

ESBJERG KOMMUNE

DARUM – TJÆREBORG DIGET. FORSTÆRKNINGSPROJEKT.

KONSEKVENSVURDERING AF SIKRINGSNIVEAU

ADRESSE COWI A/S
Parallelvej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

INDHOLD

1	Indledning	2
1.1	Anvendte definitioner	3
2	Resume	4
3	Analyse og konsekvensvurdering	6
3.1	Vurdering af relevant sikringsniveau	6
4	Metode for samfundsøkonomisk analyse	15
4.1	Højvandsstatistik	16
4.2	Opgørelse af forventede skader	16
4.3	Samfundsøkonomisk analyse	17
5	Anbefalet sikkerhedsniveau	18

BILAG

Bilag A	Forudsætninger for samfundsøkonomisk model	20
A.1	Centrale forudsætninger	20
A.2	Værdisætning af skader	21
Bilag B	Oversigt over det beskyttede område	23

PROJEKTNR.

A224954

DOKUMENTNR.

A224954-050-001

VERSION

1

UDGIVELSESDATO

15-06-2021

BESKRIVELSE

Sikringsniveau

UDARBEJDET

ALHK/HGLN/SKN

KONTROLLERET

LAFN

GODKENDT

SKN

1 Indledning

Darum-Tjæreborg diget er placeret mellem Tjæreborg og Darum øst for Esbjerg. Diget beskytter et areal på ca. 2170 ha.

På oversigtskortet nedenfor, ses digets placering samt nuværende afgrænsning af det beskyttede område.



Der er konstateret revner i bagskråningen på diget og lokalt varierende digekrone. Det vurderes, at digets nuværende sikringsniveau svarer til en stormflod med 70-75 års gentagelsesperiode (returperiode), hvilket er markant lavere end det projekterede sikkerhedsniveau (165 års gentagelsesperiode). Digets nuværende tilstand, kombineret med udsigten til globale vandstandsstigninger i fremtiden, har ført til, at Esbjerg Kommune i samarbejde med digelaget har igangsat et forstærkningsprojekt, der skal sikres digets funktion fremover.

Formålet med nærværende notat er at bistå Esbjerg Kommune med valg af sikringsniveau for den planlagte forstærkning, så diget kan sikre imod stormfloder i fremtiden under hensyntagen til forventede klimaændringer.

Notatet indgår endvidere som grundlag for de følgende faser i forstærkningsprojektet, som indledningsvis omfatter udarbejdelse af løsningsforslag baseret på det valgte sikringsniveau, udarbejdelse af forprojekt og ansøgning om tilskudsmidler hos Kystdirektoratet.

1.1 Anvendte definitioner

For at lette læsningen, er der her oplistet nogle få centrale definitioner og forklaringen på disse.

Sikringsniveau

Angiver til hvilken kote diget udøver beskyttelse til. Synonymer til dette er sikringskote eller designvandstand.

Kronekote

Er top koten for diget og består af koten for sikringsniveau + bølgetillæg m.m. i forhold til at kunne opretholde sikringsniveauet, reducere overskyl osv.

Gentagelsesperiode

Beskriver den statistiske sandsynlighed for, at en given vandstandskote optræder. En 100-årshændelse optræder statistisk set hvert 100 år. Synonymer er bl.a. returperiode.

Gentagelsesperioden for en given vandstand ændrer sig som følge af klimaforandringerne påvirkning af middelvandspejlet, som er stigende. Herved vil en, i dag, sjælden vandstand i fremtiden optræde hyppigere.

2 Resume

Diget beskytter i dag til ca. kote +4,8m, svarende til at diget beskytter op til en stormflod med en gentagelsesperiode på 70-75 år. Men risikoen for digebrud vil stige i takt med klimaforandringer, svarende til at diget kun vil kunne beskytte mod stormfloder op til en 10 års gentagelsesperiode i 2065.

Det eksisterende dige reducerer skadesomkostningerne med ca. kr. 12 mia. over en 50-årig periode, svarende til ca. 98,9 % af de samlede skadesomkostninger hvis diget *ikke* var der. Der er således kun en rest af skader på 1,1% over de næste 50 år, svarende til ca. kr. 135 mio.

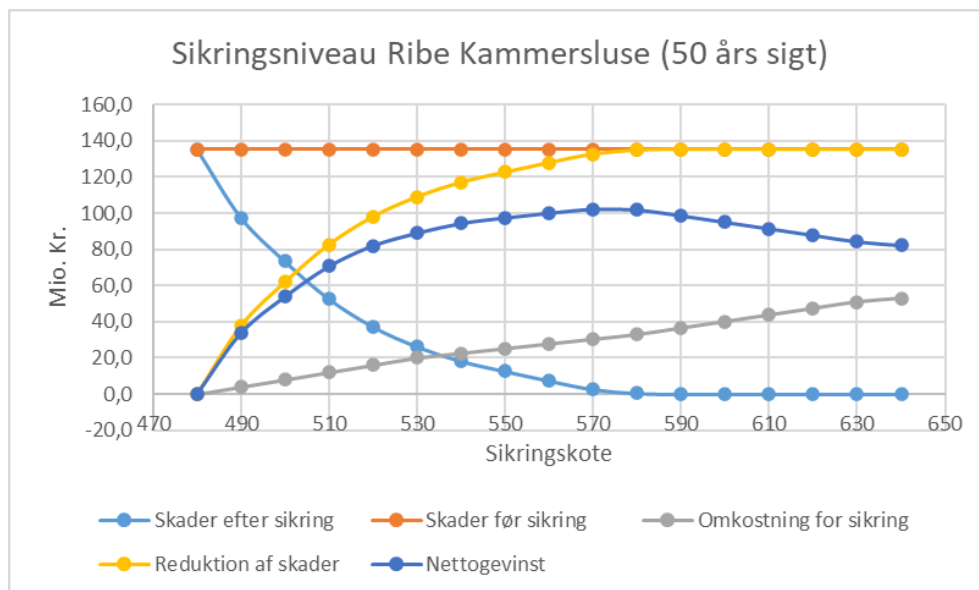
Det er derfor vigtigt, at det nuværende diges styrke og beskyttende virkning fastholdes og udbygges til at kunne modstå den øgede vandstand klimaforandringerne forventes at medføre i fremtiden.

Der er udført en analyse af de målte vandstande ved henholdsvis Esbjerg og Ribe Kammersluse der viser, at der kan forekomme stormfloder i Vadehavet, hvor vandstanden ved Darum-Tjæreborg diget står lavere end ved Kammerslusen, men også, at der har været stormfloder, hvor vandstanden ved Kammerslusen og diget har nået samme høje niveau. Samtidig viser analysen, at vandstanden under samtlige historiske stormfloder har været lavere ved Esbjerg Havn end ved Kammerslusen. Det er derfor vurderet, at højvandsstatistikken ved Ribe Kammersluse er mest repræsentativ for forholdene ved Darum-Tjæreborg diget.

Sikringsniveauet for diget er fastlagt på baggrund af følgende primære forudsætninger:

- > 50 års tidshorisont
- > Vandstandsstatistik for Ribe Kammersluse
- > Klimafremskrivning RCP 8.5

Figur 2-1 illustrerer de resterende skadesomkostninger (ved forventede oversvømmelser over det nuværende sikringsniveau) for en 50-årig periode.



Figur 2-1 Forventede skader uden sikring, med sikring til konkrete niveauer og den forventede reduktion af skader over en 50 års periode. På grundlag af den forventede reduktion og de estimerede omkostninger for sikring er den potentielle nettogevinst beregnet. Her vist for beregning baseret på Ribe Kammersluse statistikken.

På baggrund de gennemførte analyser og vurderinger, anbefales det at anvende et sikringsniveau på +5,50 m DVR90, da der ved denne kote opnås en rimelig sikkerhed i hele planlægningsperioden og reduktionen i skader er betydeligt højere end den forventede investering i anlægsarbejdet til udførelse af forstærkningen. Desuden vurderes restskadernes værdi som værende acceptable.

Med det nye sikringsniveau øges det beskyttede areal bag diget med ca. 355 ha.

3 Analyse og konsekvensvurdering

3.1 Vurdering af relevant sikringsniveau

Der er udført en samfundsøkonomisk analyse af, hvordan omkostningerne ved stormflod er fordelt på stormflodskoten i forhold til, om det nuværende sikringsniveau på +4,8 m bibeholdes eller hæves. Den samfundsøkonomiske analyse er lavet efter samme metode som COWIs projekt for Realdania i 2017 (Sikker Jensen, Toft Holm, Engel Hansen, & Hinge-Christensen, 2017). Metoden er kort beskrevet i afsnit 4.

Analyse er baseret på det nuværende sikringsniveau på +4,8 m og udregnet for hver 10 cm sikringskoten hæves indtil der opnås en sikring i kote +6,4 m. Analysen tager udgangspunkt i at sikringen etableres i 2021, og viser risikoen for skades omkostninger de næste 100 år.

Scenarierne med forskellige sikringsniveauer er benyttet som input i den økonomiske model til beregning af besparelsen i skader til enhver given stormflodshændelse.

For stormfloder højere end det givne sikringsniveau antages det, at sikringen ikke yder beskyttelse af de oversvømmede områder da der vil forekomme digebrud og stort set hele baglandet vil blive oversvømmet relativt hurtigt. Dette er dog en simplificering da en lille overskridelse af sikringsniveauet ikke nødvendigvis vil forårsage en "fuld skade", hvis store dele af diget forbliver intakt. En nærmere vurdering af dette kræver dog flere relativt komplicerede hydrauliske beregninger. Derfor bruges de beregnede skadesomkostninger for disse hændelser.

Ligeledes er det antaget at der ikke kommer oversvømmelser fra syd og nord på landsiden.

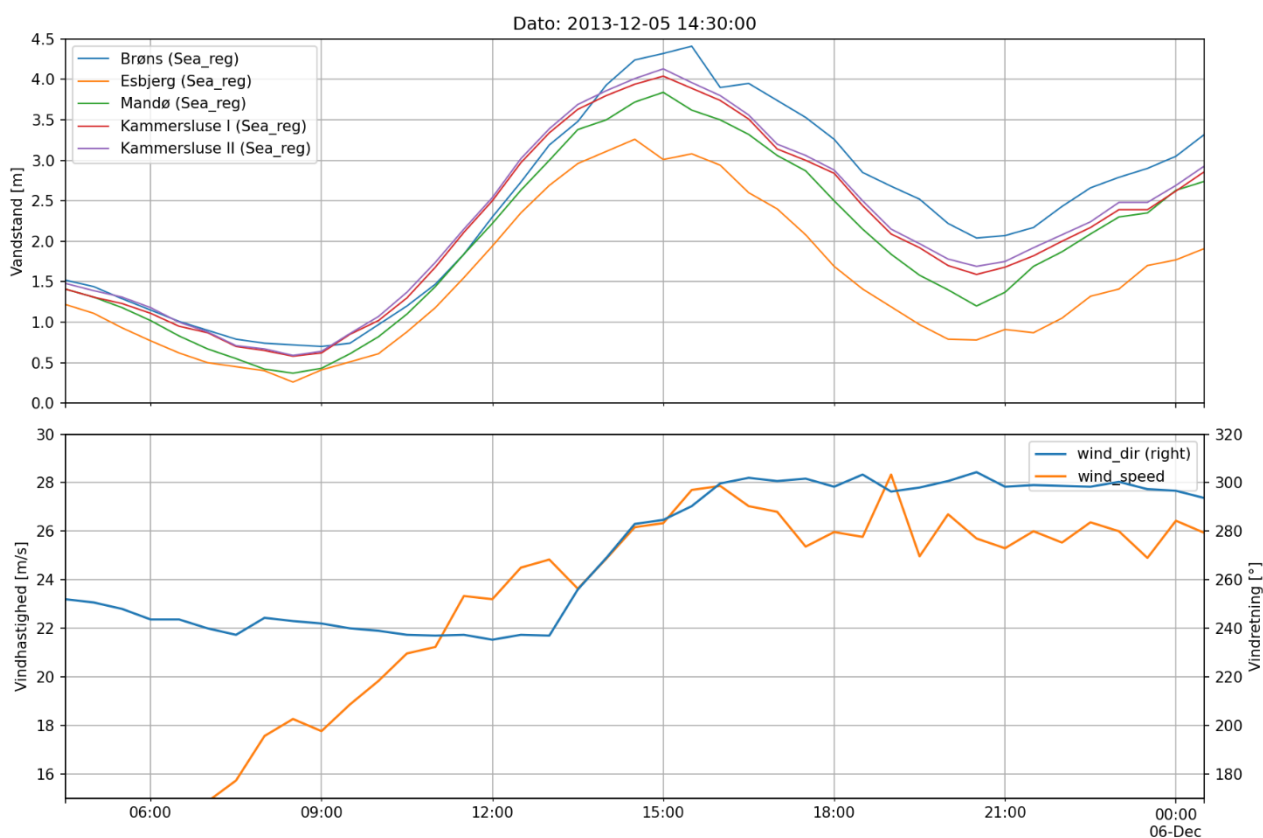
Kote +4,8 m vil svare til en 70-75-årshændelse i 2020, en 30-årshændelse i 2050 og en hyppigt forekommende hændelse i 2120.

Kote +6,4 m vil forekomme sjældnere end en 10.000-årshændelse i 2020, en 2.000-årshændelse i 2080 og en 500-årshændelse i 2120.

3.1.1 Højvandsstatistik

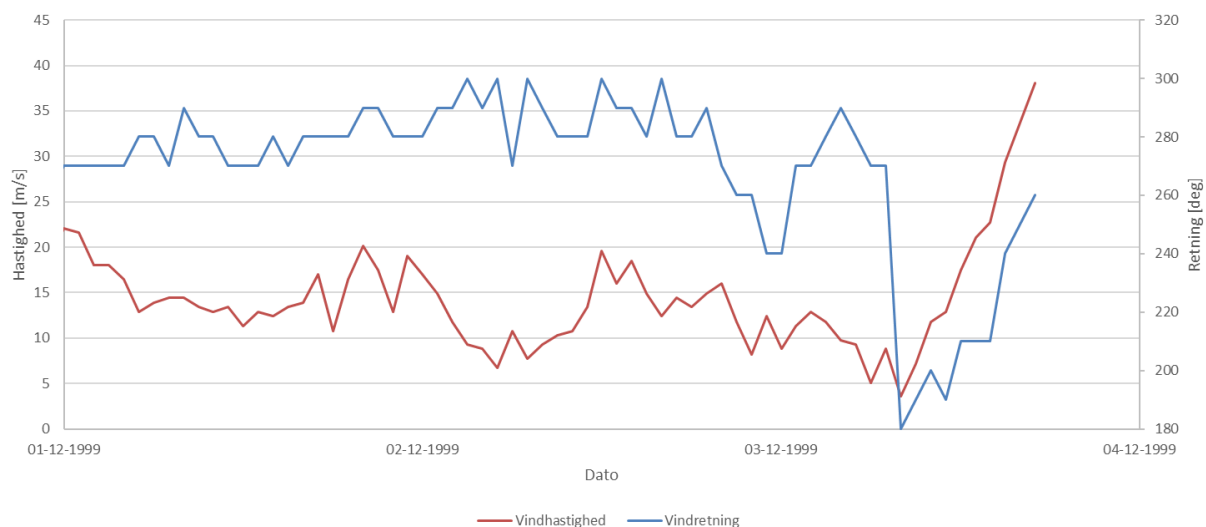
Der er målt vandstand i Esbjerg og ved Ribe Kammersluse i hhv. 147 og 100 år. Desuden er vandstanden blevet målt ved Mandø og Brøns siden år 2000. For de år, hvor der findes samtidige målinger af vandstanden ved de forskellige målestationer, kan det observeres, at der er meget varierende maksimal vandstand under stormflod. Dette ses bl.a. af vandstandsmålingerne under stormen "Bodil" i 2013, som er vist på Figur 3-1. Målingerne viser, at vandstanden stod mere end 1 m højere i den sydlige del af Vadehavet ved Brøns end i den nordlige del ved Esbjerg Havn. Samtidig viser vindmålinger fra Rømø, at vinden peakede med vindhastigheder på ca. 28 m/s fra VNV (300°). Dette kunne indikere, at stormen har forårsaget vindstuvning i Vadehavet, i form af et hældende vand-spejl stigende fra VNV mod ØSØ.

Der findes ikke vandstandsmålinger ved Darum-Tjæreborg diget under "Bodil", men sandsynligvis har vandstanden ved diget været højere end i Esbjerg og lavere end ved Kammerslusen.



Figur 3-1 Vandstandsmålinger ved Brøns, Esbjerg, Mandø, og Ribe kammersluse, samt vindmålinger fra Rømø under stormen "Bodil" i 2013.

Under andre storme som "december-stormen" i 1999 kom vinden fra 250-260° (se Figur 3-2), hvilket kan have skabt et hældende vandspejl som vist på Figur 3-3.



Figur 3-2 Vindforhold ved "december-stormen" d. 03-12-1999.



*Figur 3-3 Principskitse af vindstuvning med vind fra 250°. Linjerne er "højdekonturer" som angiver samme niveau af vindstuvning.
 Blå markør: målinger ved Esbjerg Havn,
 Rød markør: målinger ved Ribe Kammersluse
 Grøn markør: det sydligste punkt på Darum-Tjæreborg diget.*

Under "december-stormen" i 1999 blev der målt en vandstand på ca. 5 m ved Ribe Kammersluse, og som vist på Figur 3-3 var vandstanden sandsynligvis også i kote 5 m ved Darum-Tjæreborg diget. Til sammenligning var vandstanden i Esbjerg Havn ca. 3,8 m

Ovenstående to eksempler taler for, at der kan forekomme stormfloder i Vadehavet, hvor vandstanden ved Darum-Tjæreborg diget står lavere end ved Kammerslusen, men også at der har været stormfloder hvor vandstanden ved Kammerslusen og diget har nået den samme høje niveau. Samtidig viser analysen, at vandstanden under samtlige historiske stormfloder har været lavere ved Esbjerg Havn end ved Kammerslusen.

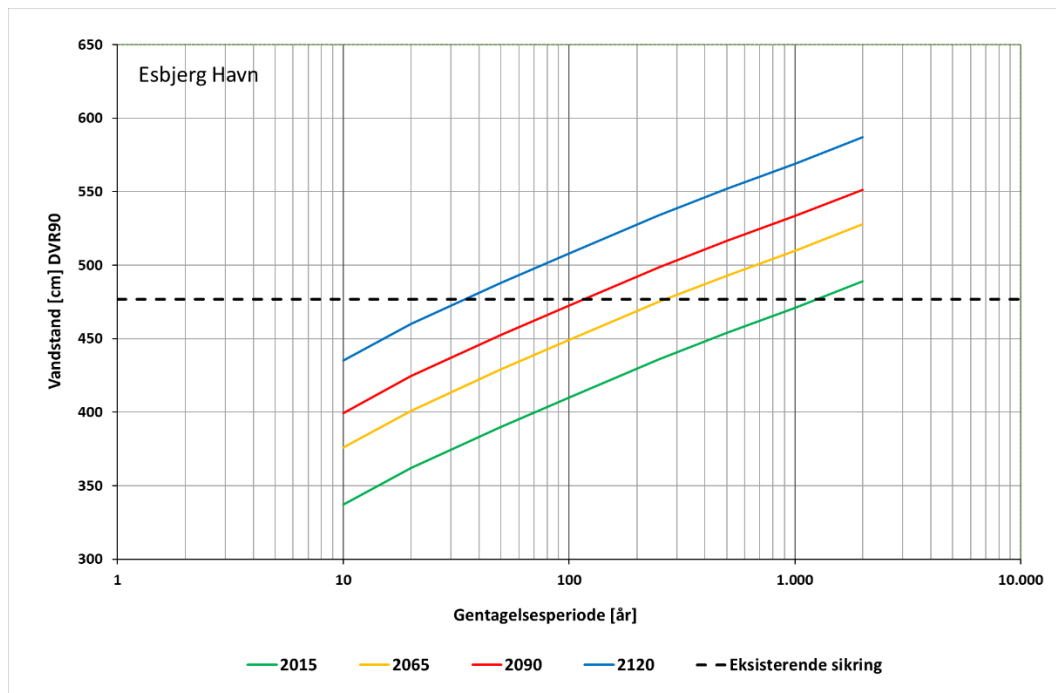
En analyse af vandstanden ved Darum-Tjæreborg diget under historiske stormfloder vil forudsætte detaljeret kendskab til vindforholdene under de enkelte stormfloder, hvilket vanskeliggøres af, at de værste stormfloder i Vadehavet forekom i perioden 1968-1999, hvor der ikke findes vinddata eller målinger i god kvalitet. Derfor kan det ikke udelukkes, at vinden er kommet fra V-VSV, hvorved Darum-Tjæreborg diget har oplevet det samme ekstreme vandstand som Kammerslusen.

Med udgangspunkt i ovenstående vurderes det;

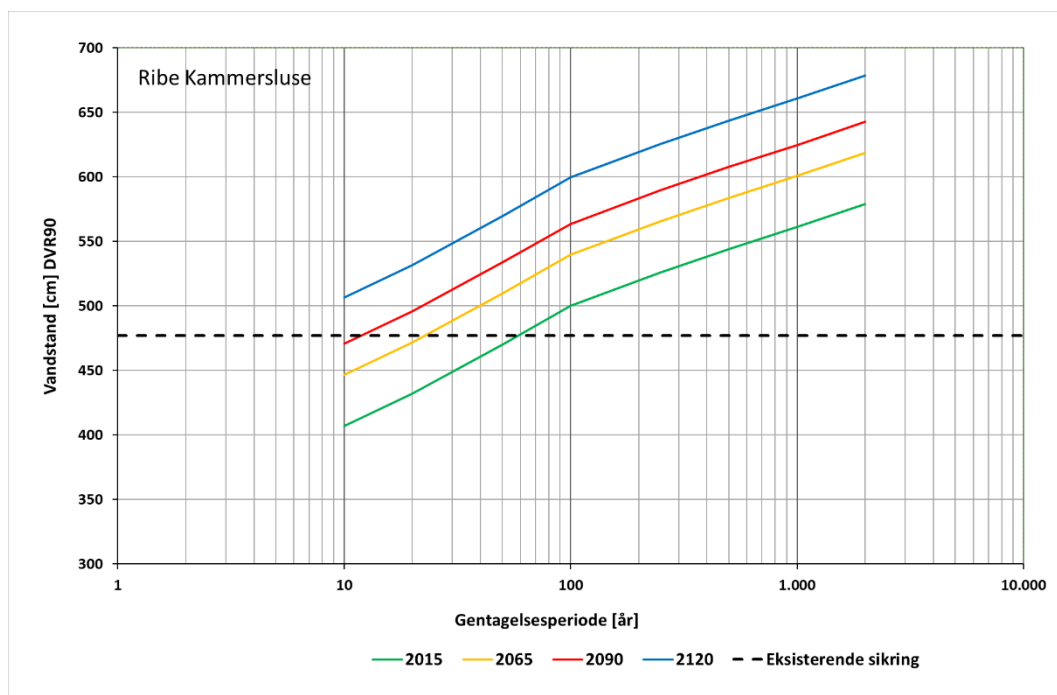
- 1 At højvandsstatistikken ved Esbjerg Havn ikke er repræsentativ for vandstandsforholdene ved Darum-Tjæreborg diget.
- 2 At det ikke vil være muligt at etablere et pålideligt datagrundlag til at lave en lokal højvandsstatistik ved Darum-Tjæreborg diget.

- 3 At højvandsstatistikken ved Ribe Kammersluse er repræsentativ for forholdene ved Darum-Tjæreborg diget, omend vandstanden ved Kammerslusen antageligt har været højere end ved diget under flere historiske stormfloder.

På figur 3-4 og 3-5 ses vandstandsstatistikker for henholdsvis Esbjerg Havn og Ribe Kammersluse.



Figur 3-4 Vandstanden som funktion af gentagelsesperioden ved Esbjerg havn for årene 2015, 2065, 2090 og 2120. Fremskrivninger er baseret på IPCCs RCP 8.5 scenarie.



Figur 3-5 Vandstanden som funktion af gentagelsesperioden ved Ribe Kammersluse for årene 2015, 2065, 2090 og 2120. Fremskrivninger er baseret på IPCCs RCP 8.5 scenarie.

3.1.2 Skades omkostninger

Skadesomkostningerne ved en stormflod opgjort som NPV (Netto Nutids Værdi) i 2021 for perioden 2021 – 2121 er listet i Tabel 3-1. Der er beregnet skadesomkostninger for to statiske fordelinger af sandsynlighed for stormflod da sandsynligheden ved Esbjerg Havn og Ribe Kammersluse er forskellig.

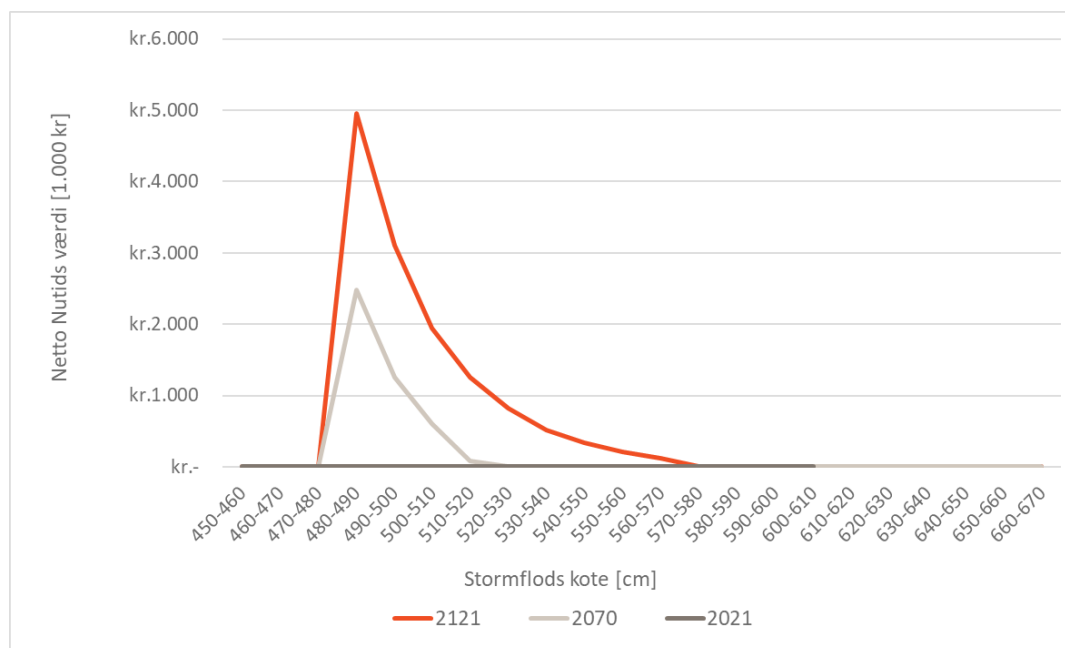
Det fremgår, at skaderne mindskes hvis sikringen hæves. Reduktionen ved tiltagene skal sammenholdes med omkostningerne ved forstærkning og vedligeholdelse. Ved de forskellige sikringsniveauer antages det, at skadesomkostningerne er 0 kr for stormfloder under den givne kote. Skaderne er beregnet ved gennemsnitlige sandsynligheder, så sandsynligheden for både hyppige og sjældne hændelser indgår i de enkelte år.

Tabel 3-1 Akkumuleret skader i NPV i 2021 over en periode på 100 år samt skaderne for henholdsvis 2021, 2070 og 2121. Det første tal angiver skades omkostningerne beregnet for stormflodsstatikken i Esbjerg og det 2. for Ribe Kammer Sluse.

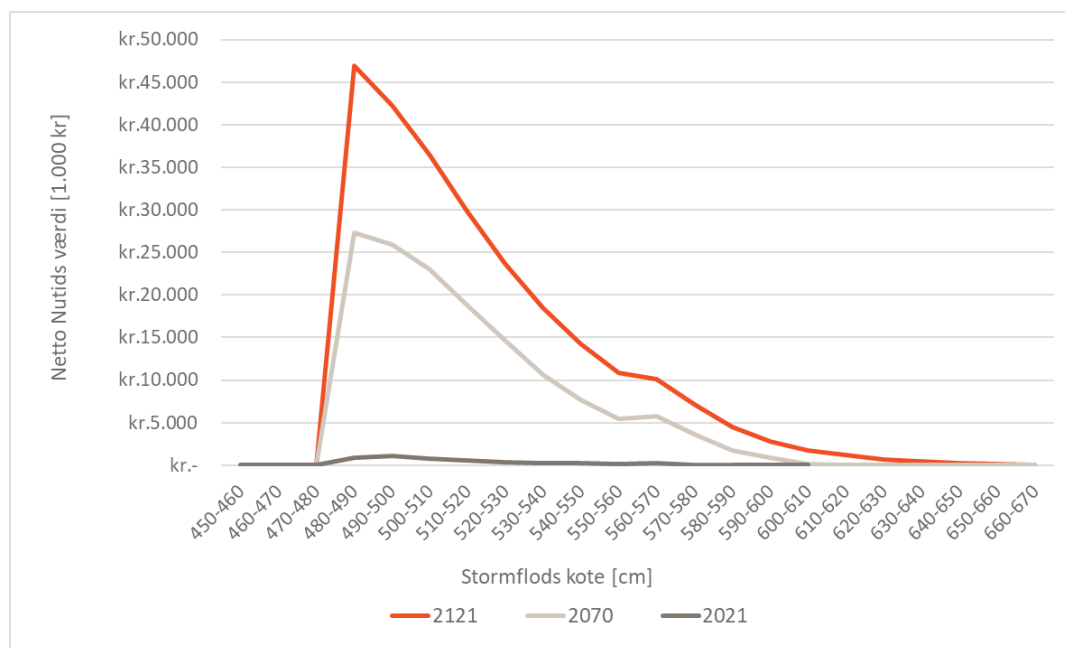
	NPV over 100 år (mio. kr.)	2020 (mio. kr.)	2070 (mio. kr.)	2120 (mio. kr.)
Skader uden dige	11,8 mia. /21 mia.	300/600	550/950	1,1 mia./1,7 mia.
Darum-Tjæreborg eksisterende sikring	17,6/333,8	0,3/7,6	0,9/16,1	7,7/68,2
Sikring 4,9 m	9,0/244,0	0/4,2	0,5/11,8	5,0/50,4
Sikring 5,0 m	5,6/192,1	0/3,0	0,4/9,6	3,5/41,0
Sikring 5,1 m	3,5/147,8	0/2,1	0,2/7,7	2,5/33,1
Sikring 5,2 m	2,1/112,3	0/1,5	0/6,1	1,8/26,7
Sikring 5,3 m	1,2/84,4	0/1,1	0/4,5	1,2/21,5
Sikring 5,4 m	0,7/62,54	0/0,7	0/3,2	0,9/17,2
Sikring 5,5 m	0,3/45,8	0/0,5	0/2,2	0,6/13,8
Sikring 5,6 m	0,1/32,0	0/0,2	0/1,6	0,2/11,1
Sikring 5,7 m	0/20,5	0/0	0/1,1	0/8,8
Sikring 5,8 m	0/12,8	0/0	0/0,8	0/6,9
Sikring 5,9 m	0/8,0	0/0	0/0,5	0/5,0
Sikring 6,0 m	0/5,0	0/0	0/0,2	0/3,5
Sikring 6,1 m	0/3,0	0/0	0/0	0/2,5
Sikring 6,2 m	0/1,7	0/0	0/0	0/1,7
Sikring 6,3 m	0/0,9	0/0	0/0	0/1,2
Sikring 6,4 m	0/0,7	0/0	0/0	0/1,0

Det ses tydeligt fra tallene i tabellen, at det eksisterende dige i dag yder en enorm beskyttelse for Esbjerg kommune. Dette skyldes, at der hvert eneste år vil ske skader bag Darum-Tjæreborg, hvis der ikke var etableret et dige og man stadig havde den nuværende bebyggelse/areaanvendelse. I praksis betyder det at diget er en nødvendighed for at man kan have beboelse i oplandet bag diget.

I beregningen af skaderne indgår udelukkende skader forårsaget af oversvømmelser fra stormflod.



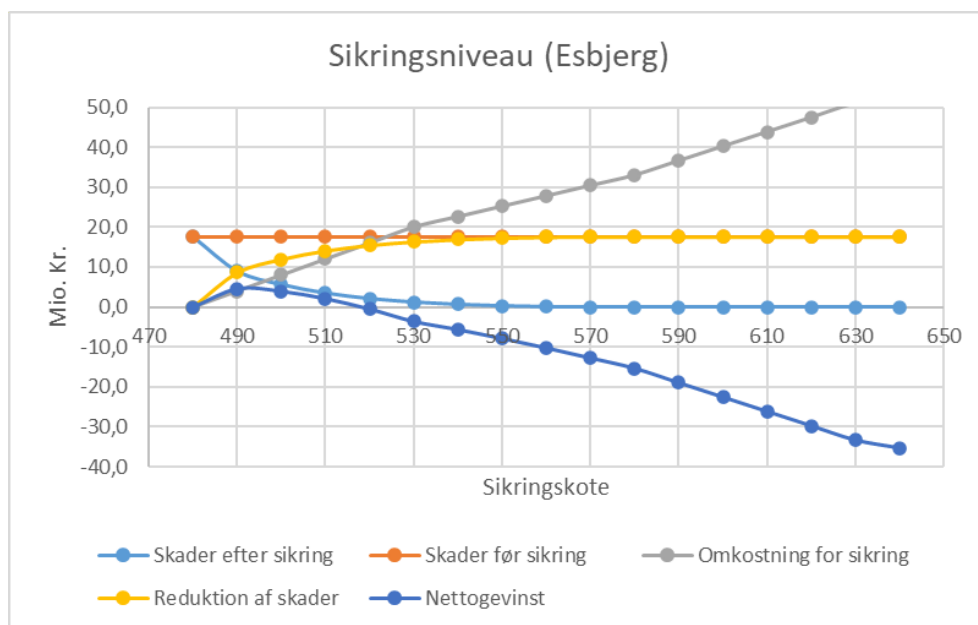
Figur 3-6 Netto Nutids værdi af skades omkostninger som funktion af stormflodskoten for 2021, 2021 – 2070 og 2021 – 2121. Stormflodsstatistik for Esbjerg Havn.



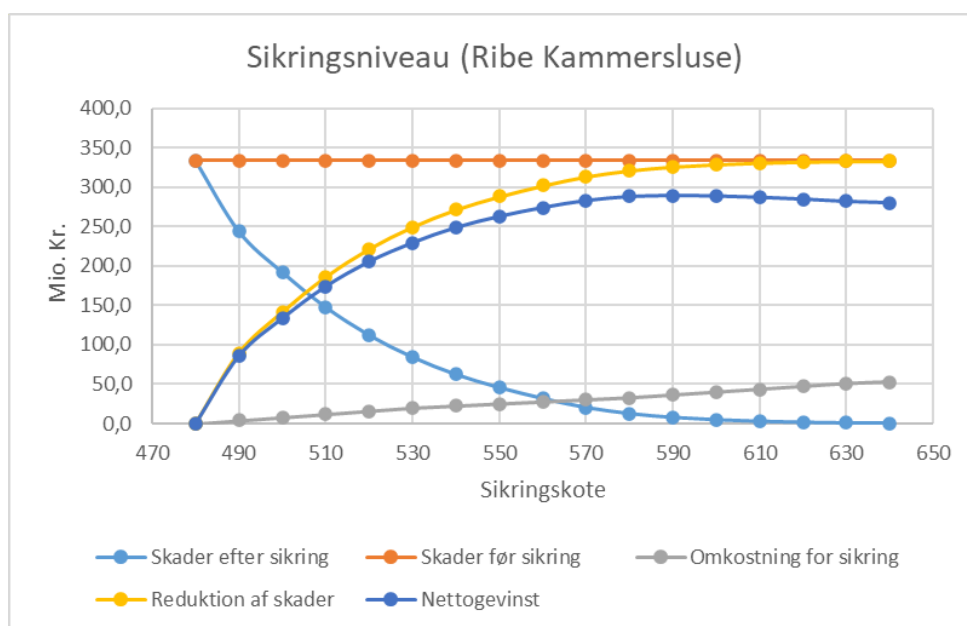
Figur 3-7 Netto Nutids værdi af skades omkostninger som funktion af stormflodskoten for 2021, 2021 – 2070 og 2021 – 2121. Stormflodsstatistik for Ribe Kammerluse.

Figur 3-6 og Figur 3-7 viser at de største skader forekommer som følge af stormfloder med vandstande på mellem 4,8 m og 5,2 m uafhængigt af hvilken sandsynlighedsfordeling der benyttes. Ydermere ses det, at skader relateret til stormfloder med vandstande over >5,7 m stort set er neglige og sikring til højere niveau vil give mindre værdi.

De følgende figurer illustrerer nettogevinst, skader og omkostning for sikring som funktion af sikringskote over en periode på 100 år:



Figur 3-8 Forventede skader uden sikring, med sikring til konkrete niveauer og den forventede reduktion af skader. På grundlag af den forventede reduktion og de estimerede omkostninger for sikring er den potentielle nettogeinst beregnet. Her vist for beregning baseret på stormflodsstatistik for Esbjerg Havn



Figur 3-9 Forventede skader uden sikring, med sikring til konkrete niveauer og den forventede reduktion af skader. På grundlag af den forventede reduktion og de estimerede omkostninger for sikring er den potentielle nettogeinst beregnet. Her vist for beregning baseret på stormflodsstatistik for Ribe Kammersluse.

Som det ses af ovenstående figurer, er der stor forskel på om man bruger stormflodsstatistik for Esbjerg Havn eller for Ribe Kammersluse. Beregninger baseret på stormflodsstatistik for Esbjerg havn viser at den nuværende sikringskote er fornuftig i forhold til skadesomkostninger (kun en rest på <20 mio

kr. i risiko over de næste 100 år hvis der ikke gøres yderligere tiltag). Stormflodsstatistik for Ribe Kammersluse, som er mere repræsentativ for diget, viser at der en rest på ca. 330 mio. kr. over 100 år, hvis diget ikke forhøjes i forhold det nuværende sikringsniveau. Ved forhøjelse af diget ses det, at skadeskurverne knækker omkring kote +5.8m til +5.9m.

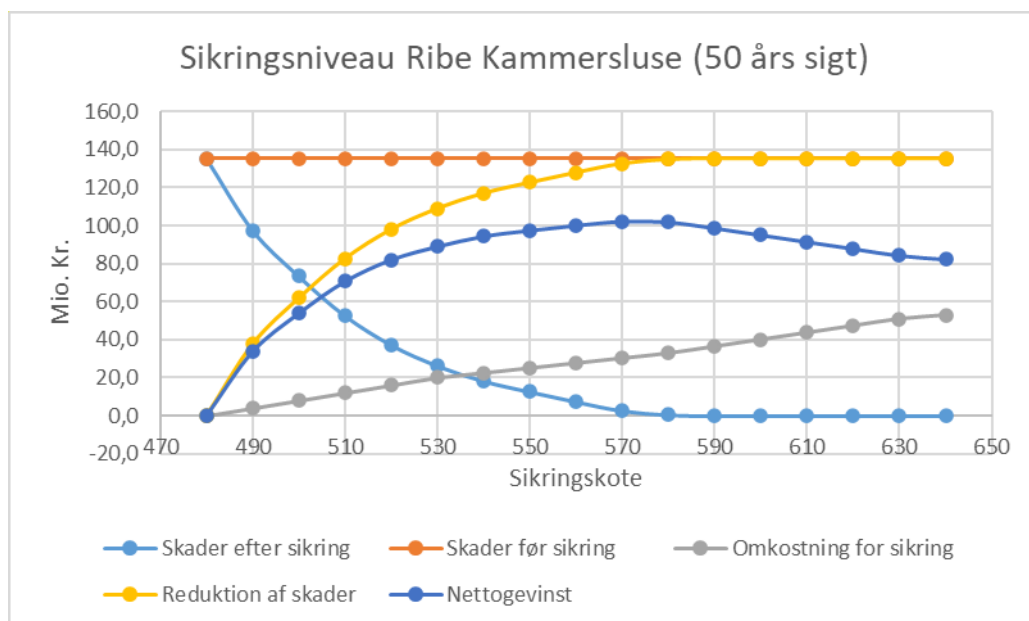
Ovenstående beregninger er baseret på en tidshorisont på 100 år, og de forudsætter således at vandstandsstigningerne følger IPCCs RCP 8.5 scenarie frem til år 2115. Men det er vigtigt at påpege, at klimascenarierne er meget usikre når man opererer med så lange horisonter. DMIs opdaterede centralestimer og sandsynlige for havspejlsstigninger pr. oktober 2019 viser et spænd fra 0,19 m til 1,08 m havspejlsstigninger i år 2100 (RCP 8.5), se Tabel 3-2.

Tabel 3-2 DMIs opdaterede centralestimer og sandsynlige spænd for havspejlsstigninger pr. oktober 2019. Tabel 5 fra [ref. (DMI, October 2019)].

Table 5: Absolute mean sea level for Denmark [cm]. The values with brackets denote best estimate and 10 to 90 percentile ranges, while the values for 2300 give the likely range.				
	Present day 1981-2010	Mid century 2041-2070	End century 2071-2100	2300 likely range
RCP4.5		26 [7-45]	42 [10-74]	
RCP8.5	0	32 [8-57]	63 [19-108] 95-percentile 240	230 - 540

Denne usikkerhed vil blive mindre i løbet af de næste årtier i takt med at man får flere data og bedre prognoser. I forbindelse med højvandsbeskyttelse er det derfor COWIs generelle anbefaling, at operere med en lidt kortere horisont på konstruktioner som kan tilpasses (forhøjes) på et senere tidspunkt, hvis det viser sig at havspejlsstigningerne bliver værre end antaget. På nedenstående Figur 3-10 er der derfor udført en beregning af skadesomkostninger over en periode på 50 år frem for 100 år.

Figuren viser at der en rest på ca. 135 mio. kr. over 50 år, hvis diget ikke forhøjes i forhold det nuværende sikringsniveau. Ved forhøjelse af diget ses det, at skadeskurverne knækker omkring kote +5,50 – 5,70m og digets sikringsniveau kan reduceres med ca. 30 cm i forhold til den tilsvarende analyse over 100 år.



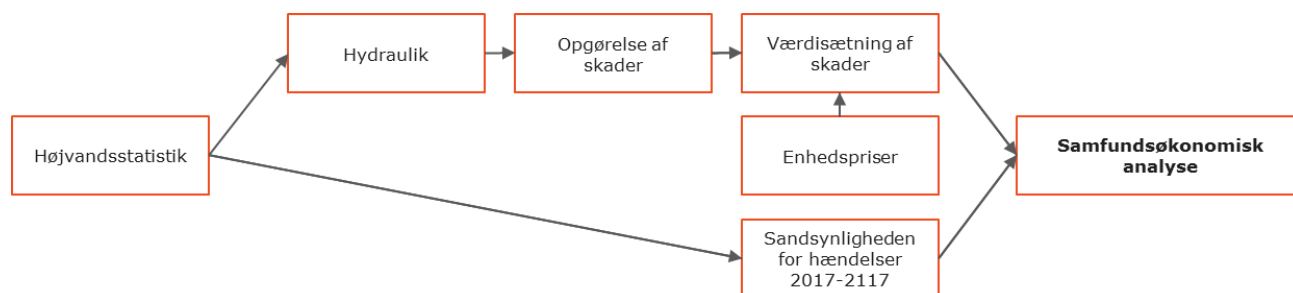
Figur 3-10 Forventede skader uden sikring, med sikring til konkrete niveauer og den forventede reduktion af skader over en 50 års periode. På grundlag af den forventede reduktion og de estimerede omkostninger for sikring er den potentielle nettogevinst beregnet. Her vist for beregning baseret på stormflodsstatistik for Ribe Kammersluse.

4 Metode for samfundsøkonomisk analyse

For at kunne vurdere de samlede skadesomkostninger ved stormflod over en hundredårig periode for byerne bag Darum-Tjæreborg diget, er der udarbejdet en samfundsøkonomisk analyse.

Overordnet opstilles der en samfundsøkonomisk model, som analyserer de samlede forventede skadesomkostninger over de kommende 50 og 100 år. I denne model beregnes for hvert enkelt år, sandsynligheden for at en given stormflodshændelse indtræffer. Desuden beregnes den forventede skadesomkostning ved denne hændelse. Ved at koble de estimerede sandsynligheder og skadesomkostninger for alle hændelser, beregnes et estimat for den økonomiske risiko for stormflod. De samlede forventede skadesomkostninger fremkommer således ved at summere den økonomiske risiko for alle hændelser over hele tidsperioden og diskontere dette til nutidsværdi.

Den forventede skadesomkostning er estimeret på baggrund af antallet af opgjorte skader ved en given stormflodshændelse.



Figur 4-1. De overordnede trin i den samfundsøkonomiske analyse

I det følgende gennemgås elementerne, der indgår i den samfundsøkonomiske model og en rækkeforudsætninger for disse beregninger klarlægges. De centrale forudsætninger er beskrevet i Bilag A.1.

Den overordnede beregningsgang er:

- > Højvandsstatistik
- > Opgørelse af forventede skader
- > Samfundsøkonomisk analyse

4.1 Højvandsstatistik

COWI har tidligere udført et studie for Realdania, baseret på højvandsstatistik for alle byer med flere end 10.000 indbyggere og dermed også Esbjerg. Statistikken bygger udelukkende på målinger fra kystdirektoratet og dermed er COWIs analyse stort set identisk med KDI højvandstatistik fra 2017. I denne analyse er der ydermere udvidet med en statistik for Ribe Kammersluse som generelt ligger 70 – 90 cm højere end Esbjerg. Som nævnt i afsnit 3.1.1 skyldes forskellen på højvandsstatistikkerne, at der forekommer vindstuvning i vadehavet under stormflod, så vandet står højere i den østlige del af vadehavet end ved Esbjerg. Formodentligt vil statikken for Darum-Tjæreborg diget lige et sted mellem Esbjerg og Ribe Kammersluse.

Foruden ekstremstatikken er der indregnet fremtidige vandstandsstigninger. Der er ikke indregnet en øget vindbelastning i fremtiden, da der ikke findes entydige konklusioner for dette. Klimafremskrivninger er beregnet tilsvarende COWIs arbejde for Metroselskabet og Realdania. Det er valgt at bruge CRES klimafremskrivning af havvandsstanden fra 2017 frem mod 2120 svarende til IPCC's RCP 8.5. I CRES' rapport er der en meget lille variation af de fremtidige havvandsstigninger på tværs af landet, hvorfor vi har valgt at benytte én værdi svarende for København, de lokale isostatiske bevægelser er modregnet på tværs af landet.

4.2 Opgørelse af forventede skader

De opgjorte skader er beregnet på baggrund af det oversvømmede areal i online programmet Scalgo-live. Det er antaget, at der indtræffer skader når vandet

står højere end 20 cm. Scalgo-live er et Gis-baseret værktøj, som kan vise alt terræn under en given kote der er hydraulisk forbundet med havet (dvs. at vandet kan strømme over terræn og oversvømme arealet). Terrænmodellen er fra 2014 med en opløsning på 40x40 cm.

Skaderne er alle opgjort på baggrund af FOT-data. El-svigt er opgivet som et gennemsnit fra Realdania projektet hvor der i gennemsnit har været 1 elskab per 2,15 oversvømmet bygning. Antallet af trafikanter på vejene for resten af landet er estimeret i forhold til beskrivelsen i FOT-data og sammenholdt med COWIs trafik model.

4.3 Samfundsøkonomisk analyse

Den samfundsøkonomiske analyse baserer sig som tidligere nævnt på ovenstående omtalte højvandsstatistik samt opgjorte skader ved højvande. Højvandsstatistikken anvendes til at beregne sandsynligheden for en given hændelse over hele den undersøgte tidsperiode. Denne sandsynlighed kobles dernæst med skadesomkostningerne ved hændelserne.

De samlede skadesomkostninger består udover værdierne af materielle skader også af værdien af forsinkelser på infrastrukturen.

I Bilag A.2 er værdisætningen for de enkelte skader beskrevet.

5 Anbefalet sikkerhedsniveau

Diget beskytter i dag til ca. kote +4,8m, svarende til at diget beskytter i forbindelse med en stormflod med en gentagelsesperiode på 70-75 år. Men risikoen for digebrud vil stige i takt med klimaforandringer, svarende til at diget vil beskytte mod stormfloder op til en 10 års gentagelsesperiode i 2065.

Det nuværende sikringsniveau reducerer i sig selv skadesomkostningerne over en 50 årig periode fra 12 mia. til ca. 135 mio kr og set over 100 år reducerer diget skadesomkostningerne fra 21 mia. til ca. 330 mio kr. Dette betyder, at diget som det står i dag reducerer skadesomkostningerne med 98,4-98,9 % afhængigt af om man ser på 50 eller 100 års sigt. Der er således kun "en" rest af skader på 1,1-1,6% over de næste 50-100 år.

Det er COWIs generelle anbefaling at operere med 50 års horisont på en digekonstruktion, som modsat et sygehus eller stor infrastruktur forholdsvis let kan tilpasses (forhøjes) på et senere tidspunkt, hvis det viser sig at havspejlsstigningerne bliver værre end antaget.

Det nuværende dige bør derfor forstærkes, så det kan modstå den øgede vandstand i den kommende 50 års periode, hvilket er omkring 30-35 cm. Hvis man skal have samme sikkerhedsniveau, svarende til en 70-75 års returperiode i år 2065, bør diget derfor ikke være lavere end ca. kote +5,2 m i år 2065.

Det er vurderet om man med fordel kan hæve diget yderligere for at sænke de akkumulerede skadesomkostninger i løbet af de næste 50 år. Som tidligere vist på Figur 3-10 er der stort set ikke er skader tilbage, hvis der sikres til kote +5,7 m, og nettogevinsten (den lyseblå kurve) som funktion af koten for sikring, knækker ligeledes ved kote 5,7 m. Imidlertid svarer kote +5,7m til en nuværende gentagelsesperiode på næsten 2.000 år og i 2065 en gentagelsesperiode på 300 år, hvilket er et højt sikringsniveau for at hente de sidste få % af skadesomkostningerne.

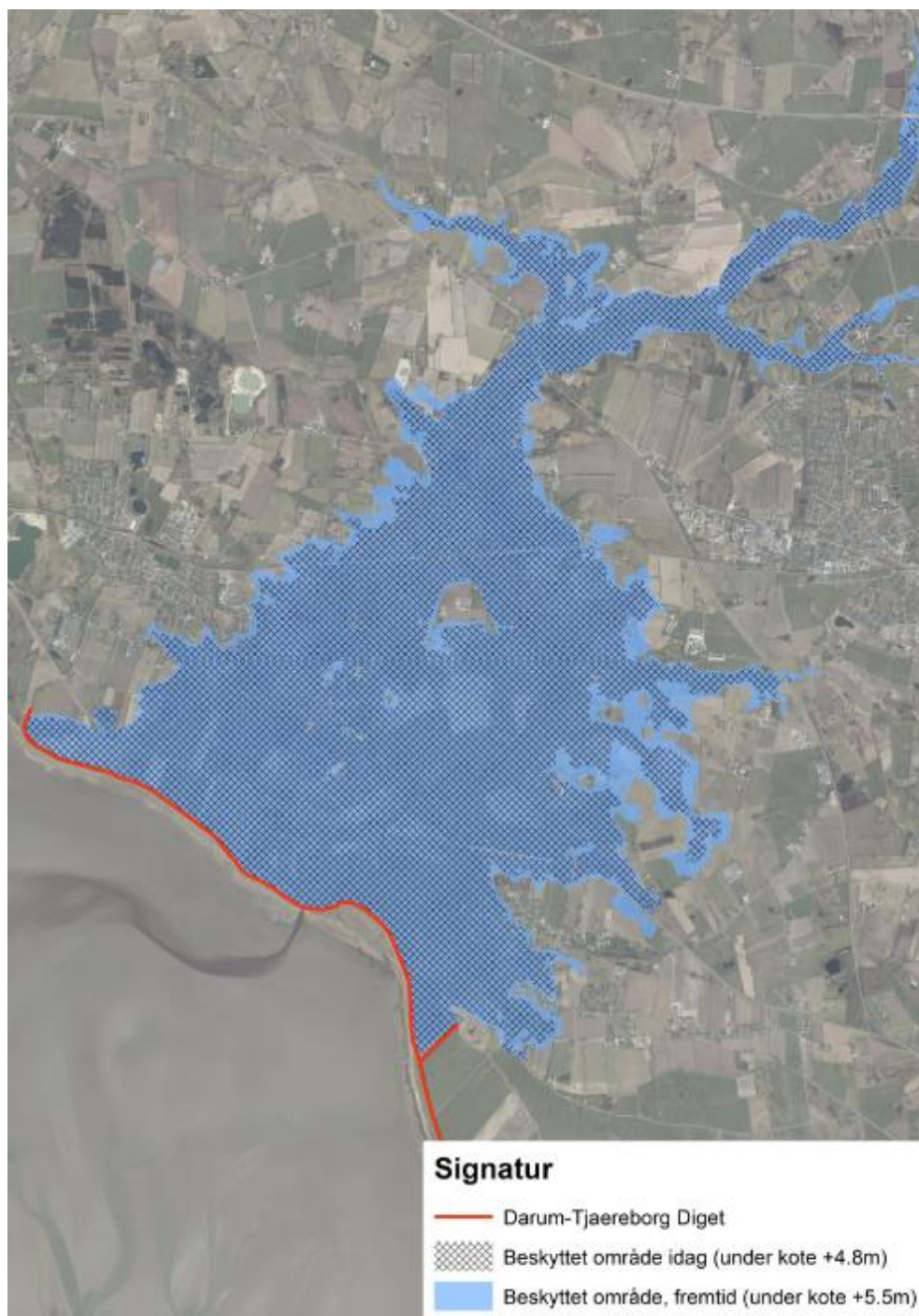
Ved en udbygning af sikringsniveauet til kote +5,2m opnås et sikkerhedsniveau på ca. 200 år i 2020 faldende til 75 år i 2065. Reduktionen i skader er ca. kr. 95 mio. Skadespotentialet er herefter ca. kr. 40 mio.

Ved udbygning af sikringsniveauet til kote +5,5m opnås et sikkerhedsniveau på 600 år i 2020, faldende til 150 år i 2065. Reduktionen i skader er ca. kr. 120 mio. Skadespotentialet er herefter ca. kr. 15 mio.

På baggrund de gennemførte analyser og vurderinger, anbefales det at anvende et sikringsniveau svarende til kote **+5,5 m DVR90**, da der ved denne kote opnås et rimeligt sikkerhedsniveau i hele planlægningsperioden, og reduktionen i skader er betydeligt højere end den forventede investering i forstærkningen. Desuden vurderes restskadernes værdi acceptable, og man opnår samtidig et langt højere sikkerhedsniveau i år 2065 end man har i dag.

Det bemærkes slutteligt, at digets sikringsniveau ikke er udtryk for digets kronekote. I forbindelse med en stormflod med en vandstand på 5,5 m vil der samtidig være store bølger på ca. 2 m ved diget. Derfor skal diget forhøjes til en kronekote, som er betragteligt højere end 5,5 m DVR90. Arbejdet med at udvikle

en løsning (et forstærket digeprofil) som kan beskytte i forbindelse med et stormflodsniveau på 5,5 m DVR90 pågår.



Det areal der beskyttes ved en sikringskote på +5,5m DVR90 fremgår af kortet ovenfor. På kortet er også vist det areal der allerede beskyttes af det eksisterende dige. Det samlede areal der beskyttes ved kote +5,5m er ca. 2.525 ha, hvilket er ca. 355 ha mere end det nuværende diges beskyttelsesområde.

Bilag A Forudsætninger for samfundsøkonomisk model

A.1 Centrale forudsætninger

I det følgende redegøres for de centrale forudsætninger i forbindelse med beregningen af de samfundsøkonomiske konsekvenser af skader ved stormflod.

Tabel A-1 opsummerer de generelle forudsætninger og antagelser, som er anvendt i beregningen af de samfundsøkonomiske omkostninger af skader.

Forudsætningerne er fastsat ud fra Finansministeriets vejledning vedrørende samfundsøkonomiske analyser.

Tabel A-1 Centrale forudsætninger

Parameter	Værdisætning
Tidshorisont	2021-2121
Diskonteringsrenten	0-35 år: 4% 36-70 år: 3% 71-100 år: 2%
Nettoafgiftsfaktor	32,5%
Prisniveau	2021-priser

Tidshorisont

Skadesomkostningerne ved oversvømmelse af de forskellige byer beregnes for en 100 årig periode. Det vil sige fra 2021 til 2121.

Diskontering

Eftersom at skaderne ved stormflod udredes for en periode på 100 år, er det nødvendigt at undersøge, hvad skadesomkostningerne over hele perioden svarer til på nuværende tidspunkt (nettonutidsværdi). For at kunne gøre dette, anvendes Finansministeriets anbefalede samfundsøkonomiske diskonteringsrente. Denne diskonteringsrente aftrappes over tid, hvilket betyder, at skaderne i fremtiden tildeles en højere værdi i nutidskroner i forhold til en fast rente gennem perioden. I modsat fald kan man risikere, at forventede skader ude i fremtiden næsten ikke indregnes i de samlede skadesomkostninger. Diskonteringsrenten er 4 pct. de første 35 år, derpå 3 pct. frem til år 70 og derefter 2 pct. resten af perioden.

Nettoafgiftsfaktoren

Finansministeriet anbefaler, at samfundsøkonomiske analyser udarbejdes på baggrund af markedspriser. I overensstemmelse hermed indregnes en nettoafgiftsfaktor på 32,5 pct. i beregningen af skadesomkostningerne over hele perioden. Skadesomkostningerne er i udgangspunktet opgjort i faktorpriser/producentpriser ved at pålægge nettoafgiftsfaktoren indregnes det generelle afgiftstryk i Danmark, hvorved skadesomkostningerne efterfølgende fremstår i markedspriser/køberpriser.

Anlægsoverslag

Der er ved udregning af "Omkostning for sikring" udarbejdet grove anlægsoverslag for forstærkning af diget ved traditionel opbygning med klæg i varierende højder.

Der er interpoleret retlinet mellem de beregnede anlægsudgifter for at bestemme udgiften ved de forskellige sikringskoter der indgår i analyserne.

Prisniveau

Priserne for skaderne angives i faste 2021-priser, det vil sige, at der ikke tages højde for inflation, som generelt medfører, at priserne stiger over tid.

A.2 Værdisætning af skader

For at estimere de samlede skadesomkostninger over hele perioden værdsættes de opgjorte skader ved at koble en enhedspris på antallet af oversvømmede typer af skader. En oversigt over de anvendte enhedspriser ses i Tabel A-2.

Materielle skader

Omkostningerne ved de materielle skader er fundet ved at koble de opgjorte skader med tilhørende enhedspriser.

Enhedspriserne er primært baseret på informationer fra skadesdata fra forsikringsselskaberne, skadesomkostninger i forbindelse med stormen Bodil samt øvrige prisinformationer hentet fra trafik- og jernbanedata.

Forsinkelser på infrastruktur

Værdien af forsinkelser på infrastrukturen er opgjort ud fra tidsværdier for person trafik hentet fra transportøkonomiske nøgletal 2017. Disse tidsværdier er koblet med antagelser om antallet af timer og dage, hvor rejsende kan forvente forsinkelser efter en stormflod, der har forårsaget oversvømmelser.

Tidsværdierne for persontrafik kan opgøres både for kollektivrejsende samt for køretøjstimer. Førstnævnte er anvendt ved værdisætningen af forsinkelser på jernbanenettet, Kastrup lufthavn, Københavns metro og Øresundsbroen, mens sidstnævnte er anvendt til værdisætning af forsinkelser på vejnettet.

Anlæg- og driftstab på infrastruktur

Driftstab for jernbanenettet er udregnet ud fra tabt omsætning på billet salg på i de enkelte byer. Der er her taget højde for, om det gennemgående er S-tog eller fjerntog, der er dominerende for den givne by.

Tabel A-2 Enhedspriser for skader i den økonomiske opgørelse.

Skader	Enhed	2017-pris (kr./enhed)	Årets pris (kr./enhed)	Pris år	Kilder
Bygninger	Oversvømmet antal	472.997	460.000	2014	Plask
Trafikforstyrrelser alle hovedveje	kr./køretøjstime	239	239	2017	Transport økonomiske enhedspriser
Vej brud/genopførelse	Enhedspris (et brud á 1 meter)	3.001	2.951	2016	Plask
Jernbane skinne rep.	Enhedspris (et brud á 1 meter)	4.324	4.252	2016	COWI - Railways - MAJN
Station	Enhedspris (Genetablering af sårbare installationer)	497.919	489.596	2016	COWI - Railways
Skader på kloakker	Enhedspris	1.201.168	1.100.000	2010	KBH klimamodel
Driftstab, jernbane	Enhedspris (tabt indtjening af billetpriser)	4.323.330	4.323.330	2017	COWI/DSB
Forsinkelser, jernbane	Værdien af antal personforsin- kelser	4.304.359	4.304.359	2017	Trafik tal fra 2017- enhedspris 2017

Bilag B Oversigt over det beskyttede område

Nedenstående figur viser det beskyttede område nu og ved implementering af dige med sikringsniveau svarende til kote +5,5 m

