

Nordfyns Kommune

Bogense Diger

Bilag 4

Kapacitet nødvendig til håndtering af vand fra baglandet

Nordfyns Kommune

Bogense Diger

Bilag 4 - Kapacitet nødvendig til håndtering af vand fra baglandet

Kunde	Nordfyns Kommune
Rådgiver	Orbicon wsp Linnés Allé 2 2630 Taastrup
Projektnummer	1311900146
Projektleder	Camilla Merkel
Kvalitetssikret af	Daniel Virgilsen
Godkendt af	Karina Bech
Udgivet	16-04-2020
Version	1

Indholdsfortegnelse

1.	Kapacitet nødvendig til håndtering af vand fra baglandet	5
1.1	Serviceniveau for oversvømmelser fra bagland	6
1.2	Data	7
1.3	Metode	8
1.4	Afstrømningsstatistik	8
1.5	Havvandstand	11
1.6	Udløbspunkter og oplandstørrelser	12
1.7	Eksisterende pumpestationer	14
1.8	Resultater	16
1.8.1	Udløb ved Stegøvej.	16
1.8.2	Udløb ved Vestergade	18
1.8.3	Udløb ved Storkenhøjvej Nord	24
1.8.4	Udløb ved Brydemade	29
1.9	Referencer	30

1. Kapacitet nødvendig til håndtering af vand fra baglandet

Nordfyns Kommune påtænker at etablere et dige til beskyttelse af Bogense by og omkringliggende arealer (se fx Figur 7). I den forbindelse ønskes svar på følgende (fra udbudsmateriale):

Der klarlægges behov for reservoirvolumen/udpumpningskapacitet af vand ved regn igennem længere tid kombineret med en højvandssituation. Det klarlægges desuden, hvad behovet vil være om 50 år med de forventede klimapåvirkninger. Det klarlægges, hvad konsekvenserne er af en kobling af afvandringsudløb fra digelag mod vest til eksisterende udløb og pumpefaciliteter pt og om 50 år med de forventede klimapåvirkninger.

Endvidere ønsker Nordfyns Kommune følgende alternativ for Pumpestationen i Bogense By (Pumpestation Bogense Vesterenge) belyst (fra udbudsmaterialet):

Alternativt kan der etableres en ledning så vand fra pumpehuset kan føres direkte til havet frem for at løftes til Landkanalen hvorfra det løber ved gravitation til Bogense Havn i højvandsklap. Herved opnås også større bassinvolumen når højvandsklappen er lukket.

Længden af de tilgængelige data muliggør ikke en statistisk analyse af sandsynligheden for sammenfald mellem højvande i havet og stor afstrømning fra baglandet. Der er derfor anlagt en konservativ tilgang, hvor det antages at disse to er fuldt korrelerede, således at der er sammenfald mellem disse to situationer; højvande og stor afstrømning.

Det påtænkte dige krydser en række vandløb, der afvander det bagvedliggende opland. De steder, hvor diget krydser eksisterende vandløb, skal der etableres en sluse eller anden anordning (fx rør med kontraklap) der sikrer, at vand fra baglandet kan strømme frit ud når vandstanden i havet er lav, mens vandløbet lukkes, i tilfælde af stormflod således, at vand fra havet ikke forplanter sig op gennem vandløb og ad den vej forårsager skadevoldende oversvømmelser bag diget.

Når lukkemekanismer træder i kraft vil afstrømningen fra baglandet forhindres, og vand fra baglandet vil derfor stuve op bag diget. Det opstuvende vand kan medføre skadevoldende oversvømmelser på bagsiden af diget. For at forhindre dette, skal der enten skabes plads til at vand fra baglandet kan magasineres på en forsvarlig måde, indtil stormfloden er over og vandet af baglandet igen kan strømme ud i havet, eller at der etableres pumpestationer, der kan bortpumpe vand fra baglandet i den takt, det løber til. Endelig kan der etableres en kombination af disse løsninger, hvor noget af vandet fra baglandet pumpes bort, mens det øvrige vand fra baglandet (tilstrømningen minus pumpekapaciteten) midlertidigt magasineres.

Nærværende notat analyserer de to yderpunkter i ovenstående problematik; dvs ENTEN en pumpestation ELLER en magasineringsløsning.

Først og fremmest er det dog vigtigt at erkende, at etablering af dige med tilhørende lukkemekanismer, hvor vandløb krydser diget, ikke vil forøge risikoen for oversvømmelser fra baglandet i forhold til situationen uden dige. Lukkemekanismen aktiveres først i de tilfælde, hvor vandstanden i havet er højere end vandstanden i vandløbet, der afvander baglandet. I sådanne tilfælde vil der uden et dige strømme vand fra havet og op i vandløbet, således at vandstanden i

havet vil være den samme som vandstanden i den nederste del af vandløbet. Efter etablering af dige med lukkemekanisme forhindres dette tilbageløb således, at vandstanden i havet er højere, end vandstanden i vandløbet. Hvis stormfloden varer længe, og afstrømningen fra baglandet er stor, vil afstrømningen fra baglandet stuve op på bagsiden af diget, men kun indtil vandstanden bag diget er lige så stor som vandstanden i havet, hvorefter lukke mekanismen vil åbne. I dette tilfælde vil vandstanden i havet og i vandløbet være tilnærmelsesvis den samme – akkurat som inden etablering af diget.

Endelig skal det nævnes, at nærværende analyse udelukkende tager hensyn til det vand, der tilstrømmer fra baglandet. Hvis der således etableres en afdræningsgrøft landværts for diget, der opsamler en eventuel gennemsvivning under diget, skal det vand, der gemmemstrømmer adderes til nærværende analyses resultater.

1.1 Serviceniveau for oversvømmelser fra bagland

Nordfyns Kommune har pt ikke besluttet et serviceniveau for oversvømmelse fra baglandet. Ved serviceniveau forstås en gentagelsesperiode for, hvor ofte oversvømmelser accepteres, og derved til hvilken gentagelsesperiode løsninger skal dimensioneres – og måske derfor snarere omtalt som designniveau end egentligt serviceniveau. Der er ikke klare regler for fastlæggelse af serviceniveau for vandløb, og traditionelt er vandløb vedligeholdt i forhold til regulativmæssige skikkelser, der blot angiver et minimum tværsnitsareal og bundkote, men ikke beskriver gentagelsesperiode i forhold til vandføring, som disse regulativmæssige skikkelser kan føre inden for brinken.

Fastsættelse af serviceniveau er – efter Orbicons opfattelse – en politisk beslutning, der eventuelt kan træffes på baggrund af samfundsøkonomiske betragtninger, hvor eksempelvis skaderne ved oversvømmelser afvejes i forhold til, hvad løsningstiltag koster at implementere og drifte. Med sådanne Cost-Benefit analyser kan det sikres, at der er proportionalitet mellem løsningernes pris, og den glæde samfundet har af løsningerne.

Naturlige vandløb er "selvdimensionerende" i den forstand, at vandløbet antager en størrelse, der er i stand til at føre de fleste vandføringer inden for brinkerne. Empiriske studier har vist, at den "formative discharge" tilnærmelsesvis antager $T=2$ (ca svarende til en vinter median maks). Således vil et naturligt vandløb over tid antage en skikkelse, der netop kan rumme en to-års hændelse inden for brinkerne. Er vandløbet større end dette, er det ikke i stand til at føre sediment videre, og der vil derfor aflejres sediment i vandløbet, hvorved vandføringsevnen formindskes. Er det naturlige vandløb mindre, således at der ikke kan føre en to-års hændelse inden for brinkerne, vil der forekomme erosion, hvorved vandføringsevnen forøges. Der KAN derfor argumenteres for, at vandløb i det åbne land højst må gå over sine brinker én gang hvert andet år, og at serviceniveauet for vandløb i det åbne land som minimum bør være $T=2$.

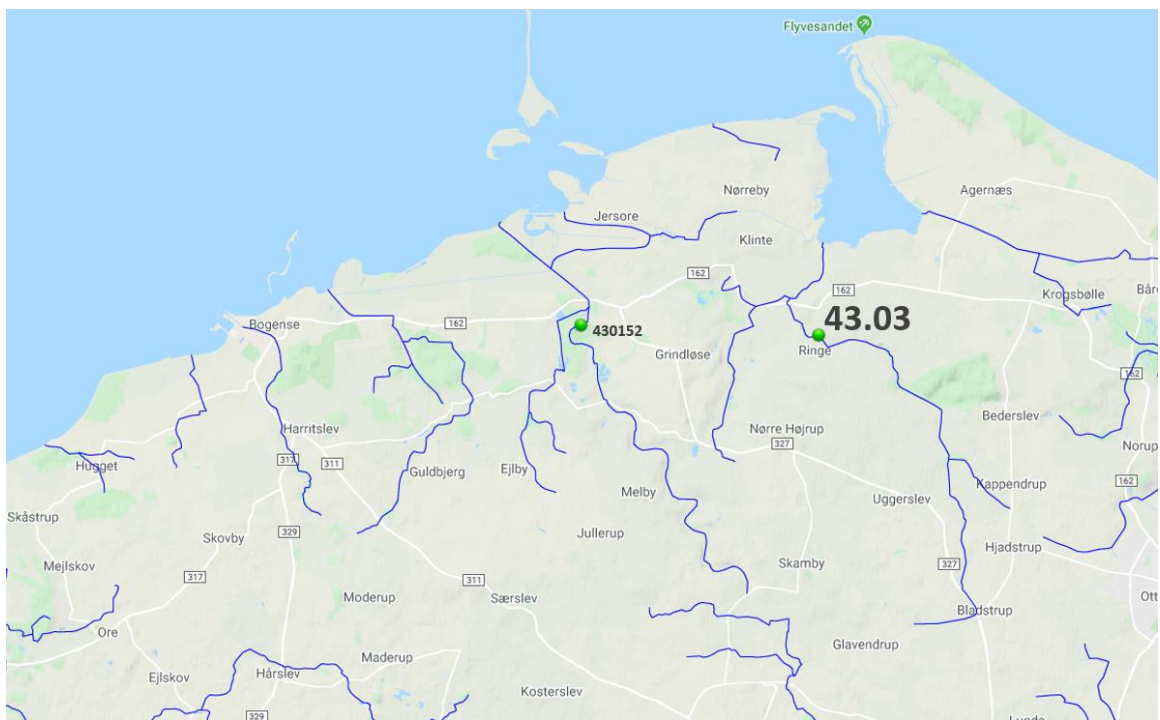
Når vandløb strømmer gennem byer, er de ofte regulerede – som det også er tilfældet gennem Bogense By. Det urbane afvandingssystem (regnvandskloakken) er ofte dimensioneret i henhold til Spildevandskomiteens Skrift 27, der angiver, at minimumsfunktionskravet til forsyningens anlæg bør være $T=5$. Således accepteres det i separatkloakerede systemer, at der i gennemsnit én gang per 5. år er oversvømmelser fra byens afvandingssystem. Der KAN derfor argumenteres for, at dette minimumskrav ligeledes skal gælde for vandløb, der løber gennem byer, og at serviceniveauet for vandløb i byer derfor som minimum bør være $T=5$.

Ovenstående gennemgang skal suppleres med, at Spildevandskomiteens Skrift 31 opfordrer kommuner og forsyninger til at foretage en samfundsøkonomisk optimering i forhold til forsyningens anlæg, hvor det undersøges, om der er gevinst ved også at fastsætte et serviceniveau for skybrud (dvs regnhændelser større end T=5).

I og med at der ikke er fastlagt et serviceniveau for vandløbssystemet i og omkring Bogense belyser nærværende notat dimensioneringen af løsninger ved flere forskellige gentagelsesperioder. Dette kan støtte kommunen i valg af serviceniveau.

1.2 Data

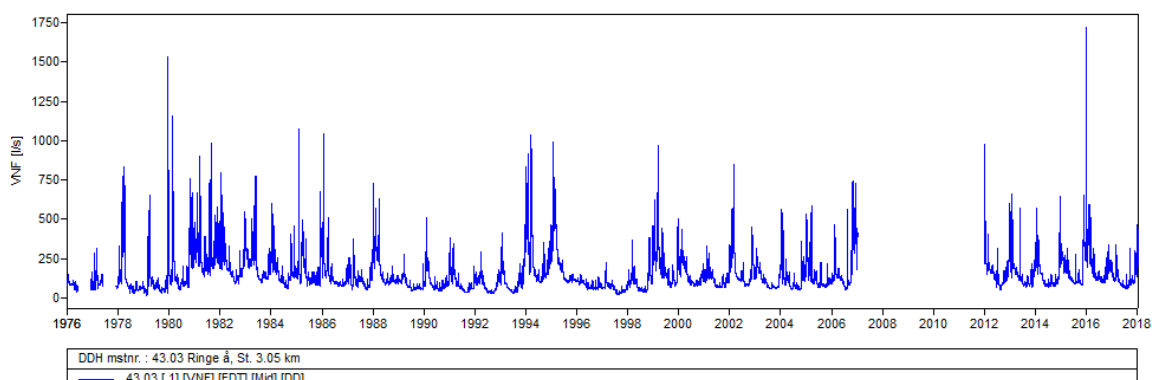
Der findes, Orbicon bekendt, ikke målestationer i de vandløb der fremover vil krydses af det påtænkte dige. Til udarbejdelse af afstrømningsstatistik for baglandet anvendes i stedet data fra Målestation 43.03 Ringe Å.



Figur 1. Placering af Målestation 43.03 Ringe Å. På figuren er ligeledes vist placeringen af Målestation 430152, der kun indeholder data for et år og derfor ikke kan anvendes til udarbejdelse af afstrømningsstatistik.

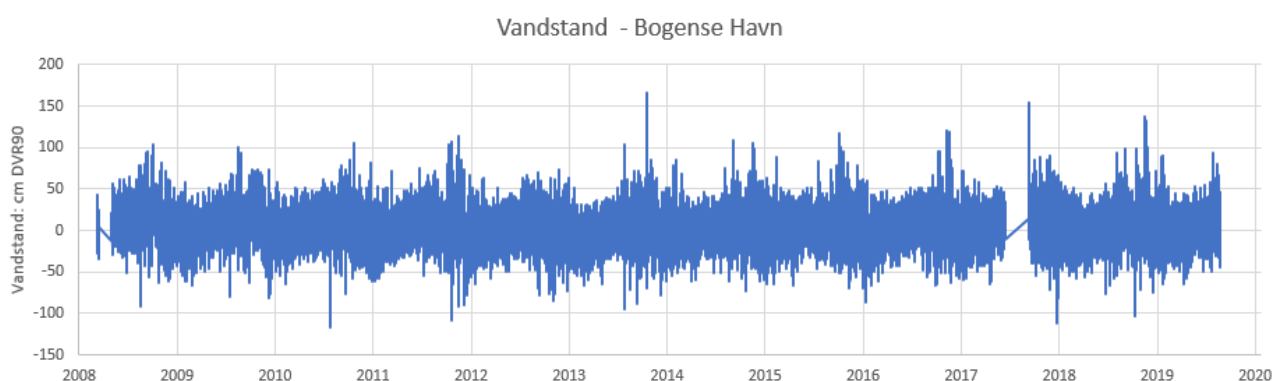
Målestation 43.03 befinder sig i et naboopland til Bogense ca. 10 km fra Bogense By, og har et opland der størrelsesmæssigt (28,2 km²) og jordbundtypemæssigt (vurderet pba jordartskort i SCALGO LIVE: 74% ler, 13% sand+grus, 13% øvrigt) er sammenligneligt med de vandløb, der analyseres i nærværende notat (opland op til ca. 26 km² (Tabel 3), 66% ler, 25% sand+grus, 9% øvrigt).

Orbicon er via HYMER databasen i besiddelse af vandføringsdata for målestation 43.03 i perioden 1976 til 2018 – dog med et hul i tidsserien på ca. 5 år fra 2007 til 2012 (Figur 2).



Figur 2. Vandføring ved Målestation 43.03 Ringe Å.

Med hensyn til vandstanden i havet er der nedtaget data fra vandstandsmåleren i Bogense Havn (Figur 3). Vandstandsdata er tilgængelige i perioden april 2004 til Oktober 2019, dog med "huller" i serien, således at der netto forefindes 11,2 års data. De nedhentede data er ikke kvalitetssikrede, så outliers er undersøgt i forhold til vandstandsdata for den nærliggende station i Fredericia. Outliers er typisk værdier, der inden for 10 minutter svinger flere meter, og antages at skyldes instrumentfejl. Således er outliers, der kun findes i dataserien for Bogense (og ikke for Fredericia), fjernet fra den i Figur 3 viste tidsserie.



Figur 3. Vandstand i Bogense Havn (cm DVR90)

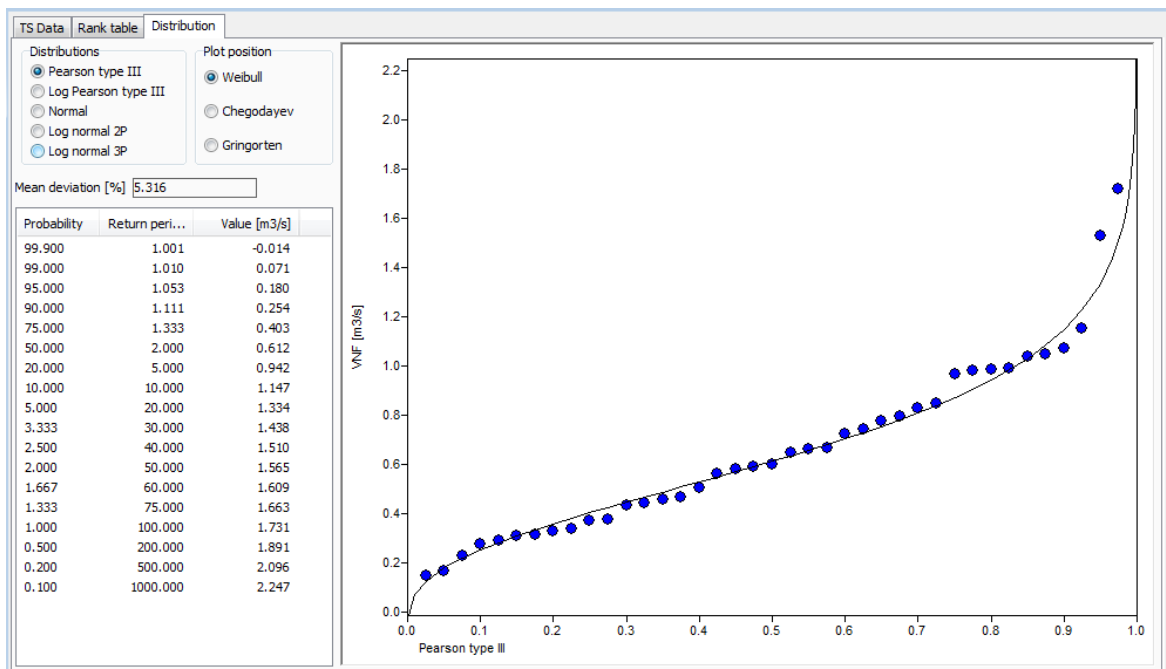
1.3 Metode

Til belysning af afstrømning fra baglandet er der foretaget ekstremværdi analyse af data vist i Figur 2 ovenfor.

Til belysning af varighed af højvander er der foretaget tidsserieanalyse af data vist i Figur 3 ovenfor.

1.4 Afstrømningsstatistik

Afstrømningsstatistikken er foretaget i Orbicons HYMER software ved en Pearson Type III ekstremværdifordeling (Figur 4). Fordelingen passer forholdsvist godt, idet de målte punkter (blå prikker) ligger på, eller i nærheden af, den teoretiske fordeling vist med den sorte linje. Ekstremværdi analysen viser f.eks, at der ved en gentagelsesperiode på 10 år (Return period 10.000) løber 1,147 m³/s ved målestationen.



Figur 4. Ekstremværdifordeling bestemt for vandføringer målt ved målestation 43.03 Ringe Å, bestemt ved Pearson Type III.

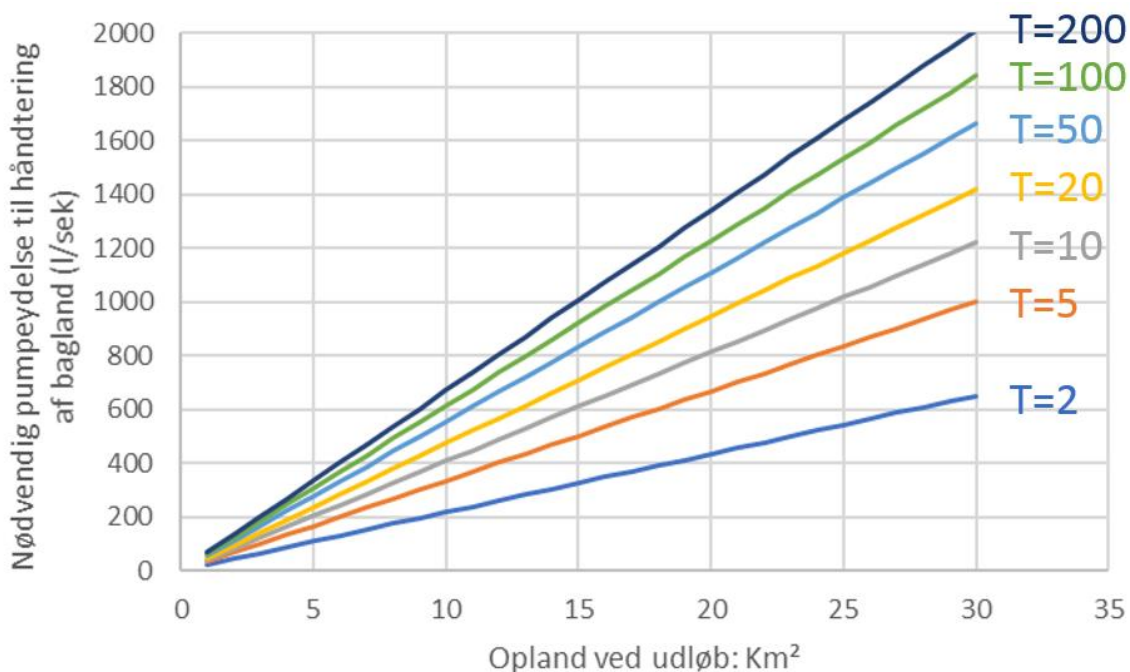
Vandføringerne i Figur 4 er normaliseret til oplandsstørrelsen på 28,2 km² ved Målestation 43.03 og multipliceret med 1000 l/m³ således at det beregnes, hvad afstrømningen i l/s/km² er ved forskellige gentagelsesperioder (Tabel 1). F.eks. vil der statistisk set én gang per 10. år løbe 40,7 l/s/km² ved Målestation 43.03 Ringe Å.

Tabellen indeholder ligeledes Klimafaktorer (*median klimamodel*) beregnet af Geus i /1/ for målestation 43.03 Ringe Å. Klimafaktorerne er beregnet som forskellen mellem vandføringer i normalperioden 1961-1990 og den fremtidige normalperiode 2021-2050, og antages derfor at repræsentere den udvikling i vandføringer ved forskellige gentagelsesperioder, som de forventede klimaændringer vil medføre over en ca. 50 årig periode. Det fremgår af tabellen, af klimaændringer forventes at medføre en forøgelse af afstrømningen ved alle gentagelsesperioder, i størrelsesordenen 3-6%.

Tabel 1. Afstrømning (l/s/km²) ved forskellige gentagelsesperioder i dag (år), beregnet for Målestation 43.03 Ringe Å, klimafaktorer fra /1/ (værdier med lysegrå kursiv er Orbicons estimater, da der ikke er angivet faktorer for disse gentagelsesperioder i /1/), samt forventet afstrømning om 50 år

Gentagelsesperiode (T, År)	Afstrømning (i dag) (l/s/km ²)	Klimafaktor (/1/)	Afstrømning (om 50 år) (l/s/km ²)
2	21,7	1,06	23,0
5	33,4	1,06	35,4
10	40,7	1,05	42,7
20	47,3	1,04	49,2
30	51,0	1,04	53,0
40	53,5	1,03	55,2
50	55,5	1,03	57,2
60	57,1	1,03	58,8
75	59,0	1,03	60,7
100	61,4	1,03	63,2

På baggrund af afstrømningsstatistikken i er det i Figur 5 vist, hvilke pumpeydelse, der i dag er nødvendige for netop at kunne håndtere tilstrømningen fra baglandet ved forskellige gentagelsesperioder, som funktion af oplandsstørrelsen.



Figur 5. Nødvendig pumpeydelse til håndtering af bagvand ved forskellige gentagelsesperioder (i dag), som funktion af oplandsstørrelse.

1.5 Havvandstand

Tidsserien for vandstand i Bogense Havn er statistisk bearbejdet ved at tælle dels antallet af hændelser over et vist niveau (afskæringsniveau), og dels at beregne, hvor lang tid disse hændelser gennemsnitligt varer, og hvor lang tid den længste hændelse over afskæringsniveauet er (Tabel 2). Hændelser er i denne sammenhæng simpelt defineret som successive registreringer over afskæringsniveauet.

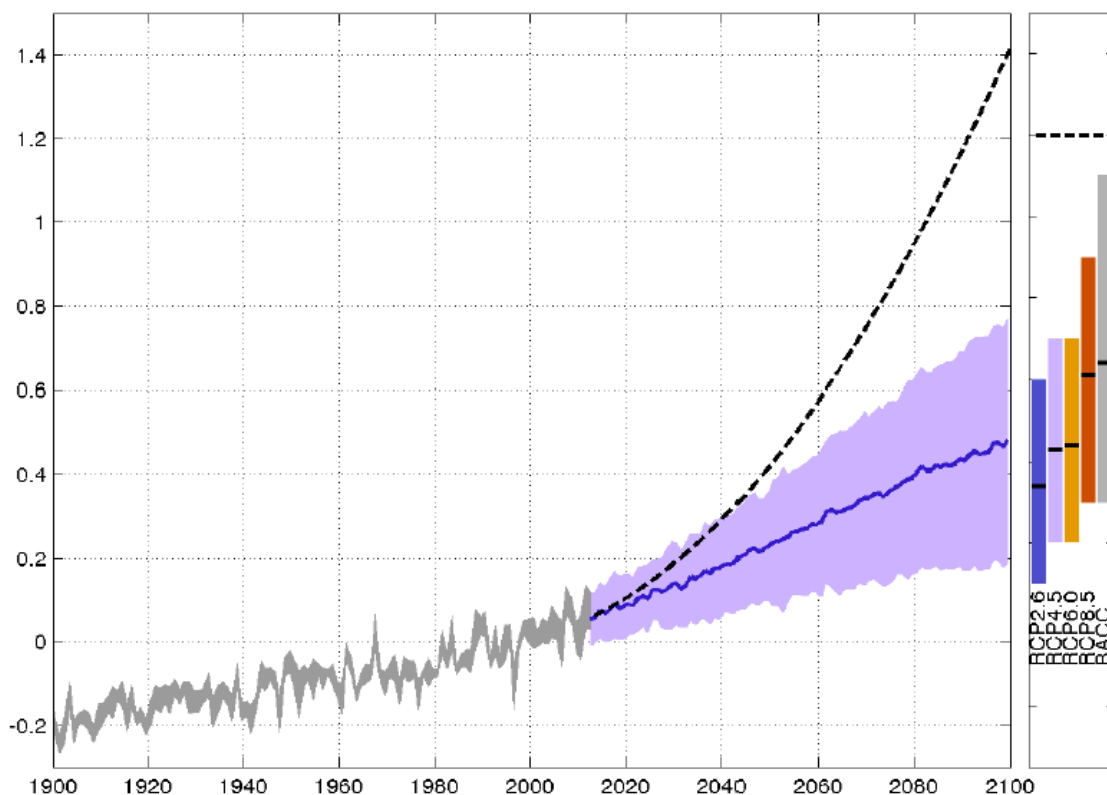
F.eks viser Tabel 2, at der på de 11,2 års data vist i Figur 3 er i alt 5031 hændelser, hvor vandstanden er større end 20 cm. Dette svarer til 448 hændelser per år, og er formentlig relateret til tidevand. Den gennemsnitlige varighed af disse hændelser er 4,3 timer, mens der gennem de 11,2 års registreringer af vandstand er en hændelse, hvor vandstanden konsekvent var større end 20 cm gennem 73,8 timer, svarende til godt 3 døgn. Den største hændelse gennem de 11,2 år forekom 06/12 -2013 (se Figur 3). Her nåede vandstande op på 167 cm DVR90. Det fremgår af Tabel 2 at der netop er en hændelse i løbet af de 11,2 år, hvor vandstanden var større end 160 cm, og at vandstanden var større end 160 cm i 2,5 time.

Tabel 2. Hændelsesstatistik for vandstand i Bogense havn vist i Figur 3 ovenfor.

Afskæring (cm DVR90)	Antal hændelser total	Antal hændelser per år	Middelvarighed af hændelser hvor vandstand > afskæringsniveau (timer)	Maks varighed af hændelse hvor vandstand er > afskæringsniveau (timer)
20	5031	448	4,3	73,8
30	3035	271	3,7	58,8
40	1466	130	3,5	40,8
50	650	58	3,6	31,3
60	295	26	3,7	22,8
70	153	14	3,4	21,5
80	74	7	4,2	20,7
90	57	5	2,9	19,7
100	24	2,1	3,7	18,8
110	10	0,9	5,8	18,3
120	5	0,4	7,4	17,2
130	7	0,6	3,5	10,5
140	6	0,5	2,5	8,7
150	2	0,2	4,3	7,2
160	1	0,1	2,5	2,5
170	0	0	NA	NA

Det forventes, at klimaændringer vil medføre en havspejlsstigning. I /2/ er den forventede havspejlsstigning i havene omkring Danmark vist (Figur 6). Af figuren fremgår det, at det om 50 år (dvs år 2070) kan forventes, at havet vil stige ca. 30 cm. Dette estimat kan anvende til at beregne

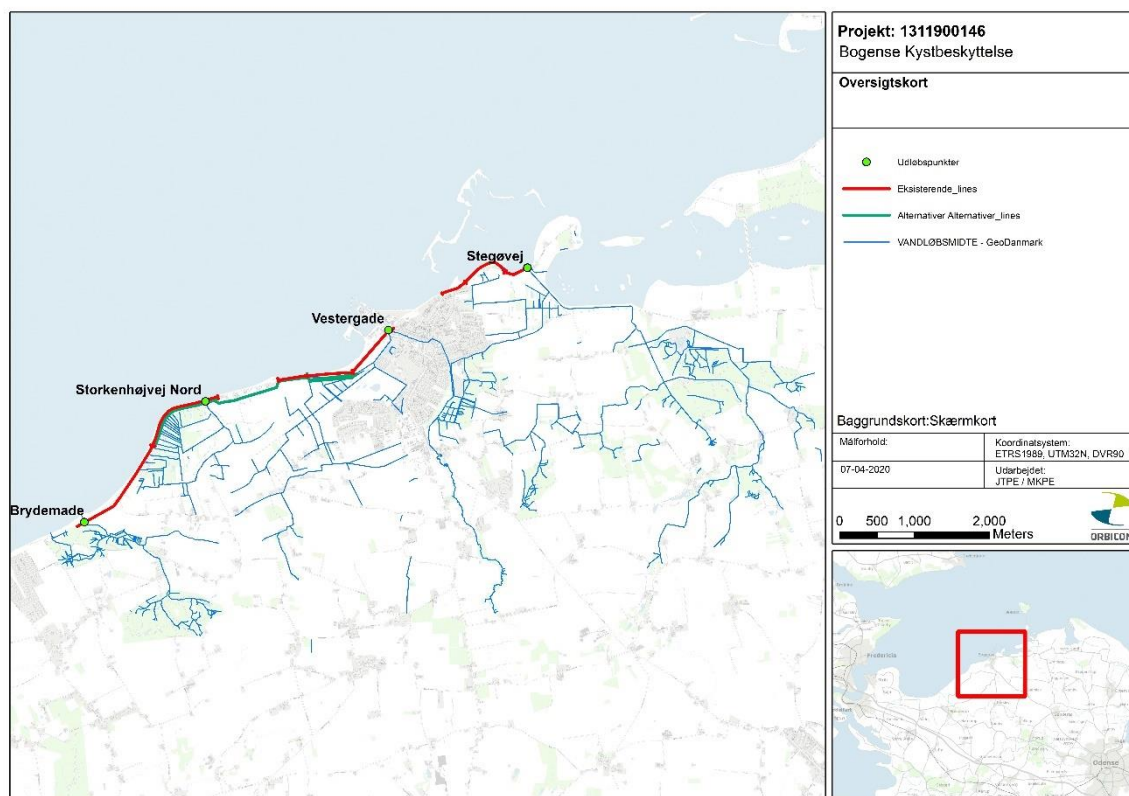
hændelsesstatistikken i Tabel 2 om 50 år, ved simpel parallelforskydning. Således vil frekvensen af vandstande over 20 cm om 50 år svare til det, der i Tabel 2 er vist ud for afskæringsniveauet 50 cm. Således forventes det om 50 år, at der årligt vil være 448 hændelser, hvor vandstanden overstiger 50 cm DRV90.



Figur 6. Middel vandstand i danske havne 1900-2100. Grå linje = observerede vandstande. Blå streg = IPCCs bedste estimat for 2112-2100 (RPC4.5 Scenariet). Lilla område = usikkerhed. Sort stiplede linje= DMIs øvre estimat (worst case). Kilde: /2/.

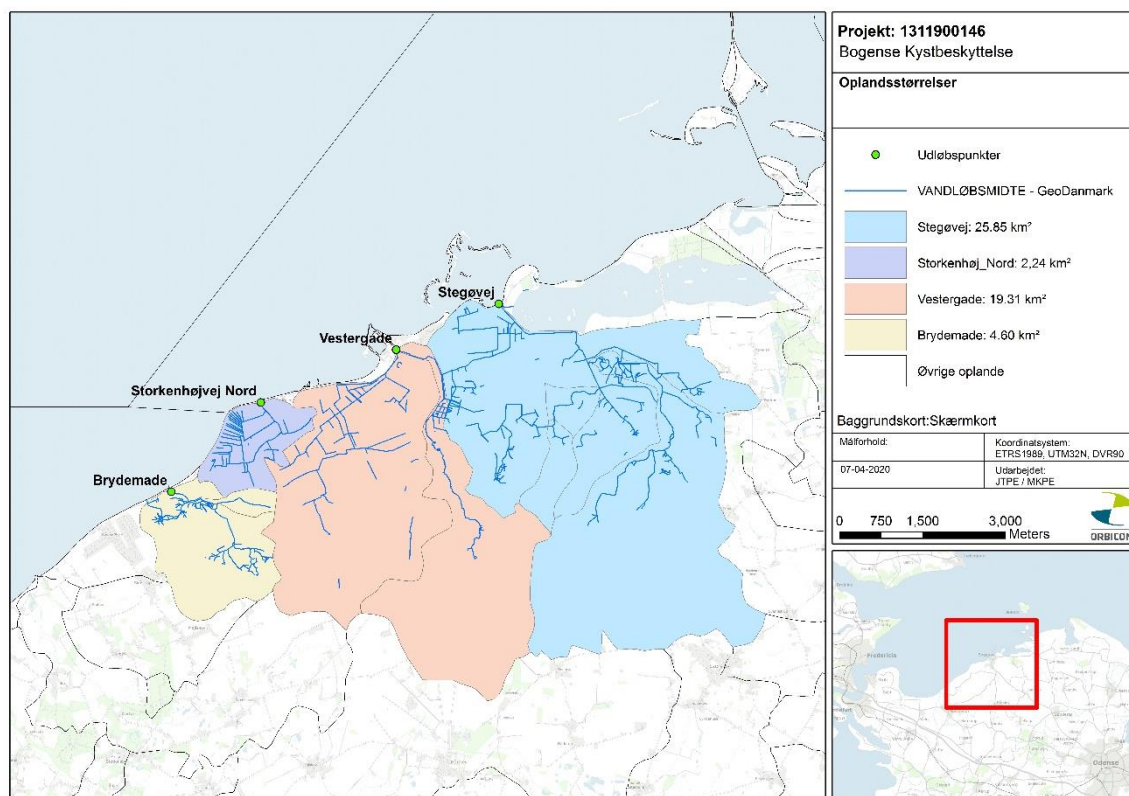
1.6 Udløbspunkter og oplandstørrelser

Med udgangspunkt i GeoDanmark data for vandløbsmidter, flybilledeanalyse og opmålinger af dele af vandløbssystemet, som Orbicon huser i VASP, er der identificeret fire udløbspunkter, hvor baglandet afvander gennem eksisterende og/eller fremtidige diger (Figur 7).



Figur 7. Udløbspunkter, hvor baglandet afvander gennem nuværende eller fremtidigt dige.

På baggrund af Orbicons vandskelsdatabase, topografiske analyser af højdemodellen samt opmålinger af dele af vandløbssystemet, som Orbicon huser i VASP, er der foretaget en oplandsafgrænsning til de fire udløbspunkter (Figur 8).



Figur 8. Oplandsafgrænsning til de fire udløbspunkter.

Det skal bemærkes, at afvandingen af baglandet er kompliceret, og at specielt afgrænsningen mellem oplandet til Vestergade og til Stegøvej er forbundet med nogen usikkerhed.

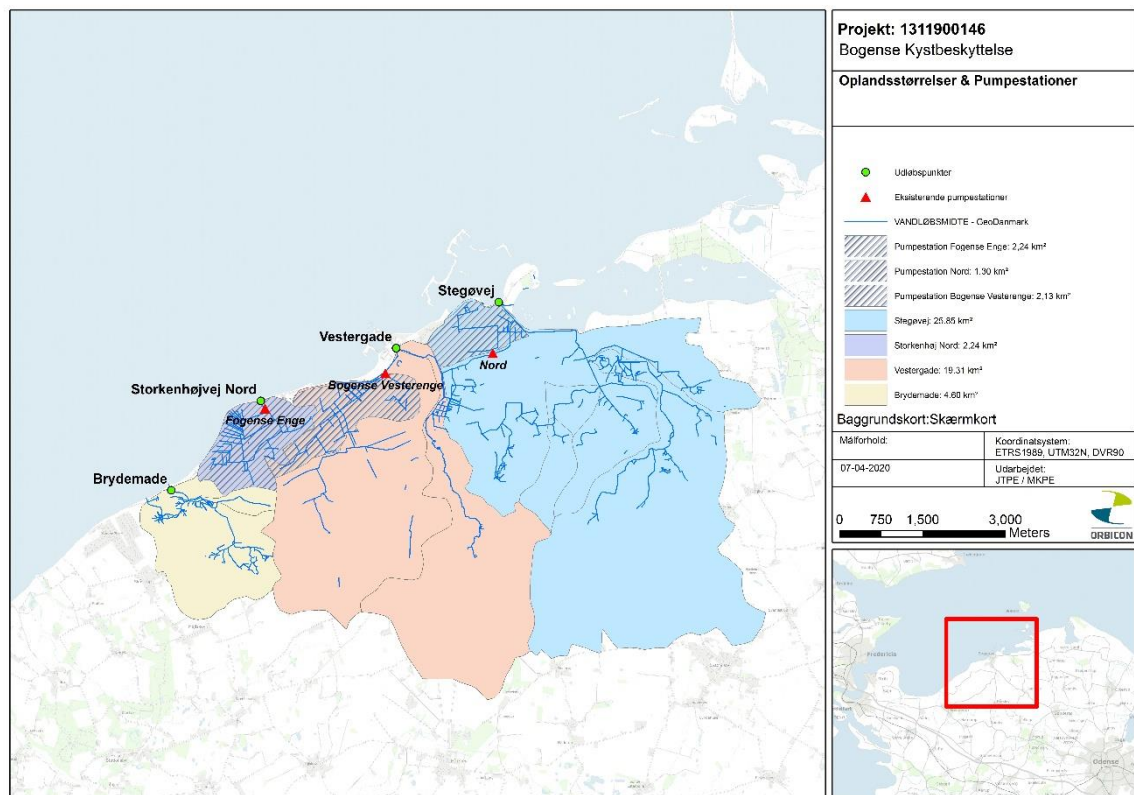
I Tabel 3 er oplandsstørrelser til de fire udløb angivet.

Tabel 3. Oplandsstørrelser til udløbspunkter.

Udløbspunkt (fra nordøst mod sydvest)	Oplandsstørrelse (km ²)
Stegøvej	25,85
Vestergade	19,31
Storkenhøjvej Nord	2,24
Brydemade	4,60
<i>Total opland</i>	<i>52,00</i>

1.7 Eksisterende pumpestationer

På baggrund af opmålinger af vandløb, som Orbicon huser i VASP, fremsendte ældre "Kort til vedtægt for Landvindings- og digelag", samt flybilledeanalyse og besigtigelser i felten er der identificeret 3 eksisterende pumpestationer. Ved topografisk analyse samt placering af vandløb er det estimeret, hvilket opland pumpestationerne afdræner (Figur 9).



Figur 9. Placering af pumpestationer, samt opgørelse af areal som pumpestationer afdræner.

I Tabel 4 er oplandsstørrelser til de tre pumpestationer opsummeret. Ligeledes er vist, hvor stor en andel af det samlede opland til de fire udløbspunkter, der afvandes gennem pumpestationer – bortset fra det sydligste udløbspunkt (Brydemade), der Orbicon bekendt ikke afvander gennem en pumpestation.

Tabel 4. Oplandsstørrelser til pumpestationer. I parentes er angivet, hvor stor en procentdel af de samlede oplande ved udløbspunkterne, der er afvandet via pumpestationer.

Pumpestation	Oplandsstørrelse (km ²)
Nord	1,30 (5,0%)
Bogense Vesterenge	2,13 (11,0%)
Fogense Enge	2,24 (knap 100%)
<i>Total pumpet opland</i>	<i>6,61 (13,2%)</i>

Det fremgår, at pumpestationerne Nord og Bogense Vesterenge afvander en lille del (hhv 5 og 11%) af det samlede opland, mens pumpestationen ved Fogense Enge afvander så godt som hele oplandet bortset fra det vandløbsstykke, der findes mellem pumpestationen og diget. For at kunne afvande det samlede opland sikkert ved højvandssituationer anbefales det derfor, at etablere pumpestationer og/eller forsinkelsesvolumener ved udløbspunkterne, således af hele baglandet kan afvandes sikkert i højvandssituationer

1.8 Resultater

1.8.1 Udløb ved Stegøvej.

Eksisterende pumpestation.

Tabel 5 angiver de nødvendige pumpeydelse, der er nødvendige for at afvande de 1,30 km² lavtliggende område, som pumpestationen afdræner, i dag og om 50 år.

Tabel 5. Nødvendige pumpeydelse ved Pumpestation Nord, for at afvande baglandet til forskellige gentagelsesperioder, i dag og om 50 år.

Gentagelsesperiode (år)	Pumpeydelse i dag (l/sek)	Pumpeydelse om 50 år (l/sek)
2	28	30
5	43	46
10	53	56
20	61	64
30	66	69
40	70	72
50	72	74
60	74	76
75	77	79
100	80	82

Pumpeløsning ved udløbspunkt Stegøvej

Hvis området opstrøms for udløbspunktet ved Stegøvej modtager meget vand fra baglandet i højvandssituationer, hvor sluseporten er lukket, vil det afstrømmende vand fra baglandet samles bag diget. Tabel 6 angiver pumpeydelse ved en eventuel fremtidig pumpestation på dette sted. Pumpestationen skal etableres, så den pumper vandet fra baglandet over diget og ud i havet.

Tabel 6. Nødvendige pumpeydelse ved en eventuel fremtidig pumpestation ved udløbspunktet Stegøvej, for at afvande baglandet til forskellige gentagelsesperioder, i dag og om 50 år.

Gentagelsesperiode (år)	pumpeydelse i dag (l/sek)	Pumpeydelse om 50 år (l/sek)
2	561	595
5	864	915
10	1051	1104
20	1223	1272
30	1318	1371
40	1384	1426
50	1435	1478
60	1475	1519
75	1524	1570
100	1587	1634

Magasineringsløsning

Såfremt det ikke vælges at etablere en pumpestation ved udløbet ved Stegøvej skal vandet fra baglandet magasineres under højvande, indtil vandstanden i havet falder til et niveau, hvor sluseporten åbner og vandet kan strømme til havet ved gravitation. I Figur 10 er det vist, at der allerede ved en vandstand på 0,2 m DVR90 vil være oversvømmelser fra vandløb, der afvander gennem udløbspunktet ved Stegøvej.



Figur 10. Udbredelse af vand ved en vandstand på 0,2 m DVR90 i vandløbssystemet, der afvander gennem udløbspunktet ved Stegøvej. Baseret på Danmarks Digitale Højdemodel fra 2015 i 40 cm opløsning.

Det fremgår af Tabel 2, at sådanne vandstande på 0,2 m DVR90 i havet forekommer dagligt (448 gange per år), og at den gennemsnitlige varighed af sådanne hændelser er 4,3 timer.

Hvis vandet fra baglandet skal magasineres, kan det nødvendige magasineringsvolumen til forskellige gentagelsesperioder findes som tilstrømningen ved gentagelsesperioden multipliceres med den gennemsnitlige varighed af hændelser over 20 cm i havet. Dette er vist i Tabel 7. Endvidere er vist et "worst case scenarie" vist, hvor magasineringsvolumenet er beregnet ved sammenfald af stor afstrømning fra baglandet og den maksimale varighed af højvande over 20 cm DVR90 på 73,8 timer (jf Tabel 2).

Tabel 7. Nødvendigt magasineringsvolumen (i dag) opstrøms for udløbspunkt ved Stegøvej ved sikring til forskellige gentagelsesperioder, baseret på middelvarigheden af hændelser over 20 cm DVR90 i havet, samt "worst case", baseret på varigheden af den længste hændelse over 20 cm DVR90 gennem de sidste 11,2 år i Bogense Havn.

Gentagelsesperiode (år)	Nødvendigt magasineringsvolumen (gennemsnit - m ³)	Nødvendigt magasineringsvolumen (maks- m ³)
2	8.684	149.046
5	13.367	229.415
10	16.276	279.340
20	18.929	324.882
30	20.405	350.211
40	21.427	367.745
50	22.207	381.140
60	22.832	391.856
75	23.598	405.007
100	24.563	421.568

Det understreges, at magasineringsvolumenet skal findes under kote 0,2 m DVR90.

Med en forventet estimeret havspejlsstigning på 30 cm over de næste 50 år er en magasineringsløsning ikke mulig, da dele af baglandet i så fald vil være permanent vanddækket, jv Figur 10.

1.8.2 Udløb ved Vestergade

Eksisterende pumpestation Bogense Vesterenge.

Tabel 8 angiver de nødvendige pumpeydelse, der er nødvendige for at afvande de 2,13 km² lavtliggende område, som pumpestationen afdræner, i dag og om 50 år.

Tabel 8. Nødvendige pumpeydelse ved Pumpestation Bogense Vesterenge, for at afvande baglandet til forskellige gentagelsesperioder, i dag og om 50 år.

Gentagelsesperiode (år)	pumpeydelse i dag (l/sek)	Pumpeydelse om 50 år (l/sek)
2	46	49
5	71	75
10	87	91
20	101	105
30	109	113
40	114	117
50	118	122
60	122	125
75	126	129
100	131	135

Pumpeløsning ved udløbspunkt Vestergade

Hvis området opstrøms for udløbspunktet ved Vestergade modtager meget vand fra baglandet i højvandssituationer, hvor sluseporten er lukket, vil det afstrømmende vand fra baglandet samles bag diget. Tabel 9 angiver pumpeydelse ved en eventuel fremtidig pumpestation på dette sted. Pumpestationen skal etableres, så den pumper vandet fra baglandet over diget og ud i havet.

Tabel 9. Nødvendige pumpeydelse ved en eventuel fremtidig pumpestation ved udløbspunktet Vestergade, for at afvande baglandet til forskellige gentagelsesperioder, i dag og om 50 år.

Gentagelsesperiode (år)	pumpeydelse i dag (l/sek)	Pumpeydelse om 50 år (l/sek)
2	419	444
5	645	684
10	785	825
20	913	950
30	985	1024
40	1034	1065
50	1072	1104
60	1102	1135
75	1139	1173
100	1185	1221

Magasineringsløsning

Såfremt det ikke vælges at etablere en pumpestation ved udløbet ved Vestergade skal vandet fra baglandet magasineres under højvande, indtil vandstanden i havet falder til et niveau, hvor sluseporten åbner og vandet kan strømme til havet ved gravitation. I Figur 11 er det vist, at der ved en vandstand på 0,80 m DVR90 vil være oversvømmelser fra vandløb, der afvander gennem Bogense by til udløbspunktet ved Vestergade.



Figur 11. Udbredelse af vand ved en vandstand på 0,80 m DVR90 i vandløbssystemet, der afvander gennem udløbspunktet ved Vestergade. Baseret på Danmarks Digitale Højdemodel fra 2015 i 40 cm opløsning.

Det fremgår af Tabel 2, at sådanne vandstande på 0,80 m DVR90 i havet forekommer omkring 7 gange årligt, og at den gennemsnitlige varighed af sådanne hændelser er 4,2 timer.

Hvis vandet fra baglandet skal magasineres, kan det nødvendige magasineringsvolumen til forskellige gentagelsesperioder findes som tilstrømningen ved gentagelsesperioden multipliceres med den gennemsnitlige varighed af hændelser over 80 cm i havet. Dette er vist i Tabel 10. Endvidere er vist et "worst case scenarie" vist, hvor magasineringsvolumenet er beregnet ved sammenfald af stor afstrømning fra baglandet og den maksimale varighed af højvande over 80 cm DVR90 på 20,7 timer (jf Tabel 2).

Tabel 10. Nødvendigt magasineringsvolumen (i dag) opstrøms for udløbspunkt ved Vestergade ved sikring til forskellige gentagelsesperioder, baseret på middelfarigheden af hændelser over 80 cm DVR90 i havet, samt "worst case", baseret på varigheden af den længste hændelse over 80 cm DVR90 gennem de sidste 11,2 år i Bogense Havn.

Gentagelsesperiode (år)	Nødvendigt magasineringsvolumen (gennemsnit - m ³)	Nødvendigt magasineringsvolumen (maks- m ³)
2	6336	31229
5	9753	48068
10	11875	58529
20	13811	68071
30	14888	73378
40	15634	77052
50	16203	79858
60	16659	82104
75	17218	84859
100	17922	88329

Med de forventede klimænderinger vil havspejlsstigningen på 30 cm over de næste 50 år betyde, at magasineringsvolumenet vil være i brug oftere (58 gange om året, jv parallelforskydning på 30 cm fra 80 cm DVR90 til 50 cm DVR90 i Tabel 2). Det nødvendige magasineringsvolumen vil endvidere forøges som funktion af større afstrømning ved forskellige gentagelsesperioder, jvf Tabel 1.

Tabel 11. Nødvendigt magasineringsvolumen (om 50 år) opstrøms for udløbspunkt ved Vestergade ved sikring til forskellige gentagelsesperioder, baseret på middelfarigheden af hændelser over 80 cm DVR90 i havet, samt "worst case", baseret på varigheden af den længste hændelse over 50 cm DVR90 gennem de sidste 11,2 år i Bogense Havn.

Gentagelsesperiode (år)	Nødvendigt magasineringsvolumen (gennemsnit - m ³)	Nødvendigt magasineringsvolumen (maks- m ³)
2	6716	50054
5	10338	77044
10	12469	92925
20	14364	107046
30	15484	115391
40	16103	120004
50	16689	124375
60	17158	127871
75	17734	132163
100	18459	137567

Det understreges, at magasineringsvolumenet skal findes under kote 0,80 m DVR90.

Alternativ Bogense Vesterenge

Som nævnt i indledningen overvejer Nordfyns Kommune at etablere en ledning, således at vand fra pumpestationen ved Bogense Vesterenge ledes direkte til havet, fremfor – som i dag – til Landkanalen.

Dette alternativ vil ikke ændre på de nødvendige pumpeydelse ved den eksisterende pumpestation Bogense Vesterenge (vist i Tabel 8 på s. 19), men det vil reducere de nødvendige pumpeydelse ved en eventuel fremtidig pumpestation ved udløbspunktet ved Vestergade (ændring af Tabel 9 på s. 19) samt magasineringsbehovet opstrøms for udløbspunktet ved Vestergade (Tabel 10 og Tabel 11 på s. 21), idet en del af oplandet ikke længere vil afvandes via udløbspunktet Vestergade, men i den direkte ledning til havet.

Den fremtidige pumpeydelse hvis der etableres en pumpestation ved Vesterenge og vand fra den eksisterende pumpestation ved Bogense Vesterenge ledes direkte til havet findes ved at trække pumpeydelse i Tabel 8 fra pumpeydelse i Tabel 9. De alternative nødvendige pumpeydelse ved en fremtidig pumpestation ved udløbspunkt Vestergade fremgår af Tabel 12.

Tabel 12. Alternativ: Nødvendige pumpeydelse ved en eventuel fremtidig pumpestation ved udløbspunktet Vestergade, for at afvande baglandet til forskellige gentagelsesperioder, i dag og om 50 år, såfremt der etableres en ledning direkte til havet ved den eksisterende pumpestation Bogense Vesterenge.

Gentagelsesperiode (år)	pumpeydelse i dag (l/sek)	Pumpeydelse om 50 år (l/sek)
2	373	395
5	574	609
10	698	734
20	812	845
30	876	911
40	920	948
50	954	982
60	980	1010
75	1013	1044
100	1054	1086

Hvis bagvandet skal magasineres opstrøms for udløbspunktet ved Vestergade kan det fremtidige alternative magasineringsbehov beregnes som tilstrømningen ved gentagelsesperioden (reduceres med det opland, der pumpes direkte til havet fra pumpestation Bogense Vesterenge multipliceres med den gennemsnitlige varighed af hændelser over 80 cm i havet.

Hvis vandet fra baglandet skal magasineres, kan det nødvendige magasineringsvolumen til forskellige gentagelsesperioder findes som tilstrømningen ved gentagelsesperioden multipliceres med den gennemsnitlige varighed af hændelser over 80 cm i havet. Dette er vist i Tabel 13 for forholdene i dag, og i Tabel 14 for forholdene om 50 år. Endvidere er vist et "worst case scenarie"

vist, hvor magasineringsvolumenet er beregnet ved sammenfald af stor afstrømning fra baglandet og den maksimale varighed af højvande over 80 cm DVR90 på 20,7 timer (jf Tabel 2).

Tabel 13. Nødvendigt alternativt (direkte pumpning til hav fra Bogense Vesterenge) magasineringsvolumen (i dag) opstrøms for udløbspunkt ved Vestergade ved sikring til forskellige gentagelsesperioder, baseret på middelfarigheden af hændelser over 80 cm DVR90 i havet, samt "worst case", baseret på varigheden af den længste hændelse over 80 cm DVR90 gennem de sidste 11,2 år i Bogense Havn.

Gentagelsesperiode (år)	Nødvendigt magasineringsvolumen (gennemsnit - m ³)	Nødvendigt magasineringsvolumen (maks- m ³)
2	5637	27784
5	8677	42766
10	10565	52073
20	12288	60562
30	13246	65284
40	13909	68553
50	14416	71049
60	14821	73047
75	15319	75499
100	15945	78586

Tabel 14. Nødvendigt alternativt (direkte pumpning til hav fra Bogense Vesterenge) magasineringsvolumen (om 50 år) opstrøms for udløbspunkt ved Vestergade ved sikring til forskellige gentagelsesperioder, baseret på middelfarigheden af hændelser over 80 cm DVR90 i havet, samt "worst case", baseret på varigheden af den længste hændelse over 80 cm DVR90 gennem de sidste 11,2 år i Bogense Havn.

Gentagelsesperiode (år)	Nødvendigt magasineringsvolumen (gennemsnit - m ³)	Nødvendigt magasineringsvolumen (maks- m ³)
2	5975	44533
5	9198	68546
10	11094	82675
20	12780	95238
30	13776	102663
40	14327	106767
50	14848	110656
60	15265	113766
75	15778	117585
100	16423	122393

Det understreges, at også disse magasineringsvolumener skal findes under kote 0,80 m DVR90.

1.8.3 Udløb ved Storkenhøjvej Nord

Med hensyn til pumpestationen ved Fogense Enge og udløbspunktet Storkenhøjvej Nord findes der fire mulige scenarier:

1. Pumpestationen bliver hvor den er og dimensioneres til at kunne afvande en gentagelsesperiode svarende til serviceniveau. I dette tilfælde skal der enten findes en magasineringsløsning MELLEML pumpestationen og diget, for at undgå at pumpen afdræner til et kort stykke vandløb, der ikke kan afvandes gennem diget ved højvande ELLER, der etableres endnu en pumpe der kan løfte vandet ud over diget i højvandssituation (med samme pumpeydelse).
2. Pumpen bliver hvor den er, og der etableres magasineringensvolumen nedstrøms for pumpen.
3. Den eksisterende pumpe ændres til at kunne pumpe direkte over diget til havet.
4. Oplandet til pumpestationen omdirigeres til at afvande gennem den eksisterende pumpestation i Byen, og oplandet slås derved sammen med oplandet til udløbspunkt Vestergade.

I lighed med ovenstående undersøges her mulighed nummer 3 (nødvendig pumpeydelse) og mulighed nummer 2 (nødvendig magasineringensvolumen). Endvidere er det af Nordfyns Kommune ønsket at også mulighed 4 undersøges. Sidstnævnte belyses ved simpel addition af allerede beregnede løsningsmuligheder, idet der er tale om at slå oplande, der i forvejen er belyst, sammen.

Nødvendig pumpeydelse til afvanding af bagland.

Tabel 15 viser den nødvendige pumpeydelse for at kunne afvande oplandet til udløbspunkt Storkenhøj Nord ved forskellige gentagelsesperioder, i dag og i fremtiden.

Tabel 15. Nødvendige pumpeydelser ved Pumpestation Fogense Enge, for at afvande baglandet til forskellige gentagelsesperioder, i dag og om 50 år

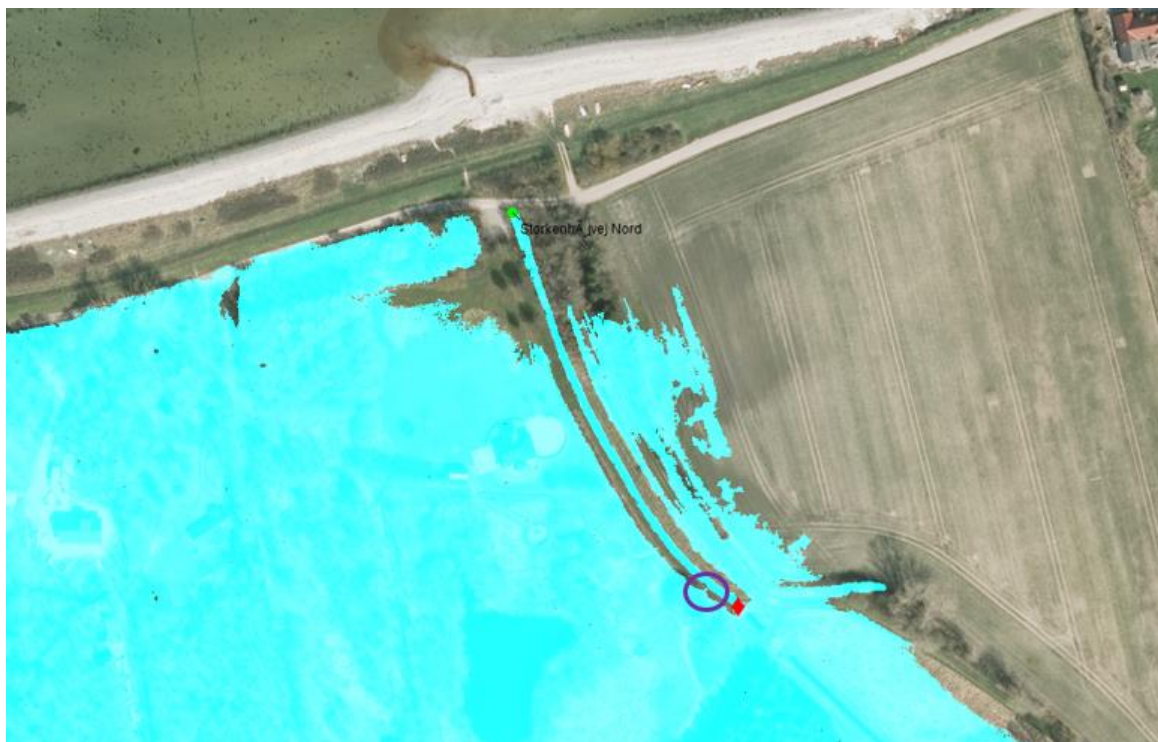
Gentagelsesperiode (år)	pumpeydelse i dag (l/sek)	Pumpeydelse om 50 år (l/sek)
2	49	52
5	75	79
10	91	96
20	106	110
30	114	119
40	120	124
50	124	128
60	128	132
75	132	136
100	137	142

Magasineringsløsning

Såfremt det besluttes at bibeholde den eksisterende pumpestation ved Fogense Enge i sin nuværende form og med nuværende funktion, skal der etableres magasineringsvolumen opstrøms for pumpestationen, idet pumpen ikke må afvande baglandet i højvandssituationer, da dette vand i modsat fald vil medføre oversvømmelser på strækningen mellem pumpestationen og diget.

Figur 12 viser, at kanalen mellem den eksisterende pumpestation og diget vil gå over sine bredder ved en vandstand i kanalen på 0,65 m DVR90. Det skal således sikres, at vandstanden i kanalen holdes under dette niveau, således at kontraklappen ved udløbet forbliver lukket i tilfælde af højvande. Det vil sige, at pumpestationen skal ophøre med at pumpe inden dette niveau nås i kanalen.

Det fremgår af Tabel 2, at sådanne vandstande på 0,6 m DVR90 i havet forekommer omkring 26 gange årligt, og at den gennemsnitlige varighed af sådanne hændelser er 3,7 timer.



Figur 12. Udbredelse af oversvømmelse ved en vandstand i kanalen mellem pumpestation Fogense Enge (rød diamant) og udløbspunkt Storkenhøjvej Nord gennem dige (grøn cirkel). Den lilla cirkel viser, hvor vand vil løbe ud af kanalen ved en vandstand på 0,65 m DVR90.

I Tabel 16 er det nødvendige magasineringsvolumen opstrøms for den eksisterende pumpestation ved Fogense Enge vist, baseret på den gennemsnitlige varighed af højvandshændelser over 0,60 m DVR90, samt som et "worst case scenarie", baseret på den længste varighed af hændelser over 0,60 m DVR90.

Tabel 16. Nødvendigt magasineringsvolumen (i dag) opstrøms for pumpestationen Fogense Enge ved sikring til forskellige gentagelsesperioder, baseret på middelvarigheden af hændelser over 60 cm DVR90 i havet, samt "worst case", baseret på varigheden af den længste hændelse over 60 cm DVR90 gennem de sidste 11,2 år i Bogense Havn.

Gentagelsesperiode (år)	Nødvendigt magasineringsvolumen (gennemsnit - m ³)	Nødvendigt magasineringsvolumen (maks- m ³)
2	648	3990
5	997	6142
10	1214	7478
20	1411	8697
30	1521	9376
40	1598	9845
50	1656	10204
60	1702	10490
75	1760	10842
100	1831	11286

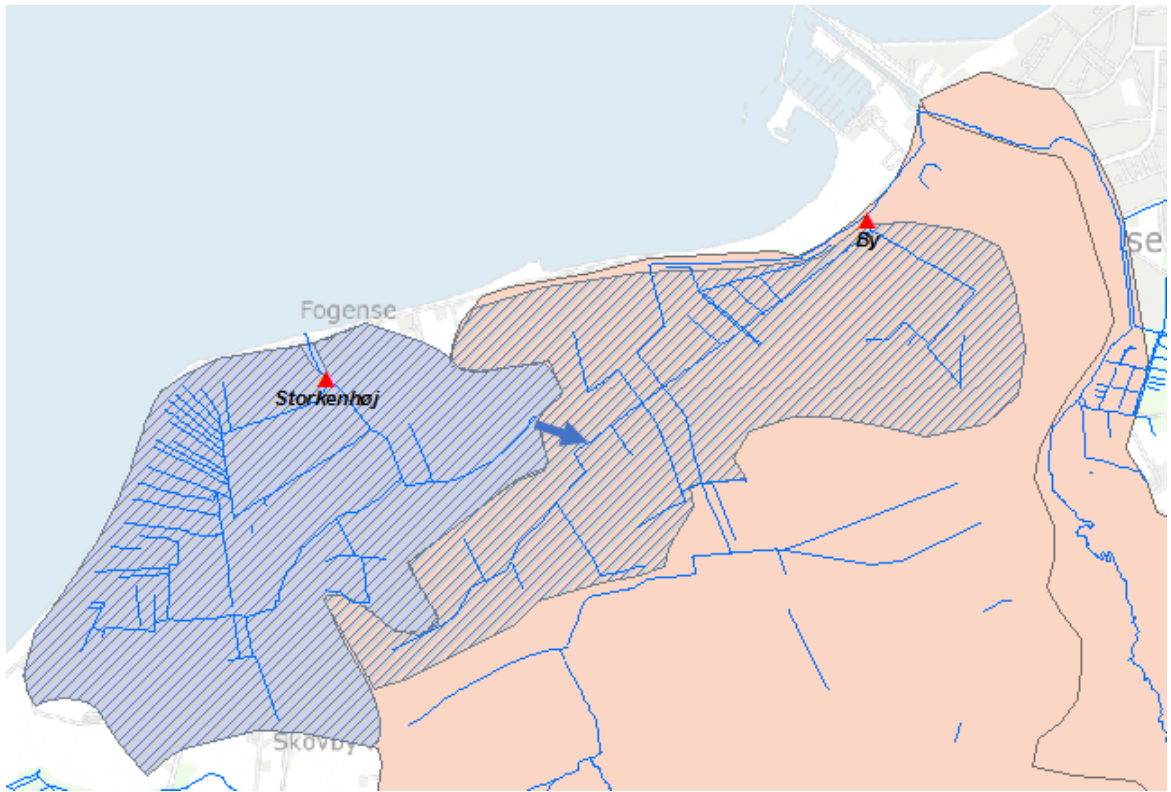
Med en fremtidig forventet havspejlsstigning på 30 cm over 50 år vil magasiningsvolumenet oftere komme i brug (nærmest daglig – 271 gange per år). Magasineringsbehovet vil endvidere forøges som funktion af de øgede afstrømninger (jv Tabel 1).

Tabel 17. Nødvendigt magasineringsvolumen (om 50 år) opstrøms for pumpestationen ved Fogense Enge ved sikring til forskellige gentagelsesperioder, baseret på middelvarigheden af hændelser over 60 cm DVR90 i havet, samt "worst case", baseret på varigheden af den længste hændelse over 30 cm DVR90 gennem de sidste 11,2 år i Bogense Havn.

Gentagelsesperiode (år)	Nødvendigt magasineringsvolumen (gennemsnit - m ³)	Nødvendigt magasineringsvolumen (maks- m ³)
2	686	10908
5	1056	16789
10	1274	20250
20	1468	23327
30	1582	25146
40	1646	26151
50	1706	27104
60	1753	27866
75	1812	28801
100	1886	29979

Omdirigering af opland til udløbspunkt Storkenhøj til opland ved Vestergade

Nordfyns Kommune har overvejet at nedlægge pumpestationen ved Fogense Enge og fremover afvande oplandet til udløbspunkt Storkenhøjvej Nord gennem pumpestationen, der i dag er placeret i Bogense By ved Bogense Vesterenge. Dette kunne eventuelt gøres som skitseret på Figur 13. Det er ikke foretaget en undersøgelse af koteforhold i området, så om forslaget er realiserbart er ikke nærmere undersøgt.



Figur 13. Principskitse, der viser hvorledes oplandet til udløbspunkt Storkenhøj fremover vil kunne afvandet via pumpestationen Bogense Vesterenge i Bogense By.

Pumpestation Bogense Vesterenge, ved inklusion af oplandet til Storkenhøjvej Nord

Såfremt forslaget implementeres kan den fremtidige pumpeydelse ved pumpestationen Bogense Vesterenge i Bogense By beregnes som den fremtidige oplandsstørrelse (4,37 km²) multipliceret med afstrømningen til forskellige gentagelsesperioder. Dette er vist i Tabel 18.

Tabel 18. Nødvendige pumpeydelse ved Pumpestationen Bogense Vesterenge i Bogense By, hvis oplandet til Storkenhøj omdirigeres, for at afvande baglandet til forskellige gentagelsesperioder, i dag og om 50 år

Gentagelsesperiode (år)	pumpeydelse i dag (l/sek)	Pumpeydelse om 50 år (l/sek)
2	95	101
5	146	155
10	178	187
20	207	215
30	223	232
40	234	241
50	243	250
60	249	257
75	258	265
100	268	276

Udløbspunkt Vestergade, ved inklusion af oplandet til Storkenhøjvej Nord

Når oplandet til udløbspunktet ved Vestergade forøges (til 21,55 km², jf Figur 8), vil det medføre, at løsninger her skal opdimensioneres.

Pumpeløsning ved udløbspunkt Vestergade, ved inklusion af opland til Storkenhøj

Tabel 19 viser hvilken pumpeydelse der i fremtiden skal etableres ved Vestergade, hvis vand fra oplandet til både Vestergade og Storkenhøjvej Nord fremover skal afvandes gennem dette punkt.

Tabel 19. Nødvendige pumpeydelse ved en eventuel fremtidig pumpestation ved udløbspunktet Vestergade, for at afvande baglandet til både Vestergade og Storkenhøjvej Nord ved forskellige gentagelsesperioder, i dag og om 50 år.

Gentagelsesperiode (år)	pumpeydelse i dag (l/sek)	Pumpeydelse om 50 år (l/sek)
2	468	496
5	720	763
10	877	920
20	1019	1060
30	1099	1143
40	1154	1189
50	1196	1232
60	1230	1266
75	1271	1309
100	1323	1362

Magasineringsløsning ved udløbspunkt Vestergade, ved inklusion af opland til Storkenhøj

Koteforholdene omkring udløbet ved Vestergade er belyst ovenfor, og vil ikke ændres ved inklusion af oplandet til Storkenhøj Nord. Det nødvendige magasineringsbehov kan derfor bestemmes ved at forøge oplandet til det totale opland. I Tabel 20 og Tabel 21 er de nødvendige magasineringsbehov i dag og om 50 år vist.

Tabel 20. Nødvendigt magasineringsvolumen (i dag) opstrøms for udløbspunkt ved Vestergade ved sikring til forskellige gentagelsesperioder efter inklusion af opland til Storkenhøj Nord, baseret på middelvarigheden af hændelser over 80 cm DVR90 i havet, samt "worst case", baseret på varigheden af den længste hændelse over 50 cm DVR90 gennem de sidste 11,2 år i Bogense Havn.

Gentagelsesperiode (år)	Nødvendigt magasineringsvolumen (gennemsnit - m ³)	Nødvendigt magasineringsvolumen (maks- m ³)
2	7071	34852
5	10884	53644
10	13253	65318
20	15414	75967
30	16615	81890
40	17447	85990
50	18083	89122
60	18591	91628
75	19215	94703
100	20001	98575

Tabel 21 Nødvendigt magasineringsvolumen (om 50 år) opstrøms for udløbspunkt ved Vestergade ved sikring til forskellige gentagelsesperioder efter inklusion af opland til Storkenhøj Nord, baseret på middelvarigheden af hændelser over 50 cm DVR90 i havet, samt "worst case", baseret på varigheden af den længste hændelse over 50 cm DVR90 gennem de sidste 11,2 år i Bogense Havn.

Gentagelsesperiode (år)	Nødvendigt magasineringsvolumen (gennemsnit - m ³)	Nødvendigt magasineringsvolumen (maks- m ³)
2	7496	55860
5	11537	85981
10	13916	103705
20	16030	119463
30	17280	128777
40	17971	133924
50	18625	138802
60	19149	142705
75	19792	147494
100	20601	153525

1.8.4 Udløb ved Brydemade

Der planlægges – Orbicon bekendt – ikke tiltag til afvanding af baglandet ved dette udløbspunkt.

1.9 Referencer

/1/: Klimækstremvandføring – Klimaeffekter på hydrologi og afstrømning. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS), Rapport 2013 / 29.

/2/: Fremtidige klimaforandringer i Danmark. DMI - Danmarks Klimacenter rapport nr. 6, 2014