



Oktober 2016

---

# AFVANDINGSFORHOLD I SKAGEN BY

Fase 3: Skitsering af løsninger og konsekvensberegninger



---

**PROJEKT**

Afvandingsforhold i Skagen by  
Fase 3: Skitsering af løsninger og konsekvensberegninger  
Frederikshavn Kommune, Frederikshavn Vand A/S og Frederikshavn Spildevand  
A/S

---

Projekt nr. 222396  
Version 2  
Dokument nr. 1221529209  
Version 2  
Udarbejdet af RKL  
Kontrolleret af JBJ  
Godkendt af JBJ

---

**NIRAS A/S**

Åboulevarden 80  
Postboks 615  
8000 Aarhus C

CVR-nr. 37295728  
Tilsluttet FRI  
[www.NIRAS.dk](http://www.NIRAS.dk)

T: +45 8732 3232  
F: +45 8732 3200  
E: [NIRAS@NIRAS.dk](mailto:NIRAS@NIRAS.dk)

D: +45 96306514  
E: [rkl@NIRAS.dk](mailto:rkl@NIRAS.dk)

---

---

**INDHOLD**

<b>1</b>	<b>Indledning.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Sammenfatning af fase 3 .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Forslag til mulige løsninger.....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Modellering.....</b>	<b>5</b>
4.1	Scenarier.....	5
4.2	Model input .....	6
4.2.1	Uddybning af eksisterende grøfter.....	6
4.2.2	Ny "afskærende grøft/dræn" .....	8
4.2.3	Omfangsdræn .....	8
<b>5</b>	<b>Resultater .....</b>	<b>9</b>
5.1	Faktuelle forhold (1999 – 2015).....	9
5.1.1	Afstand fra terræn til grundvandsspejl.....	9
5.1.2	Konsekvenser for grundvandsstanden .....	10
5.1.2.1	Grundvandsstandsændringer .....	10
5.1.2.2	Grundvandsstandens udvikling.....	14
5.1.3	Afledningsbehov .....	17
5.1.3.1	Drænede vandmængder.....	21
5.2	Fremtidige forhold (2041 - 2070) .....	22
5.2.1	Afstand fra terræn til grundvandsspejl.....	22
5.2.2	Konsekvenser for grundvandsstanden .....	24
5.2.2.1	Grundvandsstandsændringer .....	24
5.2.2.2	Grundvandsstandens udvikling.....	31
5.2.3	Afledningsbehov .....	33
5.2.3.1	Drænede vandmængder.....	38
5.3	Ekstreme hændelser.....	39
<b>6</b>	<b>Forenes løsningen med EU LIFE projektets formål?.....</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>Referencer .....</b>	<b>42</b>

---

## 1 INDLEDNING

Skagen By har en række problemer med højtstående grundvand. Således er formålet med dette projekt at kortlægge årsager til den høje grundvandsstand samt skitsere mulige løsninger. Dette gøres via et forløb på fire faser:

Fase 1: Interessentanalyse og samling af eksisterende data

Fase 2: Scenarieberegninger

Fase 3: Skitsering af løsninger og konsekvensberegninger

Fase 4: Skitseprojektering

Heraf er fase 1 og 2 gennemført og afrapporteret /1/, /2/.

Fase 1 gjorde det klart, at den høje grundvandsstand i Skagen er en konsekvens af mange forskellige årsager/bidrag i et kompleks sammenspil. Desuden er det et problem, som forventes at blive værre med tiden /1/. I fase 2 viste beregninger i en grundvandsmodel at konsekvenserne af reduceret/lukket indvinding i Skagen Klitplantage samt ændret nedbør- og fordampningsforhold vil medføre øget grundvandsstand i store dele af Skagen by og dermed et større behov for afvanding.

Disse påvirkninger er dog relativt begrænsede ift. konsekvenser af en havvandstandsstigning på 0,5 m, som vil bidrage med størstedelen af vand til afvandingsbehovet i år 2041 – 2071 /2/.

Følgende rapport omhandler fase 3. Her skitseres og vurderes konsekvenserne af mulige (del-)løsninger på den høje grundvandsstand og afvandingsproblemerne ift. aktuelle forhold (1999 – 2016) samt perioden 2041 – 2071. Den eksisterende grundvandsmodel benyttes til at vurdere konsekvenserne af løsningerne.

Modellens resultater er ikke eksakte men angiver relative størrelsesordner.

---

## 2 SAMMENFATNING AF FASE 3

Skagen har problemer med højtstående grundvand. Dette er et problem som forventes stigende. I perioden 2041 – 2070 blandt andet pga. klimænderinger, havvandsstigninger og lukket grundvandsindvinding fra Skagen Klitplantage.

I fase 3 af dette projekt er en grundvandsmodel benyttet til at få en forståelse for forskellige (del)-løsningers påvirkninger af grundvandsstanden i Skagen under hhv. aktuelle forhold (1999 – 2015) samt fremtidige forhold (2041 – 2070). Således er der med en koblet Mike SHE-Mike 11 model af Skagen Odde simuleret 12 forskellige scenarier.

Model resultaterne viste at:

- Under aktuelle forhold (1999 – 2015) er afstanden fra terræn til grundvandet i Skagen by naturligt relativ lille /2/. I perioden 2041 – 2070 vil afstanden fra terræn til grundvandspejlet generelt være relativ lille (< 0,5 m) i store dele af Skagen midtby, sydvest Skagen og Bankekarveret. I Nordbyen er afstanden omkring 1 m. Flere steder vil der, specielt i en nedbørsrig periode, være vand på terræn, hvis der ikke findes en løsning på problemet.
- En uddybning af eksisterende grøfter (grøft langs Bøjlevejen og Hvidegrøft) i den nordøstlige del af Skagen har ikke de store påvirkninger på grundvandsstanden i det nærliggende område. Dette er gældende både under aktuelle forhold og for perioden 2041 – 2070. Det formodes at skyldes det flade terræn, hvilket gør at vandet ikke kan strømme væk via naturlig gravitation. I perioden 2041 – 2070 vil en havvandsstigning yderligere få vandet i grøfterne til at stuve op og dermed bidrage til at hæve grundvandsstanden.
- En uddybning af Højen grøft og Kanalgrøften har under aktuelle forhold (1999 – 2015) betydning for grundvandsstanden i den vestlige del af Skagen og Bankekarveret. Disse tiltag vil i denne periode kunne sænke grundvandsstanden med op til ca. 0,5 m. Effekten af uddybningen aftager dog med tiden formodentlig pga. stigende havvandsstand. Således vil en uddybning af Højen grøft og Kanalgrøften have en begrænset betydning for grundvandsstanden i specielt Bankekarveret i perioden 2041 - 2070. Modellen viser, at man vil opnå en sænkning i grundvandsstanden på mindre end ca. 0,3 m.
- En ny "afskærende grøft/dræn" syd for Skagen, så tæt på byen som muligt har en positiv effekt ift. at sænke grundvandsstanden i Skagen midtby, SV Skagen og Bankekarveret. Dette både under aktuelle forhold (1999 – 2015) samt i perioden 2041 – 2070. Den nye "afskærende grøft/dræn" er dog alene ikke nok til at løse problemerne med høj grundvandsstand i Skagen.

- 
- En dræning af 50 % af Skagen bys areal til 1 m u.t. (via omfangsdræn der er tilsluttet regnvandskloak) er en måde at fastholde grundvandsstanden i en bestemt dybde ved bygninger. Denne metode vil sænke grundvandsstanden i Skagen både under aktuelle forhold (1999 – 2015) samt i perioden 2041 – 2070. Drænmængderne, der skal afledes til grøfter eller regnvandskloak under aktuelle forhold (1999 – 2015), skønnes i modellen at være omkring 0,8 mio. m<sup>3</sup>/år i et tørt år og 2,0 mio. m<sup>3</sup>/år for et vådt år. I perioden 2041 – 2070 øges drænmængderne til hhv. 1 mio. m<sup>3</sup>/år i et tørt år og 2,6 mio. m<sup>3</sup>/år for et vådt år. Skal der drænes til et lavere niveau pga. at mange bygninger i Skagen har kældre vil drænmængderne stige. Ved dræning må man ikke undervurdere risikoen for at kunne påføre sætningsskader på eksisterende anlæg og bygninger.

Baseret på modelresultaterne ses det, at valget af (del)-løsninger afhænger af hvilke områder der kigges på. Effektiviteten af del-løsningerne kan også variere afhængig af forholdene. Resultaterne viser også at for Skagen midtby (både under aktuelle forhold og i perioden 2041 – 2070), trods alle (del)-løsninger er anvendt, så vil der stadig i et tørt, gennemsnitligt og vådt år kunne være problemer med høj grundvandsstand og vand på terræn. Således er de simulerede (del)-løsninger ikke nok til at håndtere alle udfordringerne med højtstående grundvandsstand i enhver situation.

Den endelige løsning på udfordringerne vil også afhænge af dimensioneringskriteriet for afløbssystemet i Skagen. Hvilke hændelser (10 års, 25 års eller 50 års) er det eller skal det dimensioneres til at kunne modstå?

Nærværende projekts løsningers effekter er også undersøgt ift. EU- LIFE projektet REWETDUNE, som ønsker at hæve grundvandsstanden for at fremme unikke våde naturtyper /4/. På baggrund af denne undersøgelse konkluderes det, at REWETDUNE's foreslåede tiltag ift. at øge grundvandsstanden i Natura 2000 område 1 kan forenes med de i dette projekt undersøgte løsningsmuligheder ift. at sænke grundvandsstanden i Skagen by.

### 3 FORSLAG TIL MULIGE LØSNINGER

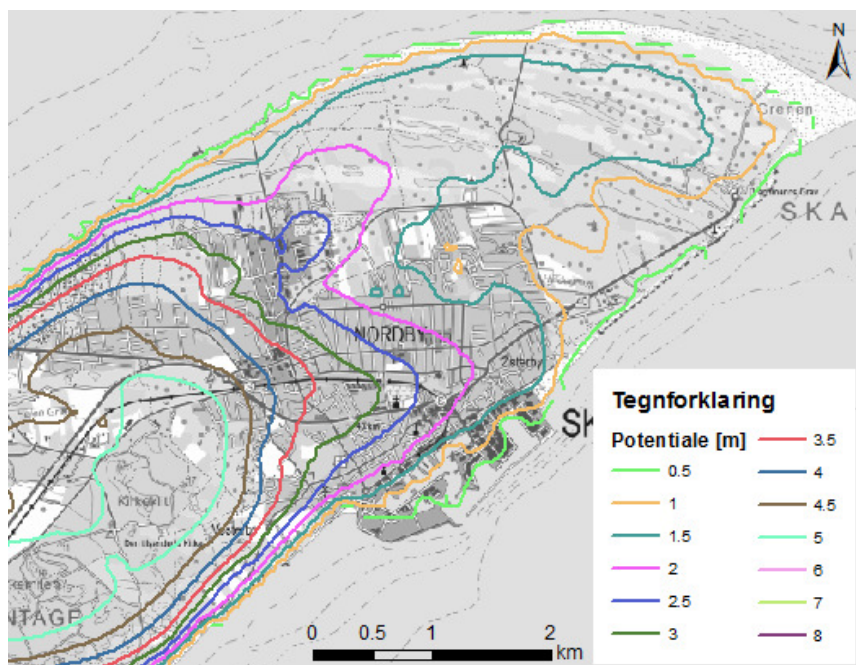
For at afhjælpe Skagens problemer med højtstående grundvand er der foreslået flere forskellige løsninger. Disse løsninger er:

- Sikre effektiv afvanding via eksisterende grøfter

Oprensning/uddybning af eksisterende grøfter for at øge grøfternes dræningseffekt samt sikre afvandingen.

- Ny "afskærende grøft/dræn" sydøst for Skagen by

Grundvandspotentialet udenfor Skagen by (Figur 1) viser, at grundvandsstrømningen primært kommer fra sydvest. En ny "afskærende grøft/dræn" sydøst for Skagen by forventes derfor at kunne lede noget af vandet væk og dermed afhjælpe nogle af problemerne med høj grundvandsstand i Skagen by.



Figur 1. Eksempel på potentialekort udtrukket fra scenarie 7 (100 % lukning af grundvandsindvindingen i Skagen Klitplantage, 0,5 m havvandsstandsstigning samt simulering af fremtidige nedbørs og fordampningsforhold (2041 – 2070), jf. Fase 2 rapporten /2/) for 2007, som er et middel vådt år.

- Udnyttelse af omfangsdræn

Grundejere har mulighed for, at ejendomme kan tilsluttes regnvandskloak for afledning af vand fra omfangsdræn omkring bygninger. Dette vil sikre de enkelte grundejere mod højtstående grundvand.



- Aflastning via regnvandssøer

Regnvandssøer kan være medvirkende til at aflaste vandløb/grøfter der ifm. regn hændelser kan være pressede ift. at kunne aflede vandet. Desuden kan regnvandssøer også designes til at være vandrensende. I Skagens Nordby har en arbejdsgruppe fået tilladelse til at etablere en regnvands sø ved Guldmajsvej i Skagen som et led i at tilbageholde regn- og drænvand, inden det ledes ud i Guldmajsgrøften, som af og til strømmer over sine bredder.

Effekten af ovenstående løsninger i forhold til at mindske Skagens problemer med højtstående grundvand vil blive undersøgt via modelsimuleringer (aflastning via regnvandssøer er ikke inkluderet i undersøgelsen).

## 4 MODELLERING

For at undersøge konsekvenserne af de foreslåede løsninger (jf. afsnit 3) er den eksisterende grundvandsmodel (dynamisk Mike SHE og Mike 11 model) for Skagen Odde benyttet. Modellen er grundigt beskrevet i /3/.

### 4.1 Scenarier

Følgende scenarier simuleres i grundvandsmodellen, for at forstå deres indvirkning på grundvandsstanden i Skagen by:

Scenarie 9.1 Afvanding af Skagen Nordby via eksisterende grøft langs Bøjlevej uddybes med 0,5 m og Hvidegrøft uddybes med 0,3 m. Samt yderligere afvanding af Bankevarteret/vestlige del af Skagen by ved at uddybe Kanalgrøften med 0,5 m. Højen grøft er uddybet med mellem 1 – 1,5 m men kun på den vestlige side af statsvejen.

Scenarie 9.7 Afvanding af Skagen Nordby via eksisterende grøft langs Bøjlevej. Grøften langs Bøjlevej uddybes med 0,5 m og Hvidegrøft uddybes med 0,3 m.

Scenarie 10.1 Afvanding af Skagen Nordby via eksisterende grøft langs Bøjlevej uddybes med 0,5 m og Hvidegrøft uddybes med 0,3 m. Samt yderligere afvanding af Bankevarteret/vestlige del af Skagen by ved at uddybe Højen grøft (på begge sider af statsvejen) med mellem 1 – 1,5 m. Kanalgrøften er uddybet med 0,5 m.

Scenarie 10.7 Afvanding af Bankevarteret/vestlige del af Skagen by ved at uddybe Højen grøft (på begge sider af statsvejen) med mellem 1 – 1,5 m og Kanalgrøften med 0,5 m.

Scenarie 11 Ny afskærende grøft/dræn sydøst for Skagen by. Grøft indlægges 1,5 m under terræn på det laveste sted i området.

- 
- Scenarie 12 50 % udnyttelse af omfangsdræn. Halvdelen af Skagen bys areal drænes.
- Scenarie 13 Samlet effekt af alle ovenstående (del)-løsninger. Således er grøften langs Bøjlevejen og Kanalgrøften uddybet med 0,5 m. Hvidegrøften er uddybet med 0,3 m. Højen grøft er uddybet med 1 – 1,5 m på begge sider af statsvejen. Det ”nye omfangsdræn” er indlagt 1,5 m under terræn. Yderligere er det antaget, at 50 % af byens grundejere er tilsluttet regnvandskloak for afledning af vand fra omfangsdræn omkring bygninger.

Alle scenarierne er simuleret over periode 1999 – 2015 og benytter en 3-års opvarmningsperiode baseret på middel nedbørs år.

De listede scenarier (scenarie 11, 12 og 13) er simuleret to gange. Først er udgangspunktet for scenarierne scenarie 1 i fase 2 rapporten /2/. Således holdes alle løsninger op imod de aktuelle forhold for perioden 1999 – 2015. Disse scenarier er i det efterfølgende kaldet scenarie 9.1, 10.1, 11.1, 12.1 og 13.1.

I anden omgang er udgangspunktet for scenarierne (i det følgende kaldet scenarie 9.7, 10.7, 11.7, 12.7 og 13.7) scenarie 7 i fase 2 rapporten /2/. Således simulerer scenarierne 9.7, 10.7, 11.7, 12.7 og 13.7 at grundvandsindvindingen i Skagen Klitplantage er lukket. Nedbørs- og fordampningsforhold svarer til perioden 2041 – 2070, og havvandsstanden er 0,5 m højere end nuværende niveau.

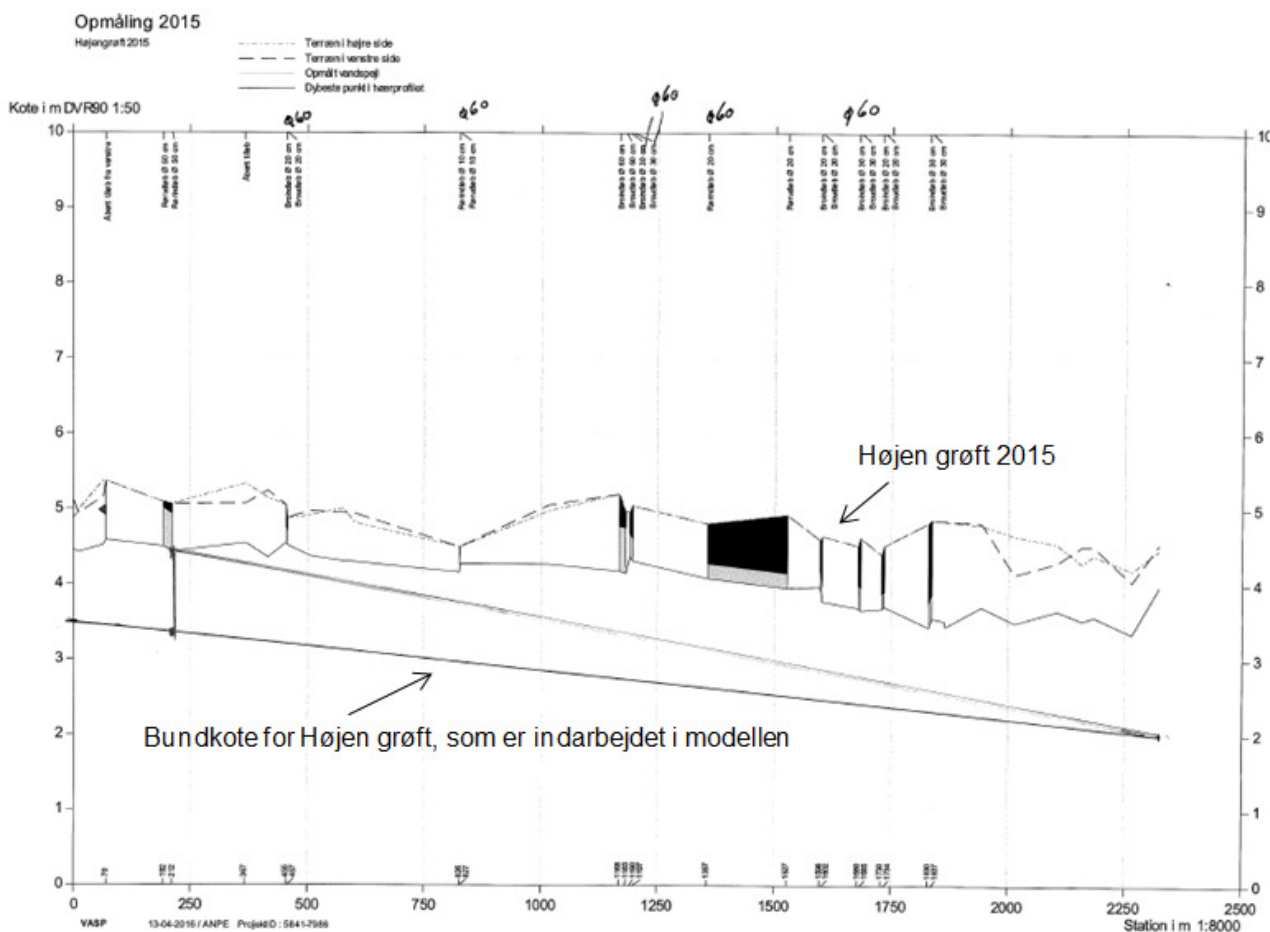
Suffiks .1 og .7 refererer således til om referencen scenarier er hhv. scenarie 1 eller scenarie 7.

## 4.2 Model input

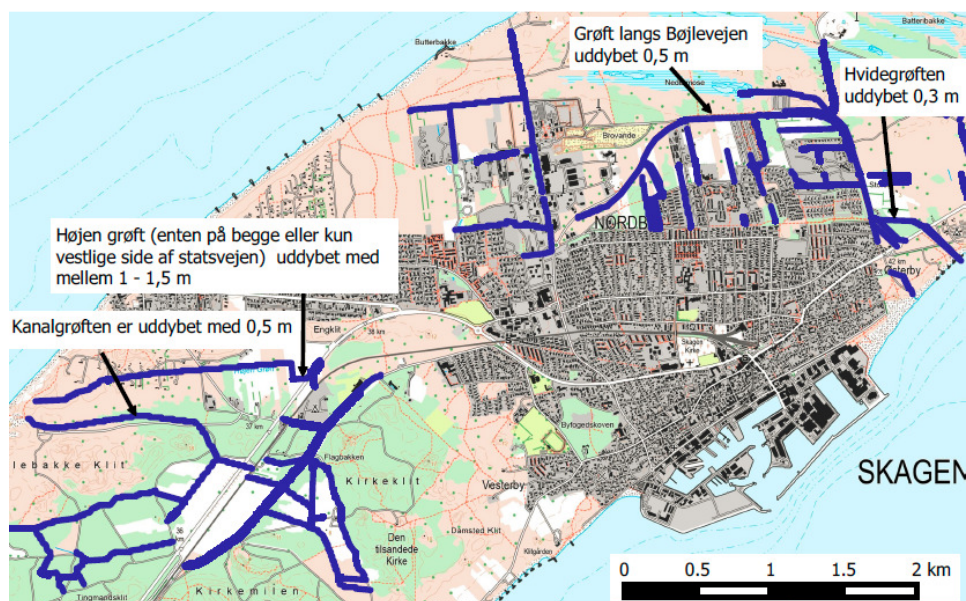
For at simulere konsekvenserne ved ændringer i eksisterende grøfter, nye grøfter/dræn samt udnyttelse af omfangsdræn har NIRAS gjort nogle antagelser. Disse er indarbejdet i model scenarierne og beskrevet i afsnit 4.2.1 til afsnit 4.2.3.

### 4.2.1 Uddybning af eksisterende grøfter

I scenarierne 9.1, 9.7, 10.1 og 10.7 er eksisterende grøfter blevet uddybet ved at sænke grøfternes bund. NIRAS har uddybet grøfterne ved at sænke bund af grøfternes seneste opmålte tværsnitprofiler med 0,5 m for hhv. grøften langs Bøjlevejen og Kanalgrøften. Hvidegrøften er uddybet med 0,3 m. Højen grøft er uddybet med mellem ca. 1 – 1,5 m (jf. Figur 2. Afhængig af scenariet er Højen grøft uddybet på den vestlige side af statsvejen eller på begge sider). En oversigt over de uddybede grøfter ses på Figur 3. Modeljusteringerne er foretaget i Mike 11.

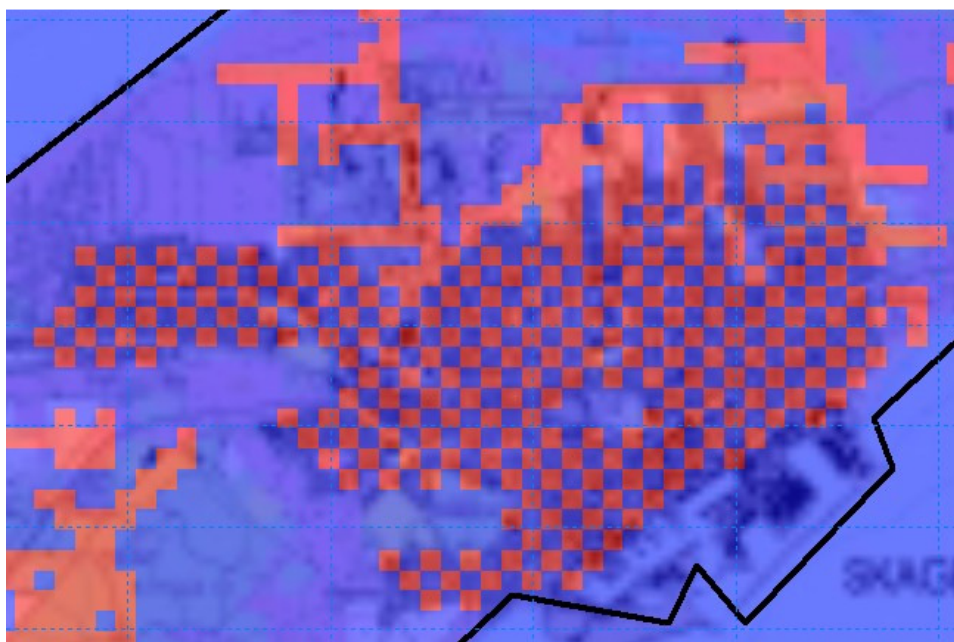


Figur 2. Længdesnit af Højengrøft jf. opmålinger foretaget i 2015. Nederste sorte linje angiver foreslået uddybning af Højengrøft samt bundkoterne indarbejdet i modellen (Mike 11).



Figur 3. Oversigt over grøfter der er uddybet i scenarierne 9.1, 9.7, 10.1 og 10.7.





Figur 5. Grid over Skagen by hvor hver anden celle (de røde) drænes. De mere sammenhængende røde celler indikerer placeringer af grøfter.

## 5 RESULTATER

Grundvandsstanden fra de enkelte modelsimuleringer er udtrukket fra modellen. Ligeledes er afstanden fra terræn til grundvandsstanden samt overfladeafstrømningen (via vandbalancer for 4 forskellige delområder af Skagen by). For disse modeludtræk skelnes der mellem et tørt år, middel år og vådt år for at se betydningen under naturlige nedbørmæssige variationer. Data for et tørt år er udtrukket fra 2005, hvor nedbøren var 514 mm/år. For et middel og vådt år er dataet fra hhv. 2007 og 1999 benyttet. Disse år havde nedbør på hhv. 707 mm/år og 1035 mm/år. Desuden er grundvandsstandstidsserier for at følge den tidsmæssige udvikling udtrukket fra 1999 – 2015 for udvalgte punkter.

Resultaterne af modelsimuleringerne er opdelt først med udgangspunkt i hvilken betydning uddybning af grøfter, en ny "afskærende grøft/dræn" samt anvendelse af omfangsdræn har ift. de aktuelle forhold (1999 – 2015). Derefter er det undersøgt hvilken betydning det har for perioden 2041 – 2070, hvor grundvandsindvindingen i Skagen Klitplantage er stoppet, nedbørs- og fordampningsforholdene er ændrede og der er en 0,5 m havvandstandsstigning.

### 5.1 Aktuelle forhold (1999 – 2015)

#### 5.1.1 Afstand fra terræn til grundvandsspejl

I fase 2 af dette projekt er det vist, at afstanden fra terræn til grundvandet i Skagen by naturligt er relativ lille /2/. Således viser modelberegninger, at grundvandsstanden står mindre end 0,5 m under terræn i store dele af Skagen by under aktuelle forhold i en tør periode. I en våd periode har flere områder vand på terræn.

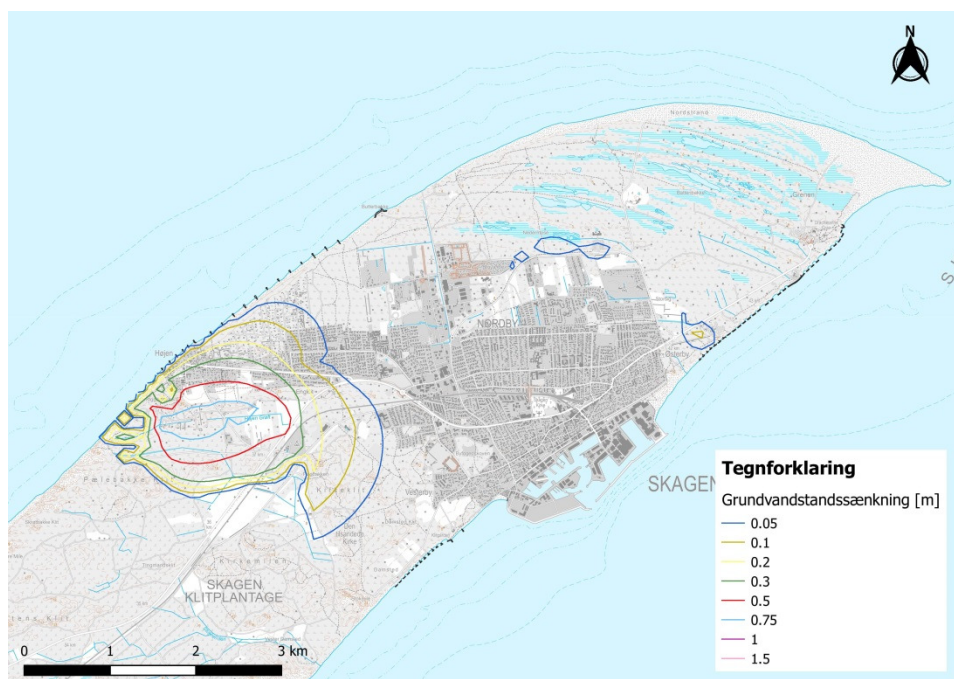
Grunden til at grundvandet i realiteten ikke står så højt som beregnet skyldes bl.a., at der er mange grundejere, der har private løsninger, samt at gamle og utætte kloakrør har en dræningseffekt /2/.

### 5.1.2 Konsekvenser for grundvandsstanden

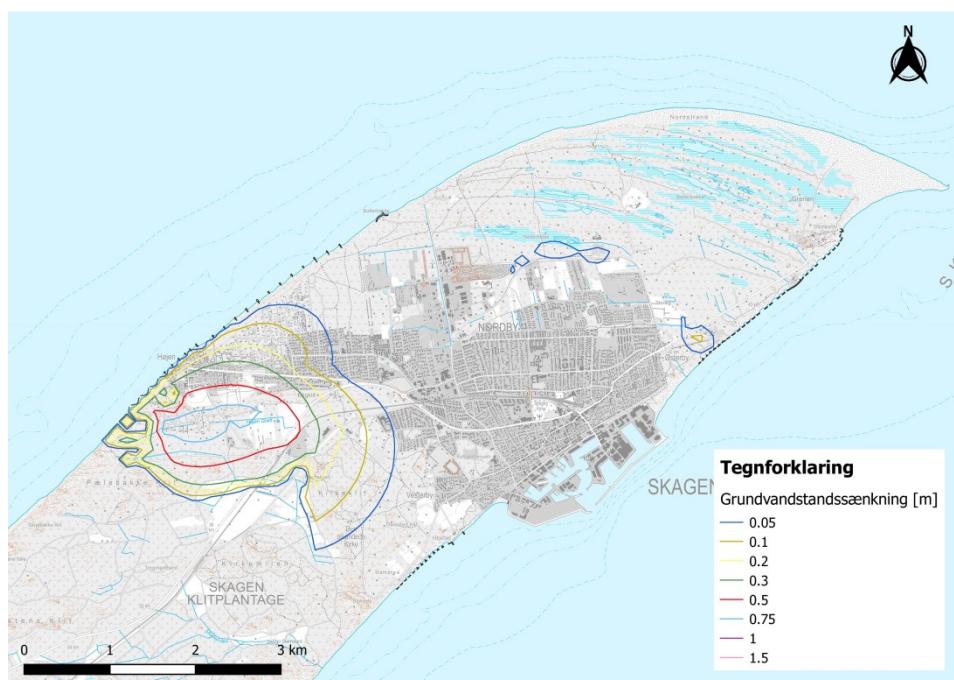
I det følgende ses på hvilke konsekvenser tiltag som bl.a. at uddybe grøfter, lave en ny "afskærende grøft/dræn" samt anvende omfangsdræn har at betydning for grundvandsstanden under aktuelle forhold (1999 – 2015).

#### 5.1.2.1 Grundvandsstandsændringer

I scenarie 9.1 og 10.1 er eksisterende grøfter uddybet ift. seneste opmålinger. I den nordøstlige del af Skagen by er den eksisterende grøft langs Bøjlevejen således uddybet med 0,5 m, og Hvidegrøften er uddybet med 0,3 m. Sydvest for Skagen by er Kanalgrøften uddybet med 0,5 m. Højen grøft er også uddybet med mellem 1 - 1,5 m, men i scenarie 9.1 er Højen grøft kun uddybet på den vestlige side af statsvejen. I scenarie 10.1 er Højen grøft uddybet på både den vestlige og østlige side af statsvejen. Figur 6 og Figur 7 viser, hvilken betydning uddybningen af grøfter vil have for grundvandsstanden ift. scenarie 1 (aktuelle forhold) i en våd periode.



Figur 6. Grundvandsstandssænkning i en våd periode ved at uddybe grøften langs Bøjlevejen 0,5 m og Hvidegrøften 0,3 m ift. seneste opmålinger i det nordøstlige Skagen samt at uddybe Højen grøft på den vestlige side af statsvejen og Kanalgrøften 0,5 m sydvest for Skagen. Dette set ift. scenarie 1 (aktuelle forhold, jf. /2/) hvor den eneste forskel er at grøfterne ikke er uddybet.

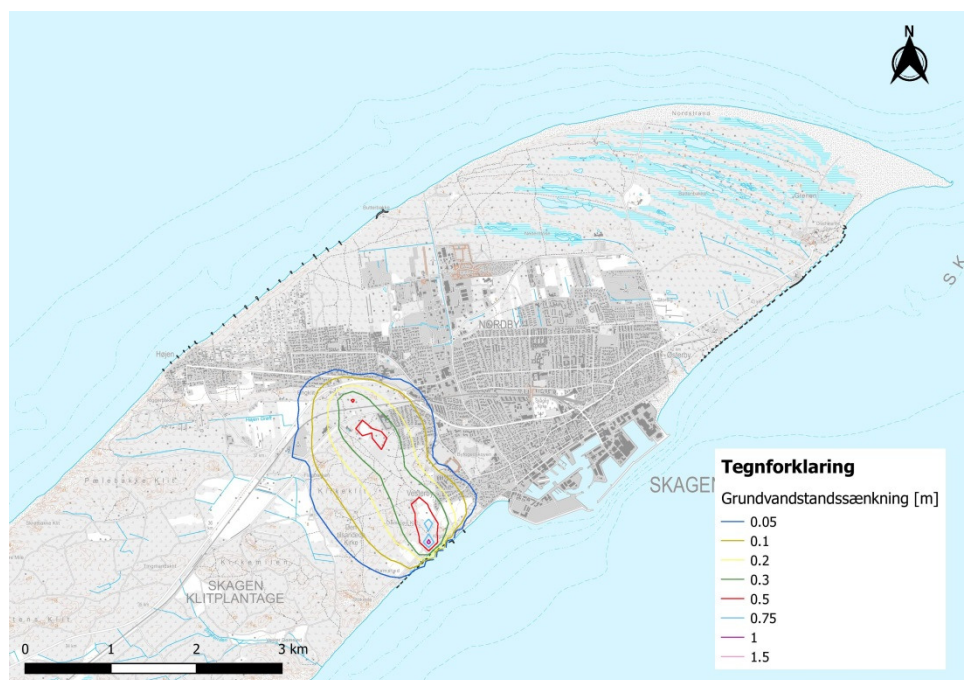
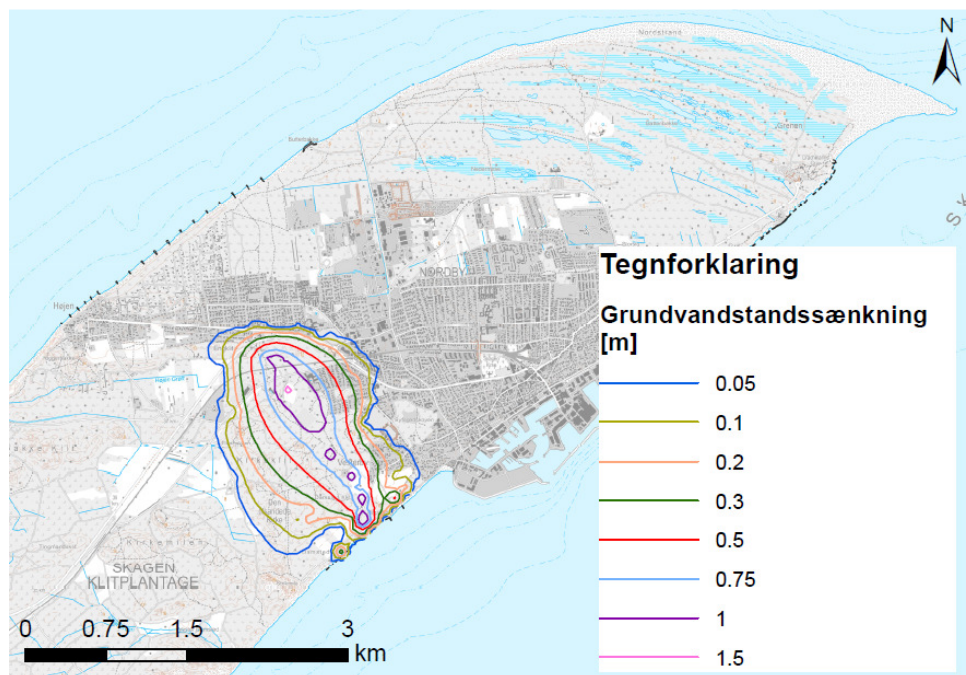


Figur 7. Grundvandsstandssænkning i en våd periode ved at uddybe grøften langs Bøjle-vejen 0,5 m og Hvidegrøften 0,3 m ift. seneste opmålinger i det nordøstlige Skagen samt at uddybe Højen grøft (på begge sider af statsvejen) og Kanalgrøften 0,5 m sydvest for Skagen. Dette set ift. scenarie 1 (aktuelle forhold, jf. /2/) hvor den eneste forskel er at grøfterne ikke er uddybet.

Af Figur 6 og Figur 7 ses det, at uddybningen af eksisterende grøfter vil sænke grundvandsstanden i nærheden af grøfterne. Sænkningen er begrænset i den nordlige del, men har større effekt i den sydlige del, hvor sænkningen maksimalt vil være op til ca. 0,75 m. Store dele af Bankekvarteret og den vestlige del af Skagen vil være påvirket af sænkningerne forårsaget af uddybningen af Højen grøft og Kanalgrøften.

Ved sammenligning af Figur 6 og Figur 7 ses det også, at betydningen af om Højen grøft er uddybet på begge sider af statsvejen eller kun på den vestlige side af statsvejen har mindre betydning for grundvandsstanden. Dette skyldes, at det er et relativt kort stykke af grøften, der findes på den østlige side af statsvejen.

Den foreslåede nye "afskærende grøft/dræn" i scenarie 11.1 vil også påvirke grundvandsstanden. Figur 19 viser hvordan den nye "afskærende grøft/dræn" vil sænke grundvandsstanden ift. scenarie 1 i en våd periode.

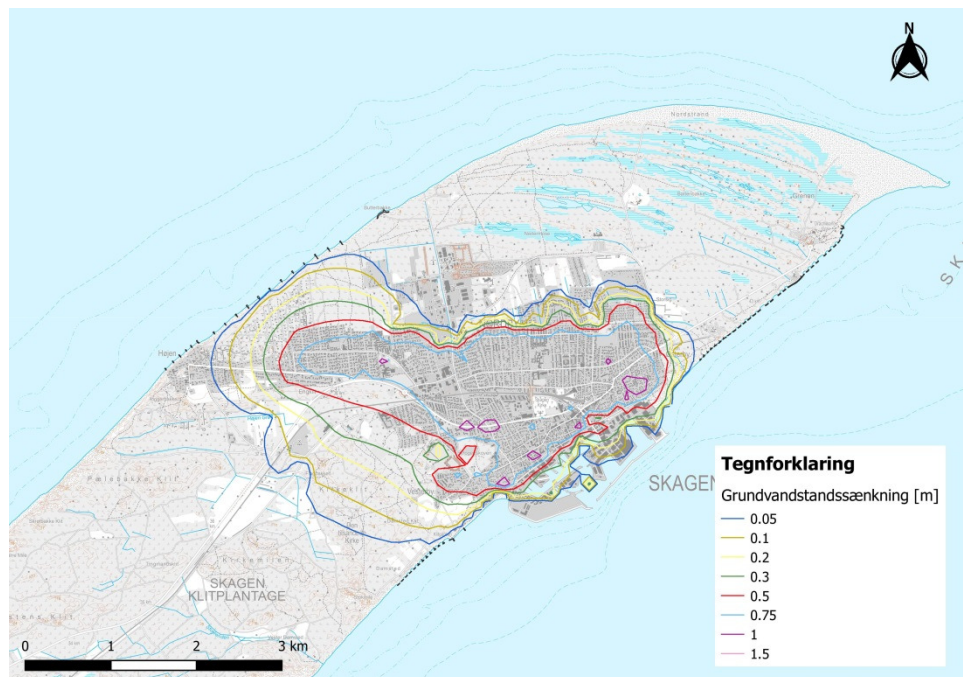


Figur 8. Grundvandsstandssænkning i en våd periode med den nye "afskærende grøft/dræn" sydvest for Skagen midtby (scenarie 11.1). Dette set ift. scenarie 1 hvor den eneste forskel er, at der ikke er nogen "afskærende grøft/dræn".

Det ses af Figur 8, at en ny "afskærende grøft/dræn" har en maksimal påvirkning af grundvandsstanden på ca. 1 m. I udkanten af Skagen sydvest by og Bankekvarteret vil en ny "afskærende grøft/dræn" kunne sænke grundvandsstanden mellem 0,05 m – ca. 0,3 m.



Hvis 50 % af Skagen bys areal drænes 1 m under terræn (scenarie 12.1), viser Figur 9, hvilken betydning det vil have for grundvandsstanden. Det ses heraf, at dette er en effektiv måde at sænke grundvandsstanden i byen i et bestemt niveau. I størstedelen af byen sænkes grundvandsstanden med 0,75 m.



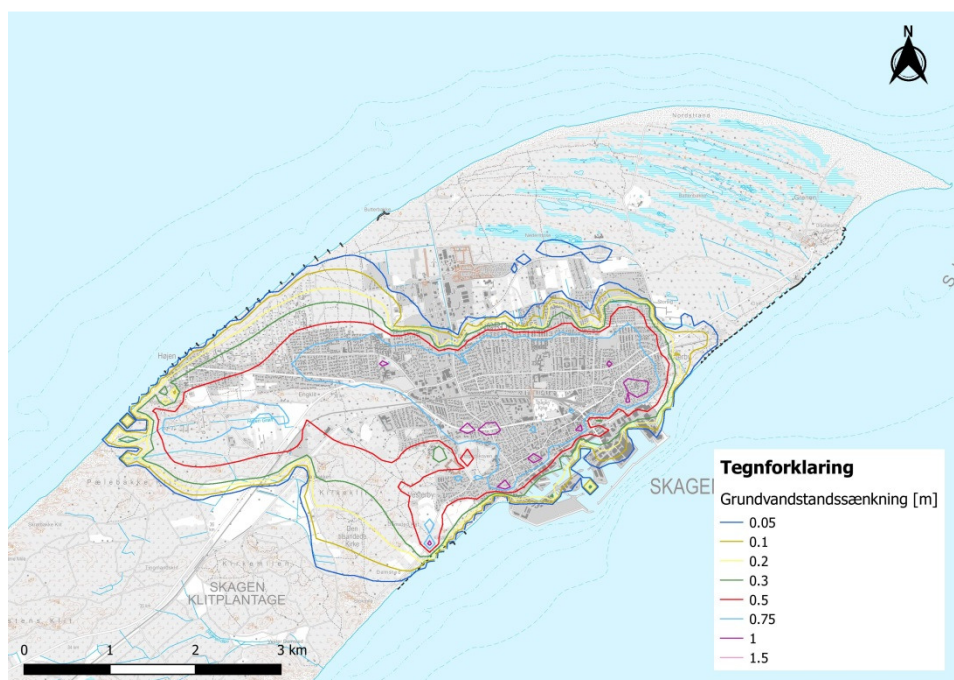
Figur 9. Grundvandsstandssænkning i en våd periode når 50 % af Skagen bys areal drænes med dræn indlagt 1 m under terræn (scenarie 12). Dette set ift. scenarie 1 hvor den eneste forskel er, at Skagen by ikke drænes.

De enkelte scenarier viser således forskellige grundvandstandsændringer og områder der påvirkes.

Når alle (del)-løsninger samles i ét scenarie (scenarie 13.1) viser Figur 10, hvordan grundvandsstanden vil blive påvirket ift. scenarie 1 (de aktuelle forhold).

Det ses, at den akkumulerede sænkning af grundvandsstanden har en større arealmæssig udbredelse, men den maksimale sænkning er på 1,5 m ift. scenarie 1.

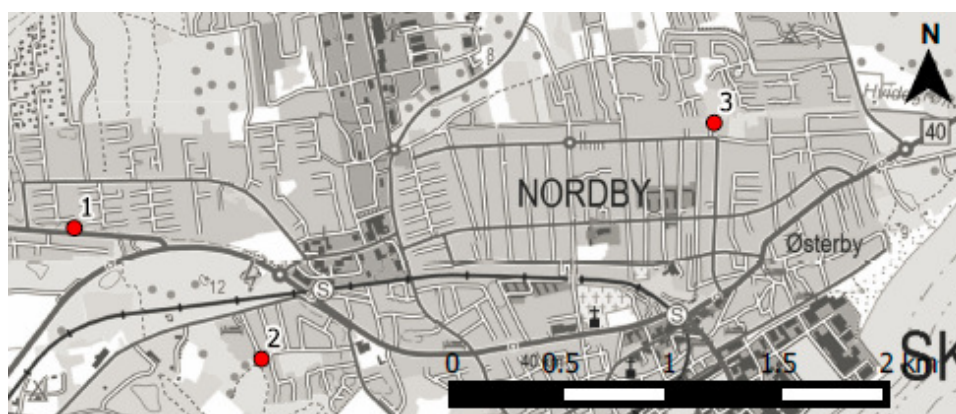
Dette skal ses ift. afstanden fra terræn til grundvandsspejlet, som ligger relativt højt og i perioder i terræn (jf. /2/).



Figur 10. Grundvandsstandssænkning i en våd periode når alle (del)-løsninger inkluderes (scenarie 13.1). Dette set ift. scenarie 1 hvor den store forskel er at (del)-løsningerne ikke er inkluderet i modelsimuleringen.

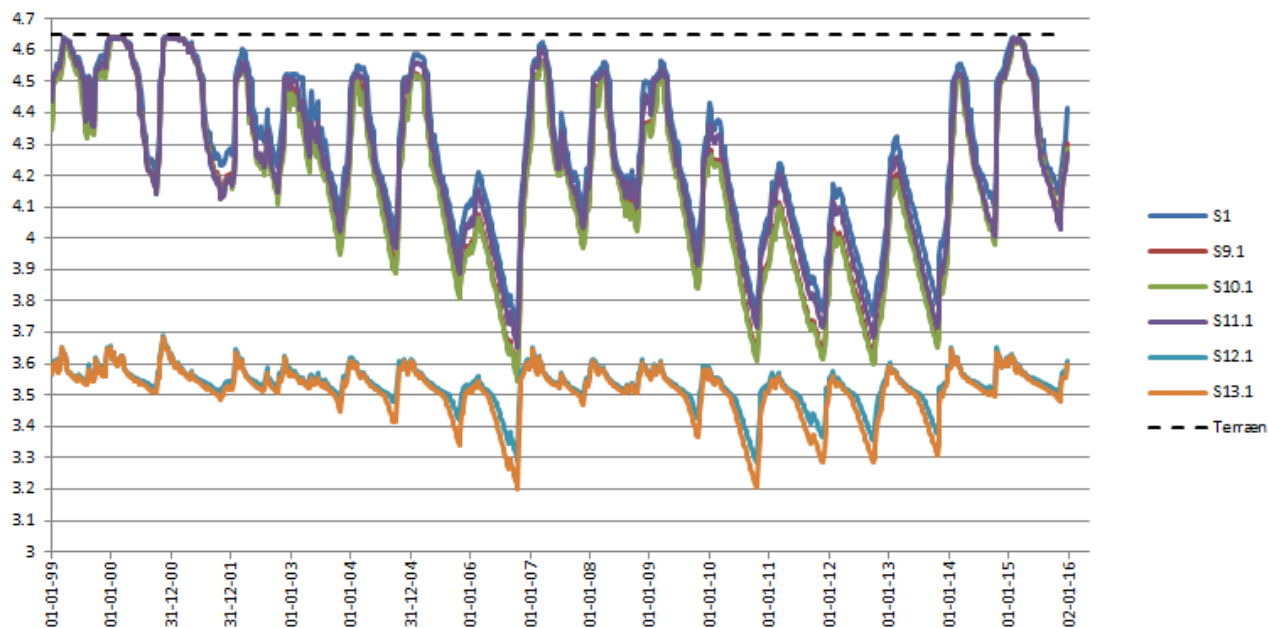
#### 5.1.2.2 Grundvandsstandens udvikling

For at få et indblik i konsekvenserne for grundvandsstandens udvikling fra en situationen med aktuelle forhold svarende til perioden 1999 – 2015 (scenarie 1, S1) til situationerne hvor eksisterende grøfter er uddybet (scenarie 9.1 og 10.1, S9.1 og S10.1), der er lavet en ny "afskærende grøft/dræn" (scenarie 11.1, S11.1), 50 % af byens areal er drænet (scenarie 12.1, S12.1) og hvor alle (del)-løsninger er samlet i et scenarie (scenarie 13.1, S13.1) er der udtaget tidsserier af grundvandsstanden udvikling fra 1999 – 2015 tre steder i Skagen by. De tre steder hvor tidsserier af grundvandsstanden er udtaget er vist på Figur 11.

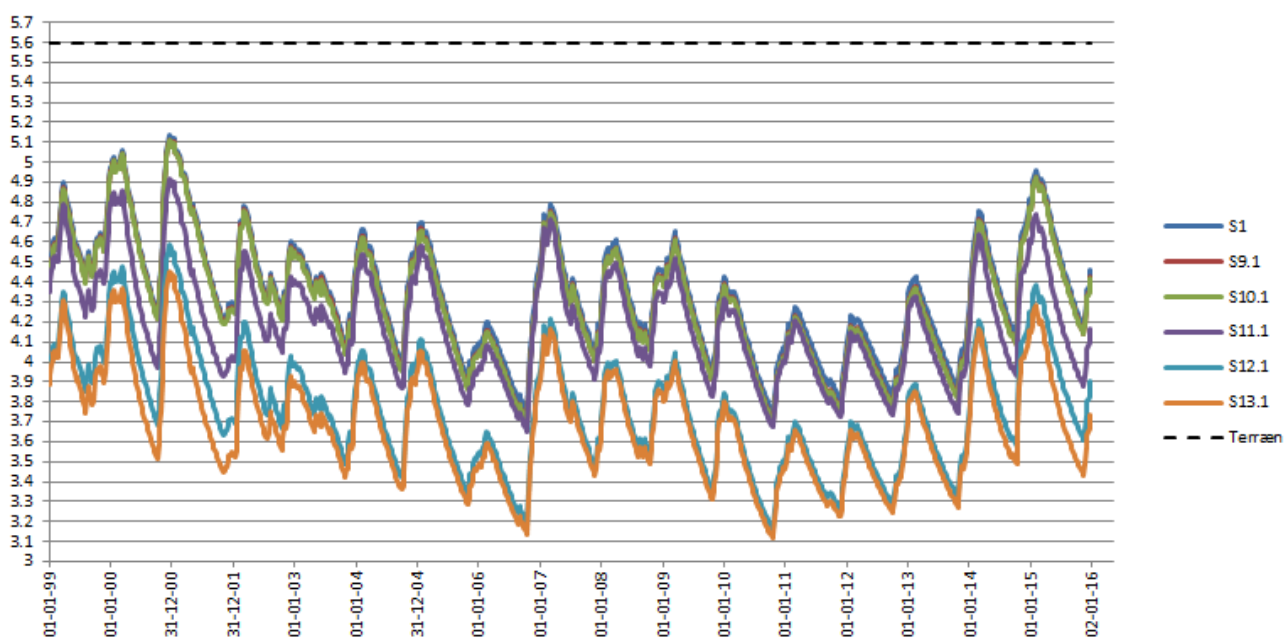


Figur 11. Udtagningspunkter (1, 2 og 3) for tidsserier med grundvandsstanden.

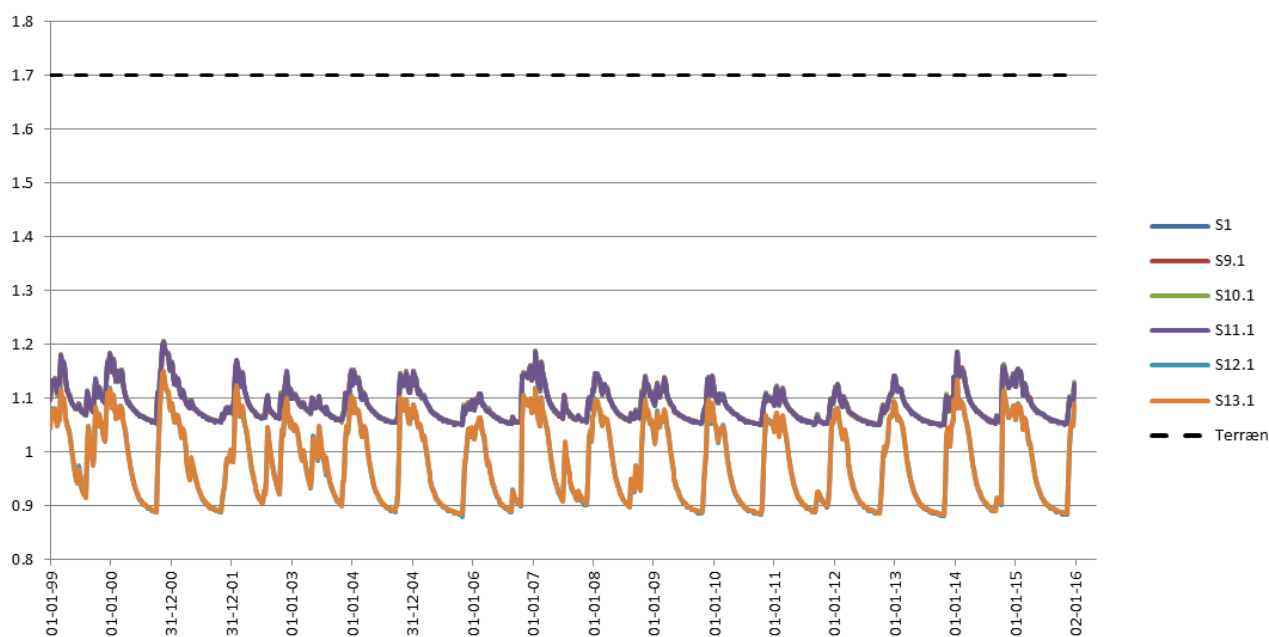
Udviklingen i grundvandsstanden fra 1999 – 2015 for scenarie 1 (S1) samt scenarie 9.1 (S9.1) – scenarie 13.1 (S13.1) er vist på Figur 12 for punkt 1, Figur 13 for punkt 2 og Figur 14 for punkt 3.



Figur 12. Grundvandsstandens udvikling fra 1999 – 2015 ved scenarie 1, 9.1 – 13.1 (S1, S9.1 -S13.1) ved punkt 1 (jf. Figur 11). Terrænkote ved punkt 1 er 4,65 m, S9.1 - S11.1 er næsten sammenfaldende. Ligeledes er S12.1 og S13.1.



Figur 13. Grundvandsstandens udvikling fra 1999 – 2015 ved scenarie 1, 9.1 – 13.1 (S1, S9.1 -S13.1) ved punkt 2 (jf. Figur 11). Terrænkote ved punkt 2 er 5,6 m, S1, S9.1 og S10.1 er næsten sammenfaldende. Ligeledes er S12.1 og S13.1.



Figur 14. Grundvandsstandens udvikling fra 1999 – 2015 ved scenarie 1, 9.1 – 13.1 (S1, S9.1 -S13.1) ved punkt 3 (jf. Figur 11). Terrænkote ved punkt 1 er 1,7 m. S1, S9.1 - S11.1 er næsten sammenfaldende. Ligeledes er S12.1 og S13.1.

Figur 12, Figur 13 og Figur 14 viser, at det er forskelligt hvordan de enkelte løsninger påvirker grundvandsstanden på de tre udtagningspunkter (jf. Figur 11). Generelt er det gældende, at ved udtagningspunkt 1, 2 og 3 er der minimal forskel i grundvandsstanden mellem hhv. scenarie 1, 9.1 og 10.1. Dette betyder, at uddybning af grøften langs Bøjlevejen, Hvidegrøften, Højen grøft og Kanalgrøften ikke har en betydning for grundvandsstanden i de udvalgte udtagningspunkter. Figur 6 og Figur 7 viser hvilke områder, grundvandsstand vil være påvirket ved uddybning af de eksisterende grøfter.

Den foreslåede nye "afskærende grøft/dræn" (scenarie 11.1) ses at have størst betydning for grundvandsstanden i udtagningspunkt 2.

Ved udnyttelse af omfangsdræn ved bygninger, hvor det antages at halvdelen af Skagen by areal drænes, ses en påvirkning på grundvandsstanden i alle tre udtagningspunkter. I punkt 1 hvor grundvandsstanden ofte står i terræn vil en dræning medføre at grundvandsstanden sænkes med 1 meter (dette er bestemt af dræningsniveauet) og de årlige grundvandsvariationer minimeres til omkring 0,2 – 0,4 m. Ved udtagningspunkt 2 og 3 står grundvandsstanden ikke nær så højt som i udtagningspunkt 1, således er grundvandssænkningen generelt også mindre.

I scenarie 13.1 er alle løsninger samlet i ét scenarie, for at vurdere akkumulerede påvirkninger. Af Figur 14 ses, at der i punkt 3 er minimale akkumulerede påvirkninger. Her er det hovedsageligt scenarie 12.1 som er med til at sænke

grundvandsspejlet. I punkt 1 og 2 (Figur 12 og Figur 13) er der en mindre akkumuleret effekt på grundvandsstanden forårsaget af den nye "afskærende grøft/dræn" og dræningen af 50 % af Skagen bys areal.

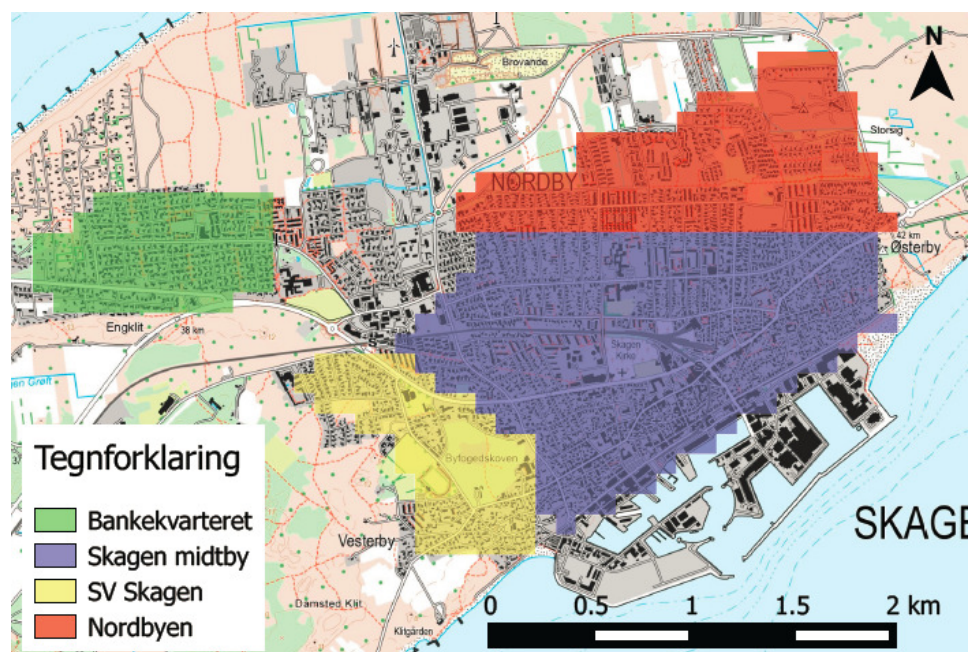
### 5.1.3 Afledningsbehov

Grundvandet står højt i Skagen, og i perioder ses vand på terræn. Modelteknisk håndteres vand på terræn af overfladeafstrømningsmodulet, som fjerner vandet. NIRAS har derfor udtrukket overfladeafstrømningen for alle scenarier under hhv. en tør, middel og våd periode for 4 forskellige områder i Skagen by, jf. Figur 15.

Data for overfladeafstrømningen er vist i Tabel 1 - Tabel 4. Overfladeafstrømningen afspejler den mængde vand, der skal fjernes fra området (afvandingsbehovet) for at holde grundvandsstanden i terræn ved de enkelte scenarieændringer.

Er overfladeafstrømning faldende fra scenarie 1 til hhv. scenarie 9.1, 10.1, 11.1, 12.1 eller 13.1 afspejler dette de enkelte scenariers virkning ift. at sænke grundvandsspejlet i hvert af de fire områder (Banke kvarteret, Skagen midtby, SV Skagen og Nordbyen).

Er der ingen ændring i overfladeafstrømning fra scenarie 1 til hhv. scenarie 9.1, 10.1, 11.1, 12.1 eller 13.1 har ændringen i det respektive scenarie ingen/minimal betydning for grundvandsstanden i området og dermed ændres afledningsbehovet heller ikke.



Figur 15. Markering af de fire områder (Banke kvarteret, Skagen midtby, Nordbyen og SV Skagen) som overfladeafstrømningen/afvandingsbehovet er trukket ud for.

Tabel 1. Overfladeafstrømningen/afvandingsbehovet for scenarie 1 samt scenarie 9.1 – 13.1 fra hhv. et tørt, middel og vådt år for Bankekvarteret. Bankekvarteret har et areal på 64 ha.

<b>Bankekvarteret</b>		<b>Tørt år</b>	<b>Middel år</b>	<b>Vådt år</b>
<b>Sce.</b>	<b>Beskrivelse</b>	<b>Overfladeafstrømning [m<sup>3</sup>/år]</b>	<b>Overfladeafstrømning [m<sup>3</sup>/år]</b>	<b>Overfladeafstrømning [m<sup>3</sup>/år]</b>
<b>1</b>	<b>Aktuelle forhold (1999 – 2015)</b>	13.000	28.000	86.000
<b>9.1</b>	<b>Som Sce. 1 men med grøft langs Bøjlevejen, Hvidegrøften, Kanalgrøften og vestlige del af Højen grøft uddybet</b>	10.000	21.500	64.500
<b>10.1</b>	<b>Som Sce. 1 men med grøft langs Bøjlevejen, Hvidegrøften, Kanalgrøften og Højen grøft uddybet</b>	9.500	21.000	62.000
<b>11.1</b>	<b>Som Sce. 1 men med ny "afskærende grøft/dræn"</b>	10.000	23.500	65.000
<b>12.1</b>	<b>Som Sce 1 men med 50 % af arealet drænet</b>	0	0	0
<b>13.1</b>	<b>Som Sce 1 men med alle (del)-løsninger</b>	0	0	0

Tabel 1 viser, at i Bankekvarteret vil en uddybning af Højen grøft og Kanalgrøften (Scenarie 9.1 og 10.1) mindske aflastningsbehovet med ca. 2.000 m<sup>3</sup>/år i en tør situation og 24.000 m<sup>3</sup>/år i en våd situation. Omtrent samme mængder vil den nye "afskærende grøft/dræn" kunne mindske aflastningsbehovet med.

Løsningen med af dræne 50 % af Skagen bys areal via omfangsdræn vil medføre, at der ikke kommer vand på terræn i Bankekvarteret. Da der er indlagt dræn 1 m u.t. vil disse dræne vandet væk. I afsnit 5.1.3.1 vises estimater af hvor meget vand der skal drænes væk.

Tabel 2. Overfladeafstrømningen/afvandingsbehovet for scenarie 1 samt scenarie 9.1 – 13.1 fra hhv. et tørt, middel og vådt år for Skagen midtby. Skagen midtby har et areal på 223 ha.

Skagen midtby		Tørt år	Middel år	Vådt år
Scenarie	Beskrivelse	Overfladeafstrømning [m <sup>3</sup> /år]	Overfladeafstrømning [m <sup>3</sup> /år]	Overfladeafstrømning [m <sup>3</sup> /år]
1	Aktuelle forhold (1999 – 2015)	200.500	426.500	832.500
9.1	Som Sce. 1 men med grøft langs Bøjlevejen, Hvidegrøften, Kanalgrøften og vestlige del af Højen grøft uddybet	197.000	420.000	821.000
10.1	Som Sce. 1 men med grøft langs Bøjlevejen, Hvidegrøften, Kanalgrøften og Højen grøft uddybet	196.000	420.000	816.000
11.1	Som Sce. 1 men med ny "afskærende grøft/dræn"	189.000	416.000	781.500
12.1	Som Sce 1 men med 50 % af arealet drænet	11.500	19.500	23.500
13.1	Som Sce 1 men med alle (del)-løsninger	11.500	19.500	23.500

I Skagen midtby (Tabel 2) ses det ligesom for Bankekvarteret at løsningerne med at uddybe eksisterende grøfter (scenarie 9.1 og 10.1) kun i mindre grad vil kunne mindske den nuværende aflastningsbehov. Den foreslåede nye "afskærende grøft/dræn" vil i større grad kunne bidrage med at mindske aflastningsbehovet fra Skagen midtby. Bedst vil en dræning af 50 % af arealet til 1 m u.t være. Af scenarie 13.1 ses det, at der ikke er nogen akkumuleret effekt af at benytte alle (del)-løsningerne.

Overfladeafstrømningen i hhv. et tørt, middel og vådt år er for scenarie 12.1 og 13.1 ens. Dette betyder, at scenarie 12.1 er styrende ift. at sænke grundvandsstanden i Skagen midtby og set ift. Skagen midtby er der ingen grund til at tage løsningerne i scenarie 9.1, 10.1 og 11.1 i brug hvis løsningen i scenarie 12.1 benyttes.

Tabel 3. Overfladeafstrømningen/afvandingsbehovet for scenarie 1 samt scenarie 9.1 – 13.1 fra hhv. et tørt, middel og vådt år for SV Skagen. SV Skagen har et areal på 65 ha.

SV Skagen		Tørt år	Middel år	Vådt år
Scenarie	Beskrivelse	Overfladeafstrømning [m <sup>3</sup> /år]	Overfladeafstrømning [m <sup>3</sup> /år]	Overfladeafstrømning [m <sup>3</sup> /år]
1	Aktuelle forhold (1999 – 2015)	120.500	262.500	541.500
9.1	Som Sce. 1 men med grøft langs Bøjlevejen, Hvidegrøften, Kanalgrøften og vestlige del af Højen grøft uddybet	117.000	257.500	535.500
10.1	Som Sce. 1 men med grøft langs Bøjlevejen, Hvidegrøften, Kanalgrøften og Højen grøft uddybet	116.000	257.500	531.500
11.1	Som Sce. 1 men med ny "afskærende grøft/dræn"	105.500	248.500	479.000
12.1	Som Sce 1 men med 50 % af arealet drænet	0	0	0
13.1	Som Sce 1 men med alle (del)-løsninger	0	0	0

Tabel 3 viser, at løsningen med 50% dræning af arealet (scenarie 12.1) i SV Skagen kan fjerne overfladeafstrømningen i et tørt, middel og vådt år. I SV Skagen ses det også, at en ny "afskærende grøft/dræn" vil kunne bidrage til at sænke aflastningsbehovet. Mindre effektivt er det at uddybe grøfterne langs Bøjlevejen, Hvidegrøft, Højen grøft og Kanalgrøften.

Tabel 4. Overfladeafstrømningen/afvandingsbehovet for scenarie 1 samt scenarie 9.1 – 13.1 fra hhv. et tørt, middel og vådt år for Nordbyen. Nordbyen har et areal på 118 ha.

Nordbyen		Tørt år	Middel år	Vådt år
Scenarie	Beskrivelse	Overfladeafstrømning [m <sup>3</sup> /år]	Overfladeafstrømning [m <sup>3</sup> /år]	Overfladeafstrømning [m <sup>3</sup> /år]
1	Aktuelle forhold (1999 – 2015)	0	19	29
9.1	Som Sce. 1 men med grøft langs Bøjlevejen, Hvidegrøften, Kanalgrøften og vestlige del af Højen grøft uddybet	0	19	29
10.1	Som Sce. 1 men med grøft langs Bøjlevejen, Hvidegrøften, Kanalgrøften og Højen grøft uddybet	0	19	29
11.1	Som Sce. 1 men med ny "afskærende grøft/dræn"	0	19	29
12.1	Som Sce 1 men med 50 % af arealet drænet	0	0	0
13.1	Som Sce 1 men med alle (del)-løsninger	0	0	0



I Nordbyen er der ifølge model simuleringerne generelt længere fra terræn til grundvandsspejlet. Således er aflastningsbehovet også markant mindre ift. Bankevarteret, Skagen midtby og SV Skagen. Af

Tabel 4 ses det, at løsningerne i scenarie 9.1 – 11.1 ikke har en indvirkning på aflastningsbehovet i Nordbyen. Af de undersøgte løsningsmetoder er det kun scenarie 12.1, hvor 50 % af arealet i Nordbyen er drænet til 1 m u.t., der kan fjerne aflastningsbehovet.

### 5.1.3.1 Drænedede vandmængder

I afsnit 5.1.3 viste løsningerne i scenarie 12.1 og 13.1 generelt, at disse var anvendelige til at mindske aflastningsbehovet ift. vand på terræn, hovedsageligt ved at sænke grundvandsstanden til 1 m u.t.. De drænedede vandmængder skal dog stadig håndteres. Dette bl.a. via grøfter og regnvandsledning (omfangsdræn omkring bygninger har mulighed for at aflede til regnvandsledning). Tabel 11 og Tabel 12 viser hvor mange m<sup>3</sup>/år grøfter og regnvandsledning skal håndtere i hhv. scenarie 12.1 og scenarie 13.1 for de fire områder (jf. Figur 15) samt samlet set.

Tabel 5. Drænmængder [m<sup>3</sup>/år] grøfter og regnvandsledning skal kunne håndtere i Bankevarteret, Skagen midtby, SV Skagen og Nordbyen ift. scenarie 12.1. En samlet opgørelse for de fire områder er også angivet.

Scenarie 12.1	Tørt år	Middel år	Vådt år
Område	Drænmængde [m <sup>3</sup> /år]	Drænmængde [m <sup>3</sup> /år]	Drænmængde [m <sup>3</sup> /år]
Bankevarteret	84.500	160.500	302.000
Skagen midtby	313.000	550.500	860.500
SV Skagen	90.500	142.000	211.000
Nordbyen	326.500	464.000	679.500
Samlet	814.500	1.317.000	2.053.000

Tabel 6. Drænmængder [m<sup>3</sup>/år] grøfter og regnvandsledning skal kunne håndtere i Bankevarteret, Skagen midtby, SV Skagen og Nordbyen ift. scenarie 13.1. En samlet opgørelse for de fire områder er også angivet.

Scenarie 13.1	Tørt år	Middel år	Vådt år
	Drænmængder [m <sup>3</sup> /år]	Drænmængde [m <sup>3</sup> /år]	Drænmængde [m <sup>3</sup> /år]
<b>Område</b>			
<b>Bankevarteret</b>	66.500	138.000	254.000
<b>Skagen midtby</b>	312.500	554.000	856.000
<b>SV Skagen</b>	84.000	135.500	196.500
<b>Nordbyen</b>	371.000	511.500	722.500
<b>Samlet</b>	834.000	1.339.000	2.029.000

Af Tabel 11 og Tabel 12 ses, at det samlet set for de fire områder er omkring 0,8 mio. m<sup>3</sup>/år i et tørt år og 2,0 mio. m<sup>3</sup>/år for et vådt år, der skal drænes til grøfter eller regnvandsledning for hovedsageligt at holde grundvandsstanden 1 m u.t. I Skagen er der mange huse med kældre. Dette betyder, at grundvandsstanden nogle steder skal sænkes endnu mere og det dermed kan forventes at drænmængderne er endnu større. Ved dræning må man ikke undervurdere risikoen for med dræning at kunne påføre sætningsskader på eksisterende anlæg og bygninger.

## 5.2 Fremtidige forhold (2041 - 2070)

### 5.2.1 Afstand fra terræn til grundvandsspejl

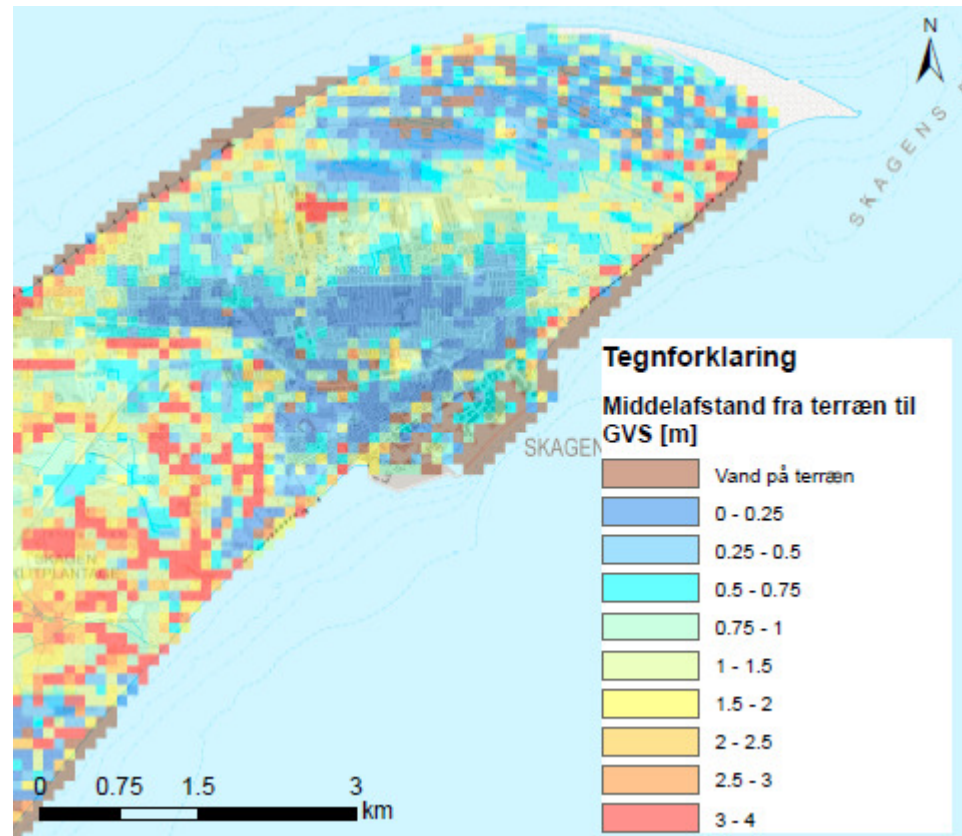
I fase 2 af dette projekt er det vist, at afstanden fra terræn til grundvandet i Skagen by naturligt er relativ lille (jf. afsnit 5.1.1 samt /2/). Med en havvandstandsstigning på 0,5 m, nedbørs- og fordampningsforhold svarende til perioden 2041 – 2070 samt en lukket grundvandsindvinding fra Skagen Klitplantage vil der naturligt være flere områder i Skagen by, som vil opleve problemer med høj grundvandsstand.

Således viser scenarie 7 modelsimuleringerne også, at afstanden fra terræn til grundvandsspejlet midlet over hhv. et tør og våd år (Figur 16. Figur 16 og Figur 17) er relativ lille (< 0,5 m) i store dele af Skagen midtby, sydvest Skagen og Bankevarteret. Flere steder vil der, specielt i en nedbørsrig periode, være vand på terræn.

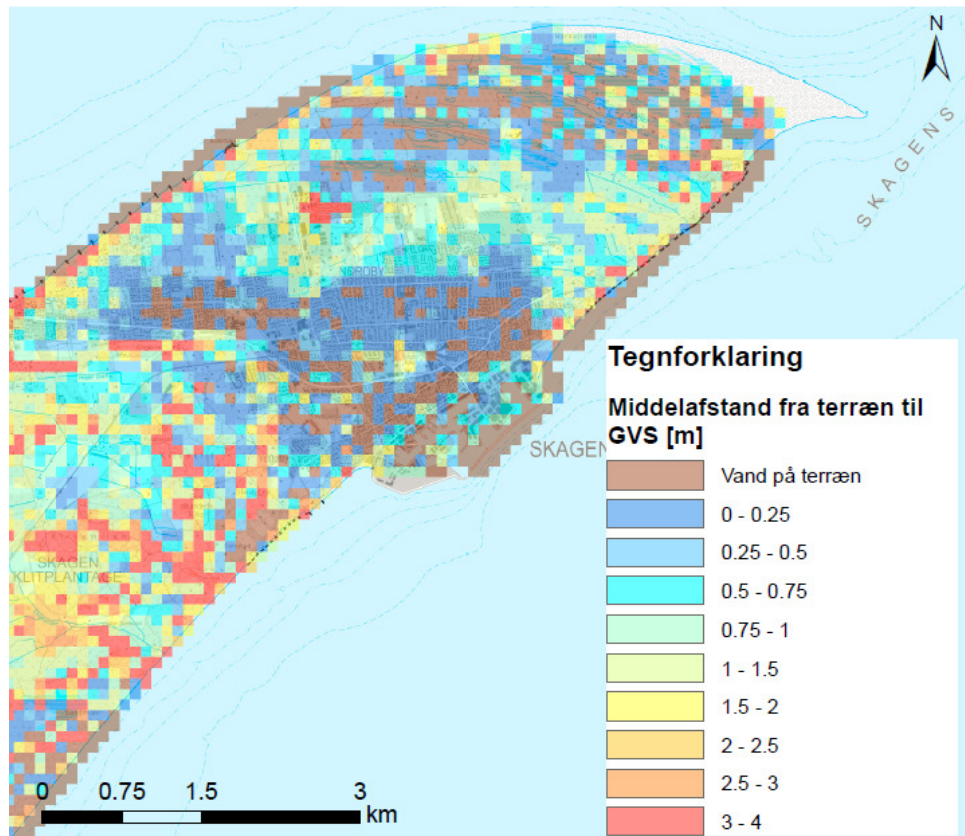
Dette betyder, at (del)-løsninger ift. Skagen bys problemer med høj grundvandsstand mere eller mindre skal dække hele byen og den samlede løsning skal

være helhedsorienteret. I de følgende resultater ses der på, hvilke grundvandsstandsændringer (del)-løsningerne i scenarierne 9.7 – 13.7 kan medføre. Dette skal holdes op imod grundvandsstanden i scenarie 7, og afstanden fra terræn til grundvandsspejlet der kan accepteres.

Bemærk at Figur 16 og Figur 17 viser situationer, hvor der ikke er taget højde for, om der er grundejere, der har private løsninger. Yderligere er det antaget, at kloakrør er renoverede, så der ikke er en dræningseffekt fra disse.



Figur 16. Afstand fra terræn til grundvandsspejl [m] i scenarie 7 midlet over et tørt år.



Figur 17. Afstand fra terræn til grundvandspejl [m] i scenarie 7 midlet over et vådt år.

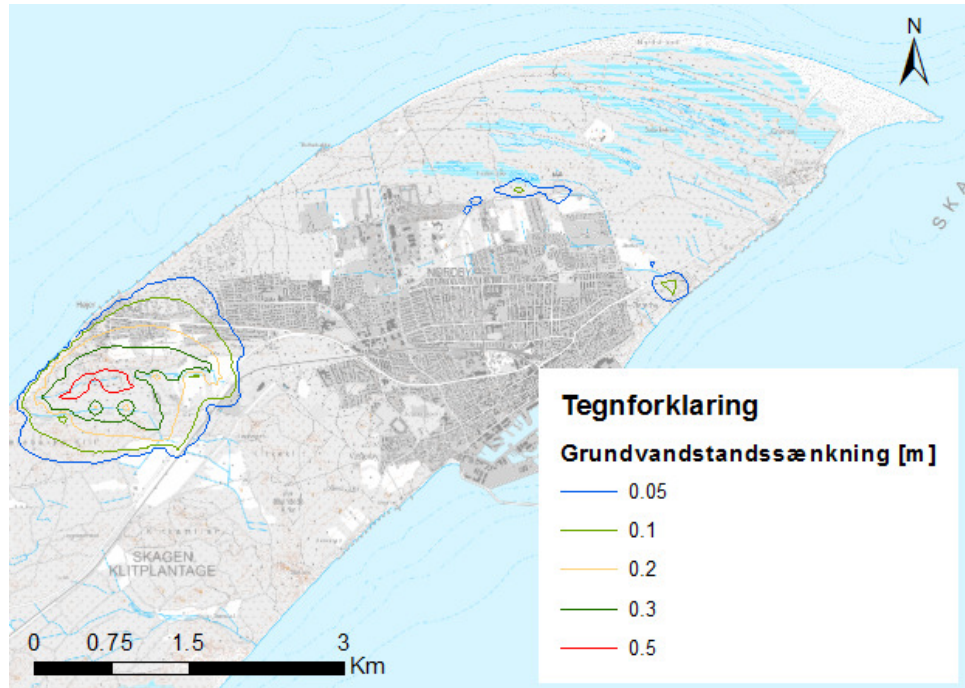
### 5.2.2 Konsekvenser for grundvandsstanden

I det følgende ses på hvilke konsekvenser tiltag som at uddybe grøfter, lave en ny "afskærende grøft/dræn" samt anvende omfangsdræn har at betydning for grundvandsstanden i perioden 2041 – 2070, hvor grundvandsindvindingen i Skagen Klitplantage er stoppet, nedbørs- og fordampningsforholdene er ændrede og der er en 0,5 m havvandstandsstigning.

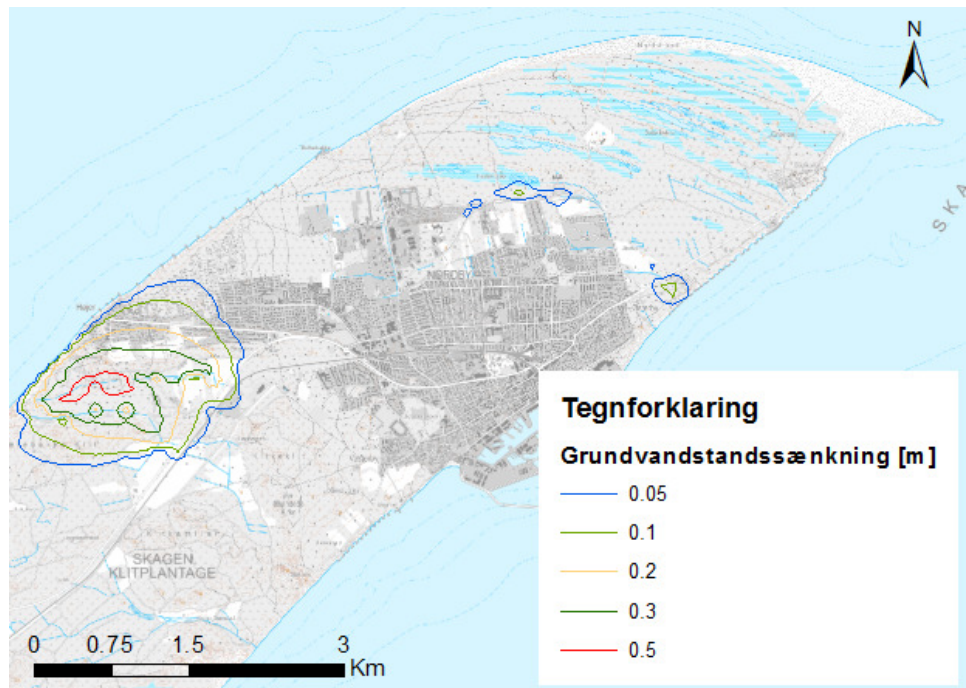
#### 5.2.2.1 Grundvandsstandsændringer

I scenarie 9.7 og 10.7 er eksisterende grøfter uddybet ift. seneste opmålinger. I den nordøstlige del af Skagen by er den eksisterende grøft langs Bøjlevejen således uddybet med 0,5 m, og Hvidegrøften er uddybet med 0,3 m. Sydvest for Ska-

gen by er Højen grøft uddybet med mellem 1 – 1,5 m (på begge sider af statsvejen), og Kanalgrøften er uddybet med 0,5 m.

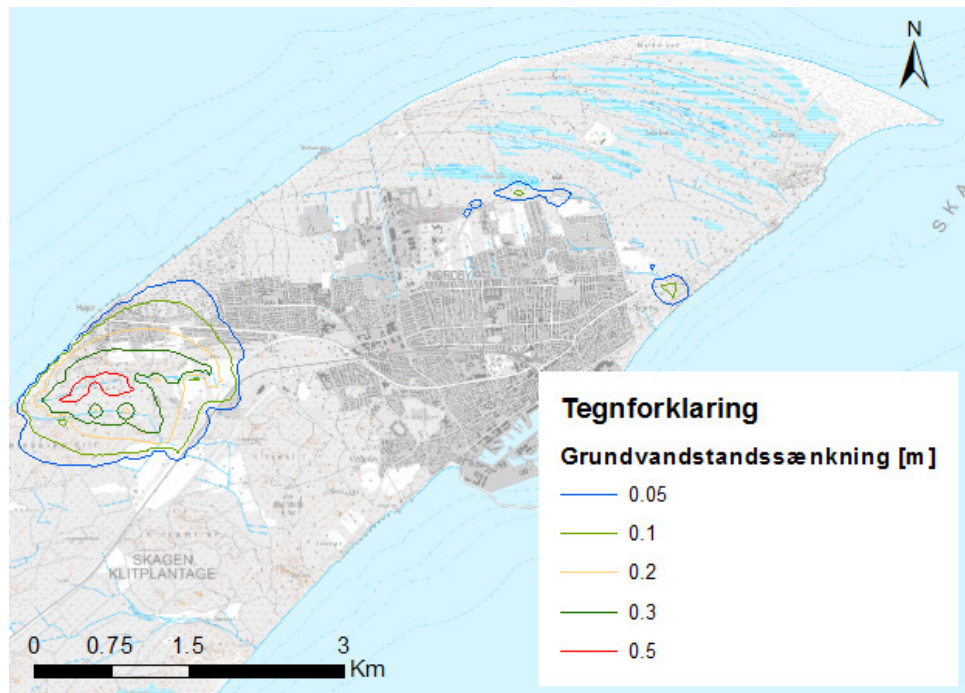


Figur 18 viser, hvilken betydning dette vil have for grundvandsstanden ift. scenarie 7 i en våd periode.



Figur 18. Grundvandsstandssænkning i en våd periode ved at uddybe grøften langs Bøjlevejen 0,5 m og Hvidegrøften 0,3 m ift. seneste opmålinger i det nordøstlige Skagen (scenarie 9.7) samt at uddybe Højen grøft 1 – 1,5 m og Kanalgrøften 0,5 m sydvest for Skagen (scenarie 10.7). Dette set ift. scenarie 7 hvor den eneste forskel er at grøfterne ikke er uddybet.

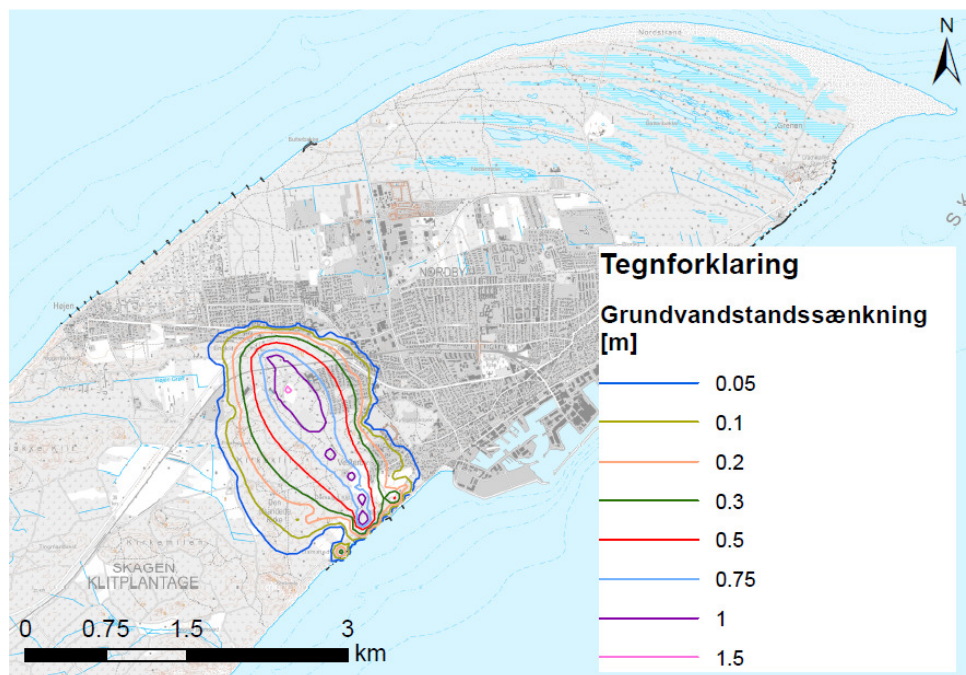
Af



Figur 18 ses det, at uddybningen af eksisterende grøfter vil sænke grundvandsstanden i nærheden af grøfterne. Sænkningen vil maksimalt være op til ca. 0,5 m. Der ses en større sænkingsudbredelse omkring Højen grøft og Kanalgrøften ift. grøften langs Bøjlevejen og Hvidegrøft. Dette skyldes formodentlig, at havvandstanden, som er 0,5 m over nuværende niveau, trænger længere op i Hvidegrøften og grøften langs Bøjlevejen end i Højen grøft og kanalgrøften (ligger højere i terrænet) og udjævner grundvandstandssænkningen (vandet kan ikke løbe væk).

En anden løsning der evt. kunne tages i betragtning i den nordlige del af Skagen er brug af en kombination af højvandsspærre og pumpestation. Modelberegningerne viser, at en uddybning af grøfterne ikke har en særlig stor effekt pga. vandet ikke kan løbe væk via gravitation. I tilfælde af ekstreme hændelser (f.eks. en havvandstand med kote +2,3 m) vil dette være endnu mere udpræget. En analyse af effekten af brug af højvandsspærre og pumpestation er ikke inddraget som en del af denne fase, men anbefales at indgå i en anden undersøgelse, når de nødvendige data foreligger.

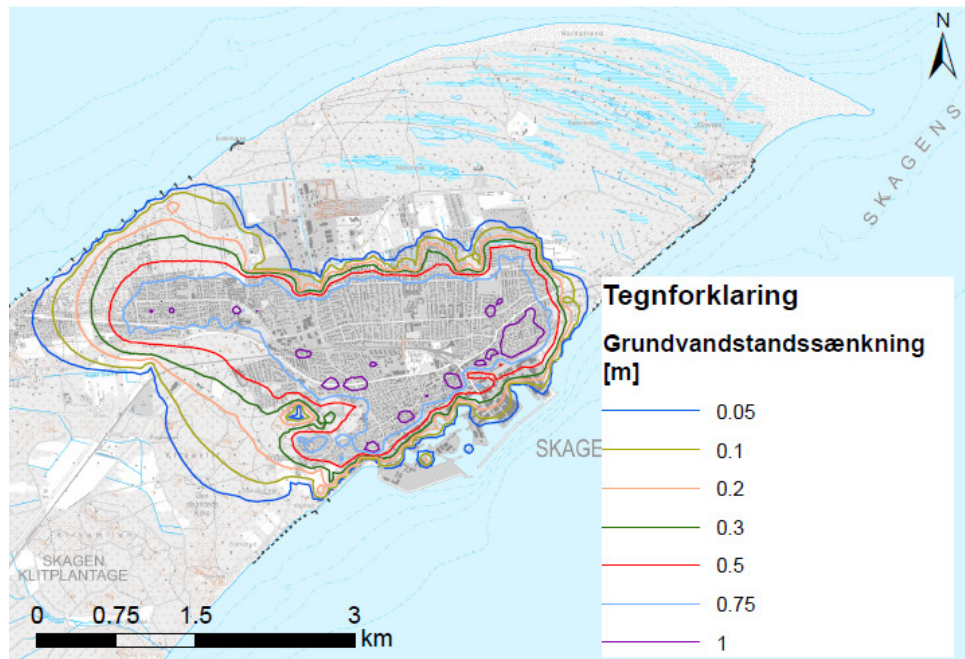
Det foreslåede nye "afskærende grøft/dræn" i scenarie 11.7 vil også påvirke grundvandsstanden. Figur 19 viser hvordan den nye "afskærende grøft/dræn" vil sænke grundvandsstanden ift. scenarie 7 i en våd periode.



Figur 19. Grundvandsstandssænkning i en våd periode med den nye "afskærende grøft/dræn" sydvest for Skagen midtby (scenarie 11.7). Dette set ift. scenarie 7 hvor den eneste forskel er at der ikke er nogen "afskærende grøft/dræn".

Det ses af Figur 19, at en ny "afskærende grøft/dræn" har en maksimal påvirkning af grundvandsstanden på 1,5 m. I udkanten af Skagen sydvest by og Bank kvarteret vil en ny "afskærende grøft/dræn" kunne sænke grundvandsstanden mellem 0,05 m – ca. 0,75 m.

Hvis 50 % af Skagen bys areal drænes 1 m under terræn (scenarie 12.7), viser Figur 20, hvilken betydning det vil have for grundvandsstanden. Det ses heraf, at dette er en effektiv måde at sænke grundvandsstanden i byen i et bestemt niveau. Størstedelen af byen sænkes grundvandsstanden med 0,75 m.



Figur 20. Grundvandsstandssænkning i en våd periode når 50 % af Skagen bys areal drænes med dræn indlagt 1 m under terræn (scenarie 12.7). Dette set ift. scenarie 7 hvor den eneste forskel er at Skagen by ikke drænes.

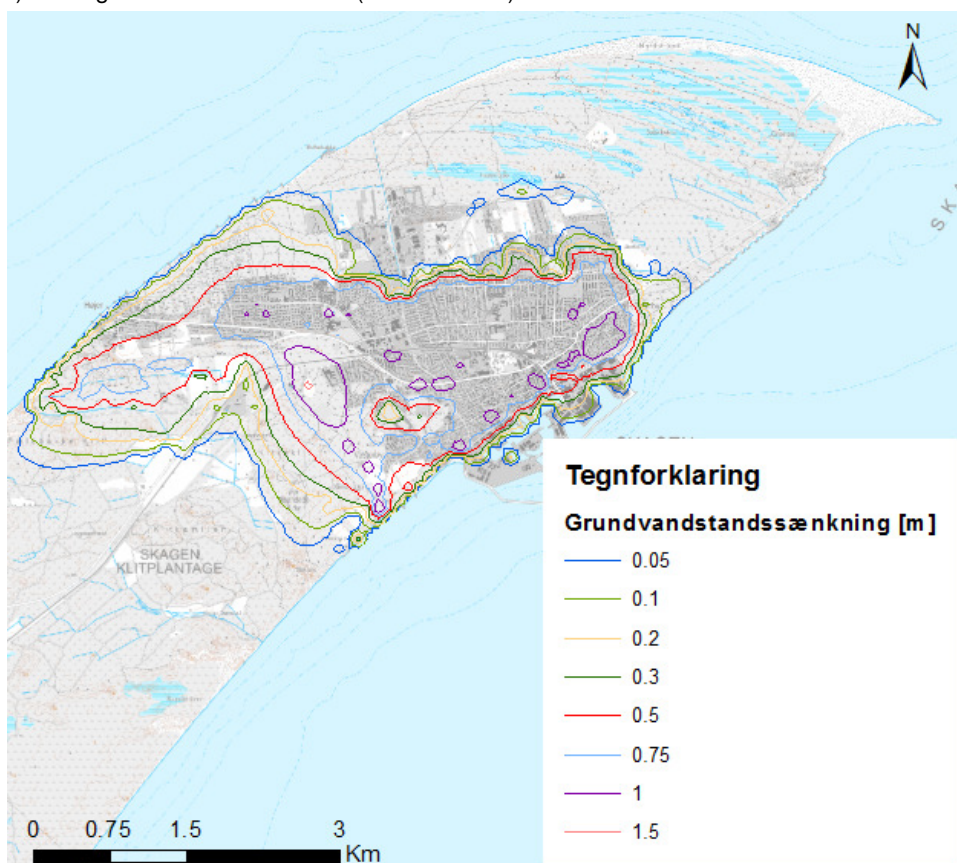
De enkelte scenarier viser således forskellige grundvandsændringer og områder der påvirkes. I scenarie 9.7 og 10.7 er grundvandsændringerne relative små og ved uddybning af Højen grøft og Kanalgrøften er påvirkningen udenfor Skagens byområde.

Løsningen med den nye "afskærende grøft/dræn" medfører en grundvandsændring, der påvirker den sydvestlige del af Skagen.

Ligeledes har en omfangsdræning ved 50 % af byens bygninger betydning for grundvandsstanden i Skagen by. Med den sidste løsningsmetode kan grundvandsstanden kontrolleres til et specifikt niveau bestemt af dræningsniveauet.



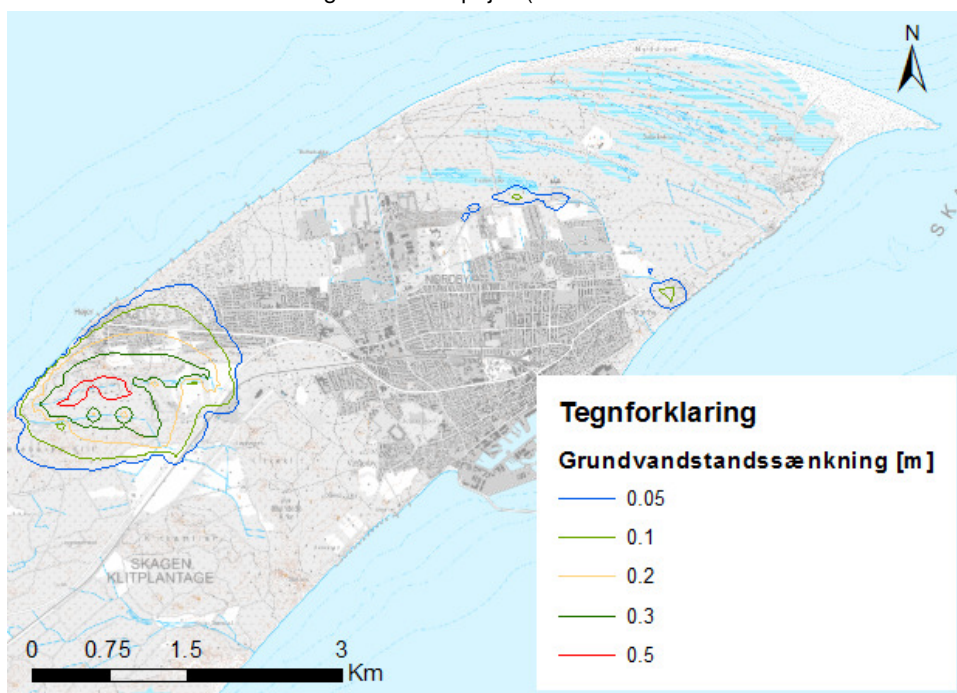
Når alle (del)-løsninger samles i ét scenarie (scenarie 13.7) viser



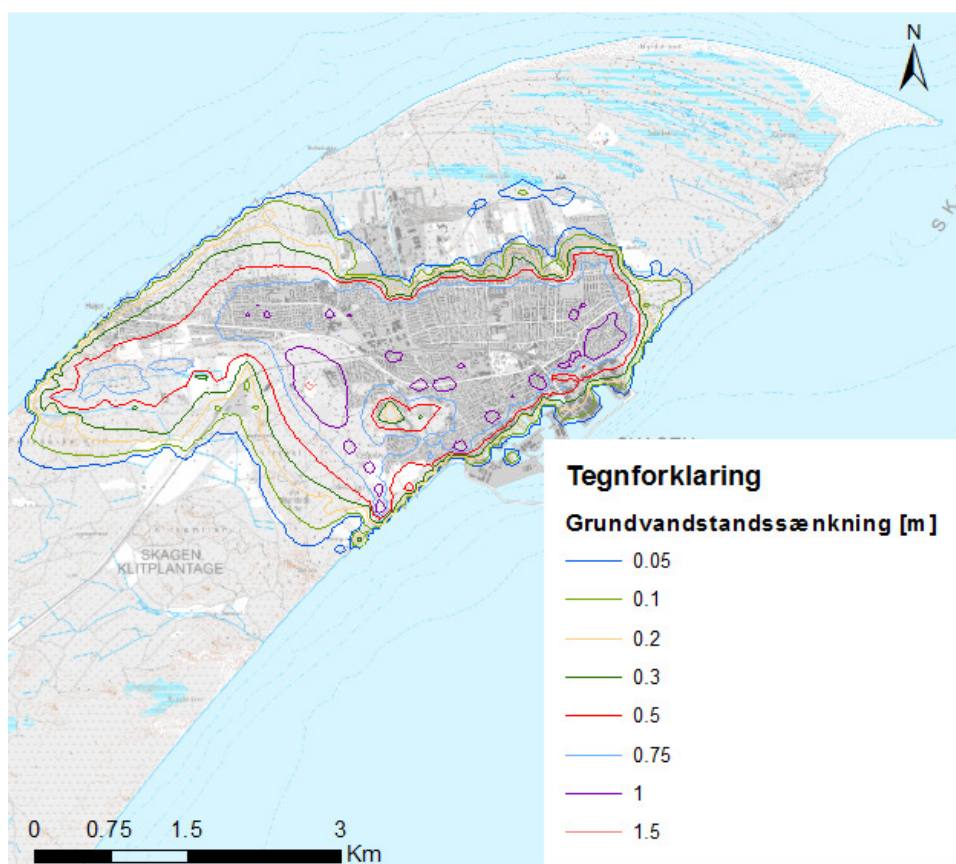
Figur 21, hvordan grundvandsstanden vil blive påvirket ift. scenarie 7, hvor der ikke er nogen løsninger til at mindske konsekvenserne af klimæændringer, havvandsstigninger og lukket grundvandsindvinding fra Skagen Klitplantage.

Det ses, at den akkumulerede sænkning af grundvandsstanden har en større arealmæssig udbredelse, men den maksimale sænkning er på 1,5 m ift. scenarie 7.

Dette skal ses ift. afstanden fra terræn til grundvandsspejlet (



Figur 18), som i forvejen ligger relativt højt og flere steder i terræn.

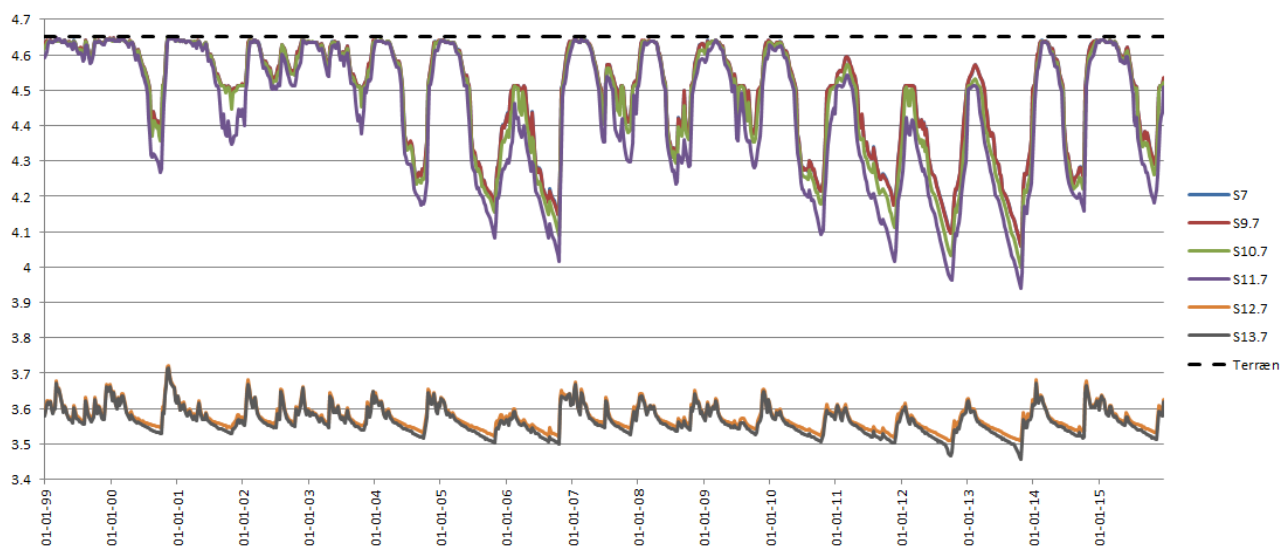


Figur 21. Grundvandsstandssænkning i en våd periode når alle (del)-løsninger inkluderes (scenarie 13.7). Dette set ift. scenarie 7 hvor den store forskel er at (del)-løsningerne ikke er inkluderet i modelsimuleringen.

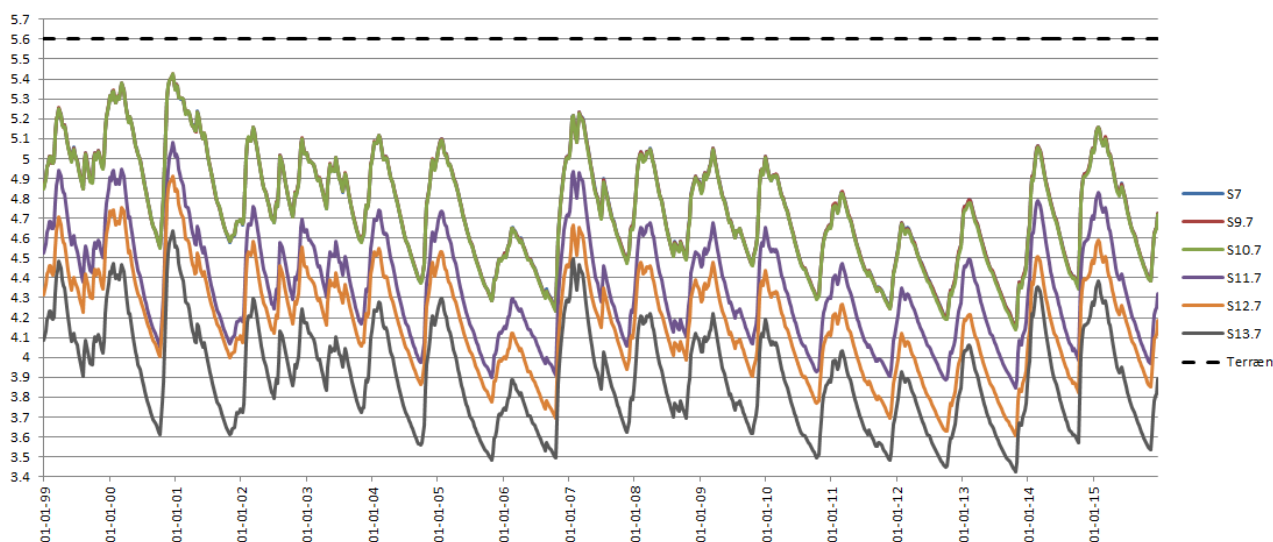
### 5.2.2.2 Grundvandsstandens udvikling

For at få et indblik i konsekvenserne for grundvandsstandens udvikling fra situationen hvor der ikke indvindes grundvand fra Skagen Klitplantage, nedbørs- og fordampningsforhold svarer til perioden 2041 – 2070, og havvandsstanden er 0,5 m højere end nuværende niveau (scenarie 7, S7) til situationerne hvor eksisterende grøfter er uddybet (scenarie 9.7 og 10.7, S9.7 og S10.7), der er lavet en ny "afskærende grøft/dræn" (scenarie 11.7, S11.7), 50 % af byens areal er drænet (scenarie 12.7, S12.7) og hvor alle (del)-løsninger er samlet i et scenarie (scenarie 13.7, S13.7) er der udtaget tidsserier af grundvandsstanden udvikling fra 1999 – 2015 tre steder i Skagen by. De tre steder hvor tidsserier af grundvandsstanden er udtaget er vist på Figur 11.

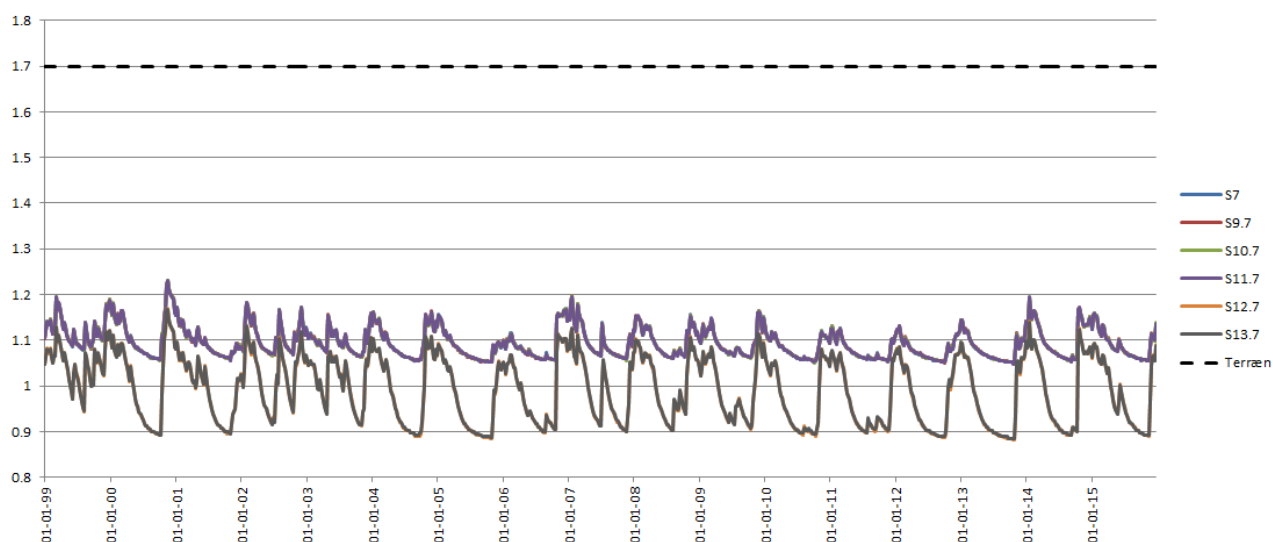
Udviklingen i grundvandsstanden fra 1999 – 2015 for scenarie 7 (S7) samt scenarie 9.7 (S9.7) – scenarie 13.7 (S13.7) er vist på Figur 22 for punkt 1, Figur 23 for punkt 2 og Figur 24 for punkt 3.



Figur 22. Grundvandsstandens udvikling fra 1999 – 2015 ved scenarie 7, 9.7 – 13.7 (S7, S9.7 -S13.7) ved punkt 1 (jf. Figur 11). Terrænkote ved punkt 1 er 4,65 m. S7 og S9.7 er næsten sammenfaldende.



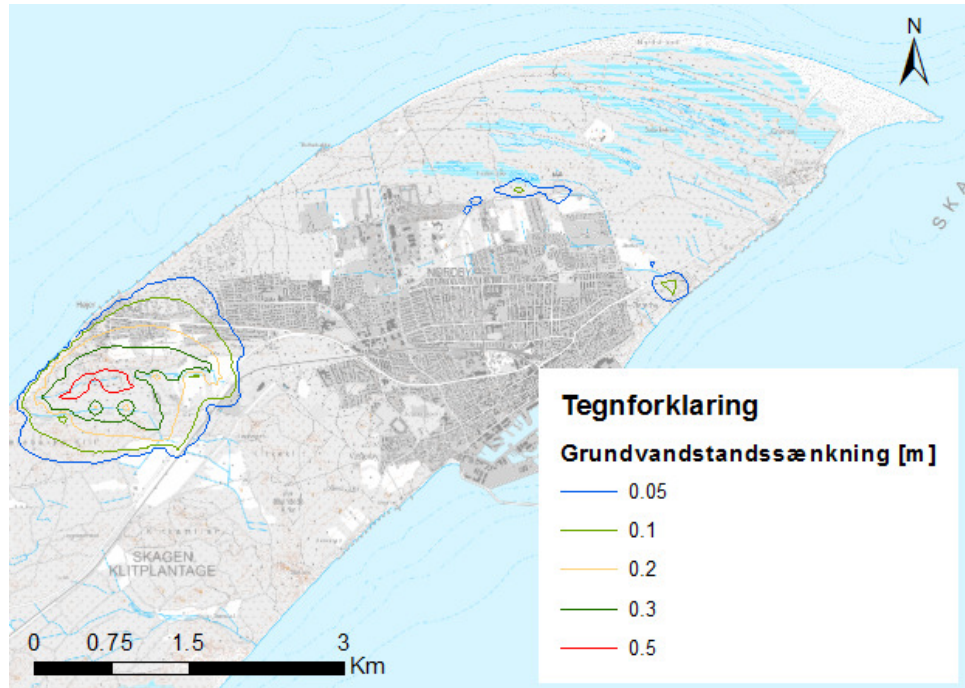
Figur 23. Grundvandsstandens udvikling fra 1999 – 2015 ved scenarie 7, 9.7 – 13.7 (S7, S9.7 -S13.7) ved punkt 2 (jf. Figur 11). Terrænkote ved punkt 2 er 5,6 m. S7, S9.7 og S10.7 er næsten sammenfaldende.



Figur 24. Grundvandsstandens udvikling fra 1999 – 2015 ved scenarie 7, 9.7 – 13.7 (S7, S9.7 -S13.7) ved punkt 3 (jf. Figur 11). Terrænkote ved punkt 3 er 1,7 m. S7, S9.7 – S11.7 er næsten sammenfaldende. Ligeledes er S12.7 og S13.7.

Figur 22, Figur 23 og Figur 24 viser, at det er forskelligt hvordan de enkelte løsninger påvirker grundvandsstanden på de tre udtagningspunkter (jf. Figur 11). Generelt er det gældende, at ved udtagningspunkt 1, 2 og 3 er der minimal forskel i grundvandsstanden mellem hhv. scenarie 7, 9.7 og 10.7. Dette betyder, at udbygning af grøften langs Bøjlevejen, Hvidegrøften, Højen grøft og Kanalgrøf-

ten ikke har en betydning for grundvandsstanden i de udvalgte udtagningspunkter.



Figur 18 viser hvilke områder, hvis grundvandsstand vil være påvirket af at ud-dybe de eksisterende grøfter.

Den foreslåede nye "afskærende grøft/dræn" (scenarie 11.7, S11.7) ses at have størst betydning for grundvandsstanden i udtagningspunkt 2, mindre betydning i punkt 1 og ingen betydning i punkt 3.

Ved udnyttelse af omfangsdræn ved bygninger, hvor det antages at halvdelen af Skagen by areal drænes, ses en påvirkning på grundvandsstanden i alle tre udtagningspunkter. I punkt 1 hvor grundvandsstanden ofte står i terræn vil en dræning medføre at grundvandsstanden sænkes med 1 meter (dette er bestemt af dræningsniveauet) og de årlige grundvandsvariationer minimeres til omkring 0,2 m. Ved udtagningspunkt 2 og 3 står grundvandsstanden ikke nær så højt som i udtagningspunkt 1, således er grundvandssænkningen generelt også mindre.

I scenarie 13.7 er alle løsninger samlet i ét scenarie, for at vurdere akkumulerede påvirkninger. Af Figur 22 og Figur 24 ses, at der i punkt 1 og 3 er minimale akkumulerede påvirkninger. Her er det hovedsageligt scenarie 12.7 som er med til at sænke grundvandsspejlet. I punkt 2 (Figur 23) er der en akkumuleret effekt på grundvandsstanden forårsaget af den nye "afskærende grøft/dræn" og dræningen af 50 % af Skagen bys areal.

### 5.2.3 Afledningsbehov

Grundvandet står højt i Skagen, og flere steder ses vand på terræn (jf. f.eks. Figur 16 og Figur 17). Modelteknisk håndteres vand på terræn af overfladeaf-

strømningsmodulet, som fjerner vandet. NIRAS har derfor udtrykket overfladeafstrømningen for alle scenarier under hhv. en tør, middel og våd periode for 4 forskellige områder i Skagen by, jf. Figur 15.

Data for overfladeafstrømningen er vist i Tabel 7 - Tabel 10. Overfladeafstrømningen afspejler den mængde vand, der skal fjernes fra området (afvandingsbehovet) for at holde grundvandsstanden i terræn ved de enkelte scenarieændringer.

Er overfladeafstrømning faldende fra scenarie 7 til hhv. scenarie 9.7, 10.7, 11.7, 12.7 eller 13.7 afspejler dette de enkelte scenariers virkning ift. at sænke grundvandspejlet i hvert af de fire områder (Bankevarteret, Skagen midtby, SV Skagen og Nordbyen).

Er der ingen ændring i overfladeafstrømning fra scenarie 7 til hhv. scenarie 9.7, 10.7, 11.7, 12.7 eller 13.7 har ændringen i det respektive scenarie ingen/minimal betydning for grundvandsstanden i området og dermed ændres afledningsbehovet heller ikke.

Tabel 7. Overfladeafstrømningen/afvandingsbehovet for scenarie 7 samt scenarie 9.7 – 13.7 fra hhv. et tør, middel og våd år for Bankevarteret. Bankevarteret har et areal på 64 ha.

<b>Bankevarteret</b>		<b>Tørt år</b>	<b>Middel år</b>	<b>Vådt år</b>
<b>Scenarie</b>	<b>Beskrivelse</b>	<b>Overfladeafstrømning [m<sup>3</sup>/år]</b>	<b>Overfladeafstrømning [m<sup>3</sup>/år]</b>	<b>Overfladeafstrømning [m<sup>3</sup>/år]</b>
7	Indvinding lukket, klimaforandringer 2041-2070 og 0,5 m havstigning	49.500	116.500	246.000
9.7	Som Sce. 7 men med grøft langs Bøjlevejen og Hvidegrøften uddybet	49.500	116.000	246.000
10.7	Som Sce. 7 men med Højen grøft og Kanalgrøften uddybet	46.000	109.000	230.500
11.7	Som Sce. 7 men med ny "afskærende grøft/dræn"	30.000	76.000	170.000
12.7	Som Sce 7 men med 50 % af arealet drænet	0	0	0
13.7	Som Sce 7 men med alle (del)-løsninger	0	0	0

Tabel 7 viser, at Bankevarteret uanset om et er et tørt, middel eller vådt år har nogenlunde det samme afledningsbehov i scenarie 7, 9.7 og 10.7. Uddybning af Højen grøft og Kanalgrøften (Scenarie 10.7) mindsker dog afledningsbehovet med maksimalt 15.500 m<sup>3</sup>/år. Løsningen med en ny "afskærende grøft/dræn" (scenarie 11.7) viser større potentiale som en del-løsning ift. at løse problemerne

med høj grundvandsstand i Banke kvarteret. Denne løsning mindsker det årlige aflastningsbehov med mellem ca. 20.000 m<sup>3</sup>, 40.000 m<sup>3</sup> og 76.000 m<sup>3</sup> for hhv. et tørt, middel og vådt år ift. scenarie 7.

Løsningen med at dræne 50 % af Skagen bys areal via omfangsdræn vil medføre, at der ikke kommer vand på terræn i Banke kvarteret. Da der er indlagt dræn 1 m u.t. vil disse dræne vandet væk. I afsnit 5.2.3.1 vises estimater af hvor meget vand der skal drænes væk.

Tabel 8. Overfladeafstrømningen/afvandingsbehovet for scenarie 7 samt scenarie 9.7 – 13.7 fra hhv. et tørt, middel og vådt år for Skagen midtby. Skagen midtby har et areal på 223 ha.

Skagen midtby		Tørt år	Middel år	Vådt år
Scenarie	Beskrivelse	Overfladeafstrømning [m <sup>3</sup> /år]	Overfladeafstrømning [m <sup>3</sup> /år]	Overfladeafstrømning [m <sup>3</sup> /år]
7	Indvinding lukket, klimaforandringer 2041-2070 og 0,5 m havstigning	283.000	643.000	1.386.000
9.7	Som Sce. 7 men med grøft langs Bøjlevejen og Hvidegrøften uddybet	283.000	641.500	1.386.000
10.7	Som Sce. 7 men med Højen grøft og Kanalgrøften uddybet	281.500	638.500	1.379.000
11.7	Som Sce. 7 men med ny "afskærende grøft/dræn"	244.500	572.500	1.212.500
12.7	Som Sce 7 men med 50 % af arealet drænet	14.000	21.500	30.500
13.7	Som Sce 7 men med alle (del)-løsninger	13.500	21.500	30.500

I Skagen midtby (Tabel 8) ses det ligesom for Banke kvarteret at løsningerne med at uddybe eksisterende grøfter (scenarie 9.7 og 10.7) kun i mindre grad vil kunne modvirke stigningen i grundvandsspejlet og aflastningsbehovet forårsaget af klimaændringer, havvandsstigninger og lukket grundvandsindvinding. Den foreslåede nye "afskærende grøft/dræn" vil kunne bidrage med at mindske aflastningsbehovet fra Skagen midtby. Ligeledes vil en dræning af 50 % af arealet til 1 m u.t. Af scenarie 13.7 ses det, at der med alle (del)-løsningerne samlet stadig er et aflastningsbehov ift. overfladeafstrømning.

Overfladeafstrømningen i hhv. et tørt, middel og vådt år er for scenarie 12.7 og 13.7 næsten ens. Dette betyder, at scenarie 12.7 er styrende ift. at sænke grundvandsstanden i Skagen midtby og set ift. Skagen midtby er der ingen grund til at tage løsningerne i scenarie 9.7, 10.7 og 11.7 i brug hvis løsningen i scenarie 12.7 benyttes.

Tabel 9. Overfladeafstrømningen/afvandringsbehovet for scenarie 7 samt scenarie 9.7 – 13.7 fra hhv. et tørt, middel og vådt år for SV Skagen. SV Skagen har et areal på 65 ha.

SV Skagen		Tørt år	Middel år	Vådt år
Scenarie	Beskrivelse	Overfladeafstrømning [m <sup>3</sup> /år]	Overfladeafstrømning [m <sup>3</sup> /år]	Overfladeafstrømning [m <sup>3</sup> /år]
7	Indvinding lukket, klimaforandringer 2041-2070 og 0,5 m havstigning	203.500	460.000	966.000
9.7	Som Sce. 7 men med grøft langs Bøjlevejen og Hvidegrøften uddybet	203.500	458.500	966.000
10.7	Som Sce. 7 men med Højen grøft og Kanalgrøften uddybet	203.000	457.000	963.500
11.7	Som Sce. 7 men med ny "afskærende grøft/dræn"	150.000	353.000	753.500
12.7	Som Sce 7 men med 50 % af arealet drænet	0	2.000	2.000
13.7	Som Sce 7 men med alle (del)-løsninger	0	0	0

Tabel 9 viser, at løsningen med 50% dræning af arealet (scenarie 12.7) i SV Skagen ikke alene kan fjerne overfladeafstrømningen i et middel og vådt år. En kombination af alle delløsninger vil dog kunne fjerne aflastningsbehov ift. overfladeafstrømningen. I SV Skagen ses det også at en ny "afskærende grøft/dræn" vil kunne bidrage til at sænke aflastningsbehovet. Mindre effektivt er det at uddybe grøfterne langs Bøjlevejen, Hvidegrøft, Højen grøft og Kanalgrøften.



Tabel 10. Overfladeafstrømningen/afvandingsbehovet for scenarie 7 samt scenarie 9.7 – 13.7 fra hhv. et tørt, middel og vådt år for Nordbyen. Nordbyen har et areal på 118 ha.

Nordbyen		Tørt år	Middel år	Vådt år
Scenarie	Beskrivelse	Overfladeafstrømning [m <sup>3</sup> /år]	Overfladeafstrømning [m <sup>3</sup> /år]	Overfladeafstrømning [m <sup>3</sup> /år]
7	Indvinding lukket, klimaforandringer 2041-2070 og 0,5 m havstigning	2	25	40
9.7	Som Sce. 7 men med grøft langs Bøjlevejen og Hvidegrøften uddybet	2	25	40
10.7	Som Sce. 7 men med Højen grøft og Kanalgrøften uddybet	2	25	40
11.7	Som Sce. 7 men med ny "afskærende grøft/dræn"	2	25	40
12.7	Som Sce 7 men med 50 % af arealet drænet	0	0	0
13.7	Som Sce 7 men med alle (del)-løsninger	0	0	0

I Nordbyen er der ifølge model simuleringerne generelt længere fra terræn til grundvandsspejlet. Således er aflastningsbehovet også markant mindre ift. Bankekvarteret, Skagen midtby og SV Skagen. Af Tabel 10 ses det, at løsningerne i scenarie 9.7 – 11.7 ikke har en indvirkning på aflastningsbehovet i Nordbyen. Af de undersøgte løsningsmetoder er det kun scenarie 12.7, hvor 50 % af arealet i Nordbyen er drænet til 1 m u.t., der kan reducere aflastningsbehovet til ca. 0 m<sup>3</sup>/år.

### 5.2.3.1 Drænede vandmængder

I afsnit 5.2.3 viste løsningerne i scenarie 12.7 og 13.7 generelt, at disse var anvendelige til at mindske aflastningsbehovet ift. vand på terræn, hovedsageligt ved at sænke grundvandsstanden til 1 m u.t.. De drænede vandmængder skal dog stadig håndteres. Dette bl.a. via grøfter og regnvandsledning (omfangsdræn omkring bygninger har mulighed for at aflede til regnvandsledning). Tabel 11 og Tabel 12 viser hvor mange m<sup>3</sup>/år grøfter og regnvandsledning skal håndtere i hhv. scenarie 12.7 og scenarie 13.7 for de fire områder (jf. Figur 15) samt samlet set.

Tabel 11. Drænmængder [m<sup>3</sup>/år] grøfter og regnvandsledning skal kunne håndtere i Bankevarteret, Skagen midtby, SV Skagen og Nordbyen ift. scenarie 12.7. En samlet opgørelse for de fire områder er også angivet.

Scenarie 12.7	Tørt år	Middel år	Vådt år
Område	Drænmængde [m <sup>3</sup> /år]	Drænmængde [m <sup>3</sup> /år]	Drænmængde [m <sup>3</sup> /år]
Bankevarteret	174.000	314.000	470.500
Skagen midtby	364.500	665.500	1.042.000
SV Skagen	147.000	228.000	325.000
Nordbyen	349.000	520.000	772.000
Samlet	1.034.500	1.727.500	2.609.500

Tabel 12. Drænmængder [m<sup>3</sup>/år] grøfter og regnvandsledning skal kunne håndtere i Bankevarteret, Skagen midtby, SV Skagen og Nordbyen ift. scenarie 13.7. En samlet opgørelse for de fire områder er også angivet.

Scenarie 13.7	Tørt år	Middel år	Vådt år
Område	Drænmængder [m <sup>3</sup> /år]	Drænmængde [m <sup>3</sup> /år]	Drænmængde [m <sup>3</sup> /år]
Bankevarteret	128.500	250.000	390.000
Skagen midtby	359.000	658.000	1.034.000
SV Skagen	114.000	191.500	268.500
Nordbyen	393.000	564.000	816.000
Samlet	994.500	1.663.500	2.508.500

---

Af Tabel 11 og Tabel 12 ses, at det samlet set for de fire områder er omkring 1 mio. m<sup>3</sup>/år i et tørt år og 2,5 - 2,6 mio. m<sup>3</sup>/år for et vådt år, der skal drænes til grøfter eller regnvandsledning for hovedsageligt at holde grundvandsstanden 1 m u.t. I Skagen er der mange huse med kældre. Dette betyder, at grundvandsstanden nogle steder skal sænkes endnu mere og det dermed kan forventes at drænmængderne kan blive endnu større. Ved dræning må man ikke undervurdere risikoen for ved dræning at kunne påføre sætningsskader på eksisterende anlæg og bygninger.

Der er forskel i drænmængderne mellem scenarie 12.7 og 13.7 pga. at scenarie 13.7 inkluderer flere løsninger der aftager noget af vandet. I Nordbyen stiger drænmængden dog fra scenarie 12.7 til scenarie 13.7. Det formodes, at havvandsstandsstigningen får vandet i grøfterne til at stuve op og dermed bidrager til at hæve grundvandsstanden.

### 5.3 Ekstreme hændelser

Det skal understreges, at præsenterede resultater ikke inkluderer ekstreme hændelser (bl.a. hvor der falder meget regn på relativ kort tid, og/eller havvandsstanden stiger til f.eks. kote +2,30 m).

Visse områder vil under sådanne hændelser være udsatte for problemer med overfladevand og/eller grundvand. Omfanget og påvirkningerne af dette indgår ikke i nærværende undersøgelse og er ikke inkluderet i undersøgelsen af (del)løsningernes konsekvenser for grundvandsstanden.

## 6 FORENES LØSNINGEN MED EU LIFE PROJEKTETS FORMÅL?

Frederikshavn Kommune og Naturstyrelsen er i gang med at gennemføre EU-LIFE projektet REWETDUNE /4/. Indbefattende Natura 2000 område 1 (Skagens Gren og Skagerrak) og 2 (Råbjerg Mile og Hulsig Hede) beliggende hhv. lige nord og syd for Skagen by. Formålet med dette projekt er at sikre en stabil og passende høj grundvandsstand inden for habitatområderne på Skagen Odde for at forbedre de hydrologiske forhold for bevaringsværdige våde naturtyper.

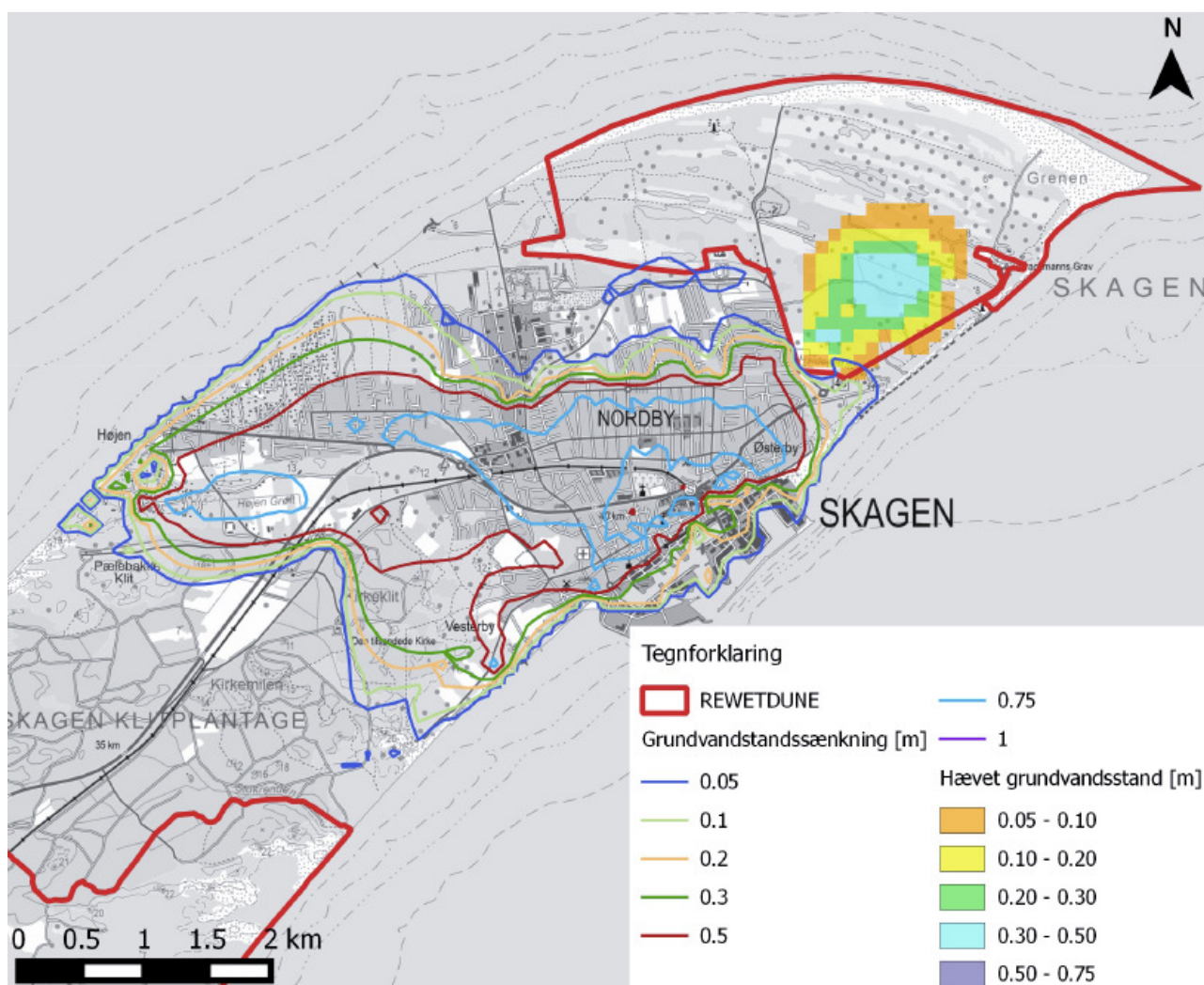
Dette er til dels i modstrid med nærværende projekt, hvor grundvandsstanden ønskes sænket i områder med bebyggelser, veje, stier osv. Det ligger dog i REWETDUNE-projektets opdrag, at indsatser i habitat områderne ikke må påvirke de omkringliggende områder negativt. NIRAS har udført de hydrologiske undersøgelser og vurderet konsekvenserne for grundvandsstanden, og det har været hovedfokus under skitseprojekterings udarbejdelse, at en hævet grundvandsstand i habitatområderne kunne forenes med andre interesser.

Figur 25 og Figur 26 (hhv. tør og våd situation) viser således, at trods REWETDUNE projektområdet (specielt Natura 2000 område 1) og Skagen by

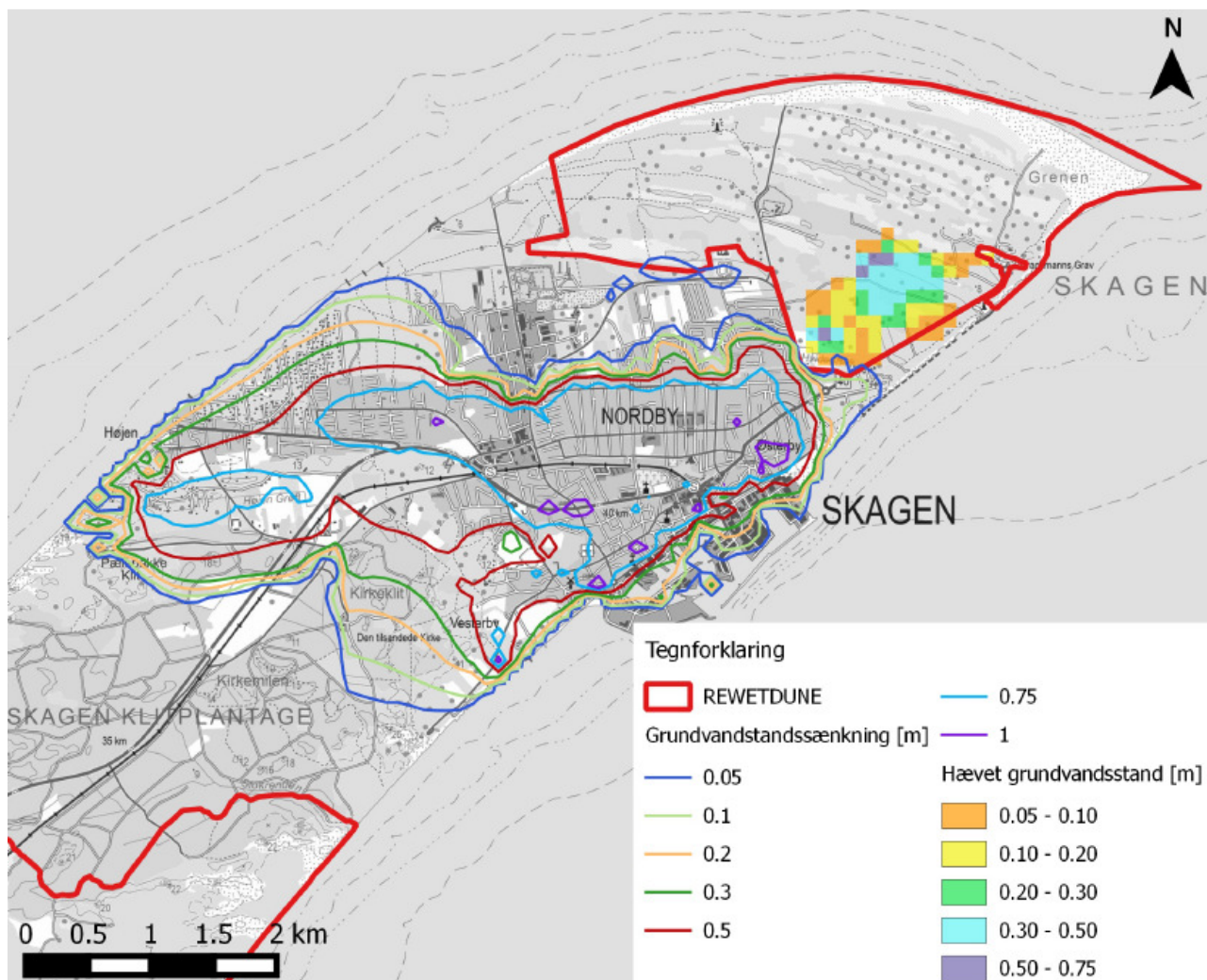
ligger lige op at hinanden, så kan projekternes interesser godt forenes. Den hævede grundvandsstand ifm. REWETDUNE (fladekontur) overlapper næsten ikke grundvandstandssænkningen i Skagen by (konturlinjer).

Således vurderes det, at REWETDUNE's foreslåede tiltag ift. at øge grundvandsstanden i Natura 2000 område 1 kan forenes med de i dette projekt undersøgte løsningsmuligheder ift. at sænke grundvandsstanden i Skagen by. I den forbindelse vurderes det dog, at grøften langs Bøjlevejen er vigtig at bibeholde og vedligeholde, da denne betragtes som værende hovedårsag til at projekterne kan forenes, da den afgrænser by og naturområdet.

Som det også fremgår at Figur 25 og Figur 26 er det kun relevant at se på grundvandstandspåvirkningerne mellem Natura 2000 område 1 og Skagen by. Natura 2000 område 2 ligger for langt mod sydvest ift. interesse konflikter.



Figur 25. Ændringer i grundvandsstand for en tør situation. Konturlinjerne afspejler sænkningen forårsaget af alle (del)-løsninger i dette projekt (Scenarie 13.1). Fladekonturene viser den hævede grundvandsstand planlagt indenfor REWETDUNE projektområdet.



Figur 26. Ændringer i grundvandsstand for en våd situation. Konturlinjerne afspejler sænkningen forårsaget af alle (del)-løsninger i dette projekt (scenarie 13.1). Fladekonturene viser den hævede grundvandsstand planlagt indenfor REWETDUNE projektområdet.

---

## 7 REFERENCER

- /1/ Frederikshavn Kommune, 2015. Afvandingsforhold i Skagen by. Fase 1: Interessentanalyse og samling af eksisterende data. Rapport udarbejdet af NIRAS.
- /2/ Frederikshavn Kommune, 2016. Afvandingsforhold i Skagen by. Fase 2: Scenarieberegninger. Rapport udarbejdet af NIRAS.
- /3/ Frederikshavn Kommune og Naturstyrelsen, 2016. WETHAB, LIFE12 NAT/DK/000803, Hydrologisk forundersøgelse, april 2015 – maj 2016. Rapport udarbejdet af NIRAS.
- /4/ Frederikshavn Kommune og Naturstyrelsen, 2016. REWETDUNE, LIFE13 NAT/DK/001357, Hydrologisk forundersøgelse, april 2015 – maj 2016. Rapport udarbejdet af NIRAS.