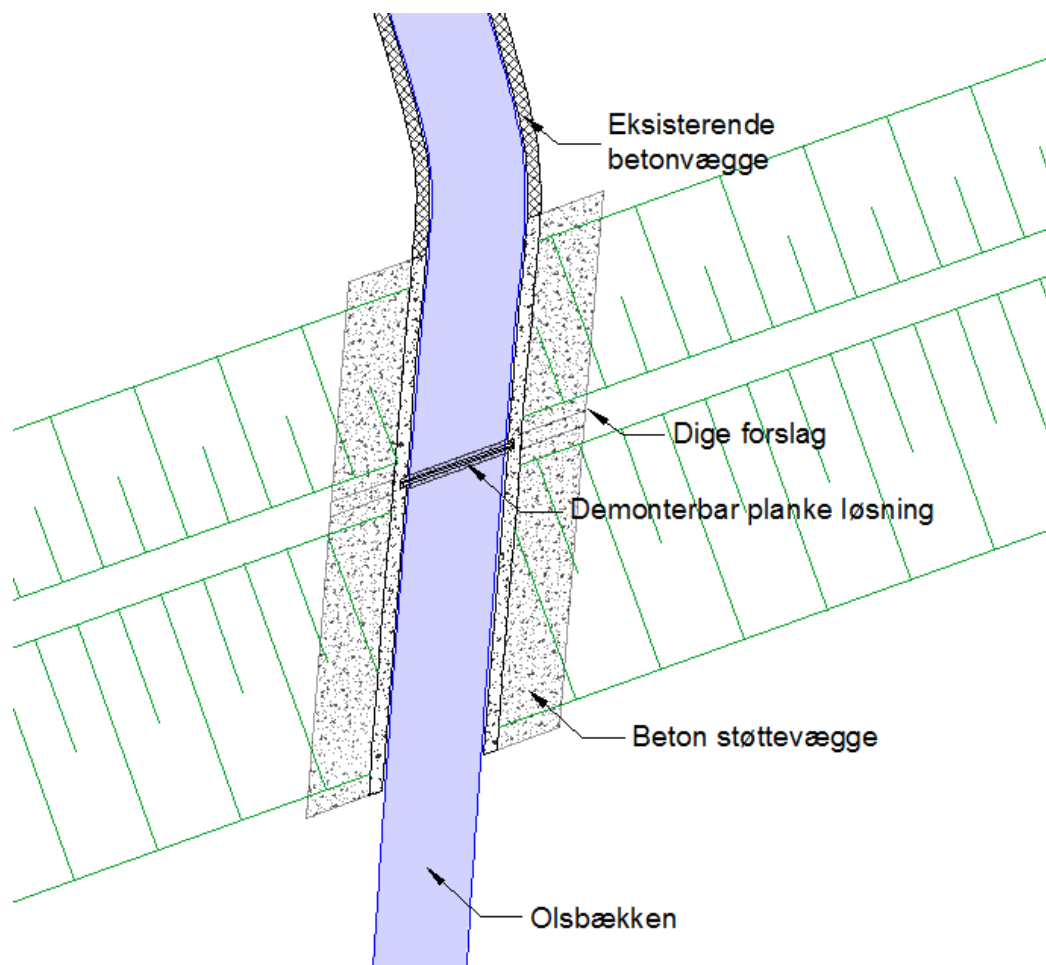
Som ved tidligere nævnte løsningsforslag foreslås det, at Olsbækken midlertidigt omlægges, så det er muligt at etablere betonarbejderne tørt. Ydermere forudsættes det for nuværende, at betonkonstruktionerne kan udføres som direkte funderede, dette skal undersøges ved udførelse af geotekniske undersøgelser. Ligesom de geotekniske undersøgelser også skal suppleres af hydrologiske undersøgelser der vurderer evt. understrømning af det kommende dige, ved en stormflodssituation.

Som ved den anden løsning, etableres en tværafstivning i beton lokalt ved den demonterbare plankeløsning, således afspærringsplanker kan slutte tæt til denne.

Skitser af tværsnit og plan af foreslåede betonkonstruktioner for løsning hvor bækken krydser diget, ses herunder i Figur 45 og Figur 46.



Figur 45: Tværsnit ved bæk, der viser støttevæggen langs bækken bred.



Figur 46: Plan af løsning hvor bæk krydser diget.

Fordelen ved denne løsning er, at bækken frie løb hindres mindst muligt, samt der sikres tilførsel af sollys til bækken's liv. Samt løsningen er lettere at afspærre ved stormflod. Ulempen kan være det visuelle udtryk af diget, der bliver afbrudt af en betonkonstruktion. Ligeledes vil det være nødvendigt med etablering af en ny bro på tværs af bækken samt fundering af denne.

Ovennævnte plankeløsning kan også erstattes af en løsning med et stigbord, der manuelt eller automatisk kan hæves/sænkes til den ønskede vandregulering opnås. For beskrivelse af stigbord henvises til afsnit 5.1.3.

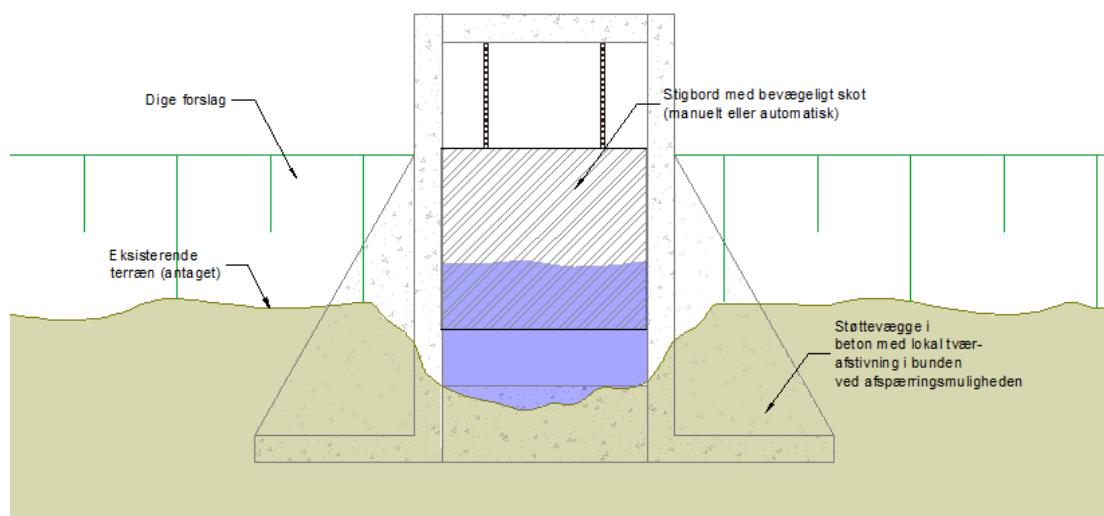
Generelt for plankeløsningerne beskrevet i afsnit 5.1.2 gælder det, at fordelen er at plankeløsningen er forholdsvis vedligeholdelses fri, da løsningen kræver manuel montering. Vedligeholdet vil bestå i udskiftning af tætningslister på planker når det findes nødvendigt, samt tjek af beton og eventuelt reparation efter den valgte design levetid er opnået.

Der kan være montage udfordringer, da dele af plankerne vil være under vand. Det vil sige enten risikerer man at få våde hænder og arme ved afmontering og montering af planker, alternativt skal der påmonteres øjne på plankerne, således de kan tages op med eksempelvis bådshager. Et alternativ til planker beskrives i følgende afsnit.

5.1.3 Øvrige alternativer

For begge af de ovennævnte udførselsforslag for digekrydsningen af Olsbækken gælder det, at plankerne kan erstattes af andre afspærrende konstruktioner. Det kunne for eksempel være ved udførelsen af et stigbord, se Figur 47, hvor et skot enten manuelt eller automatisk nedsænkes i

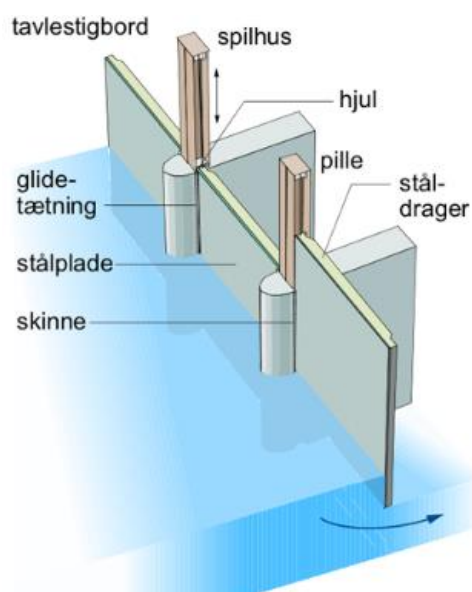
bækken ved hjælp af kædetaljer, for regulering af vandgennemstrømningen ved varsling af højvande.



Figur 47: Sempel skitsering af eksempel på løsning med stignord for Olsbæk, her vist med overligger, kan også udføres med kæder ophængt i søjleprofiler, se Figur 48.

Stignordet kan udføres på flere måder. Stignordet kan ophænges i en overhængende bjælke med taljer som det simpelt er skitseret i Figur 47, hvor skottet kommer oppefra og kører ned. Den kan ophænges i søjlerne på hver side af skottet, sådan som det er vist på Figur 48 (tavlestignord). Eller den kan nedgraves så stignordet kører op nedefra når det skal lukkes, denne version vurderes dog at være dyrest af de tre.

Ulempen ved en stignords løsning er, at det som regel kræver, at der udføres en opadragende beton eller stålkonstruktion til fastholdelse af den afspærrende plade, der visuelt skæmmer naturlandskabet. Ydermere vil der løbende vedligehold ved hæve/sænke mekanismen, både hvis denne etableres med manuelt eller automatisk system. Fordelen med stignords løsningen er, at denne løsning sikrer nem betjening og er en velkendt og gennemprøvet løsning. Stignords løsningen er ikke prissat i nærværende rapport, men vurderes at være mere bekostelig end den simple plankeløsning.



Figur 48: Eksempel på princip for tavlestignord

5.1.4 Kystbeskyttelseslinje

Stormflodflodssikringen foreslås udført som et dige på alle tre sider af det udsatte område. Diget bør generelt placeres tilbagetrukket, således at klitlandskabet kan nedsætte bølgepåvirkningen og derved mindsker erosion og slitage på diget. Linjeføringen, er også forsøgt placeret under hensyntagen til naturforhold. Linjeføringen for det tiltænkte dige er som følger;



Figur 49: Forslået kystbeskyttelseslinje og placering af kystbeskyttelsesanlæg

5.1.5 Kombinerede hændelser

Kystbeskyttelsesløsningen foreslået i denne rapport for Olsbæk Strand er udelukkende dimensioneret for stormflodshændelser og højvande i Køge Bugt. Løsningen tager ikke højde for eventuelle sammenfald mellem højvande og kraftige regnhændelser, som kan betyde opstuvning af vand opstrøms i Olsbækken.

5.1.6 Anlægsoverslag

På baggrund af de foreslåede løsningsmuligheder er der opstillet et anlægsoverslag for diget til de to udvalgte sikringskoter samt for konstruktioner ved Olsbækken, indeholdende estimerede udgifter på alle væsentlige poster.

Anlægsoverslagene er udført for både en sikring til kote +2,60 og +2,80. For betonkonstruktionerne ved Olsbækkens krydsning med et eventuelt nyt dige, er der kun beregnet anlægsoverslag for den betonkonstruktion der vurderes, at blive den dyreste at anlægge. Den dyreste vurderes at være konstruktionen hvor Olsbækken krydser igennem diget. Ved valg af løsningen hvor Olsbækken krydser under diget, forventes det dog at give anledning til enten en minimal eller ingen besparelse.

I anlægsoverslaget er der indregnet forventede udgifter til geotekniske forundersøgelser. Ydermere er der indregnet forventede udgifter til arbejdsplads (10%), uforudsete udgifter (30%) samt overslag på forventet projekteringsum.

Priserne er baseret på et simpelt dige som beskrevet i det tekniske afsnit. Der er ikke medregnet en eventuelt nødvendig fod på ler membranen der måtte findes nødvendig i detailprojektet på baggrund af strømningsanalyser.

Til håndtering af overskyl mv. er der indregnet en simpel grøft på 0,5 m dybde og 1 m bredde i toppen, i anlægsoverslaget. Der er dermed ikke indregnet et egentligt drænsystem med brønde og drænelledninger i anlægsoverslaget.

For det smallere dige lokalt ved Olsbækken kan det i detailprojektet findes nødvendigt at udføre erosions beskyttende foranstaltninger på diget. Sådanne eventuelle foranstaltninger er ikke prisat i denne fase.

Det er estimeret at eksisterende vegetationslag afrømmes og bortskaffes forud for etableringen af nye dige.

Anlægsomkostninger er estimeret til følgende:

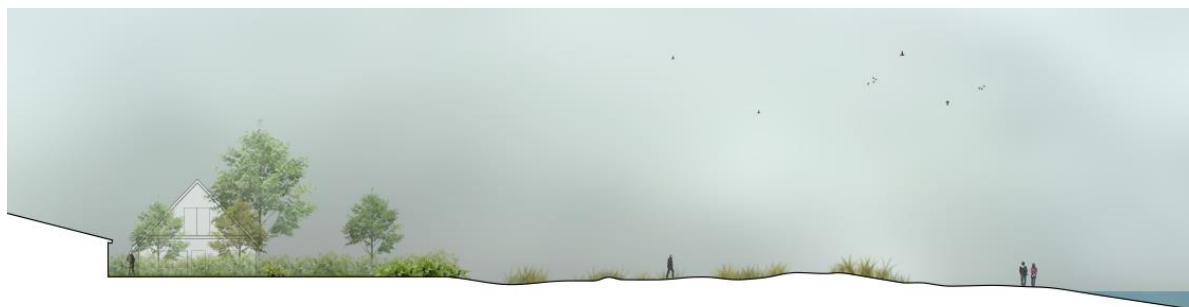
Olsbæk Strand	Estimeret anlægssum
+2,60 m DVR90	3.500.000,-
+2,80 m DVR90	3.700.000,-

I estimerer for fremtidigt vedligehold er intervaller og prisestimat for erosionsudbedring følsomt overfor højvandsituationer og den påvirkning af konstruktionerne dette vil medføre. Fremtidigt vedligeholds omkostninger estimeret som følgende:

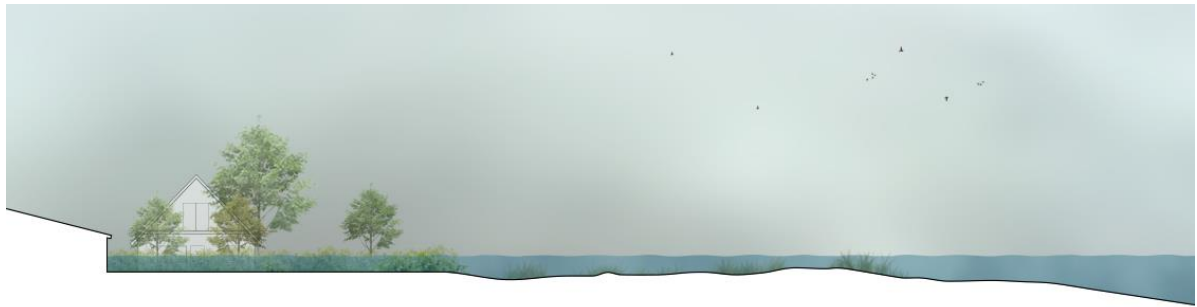
Olsbæk Strand		
Pris	Interval	Beskrivelse
7.000,00	1 år	Græsslåning af dige og generelt vedligehold
25.000,00	5 år	Erosionsudbedring + udskiftning gummilister for kystbeskyttelse
50.000,00	40 år	Betoneftersyn og renovering

5.1.7 Visualisering

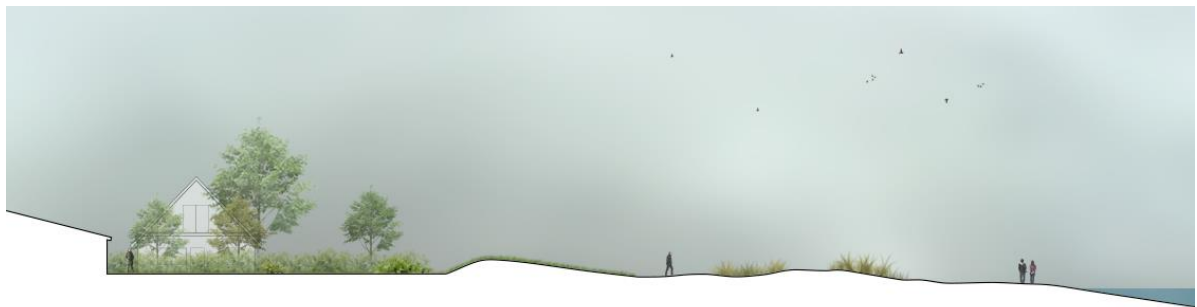
Visualiseringer er udarbejdet under nuværende forhold samt som princip skitse for det forslået kystbeskyttelsesprojekt før og under højvande, ved kote +2,6 m DVR90.



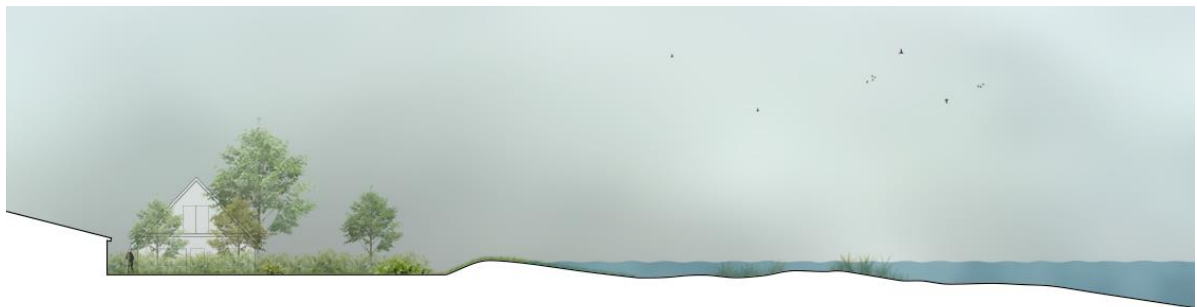
Figur 50: Principvisualisering for statussituationen under normale vandstande ved Olsbæk Strand



Figur 51: Principvisualisering for statussituationen under højvande ved Olsbæk Strand



Figur 52: Principvisualisering for kystbeskyttelse +2.60 m DVR90 under normale vandstande ved Olsbæk Strand



Figur 53: Principvisualisering for kystbeskyttelse +2.60 m DVR90 under højvande vandstande ved Olsbæk Strand

5.2 Karlslunde Strand

Ved Karlslunde Strand foreslås det at etablere et traditionelt dige med græsbelægning, der er trukket tilbage fra stranden, og beliggende umiddelbart på havsiden af de eksisterende matrikler. Det foreslås at etablere diget med en forholdsvis flad skræning mod stranden, så det bedst muligt indgår i det eksisterende terræn. Dimensionerne af de foreslåede digekonstruktioner er sammenfattet i Tabel 15.

Tabel 15: Dimensioner af diger Karlslunde

Forslag	Kronekote	Kronebredde	Anlæg havside	Anlæg landside	Fodafttryk	Gennemsnitshøjde
1	+ 2,6 m DVR90	1 m	1:8	1:3	Ca. 11 m	Ca. 1 m
2	+ 2,8 m DVR90	1 m	1:8	1:3	Ca. 13 m	Ca. 1 m

5.2.1 Bølgeoverskyl og Sikringskote

For Karlslunde Strand er der udført en bølgeoverskylsanalyse, resultater heraf findes i Tabel 15. Som beskrevet i afsnit 3.3 er det vurderet at et bølgeoverskyl af digerne på maksimum 0,1 l/s/m er tilrådeligt. Bølgeoverskyllet er bestemt for forskellige vandstande under antagelse af en kronekote af diget på hhv. 2,6 og 2,8.

Tabel 16: Bølgeoverskyl ved dige med en digehældning på 1:8, for forskellige kronekoter

Vandstand [mDVR90]	Kronekote	Vindhastighed [m/s]	Bølgehøjde, Hm0 [m]	Bølgeperiode, Tp [s]	Bølgeoverskyl, q [l/m/s]
2,40	2,60	17	0,45	3,42	5,49
2,30	2,60	17	0,39	3,42	0,69
2,21	2,60	17	0,34	3,42	0,09

Vandstand [mDVR90]	Kronekote	Vindhastighed [m/s]	Bølgehøjde, Hm0 [m]	Bølgeperiode, Tp [s]	Bølgeoverskyl, q [l/m/s]
2,55	2,80	17	0,54	3,42	4,22
2,45	2,80	17	0,48	3,42	0,65
2,35	2,80	17	0,43	3,42	0,10

På baggrund af ovenstående beregninger vurderes det, at de fastlagte sikringskoter for diget ved Karlslunde Strand giver beskyttelse for vandstandene angivet i Tabel 17.

Tabel 17: Vandstandskoter ved forskellige sikringskoter ved Karlslunde Strand.

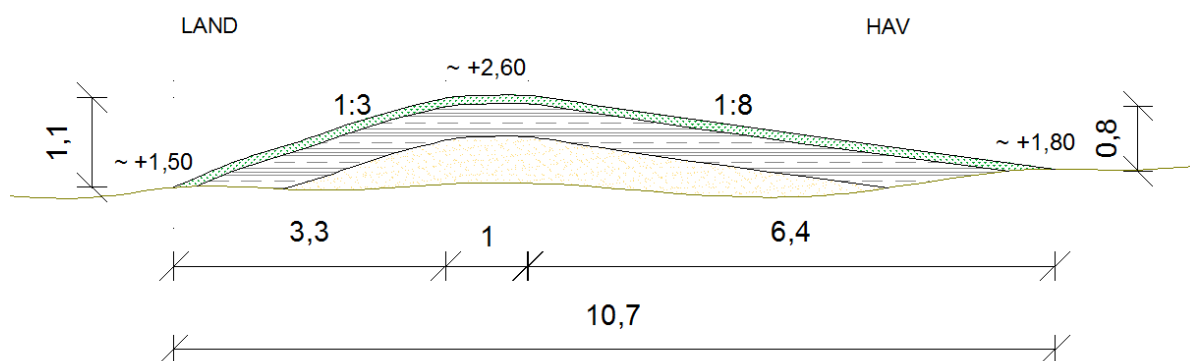
Sikringskote [m]	Vandstand [m]	Vandstandshændelse, 2012
2,60	2,21	400 års hændelse
2,80	2,35	500 års hændelse

5.2.2 Valg af kystbeskyttelse

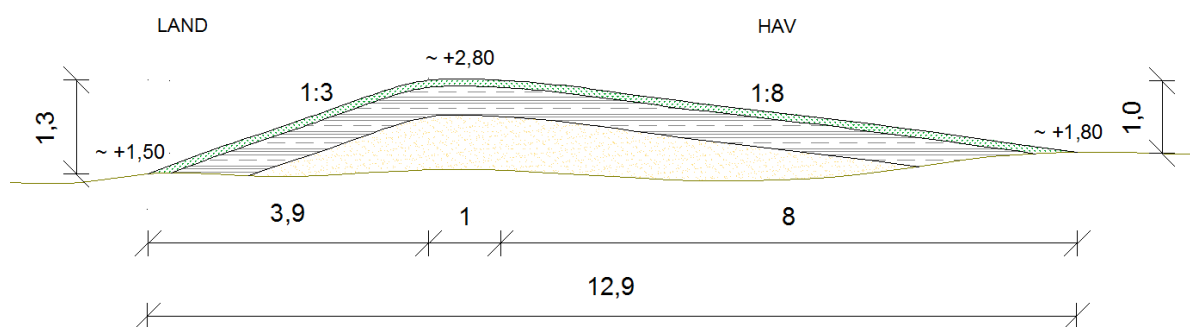
I nærværende projektstadium antages et simpelt dige med kerne af friktionsmateriale, membran af lavpermeabelt ler materiale og overjord af muld med græsbeplantning, at være tilstrækkeligt for sikring af Karlslunde Strand.

Det nuværende terræn i området antager en skråningshældning på 1:8. Med denne hældning antages skråningen derfor at være stabil overfor vand og bølgepåvirkning. Forhøjningen i form af et dige antages derfor udført med denne hældning på havsiden. På siden mod land antages diget udført med en hældning svarende til 1:3. Det antages, at diget ikke skal fungere som stisystem, derfor antages en kronebredde af diget på ca. 1 meter.

Med de ovennævnte ydre geometriske bindinger, et antaget forløb af eksisterende terræn ud fra digets placering samt topografiske kort. Samt med topkote af diget i hhv. kote +2,60 og +2,80 svarende til årshændelserne som beskrevet i Tabel 17. Bliver udstrækningerne af diger i Karlslunde, som vist i Figur 54 og Figur 55 herunder.



Figur 54: Generelt tværsnit i dige ved topkote +2,60 og skråningshældninger som beskrevet herover. Forløb af eksisterende terræn er antaget.



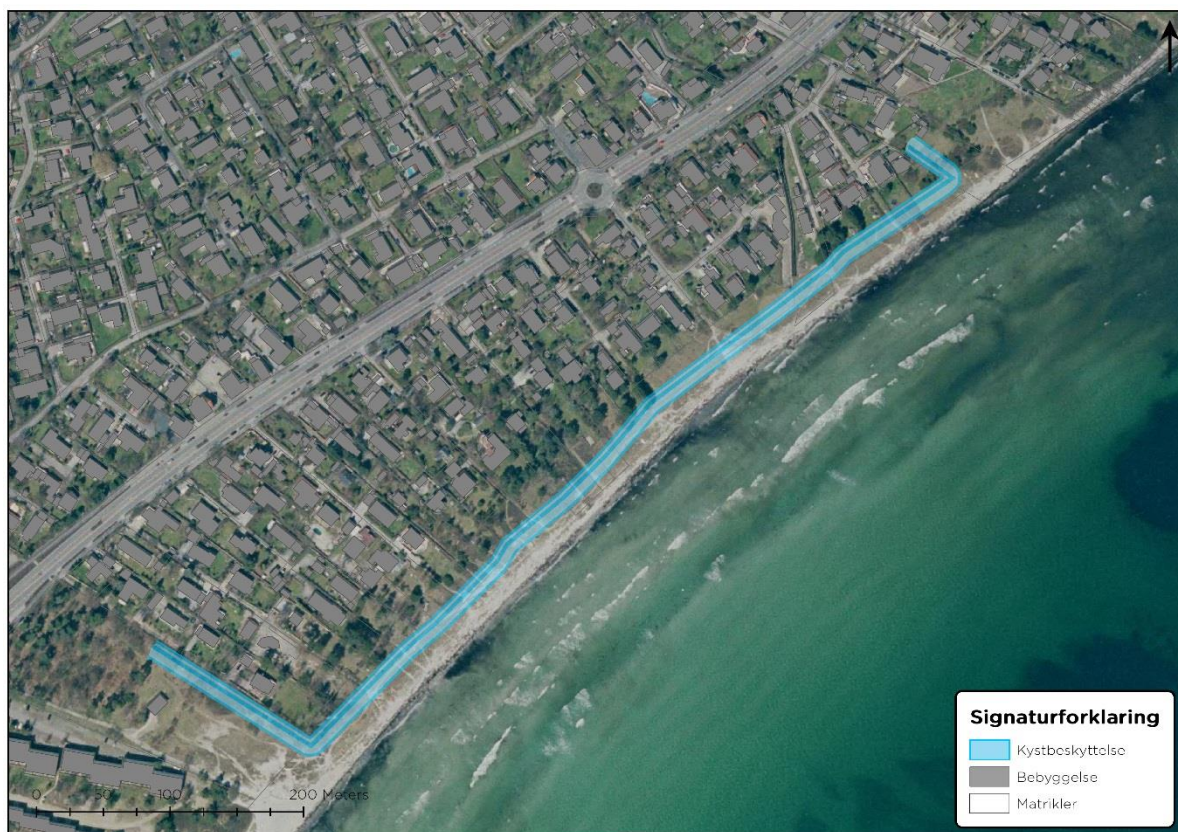
Figur 55: Generelt tværsnit i dige ved topkote +2,80 og skråningshældninger som beskrevet herover. Forløb af eksisterende terræn er antaget.

Det eksisterende terræn forberedes forud for etableringen af diget, ved afrømning og bortskaffelse af eksisterende vækstlag, i området hvor diget etableres.

Diget etableres med kerne af friktionsmateriale, sand eller grus. Ovenpå kernematerialet etableres en 400 mm tyk membran, af lavpermeabelt materiale som fx ler. Som top lag udlægges et 100 mm muldlag hvorpå der etableres beplantning i form af græs. Den anbefalende sammensætning af græsblanding, er beskrevet yderligere i Tabel 14.

5.2.3 Kystbeskyttelseslinje

Stormflodflodssikringen foreslås udført som et dige på alle tre sider af det udsatte område. Diget bør generelt placeres tilbagetrukket, således at forlandet kan nedsætte bølgepåvirkningen og derved mindsker erosion og slitage på diget. En tilbagetrækning af kystbeskyttelses anlægget, be-sværliggøres grundet, områdets kortlagte naturforhold. Linjeføringen for det tiltænkte dige er som følger, Figur 56.



Figur 56: Forslået kystbeskyttelseslinje og placering af kystbeskyttelsesanlæg

5.2.4 Anlægsoverslag

På baggrund af de foreslåede løsningsmuligheder er der opstillet et anlægsoverslag for diget til de to udvalgte sikringskoter, indeholdende estimerede udgifter på alle væsentlige poster.

Anlægsoverslagene er udført for både en sikring til kote +2,60 og +2,80. I anlægsoverslaget er der indregnet forventede udgifter til geotekniske forundersøgelser samt undersøgelser af eksisterende pumpestation ved Karlslunde. Ydermere er der indregnet forventede udgifter til arbejdsplads (10%), uforudsete udgifter (30%) samt overslag på forventet projekteringsum.

Priserne er baseret på et simpelt dige som beskrevet i det tekniske afsnit. Der er ikke medregnet en eventuelt nødvendig fod på ler membranen der måtte findes nødvendig i detailprojektet på baggrund af strømningsanalyser.

Til håndtering af overskyl mv. er der indregnet en simpel grøft på 0,5 m dybde og 1 m bredde i toppen, i anlægsoverslaget. Der er dermed ikke indregnet et egentligt drænsystem med brønde og drænedninger i anlægsoverslaget.

Det er estimeret at eksisterende vegetationslag afrykkes og bortskaffes forud for etableringen af nye dige.

Anlægsomkostninger er estimeret til følgende:

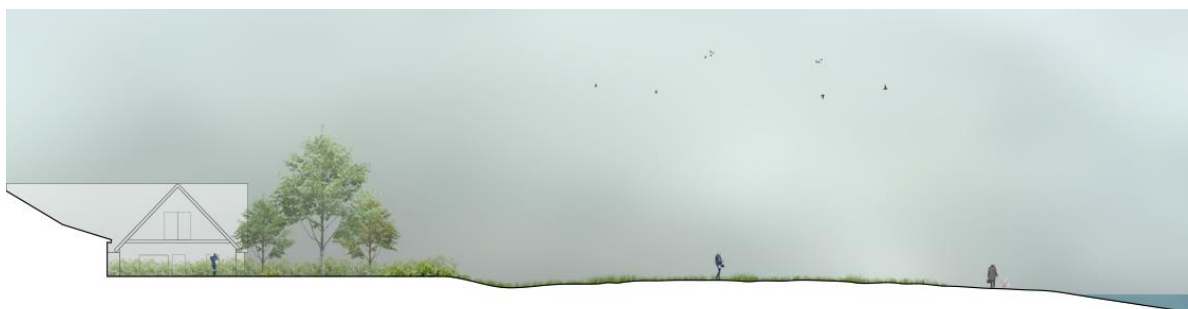
Karlslunde Strand	Estimeret anlægssum
+2,60 m DVR90	4.610.000,-
+2,80 m DVR90	5.700.000,-

I estimer for fremtidigt vedligehold er intervaller og prisestimat for erosionsudbedring følsomt overfor højvandsituationer og den påvirkning af konstruktionerne dette vil medføre. Fremtidigt vedligeholds omkostninger estimeret som følgende:

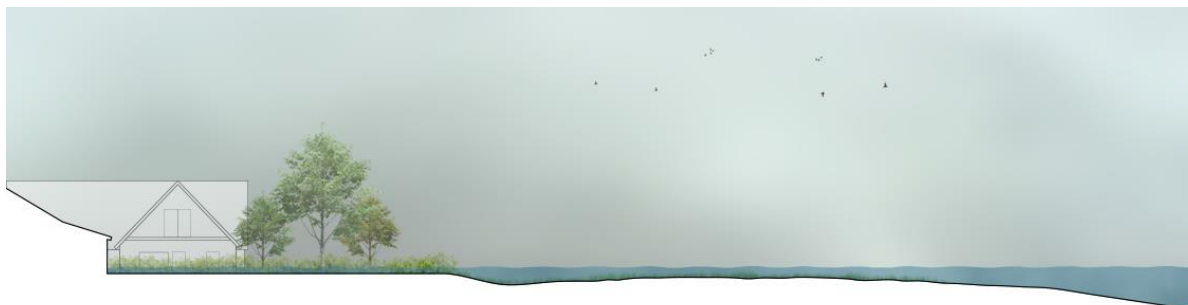
Karlslunde		
Pris	Interval	Beskrivelse
10.000,00	1 år	Græsslåning og generelt vedligehold
25.000,00	5 år	Erosionsudbedring

5.2.5 Visualisering

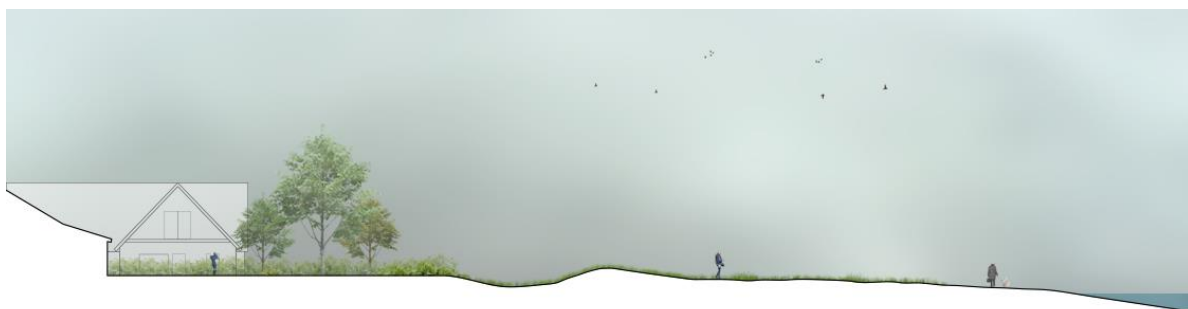
Visualiseringer er udarbejdet under nuværende forhold samt som princip skitse for det forslået kystbeskyttelsesprojekt før og under højvande, ved kote +2,6 m DVR90.



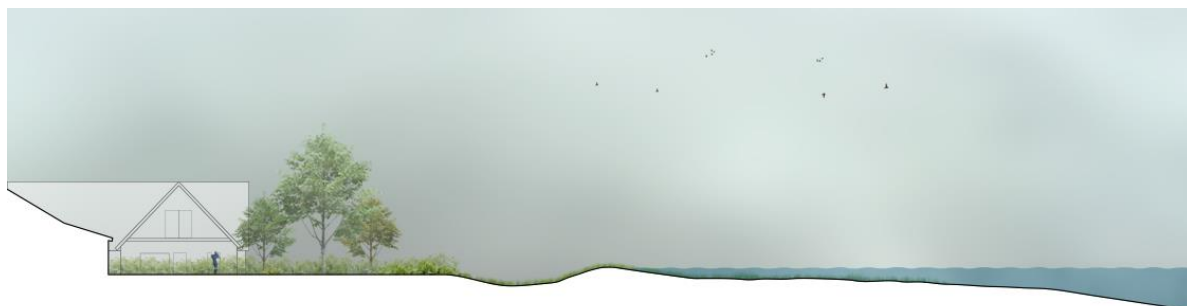
Figur 57: Principvisualisering for statussituationen under normale vandstande ved Olsbæk Strand



Figur 58: Principvisualisering for statussituationen under højvande ved Olsbæk Strand



Figur 59: Principvisualisering for kystbeskyttelse +2.60 m DVR90 under normale vandstande ved Olsbæk Strand



Figur 60: Principvisualisering for kystbeskyttelse +2.60 m DVR90 under højvande vandstande ved Olsbæk Strand

5.3 Ansøgning om kystbeskyttelse

Ansøgning om kystbeskyttelse sker efter bekendtgørelsen af lov om kystbeskyttelse (nr. 78). Formålet med kystbeskyttelse er at beskytte mennesker samt ejendom mod oversvømmelse under afvejning af hensynet til behovet for kystbeskyttelse, økonomiske hensyn, tekniske og natur- og miljømæssigt kvalitet, rekreativ udnyttelse af naturen, sikring af adgang til og langs kysten og andre forhold af væsentlig betydning som eksempelvis kystlandsskabets bevarelse og naturens frie udfoldelse.

For at sikre sammenhæng til klimatilpasning og bekendtgørelse nr. 894 af 21. juni 2016 om vurdering og risikostyring for oversvømmelser fra havet, fjorde eller andre dele af søterritoriet, skal vurderingen af behovet for kystbeskyttelse, i større grad tage højde for hvor stor risikoen er for oversvømmelse i området som helhed.

Ansøgning om kystbeskyttelse kan ansøges individuelt af en eller flere grundejere eller efter anmodning hos kommunen, hvorefter positiv tilkendegivelse betyder oprettelse af en Kapitel 1A sag, jf. Bek. nr. 78.

Anlæg af kystbeskyttelse kræver som udgangspunkt dispensation fra bekendtgørelse om bygge- og beskyttelseslinjere. En eventuel etablering af kystbeskyttelse, strækkende sig over flere ejendomme, vil være undtaget kravet om dispensation ift. strandbeskyttelseslinjen jf. § 1 i Bek. nr. 927 af 27. juni 2006 om bygge- og beskyttelseslinjer. Dog skal hensynet stadig varetages og medtages i den endelige vurdering om tilladelse til kystbeskyttelse kan opnås.

Placering og behovet for kystbeskyttelse vil ydermere blive vurderet ift. § 3 naturområder, bilag IV-arter mm.

Accept forventes at kunne opnås så længe der er et reelt behov for kystbeskyttelse.

5.4 Matrikulering og tinglysning af kystbeskyttelses anlæg

Hvis kystbeskyttelse ønskes etableret, skal anlægget ligge på matrikuleret areal og tinglyses på de respektive ejendomme som opnår beskyttelse heraf jf. bekendtgørelse af lov om Kystbeskyttelse (nr. 78) og bekendtgørelse af lov om udstykning og anden registrering i matriklen (nr. 1213 af 7. oktober 2013).

Ved etablering af kystbeskyttelses anlæg på eksisterende grundejeres matrikler, skal der gives samtykke fra ejeren til etablering af kystbeskyttelse samt at der i forbindelse med en eventuel tilladelse, tinglyses en servitut på deres ejendom om at kystbeskyttelsen, herunder etablering og vedligeholdelse tåles af dem og fremtidige ejere af ejendommen.

Hvis der opstår uenighed om placering, kan grundejerne anmode kommunen om at rejse en kapitel 1a-sag. En afgørelse om ekspropriation jf. kystbeskyttelseslovens kan træffes af Kommunalbestyrelsen, hvis det er af væsentlig betydning for kystbeskyttelsesprojektet.

Ønskes kystbeskyttelse etableret på et umatrikuleret areal, er det de bagvedliggende matrikel-ejer der som udgangspunkt har ansvaret for matriklen jf. Bek nr. 1213. Ved ejendomsberigtigelse, matrikuleres et tilvækstareal. Matrikulering af tilvækst areal udføres af autoriseret Landinspektør.

5.5 Bidragsfordelingsprincipper

Bidragsfordelingen tager udgangspunkt i Lov om kystbeskyttelse. Udgifter til anlæg og drift af kystbeskyttelsesforanstaltninger skal i henhold til Kystbeskyttelsesloven afholdes af dem, der får nytte af kystbeskyttelsen. På baggrund af dette princip fordeles udgifterne derfor gennem en bidragsfordeling. Bestemmelsen begrænser ikke kredsen af ejere af fast ejendom, der kan pålægges bidragspligt, til ejerne af de direkte beskyttede ejendomme. Fordelingen af udgifterne mellem de beskyttede ejere sker ud fra en individuel vurdering af risikoen for skader på den enkelte ejendom.

Gældende praksis varierer, og der er derfor på nuværende tidspunkt ikke en ensartet metode eller vejledning for, hvordan udgifter for kystbeskyttelsesindsatser fordeles. Der skal derfor tidligt i forløbet være fokus på at opstille en økonomisk beregningsmodel og identificere de nødvendige data og forudsætninger, der vil kunne anvendes til beregning af de forventede værditab ved ikke at igangsætte noget tiltag og dermed den økonomiske værdi af kystbeskyttelsestiltaget.

Udfordringerne ligger i at designe bidragsfordelingsmodellen på en måde, så de bidragene ikke bliver pålagt mere end deres forventede fordele ved kystbeskyttelsen. I modsat fald vil kystbeskyttelsen ikke kunne forvente at få opbakning fra de berørte grundejere og andre berørte. Der gøres ligeledes opmærksom på, at de involverede parter ikke altid finder det retfærdigt eller bakker op om kystbeskyttelsen alene ud fra en økonomisk betragtning.

Uanset valg af bidragsmodel er det vigtigt at få opgjort omkostningerne ved kystbeskyttelsestiltaget som grundlag for såvel en samlet økonomisk vurdering som til bestemmelse af finansieringsbehovet, som bidragsfordelingsmodellen skal sikre. Forventede anlægsomkostninger vil, som i dette studie og senere detailstudier, typisk estimeres ved brug af enhedspriser. Driftsomkostningerne afhænger af anlæggets natur og vil ofte kunne estimeres som en procentdel af anlægsomkostningerne.

Rambøll anbefaler, at bidragsfordelingen tager afsæt i en risikobetragtning, og er en økonomisk funderet fordeling af kystbeskyttelsesudgifterne. Gevinsterne bør overstige omkostningerne ved indsatserne.

6. ØKONOMISK OPTIMERINGSANALYSE

I afsnit 4 og 5 er hhv. skadesomkostninger ved forskellige stormflodssituationer og anlægsomkostninger ved etablering af kystbeskyttelse blevet beskrevet. I det følgende forsøges på baggrund af en økonomisk analyse at godtgøre om etablering af en kystbeskyttelse er rentabel og om der kan findes et optimum i forhold til, hvor højt et sikringsniveau der skal vælges.

Økonomiske analyser er et supplement ved evalueringen af klimatilpasningstiltag, hvor effekten af indsatsen kan opgøres som de økonomiske gevinster og omkostninger. En sådan analyse hjælper til at afspejle de økonomiske konsekvenser af tiltag. At forstå de økonomiske konsekvenser af investeringerne, og hvordan man potentielt optimere fordelene for samfundet, kan være et brugbart beslutningsstøtte værktøj.

6.1 Metode til bestemmelse af optimalt sikringsniveau

6.1.1 Omkostningsanalyse

Omkostningsanalyser vurderer de direkte omkostninger i forbindelse med infrastrukturinvesteringen, såsom kapitalomkostninger, driftsomkostninger og skadesomkostningerne. Kapitalomkostningerne og driftsomkostninger er alle direkte omkostninger i forbindelse med opførelse og drift af et sikringstiltag over projektets levetid.

For en omkostningsanalyse baseres pengestrømme for omkostningerne og bestemmer, hvordan omkostningerne er fordelt over tid. Dette giver en detaljeret forståelse af, hvordan f.eks. timing af investeringer, geninvesteringer og infrastrukturens tekniske levetid vil påvirke det samlede økonomiske resultat af infrastrukturinvesteringer.

6.1.2 Benefit-Cost-Analyse

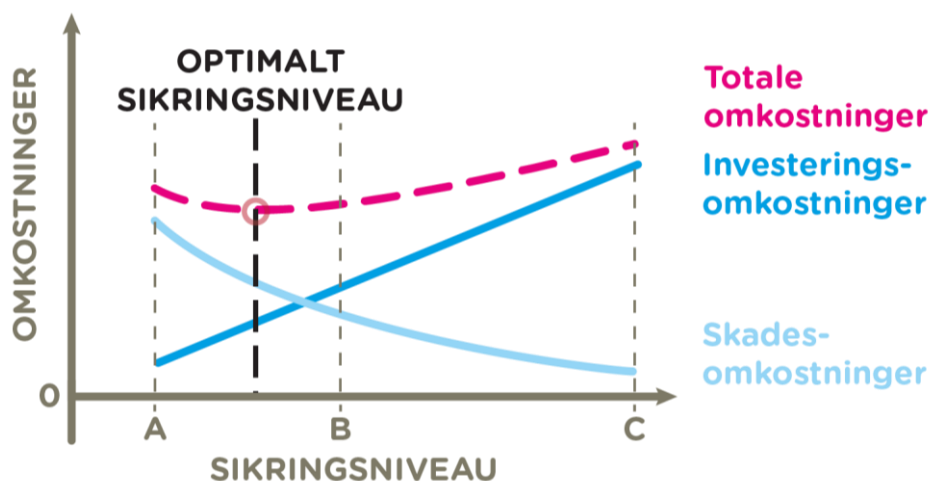
En 'benefit-cost-analyse' (BCA) adskiller sig fra en direkte omkostningsanalyse ved at tage alle omkostninger og fordele forbundet med et projekt i betragtning. Inkluderet i en 'benefit-cost-analyse' er omkostningerne ved for eksempel manglende handling såsom skadeomkostninger fra oversvømmelser, trafikforstyrrelser, sundhedsmæssige konsekvenser og i sidste ende tab af liv. Det omfatter tab af økonomisk produktion, hvis virksomhederne er lukket på grund af oversvømmelse.

For hvert af de analyserede kystbeskyttelsestiltag bestemmes en benefit-cost ratio, der på denne måde angiver om det ud fra en økonomisk synsvinkel kan betale sig at udføre tiltaget. Med en benefit-cost ratio over 1 vil det kunne betale sig, mens en benefit-cost ratio under 1 indikerer at det ikke er en økonomisk gevinst ved at gennemføre tiltaget.

'benefit-cost-analyser' bruges ofte som et værktøj i de indledende projektfaser og dermed kendes virkningerne af projektet der analyseres ikke fuldt ud. Der er derfor en temmelig høj grad af usikkerhed forbundet med resultaterne af en 'benefit-cost-analyse'.

6.1.3 Optimalt sikringsniveau

For at fastlægge det optimale sikringsniveau anvendes en økonomisk optimering, der kvantitativt inddrager økonomiske tab ved flere forskellige sikringsniveauer. For hvert sikringsscenarie skal der altså udregnes både anlægs- og driftsomkostningerne ved kystbeskyttelse samt skadesomkostninger ved oversvømmelser over tid. Herefter interpoleres der imellem punkterne for henholdsvis; anlægs- og driftsomkostningerne samt skadesomkostningerne, i hvert scenarie, således de totale omkostninger kan bestemmes. Anlægs- og driftsomkostninger inkluderer også potentielle reinvesteringer. Det optimale niveau er defineret, som punktet hvori de totale omkostninger er på et minimum, Figur 61.



Figur 61: Det optimale sikringsniveau findes, hvor de totale omkostninger forbundet med anlægs- og driftsomkostninger sammenlagt med skadesomkostninger er på et minimum.

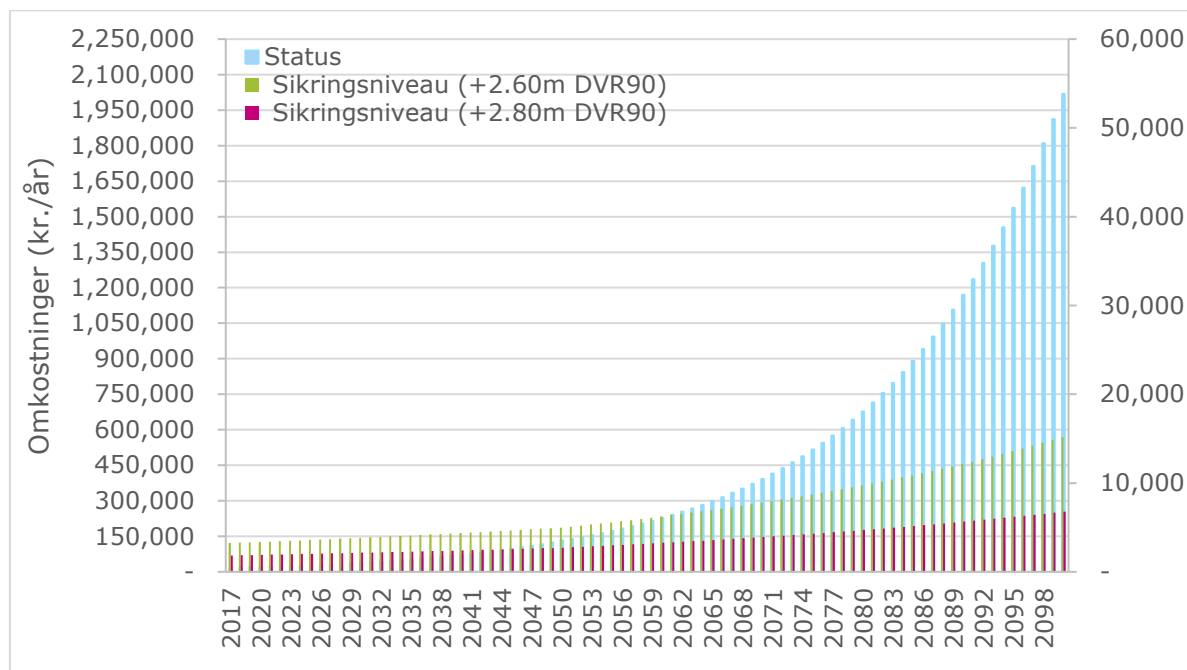
Den økonomiske vurdering kan gøres mere eller mindre kompleks efter behov. Som udgangspunkt anvendes altid de direkte skadesomkostninger samt anlægs- og driftsomkostninger. For en mere kompleks, men også mere realistisk vurdering kan yderligere samfundsøkonomiske skadesomkostninger inddrages samt merværdier, der skabes ved klimatilpasning. Derved inddrages ligeledes alle de positive gevinster, der er ved eksempelvis øget ejendomsværdi, forbedret bymiljø, eller undgåede personskader.

I indeværende projekt, er der udført en mindre økonomiske optimeringsanalyse, hvor områdernes forventede bygningsskader ved oversvømmelse er sammenholdt med anlæg og driftsomkostningerne for kystbeskyttelse over tid. Nettonutidsværdien af omkostningerne er udregnet for "status" scenariet, sikring kote til +2,60m og til +2,8m DVR90. Eventuelle merværdier, som afledte effekter af en eventuel kystbeskyttelsesindsats er ikke medtaget.

6.2 Olsbæk Strand

6.2.1 Skadesomkostninger

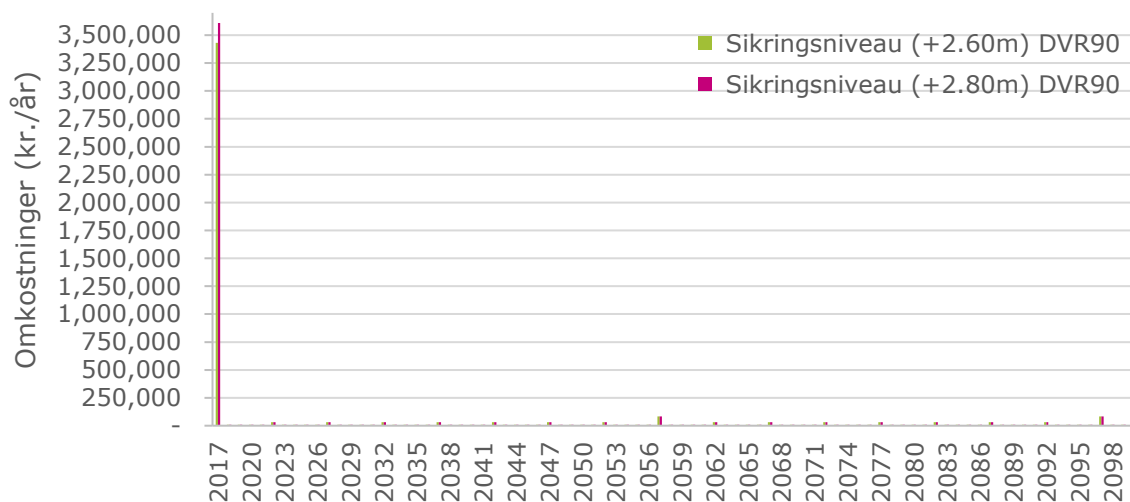
Skadesomkostningerne for de 2 udvalgte sikringsniveauer er udregnet, se Figur 62. De gennemsnitlige forventede årlige omkostninger, kan nu sammenlignes i forhold til, ikke at gøre noget. Som forventet stiger omkostningerne over tid. Figur 62 indikerer ligeledes at jo højere sikringsniveau, desto lavere skader. De forventede årlige skadesomkostninger minimeres kraftigt. Omregnet til nettonutidsværdier falder skadesomkostningerne fra ~5.800.000 kr. til henholdsvis ~160.000 kr. for sikringsniveau til kote +2,6 m DVR90 og ~86.000 kr. til kote +2,8 m DVR90.



Figur 62: De estimerede skadesomkostningerne for Olsbæk Strand under status (blå kurve, venstre y-akse) og de udvalgte sikringsscenarier: +2,60m DVR90 og +8,0 m DVR90 (grøn og magenta kurve, højre y-akse).

6.2.2 Anlæg- og driftsomkostninger

De estimerede anlæg og driftsomkostninger for de to sikringstiltag er beregnet og beskrevet i afsnit 5.1.6 og cash flowet visualiseret i Figur 63.



Figur 63: De estimerede anlæg, drift og reinvesteringssomkostningerne under de udvalgte sikringsscenarier: +2,60m DVR90 og +8,0 m DVR90, Olsbæk Strand.

Nettonutidsværdierne estimerer de samlede omkostninger over perioden til henholdsvis ~3.800.000 kr. for sikringsniveau +2,60 m DVR90 og ~4.000.000 kr. for sikringsniveau + 2,80 m DVR90.

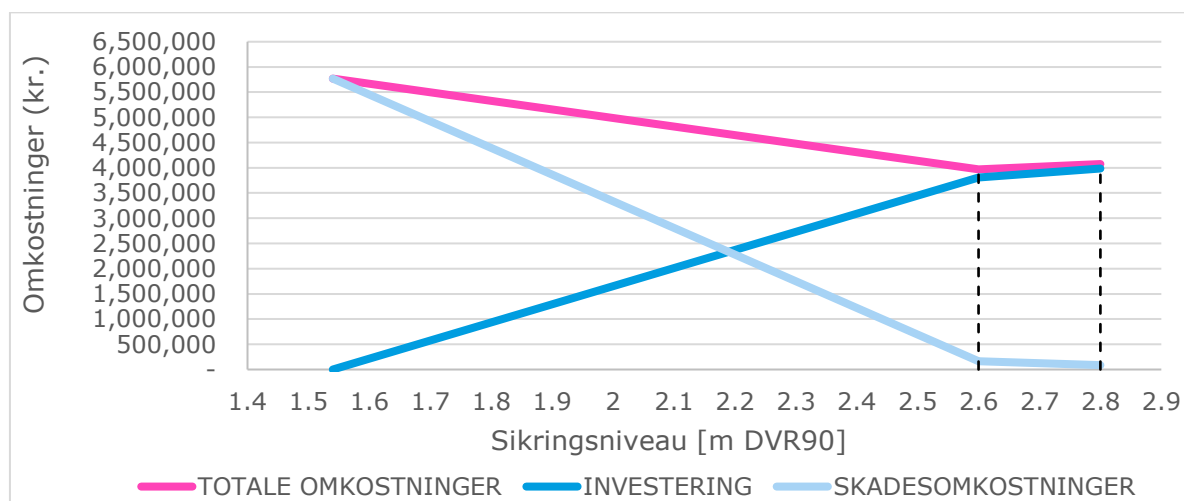
6.2.3 Effektanalyse

Nettonutidsværdierne for de forventede skadesomkostningerne og estimerede anlægs- og driftsomkostninger, angives i Tabel 18. Effektanalysen viser en positiv 'benefit-cost ratio', hvilket indikerer at der for hver krone brugt, er gevinsten mindst en krone. De sparende skadesomkostninger overstiger dermed omkostningerne for anlæg og drift ved kystbeskyttelse.

På Figur 64 er de totale omkostninger (investering og skadesomkostninger) vist som funktion af sikringsniveau. Der ses en faldende tendens af de totale omkostninger med stigende sikringskote af en etableret kystbeskyttelse, men ikke noget egentligt minimum på kurven. Dermed giver den økonomiske optimeringsanalyse ikke et klart billede af det optimale sikringsniveau for området omkring Olsbæk Strand, men indikerer at kystbeskyttelse er en økonomisk attraktiv investering omkring + 2,6 til +2,8 m DVR90, Figur 64.

Tabel 18: Omkostningsoppgørelse, 2017 nettonutidsværdier, Olsbæk Strand

	Status	Sikringsniveau +2,6 m DVR90	Sikringsniveau +2,8 m DVR90
Skadesomkostninger (kr.)	~6.000.000	~160.000	~86.000
Anlæg- og driftsomkostninger (kr.)		~3.800.000	~ 4.000.000
Totale omkostninger (kr.)	~6.000.000	~4.000.000	~4.100.000
'Benefit-Cost' ratio		1,55	1,50



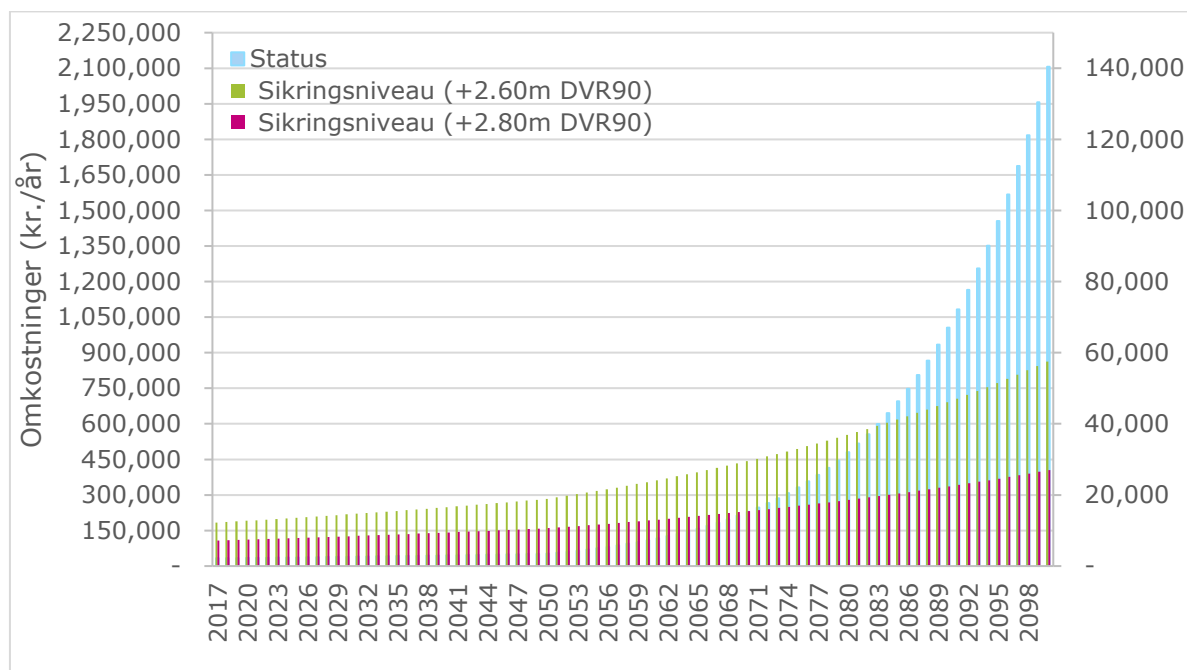
Figur 64: Det optimale sikringsniveau for Olsbæk Strand, hvor de totale omkostninger forbundet med anlægs- og driftsomkostninger sammenlagt med skadesomkostninger er på et minimum.

6.3 Karlslunde Strand

6.3.1 Skadesomkostninger

Skadesomkostningerne for de 2 udvalgte sikringsniveau er udregnet og vist på Figur 65. De gennemsnitlige forventede årlige omkostninger, kan derfor nu sammenlignes i forhold til, ikke at gøre noget. Som forventet stiger omkostningerne over tid. Figur 65 indikerer ligeledes at desto højere sikringsniveau, desto lavere skader. De forventede årlige skadesomkostninger minimeres kraftigt. Omregnet til nettonutidsværdier falder skadesomkostningerne fra ~4.000.000 kr. til

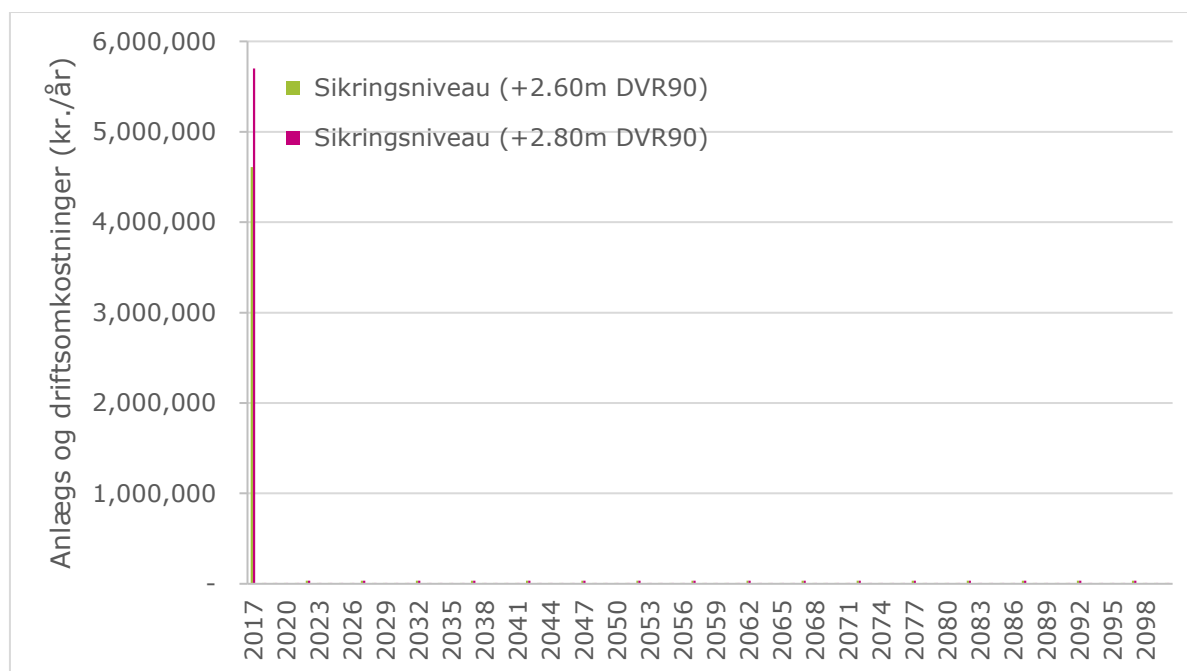
henholdsvis ~600.000 kr. for sikringsniveau til kote +2,6 m DVR90 og ~300.000 kr. til kote +2,8 m DVR90.



Figur 65: De estimerede skadesomkostningerne for Karlslunde Strand under status (blå kurve, venstre y-akse) og de udvalgte sikringsscenarier: +2,60m DVR90 og +2,80 m DVR90 (grøn og magenta kurve, højre y-akse).

6.3.2 Anlæg- og driftsomkostninger

De estimerede anlæg og driftsomkostninger for de to sikringstiltag er beregnet og beskrevet i afsnit 5.2.4 og cash flowet visualiseret i Figur 66.



Figur 66: De estimerede anlæg, drift og reinvesteringssomkostningerne under de udvalgte sikringsscenarier: +2,60 m DVR90 og +2,80 m DVR90, Karlslunde Strand.

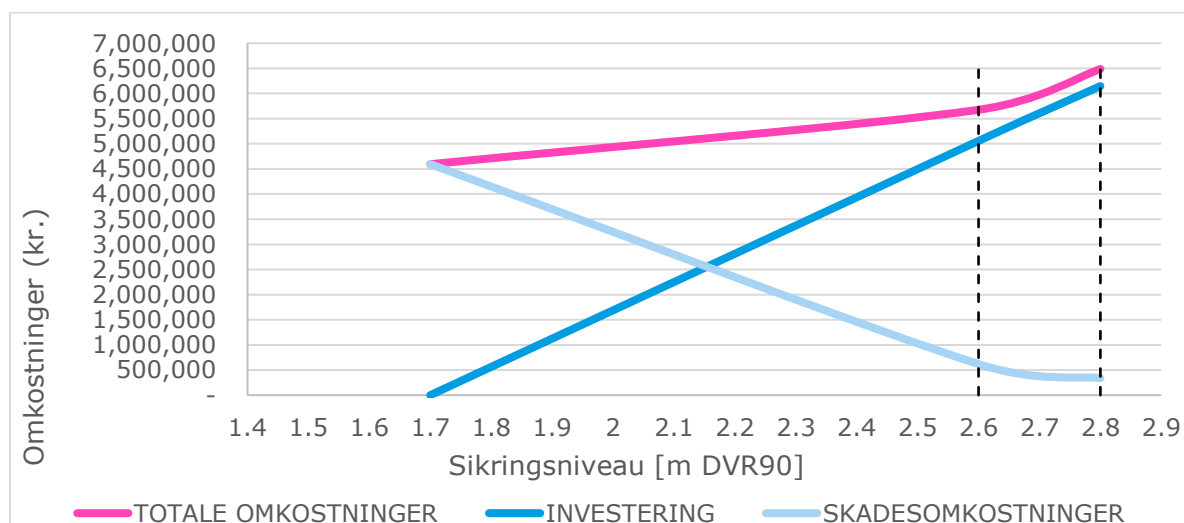
6.3.3 Effektanalyse

Nettonutidsværdierne for de forventede skadesomkostninger og estimerede anlægs- og driftsomkostninger, angives Tabel 19. Effektanalysen viser, at det ikke entydigt er en attraktiv investering at etablere kystbeskyttelse. 'Benefit-cost ratio', der er under 1, indikerer at omkostningerne til etablering og drift af kystbeskyttelsen overgår skadesomkostningerne i forbindelse med stormflod, når der kun ses på bygningsskader.

På Figur 67 er de totale omkostninger (investering og skadesomkostninger) vist som funktion af sikringsniveau. Det ses, at de totale omkostninger er stigende med øget sikringskote og har ikke noget minimum i det interval der indgår i analysen. Den økonomiske optimeringsanalyse indikerer at der er et mindre incitament til etablering kystbeskyttelse end i Olsbæk Strand. Den udførte analyse i indeværende rapport, er selvfølgelig en simplificering af virkeligheden, hvorfor forudsætningerne bør holdes for øje. I Karlslunde Strand ligger bebyggelsen så højt, at der med nuværende klima, ret sjældent vil være situationer med oversvømmelse. Projektet sigter mod at sikre mod nogle relativt sjældne hændelser, der godt nok bliver hyppigere i fremtiden, men som i den økonomiske analyse kommer til at tælle forholdsvis lidt på skadessiden. Derfor kommer den foreslåede kystbeskyttelse ikke til at fremstå rentabelt. Det vil dog stadig være sådan, at hvis en stormflodshændelse med vandstand over kote 2,2 indtræffer i nær fremtid, kan det for den enkelte grundejer have store konsekvenser, hvis der ikke er etableret kystbeskyttelse.

Tabel 19: Omkostningsopgørelse, 2017 nettonutidsværdier, Karlslunde Strand

	Status	Sikringsniveau +2,6 m DVR90	Sikringsniveau +2,8 m DVR90
Skadesomkostninger (kr.)	~ 4.600.000	~600.000	~300.000
Anlæg- og driftsomkostninger (kr.)		~ 5.000.000	~ 6.100.000
Totale omkostninger (kr.)	~ 4.600.000	~5.700.000	~6.100.000
'benefit-cost' ratio		0,79	0,69



Figur 67: Det optimale sikringsniveau for Karlslunde Strand, hvor de totale omkostninger forbundet med anlægs- og driftsomkostninger sammenlagt med skadesomkostninger er på et minimum.

7. KONKLUSION

Greve Kommune har som en del af de nationale klimatilpasningsplaner og implementeringen af EU Oversvømmelsesdirektiv udpeget risikoområder. Områderne Olsbæk Strand og Karlslunde Strand er udpeget, hvorfor indeværende rapport har belyst problemstillinger og muligheder for indsatser.

Med henblik på klimaforandringerne, hvor fremtidens vejrforhold og stigningen af det globale havvandstandsspejl forårsager en øget sandsynlighed for oversvømmelse med tiden, og dermed en forhøjet risiko, er det vigtigt at være opmærksom på om en klimatilpasningsindsats kræves og til hvilket niveau.

Det har været et ønske fra Greve Kommune og undersøge mulighederne for at bringe områderne omkring Olsbæk Strand og Karlslunde Strand op på samme, eller lidt lavere, sikringsniveau som resten af kommunen.

Der er på den baggrund skitseret to forslag til kystbeskyttelse i hvert område, med sikringskote i hhv. 2,6 m DVR90 og 2,8 m DVR90. Omkostningerne til etablering og drift af disse forslag er estimeret og sammenholdt med vurderede skadesomkostninger som følge af stormflodshændelser nu og frem til år 2100.

De største skadesomkostninger forventes først og fremmest i fremtiden grundet de hyppigere højvandshændelser. Når man ser på skader og omkostninger ud fra en samfundsøkonomisk analyse vil det være de hyppige hændelser der vejer mest, eftersom skadesomkostningerne ganges med sandsynligheden for at de indtræffer. Dog vil hændelser af mere sjældent karakter have store konsekvenser for områderne.

For Olsbæk Strand er det vurderet at det samfundsøkonomisk set er en god investering at etablere kystbeskyttelse som er foreslået. Der ses dog ikke et klart optimum for sikringskoten. Etableres kystbeskyttelse vil det være en relativt begrænset meromkostning at hæve sikkerhedsniveauet till +2,6 - 2,8 m DVR90, så man opnår nogenlunde samme sikkerhedsniveau som resten af kommunen, som er målet med projektet.

Langs Karlslunde Strand er der et mindre incitament for at stormflodssikre end i Olsbæk Strand. Den økonomiske analyse viser at omkostningerne ved etablering og drift af kystbeskyttelsen overstiger de sparede skadesudgifter.

8. REFERENCER

- /1/ DMI's hjemmeside: <http://www.dmi.dk/vejr/> og <http://www.dmi.dk/hav/>
- /2/ Højvandsstatistikker 2012. Kystdirektoratet, 2013.
- /3/ Coastal Engineering Manual. Part II. Waves and Hydrodynamics. Chapter 2. Meteorology and wave climate
- /4/ EuroTop: Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures. Die Küste, Archive for Research and Technology on the North Sea and Baltic Coast. August 2007.
- /5/ CIRIA, CUR, CETMEF: The Rock Manual, The use of rock in hydraulic engineering. 2007.
- /6/ DMI. Scientific Report 91-1: Stormfloder. København 1991.
- /7/ Klimatilpasning i kystområder. Kystdirektoratet 2012.
- /8/ Thorsten Piontkowitz, Oplæg om diger. Randers Kommune, 20. maj 2014, Kystdirektoratet
- /9/ DMI & GEUS (2017): Ændringer af havniveauet i Danmark de næste 100-200 år https://www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/DKC/notat_vandstand_geus_dmi.pdf

[Tekst - Do not delete the following line since it contains a section break. NB! Sidenumre opdateres ved "Gem" og "Print"]

BILAG 1 - ØKONOMISKE BEGREBER, BESLUTNINGSGRUNDLAG OG ANTAGELSER

Cash flow

Cash flow beregninger, angiver pengestrømmene for omkostninger og gevinster for hvert år i referenceperioden. Beregningerne bruges til at analysere effekten over tid. Beregninger er sensitive overfor om større omkostningerne er placeret i begyndelsen eller i slutningen af referenceperioden.

Diskontering

Diskontering betegner en omregning af ind- og udbetalinger, der finder sted på forskellige tidspunkter, til beløb på ét bestemt tidspunkt. Her anvendes begrebet til at omregne fremtidige beløb til nutiden, hvorved nutidsværdien af beløbet fås.

Diskontering bruges i mange forskellige situationer, hvor der skal træffes beslutninger, der får konsekvenser på senere tidspunkter. Diskontering afvejer værdien af nutidige omkostninger mod formodede fremtidige gevinster.

Nettonutidsværdi

Nettonutidsværdien (NNV) for skadesomkostninger og tiltag, der har en levetid over flere år, har som oftest gevinster og omkostninger der indtræffer på forskellige tidspunkter. Gevinsterne og omkostninger kan ikke blot lægges sammen over tid, men der er derimod behov for at skalere værdien af de fremtidige konsekvenser, så præferencerne for nutidigt forbrug frem for fremtidigt forbrug afspejles. Dette gøres ved at tilbagediskontere og summere værdien af fremtidige konsekvenser til starten af tiltagets tidshorisont, hvorved periodens konsekvenser omsættes til en nettonutidsværdi.

Nettonutidsværdien er hele projektperiodens diskonterede omkostninger summeret. NNV beregnes for at kunne sammenligne scenariernes omkostninger på et fælles grundlag, dvs. et givent års (f.eks. 2017) kr. værdi.