

**Notat**

Labland Arkitekter Aps

**Udviklingsplan og klimasikring**
**Hou**

Indledende krav til højvandssikring

 Projekt ID: 10409331  
 Ændret: 17-02-2021 10:25  
 Revision:

 Udarbejdet af AKM, MLV  
 Kontrolleret af CSS  
 Godkendt af CLJ

---

**Indhold**


---

<b>1</b>	<b>Indledning og baggrund</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Beregning af kronekote</b>	<b>4</b>
2.1	Definition af sikringsniveau	4
2.2	Metode til beregning af kronekote	5
2.3	Havspejlsstigning	6
2.4	Højvandsstatistik	8
2.5	Ekstrem vandstand i dag og i fremtiden	9
2.6	Samtidig af bølger og vandstand	10
2.7	Bølgepåvirkning delstrækning Hou Nord	11
2.8	Isostatisk landhævning	15
2.9	Opsummering af beregnede kronekoter	16
2.9.1	Delstrækning Hou Syd og Hou Havn	16
2.9.2	Delstrækning Hou Nord	16
2.10	Anbefalinger til etapeinddeling	17
2.11	Opmærksomhedspunkter vedr. valg af kronekote	18
<b>3</b>	<b>Valg af kronekote</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>Overordnet dimensionering af højvandssikring</b>	<b>20</b>
4.1	Jorddige	20
4.2	Højvandsmur	23
<b>5</b>	<b>Genanvendelse af eksisterende mur til højvandssikring</b>	<b>24</b>
5.1	Dimensioneringsforudsætninger	25

5.2	Analyse af eksisterende mur	26
<b>6</b>	<b>Opsummering og videre arbejde</b>	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>Referencer</b>	<b>31</b>

---

---

# 1 Indledning og baggrund

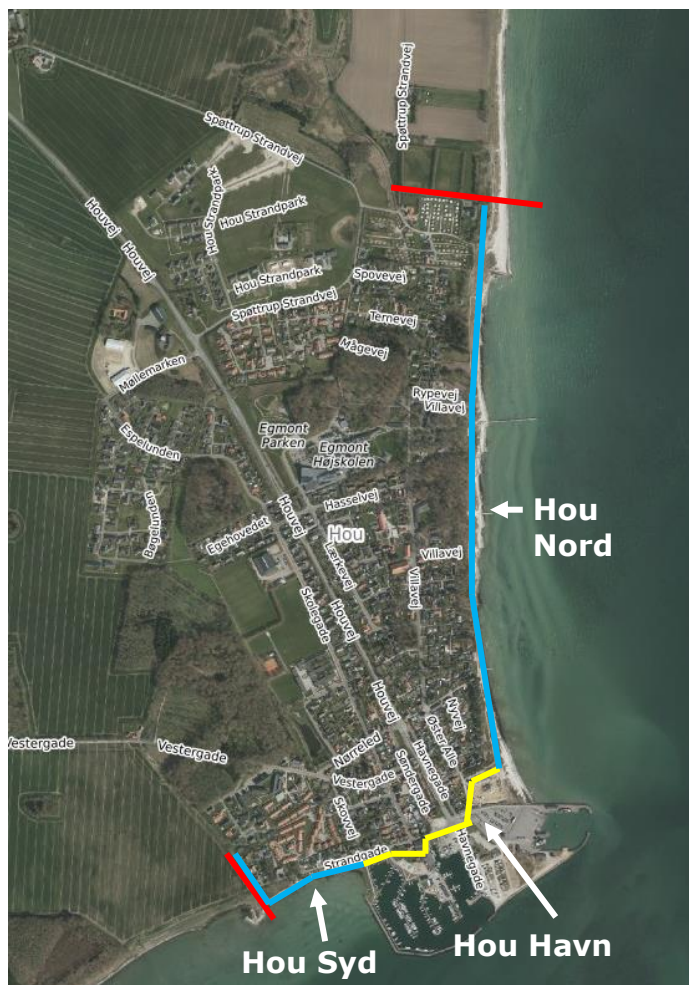
Under stormflod er Hou truet af oversvømmelser. For at sikre byen mod oversvømmelser fra havet, arbejdes der på at etablere højvandssikring langs kyststrækningen. De indledende overvejelser omkring højvandssikringen er en del af arbejdet med en overordnet udviklingsplan for området.

I nærværende notat foretages en screening af kronekote for højvandsbeskyttelse. Den endelige kronekote bør bero på en kystteknisk undersøgelse samt det konkrete valg af højvandssikring. Hvor langt inde på land højvandssikringen placeres, udformning af højvandssikringen samt materialet på ydersiden af højvandssikringen, har nemlig betydning for den konkrete kronekote.

Jo højere kronekote, der vælges, jo større gentagelsesperiode af stormflod beskyttes byen i mod. De høje vandstande forekommer dog endnu ikke så hyppigt, og der skal derfor findes et passende sikringsniveau, hvor udgifterne og ulemperne ved etablering af højvandssikring opvejes af de fordele en øget oversvømmelsesbeskyttelse medfører. Udviklingen i havspejlsstigninger og stormflodskoter er usikker, og det er i sidste ende op til bygherre at beslutte, hvilket sikringsniveau det ønskes at sikre imod.

Projektområdet er inddelt i tre delstrækninger, som fremgår af Figur 1.1 nedenfor. Delstrækningen Hou Syd og Hou Nord forudsættes på nuværende tidspunkt at skulle udføres som jorddiger, mens delstrækningen Hou Havn forudsættes at skulle udføres som en højvandsmur.

Figur 1.1: Afgrænsning af projektområde markeret med røde linjer. Blå angiver strækning, hvor højvandssikring antages at etableres i form af dige, gul antager strækning, hvor det antages, at der etableres højvandsmur.



I nærværende notat foretages en screening af den omtrentlige kronekote for højvandssikringen. På baggrund heraf foretages et indledende skøn på højvandssikringens udbredelse, ligesom selve opbygningen og udformning beskrives. Dette fungerer som input til LABLANDS indarbejdelse af højvandssikringen i terrænet og i udviklingsplanen for Hou.

## 2 Beregning af kronekote

### 2.1 Definition af sikringsniveau

Dimensionering af kystbeskyttelse fastlægges ud fra en hændelse, der statistisk set forekommer med et valgt interval (middeltidshændelse/returperiode) samt en ønsket levetid. Levetiden definerer, hvor langt ud i fremtiden, det ønskes at være beskyttet mod den valgte hændelse.

Der vil altid være en sandsynlighed for, at den dimensionsgivende vandstand og bølgehøjde vil forekomme eller overskrides inden for den valgte levetid. Ved at kombinere middeltidshændelse og levetid kan sandsynligheden beregnes for, om kystbeskyttelsens dimensioneringsforudsætninger overskrides, Tabel 2.1.

Table 2.1: Beregnet sandsynlighed i % for at middeltidshændelsen overskrides inde for en given levetid.

Levetid i år	Middeltidshændelse (MT) i år					
	1	5	10	30	50	100
1	100	20	10	3	2	1
5	100	67	41	16	10	5
10	100	89	65	29	18	10
30	100	100	96	64	45	26
50	100	100	99	82	64	39
100	100	100	100	97	87	63

Tabellen viser, at der er 39 % risiko for, at en 100-års middeltidshændelse optræder inden for en 50-års levetid.

Valget af den dimensionsgivende middeltidshændelse er en afvejning af flere parametre, hvoraf de mest afgørende er:

- Ønsket om at være sikret mod så ekstrem en hændelse som muligt.
- Acceptabel sandsynlighed for, at den dimensionsgivende hændelse overskrides inden for levetiden.
- Konsekvensen af, at der opstår skader samt prisen på udbedring af disse.
- Ønsket om at bevare udsigten til vandet.
- Reducere anlægsomkostninger.

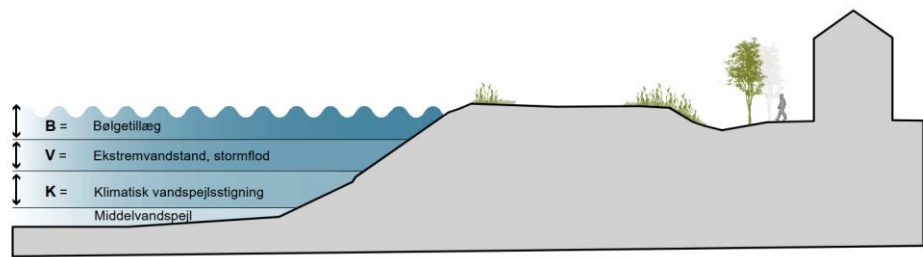
## 2.2 Metode til beregning af kronekote

Kronekoten på kystbeskyttelse bestemmes overordnet ved følgende trin:

1. Ekstremvandstanden (V), der svarer til den valgte middeltidshændelse findes ud fra højvandsstatistikker baseret på vandstandsmålinger samt en forventet fremskrivning af stormflodsekstremer.
2. Dernæst estimeres størrelsen på den forventede vandspejlsstigning inden for den valgte levetid (K) på baggrund af beregninger fra FN's klimapanel IPCC.
3. Korrelation mellem forhøjet vandstand og samtidig bølgepåvirkning vurderes.
4. Summen af V og K udgør den dimensionsgivende vandstand på dybt vand.
  - a) Forventes der ingen bølgepåvirkning, samtidigt med den dimensionsgivende vandstand, fastsættes kronekoten (KK) lidt højere end selve den dimensionsgivende vandstand.
  - b) Forventes der samtidighed mellem ekstrem vandstand og bølgepåvirkning, skal der estimeres en højde, hvortil bølgerne kan nå (B). Dette afgøres bl.a. ud fra koten af det foranliggende terræn, da bølgenes højde bl.a. varierer med vanddybden. Såfremt, der kan tillades et bølgeoverskyl over kystbeskyttelsen kan kronekoten justeres ud fra et acceptabelt niveau af bølgeoverskyl (overskylskriterie), hvorefter B findes.

De forskellige bidrag til kronekoten er visualiseret i principskiten, Figur 2.1.

Figur 2.1: Principskitse for beregning af digers kronekote (KK).  $KK = B + V + K$

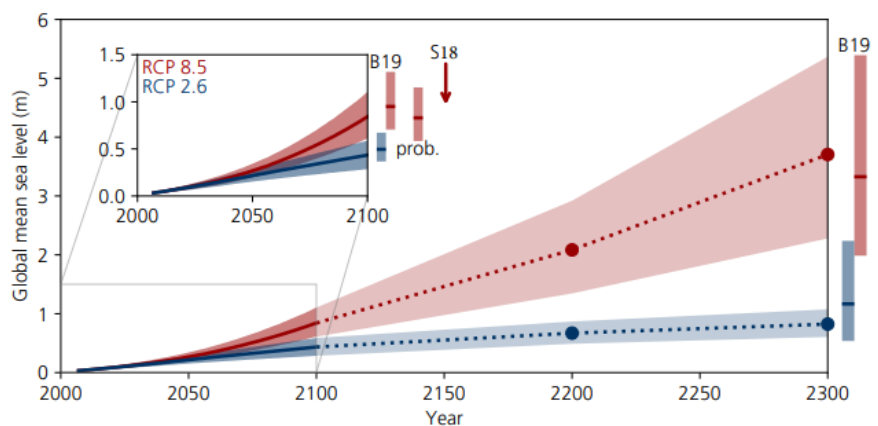


## 2.3 Havspejlsstigning

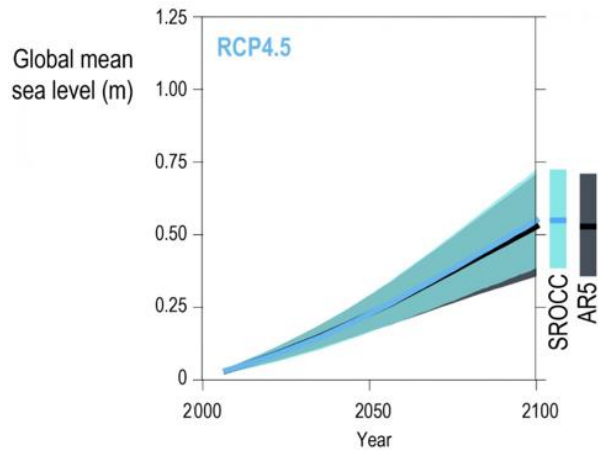
De globale klimaforandringer resulterer i eustatiske havspejlsstigninger. Havspejlsstigningerne fra i dag (år 2020) og frem til slutningen af den ønskede levetid (hvh. år 2050, 2070 og 2120) skal medregnes i den dimensionsgivende vandstand.

I nærværende projekt er valgt at anvende IPCC's seneste bud på vandstandsstigningerne, der fastlægges afhængig af klimascenarie – se Figur 2.2.

Figur 2.2: IPCC's seneste bud (SROCC) på de globale havspejlsstigninger frem til år 2300 for tre klimascenarier (RCP). Middelværdien i prognoserne er vist med linjer og usikkerhedsintervallet er vist med de farvede områder. (IPCC, 2019).



**Figure 4.2:** Projected sea-level rise until 2300. The inset shows an assessment of the *likely* range of the projections for RCP2.6 and RCP8.5 up to 2100 (*medium confidence*). Projections for longer time scales are highly uncertain but a range is provided (4.2.3.6). For context, results are shown from other estimation approaches in 2100. The two sets of two bars labelled B19 are from an expert elicitation for the Antarctic component (Bamber et al., 2019), and reflect the *likely* range for a 2 and 5°C temperature warming (*low confidence*; details section 4.2.3.3.1). The bar labelled “prob.” indicates the *likely* range of a set of probabilistic projections (4.2.3.2). The arrow indicated by S19 shows the result of an extensive sensitivity experiment with a numerical model for the Antarctic ice sheet combined, like the results from B19 and “prob.”, with results from Church et al. (2013) for the other components of sea level rise. S19 bars also show the *likely* range.



IPCC's nyeste fremskrivning af de globale havspejlsstigninger for klimascenarie RCP8.5 stemmer godt overens med DMI's bedste bud på havvandstandsstigninger i Danmark.

Efter ønske fra Odder Kommune er der fastlagt vandspejlsstigninger for RCP 4.5 samt RCP 8.5. RCP4.5 svarer til et klimascenarie, hvor de globale udledninger reduceres, og klimapåvirkningerne stabiliseres i slutningen af århundredet. RCP8.5 svarer til et klimascenarie, hvor det er "business-as-usual".

Ved etablering af anlæg med levetider, der strækker sig længere frem end til år 2050 anbefaler DMI, at der anvendes klimascenarie RCP 8.5.

RCP4.5 kan jf. DMI's anbefalinger anvendes ved planlægning for en tidshorisont frem mod 2050. Det kan desuden anvendes til længere planlægningsperioder, hvis konstruktionen omkostningseffektivt kan udbygges/udvides med tiden.

Havspejlsstigningen afhænger af det valgte klimascenarie (RCP). For klimascenarie RCP 8.5 vurderer IPCC, at den fremtidige havspejlsstigning er 0,8 m for perioden mellem år 2000 og 2100, hvilket er en gennemsnitlig stigning på 8 mm/år. Havspejlet forventes dog at stige eksponentielt med tiden.

For klimascenarie RCP 4.5 vurderer IPCC, at den fremtidige havspejlsstigning er 0,5 m for perioden mellem år 2000 og 2100 svarende til en gennemsnitlig stigning på 5 mm/år.

I nedenstående Tabel 2.2 er de forventede havspejlsstigninger fra i dag (år 2020) og hhv. 30, 50 og 100 år frem i tiden opsummeret for klimascenarie RCP 4.5 og RCP 8.5. Det bemærkes, at klimascenarie RCP 4.5 kun anbefales anvendt ved projekter med en planlægningshorisont frem til 2050 – de forventede vandspejlsstigninger er dog nedenfor gengivet for længere tidshorisonter.

Tabel 2.2: Forventet havspejlsstigning mellem år 2020 og hhv. år 2050, 2070 og 2120 for RCP 8.5 og RCP 4.5

Om X antal år	Årstal	Vandstandsstigning siden år 2020 RCP 8.5 [cm]	Vandstandsstigning siden år 2020 RCP 4.5 [cm]
30	2050	20	15
50	2070	40	30
100	2120	100	60

Bemærk dog usikkerhedsintervallet på kurverne i Figur 2.2 som viser en mulig havspejlsstigning på op til 50 cm i perioden mellem år 2020 og 2070 samt op til ca. 135 cm i perioden mellem år 2020 og 2120 for RCP 8.5. Dette understreger, at der er tale om meget usikre fremskrivninger.

## 2.4 Højvandsstatistik

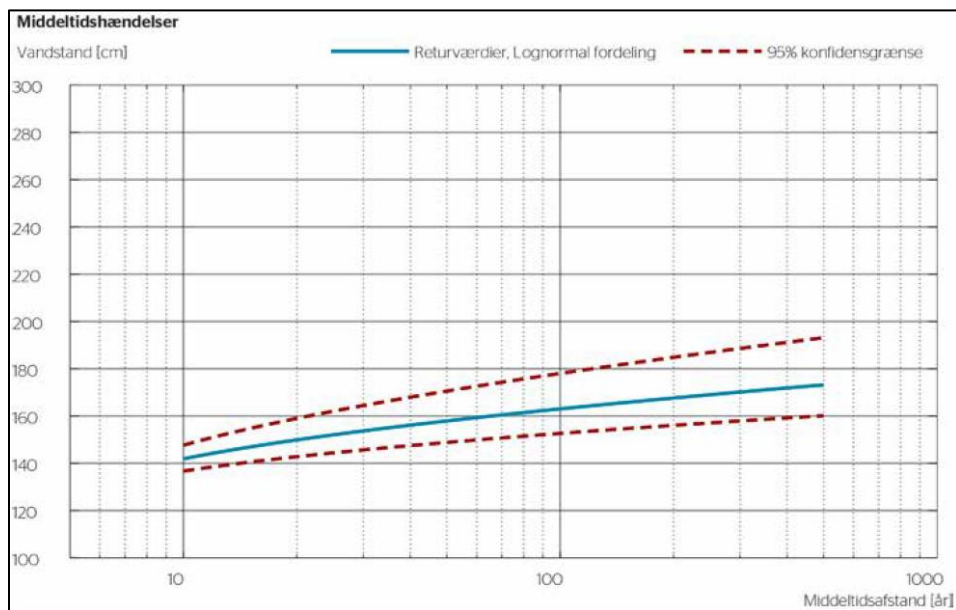
Til fastsættelse af hvilken vandstand, der svarer til en bestemt middeltidshændelse for ekstrem vandstand kan anvendes Kystdirektoratets højvandsstatistik. De nærmeste udarbejdede vandstandsstatistikker fra Kystdirektoratet er for Aarhus Havn og Juelsminde. Disse viser en forskel på 1 cm for alle listede hændelser, med de største værdier for Aarhus Havn.

Statistikken for Århus er baseret på den længste dataperiode fra 1888 til 2017, mens statistikken for Juelsminde er udarbejdet på baggrund af en dataperiode fra 1996 til 2017.

Derfor anvendes højvandsstatistikken for Aarhus Havn i nærværende projekt, se Figur 2.3.



Figur 2.3: Kystdirektoratets højvandsstatistik for Århus Havn. Værdierne er angivet for år 2017 i m DVR90, (Kystdirektoratet, Miljø og fødevareministeriet -, 2018).



Hændelse [år]	20	50	100
Vandstand [cm]	150	158	163

Ovenstående viser, at en 50-års hændelse baseret på historiske data svarer til en vandstand på 158 cm, mens en 100-års hændelse svarer til en vandstand på 163 cm.

Det skal bemærkes, at Realdania også udarbejder højvandsstatistikker for en række byer i Danmark. For Århus ligger disse værdier generelt 5-7 cm højere end værdierne fra Kystdirektoratet, (Realdania, Cowi, 2017). Forskellen mellem de to statistikker skyldes, at Kystdirektoratets statistik er baseret på en måleperiode mellem 1955-2017, mens Realdania baserer sin statistik på målinger og beretninger, der går næsten 1.000 år tilbage i tiden. Derved er medtaget 7 voldsomme stormfloder.

Mange af beretningerne fra før 1900-tallet, bl.a. hændelsen i 1872, vurderes at overestimere vandstands niveauet, såfremt der forekom samtidig bølgepåvirkning. I disse tilfælde vil det ikke have været muligt at vurdere vandstanden under hændelsen, hvorfor bølgestuvning og opskyl fra bølger formegentlig er inkluderet i vandstandsmålingen, mens vandstanden i sig selv har været betydeligt lavere.

## 2.5 Ekstrem vandstand i dag og i fremtiden

Fremskrives ekstremvandstandene estimeret af Kystdirektoratet og vist i Figur 2.3 med de forventede havspejlsstigninger, kan de fremtidige ekstremvandstande fastlægges afhængig af middeltidshændelse, fremskrivningsperiode og klimascenarie. I nedenstående Tabel 2.3 ses resultatet, hvis der tages udgangspunkt i hhv. klimascenarie RCP 8.5 og RCP 4.5.

Tabel 2.3: Ekstrem vandstand for tre middeltidshændelser i dag og om hhv. 30, 50 og 100 år for klimascenarie RCP8.5 og RCP4.5. Ekstremvandstanden er baseret på Kystdirektoratets seneste højvandsstatistik, (Realdania, Cowi, 2017).

Levetid	Middeltidshændelse RCP 8.5			Middeltidshændelse RCP 4.5		
	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]
<b>Om 0 år (år 2020)</b>	1,50	1,58	1,63	1,50	1,58	1,63
<b>Om 30 år (år 2050)</b>	1,70	1,78	1,83	1,65	1,73	1,78
<b>Om 50 år (år 2070)</b>	1,90	1,98	2,03	1,80	1,88	1,93
<b>Om 100 år (år 2120)</b>	2,50	2,58	2,63	2,10	2,18	2,23

Derudover skal der tages højde for bølge-setup og vindstuvning, hvilket er lokale vandstandsvariationer langs stranden, som fremkommer i forbindelse med bølgebrydning og kraftig pålandsvind. Disse forhold kan medføre behov for yderligere højde på højvandssikringen og er beskrevet nærmere i nedenstående Afsnit 2.6 og 2.7.

I forbindelse med konkrete projekter anbefales det, at der udarbejdes numeriske modelberegninger af vandstand, bølgeforhold og erosion af stranden.

## 2.6 Samtidighed af bølger og vandstand

Situationer med ekstremt højvande ved Hou opstår typisk, når et kraftigt lavtryk passerer henover eller nord om Danmark og skaber kraftig vind eller storm over Danmark. Først vil vinden komme fra sydvest-vest, hvormed vand presses gennem Skagerrak og ind i Kattegat. Efterfølgende kan vinden dreje og komme fra mere nordlige retninger og endda fra nordøstlige retninger i nogle tilfælde. Hermed presses vandet, som er opstuvet i Kattegat sydover ned gennem de indre danske farvande og dermed til Hou.

Dermed kan der forekomme ekstrem bølgepåvirkning på den vestvendte kyst langs strækningen Hou Nord mellem Hou Havn og Hou Strandcamping (delstrækning Hou Nord). På delstrækningen Hou Syd og Hou Havn vil der ikke være bølgepåvirkning samtidigt med ekstrem vandstand. For alle nyere storme – på nær stormen Egon – har forløbet været således, at stormen starter fra vest, men mens der stadig er ekstreme vindhastigheder ændrer vinden retning til at komme fra nordvest-nord og endda fra nordøst. Selvom stormen måske taber en smule styrke, når den drejer mere mod nordøst, så er erfaringen fra alle nyere storme, at det stadig giver tilstrækkelig kraftig vind til at skabe nævneværdige bølger mod 100 km kysten (fra Aarhus til Kolding).

Hvis stormen kommer fra nordøst i en retning, der passer med retningen Falkenberg i Sverige-Hou, så vil det give betydelige bølger, uanset om stormen er løjet lidt af. Drejer stormen lidt længere om i øst, således at bølgerne kommer til Hou Hou fra Halmstad, så vil nordspidsen af Samsø sørge for, at bølgerne reduceres lidt, men der vil fortsat være betydelig bølgepåvirkning mod Hou. Hvis vinden drejer i sydvest og kommer på Omø-Hou strækningen, vil der også skabes betydelige bølger. Dog vil der så ikke være samtidig ekstrem vandstand ved Hou.

Ud fra Hous placering og erfaringen med historiske storme vurderes det, at der ikke kan ses bort fra bølgetillæg på delstrækningen Hou Nord (vestvendt kyststrækning).

Når store bølger og høj vandstand er fuldt korrelerede, dvs. forekommer samtidigt, skal begge ekstremer inkluderes i beregningerne af påvirkningen på kysten. Når dette ikke er tilfældet bør der udarbejdes en samtidighedsstatistik for sammenhængen mellem bølgehøjde og vandstand på den pågældende lokalitet. Dette anbefales for strækning 1 i nærværende projekt for at vurdere forskellige kombinationer af bølgehøjde og vandstand som f.eks.:

- en ekstremt forhøjet vandstand uden bølge (mest relevant ift. højvandsbeskyttelse frem for erosionsbeskyttelse)
- en moderat forhøjet vandstand med en lille bølge
- en lille forhøjet vandstand med en moderat eller ekstrem bølge

I mange tilfælde vil en moderat eller ekstrem bølge forekommende samtidigt med moderat eller lille forhøjet vandstand kræve en kronekote, der er højere end hvad er nødvendigt til at beskytte imod blot en ekstrem vandstand uden bølgepåvirkning.

I nærværende analyse antages det, at sidstnævnte situation med ekstrem vandstand og ingen bølgepåvirkning er den dimensionsgivende hændelse for delstrækningerne Hou Syd og Hou Havn. Dermed er den nødvendige kronekote svarende til de vandstande, der er fastlagt i Afsnit 2.5.

Dog anbefales det altid at fastsætte kronekoten lidt højere, f.eks. 10 cm højere, end selve den dimensionsgivende vandstand når til.

## 2.7 Bølgepåvirkning delstrækning Hou Nord

Bølgepåvirkningen udtrykkes ved et såkaldt bølgetillæg, der udgøres af en bølgehøjde samt en opskylshøjde. Opskylshøjden dækker desuden over et overskylskriterie, der beskriver hvor meget vand, der kan accepteres at skylle over højvandsbeskyttelsen. Når en bølge rammer højvandskonstruktionen, stoppes den ikke øjeblikkeligt, men skyller i stedet op ad/over konstruktionen til en kote højere end selve bølgen. Dette er i nedenstående figur vist som "en tunge" op ad konstruktionen.

Figur 2.4: Princip for bølgetillæg, der udgøres af bølgehøjde og opskylshøjde.



Bølgehøjder på dybt vand afhænger af det frie stræk, over hvilket vinden blæser over havet, tiden, som vinden blæser fra samme retning, vindens styrke samt vanddybden i farvandet. Når bølger kommer ind på lavere vand, påvirkes de af ruheden fra bunden, hvormed de bremses, drejes og bliver stejlere, indtil de begynder at bryde.

Når bølger når indtil kystlinjen eller konstruktioner skyller de op ad stranden/konstruktionerne.

Opskylshøjden og størrelsen af bølgeopskyllet afhænger i store træk af konstruktionens forsidehældning og opbygning, terrænets højde og bølgenes størrelse umiddelbart foran konstruktionen.

**Jo lavere det foranliggende terræn er, jo større bølger kan nå ind til konstruktionens fod, og jo større og højere bliver opskyllet og dermed et eventuelt bølgeoverskyl.**

Overskyl fra bølger kan være kraftfuldt og kan skade nærtliggende bygninger, konstruktioner, infrastruktur og trafikanter. Betydeligt bølgeoverskyl kan over længere tid resultere i skader på kystbeskyttelsen og oversvømmelser i baglandet.

Kystbeskyttelsens bagsidehældning har stor indflydelse på, hvor modstandsdygtig kystbeskyttelsen er imod bølgeoverskyl. Skader indledes ofte ved beskadigelse af toppen eller bagsiden ved et enkelt kraftigt bølgeoverskyl. Jo fladere bagsiden er, jo mindre er sandsynligheden for skader.

Kystbeskyttelsens optimale kronekote fastsættes endeligt ud fra et kriterie for tilladeligt overskyl. Der skelnes mellem overskylskriterie i forhold til kystbeskyttelsens og eventuelt nærtliggende konstruktioners styrke samt muligheden for at håndtere det overskyllede vand bagved. Desuden er det relevant at vurdere om overskylsstørrelsen er sikkert i forhold til eventuel færdsel i området bagved.

I det følgende anvendes et kriterie for tilladeligt bølgeoverskyl på gennemsnitligt 5 l/s/m, (EUROTOP, 2016). I fremtidige projektfaser bør dette kriterie granskes yderligere ift. ovenstående forhold og hensyn. Med et større tilladeligt overskylskriterie kan konstruktionens kronekote muligvis reduceres, og med et mindre tilladeligt overskylskriterie skal kronekoten øges.

For at finde bølgeperiode og bølgehøjde for bølger i de forskellige scenarier er følgende antagelser og simple beregninger foretaget på dette tidlige stadie af projektet:

- Middel-vindhastigheden svarende til en 20-, 50- og 100-års middeltidshændelse er hhv. 18 m/s, 20 m/s og 23 m/s.
- Det frie stræk over hvilket bølgerne kan udvikle sig fra nordøst er på 25 km og med vanddybde på 15 m. Denne er større i Århus Bugt, men lavere mod syd.
- Peak bølgeperioderne,  $T_p$ , opnås ved at anvende ovenstående parametre i en simpel beregning (Sverdrup-Munk & Bretschneiders model, (ENGINEERS, US Army Corps Of, 1984)) baseret på vindstyrke, vanddybde og frit stræk under den dimensionsgivende vandstandshændelse.
- At den foranliggende strand/bund er flad med en hældning 1:70
- At diget bygges som græsdige også på forsiden med en forsidehældning på 1:5 og en kronebredde på minimum 3 m.
- At foden af diget ligger i kote +0,5 eller +1,0 m DVR90 og at den foranliggende strand ikke eroderes under hændelsen, eller maksimalt eroderes ned til den valgte fodkote.
- At den signifikante bølgehøjde,  $H_s$ , ved foden af diget svarer til  $0.6 \cdot$  vanddybden,  $h$ , (Goda, Y., 2010).
- Og som tidligere beskrevet, at det acceptable gennemsnitlige bølgeoverskyl af diget er 5 l/s/m.

Hermed bliver de dimensionsgivende peak bølgeperioder,  $T_p$ , som vist i Tabel 2.4.

Tabel 2.4: Omtrentlige peak bølgeperioder for de tre middeltidshændelser. Forkortelsen MT står for middeltidshændelse.

	MT 20 år	MT 50 år	MT 100 år
$T_p$ [s]	4,8	5,0	5,3

Bølgeperioderne er kun angivet for hver middeltidshændelse og ikke for hvert levetidspunkt, da det yderligere er antaget, at variationen mellem vandstand for de tre tidspunkter er insignifikant ift. den samlede vanddybde på dybt vand.

De resulterende signifikante bølgehøjder for de fire tidspunkter og tre middeltidshændelser samt to forskellige fodkoter for diget er vist i Tabel 2.5 og Tabel 2.6.

Tabel 2.5: Anvendte signifikante bølgehøjder på lavt vand ved foden af skråningsbeskyttelsen, såfremt denne er i kote +0,5 m DVR90. Bølgehøjderne er angivet i m.

Levetid	Middeltidshændelse i år RCP 8.5			Middeltidshændelse i år RCP 4.5		
	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]
<b>Om 0 år (i år 2020)</b>	0,60	0,65	0,68	0,6	0,65	0,68
<b>Om 30 år (i år 2050)</b>	0,72	0,77	0,80	0,69	0,74	0,77
<b>Om 50 år (i år 2070)</b>	0,84	0,89	0,92	0,78	0,83	0,86
<b>Om 100 år (i år 2120)</b>	1,20	1,25	1,28	0,96	1,01	1,04

For hændelserne i år 2120 bliver bølgehøjderne, der når diget, større end 1,0 m, såfremt den foranliggende terrænkote er +0,5 m DVR90. Det bør overvejes om digets forside i det hele taget kan holde til en så stor bølgehøjde, uden at der går hul på overfladen.

Tabel 2.6: Anvendte signifikante bølgehøjder på lavt vand ved foden af skråningsbeskyttelsen, såfremt denne er i kote +1,0 m DVR90. Bølgehøjderne er angivet i m.

Levetid	Middeltidshændelse i år RCP 8.5			Middeltidshændelse i år RCP 4.5		
	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]
<b>Om 0 år (i år 2020)</b>	0,30	0,35	0,38	0,30	0,35	0,38
<b>Om 30 år (i år 2050)</b>	0,42	0,47	0,50	0,39	0,44	0,47
<b>Om 50 år (i år 2070)</b>	0,54	0,59	0,62	0,48	0,53	0,56
<b>Om 100 år (i år 2120)</b>	0,90	0,95	0,98	0,66	0,71	0,74

Med udgangspunkt i de beregnede signifikante bølgehøjder samt et overskylskriterie på 5 l/s/m er der fastlagt bølgetillæg som gengivet i nedenstående Tabel 2.7 og Tabel 2.8.

Tabel 2.7: Fastlagt bølgetillæg under forudsætning af fodkote i kote +0,5 m DVR90 samt overskylskriterie på 5 l/s/m og bølgehøjder som angivet i Tabel 2.5. Bølgetillæg er angivet i m.

Levetid	Middeltidshændelse i år RCP 8.5			Middeltidshændelse i år RCP 4.5		
	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]
<b>Om 0 år (i år 2020)</b>	0,82	0,92	1,02	0,82	0,92	1,02
<b>Om 30 år (i år 2050)</b>	0,94	1,03	1,14	0,91	1,01	1,11
<b>Om 50 år (i år 2070)</b>	1,05	1,15	1,26	1,00	1,09	1,20
<b>Om 100 år (i år 2120)</b>	1,35	1,46	1,59	1,16	1,26	1,38

Tabel 2.8: Fastlagt bølgetillæg under forudsætning af fodkote i kote +1,0 m DVR90 samt overskylskriterie på 5 l/s/m samt bølgehøjder som angivet i Tabel 2.6. Bølgetillæg er angivet i m.

Levetid	Middeltidshændelse i år RCP 8.5			Middeltidshændelse i år RCP 4.5		
	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]
<b>Om 0 år (i år 2020)</b>	0,43	0,54	0,60	0,43	0,54	0,60
<b>Om 30 år (i år 2050)</b>	0,63	0,72	0,81	0,59	0,68	0,77
<b>Om 50 år (i år 2070)</b>	0,76	0,85	0,95	0,70	0,79	0,88
<b>Om 100 år (i år 2120)</b>	1,10	1,29	1,32	0,88	0,98	1,08

På baggrund er ovenstående er de beregnede nødvendige minimums kronkoter for de tre tidspunkter og tre middeltidshændelser samt to forskellige fodkoter for diget er vist i Tabel 2.9 og Tabel 2.10 for RCP 8.5 og RCP 4.5.

Tabel 2.9: Minimums kronkoter for diget på strækning 3, såfremt terrænkoten ved foden af diget er på +0,5 m DVR90. Kronkoterne er angivet i m DVR90.

Levetid	Middeltidshændelse i år RCP 8.5			Middeltidshændelse i år RCP 4.5		
	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]
<b>Om 0 år (i år 2020)</b>	+2,32	+2,50	+2,65	+2,32	+2,50	+2,65
<b>Om 30 år (i år 2050)</b>	+2,64	+2,81	+2,97	+2,56	+2,74	+2,89
<b>Om 50 år (i år 2070)</b>	+2,95	+3,13	+3,29	+2,80	+2,97	+3,13
<b>Om 100 år (i år 2120)</b>	+3,85	+4,04	+4,22	+3,26	+3,44	+3,61

Tabel 2.10: Minimums kronkoter for diget på strækning 3, såfremt terrænkoten ved foden af diget er på +1,0 m DVR90. Kronkoterne er angivet i m DVR90.

Levetid	Middeltidshændelse i år RCP 8.5			Middeltidshændelse i år RCP 4.5		
	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]
<b>Om 0 år (i år 2020)</b>	+1,93	+2,12	+2,23	+1,93	+2,12	+2,23
<b>Om 30 år (i år 2050)</b>	+2,33	+2,50	+2,64	+2,24	+2,41	+2,55
<b>Om 50 år (i år 2070)</b>	+2,66	+2,83	+2,98	+2,50	+2,67	+2,81
<b>Om 100 år (i år 2120)</b>	+3,60	+3,87	+3,95	+2,98	+3,16	+3,31

Som det ses af Tabel 2.9 og Tabel 2.10 reduceres den nødvendige minimums kronekote betydeligt ved forhøjelse af den foranliggende terrænkote. Ligeledes har valg af klimascenarie indflydelse på den nødvendige kronekote.

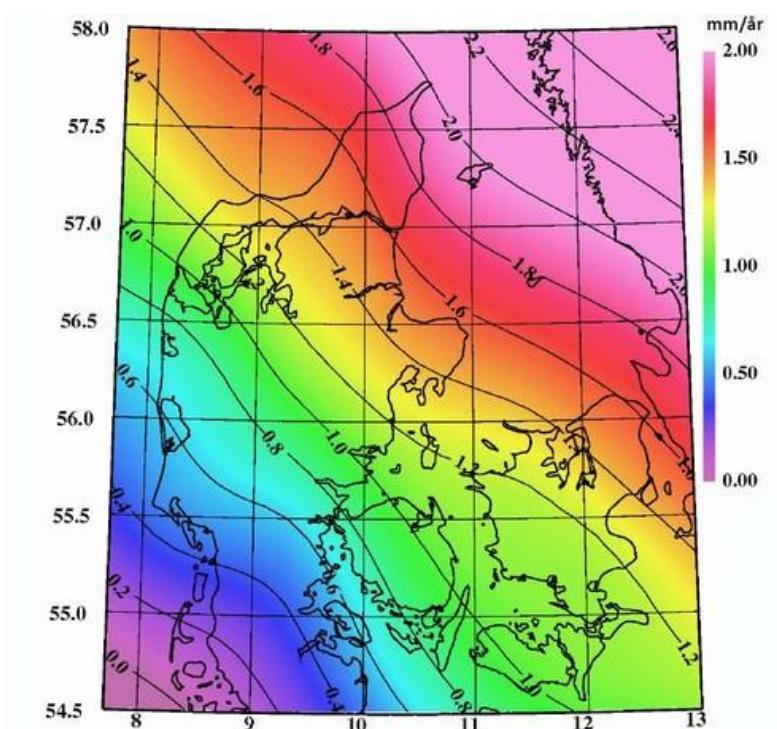
Det skal bemærkes, at selvom kronekoterne er angivet med to decimaler, anbefales det ikke at bygge digerne herefter, men blot ved anvendelse af en enkelt decimal. Bemærk yderligere, at ovenstående beregninger kun er et overslag på kronekoterne og stærkt afhængig af bl.a. valgt overskylskriterie – dette skal fastlægges nærmere i de kommende projektfaser.

## 2.8 Isostatisk landhævning

Under seneste istid blev landmasserne trykket ned, grundet tyngden af ismasserne. Siden isens afsmeltning har landmasserne hævet sig. Dette foregår endnu i dag dog med regionale hastighedsforskelle, se Figur 2.5.

For Hou vurderes landhævningen at være på 1,1 mm/år, (Vognsen, et al., 2011).

Figur 2.5: Landhævning i Danmark med nøjagtighed på 0,2 mm/år, (Vognsen, et al., 2011).



Dette giver en landhævning for Hou om 50 og 100 år som vist i Tabel 2.11.

Tabel 2.11: Landhævning for Hou mellem år 2020 og hhv. 2050, 2070 og 2100.

Om X antal år	Årstal	Landhævning siden år 2020 [cm]
30	2050	3,3
50	2070	5,5
100	2100	11,0

Ved fastlæggelse af kronekoten på kystbeskyttelse skal der tages højde for den forventede landhævning. Den beregnede design-kronekote er den kronekote, som konstruktionen skal have ved slutningen af den valgte levetid, og dermed til det tidspunkt som havspejlsstigningen er fremskrevet til. Ved anlægstidspunktet kan landhævningen trækkes fra design-kronekoten, da konstruktionen med tiden bør hæve sig til den nødvendige kronekote som resultat af landhævningen.

## 2.9 Opsummering af beregnede kronekoter

Som beskrevet i ovenstående er der mange parametre, der spiller ind i beregningen af nødvendig kronekote. Størstedelen af parametrene er behæftet med usikkerheder, hvorfor de beregnede kronekoter udelukkende kan tjene som anbefalinger og input til det videre beslutningsarbejde for valg af kronekote.

I ovenstående analyse er det fastlagt, at delstrækningen Hou Nord kan være udsat for ekstrem bølgepåvirkning, hvilket skal indregnes i fastlæggelsen af kronekoten.

For delstrækningerne Hou Syd og Hou Havn vil der ikke være bølgepåvirkning samtidigt med ekstrem vandstand. Der er således behov for forskellige kronekoter på strækningerne for at opnå samme sikringsniveau.

### 2.9.1 Delstrækning Hou Syd og Hou Havn

For delstrækningerne Hou Syd og Hou Havn er de beregnede forslag til minimums kronekoter opsummeret i nedenstående Tabel 2.12. Kronekoterne er angivet for tre forskellige middeltidshændelser (20 år, 50 år samt 100 år) samt for fire forskellige levetider ved de to forskellige klimascenarier.

Tabel 2.12: Forslag til minimums kronekote for delstrækningerne Hou Syd og Hou Havn afhængig af sikringsniveau (middeltidshændelse) samt forventet levetid. Ekstremvandstanden er baseret på Kystdirektoratets seneste højvandsstatistik, (Realdania, Cowi, 2017).

Levetid	Middeltidshændelse i år RCP 8.5			Middeltidshændelse i år RCP 4.5		
	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]
<b>Om 0 år (år 2020)</b>	+1,50	+1,58	+1,63	+1,50	+1,58	+1,63
<b>Om 30 år (år 2050)</b>	+1,70	+1,78	+1,83	+1,65	+1,73	+1,78
<b>Om 50 år (år 2070)</b>	+1,90	+1,98	+2,03	+1,80	+1,88	+1,93
<b>Om 100 år (år 2120)</b>	+2,50	+2,58	+2,63	+2,10	+2,18	+2,23

Hvis der med udgangspunkt i RCP 8.5 skal sikres til en 50-års middeltidshændelse er der på nuværende tidspunkt således behov for en kronekote i 1,58. Om 50 år vil der være behov for en kronekote i 1,98 for at sikre for tilsvarende hændelse.

### 2.9.2 Delstrækning Hou Nord

For delstrækningen Hou Nord, der er bølgepåvirket, afhænger minimums kronekoten ud over middeltidshændelse, levetid og klimascenarie også af terrænkoten ved foden af diget. Jo højere denne er, jo lavere kronekote er nødvendig. I nedenstående Tabel 2.13 og Tabel 2.14 er de beregnede minimums kronekoter ved en terrænkote på hhv. 0,5 m og 1,0 m opsummeret.



Tabel 2.13: Minimums kronekoter for diget på delstrækning Hou Nord, såfremt terrænkoten ved foden af diget er på +0,5 m DVR90. Kronekoterne er angivet i m DVR90

Levetid	Middeltidshændelse i år RCP 8.5			Middeltidshændelse i år RCP 4.5		
	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]
<b>Om 0 år (i år 2020)</b>	+2,32	+2,50	+2,65	+2,32	+2,50	+2,65
<b>Om 30 år (i år 2050)</b>	+2,64	+2,81	+2,97	+2,56	+2,74	+2,89
<b>Om 50 år (i år 2070)</b>	+2,95	+3,13	+3,29	+2,80	+2,97	+3,13
<b>Om 100 år (i år 2120)</b>	+3,85	+4,04	+4,22	+3,26	+3,44	+3,61

Tabel 2.14: Minimums kronekoter for diget på delstrækning Hou Nord, såfremt terrænkoten ved foden af diget er på +1,0 m DVR90. Kronekoterne er angivet i m DVR90.

Levetid	Middeltidshændelse i år RCP 8.5			Middeltidshændelse i år RCP 4.5		
	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]
<b>Om 0 år (i år 2020)</b>	+1,93	+2,12	+2,23	+1,93	+2,12	+2,23
<b>Om 30 år (i år 2050)</b>	+2,33	+2,50	+2,64	+2,24	+2,41	+2,55
<b>Om 50 år (i år 2070)</b>	+2,66	+2,83	+2,98	+2,50	+2,67	+2,81
<b>Om 100 år (i år 2120)</b>	+3,60	+3,87	+3,95	+2,98	+3,16	+3,31

Som det fremgår af ovenstående er der relativ stor forskel på de nødvendige minimumskoter på de forskellige strækninger. Det bemærkes, at det altid anbefales at fastsætte kronekoten lidt højere, f.eks. 10 cm højere, end selve den dimensionsgivende vandstand – dvs. ovenstående kronekoter bør tillægges 10 cm.

## 2.10 Anbefalinger til etapeinddeling

Den anvendte højvandsstatistik er relativt konservativ, sammenlignet med DMI's klimaatlas, som Odder Kommune i et notat har anvendt til beregning af sikringsniveau og kronekote. Derfor bliver de fremskrevne ekstremvandstande samt de resulterende bølgehøjder og kronekoter også en del højere end de estimerer, som Odder Kommune tidligere er fremkommet med.

Udviklingen af havspejlsstigning er i høj grad usikker. Derfor kan det være en ide at se den faktiske stigning an og dele udførslen beskyttelsen op i etaper.

Under antagelse af, at den foranliggende terrænkote er +1,0 m DVR90 kunne diget på delstrækning Hou Nord i dag etableres med en kronekote på +2,83 m DVR90 svarende til beskyttelse imod en 50-års middeltidshændelse om 50 år (i år 2070) ved RCP8.5. Tilsvarende kunne diget på delstrækningerne Hou Syd og Hou Havn etableres med en kronekote på +1,98 m DVR90.

På et senere tidspunkt kunne diget på delstrækningerne Hou Syd og Hou Havn forhøjes til at have en kronekote på +2,63 m DVR90, og diget på delstrækningen Hou Nord til en kronekote på +4,22 m DVR90 svarende til beskyttelse imod en 100-års middeltidshændelse om 100 år ved RCP8.5. Bemærk, at det for delstrækningen Hou Nord er antaget her, at den foranliggende terrænkote kun er +0,5 m DVR90. Såfremt den fortsat er i kote +1,0 m DVR90 vil den tilsvarende kronekote være +3,95 m DVR90.

Forslaget til etapeinddeling er opsummeret i Tabel 2.15 nedenfor. Ovenstående er med udgangspunkt i klimascenarie RCP 8.5.

Tabel 2.15: Forslag til etapeinddeling, hvor kronekoten øges i fremtiden. Baseret på RCP8.5.

Tidspunkt	Kronekote Hou Syd og Hou Havn [m DVR90]	Sikringsniveau	Kronekote Hou Nord [m DVR90]	Sikringsniveau
Nu	+1,98	50-års hændelse i 2070	+2,83	50-års hændelse i 2070
Fremtidig	+2,63	100-års hændelse i 2120	+4,22	100-års hændelse i 2120

Anlægsteknisk er det simpelt på sigt at forhøje et dige. Det kan forhøjes og dermed udbredes både land- og havværts.

Hvis et dige med foranliggende skråningsbeskyttelse skal forhøjes, er det vigtigt, at dækstenene er dimensioneret efter den fremtidige hændelse, og at toppen af skråningsbeskyttelse og dige er bredt nok og designet hertil. I dette tilfælde vil det skulle forhøjes landværts.

Ved forhøjelse af dige og dermed udvidelse af fodaftryk, er det derfor vigtigt fra begyndelsen af, at sikre sig at der er plads nok hertil og at dette kan tillades.

Senere forhøjelse af en højvandsmur kræver som regel etablering på ny, da funderingsdybden skal være større.

Det understreges, at det endelige valg af kronekote er en beslutning, der skal træffes af bygherre. Udviklingen i havspejlsstigninger er usikker, og ovenstående kan udelukkende fungere som anbefalinger og input til den videre beslutningsproces.

## 2.11 Opmærksomhedspunkter vedr. valg af kronekote

Den nødvendige kronekote for digerne er i høj grad afhængig af det foranliggende terræn samt forsidehældningen af selve diget. Ændringerne i digets placering eller udformning undervejs i projektførelsen kan derfor have stor betydning for den nødvendige kronekote. Når design og placering af diget ligger fast, bør dimensionerne af diget revurderes på baggrund heraf.

Som nævnt, bør det overvejes, om digets overflade kan klare den resulterende bølgepåvirkning, eller om der skal etableres en skråningsbeskyttelse af sten som forside. I så tilfælde bliver ruheden af forsiden større, hvilket reducerer bølgeopskylshøjden og dermed den nødvendige kronekote.

Såfremt der anvendes højvandsmure frem for diger på bølgepåvirkede strækninger, skal kronekoten af disse være markant højere, da dette vil skabe et langt højere op- og overskyl.

Generelt anbefales ikke at anvende højvandsmure på strækninger, hvor der er signifikant bølgepåvirkning, hvilket er tilfældet på delstrækningen Hou Nord. Dette skyldes yderligere, at en vertikal mur reflekterer en del af bølgeenergien og forstærker erosionen, som bølgerne kan forårsage foran beskyttelsen.

Derudover skal det bemærkes, at bølgerne på strande, som ved delstrækningen Hou Nord, ofte forekommer akut erosion af bagstranden. Dette materiale transporteres længere ud i kystprofilen, hvor den daglige sedimenttransport flytter det langs kysten eller tilbage til kysten, men sjældent tilbage til bagstranden.

Ved etablering af kystbeskyttelse langs bagstranden vil denne erosion fortsat forekomme foran anlægget, hvormed terrænkoten foran kystbeskyttelsen med tiden, og endda under hændelsen, muligvis øges. Såfremt dette sker, kan større bølger end dimensioneret for muligvis nå kystbeskyttelsen.

Såfremt kyststrækningen generelt er under erosion, vil den foranliggende strand med tiden også blive lavere og smallere selv uden tilfælde af stormflod.

Den generelle havspejlsstigning vil også medføre en smallere og lavere foranliggende strand.

Det anbefales derfor altid at monitorere højden af den foranliggende strand jævnligt, og eventuelt udlægge kompensationsfodring af tilsvarende eller grovere sediment. Dette kan også initialt anvendes til at forhøje kystprofilen, og dermed terrænkoten foran kystbeskyttelsen, og dermed reducere den nødvendige minimumskronekote.

Det kan overvejes, om diget skal bestå af en bred klit med strandfodret materiale og en skjult lerkerne. I så tilfælde skal bredden være langt større.

Senest i forbindelse med myndighedsfase og ansøgning om kystbeskyttelsen bør bølgehøjderne og den akutte erosion under den dimensionsgivende hændelse modelles. Ligeledes bør den generelle kroniske erosion i området vurderes.

Dette gør sig også gældende for delstrækningerne Hou Syd og Hou Havn, hvor mulige kombinationer af bølgehøjder og vandstande bør analyseres på baggrund af en samtidighedsstatistik.

### **3 Valg af kronekote**

På baggrund af beregningerne beskrevet i ovenstående Afsnit 2 har Odder Kommune valgt, hvilket sikringsniveau der som udgangspunkt skal arbejdes videre med. Sikringsniveauet skal politisk godkendes, og det understreges derfor, at der ikke er tale om et endeligt valg af kronekote.

Odder Kommune har valgt at tage udgangspunkt i klimascenarie RCP 4.5 med en tidshorisont frem til 2070; dvs. højvandsbeskyttelsen dimensioneres for en levetid på 50 år. Højvandsbeskyttelsen skal udformes sådan, at den herefter kan udbygges. Odder Kommune har valgt at tage udgangspunkt i en middeltidshændelse på 100 år. Langs delstrækningen Hou Nord skal der medtages bølgetillæg. Det er en forudsætning, at terrænet foran digefoden på delstrækning Hou Nord etableres i terrænkote +1,0.

På baggrund heraf arbejdes der således som udgangspunkt med kronekoter som gengivet i nedenstående Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Odder Kommunes foreløbige valg af kronekote på de tre forskellige delstrækninger. For delstrækning Hou Nord er det en forudsætning, at terrænet foran digefoden er etableret i kote +1,0.

Delstrækning	Hou Syd og Hou Havn (intet bølgetillæg)	Hou Nord (med bølgetillæg)
Kronekote [m DVR90]	+1,93	+2,81

Det understreges, at kronekoterne skal genberegnes, når den endelige placering og udformning af højvandsbeskyttelsen foreligger, ligesom koterne ikke er endelige, inden der foreligger en politisk godkendelse.

Det bemærkes, at det af Odder Kommune er oplyst, at områder på havnen sætter sig 30 cm over 100 år. Dette medfører, at højvandsbeskyttelsen skal øges med 30 cm de steder, hvor havnen sætter sig.

## 4 Overordnet dimensionering af højvandssikring

Som udgangspunkt forudsættes det, at der etableres jorddiger på strækningen langs Strandgade (delstrækning Hou Syd) samt på strækningen fra færgelejet mod nord til Hou Strandcamping (delstrækning Hou Nord). Langs havneområdet (delstrækning Hou Havn) forudsættes det, at der skal etableres højvandsmur.

### 4.1 Jorddige

Det foreslås at etablere et langsgående kystparallelt dige, der som udgangspunkt etableres som et traditionelt jorddige. Diget vil blive udformet på samme måde uafhængig af topkote – topkoten har dog betydning for, hvor bredt diget ender med at blive. I Figur 4.1 nedenfor er vist et par eksempler på udformning af jorddiger.

Figur 4.1: Eksempel på udformning af jorddiger. Øverst: As Vig i Hedensted Kommune. Nederst: Hasmark Strand, Nordfyn – dige med adgangsvej. Kilde: Vejledning om kystbeskyttelsesmetoder, Kystdirektoratet 2018



Det traditionelle jorddige foreslås anlagt med en kronebredde på 1 meter med anlæg 1:3 på indersiden (landsiden) og anlæg 1:5 på ydersiden ud mod havet og med kronekote i hhv. +1,93 m DVR90 for delstrækningerne Hou Syd og Hou Havn og +2,81 m DVR90 på delstrækningen Hou Nord.

Diget kan opbygges med en kerne af sandmaterialer belagt med en 0,3 m tyk kappe af lerholdige materialer. Opbygning med sandkerne vælges med henblik på at opnå optimal stabilitet af diget. Sandkernen sikrer at vandtryk fra eventuelt gennemtrængende havvand spredes i sandlaget, hvilket minimerer risiko for brud i diget. Hvis diget ønsket etableret med stejlere skråningsanlæg bør der etableres stensætning på havsiden for at sikre stabiliteten.

Det nuværende terræn varierer langs kysten, og eksisterende terræn vil således skulle udbygges i varierende grad for at opnå sikring til den valgte kronekote.

Herudover betyder det varierende terræn, at bundbredden/fodaftryk for diget vil variere langs med diget, da denne er bestemt af afstanden fra eksisterende terræn til fremtidig kronekote.

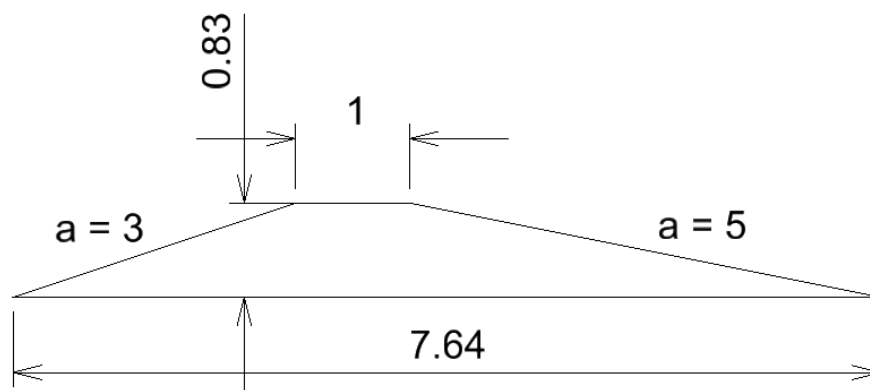
På delstrækningen Hou Syd skønnes det eksisterende terræn gennemsnitligt at ligge omkring +1,1 m. På delstrækningen Hou Nord skønnes det eksisterende terræn at ligge omkring +1,3 m. I Tabel 4.1 nedenfor er den nødvendige bundbredde beregnet for de to strækninger ved to forskellige scenarier for valgt kronekote. Det understreges, at bundbredden vil være afhængig af afstanden til eksisterende terræn og bør således genberegnes, når endelig digeplacering foreligger. Ligeledes skal bundbredden genberegnes, hvis kronekoten ændres.

Tabel 4.1: Nødvendig bundbredde på dige afhængig af valgt kronekote og delstrækning. Bemærk, at for delstrækning Hou Nord er det antaget, at terrænet ved foden af diget er placeret i +1,0 m DVR90. Ved lavere terrænkote øges kronekote og dermed bundbredde

	Delstrækning Hou Syd	Delstrækning Hou Nord
Kronekote [m DVR90]	1,93	2,81
Bundbredde [m]	7,64	13,08

Nedenfor er princippet for digets udformning vist for delstrækning Hou Syd ved etablering af kronekote i +1,93 m DVR090.

Figur 4.2: Foreslået digeudformning ved etablering af dige på delstrækning Hou Syd med kronekant i +1,93 m DVR90. Mål er angivet i meter, og digeudbredelsen er vist for en gennemsnitlig højde over terræn på 0,83 m.

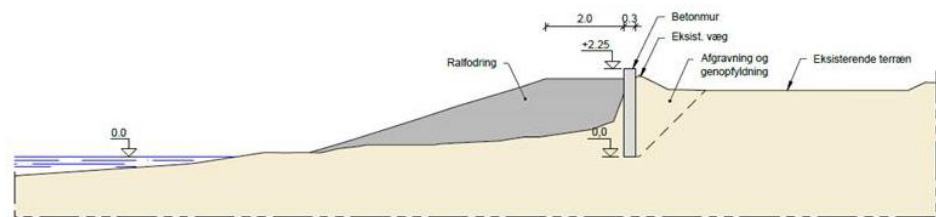


Ved en eventuel senere udbygning af diget fyldes der op på ydersiden og på digekronen, således at der også i fremtiden fastholdes en tilstrækkelig kronebredde. Diget etableres med en vandret digekrone, og digets yderside kan beklædes med græs eller lignende.

Fordelene ved jorddiget er, at det er en billig løsning, let at vedligeholde og i høj grad kan integreres i det eksisterende terræn, således at højvandssikringen fremstår som en naturlig del af landskabet. Hvis der er plads nok, er det ligeledes let at udvide. En ulempe ved jorddiget er, at det er pladskrævende, og sårbart på den måde, at gennembrud et enkelt sted hurtigt kan medføre samlet digebrud.

Som det fremgår af ovenstående er der behov for en stor bundbredde på diget på delstrækningen Hou Nord. Dette vurderes umiddelbart svært at etablere i eksisterende terræn, da kyststrækningen er smal med bebyggelse tæt op langs kysten. Grundet bølgepåvirkning anbefales det ikke at etablere en traditionel højvandsmur. Hvis der skal etableres højvandsmur skal der udlægges ral foran for at minimere bølgepåvirkningen. Figur 4.3 viser en principskitse for opbygning af højvandsmur med ralfodring foran. Ved etablering af en sådan mur kan der ligeledes være behov for en øget kronekote. Dette bør beregnes i de kommende projektfaser.

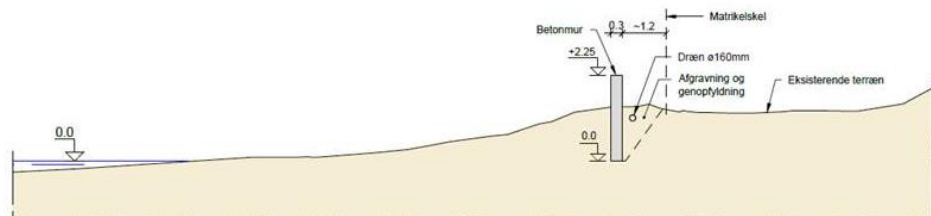
Figur 4.3: Principskitse for etablering af højvandsmur med ralfodring på forside.



## 4.2 Højvandsmur

Langs delstrækningen Hou Havn foreslås det at etablere en højvandsmur. Højvandsmuren kunne udføres med en murtykkelse på 30 cm og udføres i beton. Murtykkelsen er uafhængig af valgt kronekote. Figur 4.4 viser en principskitse for opbygning af højvandsvandsmur.

Figur 4.4: Eksempel på højvandsmur.



Det bemærkes, at en senere udbygning af en højvandsmur er udfordrende, idet senere forhøjelse af en højvandsmur som regel kræver etablering på ny, da funderingsdybden skal være større.

I Figur 4.5 nedenfor ses eksempler på udformning af højvandsmur.

Figur 4.5: Eksempel på højvandsmur. Øverst: Højvandsmur i Lemvig. Nederst: højvandsmur bestående af mur og glasvæg Kilde: Vejledning om kystbeskyttelsesmetoder, Kystdirektoratet 2018

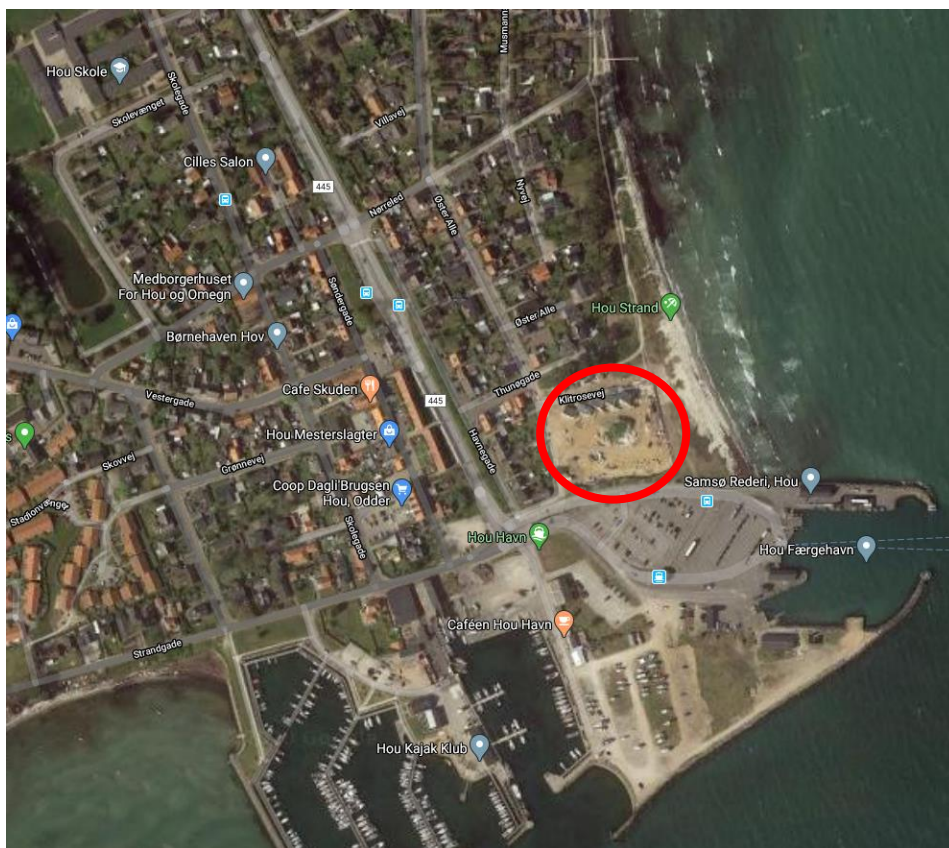


## 5 Genanvendelse af eksisterende mur til højvandssikring

På Klitroseveje nord for færgelejet er 14 boliger under opførelsen – placeringen fremgår af nedenstående Figur 5.1.



Figur 5.1: Øverst: Placering af boliger under opgørelse markeret med rød cirkel. Nederst: arkitekttegning af planlagt boligområde. Kilde: <http://klitrosevej-hou.dk/> (30/07/20)



I forbindelse med boligerne er der mod den vestvendte kyst etableret en støttemur, der afgrænser boligområdet. På baggrund af tegningsmateriale er der foretaget en indledende vurdering af, hvorvidt denne støttemur kan genanvendes som en del af den samlede højvandsbeskyttelse.

## 5.1 Dimensioneringsforudsætninger

Som angivet i Afsnit 3 er det af Odder Kommune valgt foreløbigt at arbejde ud fra, at delstrækningen Hou Nord skal sikres til en kronekote på +2,81 m DVR90. Dette er under forudsætning af, terrænet foran diget er placeret i kote +1,0 m DVR90.

Der bør optegnes kystprofiler ud for den eksisterende støttemur for verificering af strandniveauet foran støttemuren og nøjere beregning af opskylskoten. Profiler optegnes for den nordlige henholdsvis sydlige del fra kronen på betonmuren til 3 m vanddybde.

Det vurderes, at der ikke forekommer kronisk erosion på strækningen, idet der er sydgående sandtransport der aflejres op mod nordmolen af Hou Færgehavn – altså en mindre fremrykning af kystprofilen, hvilket giver anledning til en mindre reduktion af kronekoten på betonmuren.

## 5.2 Analyse af eksisterende mur

En plan af den eksisterende støttemur ses på nedenstående Figur 5.2 og på projekttegning 100\_plan af støttemur, dateret 28. februar 2013.

Det skal ved modellering undersøges, om der ved samtidigt højvande og bølger fra nordlige retninger kan trænge vand ind nord om henholdsvis syd om bebyggelsen, der i givet fald kan oversvømmes bagved den udførte betonmur.

Af plantegningen fremgår at terrænkoter mod syd hvor muren slutter er ca. kote + 1,6m. Tilsvarende er terrænkoten mod nord ca. 1,3 m.

Endvidere bemærkes, at ved åbningen i betonmuren er terrænkoten foran ca. 1,4 m stigende til kote 1,5m ved 'vendeplads'. Åbningen skal uanset valg af scenarie kunne forsynes med et mobilt højvandsskot.

*Figur 5.2: Strækning umiddelbart nord for molen i færgehavnen, hvor der er udført en betonmur foran den opførte bebyggelse. På forsiden af betonmuren er udført en stenskråningsbeskyttelse*



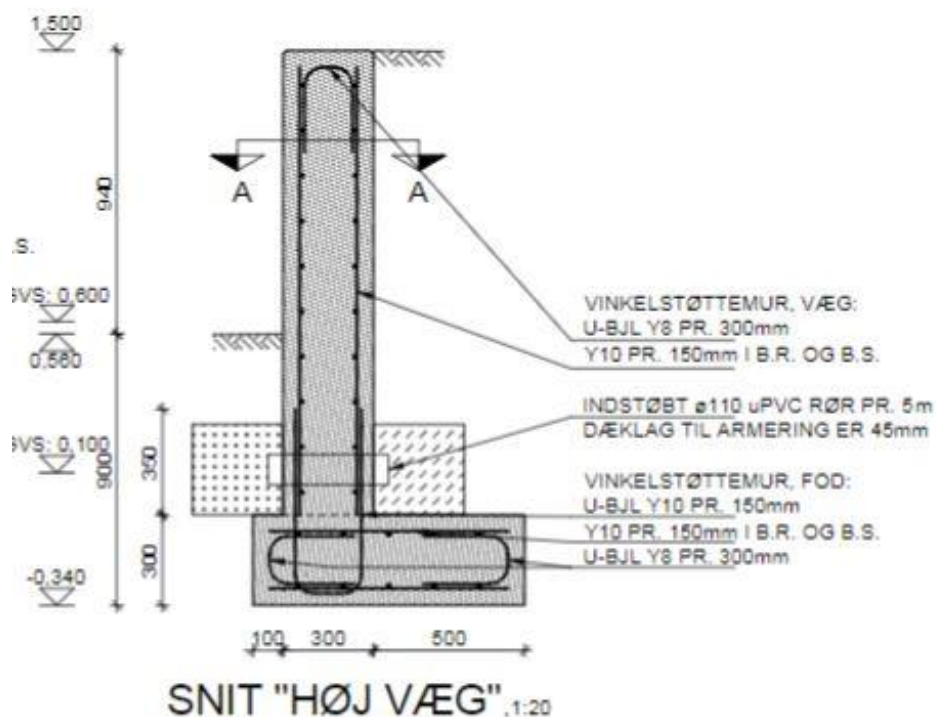
Detaljer af betonmuren fremgår af tegning nr. 110 (Ivar Lykke Kristensen), dateret 28. februar 2013, hvor af udsnit er vist nedenfor på Figur 5.3

Figur 5.3: Detailtegning af betonmur fra tegning nr. 110.

Det indstøbte  $\varnothing 110$  PVC rør pr. 5m er i princippet en hydraulisk passage.

Denne vurderes ikke at give anledning oversvømmelse af baglandet da evt. gennemtrængende vand afledes til jordmatrix.

Ingen bemærkninger til armering og stabilitet.



Betonmuren er overalt med en topkote på +1,5m .

Den udførte højvandsbeskyttelse/støttemur ved betonmur med stenskråningsbeskyttelse på havsiden er dermed ikke i tilstrækkelig højde til at sikre mod oversvømmelse af grunden med bebyggelse – den dimensionerende kronekote er som nævnt +2,81 m.

Betonmuren vurderes at kunne forhøjes ved en påstøbning til det ønskede sikringsniveau.

Der bør gennemføres nærmere beregninger af teoretisk overskyl, når dimensionerings-scenariet og endelig placering af højvandsbeskyttelsen er fastlagt. Ligeledes bør bølgebelastning beregnes på den eventuelle forhøjelse af muren for at sikre stabiliteten.

## 6 Opsummering og videre arbejde

I nærværende notat er der foretaget en indledende screening af nødvendig kronekote for en kommende højvandsbeskyttelse i Hou. På baggrund af ovenstående indledende undersøgelser har Odder Kommune valgt en kronekote, der som udgangspunkt danner grundlag for det videre arbejde.

Den dimensionsgivende kronekote er fastlagt som summen af klimatisk betingede havspejlsstigninger, ekstremvandstande under stormfloder samt et eventuelt bølgetillæg.

Jf. DMI's vejledninger bør de forventede havspejlsstigninger fastlægges på baggrund af IPCC's klimascenarie RCP 8.5, når der er tale om etablering af anlæg med en levetid, der strækker sig ud over år 2050. Efter ønske fra Odder Kommune er der ligeledes beregnet forventede havspejlsstigninger på baggrund af klimascenarie RCP 4.5. Dette klimascenarie kan anvendes, hvis konstruktionen omkostnings-effektivt kan udbygges/udvides med tiden.

Ekstremvandstande under stormfloder er fastlagt på baggrund af Kystdirektoratets højvandsstatistik for Aarhus Havn.

Det er vurderet, at delstrækningerne Hou Syd og Hou Havn ikke er bølgepåvirket. Her er det således ikke nødvendigt at medregne bølgetillæg. Langs delstrækningen Hou Nord (nordgående kyststrækning) er der til gengæld bølgepåvirkning. På denne strækning anbefales det derfor kraftigt at medregne bølgetillæg. Bølgetillægget er i nærværende estimeret på et indledende niveau. I de kommende faser bør der foretages en mere detaljeret beregning og modellering af bølgetillægget, idet bølgetillægget er stærkt afhængig af endelig digeplacering, kote på foranliggende terræn, valgt overskylskriterie etc. Dette kan have indflydelse på den endelige kronekote.

På baggrund af ovenstående er der fastlagt kronekoter for de forskellige klimascenarier og for forskellige levetider – disse er opsummeret i nedenstående Tabel 6.1 og Tabel 6.2 for hhv. delstrækningerne Hou Syd og Hou Havn, hvor der ikke skal medregnes bølgetillæg samt delstrækningen Hou Nord, hvor der medregnes bølgetillæg.

Tabel 6.1: Forslag til minimums kronekote for delstrækningerne Hou Syd og Hou Havn afhængig af sikringsniveau (middeltidshændelse) samt forventet levetid. Ekstremvandstanden er baseret på Kystdirektoratets seneste højvandsstatistik, (Realdania, Cowi, 2017).

Levetid	Middeltidshændelse i år RCP 8.5			Middeltidshændelse i år RCP 4.5		
	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]
<b>Om 0 år (år 2020)</b>	+1,50	+1,58	+1,63	+1,50	+1,58	+1,63
<b>Om 30 år (år 2050)</b>	+1,70	+1,78	+1,83	+1,65	+1,73	+1,78
<b>Om 50 år (år 2070)</b>	+1,90	+1,98	+2,03	+1,80	+1,88	<b>+1,93</b>
<b>Om 100 år (år 2120)</b>	+2,50	+2,58	+2,63	+2,10	+2,18	+2,23

Tabel 6.2: Minimums kronekoter for diget på delstrækning Hou Nord, såfremt terrænkoten ved foden af diget er på +1,0 m DVR90. Kronekoterne er angivet i m DVR90.

Levetid	Middeltidshændelse i år RCP 8.5			Middeltidshændelse i år RCP 4.5		
	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]	20 år [m DVR90]	50 år [m DVR90]	100 år [m DVR90]
<b>Om 0 år (i år 2020)</b>	+1,93	+2,12	+2,23	+1,93	+2,12	+2,23
<b>Om 30 år (år 2050)</b>	+2,33	+2,50	+2,64	+2,24	+2,41	+2,55
<b>Om 50 år (i år 2070)</b>	+2,66	+2,83	+2,98	+2,50	+2,67	<b>+2,81</b>
<b>Om 100 år (i år 2120)</b>	+3,60	+3,87	+3,95	+2,98	+3,16	+3,31

På baggrund af ovenstående har Odder Kommune foreløbigt valgt, at højvandsbeskyttelsen dimensioneres med udgangspunkt i klimascenarie RCP4.5 for en

middeltidshændelse på 100 år og en levetid på 50 år (2070). Dermed bliver den dimensionsgivende kronekote for delstrækningerne Hou Syd og Hou Havn +1,93 m DVR90, mens den for delstrækningen Hou Nord bliver +2,81 m DVR90. Det bemærkes, at det altid anbefales at fastsætte kronekoten lidt højere, f.eks. 10 cm højere, end selve den dimensionsgivende vandstand- dvs. ovenstående kronekoter bør tillægges 10 cm. Herudover bemærkes det, at Odder Kommune har oplyst, at områder på havnen sætter sig 30 cm over 100 år. Ovenstående koter skal derfor tillægges 30 cm de steder, hvor havneområdet sætter sig.


Det understreges, at den nødvendige kronekote for digerene i høj grad er afhængig af det foranliggende terræn samt forsidehældningen på selve diget. Der bør således foretages en genberegning af kronekoterne, når den endelige digeplacering og -udformning foreligger. Ligeledes bør der foretages en nærmere analyse af mulige kombinationer af bølgehøjder og vandstande på baggrund af en samtidighedsstatistik langs delstrækningerne Hou Syd og Hou Havn for at verificere dimensioneringskriterierne.

Som udgangspunkt etableres højvandsbeskyttelsen på delstrækning Hou Syd og Hou Nord som traditionelle jorddiger, der etableres med en sandkerne belagt med ler, som kan beplantes. Digerne bør etableres med anlæg 1:3 på indersiden (land-siden) og anlæg 1:5 på ydersiden ud mod havet. Ved stejlere skråningsanlæg bør der etableres stensætning for at sikre stabiliteten. På delstrækningen Hou Nord skal det afklares, hvorvidt diget fortsættes nordpå langs kysten forbi campingpladsen, indtil kote +2,81 nås, eller om diget føres ind i landet lige nord for campingpladsen.

Langs delstrækningen Hou Havn etableres der som udgangspunkt en højvandsmur. Denne etableres som en 30 cm tyk betonmur. Grundet bølgepåvirkning kan det ikke anbefales at etableres en traditionel højvandsmur langs delstrækningen Hou Nord. Denne vil i så fald skulle udføres med ralopfyldning på forsiden for at minimere bølgepåvirkningen, ligesom der kan være behov for en højere kronekote. Dette bør fastlægges ved yderligere beregninger, når endelig udformning af højvandsbeskyttelsen foreligger.

Når der tages udgangspunkt i klimascenarie RCP 4.5 skal det sikres, at højvandsbeskyttelsen kan udvides med tiden, hvis kronekoten viser sig utilstrækkelig. Jorddiger kan omkostningseffektivt forhøjes efter etablering, så længe der er tilstrækkelig plads. Der skal således allerede ved etablering være fokus på at udlægge tilstrækkelig plads til en eventuel fremtidig udvidelse. Forhøjelse af en højvandsmur er som regel ikke muligt, men kræver i stedet etablering af en ny for at sikre stabiliteten.

Det bemærkes, at der grundet bølgepåvirkning typisk forekommer akut erosion af bagstranden langs strande af samme type som delstrækningen Hou Nord. Senest i forbindelse med myndighedsfase og ansøgning om kystbeskyttelsen bør bølgehøjderne og den akutte erosion under den dimensionsgivende hændelse modelleres. Ligeledes bør den generelle kroniske erosion i området vurderes. Det anbefales kraftigt, at der foretages en generel kystteknisk granskning af området med henblik på at fastlægge den mest optimale højvandsbeskyttelse. En sådan granskning vil kunne identificere mulige erosionsproblematikker og danne grundlag for en helhedsorienteret løsning for hele kyststrækningen, der samtidig sikrer de bedst mulige strandforhold.



Med udgangspunkt i nærværende indledende analyse bør der som næste skridt udføres et skitseprojekt for høvjvandsbeskyttelsen. Ligeledes skal der foretages et endeligt valg af kronekoter – dette er en beslutning, der skal politisk godkendes i Odder Kommune. Efter endelig fastlæggelse af sikringsniveau/kronekote anbefales det at foretage modelleringer af bølgepåvirkningen for at endelig fastlægge kronekote.

## 7 Referencer

- ENGINEERS, US Army Corps Of. (1984). *Shore protection manual. Army Engineer Waterways Experiment Station.*
- EUROTOP. (2016). *Manual of wave overtopping of sea defences and related structures.*
- Goda, Y. (2010). Reanalysis of regular and random breaking wave statistics. *Coastal Engineering Journal 52 (1)*, s. 71-106.
- IPCC. (2019). *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.*
- Kystdirektoratet, Miljø og fødevarerministeriet -. (2018). *Højvandsstatistikker 2017.*
- Realdania, Cowi. (2017). *Byernes udfordringer med havvandsstigning og stormflod.*
- Vognsen, K., Sørensen, C., Knudsen, P., Engasager, K., Khan, A., & B. Andersen, O. (2011). *Landhævninger i Danmark.* (Kystdirektoratet) Hentet fra <http://kysterne.kyst.dk/landbevaegelser-i-danmark.html>



## **Appendix 1: [Enter Title]**

[Enter Text]