

|   |           |            |
|---|-----------|------------|
| Mike 11 modellering af Brede Å oplandet | Ansvarlig | RILA       |
|   | Oprettet  | 04-10-2018 |
|   | Side      | 1 af 15    |

## Mike 11 modellering af Brede Å oplandet

### Indledning

Brede Å Udvalget har bedt SEGES om at lave modelberegninger, der viser konsekvenserne af forskellige tiltag, der har til formål at sænke vandstanden i Brede Å systemet under store afstrømningshændelser. Ønsket er, at vandspejlet kan holdes tilstrækkeligt lavt, således at:

1. Vandet ikke går over bredderne, og vand løber ind over markerne.
2. Vandet kan holdes så lavt, at drænrørene holdes oven vande.

En eksisterende afstrømningsmodel er stillet til rådighed til opgaven. Modellen er en Mike 11 vandløbsmodel for Brede Å systemet som Tønder Kommune fik opstillet i 2016 af DHI. Yderligere information om modellen kan findes i (DHI, 2016).

Nærværende notat beskriver de foretagne modeljusteringer, simulerede scenarier, resultater og konklusion.

### Resume af konklusion

Via modelsimuleringer er det undersøgt hvilken effekt en pumpe med en kapacitet på hhv. 10 m<sup>3</sup>/s og 20 m<sup>3</sup>/s ved Ballumsluse, en udvidelse af slusen samt afkobling af sidetilløb vil have på vandstanden og en oversvømmelses udbredelse i Brede Å systemet under en stor afstrømningshændelse i december 2014. Resultaterne har vist at:

- Ingen af de undersøgte tiltag kan holde vandspejlet i Brede Å under vandløbets bredder under en hændelse som i december 2014.
- Alle tiltagene har dog en positiv effekt ift. at reducere det oversvømmede areal under hændelsen.
- En pumpe med en kapacitet på hhv. 10 m<sup>3</sup>/s og 20 m<sup>3</sup>/s ved Ballumsluse vil kunne reducere det oversvømmede areal med hhv. 272 ha og 325 ha ift. reference scenariet (24/12-2014), hvor 1196 ha blev oversvømmet.
- En pumpe med en kapacitet på 20 m<sup>3</sup>/s ved Ballumsluse vil i et undersøgt punkt kunne bidrage til at sænke vandstanden i vandløbet med op imod 0,5 m. Den gennemsnitlige sænkning af vandstanden, når pumpen er startet, er i det undersøgte punkt 0,1 m.
- Pumperne kan i de undersøgte punkter ikke bidrage til en yderligere friholdelse af drænene ift. reference scenariet.

Resultaterne af tiltagenes effekt er bl.a. afhængige af afstrømningshændelsen, tiden forud for hændelsen og hvor i Brede Å systemet, der analyseres.

Ved valg af løsning bør indtænkes påvirkninger fra klimaforandringer, så som øget nedbør, stigende grundvandsstand, havvandsstandsstigninger samt påvirkninger fra stormflod. Dette har ikke været en del af denne opgave.

## Modeljusteringer

Den eksisterende afstrømningsmodel var opstillet uden en veldefineret opgave, men med viden om, at modellen skulle bruges til fremtidige opgaver, der knyttede sig til forvaltningen (specielt ift. vandstandsforhold og oversvømmelser) af vandløbene i oplandet til Brede Å. Dette har betydet, at der i forbindelse med nærværende opgave er foretaget nogle modeljusteringer for at tilpasse den eksisterende model til de ønskede scenarieberegninger.

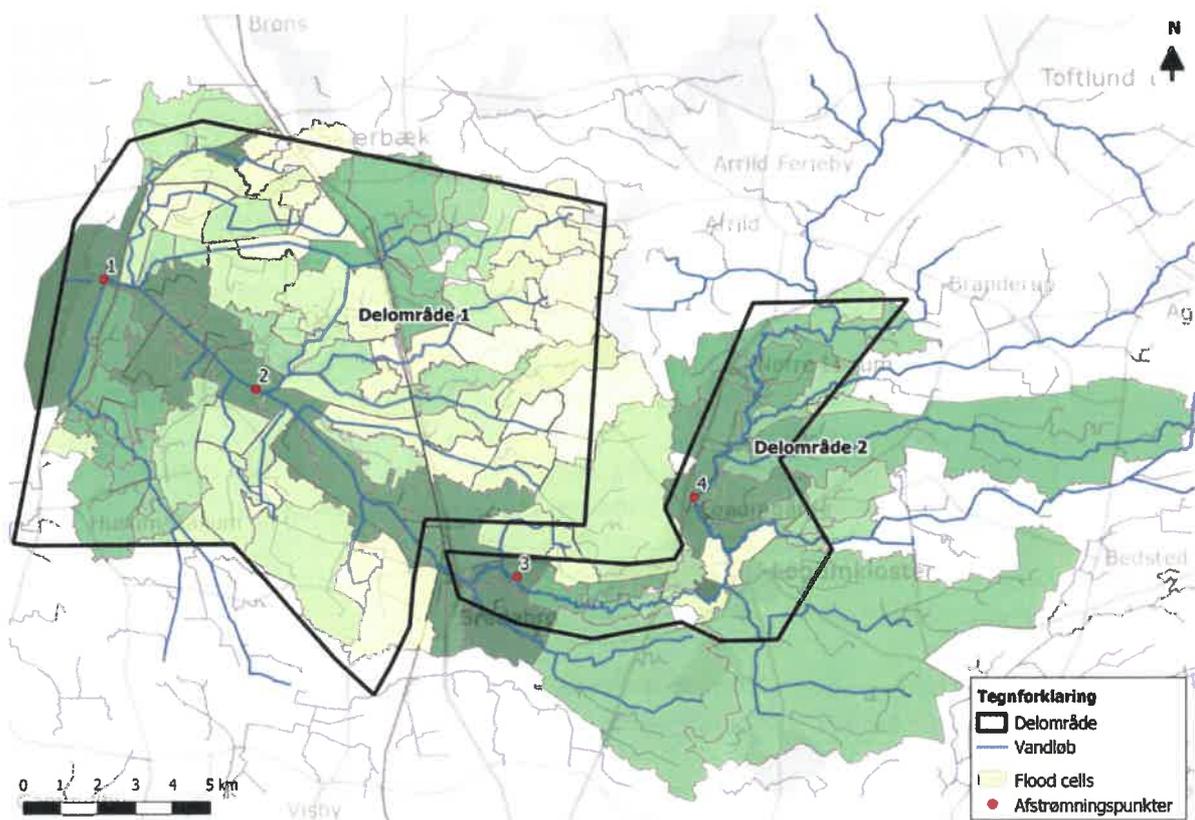
De foretagne modeljusteringer er:

- En terrænmodel er inkluderet

Via scenarierne vil effekten på vandspejlet blive undersøgt i 2 delområder, som angivet på figur 1. En 10 m x 10 m terrænmodel dækkende delområderne er inkluderet i modellen.

- "Flood cells" er defineret

For at kunne udarbejde oversvømmelseskort er der udarbejdet et detaljeret "flood cell" kort med 180 "flood cells" (figur 1). "Flood cells" definerer det område, der oversvømmes, hvis vandstanden i vandløbet overstiger brinkerne. Dette er en simpel "mapping" facilitet, der fungerer ved, at den beregnede vandstand i Mike 11's forsimplede endimensionelle beskrivelse af oversvømmede områder overføres direkte til den koblede terrænmodel. Alle lavereliggende områder, der er omfattet af den pågældende "flood cell", vil derfor fremstå som værende oversvømmede og på samme tidspunkt. "Flood cell" kortet er udarbejdet ved hjælp af Scalgo (<https://scalgo.com/>), hvor de topografiske oplande er bestemt for punkter med større strømningsveje til vandløb. Områder, hvor Scalgo ikke er benyttet til at definere de topografiske oplande, er udfyldt manuelt på baggrund af 2,5 m højdekurver.



Figur 1. Delområde 1 og 2 inklusiv det modellerede Brede Å vandløbssystem og de definerede "flood cells". Afstrømningspunkterne refereret til data i figur 3.

## Scenarier

Følgende scenarier er simuleret:

### 1. Pumpe ved Ballumsluse

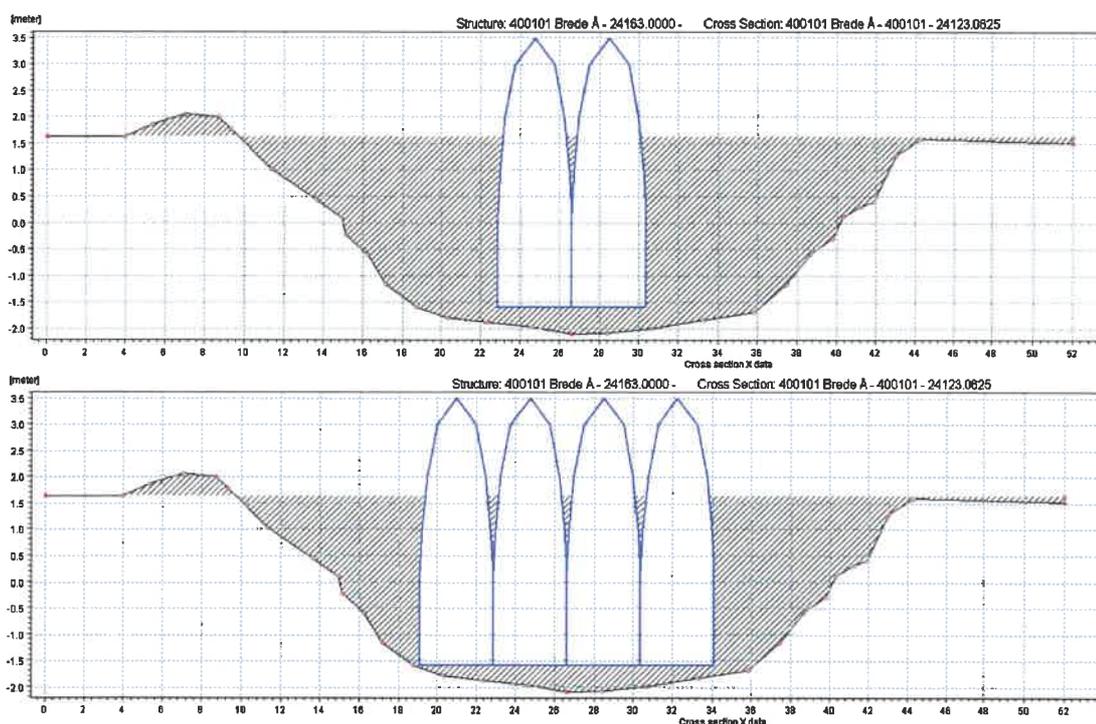
I modellen indsættes en pumpe ved Ballumsluse. Det undersøges, hvilke effekter dette har opstrøms ift. oversvømmelser, når pumpen har en kapacitet på hhv.:

Scenarie 1a: 10 m<sup>3</sup>/s

Scenarie 1b: 20 m<sup>3</sup>/s

### 2. Udvidelse af Ballumsluse

Scenarie 2: I model udvides Ballumslusen til at have dobbelt størrelse. Dvs. 4 rør i stedet for 2 rør (figur 2). Det undersøges, hvilke effekter dette har opstrøms ift. oversvømmelser.



Figur 2. Udvidelse af slusen fra at have 2 rør (øverst) til 4 rør (nederst). Vand kan kun strømme igennem rørene (hvid område indenfor blå streger). Det opstrøms tværsnit er vist med grå skraveret markering i baggrunden.

### 3. Afkobling af udvalgte vandløb

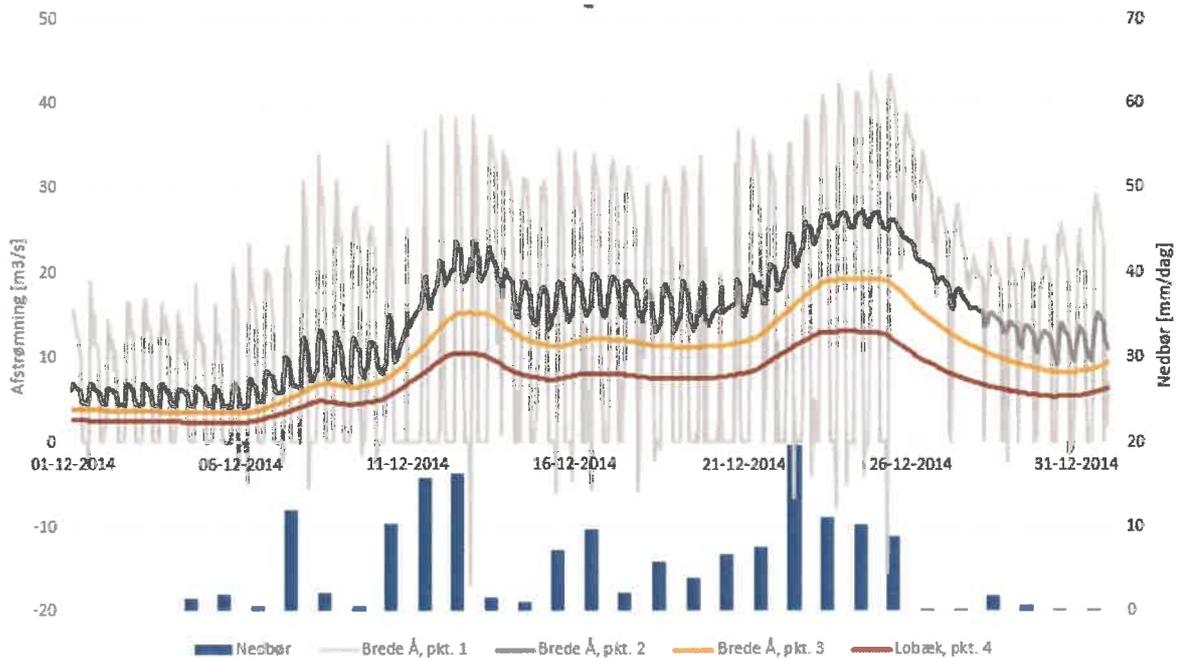
Scenarie 3: Det undersøges via modellen, hvilken effekt det vil have på afvandingsproblemerne, hvis vandet i Brede å død arm, Røgelstrøm, Døstrup bæk/Kisbæk og Ellum-Drengsted bæk ikke ledes ud i Brede å.

Scenarierne er simuleret over perioden 1/12-2013 til 26/1-2015, med en 2 års hotstart.

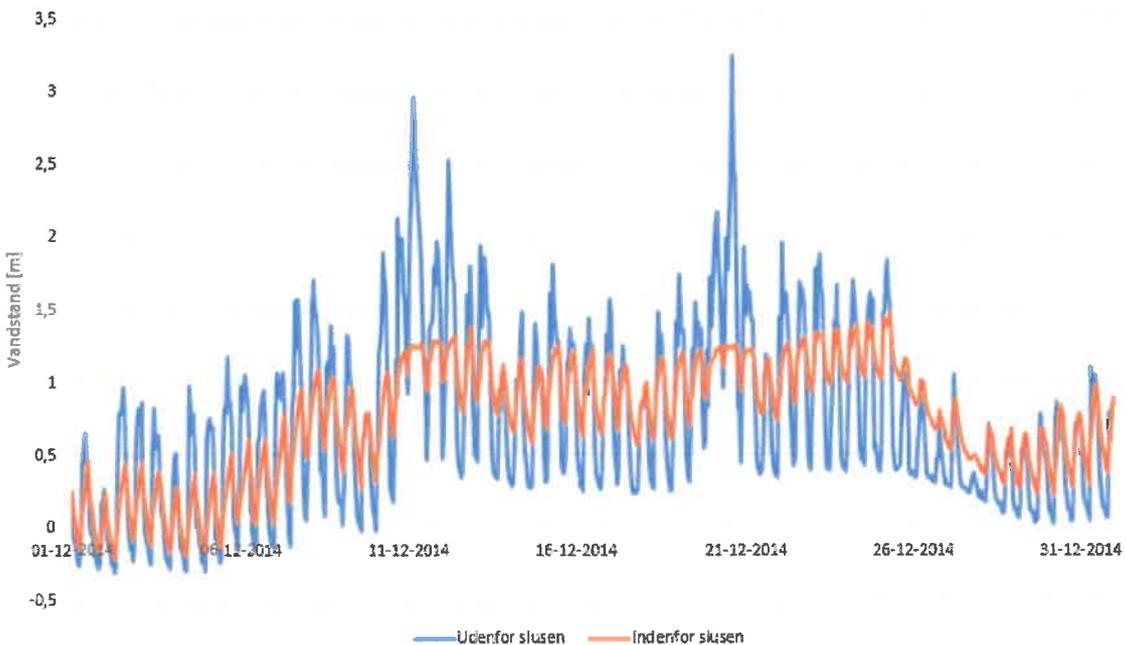
### Reference scenarie

Scenarie 1 – 3 holdes op imod et reference scenarie, som afspejler forholdene, som de vil være i Brede Å systemet, uden der er foretaget nogle ændringer.

I december 2014 faldt der ca. 160 mm regn, og afstrømningerne er de højeste simulerede. Figur 3 viser den daglige nedbør i december 2014 samt den simulerede afstrømning i fire forskellige punkter i Brede Å vanløbssystemet. Figur 4 viser de simulerede vandstande for samme periode henholdsvis udenfor og indenfor slusen.



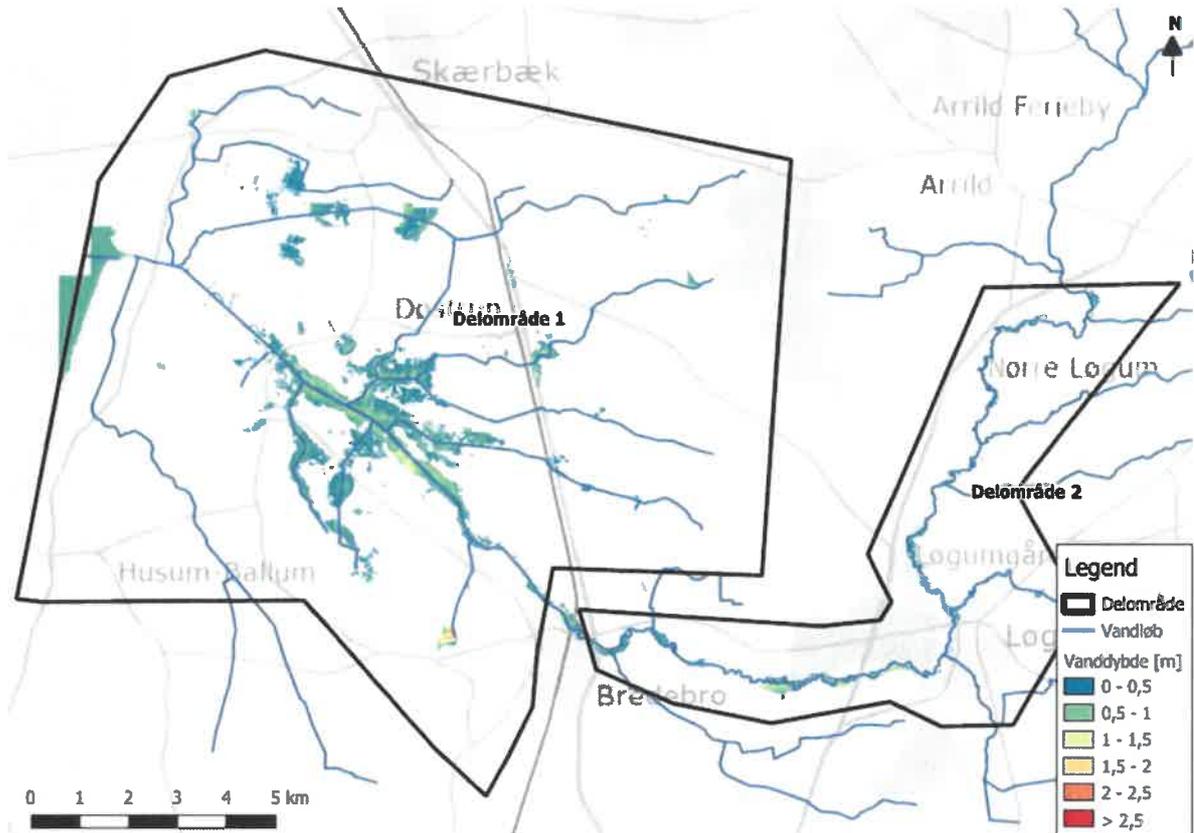
**Figur 3.** Nedbør [mm/dag] og afstrømning [m<sup>3</sup>/s] for fire forskellige punkter i Brede Å vandløbssystemet. Punkternes placering ses på figur 1.



**Figur 4.** Vandstand [m] lige udenfor og indenfor slusen.

De største oversvømmelser i den simulerede periode skete den 24/12 – 2014. Figur 5 viser et øjebliksbillede af den simulerede oversvømmelses udbredelse og vanddybde for henholdsvis delområde 1 og 2 den 24/12 – 2014 kl. 12:00:00. Bilag A og bilag B indeholder zoom af oversvømmelseskortet for henholdsvis delområde 1 og delområde 2. Bilag A1 og B1 viser samme oversvømmelseskort men med et ortofoto som baggrund. Endelig indeholder bilag A2 og B2 oversvømmelseskortet sammen med en identifikation af omdriftsarealer i 2018.

Bemærk at oversvømmelsernes udbredelse er defineret ud fra den simulerede vandstand i vandløbet, som er overført direkte til den koblede terrænmodel indenfor området, der er defineret af "flood cellen". Alle områder indenfor "flood cellen", der er lavereliggende end vandstanden, vil fremstå som værende oversvømmede og på samme tidspunkt.



**Figur 5.** Oversvømmelseskort med vanddybder for delområde 1 og 2 den 24/12-2014 kl. 12:00:00 i referencescenariet.

Af figur 5 ses det, at der er relativt store arealer oversvømmet i delområde 1. I delområde 2 er der også oversvømmede arealer, disse er dog mere vandløbsnære arealer. Det oversvømmede areal udgør i alt ca. 1.196 ha. Heraf ligger ca. 77 % (ca. 919 ha) af de oversvømmede arealer under kote 2 m.

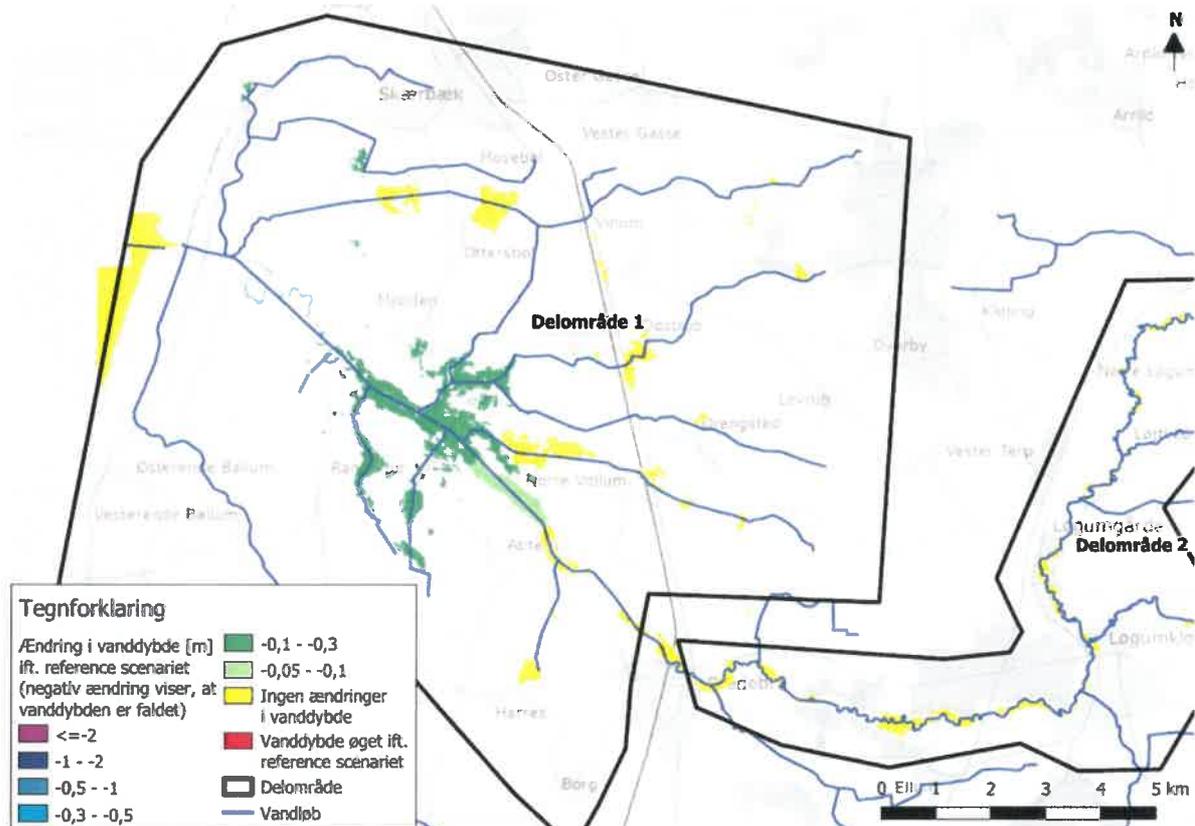
Oversvømmelsen den 24/12 – 2014 vil være udgangspunkt for de efterfølgende sammenligninger mellem reference scenariet og scenarie 1 – 3.

#### Resultater af scenarier

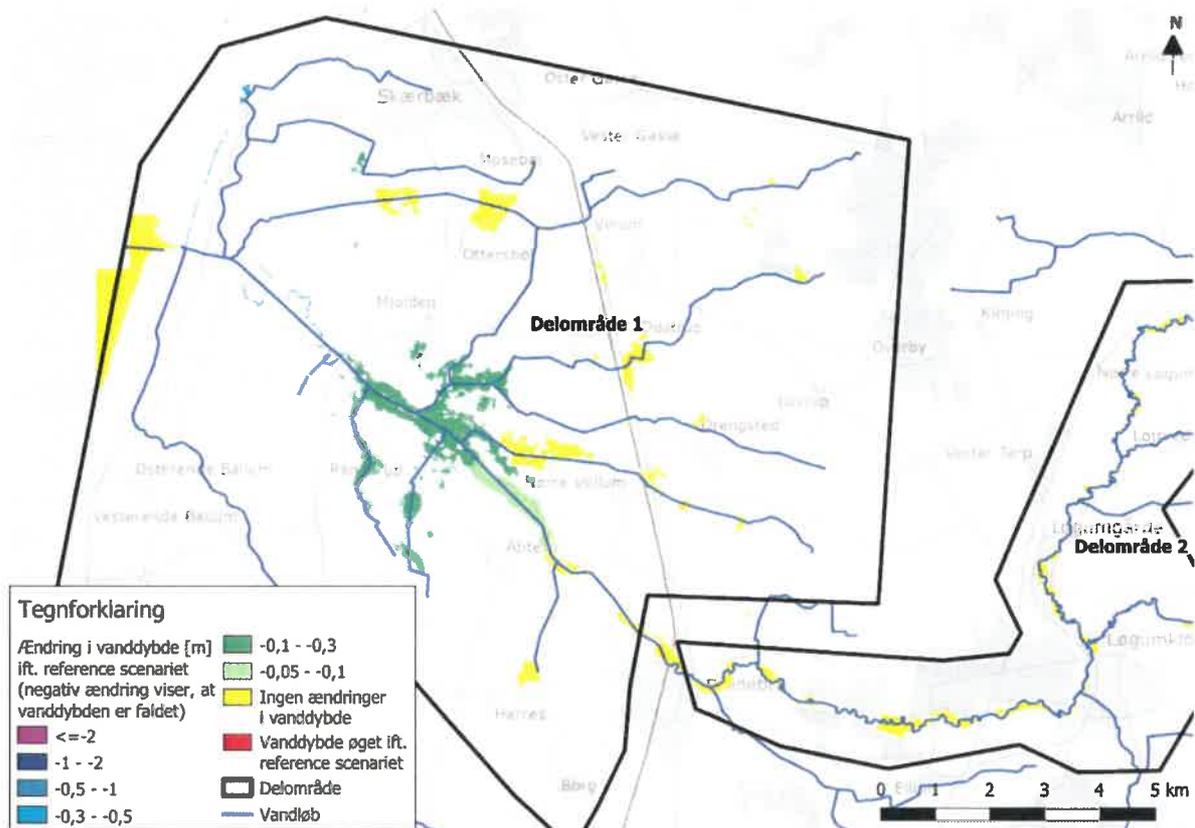
De efterfølgende resultater viser effekten af hhv. scenarie 1 – 3 på oversvømmelsens udbredelse under en kraftig nedbørshændelse. De viste resultater er et øjebliksbillede af effekten den 24/12 – 2014 kl. 12:00:00.

#### Pumpe ved Ballumsluse

I modellen indsættes en pumpe ved Ballumsluse med en kapacitet på hhv. 10 m<sup>3</sup>/s og 20 m<sup>3</sup>/s (scenarie 1a og 1b). Figur 6 og figur 7 viser effekten af en pumpe ved Ballumsluse med en kapacitet på hhv. 10 m<sup>3</sup>/s og 20 m<sup>3</sup>/s på vanddybden ift. reference scenariet. Kun delområde 1 er vist, da en pumpe ved Ballumsluse ikke har nogen effekt i delområde 2.

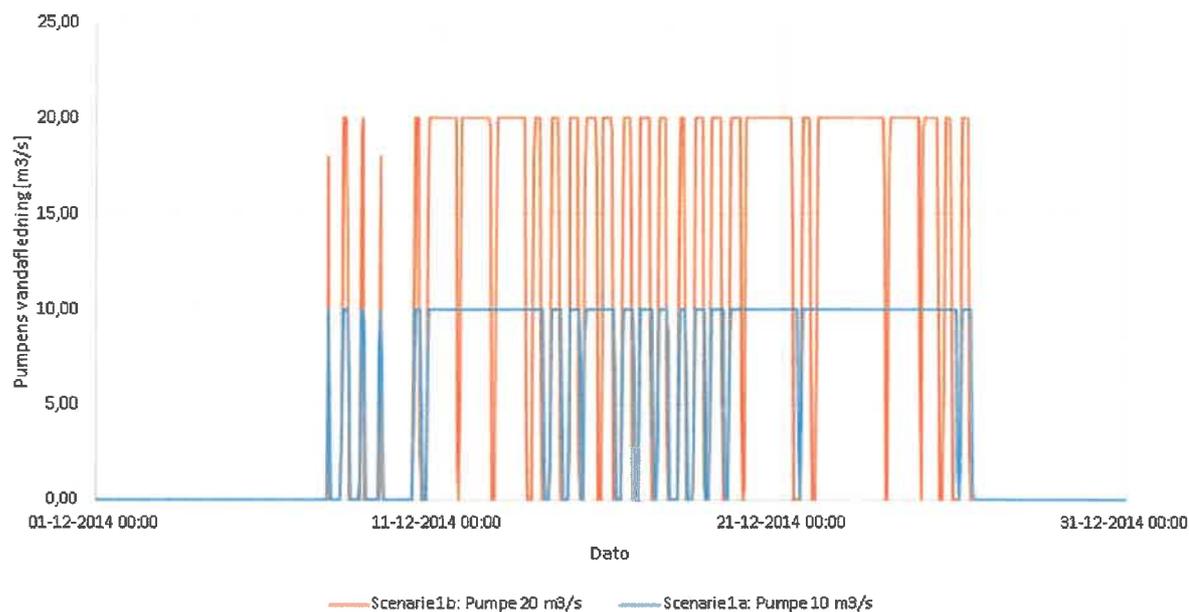


Figur 6. Ændringer i vanddybde ved at indsætte en pumpe med en kapacitet på 10 m<sup>3</sup>/s ved Ballumluse ift. referencescenariet. Kortet er udarbejdet for delområde 1 den 24/12-2014 kl. 12:00:00.



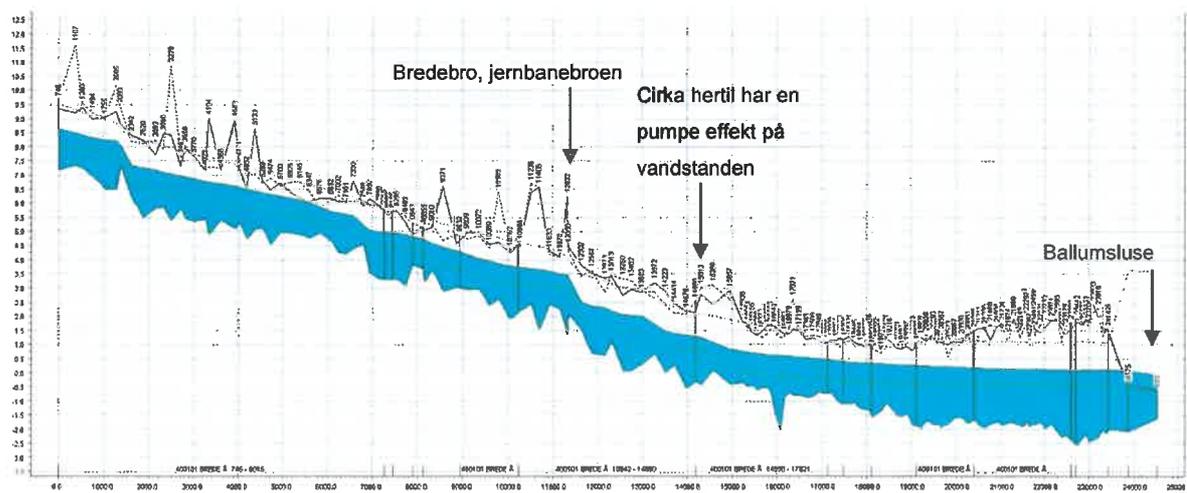
Figur 7. Ændringer i vanddybde ved at indsætte en pumpe med en kapacitet på 20 m<sup>3</sup>/s ved Ballumluse ift. referencescenariet. Kortet er udarbejdet for delområde 1 den 24/12-2014 kl. 12:00:00.

Ved sammenligning af figur 6 og 7 ses det, at en pumpe med en kapacitet på 20 m<sup>3</sup>/s sænker vandstanden lidt længere opstrøms ift. referencescenariet end en pumpe med en kapacitet på 10 m<sup>3</sup>/s. Pumpene er styret efter vandstandens niveau i vandløbet, således starter pumpen, når vandstanden ved slusen er i kote 1 m, og stopper igen, når vandstanden er faldet til kote 0,5 m. Figur 8 viser pumpens vandafledning i december 2014 for hhv. en pumpekapaцитet på 10 m<sup>3</sup>/s og 20 m<sup>3</sup>/s.



**Figur 8.** Ballumsluse pumpens simulerede vandafledning i december 2014. Scenarie 1a og 1b er vist.

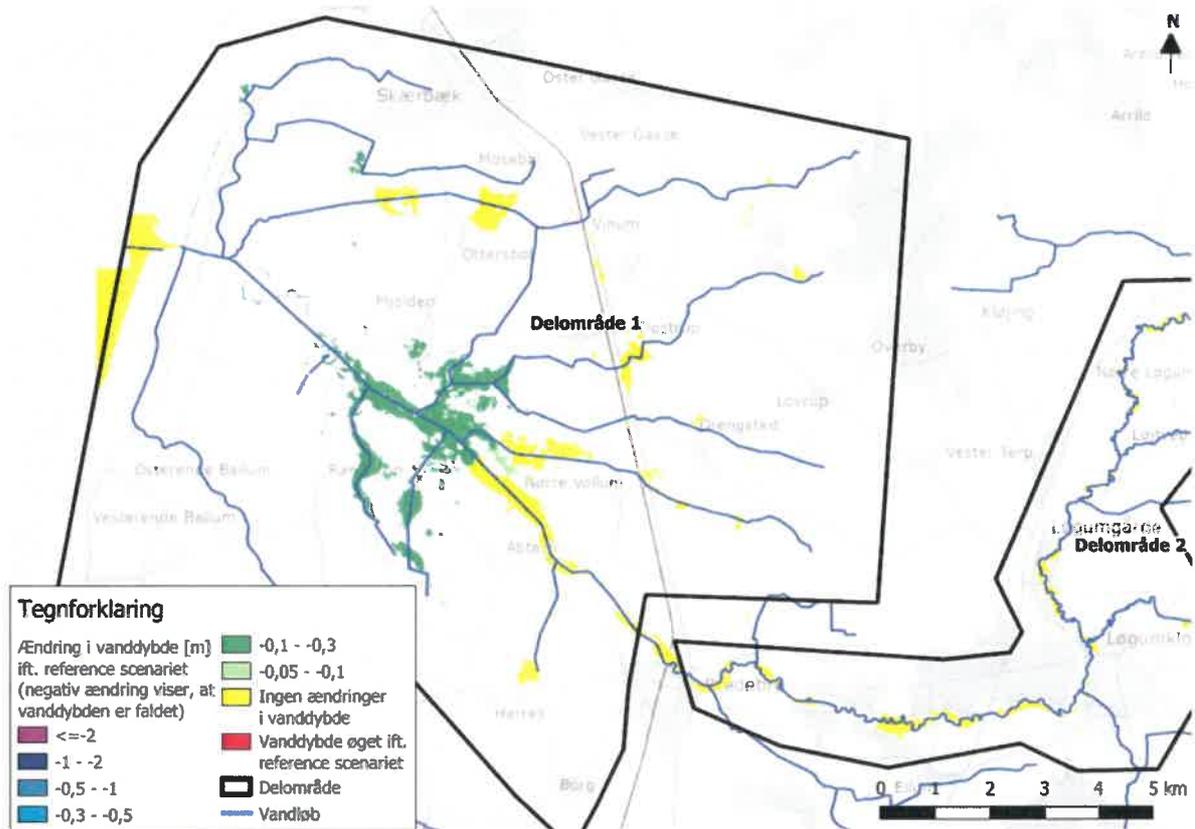
Terrænet og vandløbets hældning har således stor betydning for, hvor langt opstrøms en pumpe vil have effekt. Figur 9 viser et længdesnit af en del af Brede Å (længst til højre er Ballumsluse). Det er markeret, hvor langt opstrøms en pumpe ved Ballumsluse har effekt på vandstanden (kapacitet på 20 m<sup>3</sup>/s; pumpen starter, når vandstanden ved slusen er kote 1 m, og pumpen stopper igen, når vandstanden er faldet til kote 0,5 m). Det ses, at fra dette punkt og opstrøms bliver vandløbets hældning stejlere, hvilket gør at pumpen ikke sænker vandstanden længere opstrøms under afstrømningshændelsen den 24/12 - 2014.



**Figur 9.** Længdesnit af en del af Brede Å (længst til højre er Ballumsluse). Det er markeret, hvor langt opstrøms en pumpe med en kapacitet på 20 m<sup>3</sup>/s ved Ballumsluse har effekt på vandstanden (pumpen starter, når vandstanden ved slusen er kote 1 m, og den stopper igen, når vandstanden er faldet til kote 0,5 m).

### Udvidelse af Ballumsluse

I scenarie 2 udvides Ballumslusen til at have dobbelt størrelse. Dvs. 4 rør i stedet for 2 rør (jf. figur 2). Figur 10 viser effekten af pumpen på vanddybden ift. referencescenariet. Det ses, at en udvidelse af Ballumsluse ikke har så stor effekt opstrøms på vandstanden som ved at indsætte en pumpe ved Ballumsluse.

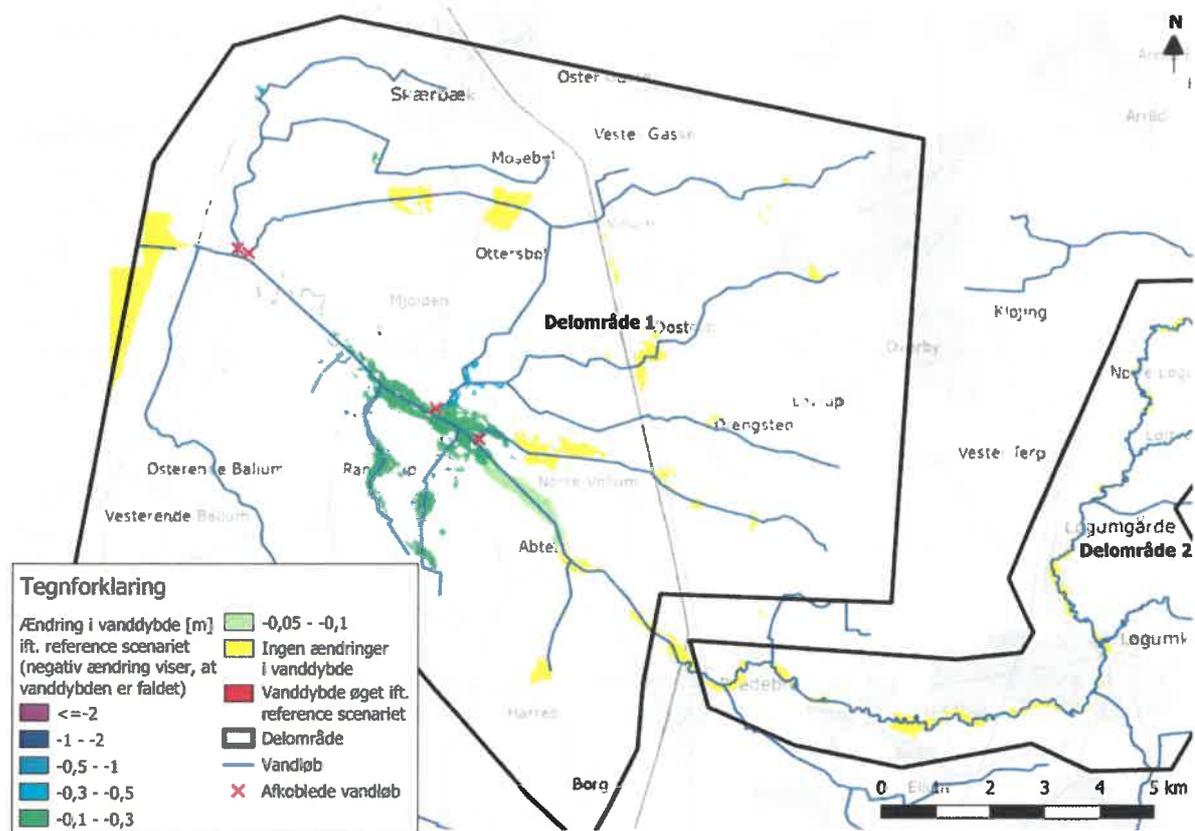


Figur 10. Ændringer i vanddybde ved at udvide Ballumsluse til dobbelt størrelse ift. referencescenariet. Kortet er udarbejdet for delområde 1 den 24/12-2014 kl. 12:00:00.

### Afkobling af vandløb

I scenarie 3 afkobles Brede å død arm, Røgelstrøm, Døstrup bæk/Kisbæk og Ellum-Drengsted bæk (jf. figur 11) fra Brede Å, for at se effekten ift. vandstand og oversvømmelser. Det topografiske opland for disse fire vandløb udgør ca. 21 % af det topografiske opland til hele Brede Å systemet. Figur 11 viser effekten på vanddybden ift. referencescenariet ved at afkoble de 4 ovennævnte vandløb fra Brede Å.

Det skal bemærkes, at modelteknisk er dette scenarie opsat, så vandet forsvinder, lige inden det kommer til Brede Å (ved de røde krydser). Ved en fuld simulering af dette scenarie, skal vandet føres en anden vej ud af systemet f.eks. nord for Rømødæmningen. Det har ikke været en del af denne opgave at undersøge, om det reelt er muligt at afkoble enkelte sidetilløb til Brede Å og føre dem en anden vej ud af systemet. Resultaterne af scenarie 3 kan således kun antages at indikere effekten.



Figur 11. Ændringer i vanddybde ift. reference scenariet ved at afkoble Brede å død arm, Røgelstrøm, Døstrup bæk/Kisbæk og Ellum-Drengsted bæk fra Brede Å. De afkoblede vandløb er markeret med et rødt kryds.

Figur 11 viser, at ved at afkoble Brede å død arm, Røgelstrøm, Døstrup bæk/Kisbæk og Ellum-Drengsted bæk fra Brede Å vil dette give en mindst lige så god effekt på vandstanden som ved at indsætte en pumpe med en kapacitet på 20 m<sup>3</sup>/s ved Ballumsluse.

I 2014 er den simulerede afstrømning gennem Ballumslusen ca. 259 mio. m<sup>3</sup> for referencescenariet (svarende til en middel afstrømning på 8,2 m<sup>3</sup>/s). Afkobles Brede å død arm, Røgelstrøm, Døstrup bæk/Kisbæk og Ellum-Drengsted bæk fra Brede Å reduceres afstrømningen gennem Ballumslusen til ca. 200 mio. m<sup>3</sup> i 2014 (svarende til en middel afstrømning på 6,3 m<sup>3</sup>/s). Dermed kan vandafstrømningen til Brede Å reduceres med ca. 23 % hvis de fire vandløb afkobles Brede Å.

### Oversvømmede arealer

I bilag C – F er der vist oversvømmelseskort for de simulerede scenarier. Tabel 1 viser en oversigt over det totale antal hektarer, der er oversvømmet i delområde 1 og 2 den 24/12-2014 kl. 12 for de enkelte scenarier. For hvert scenarie er antallet af oversvømmede hektarer, der ligger under kote 2 m også angivet.

Tabel 1. Oversigt over hektar oversvømmede arealer den 24. december 2014 kl. 12 i henhold til de simulerede scenarier. Antallet af oversvømmede hektarer, der ligger under kote 2 m er også angivet.

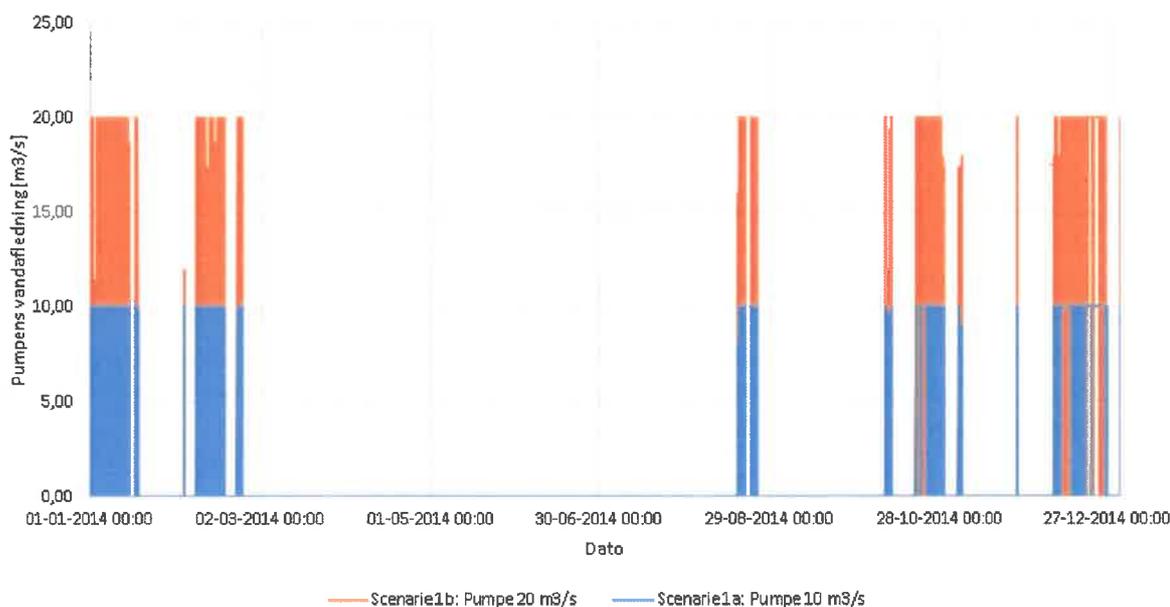
|   | Total oversvømmet areal [ha]* | Oversvømmet areal under kote 2 m [ha] | Oversvømmet areal under kote 2 m [%] |
|---|-------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Reference scenariet                     | 1196                          | 608                                   | 50,8                                 |
| Scenarie 1a: Pumpe 10 m <sup>3</sup> /s | 924                           | 608                                   | 65,8                                 |
| Scenarie 1b: Pumpe 20 m <sup>3</sup> /s | 871                           | 555                                   | 63,7                                 |
| Scenarie 2: Dobbelt sluse               | 951                           | 635                                   | 66,7                                 |
| Scenarie 3: Afkoblet vandløb            | 813                           | 497                                   | 61,1                                 |

\* Arealet af det oversvømmede areal kan være overestimeret, som et resultat af metoden modellen overfører vandstanden til terrænmodellen på.

Resultaterne i tabel 1 viser, at alle tiltagene, som arbejdes med i scenarierne, vil have en positiv effekt ift. at reducere det oversvømmede areal under en større afstrømningshændelse. At afkoble Brede å død arm, Røgelstrøm, Døstrup bæk/Kisbæk og Ellum-Drengsted bæk fra Brede Å systemet vil umiddelbart have den største effekt. Det er dog ikke undersøgt, om det reelt er muligt at afkoble enkelte sidetilløb til Brede Å og føre dem en anden vej ud af systemet. Ligeledes er der heller ikke planer om, at Ballumslusen skal fornyes. Brede Å Udvalget har derfor ønsket, at undersøge effekterne af at indsætte en pumpe ved Ballumslusen nærmere. De efterfølgende resultater viser således effekten af pumper ved Ballumsluse på vandstanden i hele 2014.

### Effekten af en pumpe ved Ballumslusen

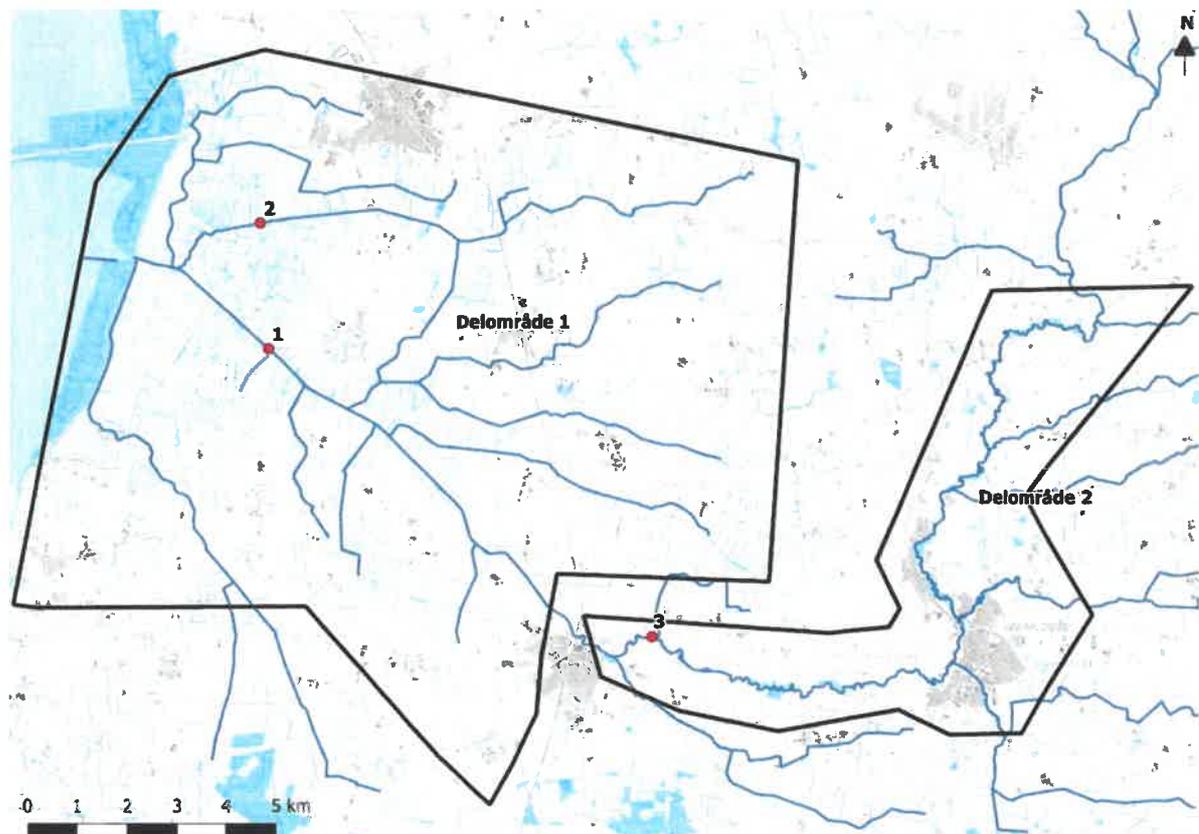
På baggrund af scenarie 1a og 1b, hvor der i modellen er indsat en pumpe ved Ballumsluse med en kapacitet på hhv. 10 m<sup>3</sup>/s og 20 m<sup>3</sup>/s, viser resultaterne, at en pumpe på 10 m<sup>3</sup>/s ved Ballumsluse vil være i drift 10,2 % af tiden i år 2014 (37 dage ud af 365 dage). Pumpen på 20 m<sup>3</sup>/s er i drift 8,3 % af året (30 dage ud af 365 dage). Dette når pumperne er styret til at sænke vandstanden i Brede Å systemet under større afstrømningshændelser. Dvs. pumpen starter, når vandstanden ved Ballumslusen er i kote 1 m, og stopper igen, når vandstanden er faldet til kote 0,5 m. Figur 12 viser, hvornår pumpen har været startet i 2014, hvilket hovedsageligt er i efteråret og vinteren, hvor vandstandens niveau ved Ballumslusen har været højt nok til at starte pumpen.



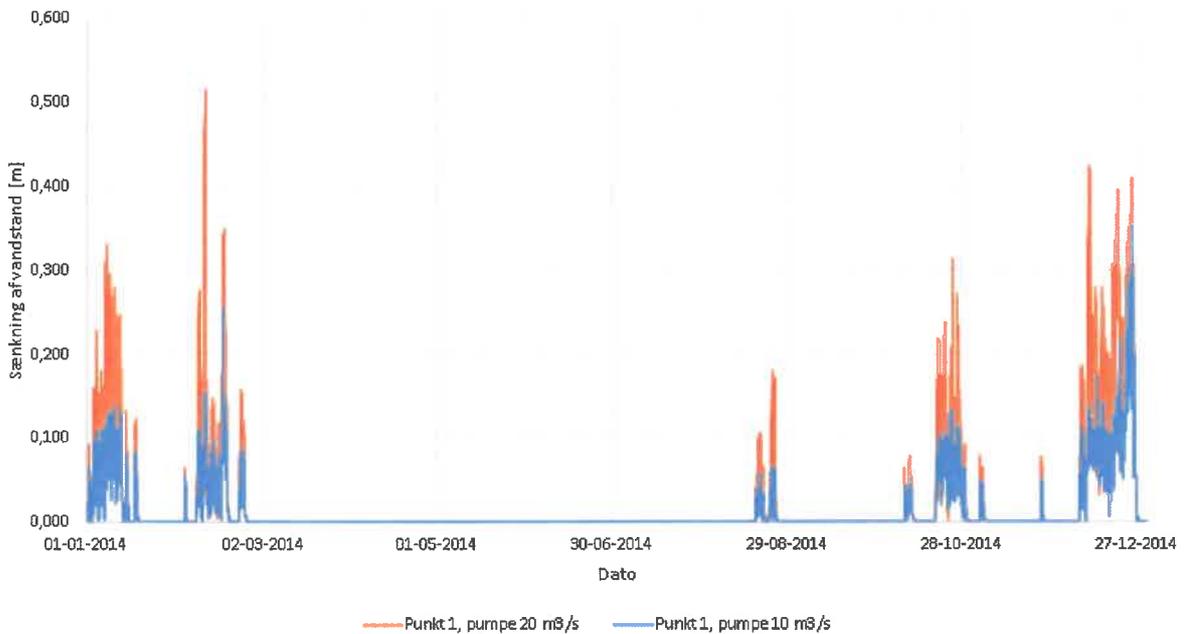
Figur 12. Ballumsluse pumpens simulerede vandafledning i 2014. Scenarie 1a og 1b er vist.

I perioderne hvor pumpen ved Ballumslusen har været startet, ses det i punkt 1 og 2 (jf. figur 13) at vandstanden i vandløbet sænkes. Vandstanden i punkt 1 sænkes med op imod 0,35 m og 0,50 m med en pumpe på hhv. 10 m<sup>3</sup>/s og 20 m<sup>3</sup>/s, se figur 14. Den gennemsnitlige sænkning af vandstanden, når pumpen er startet, er i punkt 1 ca. 0,06 m og 0,1 m for en pumpe med en kapacitet på hhv. 10 m<sup>3</sup>/s og 20 m<sup>3</sup>/s. I punkt 2 sænkes vandstanden i vandløbet med op imod 0,25 m og 0,45 m. Den gennemsnitlige sænkning af vandstanden, når pumpen er startet, er i punkt 2 ca. 0,05 m og 0,09 m for en pumpe med en kapacitet på hhv. 10 m<sup>3</sup>/s og 20 m<sup>3</sup>/s. Bemærk, at de angivne sænkninger er baserede på simuleringer, og de kan derfor ikke forventes at være eksakte. Det forventes dog, at sænkningerne vil være i den angivne størrelsesorden.

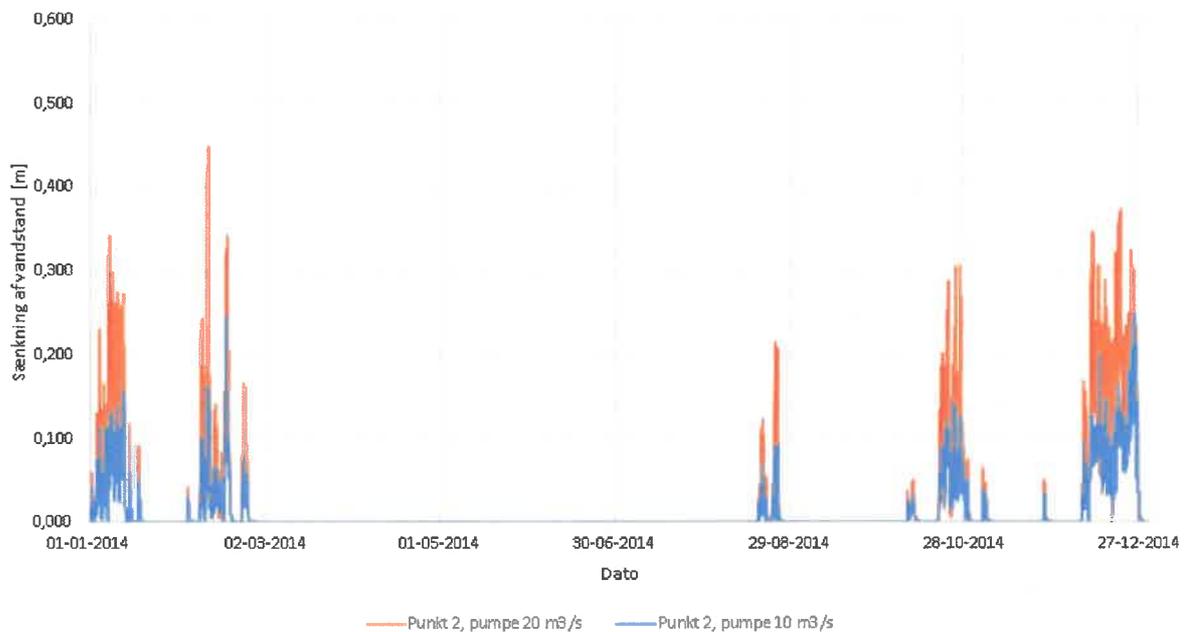
Punkt 3 på figur 13 angiver skellet, hvor sammenligninger af tidsserierne for vandstanden i 2014 mellem referencescenariet og hhv. scenarie 1a og scenarie 1b viser, at opstrøms punkt 3 er der ingen effekt af at indsætte pumper med undersøgte kapacitet ved Ballumsluse. Nedstrøms punkt 3 ses en effekt af pumperne i Brede Å. En del af effekten omkring Bredebro skyldes formodentlig en hurtigere afvikling af oversvømmelser ift. reference scenariet. Modellens tidlige opløsning er dog begrænsende ift. at kunne undersøge dette nærmere. Bemærk det ikke er undersøgt, hvor langt opstrøms effekten er i sidetilløbene nedstrøms punkt 3.



Figur 13. Punkter i Brede Å, hvor sænkningen af vandstanden er vist i figur 14 og 15 pga. effekten af pumper ved Ballumsluse.



**Figur 14.** Sænkning af vandstanden i punkt 1 (se figur 13) ved at indsætte en pumpe med en kapacitet på hhv. 10 m<sup>3</sup>/s og 20 m<sup>3</sup>/s ved Ballumsluse ift. referencescenariet. Vandstandssænkningen er vist for år 2014.



**Figur 15.** Sænkning af vandstanden i punkt 2 (se figur 13) ved at indsætte en pumpe med en kapacitet på hhv. 10 m<sup>3</sup>/s og 20 m<sup>3</sup>/s ved Ballumsluse ift. referencescenariet. Vandstandssænkningen er vist for år 2014.

Tabel 2 viser en sammenligning af reference scenariet med hhv. scenarie 1a (pumpe 10 m<sup>3</sup>/s) og scenarie 1b (pumpe 20 m<sup>3</sup>/s) i punkt 1 og 2 (jf. figur 13). Sammenligningen undersøger, hvor lang tid vandstandskoten er under hhv. terrænkoten og en estimeret drænkote i perioderne, hvor pumpen er i drift i løbet af 2014. Tabel 2 viser, at i punkt 1 er vandstandskoten i referencescenariet under terrænkote i 76,4% af tiden i sammenligningsperioden. For samme periode er vandstandskoten under terrænkote i 96,1% af tiden i scenarie 1a. Derved kan en pumpe på 10 m<sup>3</sup>/s (under de simulerede betingelser) ved Ballumslusen sikre at vandstanden i vandløbet oftere holdes under terræn ift. reference scenariet, i perioder hvor vandløbets kapacitet er under pres. Lignende tal er gældende for de andre sammenligninger. I punkt 2 er forskellen mellem reference scenariet og hhv. scenarie 1a og scenarie 1b mindre end i punkt

1, da der i referencescenariet ikke er oversvømmelser så ofte. Yderligere ses det, at i punkt 1 og punkt 2 vil hverken en pumpe med en kapacitet på 10 m<sup>3</sup>/s eller 20 m<sup>3</sup>/s kunne sikre yderligere friholdelse af drænen ift. reference scenariet. I løbet af hele år 2014 er den simulerede vandstandskote dog under drænkoten ca. 60 % af året i punkt 1 og ca. 67 % af året i punkt 2.

**Tabel 2.** Sammenligning af hvor lang tid i procent vandstandskoten er under henholdsvis terrænkoten og den estimerede drænkote i reference scenariet ift. hhv. scenarie 1a og scenarie 1b i perioden hvor pumpen er i drift i de respektive scenarier for punkt 1 og punkt 2 (jf. figur 13). Terrænkote og drænkoten er angivet. Drænkoten er estimeret til at ligge 0,75 m under terræn.

| Punkt | Terrænkote [m] | Drænkote* [m] | Scenarie  | Vandstandskote under terrænkote i perioderne hvor pumpen er i drift [%] | Vandstandskote under drænkote i perioderne hvor pumpen er i drift [%] |
|-------|----------------|---------------|---|---|---|
| 1     | 1,2            | 0,45          | Reference / Scenarie 1a: Pumpe 10 m <sup>3</sup> /s | 76,4 / 96,1   | 0 / 0   |
|       |                |               | Reference / Scenarie 1b: Pumpe 20 m <sup>3</sup> /s | 72,2 / 100  | 0 / 0   |
| 2     | 1,4            | 0,65          | Reference / Scenarie 1a: Pumpe 10 m <sup>3</sup> /s | 98,1 / 100  | 0 / 0   |
|       |                |               | Reference / Scenarie 1b: Pumpe 20 m <sup>3</sup> /s | 97,7 / 100  | 0 / 0   |

\* Estimeret til 0,75 m under terræn.

Ønskes en pumpe at have effekt i perioder ud over perioder med relative store afstrømninger kan pumpen justeres til at starte før end vandstanden ved Ballumslusen når kote 1 m. For eksempel vil en pumpe på 10 m<sup>3</sup>/s, som starter, når vandstanden ved Ballumslusen er i kote 0,5 m, og stopper igen, når vandstanden er faldet til kote 0,5 m være i drift ca. 36 % af tiden i år 2014 (ca. 133 dage ud af 365 dage). Dermed vil pumpen få større effekt i det daglige.

### Konklusion

Modellsimuleringerne har hovedsageligt haft til formål at sænke vandstanden i Brede Å systemet under større afstrømningshændelser. Der har som udgangspunkt været fokus på en større afstrømningshændelse i december 2014, hvor modellsimuleringen viste en oversvømmelse af 1196 ha vandløbsnære arealer (tabel 3). Resultaterne af modellsimuleringerne viste tydeligt, at ingen af de ovenstående tiltag kan holde vandstanden i Brede Å under vandløbets bredder under en hændelse som i december 2014 alle steder. Alle tiltag vil dog have en positiv effekt ift. at reducere det oversvømmede areal under hændelsen i delområde 1 (jf. tabel 3).

**Tabel 3.** Oversigt over hektar oversvømmede arealer den 24. december 2014 kl. 12 i henhold til de simulerede scenarier samt det reducerede oversvømmelsesareal ift. reference scenariet.

|   | Total oversvømmet areal [ha]* | Reduceret oversvømmet areal ift. reference scenariet [ha] |
|---|-------------------------------|---|
| Reference scenariet                     | 1196                          | -   |
| Scenarie 1a: Pumpe 10 m <sup>3</sup> /s | 924                           | 272   |
| Scenarie 1b: Pumpe 20 m <sup>3</sup> /s | 871                           | 325   |
| Scenarie 2: Dobbelt sluse               | 951                           | 245   |
| Scenarie 3: Afkoblet vandløb            | 813                           | 383   |

\* Arealet af det oversvømmede areal kan være overestimeret, som et resultat af metoden modellen overfører vandstanden til terrænmodellen på.

I delområde 2 påvirkes oversvømmelsens udbredelse eller vandstand ikke af de simulerede tiltag. Analyser af tidsserier for vandstanden indikerer dog, at oversvømmelser afvikles hurtigere i den nedre del af delområde 2 i scenarierne ift. reference scenariet. Modellens tidslige opløsning er dog begrænsende ift. at kunne undersøge dette nærmere.

At indsætte en pumpe ved Ballumslusen er det mest sandsynlige tiltag. En pumpe ved Ballumsluse med en kapacitet på 10 m<sup>3</sup>/s vil kunne reducere det oversvømmede areal med 272 ha ift. reference scenariet, mens en pumpe med en kapacitet på 20 m<sup>3</sup>/s vil kunne reducere det oversvømmede areal med 325 ha ift. reference scenariet (jf. tabel 3).

En analyse af pumpens driftstid i år 2014 viser, at en pumpe på 10 m<sup>3</sup>/s ved Ballumsluse vil være i drift 10,2 % af tiden i år 2014 (37 dage ud af 365 dage). En pumpe på 20 m<sup>3</sup>/s vil være i drift 8,3 % af året (30 dage ud af 365 dage). Dette når pumperne er styret til at sænke vandstanden i Brede Å systemet under større afstrømningshændelser. Dvs. pumpen starter, når vandstanden ved Ballumslusen er i kote 1 m, og stopper igen, når vandstanden er faldet til kote 0,5 m. I to udvalgte punkter (jf. figur 13) vil pumperne, når de er i drift, medvirke til at øge tiden, hvor vandstanden forbliver under terræn og dermed afværge de fleste oversvømmelser af vandløbsnære arealer. Pumperne vil i de to undersøgte punkter ikke kunne sikre yderligere friholdelse af drænene ift. reference scenariet.

Ønskes pumpen at have effekt i perioder ud over perioder med relative store afstrømninger kan der arbejdes med pumpens startniveau.

#### **Perspektivering i forhold til klimaændringer**

Eksisterende analyser af ændringer i vandafstrømningen i udvalgte danske vandløb viser, at den årlige middelfafstrømning er steget mest i de sønderjyske vandløb, der afvander til Vadehavet. Dette gælder også for Brede Å, hvor stigningen i den årlige afstrømning er +151 mm beregnet over en 79 års periode (1922 – 2001, Larsen et al., 2005). De største stigninger i den gennemsnitlige månedsafstrømning ses i vintermånederne (november til og med april), hvor der er observeret en stigning på mellem ca. 0,06 – 0,1 l/s/km<sup>2</sup>. I maj – oktober er stigningen i den gennemsnitlige månedsafstrømning mellem ca. 0,02 – 0,04 l/s/km<sup>2</sup>. De konstaterede stigninger i afstrømning i vintermånederne skyldes hovedsageligt øget nedbør. I sommerperioden er afstrømningen steget pga. stigende tilskud af vand fra grundvandet pga. en stigende grundvandsdannelse i vinterperioden (Larsen et al., 2005). Dette er højst sandsynligt en af årsagerne til, at der i Brede Å oplandet opleves flere og flere udfordringer med oversvømmelser og afvanding.

I fremtiden forventes nedbøren yderligere at stige i Danmark. DMI forudsiger en stigning i nedbøren på 1,6 % for det milde scenarie og 6,9 % for det høje scenarie i 2081 - 2100 ift. referenceperioden 1986-2006. Herunder forventes den største stigning i nedbøren i vintermånederne, mens sommeren forventes at have længere tørkeperioder men med flere og kraftigere skybrud. Forudsigelserne er meget usikre (DMI, 2014), men det må forventes at kunne medføre en yderligere stigning i afstrømningen i danske vandløb herunder Brede Å. En sådan stigning er der ikke regnet på i ovenstående scenarier, men det bør indtænkes i løsningen.

Desuden bør der i Brede Å systemet, ud over øget nedbør og grundvandsstigning, også indtænkes havvandsstandsændringer ind i en løsning. Til trods for store usikkerheder forventes havvandstanden omkring Danmark at stige 0,1-0,6 m for det mest optimistiske scenarie, 0,2-0,7 m for et middel scenarie og 0,3-0,9 m for det højeste scenarie i perioden 2081 – 2100 ift. referenceperioden 1986 – 2005 (DMI, 2014). Dette vil medføre, at perioden, hvor slusen er lukket, vil øges. Hertil bidrager også forventede ændrede stormflodshøjder.

### **Referencer**

DHI (2016). Afstrømningsmodel for Brede Å's opland, Mike 11 modelopsætning. Teknisk note udarbejdet for Tønder Kommune.

DMI (2014). Fremtidige klimaforandringer i Danmark. Danmarks Klimacenter rapport nr. 6 2014.

Larsen, S.E., Kronvang, B., Ovesen, N.B. og Christensen, O.B., 2005. Afstrømningens udvikling i Danmark. Artikel i Vand & Jord, 12. årgang nr. 1, februar, s. 8 – 13.

# Bilag A

Oversvømmelseskort  
Reference scenarie  
den 24-12-2014 kl. 12:00

## Tegnforklaring

Delområde

Vandløb

Vanddybde [m]

0 - 0,5

0,5 - 1

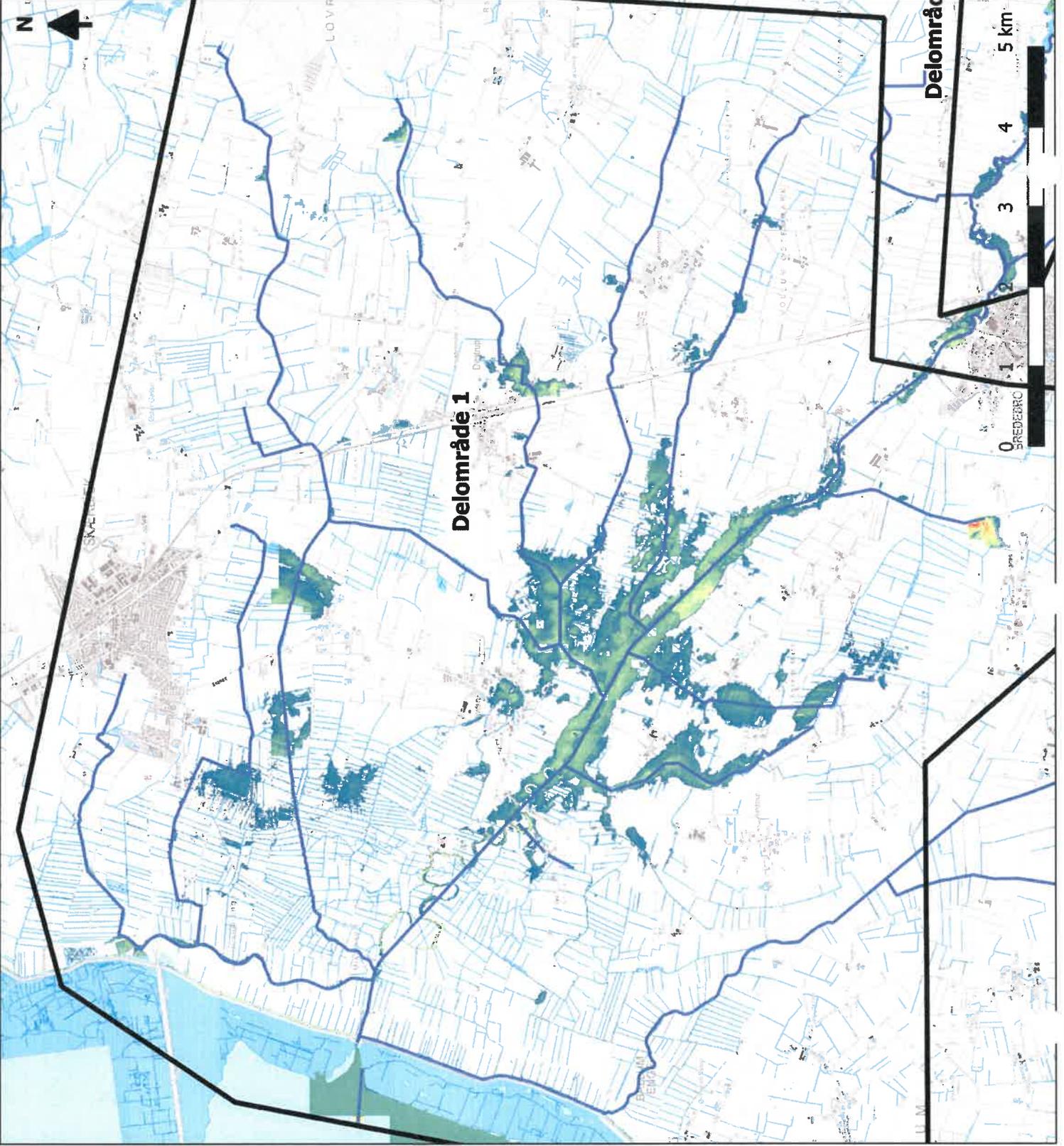
1 - 1,5

1,5 - 2

2 - 2,5

> 2,5

Projekt: Modellering af Brede å  
Dato: 06-09-18  
Udført af: Rila



# Bilag A1

Oversvømmelseskort  
Reference scenarie  
den 24-12-2014 kl. 12:00

## Tegnforklaring

Delområde

Vandløb

Vanddybde [m]

0 - 0,5

0,5 - 1

1 - 1,5

1,5 - 2

2 - 2,5

> 2,5



Projekt: Modellering af Brede å  
Dato: 06-09-18  
Udført af: Rila



# Bilag A2

Oversvømmelseskort  
Reference scenario  
den 24-12-2014 kl. 12:00

## Tegnforklaring

Delområde

Vandløb

Vanddybde [m]

0 - 0,5

0,5 - 1

1 - 1,5

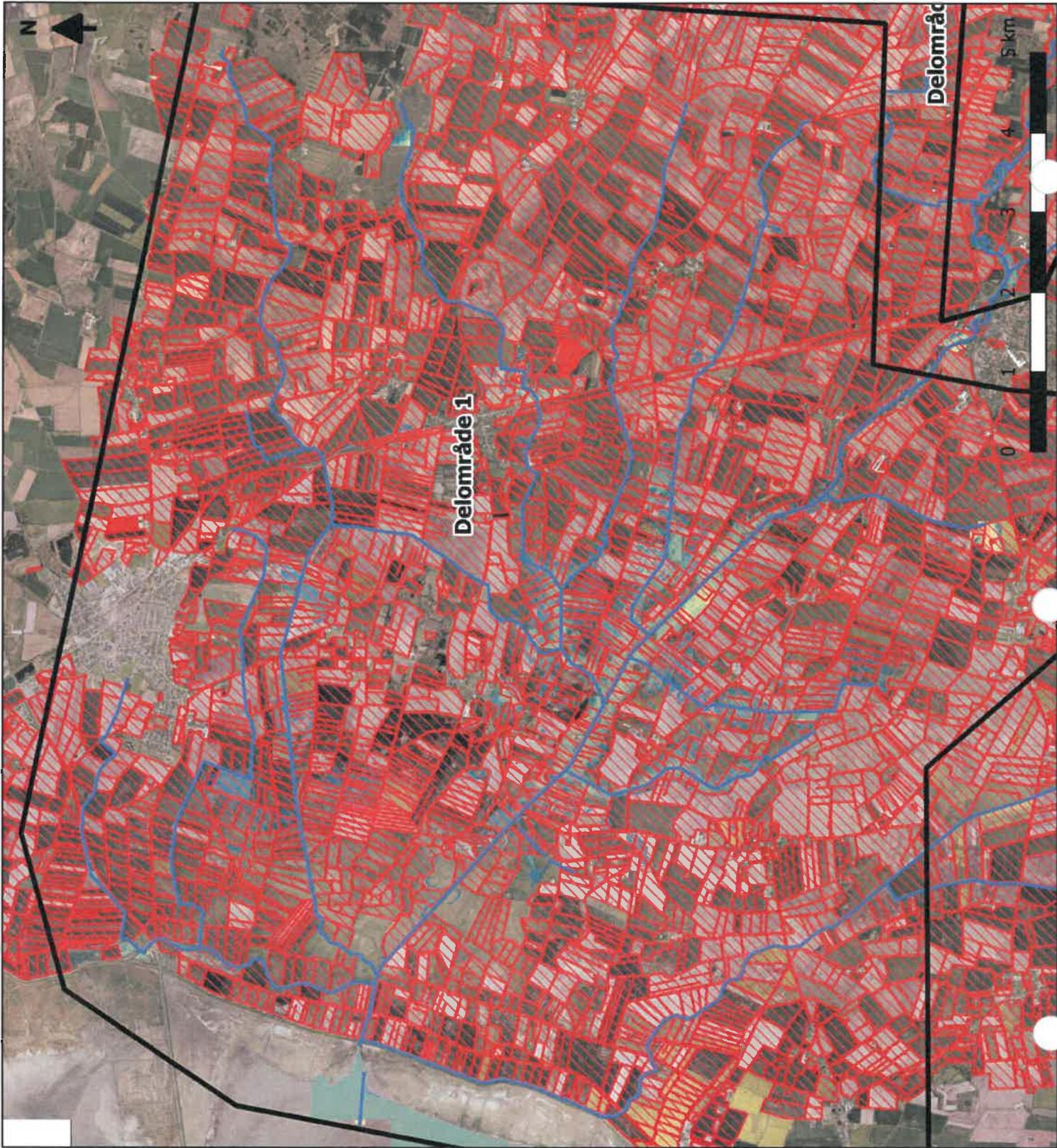
1,5 - 2

2 - 2,5

> 2,5

Omdriftsarealer (2018)

Projekt: Modellering af Brede å  
Dato: 06-09-18  
Udført af: Rilla



# Bilag B

Øversvømmelseskort  
Reference scenarie  
den 24-12-2014 kl. 12:00

## Tegnforklaring

Delområde

Vandløb

Vanddybde [m]

0 - 0,5

0,5 - 1

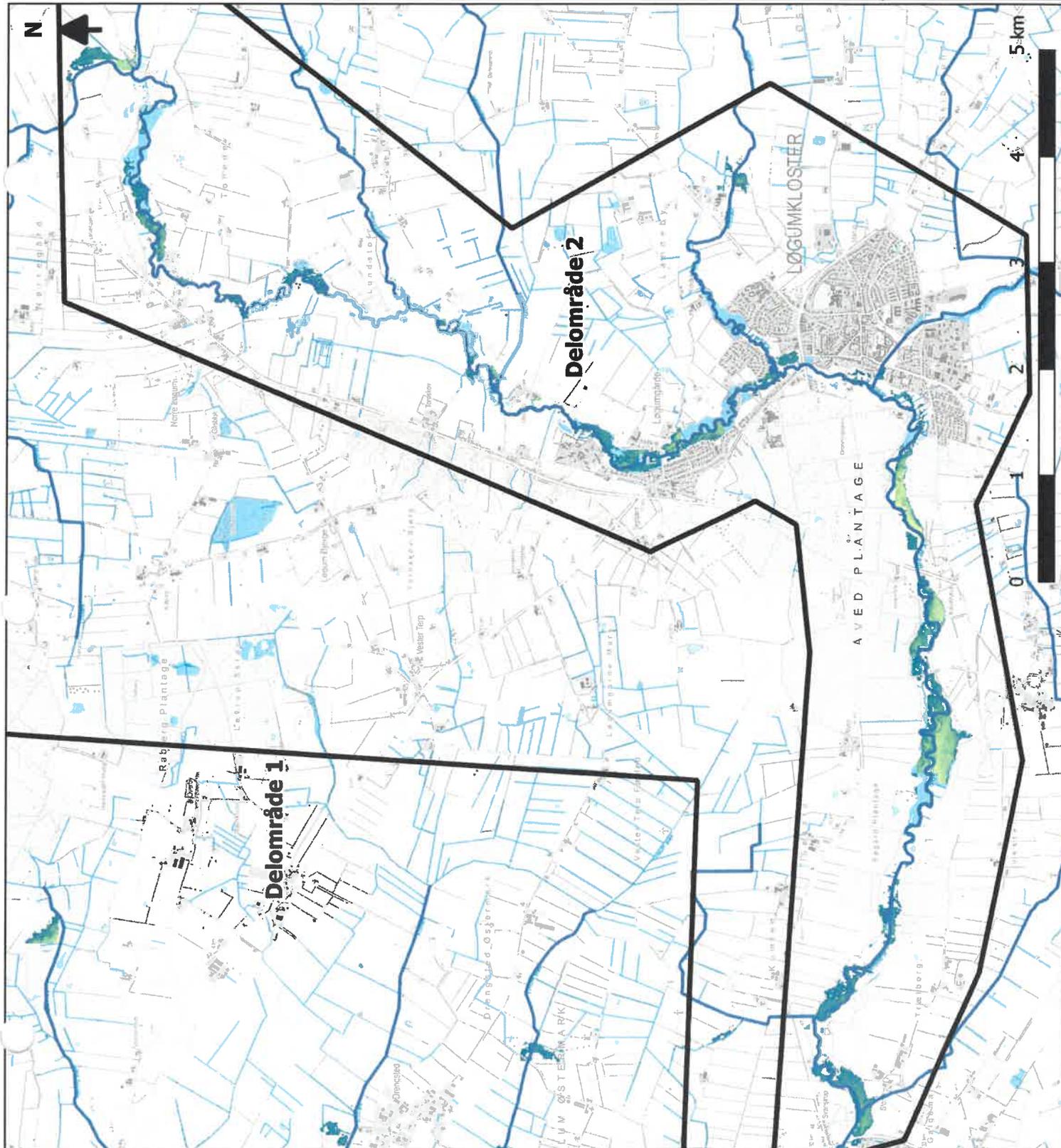
1 - 1,5

1,5 - 2

2 - 2,5

> 2,5

Projekt: Modellering af Brede å  
Dato: 06-09-18  
Udført af: Rila



# Bilag B1

Oversvømmelseskort  
Reference scenarie  
den 24-12-2014 kl. 12:00

## Tegnforklaring

□ Delområde

— Vandløb

Vanddybde [m]

0 - 0,5

0,5 - 1

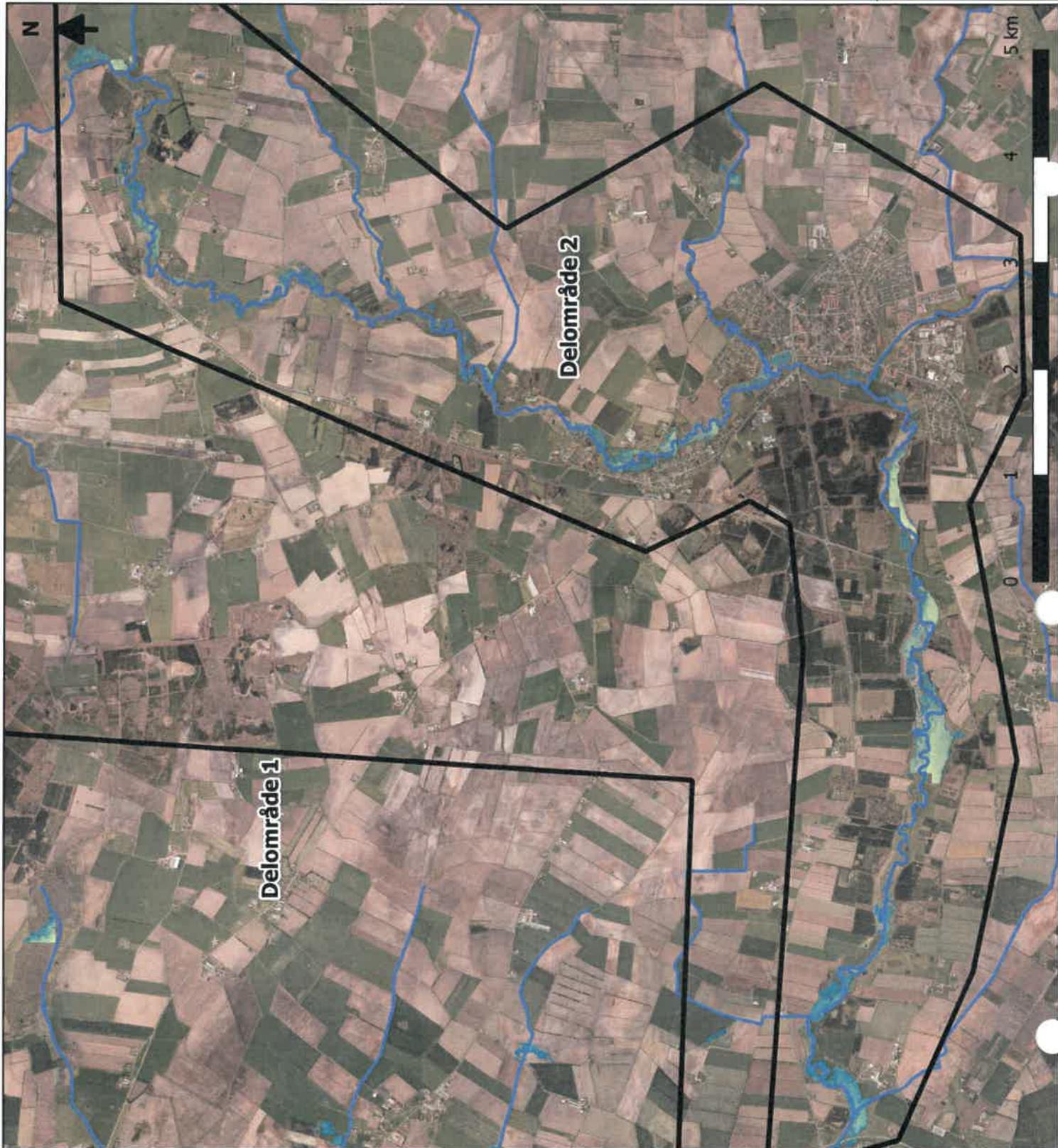
1 - 1,5

1,5 - 2

2 - 2,5

> 2,5

Projekt: Modellering af Brede å  
Dato: 06-09-18  
Udført af: Rila



## Bilag B2

Oversvømmelseskort  
Reference scenarie  
den 24-12-2014 kl. 12:00

### Tegnforklaring

Delområde

Vandløb

Vanddybde [m]

0 - 0,5

0,5 - 1

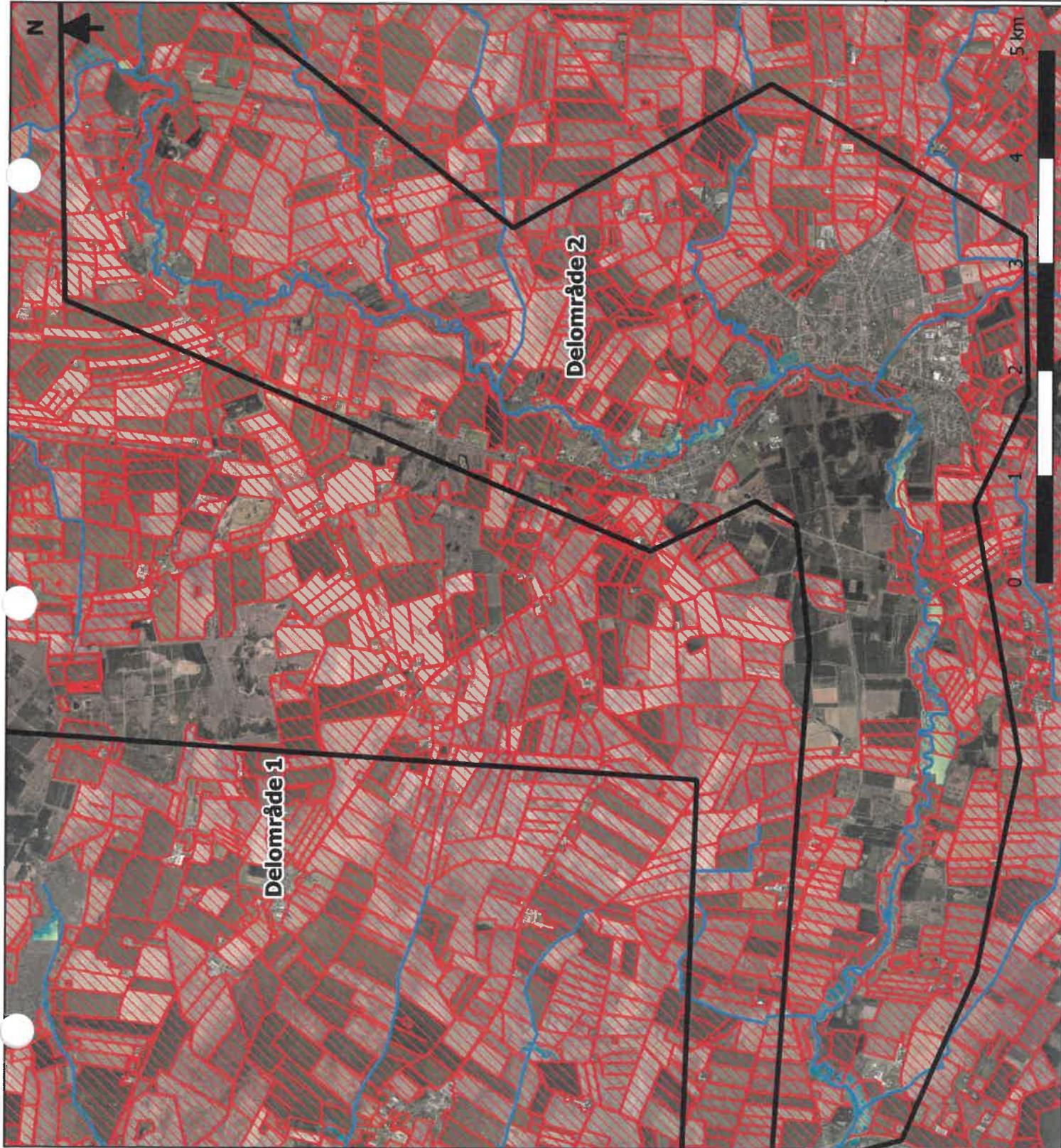
1 - 1,5

1,5 - 2

2 - 2,5

> 2,5

Omdriftsareal (2018)



Projekt: Modellering af Brede å  
Dato: 06-09-18  
Udført af: Rila



# Bilag C

Oversvømmelseskort  
Scenarie 1a: Pumpe 10  
m3/s den 24-12-2014 kl.  
12:00

## Tegnforklaring

Delområde

Vandløb

Vanddybde [m]

0 - 0,5

0,5 - 1

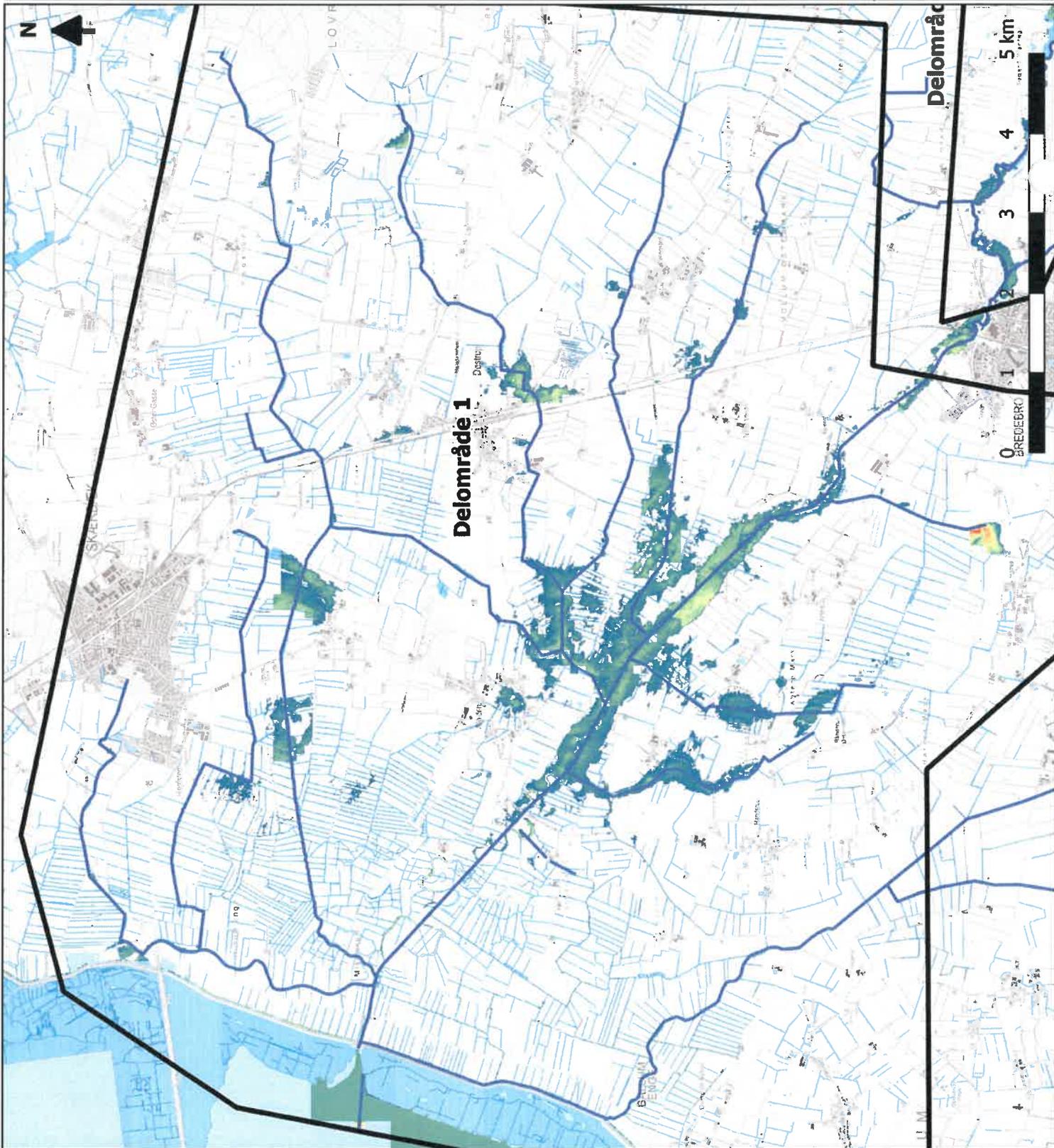
1 - 1,5

1,5 - 2

2 - 2,5

> 2,5

Projekt: Modellering af Brede å  
Dato: 06-09-18  
Udført af: Rila



## Bilag D

Oversvømmelseskort  
Scenarie 1b: Pumpe 20  
m3/s den 24-12-2014 kl.  
12:00

### Tegnforklaring

Delområde

Vandløb

Vanddybde [m]

0 - 0,5

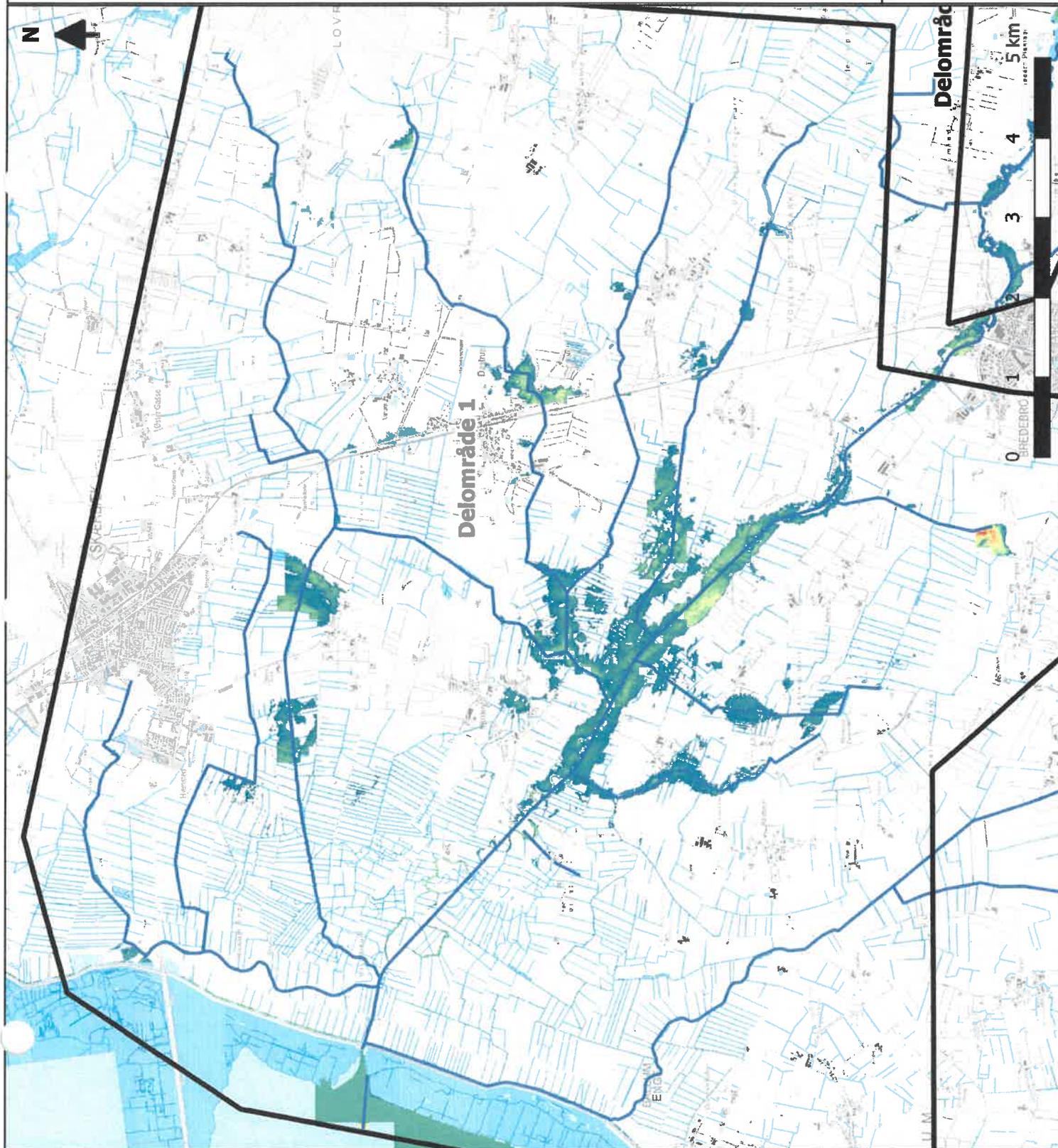
0,5 - 1

1 - 1,5

1,5 - 2

2 - 2,5

> 2,5



Projekt: Modellering af Brede å  
Dato: 06-09-18  
Udført af: Rila



# Bilag E

Oversvømmelseskort  
Scenarie 2: Dobbelt sluse  
den 24-12-2014 kl. 12:00

## Tegnforklaring

Delområde

Vandløb

Vanddybde [m]

0 - 0,5

0,5 - 1

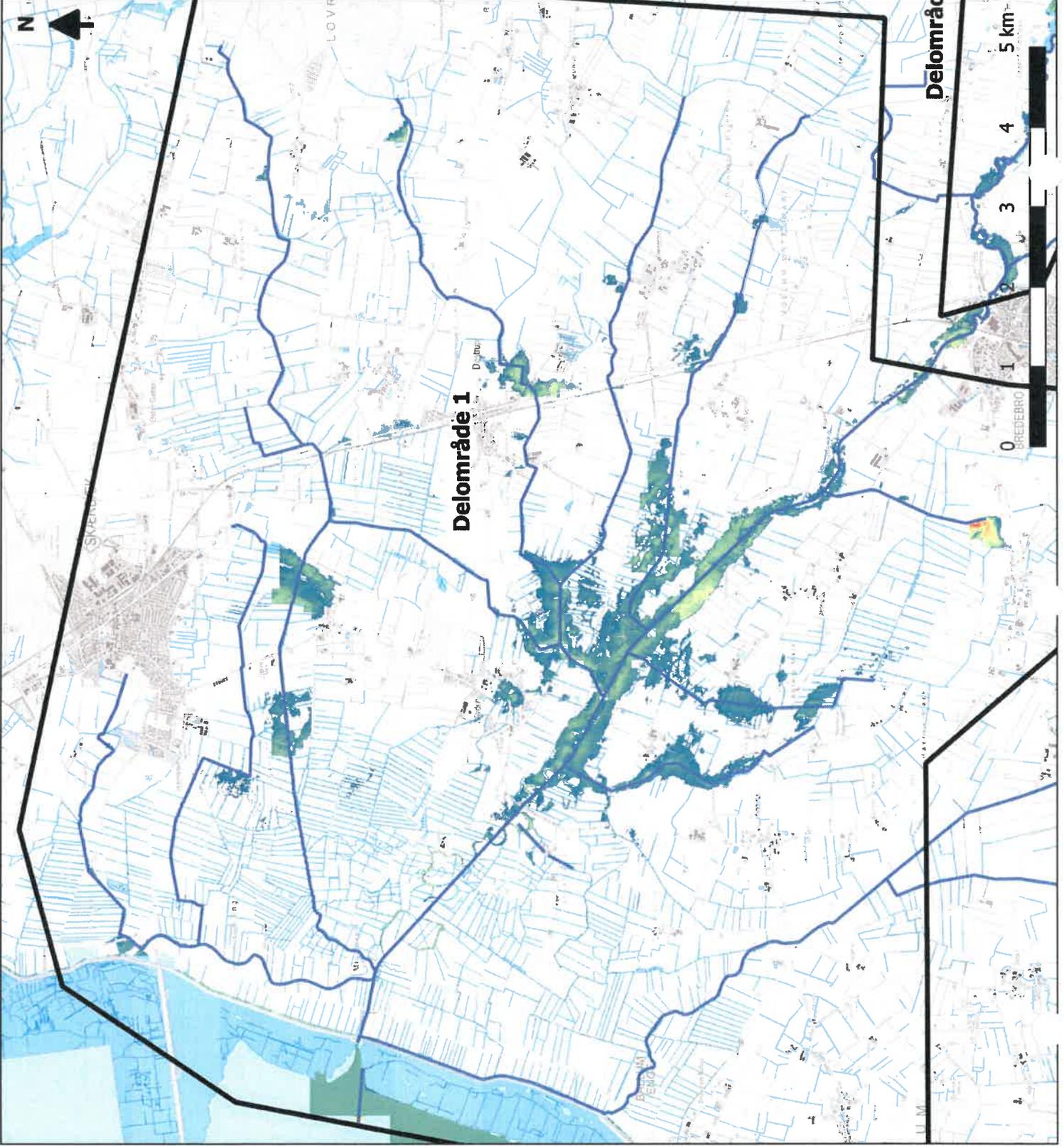
1 - 1,5

1,5 - 2

2 - 2,5

> 2,5

Projekt: Modellering af Brede å  
Dato: 06-09-18  
Udført af: Rila



# Bilag F

Oversvømmelseskort  
Scenarie 3: Afkoblet  
vandløb den 24-12-2014 kl.  
12:00

## Tegnforklaring

 Delområde

 Vandløb

 Afkoblede vandløb

Vanddybde [m]

 0 - 0,5

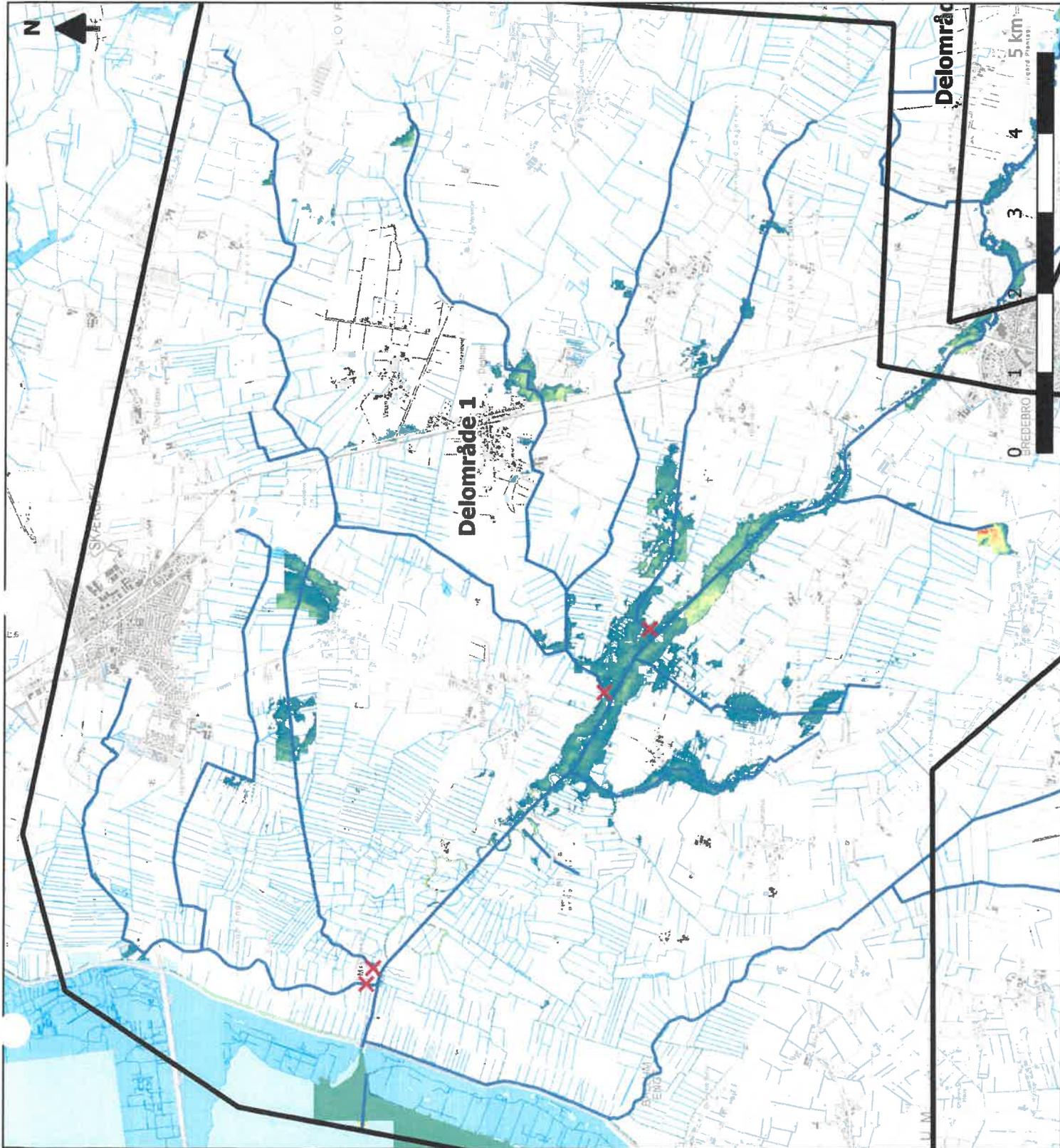
 0,5 - 1

 1 - 1,5

 1,5 - 2

 2 - 2,5

 > 2,5



Projekt: Modelering af Brede å  
Dato: 06-09-18  
Udført af: Rila



