

APRIL 2016
NORDFYNS KOMMUNE

HELHEDSPLAN FOR KLIMATILPASNING I BOGENSE

RAPPORT



COWI

APRIL 2016
NORDFYNS KOMMUNE

HELHEDSPLAN FOR KLIMATILPASNING I BOGENSE

RAPPORT

PROJEKTNR.

A080014

DOKUMENTNR.

004

VERSION

0.1

UDGIVELSES DATO

8. marts 2016

BESKRIVELSE

Udkast

UDARBEJDET

LAFN / BOC / CEL

KONTROLLERET

GODKENDT

LAFN

INDHOLD

Sammenfatning	7
1 Indledning	9
2 Udfordringer	10
2.1 Terræn	10
2.2 Havvandsstigning og stormflod	11
2.3 Oversvømmelse fra vandløb	12
2.4 Skybrud og inddæmmede områder	13
3 Oversvømmelser fra vandløb	17
3.1 Vandløb og oplande	17
3.2 Afstrømning og klimatillæg	19
3.3 Udfordringer og muligheder	21
3.4 Tilbageholdelse i oplandet	22
3.5 Overførsel af vand: Øst	26
3.6 Overførsel af vand: Vest	32
4 Oversvømmelse fra havet	35
4.1 Vandstand	35
4.2 Oversvømmelse i forbindelse med stormflod	40
4.3 Løsningsforslag for havnen	49
4.4 Løsningsforslag for campingpladsen	52
4.5 Oversigt over mulige tiltag for havneområdet	53
5 Referencer	55

Sammenfatning

Store dele af Bogense by ligger meget lavt, og byen er truet af oversvømmelser fra havet ved stormflod og af oversvømmelser fra vandløb ved ekstreme afstrømninger. Byen kan desuden blive udsat for oversvømmelser ved skybrud, som regnvandssystemet ikke kan håndtere.

Denne rapport indeholder COWIs forslag til tiltag til sikring af byen mod oversvømmelser fra vandløb og hav. Forslagene er et bidrag til Nordfyns Kommunes Helhedsplan for klimasikring af Bogense.

Vandløb

Bogense Bybæk løber gennem Bogense by og er et vigtigt element i byens kulturhistorie og i byrummet. Bækkens vandføringsevne er begrænset, og der er ikke mulighed for at udvide eller uddybe bækken i den gamle by. Vi har undersøgt forskellige muligheder og foreslår derfor, at der etableres en overløbskant opstrøms byen, således at vandføringen gennem Bybækken begrænses, og der ledes vand uden om byen ved meget store afstrømninger. Vi anbefaler den løsning, hvor overløbsvandet ledes til vandløbet Kristianslunds Enge og videre til Østre Enges Landkanal. Samtidig sikres villakvarteret ved Fuglebakken mod oversvømmelser fra Bybækken med et lavt dige.

For at sikre afvandingen i perioder med højvande foreslås etableret en pumpestation ved udløbet i Ålebækken. I ekstreme situationer vil vandføringen være meget stor, og det vil derfor være nødvendigt at udvide landkanalen samt at udskifte broer og overkørsler. Anlægsomkostningerne er foreløbigt anslået til 5,8 million kr., men tallet er usikkert, fordi en række forhold først skal undersøges nærmere.

Kysten

De lave dele af byen og havneområdet er truet af stormflod, men andre dele er beskyttet af diger. Det ville være meget dyrt at lave nye kajanlæg og hæve havneområdet. Udformningen af den østre havnemole betyder, at der er risiko for bølgeoverskyl, hvilket kan føre til oversvømmelse af området mellem husene og campingpladsen samt campingpladsen. Skråningsbeskyttelsen ved campingpladsen er lav.

Det anbefales, at virksomhederne på havnen sikres enkeltvis med betonmure og evt. mobile porte. Nye bygninger på havnen sikres med terrænregulering og krav til sokkelkote. Der etableres desuden en fælles betonmur med mobile porte, hvor der er mulighed herfor, eventuelt kombineret med diger. De eksisterende diger gennemgås for at vurdere behovet for forhøjelser.

Den østlige mole foreslås forhøjet ved at hæve den eksisterende mur med 1 meter, der beskyttes med en stenkastning.

Ved campingpladsen forhøjes stenkastningen, og der etableres en betonblok til at reducere mængden af vand, der kan oversvømme campingpladsen. Opfyldning af de lavtliggende områder bør også overvejes i sammenhæng med planlagt arealanvendelse.

1 Indledning

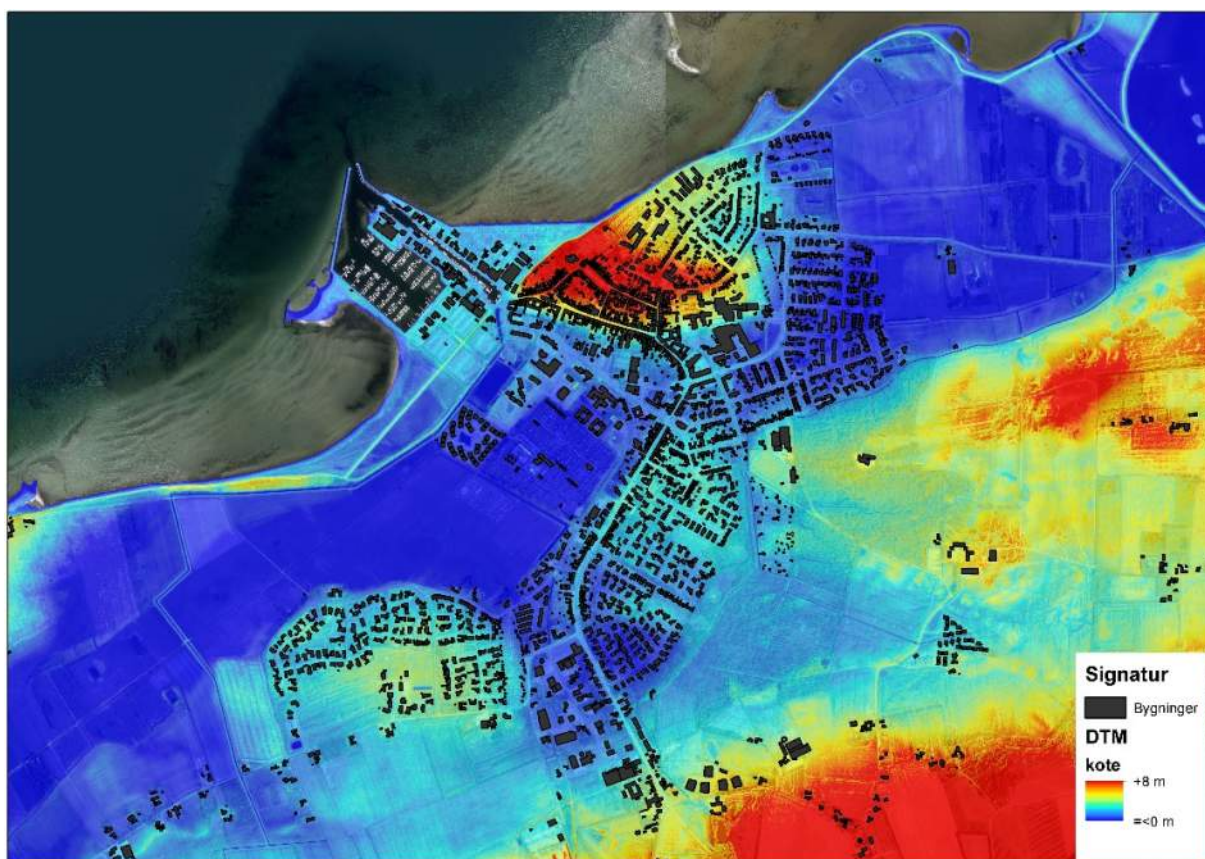
Nordfyns Kommune er i gang med at udarbejde en helhedsplan for klimatilpasning i Bogense. Helhedsplanen skal beskrive de tiltag, der samlet set skal sikre Bogense mod oversvømmelser.

Denne rapport indeholder COWIs forslag til tiltag. COWI har desuden tidligere udarbejdet notater om juridiske forhold og finansieringsmuligheder.

2 Udfordringer

2.1 Terræn

Landskabet er præget af lave bakker og flade lavtliggende strandenge ind imellem. Figur 2-1 viser en terrænmodel af hele området ved Bogense.



Figur 2-1 Terrænmodel af Bogense

Som det fremgår af terrænmodellen varierer terrænforholdene meget fra sted til sted og dermed varierer også risikoen for oversvømmelse.

Den gamle del af Bogense er bygget på det prominente bakkedrag ud mod kysten, og denne del af byen er ikke truet af oversvømmelse.

2.2 Havvandsstigning og stormflod

En del af den nyere del af byen er anlagt på lave enge, medens andre dele er anlagt i området, som ligger lidt højere.

Kystprofilen er meget fladt ved Bogense, og havnen er bygget ud fra kysten for at sikre tilstrækkelig vanddybde ved indsejlingen. Havneområdet er opbygget med fyldjord og ligger lavt.

De lavtliggende dele af byen og havneområdet er truet af oversvømmelse som følge af stormflod, afstrømning fra vandløbene, grundvand og skybrud.



Figur 2-2 Bogense er udsat i forhold til havvandsstigninger. På den korte bane primært de arealer som ligger uden for de eksisterende diger.



Figur 2-3 Havnen møder Bogense By (COWI).

Oversvømmelser fra havet og sikring af kysten er beskrevet mere detaljeret i kapitel 4.

2.3 Oversvømmelse fra vandløb

Bogense Bybæk har flere gange givet anledning til oversvømmelser ved høj vandføring.



Figur 2-4 Bybækken i Bogense (COWI).

Med udsigten til forøgelse af afstrømningen og dermed hyppigere kraftige afstrømningshændelser er problematikken omkring Bybækken vurderet som høj prioritet ift. sikring mod oversvømmelser i Bogense.



Figur 2-5 Skitsering af Bybækkens forløb gennem Bogense med udløb i havnen. Bybækken er prioriteret ift. sikring mod oversvømmelser.

Da Bybækken har en historik omkring oversvømmelseshændelser samt i kombination med udsigt til øget afstrømning jf. ændringer i klimaet, er Bybækken prioriteret i forhold til indsatser. Problematikken vedrørende vandløbene er beskrevet i kapitel 3.

2.4 Skybrud og inddæmmede områder

Øst og vest for Bogense er der store inddæmmede områder, der afvandes med pumper til landkanaler. Østre Enges Landkanal afleder til Ålebækken, mens Vestre Enges Landkanal afleder til havnen. Dens udløb er sikret med et højvandslukke, som også lukker for Bybækken.

Øget nedbør og kraftigere skybrud betyder, at de nuværende pumpestationer ikke vil have tilstrækkelig kapacitet. Desuden vil stigningen i havvandstanden betyde, at højvandsklapperne vil lukke hyppigere og i længere perioder. Ændringerne vil reducere sikringsniveauet og medføre hyppigere oversvømmelser.



Figur 2-6 Vestre Enges pumpestation (COWI).



Figur 2-7 Østre Enges pumpestation (COWI).

Dele af Bogense afvander til de inddæmmede områder, ligesom der er en række overløb til områderne. Desuden løber en mindre del af vandet i Vestre Enge på en strækning gennem en regnvandsledning.



Figur 2-8 Skitsering af de nedpumpede områder med angivelse (rød prik) af pumpestation samt blå pile til markering af udløb.



Figur 2-9 Simpel oversigtstegning over Kloakledninger(VCS).

Der er en kompliceret sammenhæng mellem afvandingen af de inddæmmede områder, landkanalerne, højvandslukkerne og byens regnvandsafvanding. Vandcenter Syd, der er ansvarlig for byens regnvandssystem, er i færd med at opstille en hydraulisk model som foruden byens kloaksystem også indeholder pumpestationerne. Denne model er nødvendig for at simulere afstrømning og vandspejle ved både nuværende og fremtidige skybrudshændelser og dermed identificere flaskehalse, udsatte områder m.m. i Bogense. Modellen vil således danne grundlag for identifikation og udformning af konkrete projekter til at håndtere skybrud i Bogense.

3 Oversvømmelser fra vandløb

3.1 Vandløb og oplande

Vandløb

Bogense Bybæk er et offentligt vandløb, der løber gennem byen og har udløb i havnen. Bybækken er et værdifuldt vandløb med stor betydning for byrummet.

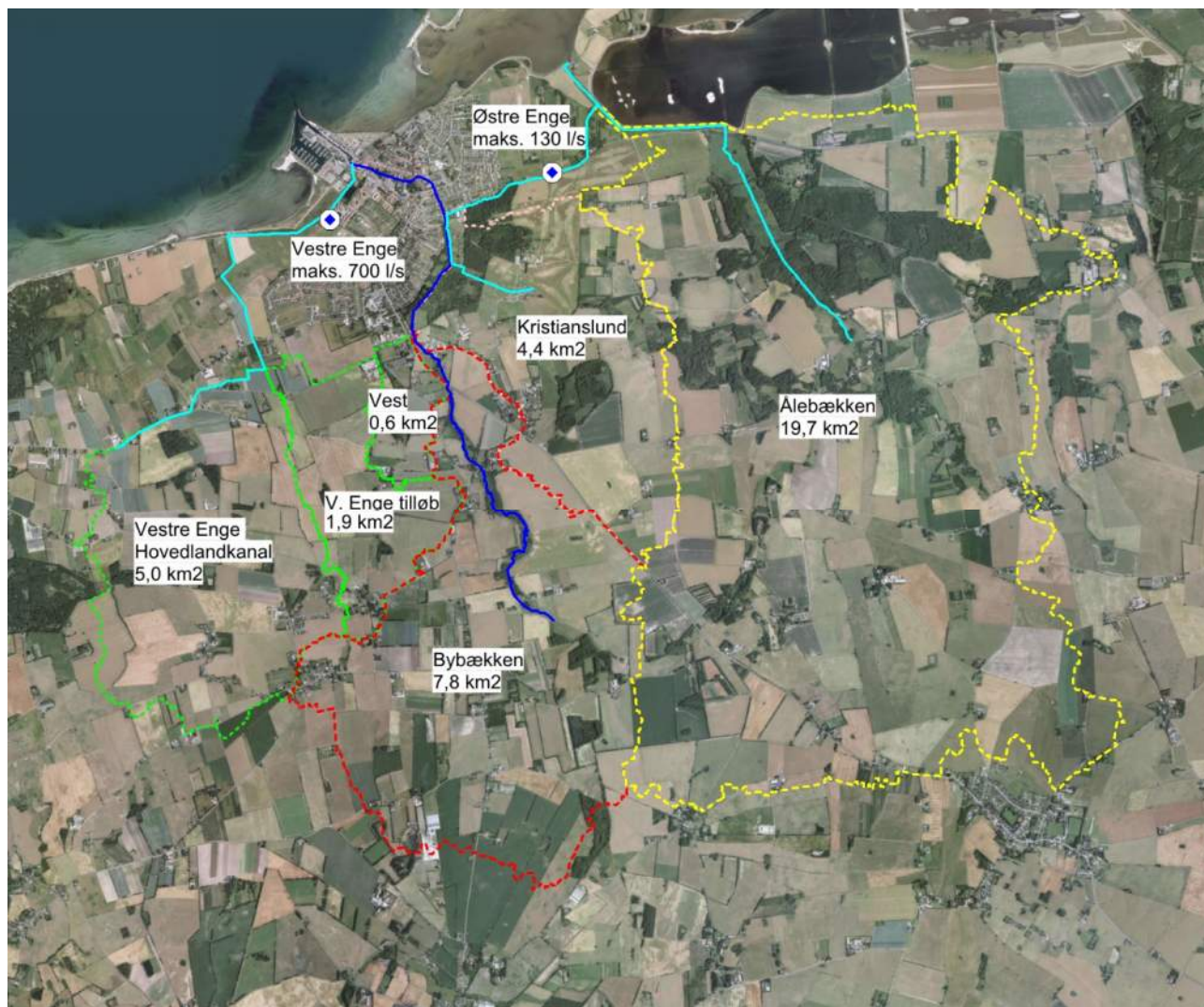


Figur 3-1 Bybækken i Bogense (COWI).

Bybækken har et opland opstrøms byen på ca. 7,8 km².

Vest for Bogense ligger Vestre Enge, der afvandes med kanaler til en pumpestation med en kapacitet på 700 l/s. Vandet pumpes ud i Hovedlandkanalen, der har et upumpet opland på ca. 7,5 km². Hovedlandkanalen ender med en sluse i havnen lige ved siden af Bybækkens udløb.

Øst for Bogense ligger de inddigede Østre Enge. Det inddigede areal i Østre Enge er ca. 1 km². Engene afvandes med en pumpestation til Landkanalen. Landvindingslaget omfatter også den lavtliggende østlige del af Bogense by. Pumpens kapacitet er ifølge vedtægterne for landvindingslaget er på 130 l/s. Engene er beskyttede af en 3,0 m højt dige mod kysten og 1,5 m dige mod Landkanalen.



Figur 3-2 Oversigt over oplande, vandløb, pumpeag m.m. i Bogense

Vandløbet Kristianslund Østre Enge er også et offentligt vandløb. Det har et mindre opland end Bybækken. Det løber langs Bybækken på en ca. 400 m lang strækning. Dette vandløb løber ud i Østre Enge Landkanal, der er et tilløb til Ålebækken.

Bogense Bybæk er forbundet med Kristianslunds Enge med et kort rør, der kan lukkes med et manuel skot. Kapaciteten af denne forbindelse er forholdsvis lille (men ikke beregnet). Vandspejlet normalt er højest i Bybækken, som således aflaster til Kristianslund Østre Enge og videre til Landkanalen. I perioder med højvande kan vandstanden i Kristianslund Østre Enge dog være højere end i Bybækken, så vandet strømmer den anden vej.

Ålebækken har et stort opland. Udløbet sker gennem en sluse, der er forsynet med højvandsklapper.



Figur 3-3 Ålebækkens udløb i Kattegat (COWI).

Tabel 3-1 giver en oversigt over de vigtigste oplande.

Tabel 3-1 Oversigt over oplande

Opland	Bemærkning	Areal (km ²)
Vestre Enge Hovedlandkanal	Inkl. tilløb	7,5
Vestre Enge	Pumpekapacitet 700 l/s	Ikke opgjort
Bogense Bybæk st. 2220	Kun lille opland herfra til st. 1053	7,8
Kristianslunds Østre Enge	Til indløb i landkanalen	4,4
Kristianslunds Østre Enge øst	Til st. 0	1,9
Kristianslunds Østre Enge vest	Løber til mellem st. 0 og st. 100	1,3
Østre Enge Landvindingslag	Pumpekapacitet 130 l/s	1,0
Ålebækken	Opstrøms landkanalen	19,7

3.2 Afstrømning og klimatillæg

Afstrømning

Afstrømningen i oplandet er skønnet på grundlag af vandføringsmålinger i Storå og Lunde Å.

De beregnede ekstreme værdier for de to stationer er vist i Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Ekstremafstrømning beregnet med Gumbel-fordelingen

Station Vandløb Opland km ²	43.04 Storå, Møllebro 137	45.23 Lunde Å 42
Gentagelse (år)	l s ⁻¹ km ⁻²	l s ⁻¹ km ⁻²
2	30	44
10	56	73
20	67	84
50	80	98
100	90	109
500	112	133
1000	122	144

Det ses, at en 100-års hændelse har en døgnmiddelfafstrømning på ca. 100 l s⁻¹ km⁻². Der er her ikke taget hensyn til, at afstrømningen i små oplande normalt er mere ekstreme end i store.

Klimaforandringer

Fremtidens klima i Danmark bliver generelt varmere med vådere vintre og hyppigere skybrud. Ændringerne i afstrømningen i vandløbene afhænger af en række faktorer. Generelt ventes en øget vandføring om vinteren, men sandsynligheden for ekstreme afstrømninger i forbindelse med snesmeltning mindskes. Påvirkningen afhænger også af jordbundsforhold og grundvandsmagasiner og er forskellig i forskellige dele af landet.

Ændringen i ekstrem afstrømning er estimeret på grundlag af 7 klimamodeller for perioden 2021-2050 sammenholdt med referenceperioden 1961-1990. For Fyn viser estimerne, at 10-årshændelsen øges med 37 %, mens 100-årshændelsen øges med 60 %.

Vandføring

Vi har på baggrund af disse tal valgt at regne med en døgnmiddelfafstrømning på 160 l s⁻¹ km⁻² svarende til en klimafremskrevet 100-års hændelse i perioden 2021-2050.

Med denne ekstreme afstrømning fås de vandføringer, der er angivet i Tabel 3-3.

Tabel 3-3 Vandføringer ved ekstrem afstrømning

Opland	Bemærkning	l/s
Bogense Bybæk st. 2220		1250
Kristianslunds Østre Enge	Til indløb i landkanalen	700
Østre Enge Landvindingslag	Pumpekapacitet uændret	130
Ålebækken	Opstrøms landkanalen	3150

Det er dyrt at sikre sig til så ekstreme hændelse, og man kan vælge et lavere niveau eller at udføre de forskellige tiltag gradvist, så man først gennemfører de tiltag, der også har effekt ved mindre ekstreme hændelser.

3.3 Udfordringer og muligheder

Bybækken er et værdifuldt vandløb og et vigtigt element i byens rum. Bybækken har ikke tilstrækkelig hydraulisk kapacitet til at klare meget store afstrømninger. Ved ekstreme afstrømning giver skaber Bybækken oversvømmelser i Bogense. I perioder med høj nedbør aflaster dele af spildevandssystemet til Bybækken.



Figur 3-4 Bogense Bybæk i retning mod midtbyen. Bækken er en integreret del af bybilledet og løber klos op ad bygninger og veje.

Bilag A viser beregnede vandspejle i Bybækken ved forskellige afstrømninger i oplandet. Beregningerne viser, at der sker opstuvning ved afstrømninger over medianmaksimum. Det skyldes utilstrækkelig kapacitet af broer og rørlagte strækninger.

ger samt et forholdsvis lille tværsnit og bund nær terræn. Der er nogen usikkerhed på beregningen, da der er tale om en gammel opmåling.

Mulighederne for at øge vandføringsevnen gennem byen ved at udvide tværsnitsarealerne og udskifte rør og broer anses for meget begrænsede i forhold til behovet for at kunne håndtere ekstreme afstrømninger. Vi foreslår derfor i stedet, at vandløbet aflastes ved at lede vandføringen, der overstiger vandløbets kapacitet, uden om byen. Det anbefales at lægge medianmaksimum til grund som den maksimale vandføring, vandløbet kan klare.

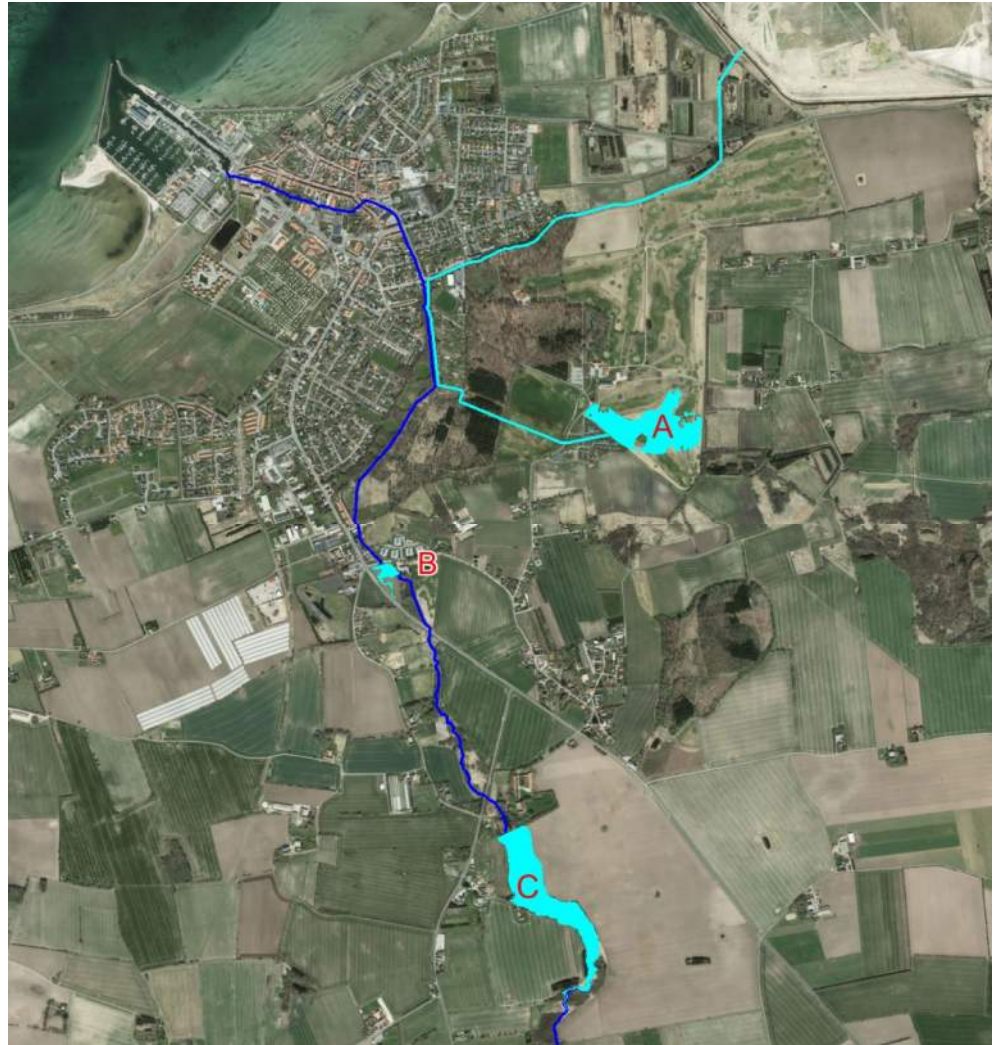
Vi har i vores undersøgelser derfor fokuseret på mulighederne for at reducere tilstrømningen til byen gennem to typer tiltag:

- › tilbageholdelse i oplandet opstrøms byen
- › overledning af en del af vandet fra Bybækken til andre vandløb eller nye ledninger og kanaler.

Disse tiltag kan kombineres, men beskrives i det følgende hver for sig. Til sidst vurderes fordele og ulemper ved at kombinere forskellige tiltag.

3.4 Tilbageholdelse i oplandet

Tilbageholdelse i oplandet er mest effektivt i forbindelse med skybrud, fordi disse hændelser er kortvarige, men meget intensive. Tilbageholdelse er mest effektivt med bassiner nær byen, da man her har størst chance for at "fange" skybrud, som typisk er meget lokale. Ved langvarig kraftig afstrømning fyldes reservoiret op, og kapaciteten er ofte ret begrænset. Aktivt styret tilbageholdelse er mere effektiv end passive installationer, fordi de sidste fyldes delvist op inden, det er nødvendigt. Vi har undersøgt tre mulige tiltag.



Figur 3-5 Mulig tilbageholdelse i oplandet

A: Tilbageholdelse af Kristianslund Østre Enge

Hytterne ved HCA Golf har været oversvømmet flere gange, og HCA Golf har derfor etableret et dige for at forhindre yderligere oversvømmelser. Dette dige kunne udvides samtidig med, at det rørlagte vandløb drosles ned, således at vandet staves op oven for dæmningen og forsinkes ved meget store afstrømninger. Denne mulighed er skitseret på Figur 3-6.



Figur 3-6 Mulig tilbageholdelse af Kristianslund Østre Enge. Den brune linje er et dige. Vandløbet er nu rørlagt under det område, der er vist som en sø, men bassinet vil kun sjældent være i brug. Den nordlige blå streg er et foreslået overløb.

Det viste reservoir ville kunne tilbageholde vand fra et opland på 1,9 km². Reservoiret dækker et areal på 6,2 ha, har en gennemsnitlig vanddybde på 0,5 m og et volumen på 31.000 m³. En opstuvning til kote 2,75 m vil ikke medføre en oversvømmelse af andre arealer, men det vil bevirke en opstuvning opstrøms.

Ved en fremskrevet 100-årshændelse på 160 l s⁻¹ km⁻², vil vandføringen her være 300 l/s. Reservoiret vil således blive fuldt på 29 timer, hvis røret lukkes helt. Hvis afløbet ikke lukkes helt, men nedrosles med en vandbremse, vil reduktionen i vandføring nedstrøms blive mindre, men det vil være længere, før reservoirets kapacitet er brugt.

Tilbageholdelse af Kristianslund Østre Enge vil ikke have direkte betydning for Bybækken og vil kun have effekt i forbindelse med andre tiltag. En reduktion på op til 300 l/s er ikke stor i forhold til behovet for reduktion af vandføringen i Bybækken.

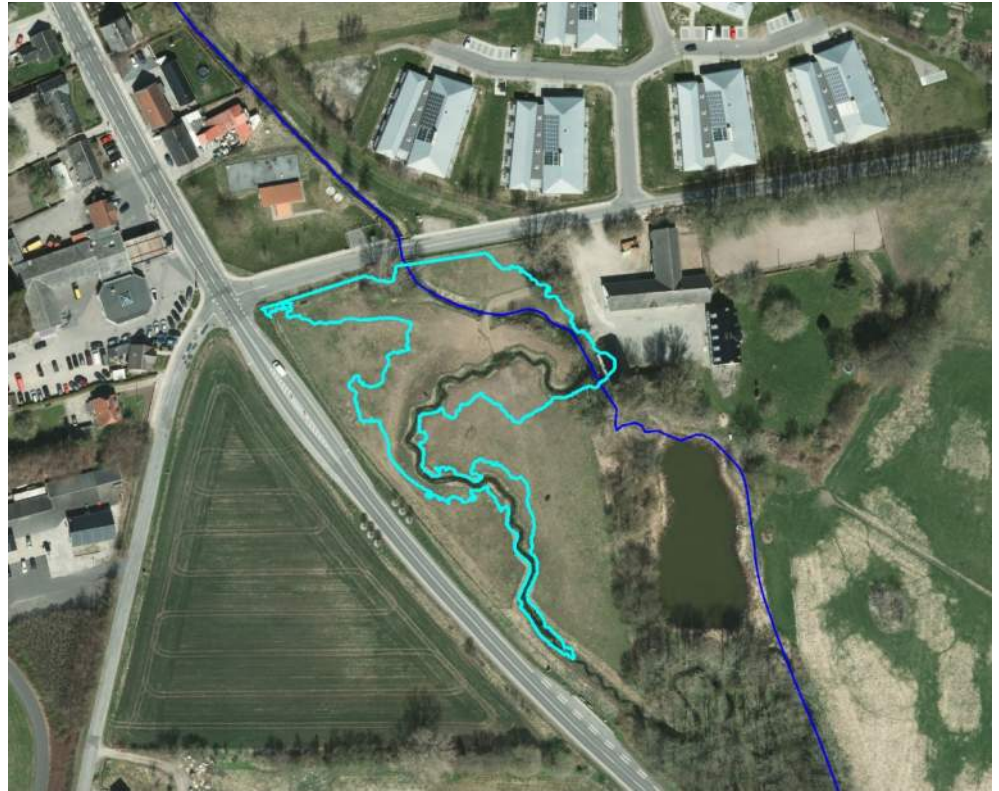
Anlægsomkostningen er foreløbigt anslået til 500.000 kr.

B: Tilbageholdelse af Bybækken ved Nedermølle

Det er muligt at udnytte Harritslevvej som dæmning og opstuve vand mellem møllesøen og vejen. Vandet kan stuves op til kote 3,6 m med aktiv en aktiv regulering ved vejunderføringen.

Reservoiret vil få et areal på 5100 m² og et volumen på 2200 m³. Denne kapacitet er ringe, og der er ikke grund til at undersøge forslaget nærmere.

Det tilføjes, at åen er restaureret på dette sted.



Figur 3-7 Mulig opmagasinerings ved Nedermølle ved Harritslevvej. Kapaciteten er kun 2200 m³ og tiltaget forkastes.

C: Tilbageholdelse af Bybækken ved Overmølle

Ved Overmølle er der en flad ådal, som kan udnyttes til opmagasinerings, hvis man anlægger en dæmning tværs over dalen.



Figur 3-8 Mulig opmagasinerings ved Overmølle

Ved anlæg af en 165 m lang dæmning kan der staves vand op til kote 15,0 m, hvilket giver et magasin på 72.000 m² med et volumen på 62.000 m³. Når anlægget er i brug, vil vandstanden ved dæmningen kunne stige med mere end 1 m over terræn.

Oplandet til dette magasin er 7,0 km², hvilket giver en vandmængde på 1,1 m³/s ved ekstremhændelsen. Reservoiret vil således være fyldt i løbet af 16 timer i denne ekstreme situation, hvis det lykkes helt.

Anlægsomkostningen skønnes groft til 500.000 kr., men kan være en del større, da dæmningen og reguleringsbygværket formentlig skal anlægges på blød bund.

3.5 Overførsel af vand: Øst

Overførsel af vand fra Bybækken til andre vandløb kan være effektivt over for både kortvarige og langvarige afstrømningshændelser, men topografien gør, at mulighederne er få. Vi har vurderet en række muligheder, men måtte forkaste de fleste, fordi de kunne skabe oversvømmelser andre steder, eller fordi de ville være meget dyre på grund af eksisterende bebyggelse.

I øst er det muligt at være overføre vand til Østre Enges Landkanal. Det kræver, at Landkanalen udvides og sikres med en pumpestation, der sættes i drift i tilfælde af højvande i havet eller meget stor afstrømning.

Denne løsning er skitseret på Figur 3-9 og de enkelte elementer diskuteres i det følgende.



Figur 3-9 Skitse med aflastning af Bybækken til Kristianslunds Østre Enge og Landkanalen samt en pumpestation ved udløbet

Behovet for overførsel

Bilag A viser, at afstrømninger over medianmaksimum ($37 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$) giver problemer i Bogense. Sådanne afstrømninger forekommer i gennemsnit hvert andet år, men med udviklingen i klimaet vil de fremover være hyppigere.

Medianmaksimum svarer til en vandføring på ca. 300 l/s.

Overløbskant

Indtaget til omløbet foreslås udformet som en 5 m lang overløbskant i siden af vandløbet, således at normale vandføringer som hidtil føres gennem byen, mens overløbet træder i funktion, når vandføringen (og dermed vandstanden i Bybækken) er nær den foreslåede grænse.

Overløbskanten foreslås anlagt som en støbt betonkant funderet på pæle lige øst fra vandløbets højre side. Koten på overløbskanten defineres i første omgang ud fra den sammenhæng mellem vandstand og vandføring, der er fastlagt i regulativet (Bilag D). Beregnes vandstanden på grundlag af kurven fås, at en vandføring på 300 l/s svarer til en vandstand på mindst 1,63 og højest 1,73 m DVR90. En vandføring på 1000 l/s giver tilsvarende en vandstand på 2,41-2,51 m DVR90 (forudsat at kurven kan ekstrapoleres til så store vandføringer, og at der ikke sker oversvømmelse på terrænet). Vandstanden vil kun være få cm højere ved st. 1835, hvor overløbskanten tænkes placeret.

Det foreslås, at overløbskanten etableres i kote 1,60 m DVR90. Umiddelbart nedstrøms for overløbskanten reguleres Bybækkens tværsnit på en kort strækning, så det bliver veldefineret, således vandstanden stiger ved øget vandføring på en måde, der sikrer, at overløbskanten fungerer efter hensigten. Med den valgte længde af overløbskanten bliver vandspejlet ved ekstrem vandføring 1,77 m hvilket svarer til en vandføring i Bybækken på 330-400 l/s. Ved den endelige projektering skal der foretages en mere nøjagtig hydraulisk beregning.

Overløbskanten er vist placeret ved Bybækkens st. 1835, men kanten kunne alternativt placeres nær Skovvej eller et andet sted, hvor vandløbet Kristianslund Østre Enge løber parallelt med Bybækken.

Nyt vandløb

Vandet fra overløbet føres gennem et nyt vandløb anlagt i det lave område øst for Bybækken. Vandføringen i dette vandløb vil normalt være meget ringe, men det skal dimensioneres til en vandføring på ca. 1000 l/s. Det foreslås derfor anlagt med en bundbredde på 1,5 m, og en bundkote ved indløb på 0,2 m. Afløbet vil have en tendens til at gro til, fordi det normalt kun har meget lille vandføring, men det skal vedligeholdes, så kapaciteten er til rådighed, når den er påkrævet.

Som nævnt kan man undvære dette vandløb og i stedet etablere overløbskanten længere nedstrøms. Det kræver, at det modtagende vandløb udvides og erosions-sikres ved overløbskanten, men det vil være en billigere løsning (ca. 150.000 kr. mindre).

Kristianslund Østre Enge

Vandspejlsberegning på vandløbet Kristianslund Østre Enge og Landkanalen viser, at vandføringsevnen er tilstrækkelig ved vandføringer op til medianmaksimum. Ved disse beregninger er forudsat, at vandstanden ved udløbet er 0,1 m. Østre Enges pumpelag er antaget at bidrage med 130 l/s i alle situationer.

Ved større vandføringer sker der opstuvning i den rørlagte del af Landkanalen samt på to overkørsler over Kristianslunds Østre Enge. Dette har formentlig været medvirkende til at skabe de oversvømmelser på HCA Golfs arealer, der fandt sted i juli 2015. Vi har vurderet, at vandstanden ved golfhytterne var 2,15 m, hvilket er højere end den beregnede vandstand ved en 100-års hændelse (Bilag B). Udskiftningen af disse overkørsler vil bedre afvandingen opstrøms, men forværre problemerne nedstrøms, da golfbanen reelt fungerer som et (uplanlagt) forsinkelsesbassin. Det foreslås derfor, at overkørslerne først udskiftes, når kapaciteten nedstrøms

er øget, da man ellers bare flytter problemet. De største problemer er rørledningen i begyndelsen af Landkanalen og sikring mod tilbagestuvning i tilfælde af højvande.

Ved projektforslaget tilledes en stor mængde vand fra Bybækken i situationer med ekstrem vandføring. Det medfører, at der er behov for at øge vandføringsevnen betydeligt. På den 450 m lange strækning fra det nye vandløb til Landkanalen udvides bundbredden fra 0,6 m til 1,5 m.

Det vil desuden være nødvendigt at udskifte den tidligere jernbanebro med en ny gang- og cykelbro.

Landkanalen

Landkanalen er ikke dimensioneret til ekstreme afstrømninger og til overledning af vand fra Bybækken. Det betyder, at det er nødvendigt at udvide vandløbets tværsnit og at udskifte samtlige broer og røroverkørsler. Vandspejlsberegninger viser, at pumpestationen sænker vandspejlet i kanalen på de sidste ca. 500 m men ikke påvirker vandspejlet væsentligt længere oppe. Det kræver simpelthen meget plads at transportere vandet på en så lang strækning næsten uden fald.



Figur 3-10 Landkanalen ved Skovvej (COWI).



Figur 3-11 Landkanalen set fra overkørsel ved pumpestation (Østre Enge) og i vestlig retning.

Ny pumpestation

I den klima-fremskrevne 100-års hændelse vil projektet medføre en vandføring ved udløbet af Landkanalen på ca. 1900 l/s. For at sikre at der ikke sker oversvømmelser i tilfælde af, at slusen ved udløbet af Ålebækken er lukket, foreslås etableret en pumpestation med mindst to pumper, som tilsammen har den fornødne kapacitet. Samtidig etableres højvandslukker ved udløbet, så der kun skal pumpes, når det er nødvendigt. Pumpestationen kræver en pumpeump på ca. 500 m³.

Supplerende foranstaltninger

Der er sket overløb fra Bybækken mod vest til villaområdet, som ligger lavt i en "gryde". Overløbet fortsætter til regnvandssystemet, som aflaster til Vestre Enge.

Risikoen for disse overløb mindskes ved etableringen af overløbet mod øst til Kristianslund Østre Enge, men som en yderligere sikkerhed foreslås etableret en lav vold langs vestsiden af Bybækken. På grund af terrænforholdene foreslås volden etableret nær bækken snarere end nær villakvarteret, hvor et dige skulle være højere. Frem til overløbet foreslås diget anlagt med top i kote 2,0 m. Denne strækning er 280 m og ligger delvist i kote 1,6 m. Diget skal således være ca. 40 cm højt, men kan måske undværes på en del af strækning. Efter overløbet er der en 310 m lang strækning, men den ligger lidt højere, og det er formentlig tilstrækkeligt med en mindre regulering enkelte steder.

På strækningen langs kolonihaverne kan vandstanden nå kote 1,5-1,7 m. Terrænet langs vandløbet ligger nu i kote 1,3-1,8 m på en strækning af ca. 360 m, og det skønnes, at der skal etableres et dige med en gennemsnitlig højde på ca. 30 cm over terræn. Materialet kan komme fra det jord, der skal graves op for at udvide

vandløbet. Der er formentlig nogle mindre afløb fra kolonihaverne, der skal sikres med højvandslukker.

Anlægsoverslag

Anlægsoverslaget er endnu usikkert, bl.a. fordi det ikke er undersøgt i hvilket omfang, det vil være nødvendigt at tage hensyn til eksisterende ledninger. Visse steder kan det også være vanskeligt at lægge meget store rør, og det kan være nødvendigt at bruge firkanttunneller eller broer, hvilket kan være fordyrende. Der er heller ikke regnet med erstatninger.

Tabel 3-4 Anlægsoverslag for løsningen med overløbskant

Post	Mængde	Overslag
Overløbskant	5 m	50.000
Nyt vandløb	1600 m ³	100.000
Overkørsel ved udløbet af nyt vandløb		35.000
Overkørsel ved jernbanebro		100.000
Dige langs Bybækken, forhøjelse af sti, re- tablering	300 m ³	60.000
Udvidelse af Kristianslund Østre Enge, dige, 2 mindre højvandslukker ved kolonihaver	700 m ³	100.000
Udskiftning af rørlagt strækning	70 m, Ø1500	800.000
Åbning af rørlagt strækning, re- tablering	70 m, 300 m ³	50.000
Krydsning af Kristianslundsvej	30 m, Ø1500	300.000
Udvidelse af Landkanalen (1)	800 m, 1200 m ³	120.000
Udvidelse af Landkanalen (2)	800 m, 500 m ³	50.000
Pumpesump	500 m ³	50.000
Gyldensteenvej		400.000
Pumpestation, klapper mv.		2.500.000
Diverse		335.000
Projektering og tilsyn	15%	750.000
I alt		5.800.000

Konsekvenser

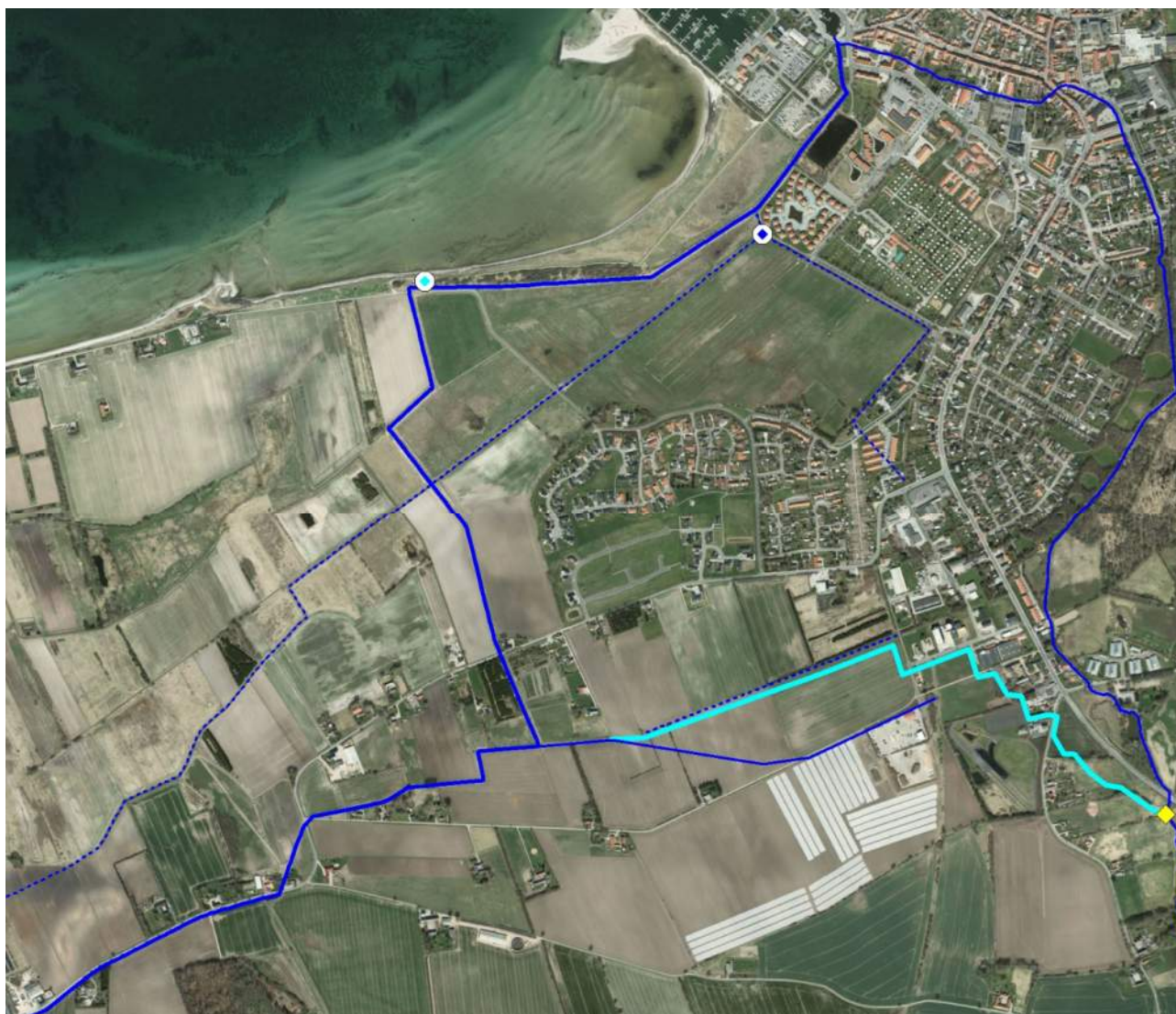
Konsekvenserne for Bogense Bybæk vil udelukkende bestå i, at ekstreme afstrømninger undgås, mens afstrømninger op til medianmaksimum vil forekomme uændret.

Den nedre del af vandløbet Kristianslund Østre Enge samt Landkanalen vil få forringede fysiske forhold, men strækningerne er allerede nu stuvningspåvirkede og har meget svingende vandstand.

Oppumpningen til Ålebækken vil betyde øgede oversvømmelser langs dette vandløb - især i perioder, hvor slusen er lukket. I ekstremesituationen (100-års hændelsen med klimatillæg) vil projektet øge vandføringen i Ålebækken fra ca. 4 m³/s til 5 m³/s. Under mere almindelige forhold med opstuvning og normale vandføringer vil pumpestationen holde vandstanden i Landkanalen lav, men den udpumpede vandmængde vil kun have marginal betydning for Ålebækken.

3.6 Overførsel af vand: Vest

Som alternativ til den østlige løsning er det muligt at overføre vand fra Bybækken til Vestre Enges Landkanal med en overløbskant lige vest for det sted, hvor Bybækken løber under Odensevej. Vandet fra overløbskanten ledes gennem et nyt vandløb til Vestre Enges Landkanal som vist på Figur 3-12.



Figur 3-12 Overførsel i vest fra Bybækken til Vestre Enges Landkanal

Overløb

Overløbet fra Bogense Bybæk tænkes udført ved St. 2850. Der etableres en 5 m lang kant i siden af vandløbet. Den dimensioneres således, at der overføres ca. 1000 l/s ved den klimafremskrevne 100-års hændelse.

Nyt vandløb

Fra overløbet anlægges et nyt vandløb frem til Vestre Enges Hovedlandkanal st. 1600. Den første del af vandløbet vil få et ret stort fald (ca. 8 ‰), mens den sidste del frem til landkanalen vil få ringe fald. Hovedlandkanalen har bund i kote -0,07 m DVR90 ved udløbet af det nye vandløb og en bundbredde på 1,8 m.

Forløbet er skitseret under hensyn til terrænforholdene og til udnyttelsen af areaerne. Det er muligt at justere forløbet flere steder under hensyntagen til lodsejernes ønsker og eksisterende infrastruktur.

På landbrugsarealet er der nu to rørlagte vandløb, som der skal tages hensyn til:

- › Tilløbet til Hovedlandkanalen
- › Sidekanal 9

Tilløbet til Hovedlandkanalen

Denne kanal er 1039 m, hvoraf 852 m er rørlagt. Den falder fra kote 128 m DVR90 til -0,07 m ved udløbet. Den rørlagte strækning er Ø300-Ø500 mm, mens den åbne strækning har en bundbredde på 0,8 m. Den rørlagte strækning er helt utilstrækkelig til at kunne udnyttes i forbindelse med anlæggelsen af det nye vandløb, mens den åbne del vil kunne udvides.

Sidekanal 9

Dette 683 m lange vandløb er en del af afvandingen af engene. Vandløbet er rørlagt og anlagt, så vandet strømmer mod øst, altså modsat Tilløbet til Hovedlandkanalen. Røret begynder i kote 0,15 m og ender i en regnvandsledning ved Industrivej i kote -0,65 m. Regnvandsledningen løber mod nord, hvor den har afløb til Vestre Enges Sidekanal 10. Sidekanal 10 begynder i kote -1,35 m som et Ø400 mm rør.

Der er formentlig sluttet dræn til Sidekanal 9, som der skal tages hensyn til ved projektet. Det vurderes umiddelbart, at Sidekanal 9 og dræne kan bevares uændret, såfremt dette ønskes, da de ligger lavere end bunden i det foreslåede nye vandløb. Dette skal dog vurderes nærmere ved projekteringen, ligesom behovet for overkørsler og mulig jordfordeling skal klarlægges.

Hovedlandkanalen

Hovedlandkanalen har en bundbredde på 1,8 m fra st. 1600 til st. 3840, hvor den udvides til 3,0 m frem til udløbet ved slusen i st. 4344. Vestre Enge afvandes med 3 pumper med en samlet kapacitet på 700 l/s. Afløbet sker til Hovedlandkanalen.

Det skønnes umiddelbart, at tilførslen af vand fra Bybækken vil medføre, at Hovedlandkanalen skal udvides med op til 1 m i bredden på strækningen frem til slusen, dvs. på 2250 m, men det skal vurderes nærmere – også i betragtning af den foreslåede nye pumpestations betydning.

Ifølge vedtægterne er der tre broer og overkørsler på strækningen fra st. 1600 til slusen, nemlig en gangbro ved st. 3400-3842, en vejbro ved st. 3989-3991 og røroverkørsler ved højvandslukket. Vi har ikke vurderet, om det er nødvendigt at ændre disse. Desuden skal der tages hensyn til Hovedafvandingskanalen, der krydser under Hovedlandkanalen ved sidstnævntes st. 2330.

Landkanalen er omgivet af diger med kronekote 1,42 m DVR90.

Udvidelse af Landkanalen med ændring af diger anslås at koste ca. 1.000.000 kr.

Pumpestation på Hovedlandkanalen

For at sikre fortsat afvanding gennem Hovedlandkanalen foreslås etableret en pumpestation ved st. 2916, dvs. hvor Hovedlandkanalen drejer mod øst langs kysten. Denne pumpestation skal kun træde i funktion, når slusen er lukket og vandet i Hovedlandkanalen stiger til et vist niveau.

Etablering af pumpestationen vil betyde, at der ikke bliver behov for at udvide kapaciteten af de sidste 1428 m.

Det vil være nødvendigt at etablere en pumpeump samt en udløbsledning gennem havdiget.

Omkostningerne til denne løsning skønnes at blive større end til den østlige løsning, men det kræver nærmere undersøgelser af omkostningerne ved arealerhvervelser/erstatninger, eksisterende infrastruktur og hydraulisk modellering af kanalerne.

4 Oversvømmelse fra havet

4.1 Vandstand

Ifølge den Danske Havnelods er forskellen mellem middelhøjvande og middellavvande ved Bogense Havn 0,5 m. Med roligt vejr skifter højvande og lavvande regelmæssigt. Storm fra NNØ kan give indtil 1,6 m højvande og storm fra SSV indtil 1,6 m lavvande, Ref. 2.

Ekstreme højvandstande ved Bogense Havn er bestemt af Kystdirektoratet ud fra vandstandstidsserie (11.2000 til 12.2012) og fremgår af Figur 4-1 for en række karakteristiske hændelser, Ref. 3.

Datagrundlag

Stationsnr. (DMI 28003/28004; KDI 20101/20102).

Dataperiode 12 år.

Måledata 30.11.2000 - 31.12.2012.

Digitale data leveret af KDI.

Bemærkninger

Ny statistik. Grundet dataseriens længde vurderes statistikken som mindre god.

Statistiske middeltidsvandstande

	VS (cm)	Sprødnng (cm)
100 år	174	20
50 år	165	17
20 år	153	13

Ved at rangordne de målte ekstremer kan 1 års vandstanden bestemmes til $VS_1 = 107$ cm.

Statistisk analyse

Som ankomstfordeling er benyttet en Poissonproces med intensitet (hændelser per år) λ , og som højdefordeling er benyttet en trunkeeret Weibull fordeling med afkærringsniveau γ (cm) og parametrene α og β .

$\lambda = 1,667$
 $\gamma = 93$
 $\alpha = 1,248$
 $\beta = 114,863$

Korrektion af vandstandsdata

Ekstremvandstandene er gjort "trendfri" med basis i 1990, så vandstanden angives i forhold til det pågældende års middelvandstand.

I perioden 1891-1990 har stigningen i middel havspejlsniveau været på 6 cm. Dette er forskellen mellem DNN og DVR90.

Figur 4-1 Højvandsstatistik for Bogense Havn, Kystdirektoratet, Ref. 3

Tidsserien er forholdsvis kort, og statistikken er derfor behæftet med en del usikkerhed.

4.1.1 Eustatisk havspejlsstigning

Ved fastlæggelse af designvandstanden skal der tages højde for den forventede vandstandsstigning som følge af global opvarmning inden for konstruktionernes levetid.

De forventede vandstandsstigninger er vurderet af DMI på baggrund af IPCCs seneste klimarapport, Ref. 8. De forskellige scenarier refererer til forskellige forudsætninger vedrørende fremtidig udledning af CO₂ og temperaturstigning.

Tabel 4-1 og Figur 4-2 viser, at middelvandstanden i Danmark om 10 år forventes at ville være forøget med 16 cm, om 50 år med 34 cm og om 100 år med 57 cm for et middelscenarie (RCP4,5) i forhold til 1990. Der er dog betydelig usikkerhed på estimaterne.

Ændringer i middelvandstand [meter]	Globalt middel [m]	Danmark [m]	Kilde
RCP2.6	0,40 (0,26 – 0,54)	0,34 (0,1 – 0,6)	IPCC AR5
RCP4.5	0,47 (0,32 – 0,62)	0,43 (0,2 – 0,7)	IPCC AR5
RCP6.0	0,47 (0,33 – 0,62)	0,44 (0,2 – 0,7)	IPCC AR5
RCP8.5	0,62 (0,45 – 0,81)	0,61 (0,3 – 0,9)	IPCC AR5
A1B	0,52 (0,36 – 0,69)	-	IPCC AR5
A1B – BACC	-	0,64 (0,3 – 1,1)	BACC2 (2014, in press)
DMI's øvre bud	-	1,2	DMI

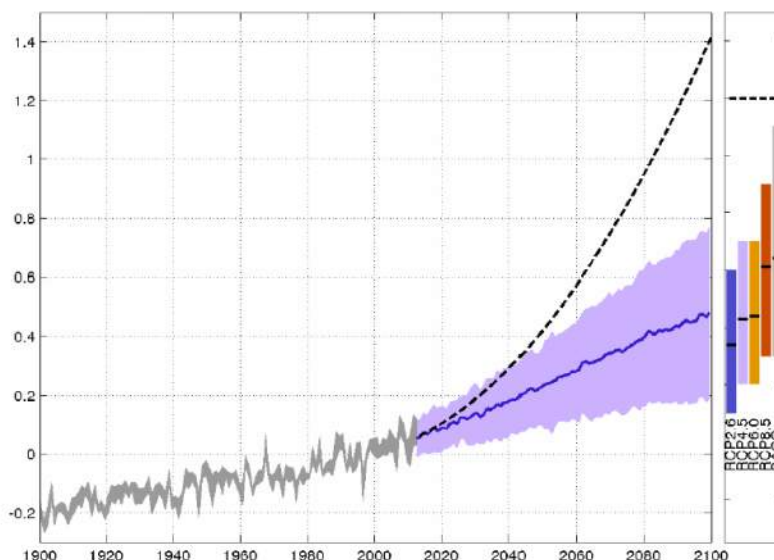
Tabel 6: Absolut middelvandstandsstigning globalt og for Danmark, 1986-2005 til 2081-2100 [m]. DMI's øvre bud er til brug for usikkerhedsestimater. Kilde: AR5, BACC og DMI.

Tabel 4-1 Eustatisk havspejlsstigning for Danmark, Ref. 8

Hvis usikkerheden på middelscenariet (RCP4,5) regnes med, viser de nyeste beregninger, at middelvandstanden i Danmark om 10 år kan være forøget med 27 cm, om 50 år med 56 cm og om 100 år med 93 cm i forhold til 1990.

DMI vurderer, at den øvre grænse for havspejlsstigningen er +1,2 m frem mod år 2100. Dette er dog noget over forudsigelserne for IPCCs bedste bud. Der er således stor usikkerhed på størrelsen af den globale havspejlsstigning i fremtiden.

DMI forventer ikke, at stormflodsamplituden øges i de indre farvande i fremtiden som følge af ændrede vindmønstre mm, Ref. 8.



Figur 9: Den absolutte middelvandstand ved Danmark i meter for årene 1900-2100. Den grå skygge for år 1900-2012 viser den observerede årlige middelvandstand ved danske vandstandsmålere, korrigeret for landhævning. Den blå streg for år 2012-2100 viser IPCC's bedste estimat af middelvandstanden i Nordsøen for RCP4.5 scenariet, og skyggen angiver usikkerheden for dette scenarie. Den stiplede linje angiver DMI's estimat af en øvre grænse for vandstandsstigninger til brug for usikkerhedsberegninger. I højre side af figuren vises middelværdi og usikkerheder for de fire IPCC scenarier samt for BACC's vurdering af A1B scenariet for perioden 2081-2100. Den stiplede linje viser DMI's øvre bud for denne periode.

Figur 4-2 Eustatisk havspejlsstigning for Danmark, Ref. 8

4.1.2 Isostatisk landhævning

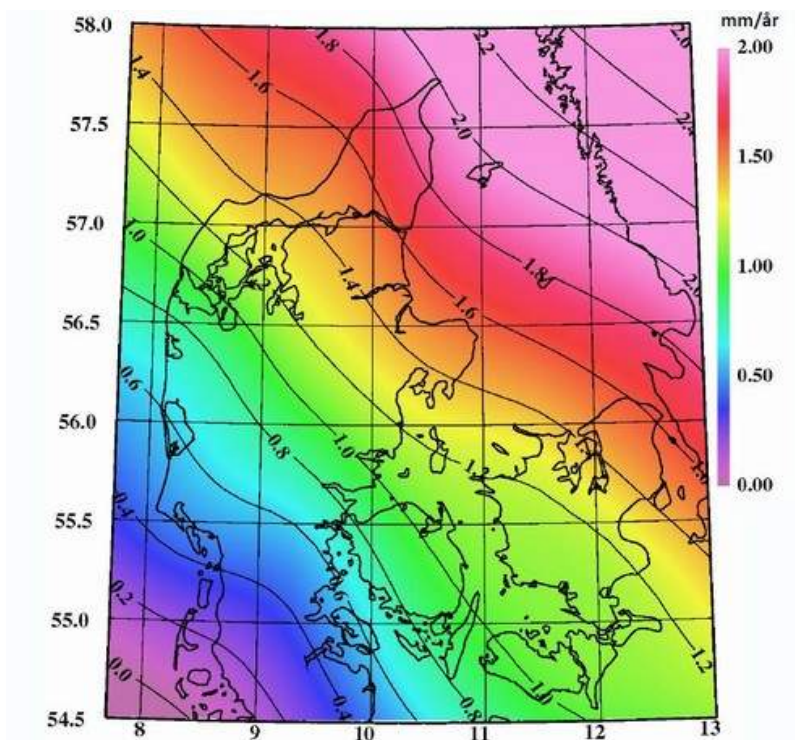
I forbindelse med udregningen af den absolutte havspejlsstigning skal der tages højde for, at der generelt sker landhævning i Danmark. Den årlige landhævning er vist på Figur 4-3. Ved Bogense Havn er den årlige landhævning cirka 1,0 mm/år. Dette giver en landhævning på 4 cm på 10 år og 8 cm på 50 år og 13 cm om 100 år i forhold til 1990.

4.1.3 Designvandstand på dybt vand ved Bogense Havn

På baggrund af de statistiske ekstremvandstande, den generelle vandstandsstigning og landhævning beregnes designvandstanden for en 10 års hændelse om 10 år og for en 50 års hændelse om 50 år og en 100 års hændelse om 100 år ved Bogense Havn som vist i Tabel 4-2 og Tabel 4-3.

Kystdirektoratets data viser, at stormen 1. november 2006 gav en vandstand på +172cm DVR90 i Bogense Havn, hvilket er den højeste vandstand opgivet i Ref. 3. Denne storm svarende næsten til en 100 års hændelse i forhold til Kystdirektoratets statistik.

De opgivne designvandstande gælder for dybt vand ud for kysten, men indeholder ikke bølge-setup og vind-setup langs kysten. Bølge-setup kan være op til 17% af den signifikante bølgehøjde på dybt vand, Ref. 6. Bølge-setup og vind-setup kan beregnes med en numerisk model, hvilket dog ligger uden for dette projekt.



Figur 4-3 Isostatik landhævning i Danmark, KDI, DMI, DTU Space

Bogense Havn	10 års vandstand i	50 års vandstand i	100 års vandstand i
	år 2026, cm DVR90	år 2066, cm DVR90	år 2116, cm DVR90
KDI statistik	+144	+165	+174
Havspejlsstigning	16	34	57
Landhævning	-4	-8	-13
Designvandstand	+157	+192	+218

Returperiode / år	2016	2066	2116
10	+153	+171	+188
50	+174	+192	+209
100	+183	+201	+218

Tabel 4-2 Designvandstand på dybt vand ved Bogense Havn middelscenarie angivet i cm DVR90

Bogense Havn	10 års vandstand i	50 års vandstand i	100 års vandstand i
	år 2026, cm DVR90	år 2066, cm DVR90	år 2116, cm DVR90
KDI statistik	+144	+165	+174
Spredning	11	17	20
Havspejlsstigning	27	56	93
Landhævning	-4	-8	-13
Designvandstand	+178	+230	+274

Returperiode / år	2016	2066	2116
10	+164	+203	+235
50	+191	+230	+262
100	+211	+242	+274

Tabel 4-3 Designvandstand på dybt vand ved Bogense Havn med usikkerheder angivet i cm DVR90.

4.2 Oversvømmelse i forbindelse med stormflod

COWI har udarbejdet en række GIS-kort som illustrerer oversvømmelsesproblemernes omfang og karakter i forbindelse med stormflod.

Figur 4-4 viser en terrænmodel for området ved Bogense Marina. Figuren viser, at hele området ved Bogense Marina ligger lavt (ca. +1,6 til +1,8 m DVR90) på nær bakkedraget op mod byen.

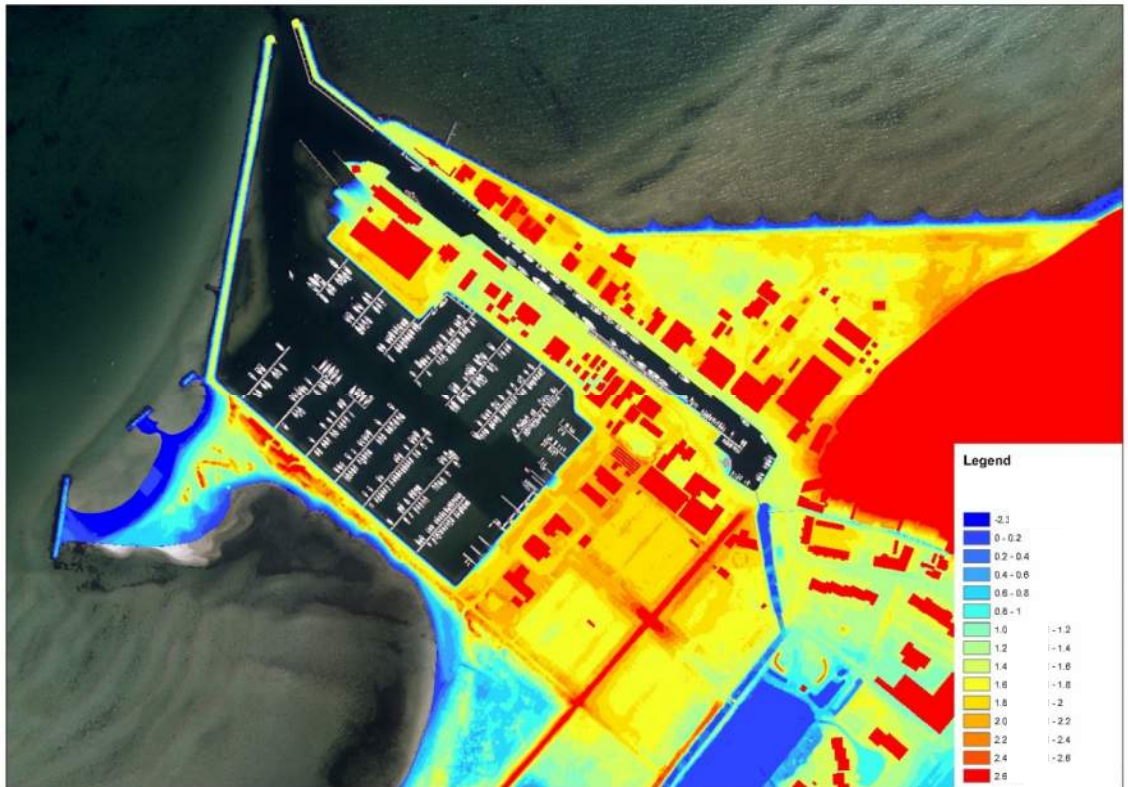
Figur 4-5 til Figur 4-7 viser udbredelsen af en potentiel oversvømmelse i forbindelse med stormflod i år 2016, 2066 og 2116 for storme med returperiode på henholdsvis 10, 50 og 100 år.

Stort set hele området neden for bakkedraget risikerer at blive oversvømmet i forbindelse med en stormflod i år 2116 med en returperiode på 100 år, se Figur 4-7.

Selv stormflod med en forholdsvis kort returperiode på 10 år vil kunne give omfattende oversvømmelser i 2066 ved og omkring havnen, se Figur 4-6.

I dag er det primært de højeste stormfloder, der kan give omfattende oversvømmelse ved og omkring havnen, men området er udsat for betydelig risiko, se Figur 4-5.

Analysen viser, at hele området ved havnen og den lavere del af byen neden for bakkedraget er truet af oversvømmelse i forbindelse med stormflod som følge af, at området ligger lavt. Der er en betydelig risiko for oversvømmelse af området i dag, og problemerne og omfanget af oversvømmelse forventes at stige fremover.



Figur 4-4 Terrænmodel af området ved havnen i Bogense, kote m DVR90



Figur 4-5 Udbredelse af oversvømmelse ved marinaen i år 2016 som følge af stormflod. Middel-scenarie uden usikkerhed. T10 = returperiode på 10 år, T50 = returperiode på 50 år, T100 = returperiode på 100 år, se Tabel 4-2.



Figur 4-6 Udbredelse af oversvømmelse ved marinaen i år 2066 som følge af stormflod. Middel-scenarie uden usikkerhed. T10 = returperiode på 10 år, T50 = returperiode på 50 år, T100 = returperiode på 100 år, se Tabel 4-2.



Figur 4-7 Udbredelse af oversvømmelse ved marinaen i år 2116 som følge af stormflod. Højt-scenarie med usikkerhed. T10 = returperiode på 10 år, T50 = returperiode på 50 år, T100 = returperiode på 100 år, se Tabel 4-3.

4.2.1 Lokalitet: Havnen

I forbindelse med opstartsmødet foretog COWI sammen med kommunen en besigtigelse af de oversvømmelsestruede områder i Bogense og den eksisterende oversvømmelsesbeskyttelse.

Oversvømmelsesproblematikken ved havnen er beskrevet mere indgående i det følgende og illustreret med foto fra besigtigelsen.

Figur 4-8 viser udløbet af landkanalen og placeringen af højvandsklappen i bunden af havnebassinet. Fotoet viser desuden højdedrag ved den ældste del af byen i venstre side. I den højre side af billedet ses en beskyttelsesmur, som er forbundet til havdiget vest for havnen, se Figur 4-9.

Der er et lavt område mellem den eksisterende højvandsmur og bakkedraget, hvor der er risiko for, at vandet kan løbe fra havnen henover vejen og ind i baglandet.

For at forhindre oversvømmelse af baglandet er der lavet mulighed for, at der i forbindelse med stormflod kan opsættes en mobil højvandsbeskyttelse mellem gavlen af det lyse hus og højvandsmuren, som kan forhindre indtrængning af havvand.

Den eksisterende højvandsbeskyttelse forhindrer ikke oversvømmelse af havnearealerne uden for den mobile højvandsbeskyttelse og havdiget mod vest.



Figur 4-8 Udløb af landkanal og højvandsklap i bunden af havnebassinet samt højdedrag til venstre og eksisterende højvandsbeskyttelsesmur til højre.



Figur 4-9 Eksisterende dige og højvandsbeskyttelsesmur i bunden af havnebassinet.

Der er en række bygninger på de lave områder rundt om havnebassinet. Figur 4-10 viser nogle af de bygninger i den vestlige del af havnen, som risikerer at blive oversvømmet i forbindelse med stormflod.



Figur 4-10 Bygninger på lavtliggende arealer i vestlig del af havnen.

Figur 4-11 viser nyere bygninger i den centrale del af havnen, som risikerer at blive oversvømmet i forbindelse med stormflod.



Figur 4-11 Nyere bygning på lavtliggende arealer i central del af havnen.

Der er også en række ældre bygninger, som risikerer at blive oversvømmet af havet i forbindelse med stormflod i den centrale del af havneområdet, se Figur 4-12 og Figur 4-13.



Figur 4-12 Ældre bygninger på lavtliggende arealer i central del af havnen.



Figur 4-13 Ældre bygninger på lavtliggende arealer i central del af havnen.

I den østlige del af havnen er der bygget en række nyere huse, som alle er hævet betydeligt over vejene og kajerne, se Figur 4-13 og Figur 4-14. De nye bygninger er herved meget bedre beskyttet mod oversvømmelse. Det er uvist, hvilken gulvko-
te husene har og således, hvilket niveau husene er beskyttet til. Det ser ud til, at husene er hævet cirka en meter over vejen langs kajen.



Figur 4-14 Nye hævede bygninger på lavtliggende arealer i østlig del af havnen.



Figur 4-15 Nye hævede bygninger på lavtliggende arealer i østlig del af havnen.

De gamle havneområder er formodentligt anlagt uden hensyntagen til fremtidig havspejlsstigning og er for lavtliggende til at undgå oversvømmelse i forbindelse med stormflod. Kajerne er også for lave. Det er dyrt at lave nye kajanlæg og hæve hele havneområdet for at beskytte mod oversvømmelse. Det foreslås derfor i stedet at hæve området umiddelbart omkring nye bygninger og at hæve sokkelkoten for at beskytte mod oversvømmelse fra havet.

Den østlige havnemole har en lodret mur øverst, medens foden af muren er beskyttet af dæksten, se Figur 4-16. **Error! Reference source not found.** I forbindelse med højvande og nordlige vinde er der risiko for stort bølgeoverskyl som følge af bølgerrefleksion på den lodrette del af muren. Bølgeoverskyllet kan føre til oversvømmelse af området mellem husene og muren og i sidste ende medvirke til at oversvømme campingpladsen, se Figur 4-16.



Figur 4-16 Østlig havnemole med lodret mur.

4.2.2 Lokalitet: Campingpladsen

Skråningsbeskyttelsen og området ved campingpladsen er lavtliggende, og der er derfor stor risiko for oversvømmelse i forbindelse med stormflod, se Figur 4-17, Figur 4-18 og Figur 4-19. Området har nogle lavninger, som betyder, at vandet har svært ved at komme væk.



Figur 4-17 Skråningsbeskyttelse ved campingpladsen.



Figur 4-18 Skråningsbeskyttelse ved campingpladsen.



Figur 4-19 Lavtliggende område ved campingpladen.

4.3 Løsningsforslag for havnen

4.3.1 Betonmur

Det er dyrt at hæve hele det lavtliggende havneareal, hvor der er veje og kajanlæg, og der er desuden begrænset plads mellem nogle af de eksisterende bygninger. Det anbefales derfor, at de enkelte virksomheder opfører højvandsbeskyttelse i form af betonmure rundt om hver enkelt virksomhed. Der kan også laves fælles mure på strækninger, hvor der er mulighed herfor.

Der kan inkluderes mobile porte i betonmurene de steder, hvor det er nødvendigt at opretholde muligheden for passage. Portene skal så lukkes, når der varsles stormflod. Denne type løsning er etableret langs havnen i Lemvig og har inden for få år flere gange har forhindret omfattende oversvømmelse af de centrale dele af byen, se Figur 4-20 til Figur 4-22.



Figur 4-20 Oversvømmelsesbeskyttelse med smal betonmur og mobile porte i Lemvig.



Figur 4-21 Oversvømmelsesbeskyttelse med smal betonmur og mobile porte i Lemvig.



Figur 4-22 Oversvømmelsesbeskyttelse med smal betonmur i Lemvig under storm.

4.3.2 Terrænregulering og sokkelkote for nybyggerier

Løsningen med betonmuren har den svaghed, at portene skal skydes for, når der varsles stormflod. De nye bygninger som er opført i den østlige side af havnen er hævet for at beskytte mod stormflod, se Figur 4-23. Det er vigtigt at fremtidssikre nye byggerier tæt på kysten ved at hæve terrænet og sokkelkoten. Herved er det muligt gradvist at klimatilpasse lavtliggende områder i takt med den løbende byfornyelse og herved følge med stigningen i havspejlet.



Figur 4-23 Klimatilpasning af nye bygninger på havnen i Bogense.

Løsningen kan udføres, så der ikke er behov for ekstra plads. I nogle tilfælde kan denne løsning udbygges til at danne et dige, når der anlægges en serie af hævede bygninger ved siden af hinanden. I områder med diger skal der sikres afløb af regnvand.

Kommunen bør overveje at tilpasse lokalplanerne således, at niveauplanerne for nye bygninger tager udgangspunkt i en terrænregulering for at reducere oversvømmelsesrisikoen.

4.3.3 Forhøjelse og anlæggelse af diger

Der er flere steder på havnen i Bogense, hvor der er plads til diger. Diger er ofte en billig og effektiv måde at beskytte mod oversvømmelse, men kræver mere plads end løsninger med mure.

Der foreslås, at de eksisterende diger gennemgås for at afdække, om der er behov for at forhøje eksisterende anlæg.

Diger kan tænkes ind i landskabet og der er ofte mulighed for at anlægge stier eller veje langs toppen af digerne. I Bogense er der anlagt en sti langs toppen af diget vest for havnen.

Det eksisterende dige ligger dog bag havnen og beskytter derfor ikke havneområdet og de virksomheder, der ligger her. Specielt i den vestlige del af havnen og ved campingpladsen er der mere åben plads og således mulighed for at introducere diger og forhøje det eksisterende terræn.



Figur 4-24 *Jorddiger til beskyttelse mod oversvømmelse de steder der er lidt mere plads, Bogense.*

4.3.4 Forhøjelse af østlige mole

Der er problemer med bølgeoverskyl ved den østlige mole, som kan medvirke til oversvømmelse af campingpladsen og vejene i området.

Den øverste lodrette del af molen øger bølgeoverskyllet, når bølgerne rammer muren direkte. Det foreslås derfor at forhøje den østlige mole ved at hæve den eksisterende betonmur cirka en meter. Derudover opbygges en stenkastning foran op til toppen af den nye betonmur for at bryde bølgerne. Betonmuren vil reducere den mængde vand, der løber igennem dækstenene foran.

Der bør også ses på mulighederne for at aflede det vand, der under alle omstændigheder skyller hen over molen.

4.4 Løsningsforslag for campingpladsen

4.4.1 Forhøjelse af skråningsbeskyttelse

Der er problemer med oversvømmelse af campingpladsen. En del af problemet kan afhjælpes ved at forhøje den østlige mole som beskrevet i det foregående således, at vandet ikke kan løbe langs den østlige mole ind på området ved campingpladsen.

Der er også problemer med bølgeoverskyl af den eksisterende stenkastning foran campingpladsen ud mod havet. Det foreslås derfor at forhøje den eksisterende stenkastning foran campingpladsen og placere en betonblok bag den forhøjede stenkastning, se Figur 4-25. Stenkastningen vil bryde bølgerne, og betonblokken vil reducere den mængde vand, der ender bag ved stenkastningen og derved kan oversvømme området ved campingpladsen.



Figur 4-25 Lav stenkastning ved campingpladsen.

4.4.2 Opfyldning

Der er på sigt risiko for at de lavtliggende områder ved havnen og campingpladsen oversvømmes som følge af, at vand fra havnen løber bag om området. Der er kun få bygninger på campingpladsens område, men hele havneområdet er i risiko for at

blive oversvømmet. Der kan etableres et dige rundt om de lavtliggende områder ved campingpladsen for at forhindre sådanne oversvømmelser.

På sigt kan man overveje at foretage en mere omfattende opfyldning af hele området ved campingpladsen for at øge værdien af hele området. Det er relevant, hvis området tænkes udlagt til andre formål såsom industri eller boliger. Det gælder også området ved parkeringspladsen i den vestlige del af havnen.



Figur 4-26 Lavtliggende område ved campingpladsen.

Endelig kan man overveje at hæve området ved rundkørslen mellem det høje bakke- og det eksisterende dige mod vest i bunden af havnen for at forhindre potentiel oversvømmelse af baglandet som følge af stormflod. Det kan dog være vanskeligt at passere for trafikken, så et alternativ er mure og porte.

4.5 Oversigt over mulige tiltag for havneområdet

Figur 4-27 giver en oversigt over de mulige tiltag for de lavtliggende områder ved og omkring havnen og campingpladsen.



Figur 4-27 Mulige tiltag for havneområdet.

5 Referencer

- Ref. 1 *DHI (1971) Danmarks Klima. I vind. Standardnormaler 1931-1960.*
- Ref. 2 *Geodatastyrelsen (2015) Den Danske Havne Lods. www.danskehavnelods.dk.*
- Ref. 3 *Kystdirektoratet (2012) Højvandsstatistikker 2012.*
- Ref. 4 *Colding, A (1872) Stormfloden af november 1872*
- Ref. 5 *D. P. Hurdle and R. J. H. Stive (1989) Revision of SPM 1984 Wave Hindcast Model to Avoid Inconsistencies in Engineering Applications. Coastal Engineering*
- Ref. 6 *Komar, Paul D. (1998) Beach processes and sedimentation. Prentice Hall*
- Ref. 7 *Goda, Yoshimi (1985) Random seas and design of maritime structures. University og Tokyo Press*
- Ref. 8 *Danmarks Klimacenter (2014) Fremtidige klimaforandringer i Danmark. Rapport nr. 6 2014*

Bilag A Vandspejl i Bogense Bybæk

Vandspejlsberegningerne er foretaget på grundlag af en opmåling fra 1990. Denne er naturligvis forældet, men det vurderes ikke at have væsentlig betydning til dette formål, som især er at vise, hvor stor vandføringen kan være, før der sker oversvømmelser i byen. Det viste vandspejl ved høje afstrømninger er urealistisk, fordi der ikke er taget hensyn til udbredelsen af vand på terræn, men formålet med beregningen er ikke at vurdere omfanget af oversvømmelser i byen, men udelukkende vandføringsevnen i Bybækken.

Beregningerne viser den begrænsede kapacitet af broer og rør, og at der sker opstuvning på terræn ved en afstrømning over medianmaksimum.

BOGENSE BYBÆK

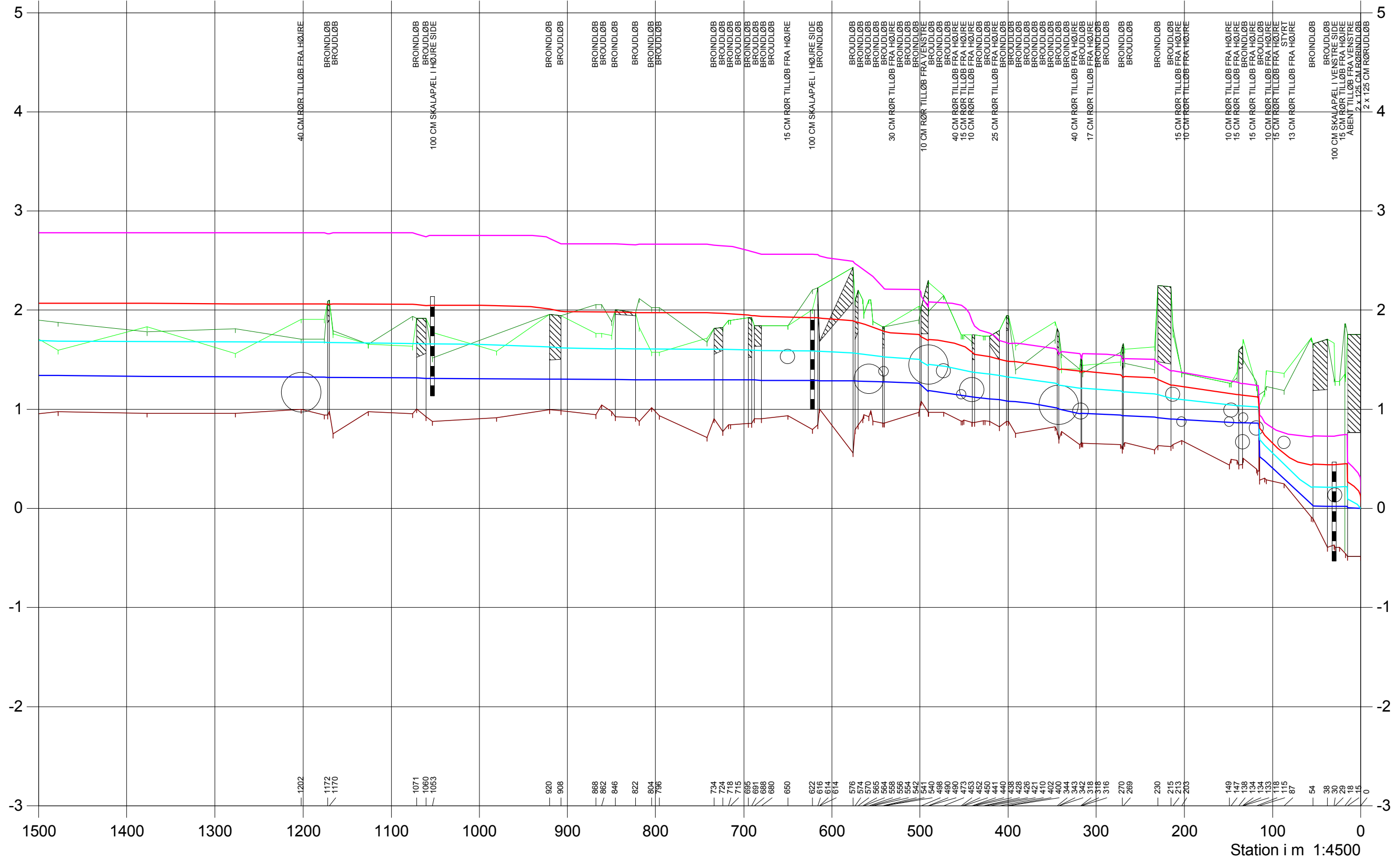
VASP 

Opmålt af Hedeselskabet maj-okt. 1990

COWI

- Medianmaksimum 37 l/s/km², M=25
- normal 10 l/s/km² M=25
- Terræn i venstre side
- Terræn i højre side
- 10-års nu, 63 l/s/km², M=25
- 100-års nu, 100 l/s/km², M=25
- Dybeste punkt i tværprofiliet

Kote i m 1:40



Station i m 1:4500

Bilag B Vandspejl i Kristianslund Østre Enge og Landkanal under nuværende forhold

De to strækninger er kombineret. Stationeringen for Kristianslund Østre Enge er korrekt, men figurens st. 1248 svarer til Landkanalens st. 0.

Det er forudsat, at vandspejlet ved udløb er i kote 0,1 m, dvs. at der ikke sker opstuvning i Ålebækken.

Ved vandføringer over medianmaksimum sker der opstuvning ved broer og overkørsler, og der kan strømme vand på terræn. Vandspejlet er derfor ikke nødvendigvis korrekt ved ekstreme afstrømninger. I julen 2015 var vandspejlet i vandløbets øvre ende (2,15 m) højere end det, der er beregnet for en afstrømning på $100 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$.

Østre samlet

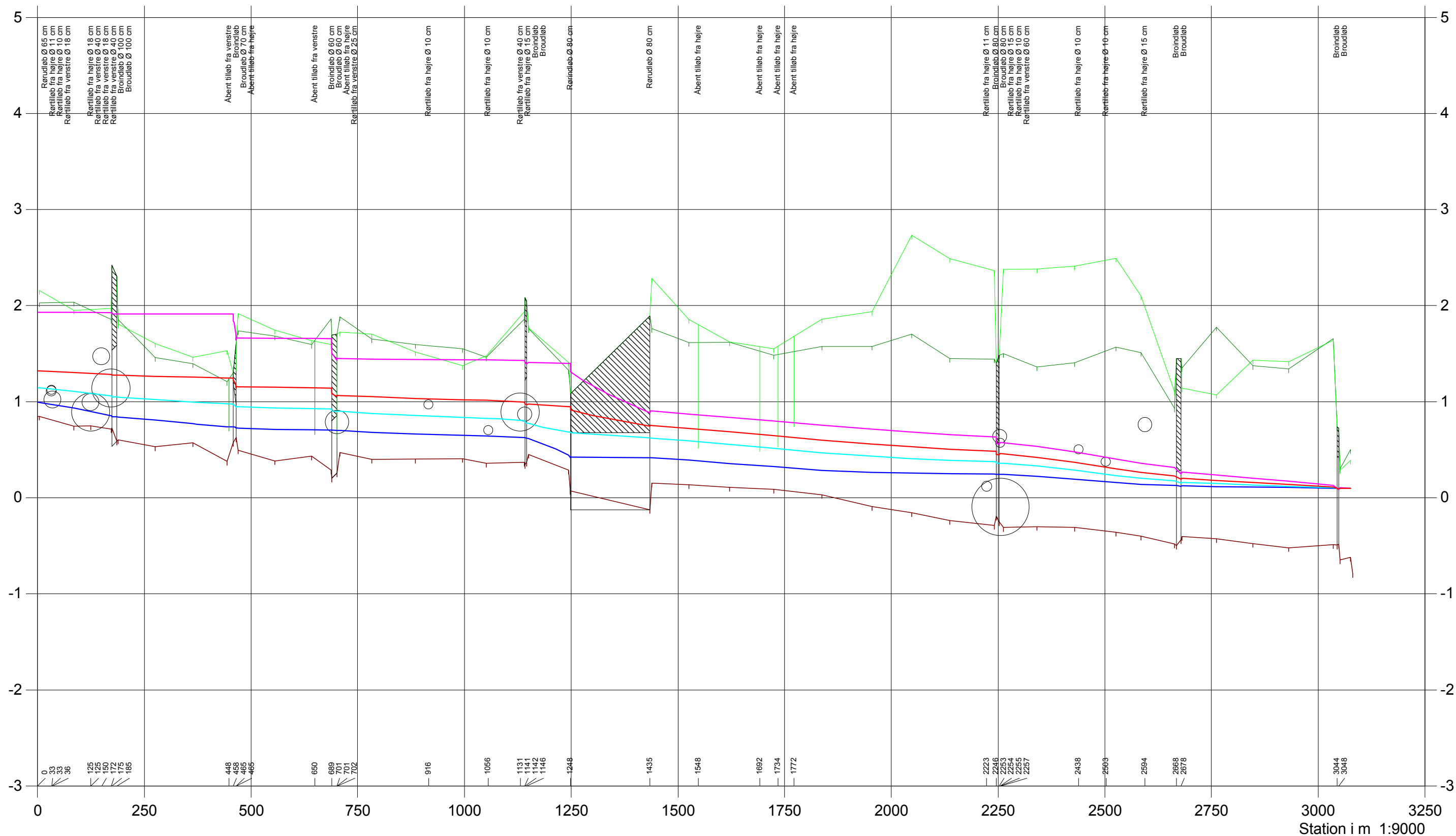
VASP

Opmåling nov. 2014



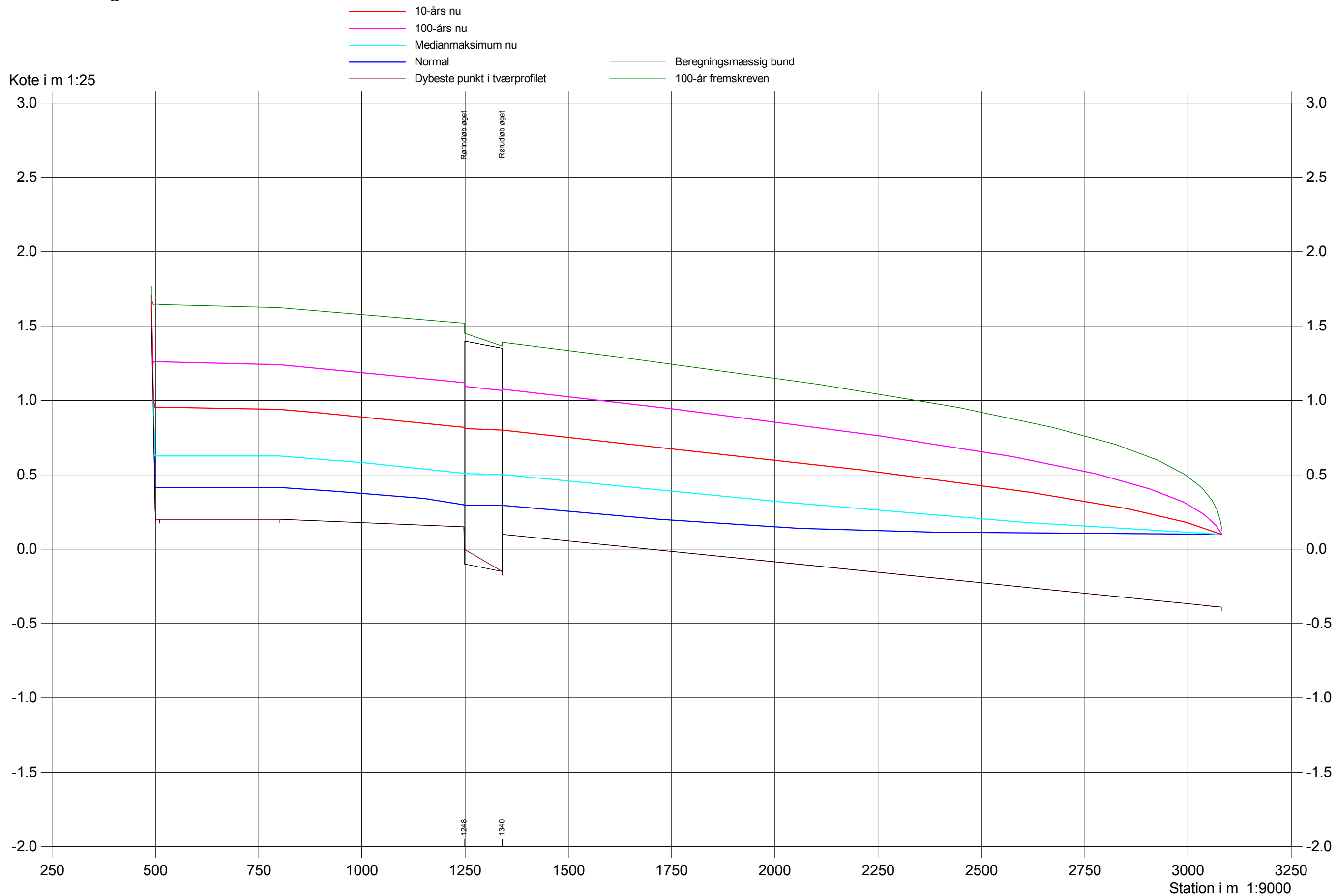
- Medianmaksimum 37 l/s/km² M=25
- Normal 10 l/s/km² M=25
- Terræn i venstre side
- Terræn i højre side
- 10-års nu 63 l/s/km² M=25
- 100-års nu 100 l/s/km² M=25
- Dybeste punkt i tværprofiliet

Kote i m 1:40



Bilag C Vandspejl i projekteret østligt vandløb

På grund af tilførslen af vand fra Bybækken og den ekstreme afstrømning er alle overkørsler og broer for små. De er derfor fjernet i modellen. Der er indlagt et Ø1500 mm rør på en del af den nu rørlagte strækning af Landkanalen. Dette rør giver ca. 20 cm opstuvning ved den mest ekstreme hændelse.



Bilag D Vandføringsevne i Bybækken st. 1525

QH-kurven er beregnet af COWI i 2015 på grundlag af regulativet. Det bemærkes, at de meget høje vandstande ved ekstreme vandføringer ikke vil forekomme i praksis, fordi vandløbet vil strømme over sine bredder.

Bogense Bybæk, St. 1525

