

# Modellering af det terrænnære grundvand i Aabenraa

Jacob Kidmose, Agnieszka T Bentzen og  
Jon Bue Probst Gulfeldt

Blue Transition

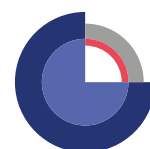
Interreg  
North Sea



Co-funded by  
the European Union



CLIMATE RESILIENCE,  
BIODIVERSITY AND  
POLLUTION



# Modellering af det terrænnære grundvand i Aabenraa

Jacob Kidmose, Agnieszka T Bentzen og  
Jon Bue Probst Gulfeldt

Blue Transition

Interreg  
North Sea



Co-funded by  
the European Union



CLIMATE RESILIENCE,  
BIODIVERSITY AND  
POLLUTION



## Indhold

|            |                                                 |           |
|------------|-------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b>  | <b>Forord</b>                                   | <b>3</b>  |
| <b>2.</b>  | <b>Baggrund</b>                                 | <b>4</b>  |
| <b>3.</b>  | <b>Grundvandsmodel</b>                          | <b>6</b>  |
| <b>4.</b>  | <b>Scenarier</b>                                | <b>9</b>  |
| <b>5.</b>  | <b>Resultater</b>                               | <b>11</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Klima scenarier</b>                          | <b>12</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Strømpeforing</b>                            | <b>17</b> |
| <b>5.3</b> | <b>Grundvandsdræn</b>                           | <b>19</b> |
| <b>5.4</b> | <b>Naturgenopretning</b>                        | <b>21</b> |
| <b>5.5</b> | <b>Partikelbane simuleringer</b>                | <b>22</b> |
| <b>6.</b>  | <b>Konklusion</b>                               | <b>27</b> |
|            | <b>Referencer</b>                               | <b>28</b> |
|            | <b>Bilag A Modelkalibrering</b>                 | <b>29</b> |
|            | <b>Bilag B Havniveaustigninger ved Aabenraa</b> | <b>30</b> |
|            | <b>Bilag C Detailkort over partikelbaner</b>    | <b>31</b> |
|            | <b>Bilag D Detailkort over grundvandsstand</b>  | <b>39</b> |

# 1. Forord

Region Syddanmark og GEUS har samarbejdet om at vurdere udfordringerne i forbindelse med klimaforandringernes påvirkning af det terrænnære grundvand i Aabenraaområdet, herunder i selve Aabenraa by. Herudover viser tidligere bynære undersøgelser, f.eks. fra projektet TopSoil (Rasmussen et al., 2023), at en række andre faktorer end klimaforandringer kan påvirke den terrænnære grundvandsstand betydeligt. Ændringer i den terrænnære grundvandsstand kan have betydning for spredningen af forureningsfaner fra jordforureninger i de øverste meter af jordlagene i en grad, der kan være afgørende for regionens undersøgelser, afværgeindsatser og fremtidige risikovurderinger. Nærværende rapport beskriver resultaterne af grundvandsmodelleringen af Aabenraa by, hvor påvirkningen fra klimaforandringer samt forskellige klimatilpasningstiltag, såsom tætning af kloakker, etablering af grundvandsdræn under bycenteret eller et naturgenopretningsprojekt i byområdet, vurderes under forskellige scenarier.



## 2. Baggrund

Kystnære byområder placeret ved udmundingen af vandløb er udsat for oversvømmelser af flere årsager, herunder havstigning, skybrud og øget nedbør samt stigende grundvand. Den fremtidige nedbør i Danmark forventes at stige med ca. 7 % på årsbasis og 12 % i vinterhalvåret i perioden 2071-2100 sammenlignet med referenceperioden 1981-2010. Øgede nedbørsmængder skaber særligt i vinterperioden udfordringer med stigende grundvand, som trænger ind gennem utætte kloakker og øger belastningen på afløbssystemerne. Desuden kan grundvandet trænge ind i kældre, hvilket kan medføre problemer med fugt og skimmel samt beskadige bygninger, veje og andre anlæg.

For at forebygge problemer med overskydende vand i kloaksystemerne er kommuner og spildevandsselskaber i gang med at udskifte eller tætte nedslidte kloakrør. Mange steder gennemføres der desuden kloakseparering. Det kan medføre, at grundvandsstanden stiger i disse områder, fordi grundvandet ikke længere drænes gennem de utætte kloakrør. Det betyder, at en stigende grundvandsstand i nogle tilfælde kan være en konsekvens af de samme tiltag, der gennemføres for at forhindre overbelastning af kloaksystemerne som følge af store regnhændelser eller indtrængende grundvand.

Hidtil har ansvaret for håndtering af grundvand på private grunde ligget hos grundejerne, mens spildevandsselskaber og kommuner har haft ansvaret for håndtering af vand på offentlige arealer.

I forbindelse med den nye lov om håndtering af det terrænnære grundvand fra 2025 ([lov nr. 742](#)) forventes der en implementering, som muliggør kollektive løsninger i byerne med henblik på at forebygge skader på bygninger og ejendomme som følge af højtstående grundvand. En mulig grundvandssænkende foranstaltning er etablering af drænrør i jorden (den tredje ledning – grundvandsdræn), som kan lede overskydende grundvand væk. Ved etablering af en tredje ledning kan grundvandsstanden sænkes til et ønsket niveau.

De kollektive løsninger vil kunne etableres i separatkloakerede områder, hvor kommunen vurderer, at der er udfordringer med terrænnært grundvand. Hvis tiltagene samtidig vurderes at være samfundsøkonomisk hensigtsmæssige, vil spildevandsselskaberne kunne gennemføre de grundvandssænkende tiltag.

Region Syddanmark arbejder primært med at undersøge, risikovurdere og, hvis nødvendigt, afværge risikoen fra herreløse forureninger, der stammer fra virksomheder, eksempelvis utætte tanke, lossepladser, tidligere renserier, fabrikker eller autoværksteder. De fleste forureningskilder ligger i byområder og befinder sig i jorden i kontakt med, og i det terrænnære grundvand. Spredningen af de forurenende stoffer afhænger af både stoftype og jordtype, men kildernes placering i forhold til grundvandet er særligt afgørende. Ændringer i grundvandsspejlet kan således ændre redoxforholdene, medføre mobilisering af forurenende stoffer samt ændre spredningsretningen og/eller hastigheden af forureningsfaner. Dette kan påvirke regionens vurdering af risikoen for forureningen.

Ud over at undersøge, hvordan klimabetingede stigninger i grundvandsstanden påvirker punktkilder til forurening, er der derfor behov for at forholde sig til menneskeskabte faktorer og undersøge:

1. Hvordan klimatilpasningstiltag i form af strømpeforing eller kloakseparering påvirker og ændrer grundvandsstanden.
2. Hvordan klimatilpasningstiltag i form af naturgenopretning og projekter, der har til formål at "invitere vandet ind i byen", påvirker det terrænnære grundvand og de forureningsfaner, der befinder sig i området.
3. Hvordan grundvandssænkende tiltag, såsom etablering af en tredje ledning, ændrer det terrænnære grundvands interaktion med potentielle punktkilder til forurening.

Udgangspunktet for projektet er en eksisterende grundvandsmodel, som GEUS har udarbejdet for et byområde i en af de sydjyske byer. Modellen er specifikt udviklet til at simulere klimaforandringernes påvirkning af det terrænnære grundvand i byområder. Den er optimeret til beregning af det terrænnære grundvand samt til vurdering af, hvordan grundvandsforholdene påvirkes af forskellige klimatilpasningstiltag som beskrevet ovenfor.

Den gennemførte modellering skal belyse, hvordan både klimaforandringer og klimatilpasningstiltag kan påvirke spredningen af forureninger i byområder. Resultaterne skal anvendes i regionens arbejde med en strategi for klimarobust håndtering af punktkilder samt understøtte robuste risikovurderinger.

Et yderligere formål med modelleringen er at identificere og beskrive mulige løsninger på udfordringerne med højtstående grundvand i bebyggede områder. På baggrund af resultaterne skal der udarbejdes anbefalinger til regionens sagsbehandlere samt forslag til samarbejdsaftaler med kommuner og spildevandsselskaber om håndtering af klimaforandringernes påvirkning af byområder. I dette arbejde vil der blive taget højde for potentielle påvirkninger af punktkilder til jord- og grundvandsforurening.

I afsnittet *Scenarier* præsenteres de aftalte scenarier med udgangspunkt i ovenstående.

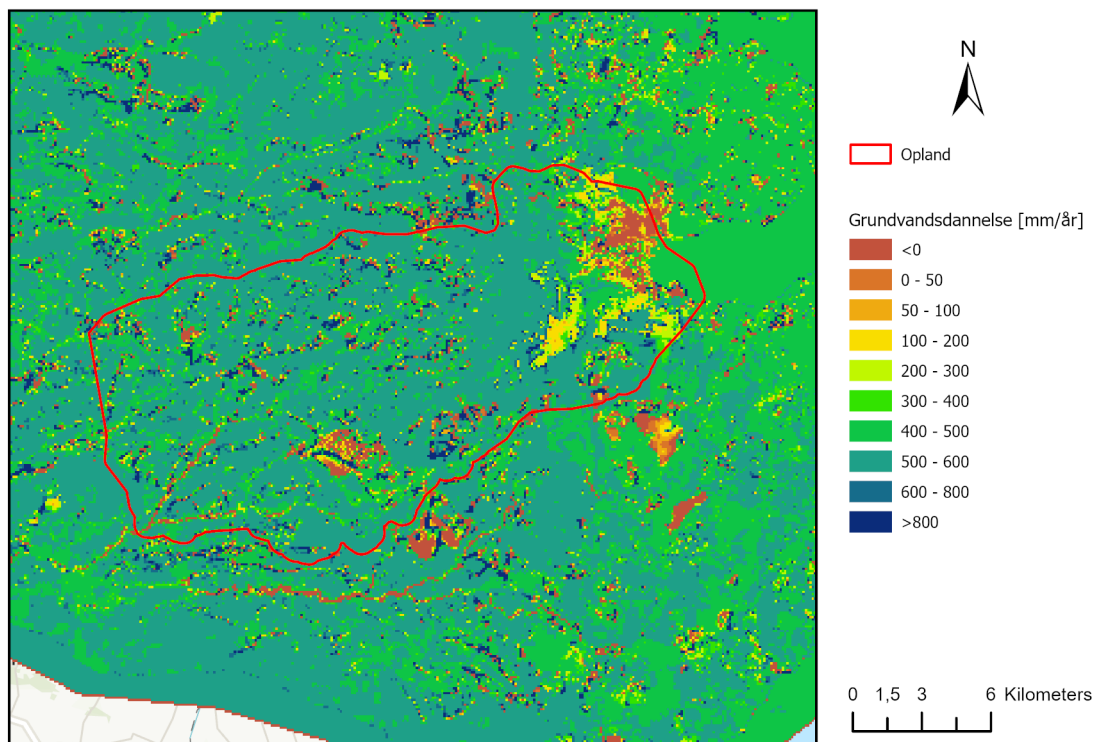
### 3. Grundvandsmodel

Grundvandsmodellen for området ved og omkring Aabenraa er opstillet med henblik på at beskrive det terrænnære grundvand og dets dynamik. Modellen er udviklet i programmet Groundwater Modelling System (GMS) og anvender beregningskoden MODFLOW-USG, som muliggør anvendelse af et irregulært grid. Modelområdet dækker ca. 273,5 km<sup>2</sup> og omfatter både Bylderup-Bov- og Aabenraa-oplandene for at kunne simulere eventuelle grundvandsudvekslinger på tværs af den Jyske Højderyg.

Til modellering af Aabenraa by er der opstillet en særlig version af modellen, hvor gridopløsningen i byområdet er væsentligt finere (12,5 × 12,5 m).

Den geologiske opbygning er baseret på en detaljeret 3D-geologisk model (Sandersen et al., 2026), som kombinerer nye geofysiske data, boringer og eksisterende modeller. Modellen består af 23 lag, hvor de øvre lag er særligt detaljerede for at kunne beskrive det terrænnære grundvand. Hvert geologisk lag er direkte omsat til et beregningslag i grundvandsmodellen.

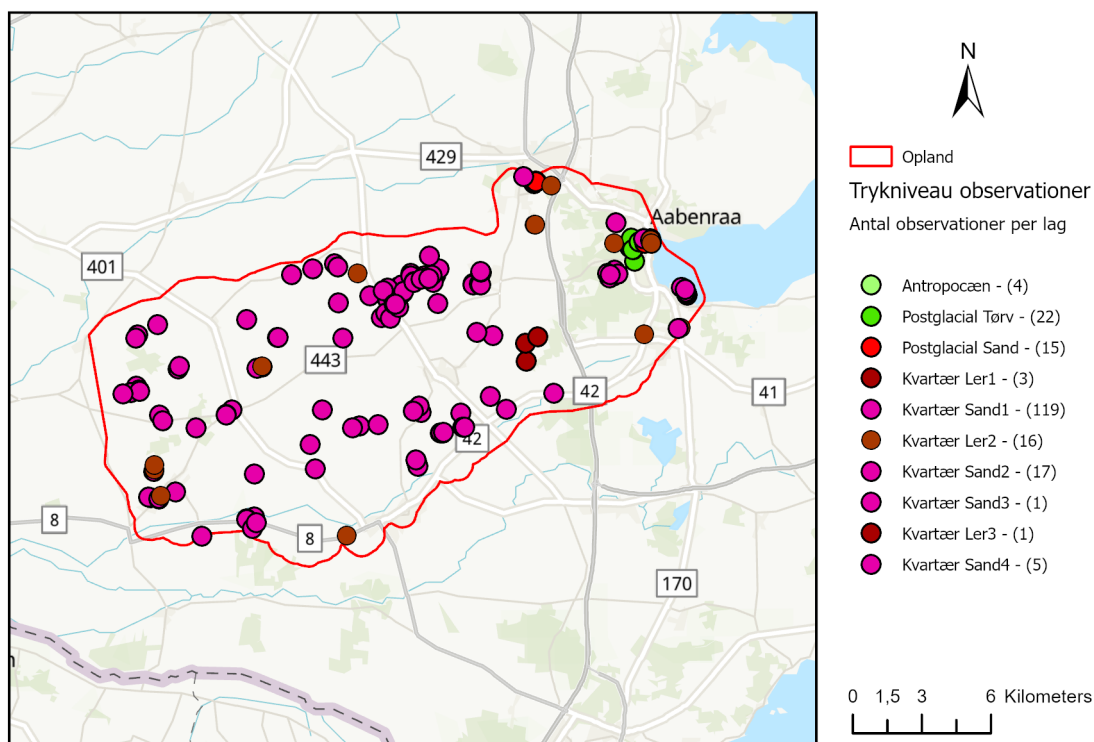
Den hydrologiske del af modellen omfatter centrale processer som grundvandsdannelse, vandløbsinteraktion, dræning og indvinding. Inputdata for grundvandsdannelse (Figur 1), vandløb og oppumpning stammer primært fra den nationale hydrologiske model (DK-modellen). Grundvandsdannelsen varierer over tid og er fordelt rumligt med høj opløsning (Figur 1).



Figur 1 Grundvandsdannelse for hele modelområde med Aabenraa by i nordøstligt hjørne. Fra Gulfeldt et al., 2026. Opløsning 100 x 100 m.

Modellen anvender et varierende grid med en grundopløsning på  $100 \times 100$  m, men med den væsentligt finere opløsning under Aabenraa by, hvor gridopløsningen er ned til  $12,5 \times 12,5$  m. Dette gør det muligt at beskrive lokale variationer i grundvandsstanden mere detaljeret. Randbetingelserne omfatter blandt andet et fastholdt trykniveau ved kysten samt no-flow-grænser langs modelranden.

Kalibreringen er gennemført i to trin: Først er den stationære model automatisk kalibreret ved hjælp af PEST (automatisk parameterestimation), hvorefter den dynamiske model er manuelt kalibreret på baggrund af daglige tidsserier. Kalibreringen er baseret på observationer af grundvandsstanden (hydraulisk trykniveau), hvor der er taget højde for usikkerheder og vægtning af data (Figur 2). Forud for kalibreringen er der gennemført en sensitivitsanalyse med henblik på at identificere de mest betydende parametre. For Aabenraa by er der desuden gennemført en lokal optimering med henblik på at tilpasse parametrene i det øverste modellag og optimere modellen i forhold til lokale observationer.



Figur 2 Observation af trykniveau brugt til kalibrering. Tal i parentes angiver antal lokationer hvor der i det angivne geologiske lag er observationer. Fra (Gulfeldt et al., 2026)

Samlet set er modellen opbygget som en detaljeret, fysisk baseret beskrivelse af grundvandssystemet, hvor geologi, hydrologi og menneskelige påvirkninger integreres med henblik på at analysere både de nuværende forhold og fremtidige scenarier.

Ud over de ovenstående specifikke forhold for Aabenraa-modellen findes der en beskrivelse af de generelle forhold vedrørende grundvandsmodellen i Gulfeldt et al., 2026 samt af den bagvedliggende geologiske model i Sandersen et al., 2026.

Modellen er kalibreret med en middelfejl (ME) på -10 cm for alle observationer. Det betyder, at modellen i gennemsnit simulerer en grundvandsstand, der er 10 cm højere, end hvad der er observeret i observationsboringerne. Modellen simulerer således grundvandsstanden 10 cm for højt. Middelværdien af kvadratafgivelsessummen (RMS) er på 72 cm på samme boringer. RMS beregnes som kvadratroden af middelværdien af de kvadrerede fejl for de enkelte observationer.

Samlet set vurderes modellens fejl som meget tilfredsstillende for et modelområde af denne størrelse og med den store variation i topografi og geologi. Modellen vurderes derfor at være egnet til at beregne effekten af relevante klimatilpasningsscenarier.

## 4. Scenarier

GEUS har sammen med Region Syddanmark defineret en række relevante scenarier for den fremtidige udvikling af Aabenraa by samt klimaforandringer med henblik på at undersøge deres påvirkning af det terrænnære grundvandsspejl og forureningsforholdene ved en lokalitet i Aabenraa. Nedenstående liste beskriver de forskellige klima- og tilpasningsscenarier.

### Klimascenarier:

- Der køres 3 forskellige RCP 8.5 scenarier for en 30 års fremtidsperiode, 2071-2100, som sammenlignes med en kørsel for nutidsperioden 1991-2020, for de samme klimamodeller.
- De valgte 3 klimamodeller repræsenterer for fremtiden en overvejende tør, våd og medianmodel:
- EC-EARTH-RACMOE22E – model med lav nedbørsfremskrivning (Tør). Modellen har for hele modelområdet 6 % mere nedbør for den fremtidige periode.
- HadGEM2-ES\_RC4A – model med høj nedbørsfremskrivning (Våd). Modellen har for hele modelområdet 20 % mere nedbør for den fremtidige periode.
- MPI-ESM-LR\_REMO2009 – model med gennemsnitlig nedbørsfremskrivning (mellem). Modellen har for hele modelområdet 12 % mere nedbør for den fremtidige periode.
- Alle tre klimascenarier er kørt med og uden havniveaustigning på 65 cm for at kunne skelne effekt fra havniveau og nedbør/fordampnings forcing. Se bilag B for dokumentation af de brugte 65 cm.
- I alt 9 kørsler.

### Strømpeforing:

- Scenarier som simulerer effekten af renovering af de utætte kloakrør, som ellers dræner det terrænnære grundvand.
- Der er modtaget kort fra ARWOS via Region Syd omkring områder af Aabenraa, der hhv. er separatkloakeret, fælles kloakeret og strømpeforet, som danner grundlag for områder, hvor en ny strømpeforing gennemføres. Se Figur 7 for område med strømpeforing.
- Drænkonstanten er på baggrund af "renovering" reduceret fra 0,045 til 0,0091  $\left[\frac{\left(\frac{m^2}{d}\right)}{m^2}\right]$  i førnævnte områder, og bibeholdt i det resterende modelområde.
- I alt 4 kørsler.

### Grundvandsdræn:

- Scenarier som simulerer dræning af højtstående grundvand.
- Specifikke grundvandsdræn er simuleret 2 m under terræn modsat normalt 1 m under terræn.
- Området er det samme som for strømpeforing, se Figur 10.

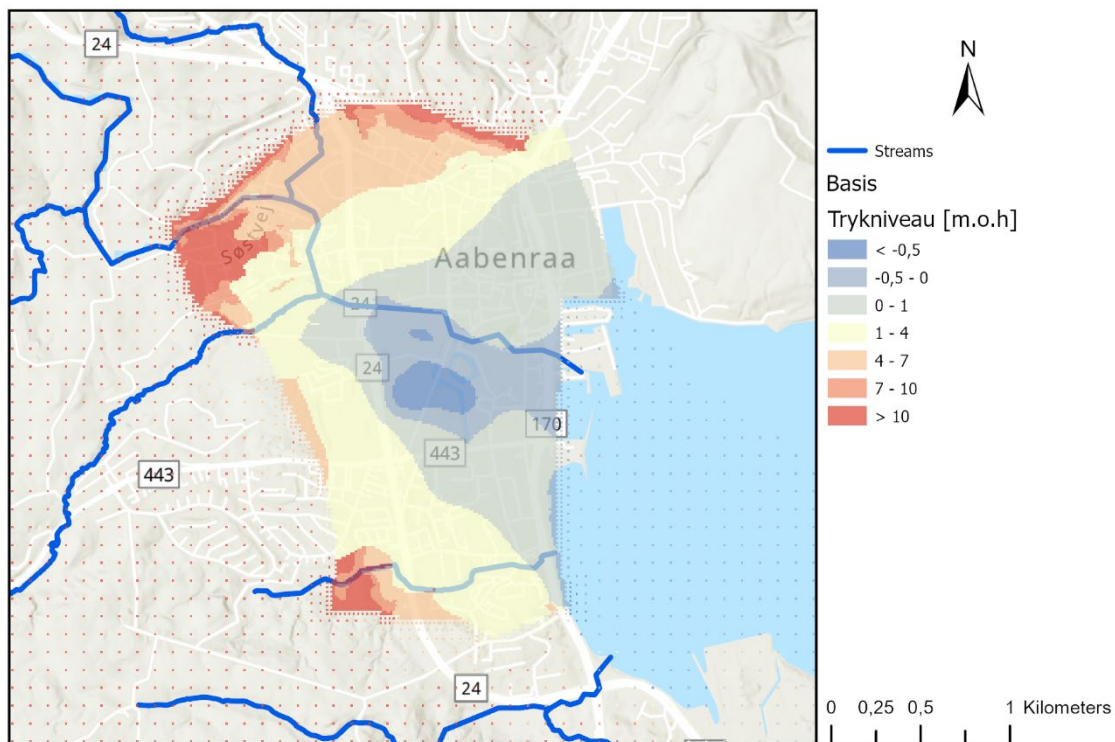
### Naturgenopretning:

- Dette scenarie undersøger effekten af naturgenopretningsprojekt, som skal skabe en naturlig vandstand i områder nær og i Aabenraa by.
- Naturlig vandstand defineres som vandstanden uden drænrør og drængrøfter.
- Simuleres ved at fjerne dræn i modellen for områder, hvor naturgenopretning er udført (se polygon i resultatfigur for naturgenopretningsområde).
- I alt 2 kørsler.

Ovenstående scenarier præsenteres med kort, der viser ændringer i trykniveauet i det fint opløste grid for Aabenraa by samt ændringer i det terrænnære grundvand som følge af de forskellige scenarier. Derudover præsenteres resultaterne af simuleringer af partikeltransport fra en potentiel forureningskilde under de tre forskellige tilpasningsscenarier.

## 5. Resultater

Kalibrering er rapporteret detaljeret i Gulfeldt et al., 2026 og er derfor ikke inkluderet som et hovedafsnit i denne rapport, men kan findes i bilag A. Figur 3 viser det simulerede trykniveau fra den kalibrerede model inden for fokusområdet i Aabenraa by, hvor gridopløsningen er  $12,5 \times 12,5$  m. Uden for fokusområdet har modellen en opløsning på  $100 \times 100$  m, og trykniveauet er her angivet med små prikker.

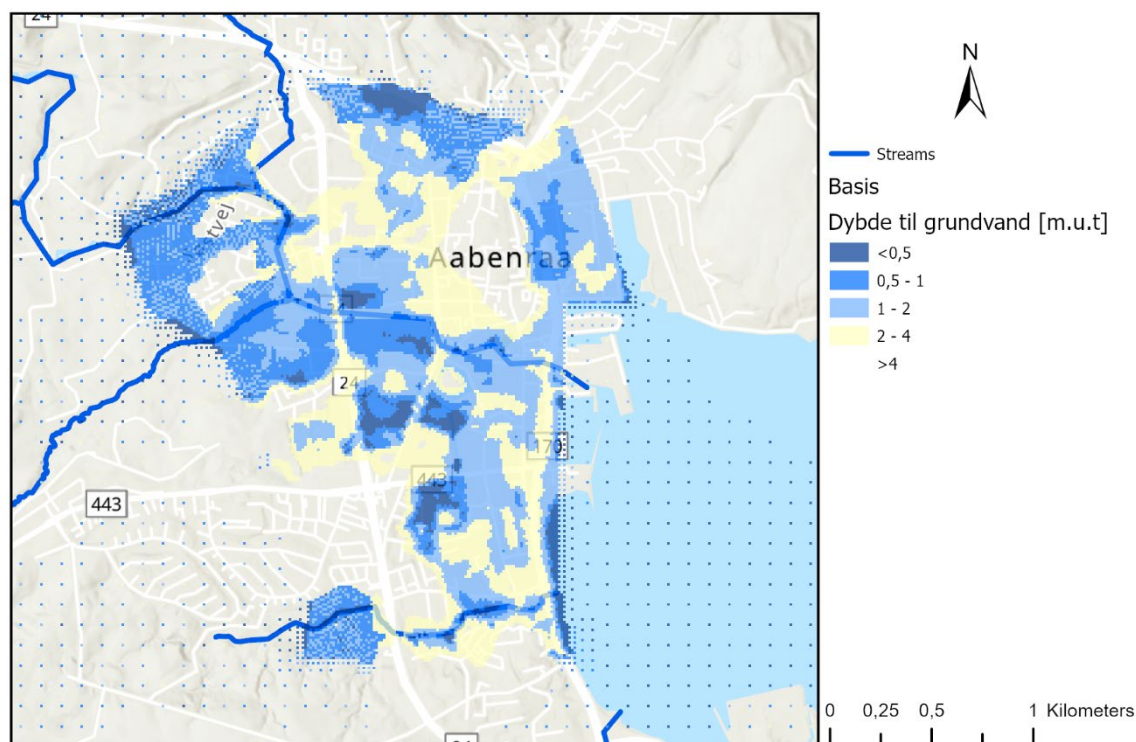


Figur 3 Trykniveau kort (grundvandsstand) for basismodel for fokusområdet Aabenraa by. Basismodellen beskriver den kalibrerede model.

I den del af modelområdet, hvor modellen ikke er forfinet til en opløsning på  $12,5 \times 12,5$  m, men har en opløsning på  $100 \times 100$  m samt mellemopløsninger på  $25 \times 25$  m og  $50 \times 50$  m, er trykniveauet typisk større end 10 m o.h. og er angivet med prikker.

Modellen viser et større område, hvor grundvandsspejlet ligger mindre end 0,5 m over middelhavniveau (kote 0 m DVR90). Mod nord, øst og vest stiger grundvandsspejlet med en større gradient.





Figur 4 Kort over dybde til grundvandsspejl simuleret med basismodel for fokusområdet Aabenraa by.

## 5.1 Klima scenarier

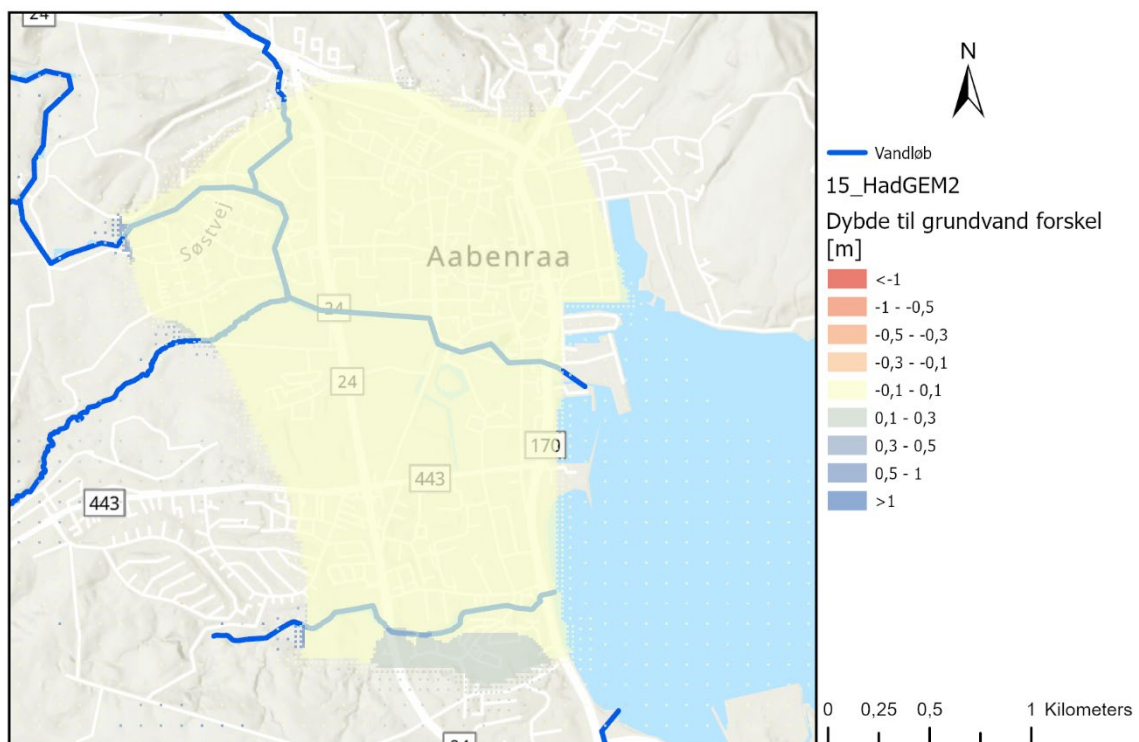
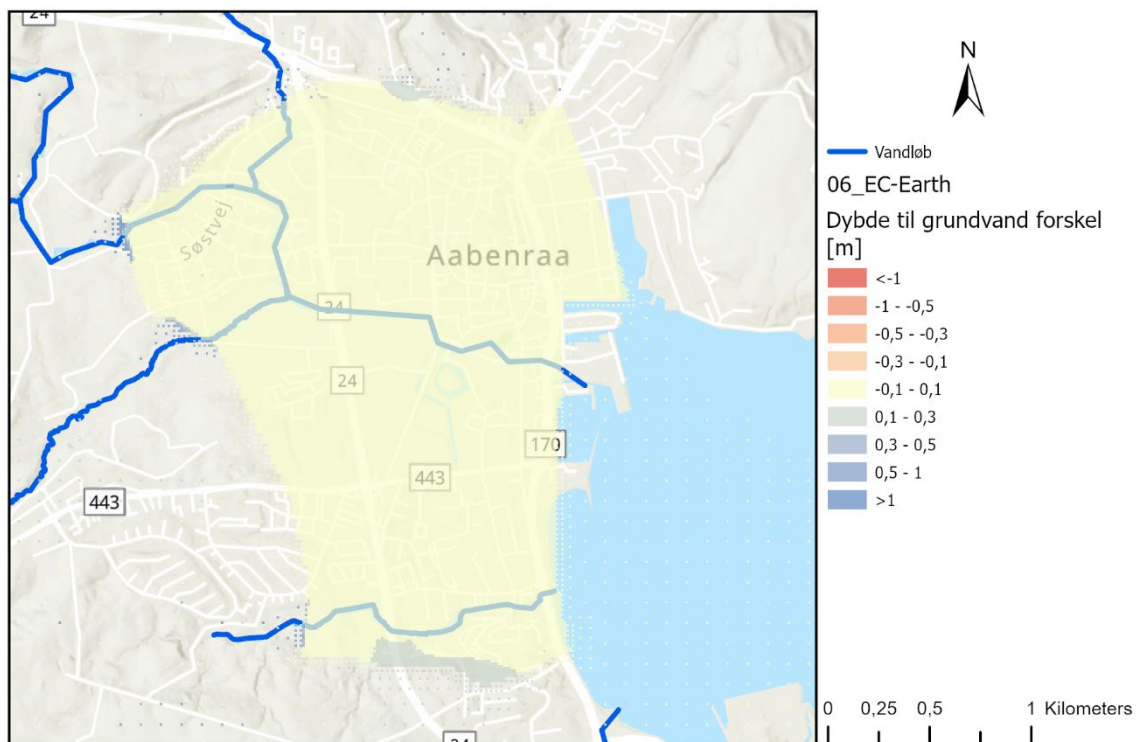
Klimaforandringerne omfatter to forhold, som potentielt kan påvirke grundvandsstanden i Aabenraa by. Det ene er påvirkningen fra ændringer i nedbør, temperatur og aktuel evapotranspiration (fordampning og transpiration). Det andet er påvirkningen fra en fremtidig højere gennemsnitlig havvandstand, som for perioden 2071-2100 ved kyststrækningen omkring Aabenraa estimeres til at være 65 cm højere end i dag (se dokumentation i bilag 1).

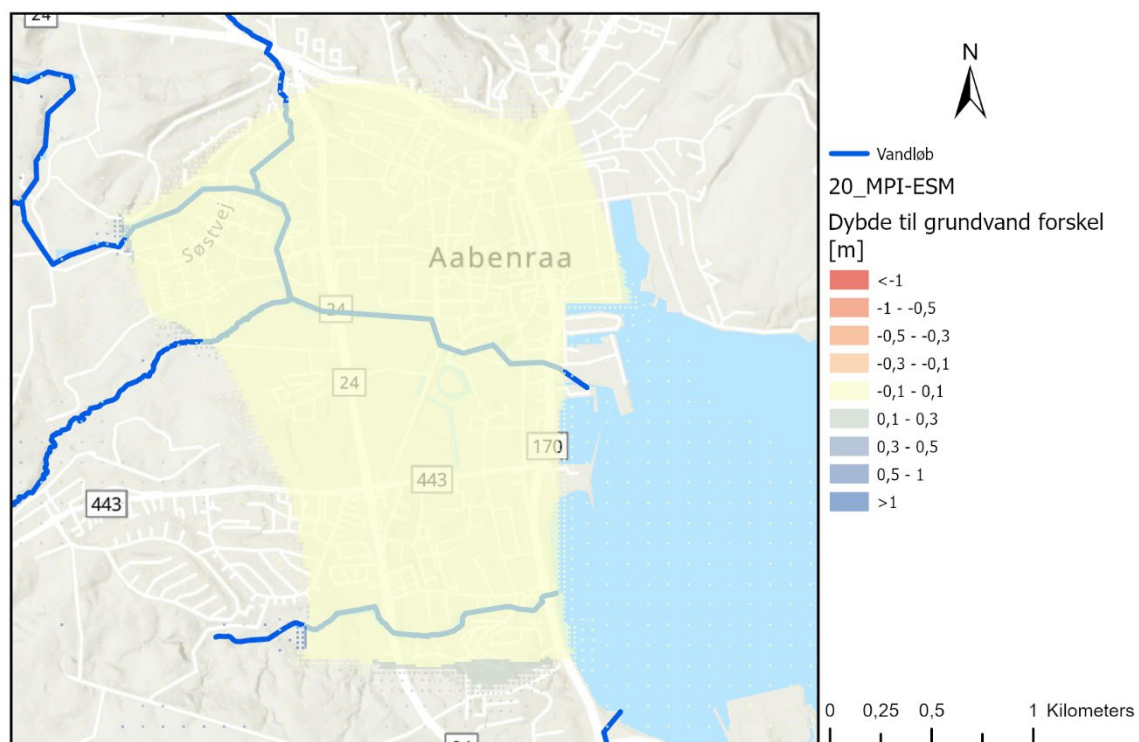
Figur 5 viser ændringen i den terrænnære grundvandsstand i fokusområdet som følge af ændringer i nedbør, temperatur og evapotranspiration, uden ændring i havniveauet. For alle tre klimascenarier ses kun mindre påvirkninger i fokusområdet. Det er primært i den sydlige del af området, at der i den fremtidige periode 2071-2100 kan ses en stigning i den gennemsnitlige grundvandsstand på mere end 10 cm.

Figur 6 viser den samlede effekt på det terrænnære grundvand af henholdsvis havniveaustigning, ændringer i nedbør, temperatur og aktuel evapotranspiration. Det fremgår tydeligt, at stigningen i havniveauet påvirker den terrænnære grundvandsstand i Aabenraa by. Påvirkningen varierer typisk fra 10 til 50 cm afhængigt af afstanden til kystlinjen. Der ses kun mindre forskelle mellem de forskellige klimascenarier.

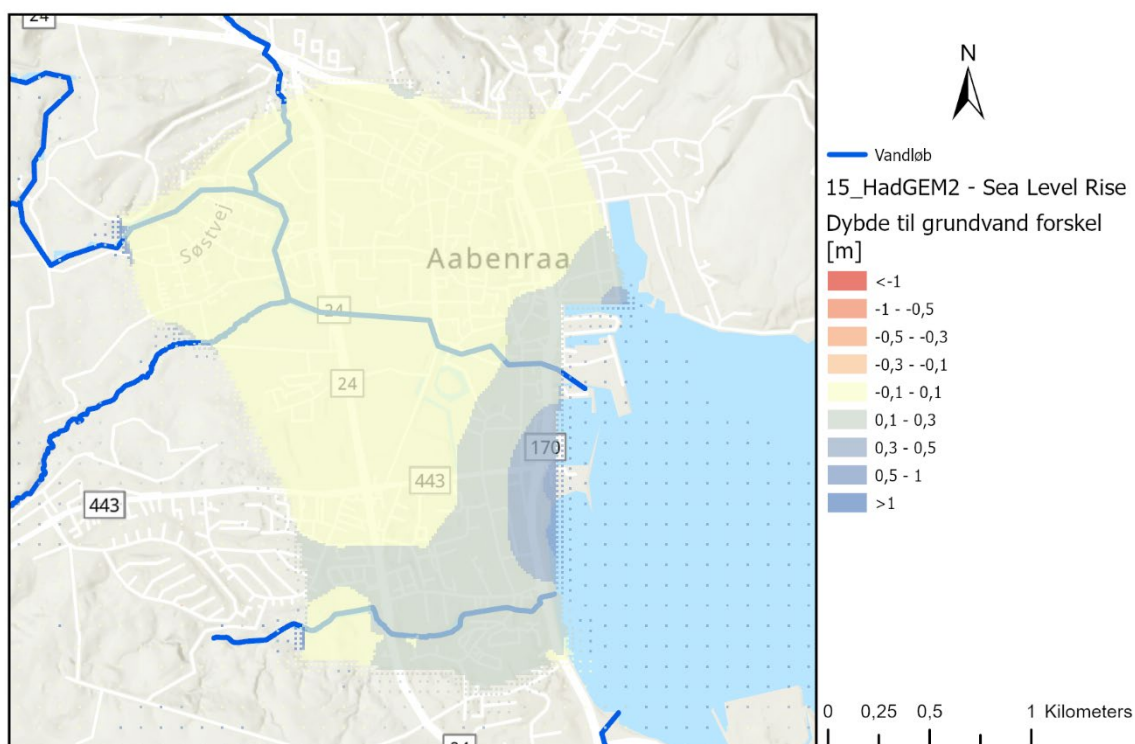
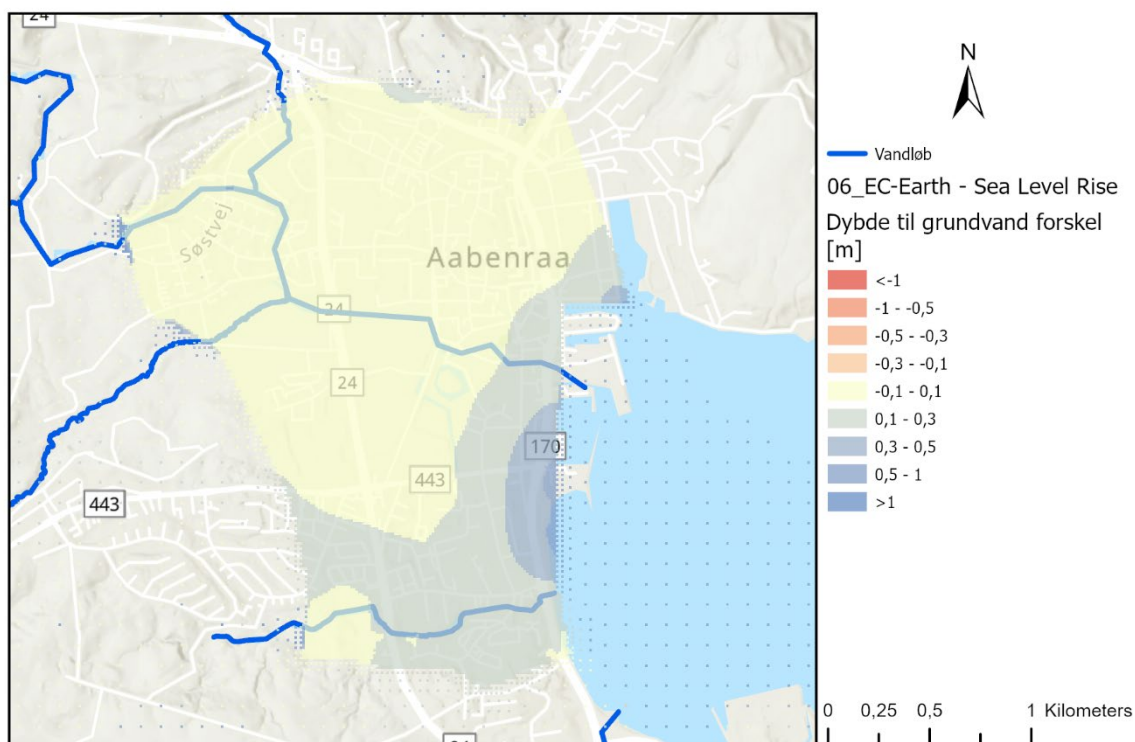
På baggrund af klimascenarierne, hvor henholdsvis det tørre, det våde og det mediane scenarie alle er baseret på RCP 8.5-udledningsscenariet (et højt udledningsscenarie defineret af DMI), ses der i fokusområdet i Aabenraa by en relativt stor påvirkning fra ændringer i det gennemsnitlige havniveau, mens påvirkningen fra de øvrige klimatologiske ændringer er begrænset og typisk under 10 cm.

Sidstnævnte påvirkning er sammenlignelig med den påvirkning, der er identificeret ved Bylderup-Bov i den sydvestlige del af modelområdet, jf. Gulfeldt et al., 2026. Det bemærkes dog, at der ved den Jyske Højderyg, vest for fokusområdet i Aabenraa, ses større stigninger i det terrænnære grundvand som følge af klimatologiske ændringer.

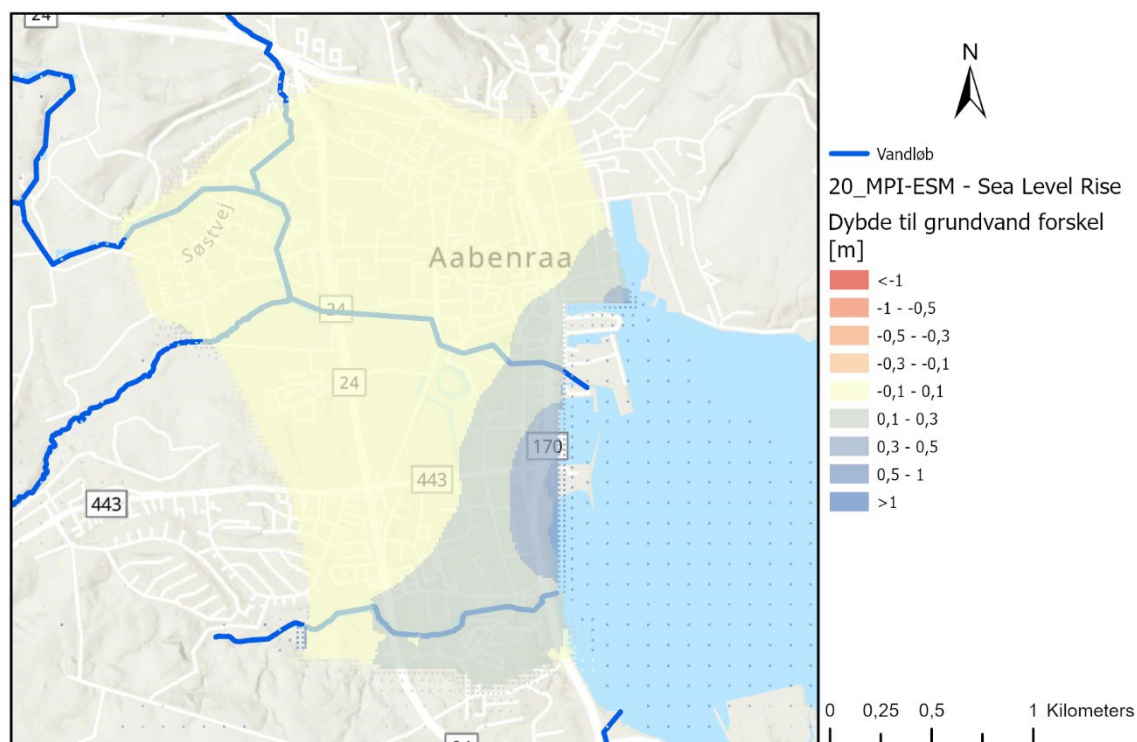




Figur 5 Kort over ændringer af terrænnær grundvandsstand for de 3 klimascenarier indenfor fokusområde i Aabenraa by. Uden havniveauændringer. Baseret på middel grundvandsstand. Røde farver = fald i grundvandsspejl. Blå farver = stigning i grundvandsspejl. Gul = uændret eller små ændringer i grundvandsspejl.







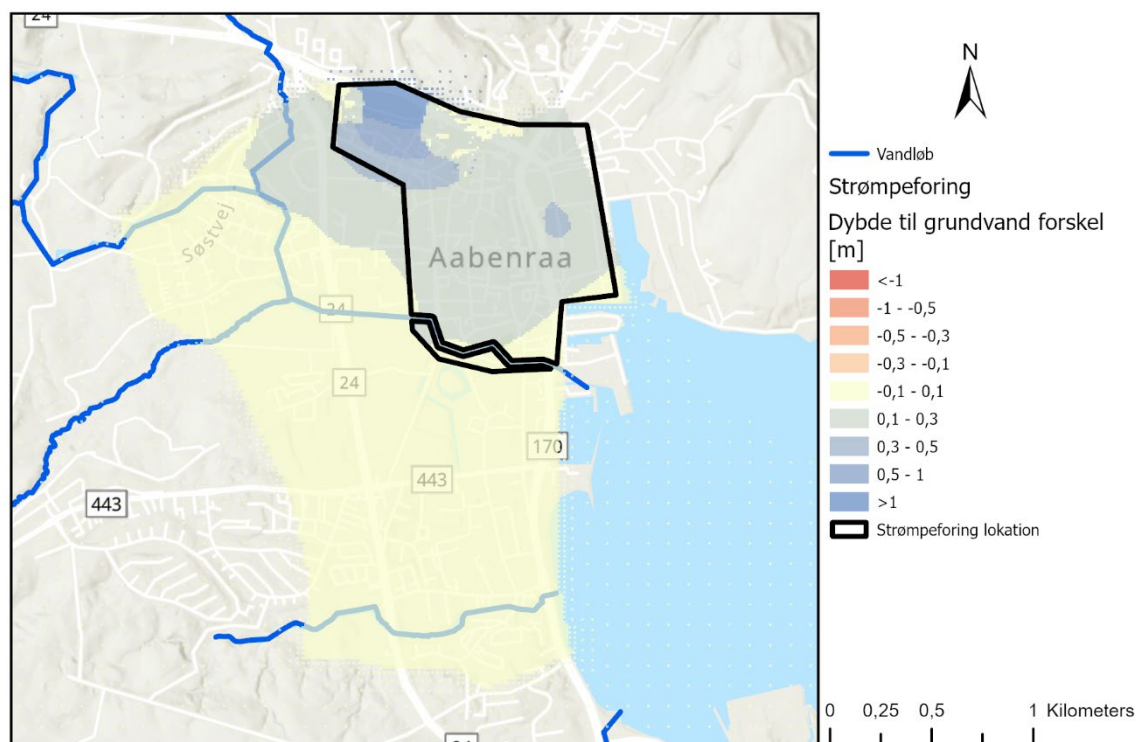
Figur 6 Kort over ændringer af terrænnær grundvandsstand for de 3 klimascenarier indenfor fokusområde i Aabenraa by med 65 cm havniveauændring. Baseret på middel grundvandsstand. Røde farver = fald i grundvandsspejl. Blå farver = stigning i grundvandsspejl. Gul = uændret eller små ændringer i grundvandsspejl.

## 5.2 Strømpeforing

Det er velkendt, at utætte spildevandssystemer kan udveksle vand med det omkringliggende grundvand, se f.eks. Rasmussen et al., 2023. Det er derfor relevant at undersøge potentielle stigninger i det terrænnære grundvand, hvis ældre dele af spildevandsnetværket tættes.

Strømpeforing simuleres ved at reducere drænkonstanten, som er bestemt ved kalibreringen af basismodellen, inden for et defineret område, hvor der findes ældre spildevandsnetværk. Herved efterlignes effekten af en eventuel renovering eller strømpeforing af netværket.

Figur 7 viser effekten af strømpeforing inden for det område, der er angivet med den sorte, optrukne polygon i den nordøstlige del af fokusområdet. Der ses en betydelig effekt på det terrænnære grundvandsspejl, særligt inden for det strømpeforede område, men påvirkningen kan også strække sig til de nærliggende områder. Dette ses eksempelvis vest for det strømpeforede område (Figur 7).



Figur 7 Kort over simuleret forskel i grundvandsspejl (trykniveau) mellem basismodel og scenarie for strømpeforing i nordlige del af fokusområde. Kortet viser ændringer primært i områder hvor strømpeforing er foretaget. Røde farver = fald i grundvandsspejl. Blå farver = stigning i grundvandsspejl. Gul = uændret eller små ændringer i grundvandsspejl.

Stigninger i det terrænnære grundvand er således tydelige, når dræningen reduceres eller ophører. Det er imidlertid ikke muligt i modellen at adskille dræning fra eksempelvis omfangsdræn og anden mere eller mindre tilsigtet dræning af det terrænnære grundvand fra mere utilsigtet dræning, eksempelvis som følge af utætte spildevandssystemer.

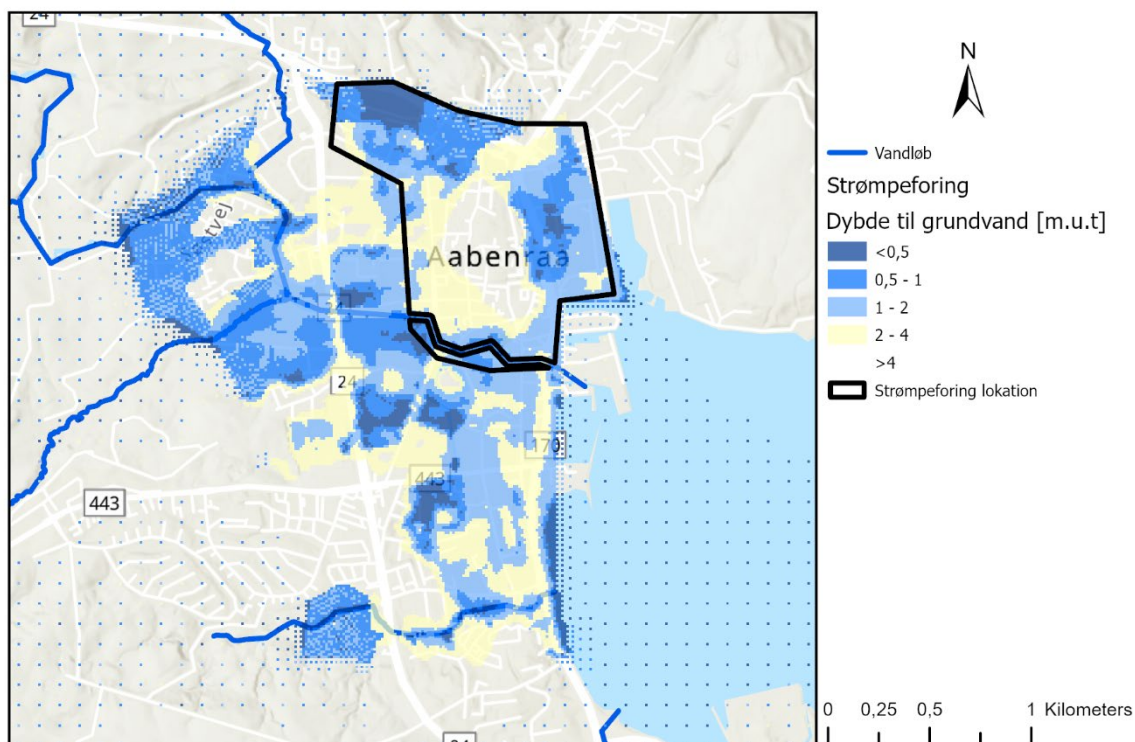
Resultaterne af simuleringen af strømpeforing skal derfor vurderes med det forbehold, at alle former for dræning i det pågældende område reduceres: både tilsigtet og utilsigtet dræning. De simulerede stigninger i grundvandsstanden vil derfor potentielt være større, end hvis tilsigtet og utilsigtet dræning kunne adskilles i modellen.

De største stigninger i det terrænnære grundvand forekommer i de forskellige scenarier i områder, hvor afstanden til grundvandsspejlet er relativt stor, og grundvandet derfor ikke står særligt terrænnært. Dette illustreres eksempelvis på [www.hipdata.dk](http://www.hipdata.dk), hvor ændringerne i det terrænnære grundvand som følge af klimaforandringer er størst i områder, hvor grundvandet står dybest.

Når påvirkningen fra et scenarie er så betydelig som illustreret i Figur 7, er det derfor også relevant at se på den faktiske dybde til det simulerede grundvandsspejl. Figur 8 viser derfor dybden til det simulerede terrænnære grundvandsspejl under scenariet med strømpeforing.

Sammenligning af Figur 8 og Figur 4 (basismodel) viser, at der kun er begrænsede områder, hvor det terrænnære grundvand kommer tættere på terræn end 2 m. Gule og ikke-farvelagte områder angiver områder, hvor grundvandsspejlet står mere end 2 m under terræn. Inden for området med strømpeforing ses imidlertid en vis ændring i de enkelte dybdeintervaller.

Dette ses eksempelvis i de mørkeblå områder i den nordlige del af fokusområdet, hvor det terrænnære grundvandsspejl står mindre end 0,5 m under terræn.



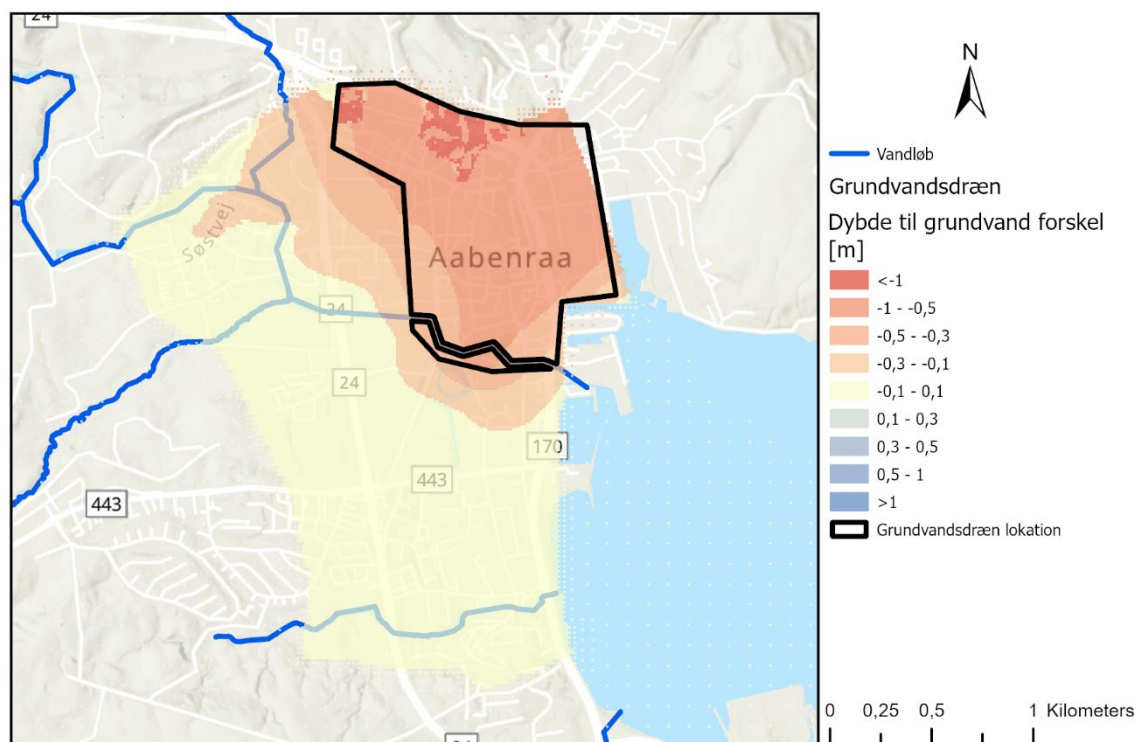
Figur 8 Kort over simuleret dybde til terrænnært grundvandsspejl med strømpeforing i nordøstlig del af fokusområde.

### 5.3 Grundvandsdræn

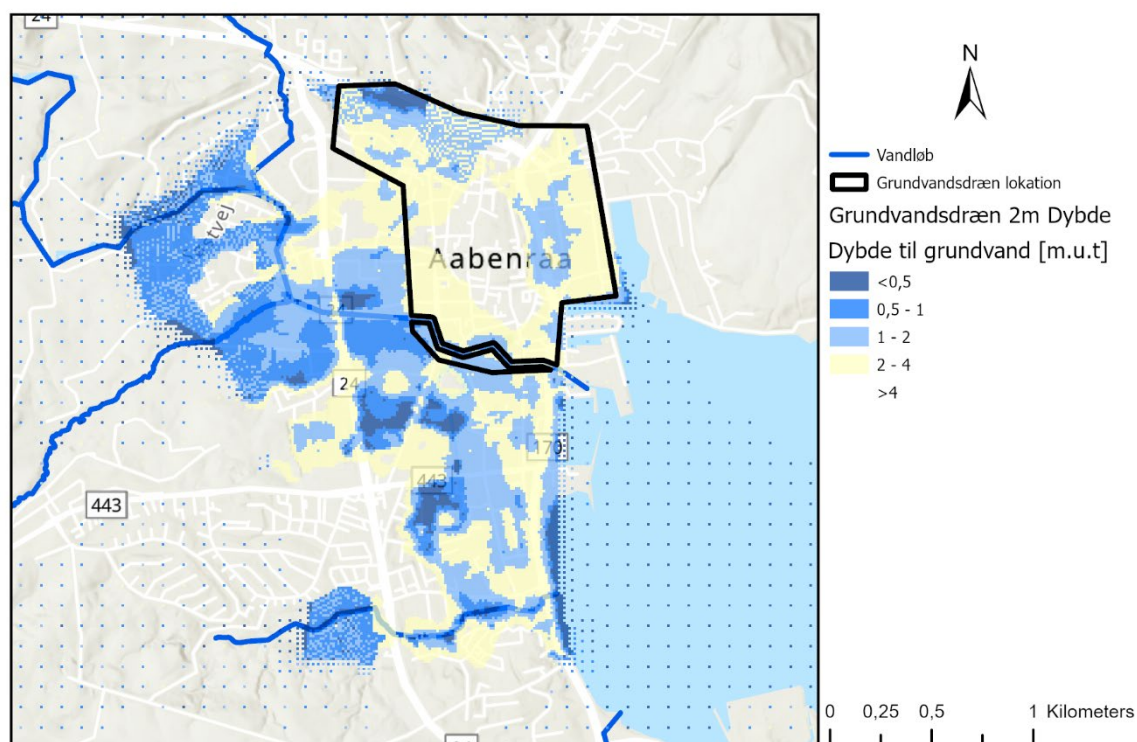
Grundvandsdræn er simuleret i den nordøstlige del af fokusområdet, hvor området er sammenfaldende med området for strømpeforing. Drænene er placeret 2 m under terræn og har en betydelig påvirkning på det terrænnære grundvandsspejl. Figur 9 viser forskellen i dybden til grundvandsspejlet mellem basismodellen og scenariet med grundvandsdræn, mens Figur 10 viser dybden til grundvandsspejlet for samme scenarie.

Resultaterne af scenariet viser, at grundvandsdræn har en tydelig effekt på det terrænnære grundvandsspejl og medfører en sænkning af grundvandsstanden både i de områder, hvor drænene er etableret, og i de nærliggende områder. Modelresultaterne indikerer, at sænkningen kan sprede sig gennem sandlagene under den lavtliggende del af byen, jf. Figur 10.





Figur 9 Kort over påvirkning af grundvandsspejl ved grundvandsdræn i nordøstlig del af fokusområdet. Ændring set i forhold til basismodel. Røde farver = fald i grundvandsspejl. Blå farver = stigning i grundvandsspejl. Gul = uændret eller små ændringer i grundvandsspejl.

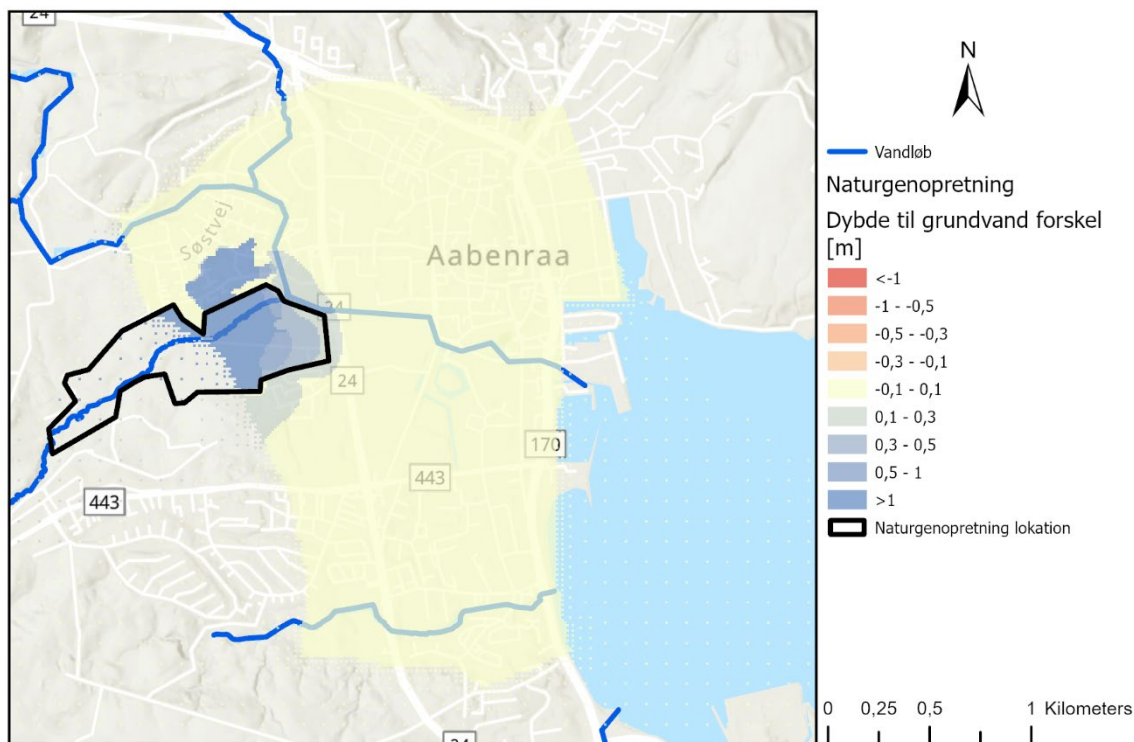


Figur 10 Kort over dybde til grundvandsspejl under scenarie med grundvandsdræn i nordøstlig del af fokusområdet.

For hele modelområdet falder den terrænnære grundvandsstand i observationsboringerne med 21 cm under scenariet for grundvandsdræn beregnet ud fra ændring i ME.

## 5.4 Naturgenopretning

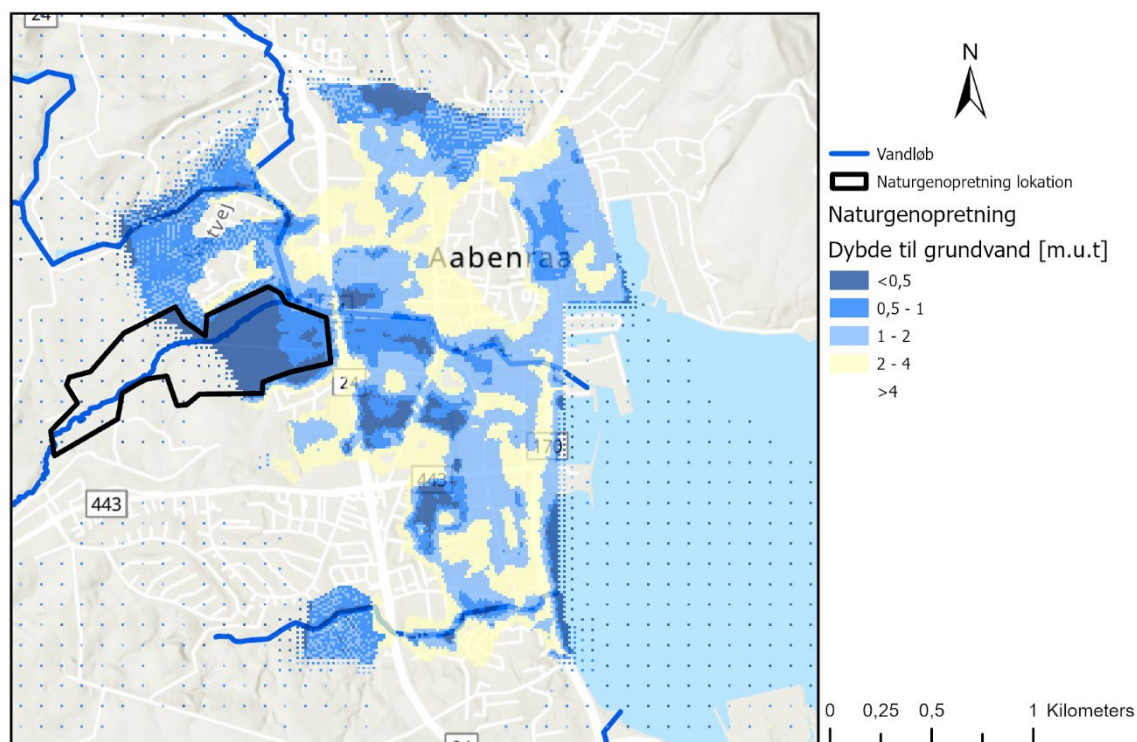
Naturgenopretning er simuleret ved at ophøre med den kunstige dræning i den vestlige del af fokusområdet, jf. Figur 11. Tiltaget er desuden simuleret uden for fokusområdet, hvor celledørrelsen gradvist øges fra 12,5 × 12,5 m til henholdsvis 25 × 25 m, 50 × 50 m og 100 × 100 m.



Figur 11 Kort over påvirkning af grundvandsspejl ved naturgenopretning i vestlig del af fokusområdet. Ændring set i forhold til basismodel. Røde farver = fald i grundvandsspejl. Blå farver = stigning i grundvandsspejl. Gul = uændret eller små ændringer i grundvandsspejl.

Det ses, at påvirkningen fra naturgenopretningen primært er begrænset til selve området, hvor de kunstige dræn er fjernet, samt de nærliggende områder. Nord for naturgenopretningsområdet ses dog en betydelig stigning i grundvandsstanden. Dette er imidlertid et område, hvor grundvandsspejlet primært ligger mere end 4 m under terræn, jf. Figur 12, der viser dybden til det terrænnære grundvandsspejl for scenariet med naturgenopretning. Den højere grundvandsstand vil derfor ikke nødvendigvis blive påvirket af almindelig dræning og måske ikke være problematisk ved den ikke så terrænnære dybde.

Det ses, at grundvandsspejlet inden for naturområdet, hvilket formodentlig også er hensigten med tiltaget, står meget tæt på terræn. I større dele af området ligger grundvandsspejlet mindre end 0,5 m under terræn.



Figur 12 Kort over dybde til grundvandsspejl under scenarie for naturgenopretning i vestlig del af fokusområdet.

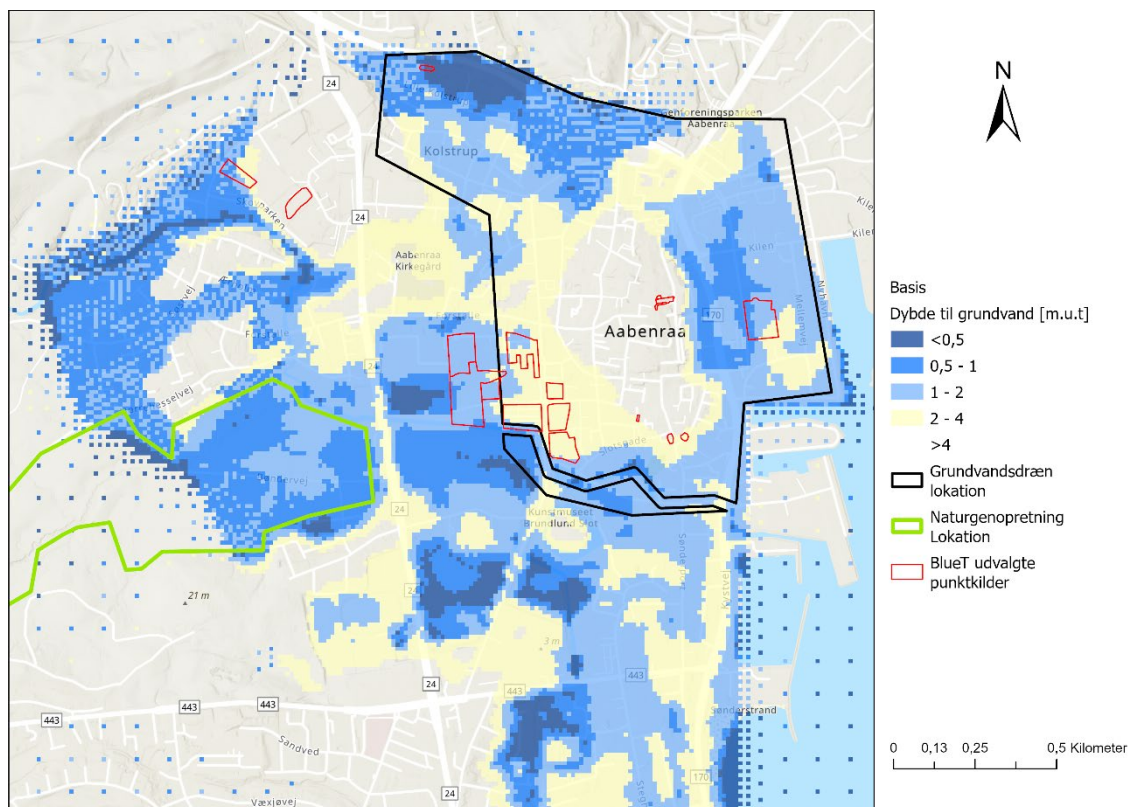
## 5.5 Partikelbane simuleringer

Med udgangspunkt i Region Syddanmarks forureningsdatabase blev der udvalgt flere lokaliteter beliggende i fokusområdet i Aabenraa by, hvorfra partikelbaner blev igangsat, jf. Figur 13. Partikelbanerne repræsenterer grundvandets strømningsveje under tre forskellige scenarier: basismodellen (Figur 4), scenariet med strømpeforing (Figur 8) og scenariet med grundvandsdræn (Figur 10).

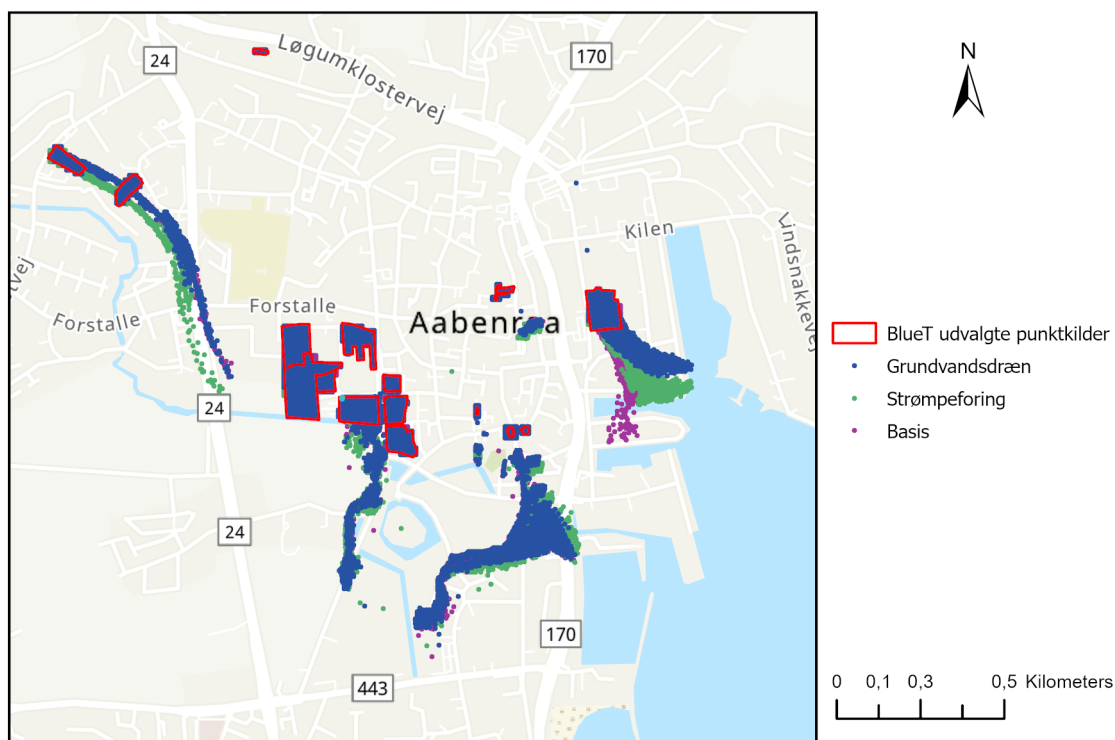
Simuleringerne tager ikke højde for de forskellige forureningsstoffers geokemiske egenskaber, eksempelvis nedbrydning, som kan have betydning for transporthastigheden og forureningernes sammensætning. Simuleringerne beskriver således alene den advective transport i den mættede zone.

Mens Figur 14 giver et overblik over partikelbanesimuleringer fra alle punktkilder, zoomer Figur 15 a-d ind på konkrete områder, hvor partikelbaner for basis simulering og de to tilpasningsscenarier illustreres mere tydeligt.



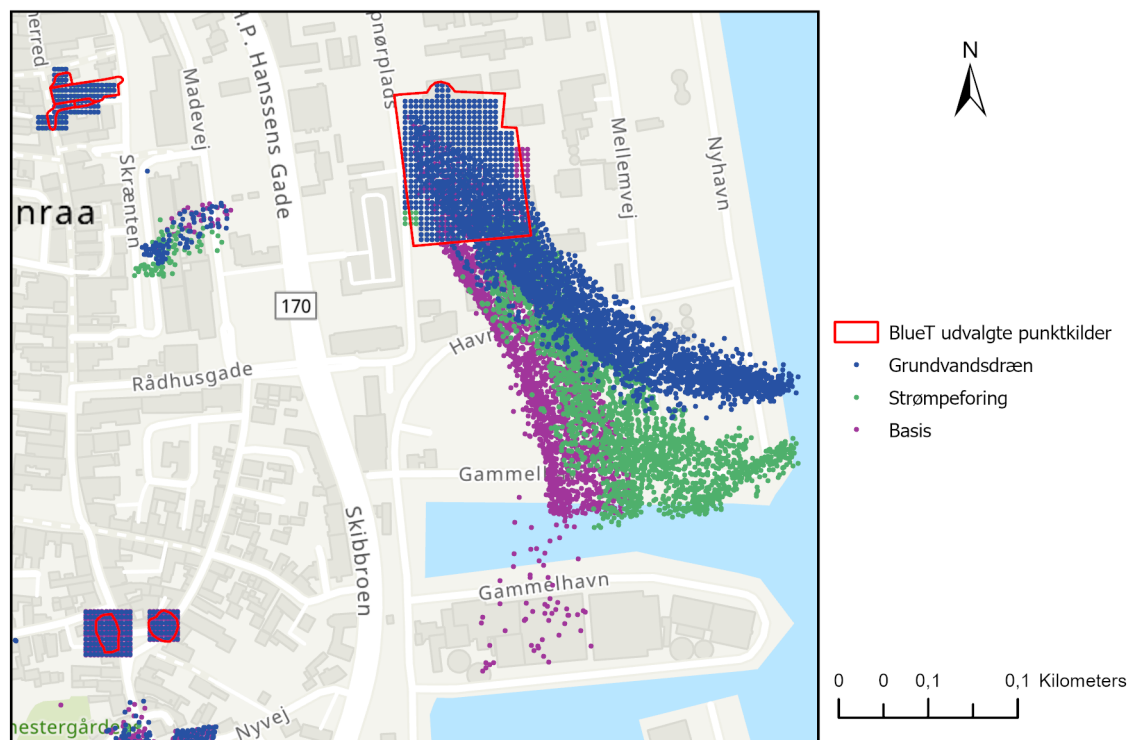


Figur 13 Kort over fokusområde i Aabenraa by, hvor udvalgte punktkilder (BlueT punktkilder) er vist sammen med basis simulering af dybde for terrænnært grundvand. Desuden ses områder, hvor grundvandsdræn, strømpeforing, samt naturgenopretning blev simuleret fra.

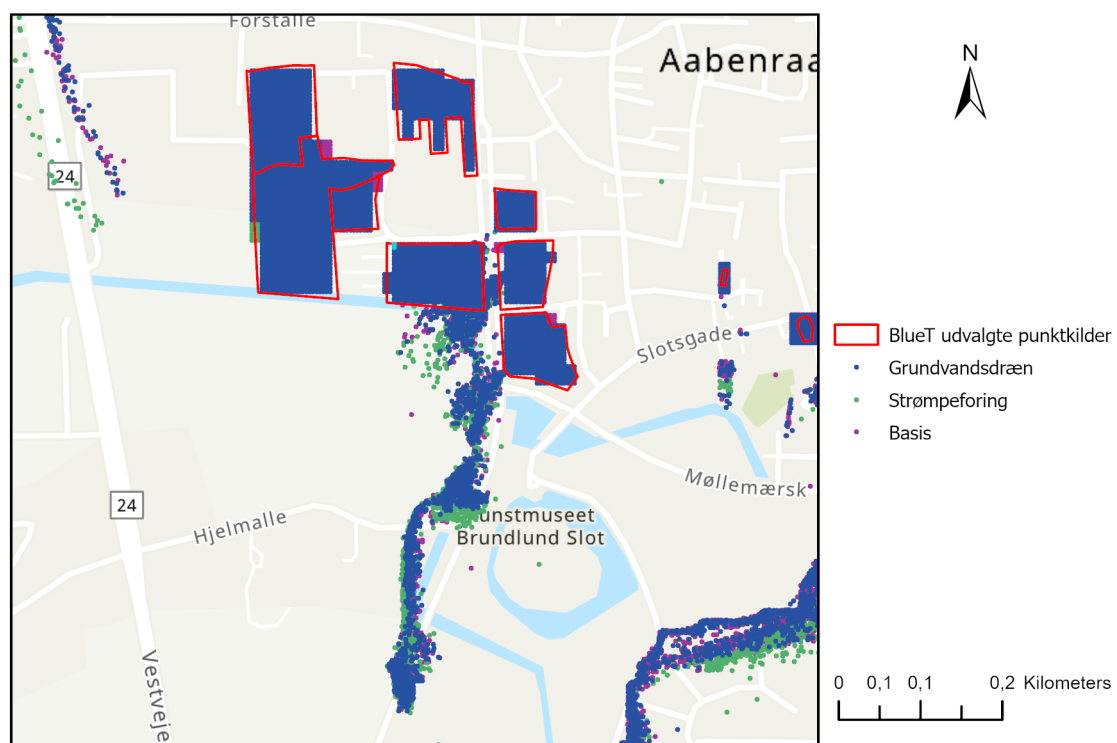


Figur 14 Overblik over samtlige partikelbaner for de udvalgte punktkilder under basis-, grundvandsdræn- og strømpeforingsscenarier.

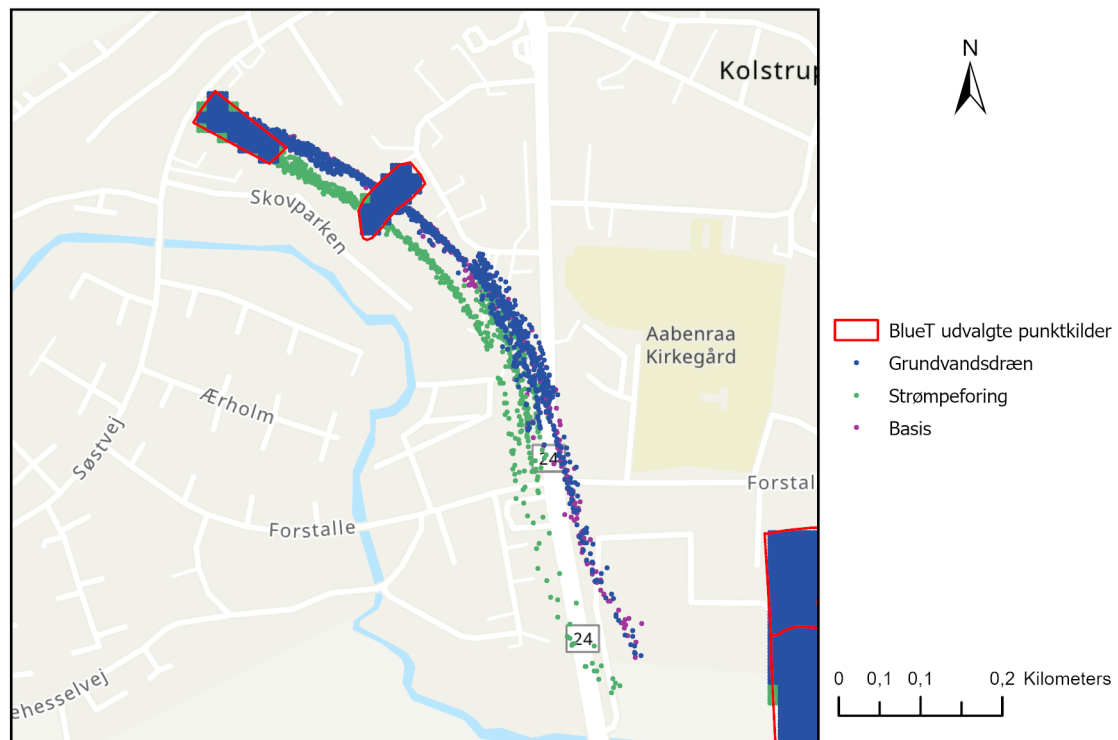
a)



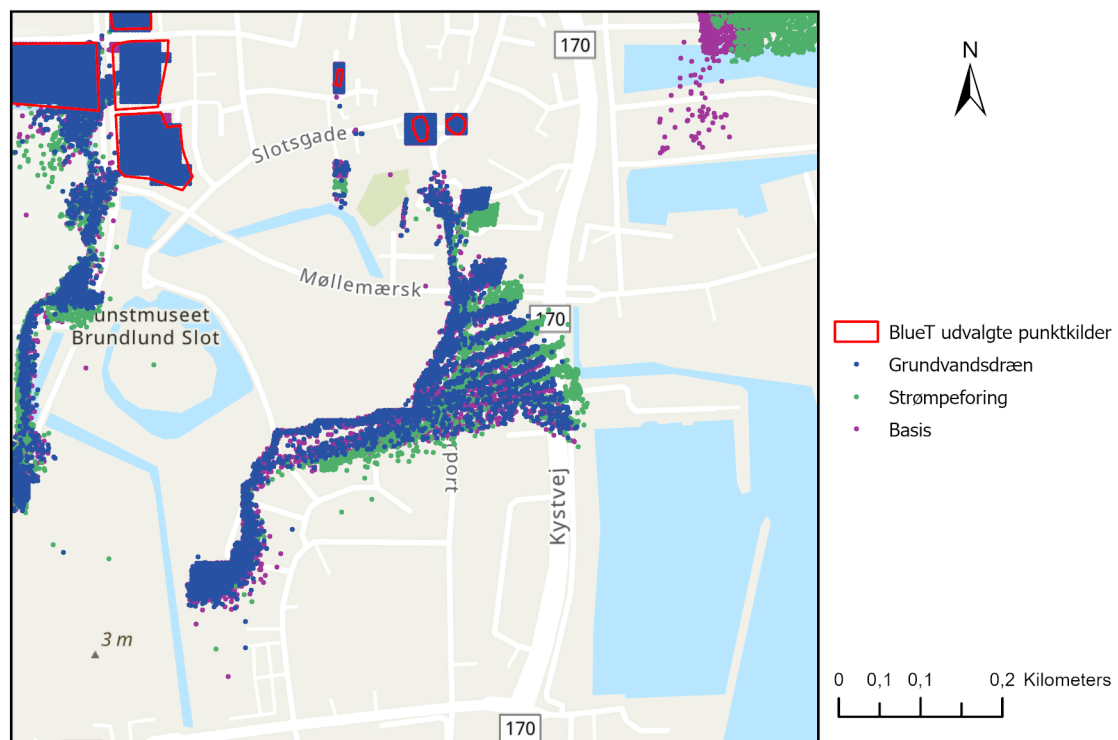
b)



c)



d)



Figur 15 Zoom af partikelbanescenarier, a)-d).

Det fremgår af Figur 15, at påvirkningen af forureninger varierer og er lokalspecifik. Inden en eventuel igangsættelse af en forureningsundersøgelse er det derfor afgørende at sammenholde resultaterne af de modellerede partikelbaner med lokal viden fra borer og pejleresultater for at bekræfte strømningsretningen og forureningernes udbredelse.

Det kan observeres, at partikelbanerne fra nogle af de udvalgte punktkilder har stort set samme udbredelse, eksempelvis i Figur 15b, mens der for andre punktkilder ses forskelle mellem basismodellen og de to analyserede tilpasningsscenarier: grundvandsdræn og strømpeforing.

Ved lokaliteten vist i Figur 15a ses en tydelig effekt af klimatilpasningstiltagene, hvor grundvandsdræn medfører større ændringer end strømpeforing. Partikelbanerne for de forurenende stoffer, der transporteres med grundvandet, påvirkes tydeligt af ændringerne i grundvandsspejlet og forskydes i dette tilfælde mod øst. Forureningsfanens placering kan ændres med op til 150 m. En sådan ændring kan have stor betydning for placeringen af eksempelvis monitoringsboringer samt for tolkningen af resultaterne af kemiske analyser og indholdet af forurenende stoffer i grundvandsprøver fra boringer, der er etableret i den forventede forureningsfane.

Lokaliteten ligger tæt på kystlinjen ved Aabenraa Fjord, som er en målsat recipient og derfor indgår i regionens indsats. Forskelle i forureningsfanens udbredelse og strømningsretning kan derfor også have stor betydning for placeringen af en eventuel udstrømningszone, dvs. det sted på kystlinjen, hvor forureningen vil strømme ud til recipienten.

Det er interessant, at scenariet med grundvandsdræn i dette tilfælde medfører en markant ændring i partikelbanerne, mens det samme scenarie ved andre lokaliteter, der ligger længere fra havnen og kystlinjen, medfører ingen eller kun meget små ændringer.

Figur 15c viser, at etablering af grundvandsdræn ikke vil ændre forureningsfanen væsentligt, mens strømpeforing kan medføre mindre ændringer i partikelbanernes placering. Selv mindre ændringer, som for denne lokalitet er i størrelsesordenen 25-50 m, kan imidlertid have stor betydning for placeringen af afgrænsende boringer, der anvendes til at undersøge forureningsens udbredelse. Disse boringer anvendes blandt andet til at vurdere, hvilke boligejendomme der er påvirket af forureningen, samt til den fremtidige risikovurdering i forhold til indeluft i boliger og/eller påvirkning af andre recipienter.

For lokaliteterne vist i Figur 15d ses igen, at scenariet med grundvandsdræn ikke medfører væsentlige ændringer i partikelbanerne, og resultatet er stort set det samme som for basismodellen. Klimatilpasningstiltaget med strømpeforing ændrer derimod partikelbanerne, som forskydes ca. 30 m mod øst. I byområder, hvor matrikler kan have en bredde på 8-12 m, kan en sådan ændring have stor betydning for vurderingen af en eventuel påvirkning af indeluften i boliger og dermed for regionens indsatsmål. Desuden afhænger grundlaget for planlægning af forureningsundersøgelser, afværgeforanstaltninger og fremtidige risikovurderinger i høj grad af et grundigt kendskab til forureningsfanens placering og udbredelse.

Et detaljeret billede af partikler ved kystområdet viser desuden, at strømpeforing kan forårsage betydelig udstrømning af forureningskomponenter i havneområdet.

Resultaterne fra partikelbanerne vises med større lokal nøjagtighed i Bilag C.



## 6. Konklusion

- **Klimaforandringer** vil påvirke grundvandsstanden i Aabenraa by primært som følge af stigende havniveau (0-65 cm, Figur 6), og kun sekundært som følge af ændringer i nedbør (0-10 cm, Figur 5). For det modellerede fokusområde er der betydelig variation i, hvor langt påvirkningen fra havniveaustigningen forplanter sig ind under Aabenraa by. Der ses typisk en stigning i det terrænnære grundvand på op til 30 cm i en afstand på ca. 250-1.000 m fra havnen/kysten (Figur 6).
- **Havniveaustigninger er derfor en væsentlig faktor i vurderingen af fremtidige ændringer i det terrænnære grundvand i urbane områder i kystbyer.**
- **Strømpeforing** har potentiale til at påvirke det terrænnære grundvand betydeligt. Påvirkningen er typisk 10-30 cm inden for det område, hvor selve strømpeforingen gennemføres, men i enkelte områder kan der ses ændringer på mere end 50 cm (Figur 7).
- **Grundvandsdræn** er en effektiv måde at modvirke stigninger i eller sænke den terrænnære grundvandsstand på. Afhængigt af geologien og tilstedeværelsen af naturlige hydrologiske barrierer kan påvirkningen fra tiltaget også strække sig ud over det område, hvor drænsystemet er etableret. Denne konklusion forholder sig ikke til eventuelle udfordringer med afledning af det drænedes grundvand, hvor eksempelvis vandkvaliteten kan udgøre en potentiel belastning for recipienten.
- **Ved at fjerne kunstig dræning i forbindelse med naturgenopretning** hæves grundvandsstanden betydeligt både inden for og uden for selve det naturgenoprettede område. Dette behøver ikke nødvendigvis at udgøre et problem for de omkringliggende områder, hvis det eksisterende grundvandsspejl ligger dybt. I områder tæt på bebyggelse bør der imidlertid være opmærksomhed på potentielle stigninger i grundvandsstanden ved etablering af nye naturområder.
- **Partikelbaner** viser, at forskellige klimatilpasningstiltag, såsom grundvandsdræn og naturgenopretning, potentielt kan ændre forureningsfanernes strømningsretning og dermed medføre påvirkning af andre arealer end oprindeligt antaget.
- Specifikt viser partikelbanerne, at strømpeforing kan have en betydelig effekt på forureningsfanernes placering, selv om simuleringen af strømpeforing (jf. kapitel 5.2) kun viser begrænsede ændringer i dybden til grundvandsspejlet. Omvendt viser simuleringen, at grundvandsdræn medfører betydelige ændringer i grundvandsspejlet, mens partikelbanerne kun ændres i begrænset omfang i forhold til basismodellen.
- **På baggrund af de simulerede partikelbaner er det sandsynligt, at klimaforandringer, særligt i form af havniveaustigninger, vil kunne ændre både strømningsretningen og de områder, der påvirkes af forureningsfaner.**

## Referencer

- Gulfeldt, J. B. P., Sonnenborg, T. O., & Kidmose, J. (2026). *Håndtering af højtstående terraennaert grundvand ved Bylderup Bov*. [https://data.geus.dk/pure-pdf/GEUS-R\\_2026-05\\_web.pdf](https://data.geus.dk/pure-pdf/GEUS-R_2026-05_web.pdf)
- Rasmussen, P., Kidmose, J., Kallesøe, A. J., Sandersen, P. B. E., Schneider, R., & Sonnenborg, T. O. (2023). Evaluation of adaptation measures to counteract rising groundwater levels in urban areas in response to climate change. *Hydrogeology Journal*, 31(1), 35–52. <https://doi.org/10.1007/s10040-022-02573-7>
- Sandersen, P. B. E., Brandes, C., Pedersen, J., Polom, U., Andersen, L. T., Kirsch, R., Almpanis, A., & Bentzen, A. T. (2026). *Blue Transition Pilot DK-1: 3D geological model of the Bylderup-Bov area*. [https://data.geus.dk/pure-pdf/GEUS\\_R\\_2026-04\\_web.pdf](https://data.geus.dk/pure-pdf/GEUS_R_2026-04_web.pdf)

## Bilag A Modelkalibrering

Bilag A beskriver den fundne parametersætning for den kalibrerede model. Middelfejl (ME) for modellen er -0,10 m og kvadratafgivelsessummen (RMS) er 0,72 m. En middelfejl på -10 cm betyder at i forhold til de observerede borerer simulerer modellen 10 cm for højt i middel (gennemsnit).

ME for diverse modeller/scenarier:

Basis -0,10 m

Naturgenopretning: -0,72 m

Dræn+2m: 0,11 m

Strømpeforing: 0,04 m

For strømpeforing forventes at ME er mere negativ end Basis model, men grundet boring 160.2295 ([Link til Jupiter](#)) grundvandsspejl ikke ses i boringsbaseret beregning af ME.

Tabel A1 viser de fundne parametre ved model kalibrering.

Farver på geologiske lag indikerer hvilke lag der er kalibreret sammen.

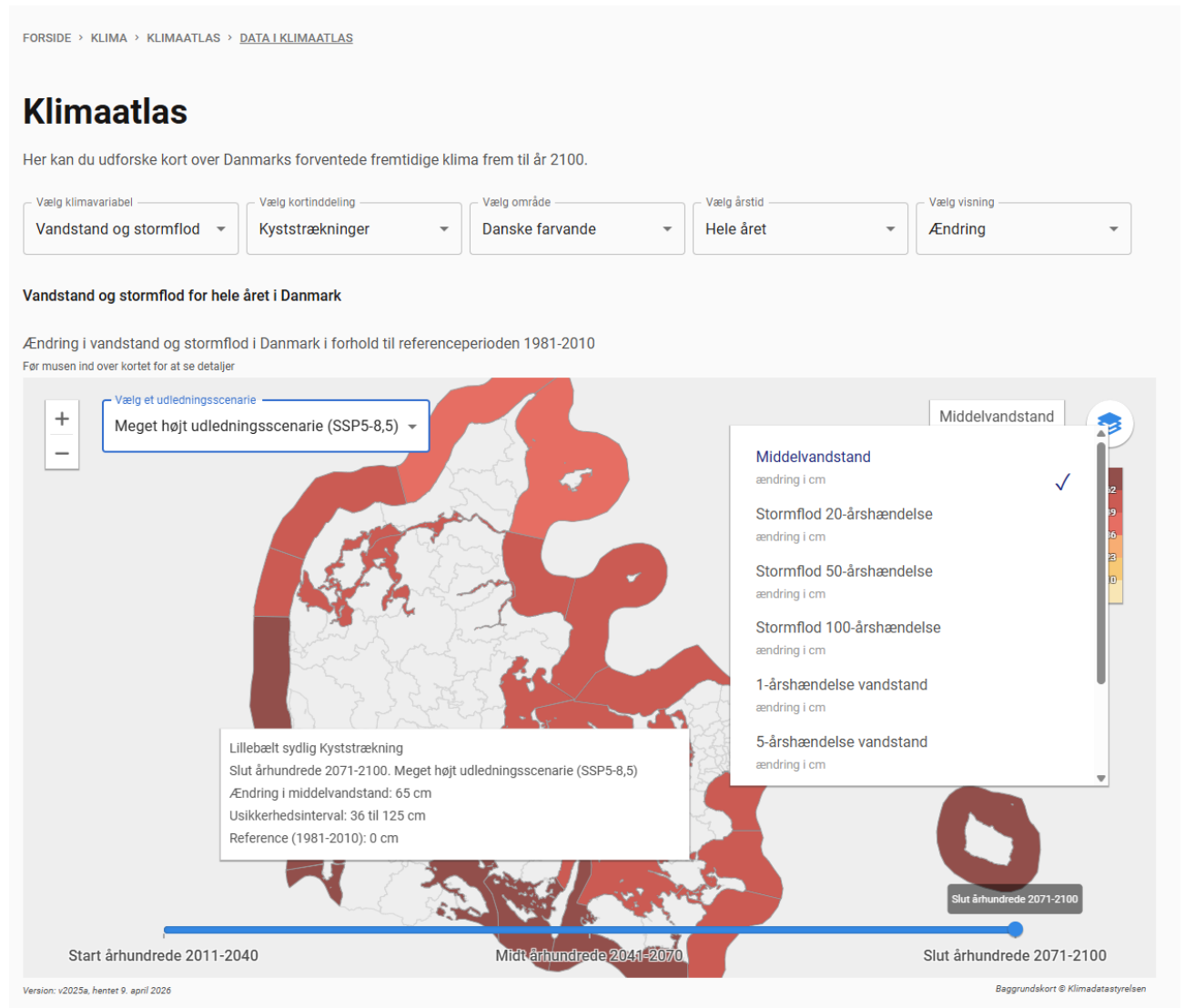
| Geologi           | ID   | Kh {m/d} | Kh/Kv | Specific Storage {1/m} | SpecificYield |
|-------------------|------|----------|-------|------------------------|---------------|
| Antro+PostGlacial | 50   | 28,8     | 10    | 0,000745               | 0,20          |
| Antro+PostGlacial | 100  | 28,8     | 10    | 0,000745               | 0,10          |
| Antro+PostGlacial | 120  | 28,8     | 10    | 0,000745               | 0,17          |
| Smeltevandssand   | 200  | 44,7     | 10    | 0,0109                 | 0,17          |
| Moræneler         | 300  | 0,00455  | 10    | 0,0149                 | 0,05          |
| Smeltevandssand   | 400  | 44,7     | 10    | 0,0109                 | 0,17          |
| Moræneler         | 1100 | 0,00455  | 10    | 0,00745                | 0,05          |
| Smeltevandssand   | 1200 | 53,0     | 10    | 0,00545                | 0,17          |
| Moræneler         | 1300 | 0,261    | 10    | 0,00745                | 0,05          |
| Smeltevandssand   | 1400 | 11,4     | 10    | 0,00545                | 0,17          |
| Moræneler         | 1500 | 0,00144  | 10    | 0,00745                | 0,05          |
| Smeltevandssand   | 2100 | 2,04     | 10    | 0,00545                | 0,17          |
| Moræneler         | 2200 | 0,00144  | 10    | 0,00545                | 0,05          |
| Moræneler         | 2400 | 0,00144  | 10    | 0,00245                | 0,05          |
| MiocænLer         | 5100 | 0,173    | 10    | 0,00463                | 0,05          |
| MiocænSand        | 5200 | 1,26     | 10    | 0,00245                | 0,17          |
| MiocænLer         | 5300 | 0,173    | 10    | 0,00463                | 0,05          |
| MiocænSand        | 5400 | 1,26     | 10    | 0,00245                | 0,17          |
| MiocænLer         | 5500 | 0,173    | 10    | 0,00245                | 0,05          |
| MiocænLer         | 5700 | 0,173    | 10    | 0,00463                | 0,05          |
| MiocænSand        | 5800 | 1,26     | 10    | 0,00245                | 0,17          |
| MiocænLer         | 6900 | 0,173    | 10    | 0,00245                | 0,05          |
| MiocænLer         | 8000 | 0,173    | 10    | 0,00745                | 0,078         |

# Bilag B Havniveaustigninger ved Aabenraa

Havniveaustigninger hentet fra DMI 9 april 2026.

[Link til DMI KlimaAtlas](#)

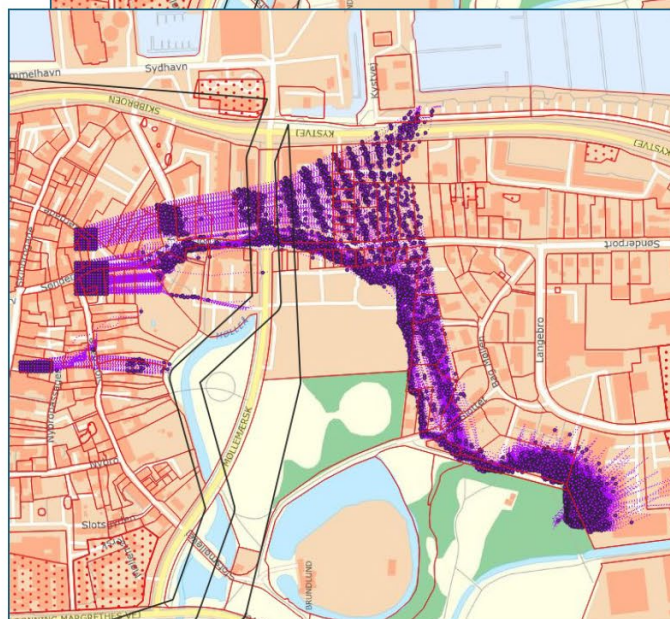
RCP 8,5.



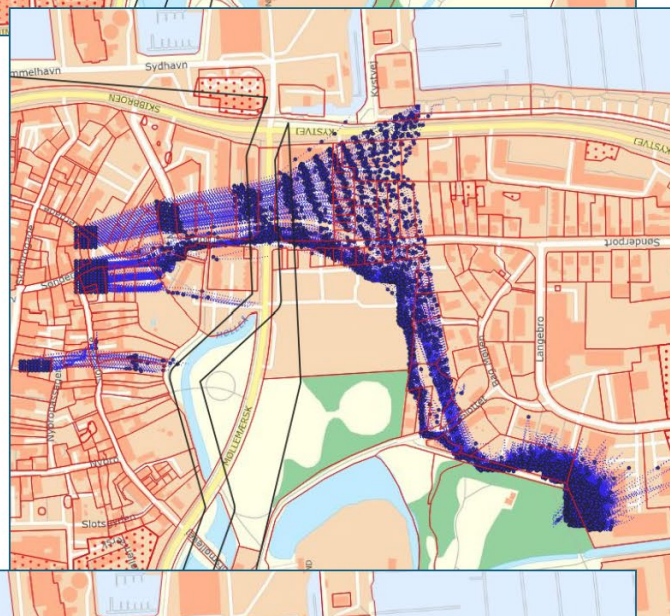
## **Bilag C Detailkort over partikelbaner**

Bilag C beskriver i detaljen ved forskellige kort partikelbanernes påvirkning for diverse tilpasningsscenarier. Bilaget er udarbejdet af Region Syddanmark i regionens QGis-værktøj og indeholder partikelbaner i form af punkter og linjer.

## Simulering af partikelbane – sydøstlige del



Simulering af basis scenario



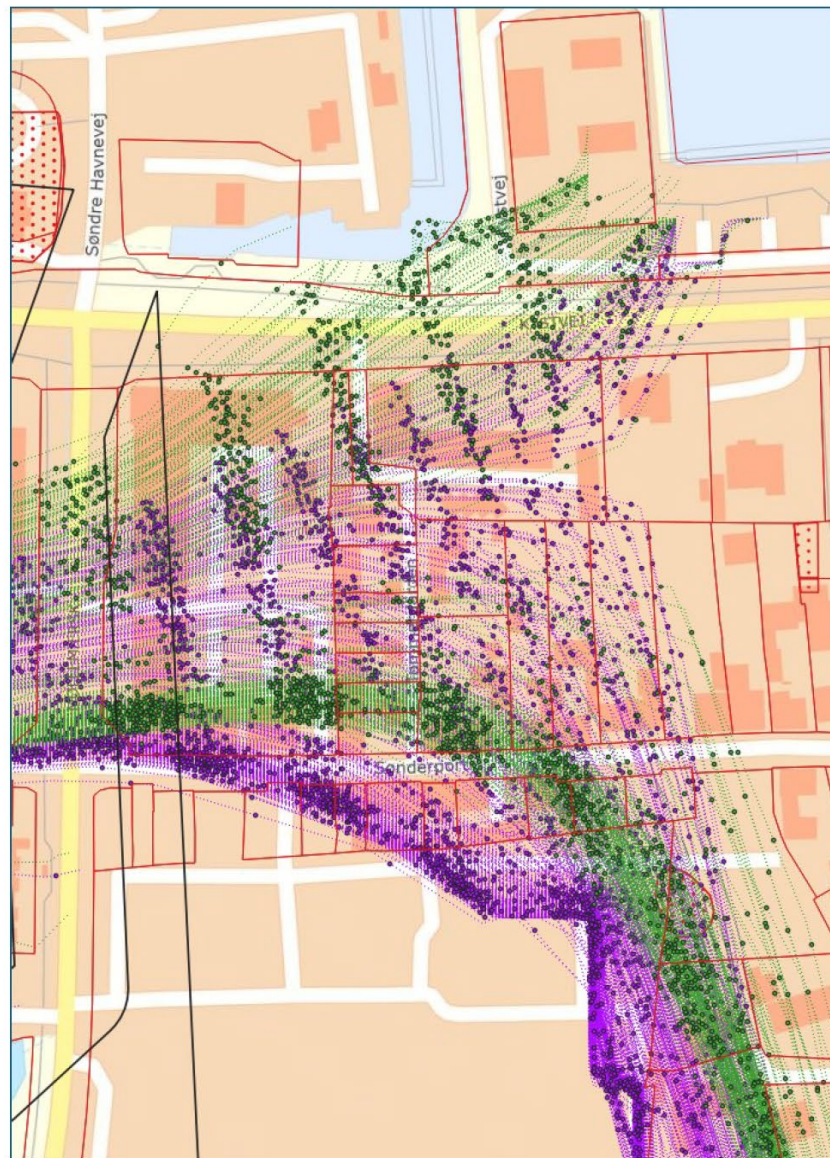
Simulering af scenario med grundvandsdræn



Simulering af scenario med strømpeføring



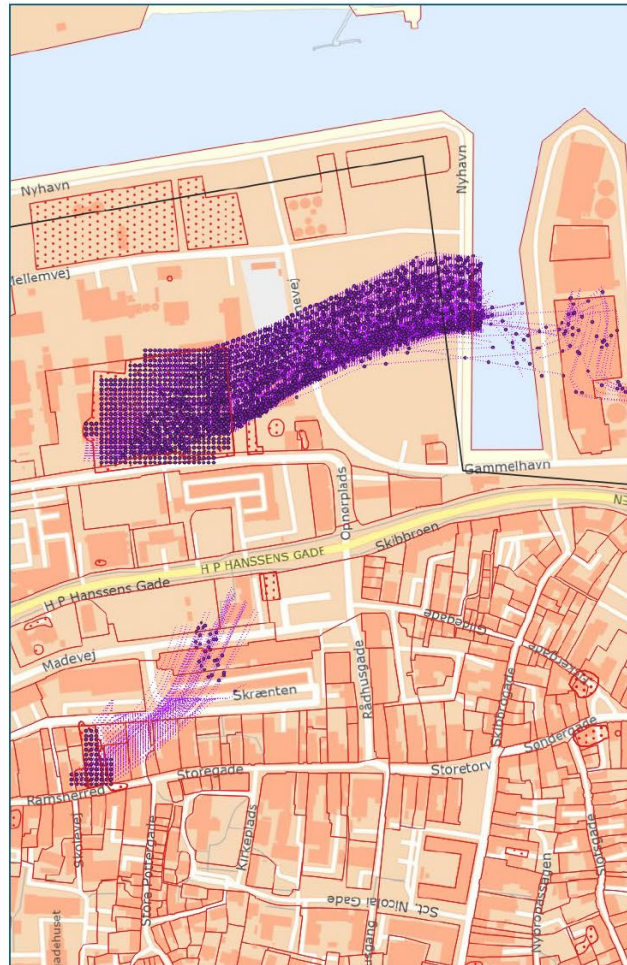
## Simulering af partikelbane – detaljer af sydøstlige del



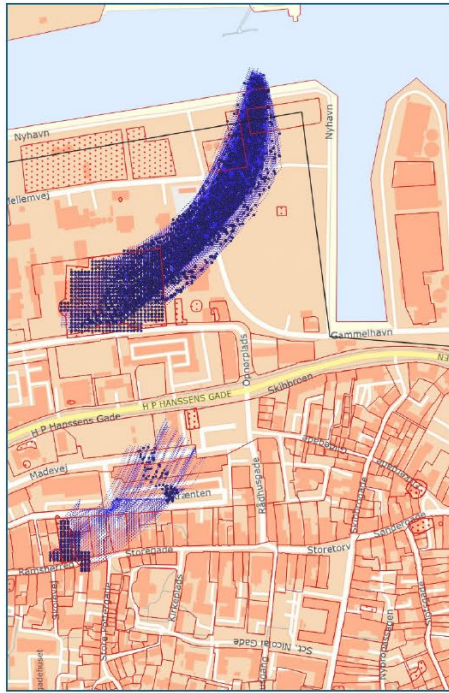
Udklip fra kortet med simulering af basis scenario (markeret med lilla farve) samt strømpeføring scenario (markeret med grønt). Med røde linjer er det indtegnede matrikler. Partikelbane er rykket ca. 30 m mod øst.

Strømpeføring kan forårsage øget udstrømning af forurenede komponenter til Aabenraa Havn.

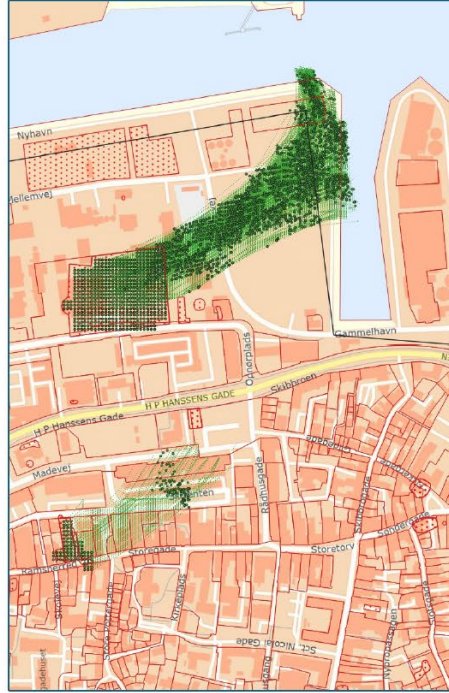
Simulering af partikelbane – østlige del



Simulering af basis scenario

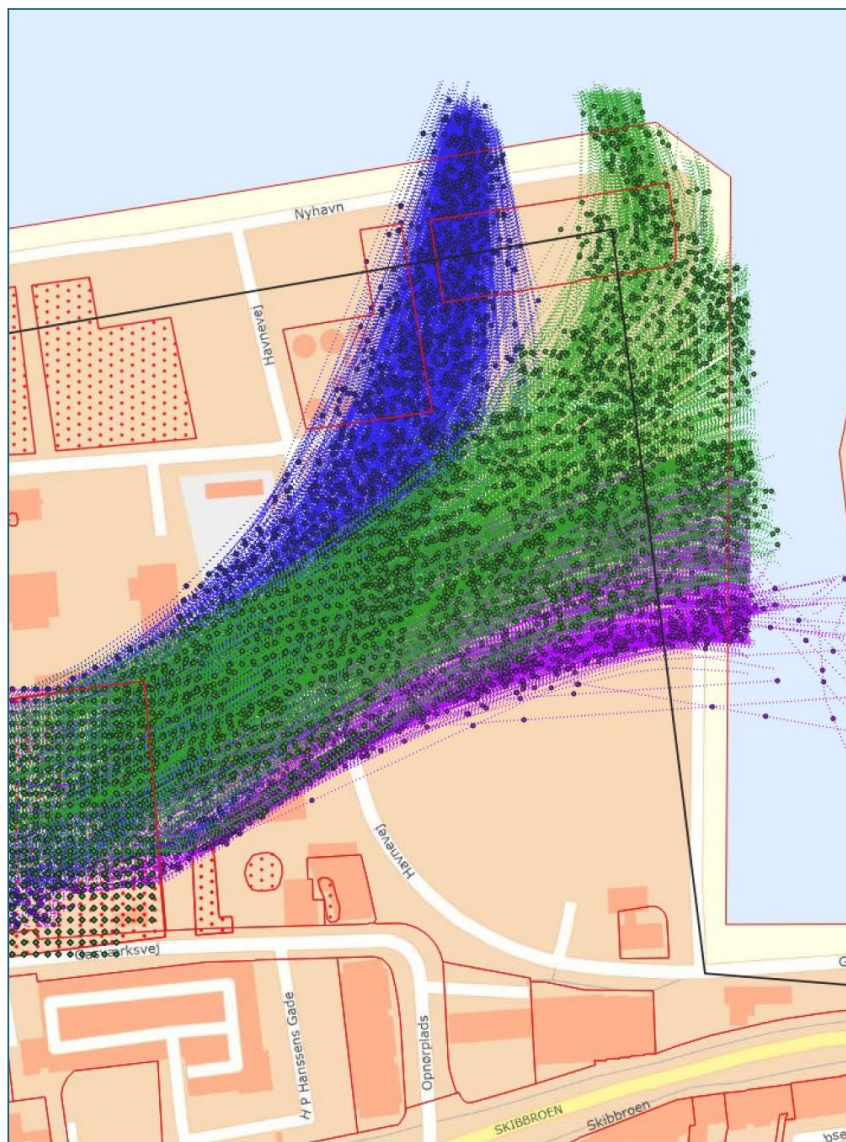


Simulering af scenario med grundvandsdræn



Simulering af scenario med strømpeforing





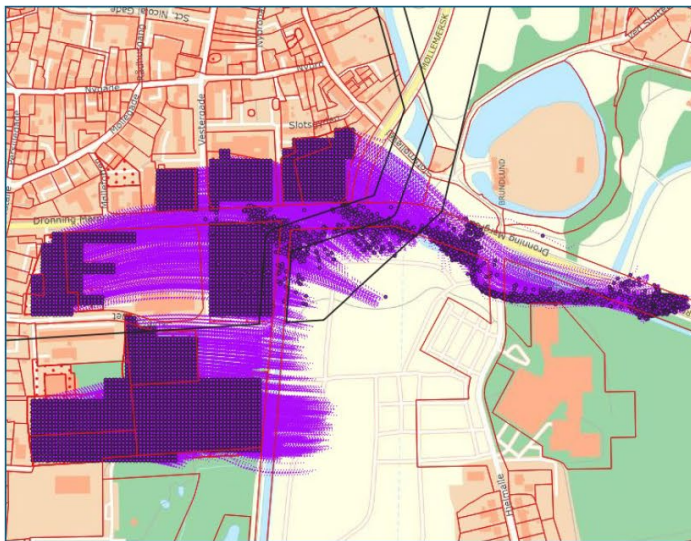
Udklip fra kortet med simulering af basis scenario (markeret med lilla farve), grundvandsdræn scenario (markeret med blå) samt strømpeforing scenario (markeret med grønt).

Med røde linjer er det indtegnede matricer.

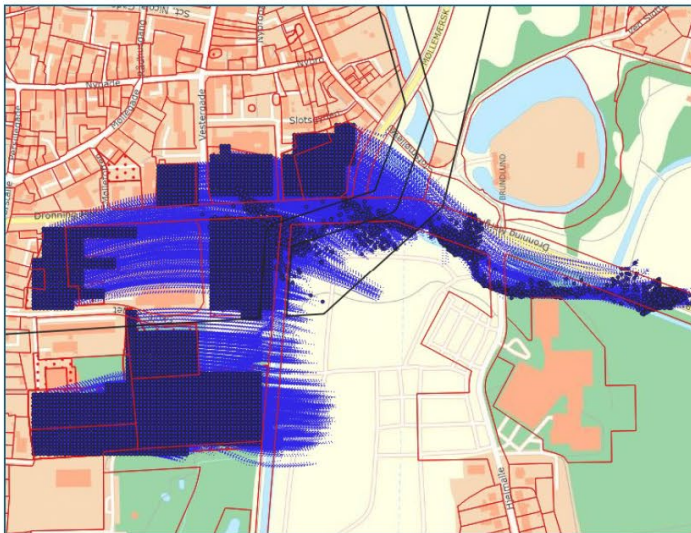
Partikelbane er rykket ca. 32 m mod øst ved strømpeføring mens scenario med grundvandsdræn "flytter" foreningsfanen ca. 80 m mod øst.

klimatilpasningstiltag kan forårsage ændring i udstrømningszone for forurenede komponenter i Aabenraa Havn.

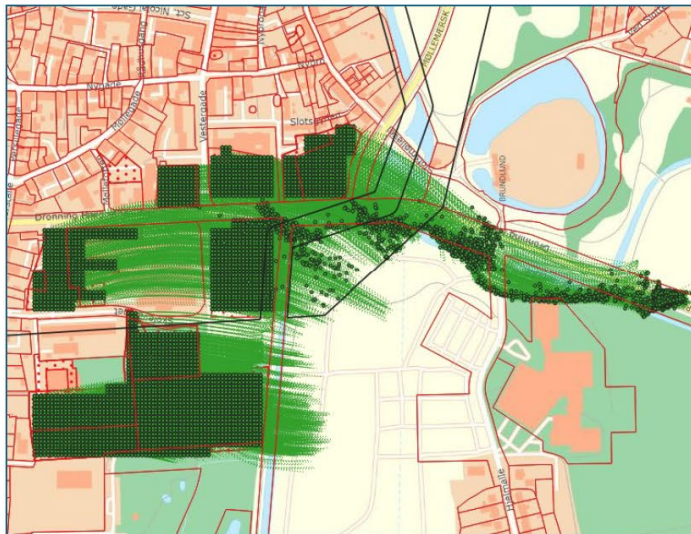
## Simulering af partikelbane – lossepladsen



Simulering af basis scenario



Simulering af scenario med grundvandsdræn



Simulering af scenario med strømpeforing



## Simulering af partikelbane – vestlige del



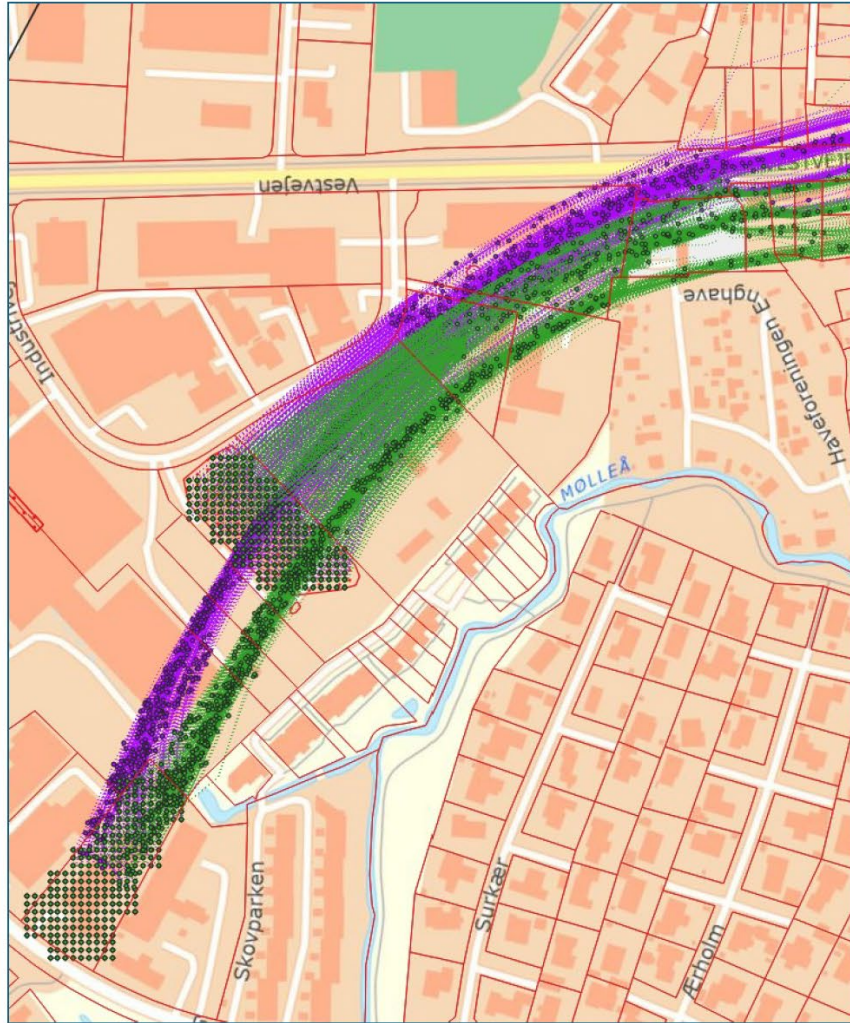
Simulering af basis scenario

Simulering af scenario med strømpeforing

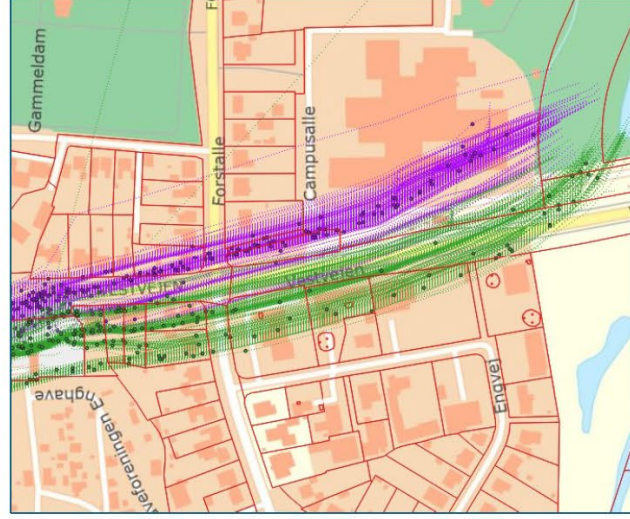
Simulering af scenario med grundvandsdræn



## Simulering af partikelbane – detaljer af vestlige del



Udklip fra kortet med simulering af basis scenario (markeret med lilla farve) samt strømpeføring scenario (markeret med grønt).  
Med røde linjer er det indtegnede matrikler. Partikelbane er rykket ca. 30 m mod syd i den nordlige del og ca. 50 m mod vest i den sydlige del af fanen.





## Bilag D Detailkort over grundvandsstand

Bilag D indeholder kortmaterie fra basismodel og tilpasningsscenarier, hvor der zoomet ind på nordlige del af fokusområde med de 3 tilpasningsscenarier. Dvs. et zoom af Figur 3 - Figur 12.

