



Juni 2016

AFVANDINGSFORHOLD I SKAGEN BY

Fase 2: Scenarieberegninger

PROJEKT

Afvandingsforhold i Skagen by
Fase 2: Scenarieberegninger
Frederikshavn Kommune, Frederikshavn Vand A/S og Frederikshavn Spildevand
A/S

Projekt nr. 222396
Version 1
Version 2
Dokument nr. 1220295843
Udarbejdet af RKL
Kontrolleret af JBJ
Godkendt af TOB

NIRAS A/S

Åboulevarden 80
Postboks 615
8000 Aarhus C

CVR-nr. 37295728
Tilsluttet FRI
www.NIRAS.dk

T: +45 8732 3232
F: +45 8732 3200
E: NIRAS@NIRAS.dk

D: +45 96306514
E: rkl@NIRAS.dk

INDHOLD

1	Indledning.....	1
2	Sammenfatning af fase 2	2
3	Grundvandsmodel.....	4
3.1	Scenarier	4
3.2	Model input	4
3.2.1	Nedbør	5
3.2.2	Fordampning.....	6
3.2.3	Grundvandsindvinding til drikkevandsformål.....	7
3.2.4	Havvandstandsstigninger	7
4	Resultater	8
4.1	Udvikling i grundvandsstand.....	8
4.1.1	Konsekvenser af ændret indvindingsstrategi i Skagen Klitplantage.....	10
4.2	Afstand fra terræn til grundvandsstand	11
4.3	Afvandingsbehov.....	16
4.4	Effekt af ekstrem havvandstandshændelse.....	20
5	Referencer	23

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: Scenarieregninger

Fase 3: Skitsering af løsninger og konsekvensberegninger

Fase 4: Skitseprojektering

Heraf er fase 1 gennemført og afrapporteret /1/. Fase 1 gjorde det klart, at den høje grundvandsstand i Skagen var en konsekvens af mange forskellige årsager/bidrag i et kompleks sammenspil. Desuden er det et problem, som forventes at blive værre med tiden, hvis der ikke i højere grad gennemføres tiltag til mere omfattende dræning af grundvand og afledning af overfladevand. For yderligere information se /1/.

Følgende rapport omhandler fase 2. Her bliver en grundvandsmodel benyttet til at få et større indblik i grundvandsstanden, dens fremtidige ændringer samt hvilke konsekvenser dette vil få for Skagen By.

2 SAMMENFATNING AF FASE 2

I fase 2 af dette projekt er en grundvandsmodel benyttet til at få en øget forståelse for påvirkningerne og konsekvenserne på grundvandsstanden i Skagen ved fremtidige ændringer i grundvandsindvinding, klimaforandringer samt havvandsstandsstigninger. Således er der med en koblet Mike SHE-Mike 11 model af Skagen Odde simuleret 8 forskellige scenarier. Det første scenarie repræsenterede faktuelle forhold for perioden 1999 – 2015. Scenarie 2 – 8 inkluderede ændringer i grundvandsindvindingen, nedbør og fordampning samt havvandsstandsstigninger.

Model resultaterne viste at:

- Omlægningen af Skagen Kildeplads i perioden 2006 – 2010 ikke har haft indvirkning på grundvandsstanden i punkt 1, 2 og 3 (jf. Figur 1).
- Grundvandsstanden i Skagen står naturligt tæt på terræn. Flere steder vil der være vand på terræn i en våd periode – endda trods en grundvandsindvinding på ca. 1,9 mio. m³/år.
- En reducere og lukning af grundvandsindvindingen i Skagen Klitplantage har betydning for grundvandsstanden i Bankekvarteret, Skagen midtby og SV Skagen. Påvirkningen afhænger af bydelens beliggenhed ift. kildepladsen. Således er Bankekvarteret mere påvirket end Skagen midtby, og der ses stort set ingen ændringer i Nordbyen.
- Ændret nedbør og fordampning har også en indvirkning på grundvandsstanden. Denne er dog relativ minimal ift. konsekvenserne af en havvandsstandsstigning på 0,5 m.
- Overfladeafstrømningen fra Bankekvarteret, Skagen midtby og SV Skagen øges med ændringerne i af grundvandsindvindingen, ændret nedbør og fordampning samt havvandsstandsstigninger. Af Tabel 3, Tabel 4 og Tabel 5 samt Figur 12, Figur 13 og Figur 14 ses det dog, at det er i scenarie 7, hvor havvandsstandsstigninger inkluderes i simuleringen, at overfladeafstrømningen øges relativt mest ift. reference scenariet. Overfladeafstrømningen afspejler de mængder der skal fjernes (afvandsningsbehovet) fra den enkelte bydel for at holde grundvandsspejlet i terræn.
- Nordbyen påvirkes i mindre grad af ændringerne i grundvandsindvindingen, ændret nedbør og fordampning samt havvandsstandsstigninger.
- En ekstrem havvandsstand på +2,3 m DNN i 3 dage påvirker kun den kystnære grundvandsstand.

Således viser scenarieberegningerne at der er påvirkningerne og konsekvenser for Skagen by ved reducere/lukning af grundvandsindvindingen, ændrede ned-

børs- og fordampningsforhold samt havvandstandsstigninger. Og at det specielt sidstnævnte der har store konsekvenser.

3 GRUNDVANDSMODEL

NIRAS konverterede i 2009 en eksisterende GMS model til en dynamisk Mike SHE og Mike 11 model for Skagen Odde /2/. Denne model blev i 2012 opdateret /3/. I forbindelse med dette projekt samt EU-Life projekterne REWETDUNE /4/ og WETHAB /5/ har modellen i 2015/2016 undergået endnu en opdatering. Den seneste opdatering er udført for at medtage den seneste viden omkring drængrøfter og deres beskaffenhed samt nyeste vandløbsopmålinger. Indvindings-tidsserier er opdateret med nyeste data. Endvidere er modelområdet udvidet mod syd for at dække WETHAB projektområdet. De seneste modelopdateringer er grundigt beskrevet i /7/.

Denne opdaterede model er benyttet til scenarieberegningerne i dette projekt.

3.1 Scenarier

For at få et indblik i den nuværende grundvandsstand i Skagen by samt dens fremtidige ændringer og konsekvenser er følgende scenarier simuleret:

1. Referencescenarie, faktuelle forhold
2. 30 % reduktion af grundvandsindvindingen i Skagen Klitplantage
3. 50 % reduktion af grundvandsindvindingen i Skagen Klitplantage
4. 80 % reduktion af grundvandsindvindingen i Skagen Klitplantage
5. 100 % lukning af grundvandsindvindingen i Skagen Klitplantage
6. 100 % lukning af grundvandsindvindingen i Skagen Klitplantage samt simulering af fremtidige nedbørs og fordampningsforhold (2011 – 2040)
7. 100 % lukning af grundvandsindvindingen i Skagen Klitplantage, 0,5 m havvandsstandsstigning samt simulering af fremtidige nedbørs og fordampningsforhold (2041 – 2070)

Yderligere er et 8. scenarie simuleret hvor effekten af forhøjet havvandstanden (2,3 m DNN i en periode på 3 dage, ekstrem hændelse) undersøges.

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

3.2 Model input

For at simulere fremtidige planer angående grundvandsindvinding samt forventede klimaændringer og havvandsstigninger har NIRAS gjort nogle antagelser. Disse er indarbejdet i model scenarierne og beskrevet i afsnit 3.2.1 til afsnit 3.2.4.

Fase 1 af dette projekt viste, at der var en del private løsninger fordelt rundt omkring i Skagen by, som forventes at have en betydning for grundvandsstanden i Skagen. Disse er dog ikke medtaget i modellen pga. sparsomme/manglende informationer om antallet og placering af disse private løsninger samt deres effektivitet.

Ligeledes tager modellen ikke højde for fornyelse af kloaksystemet, som forventes at reducere dræningseffekten fra gamle og utætte rør. Der simuleres også med et uændret grøftesystem, uanset hvilket scenarie der simuleres.

3.2.1 *Nedbør*

For at fremskrive modellens nedbørsdata har NIRAS benyttet den simple og ofte anvendte delta change (DC) metode. Med DC metoden estimeres fremtidige nedbørsforhold ved at multiplicere observeret månedlig nedbørsdata med en månedlig korrektionsfaktor. Korrektionsfaktoren er bestemt ved sammenligning af regionale klima modelleres estimat af fremtidig nedbørsforhold og observeret nedbør for en kontrolperiode /6/.

DC metoden forudsætter, at dynamikken (f.eks. sæson- og dagsvariationer og varighed af tørre/våde perioder) er uændret. Dette forventes anvendelig for mid-delgrundvandsstand over en flerårig periode. Dog er de mindre anvendelige til korrektion af ekstremhændelser samt ændret hyppighed af nedbørshændelser med høj intensitet /6/.

NIRAS har på baggrund af dette samt klimamodellernes usikkerhed, i undersøgelsen af klimaændringernes betydning, valgt at benytte korrektionsfaktorer fra den globale klima model – regionale klima model der forudsiger mest nedbør. Dette skyldes, at fremtidens forhold bliver mere usikre, og dette skal indarbejdes i beslutningstagningen.

På nuværende tidspunkt er de nyeste og operationelle parate DC værdier/korrektionsfaktorer, der kan anvendes for Danmark samlet i /6/. Disse vil dog løbende blive ændret (nye projektioner), da der er kommet nye klimamodeller /6/.

I /6/ er der månedlige DC værdier for Nordjylland dækkende perioderne 2011 – 2040, 2041 – 2070 samt 2071 – 2100. Reference perioden dækker 1991 – 2010. Disse er anvendt i projektet.

På baggrund af 11 forskellige projektioner (jf. /6/) har NIRAS benyttet projektionen med maksimal nedbør. Dette giver konservative resultater. Det ses dog af Tabel 1, som viser minimum, maksimum og median projektionerne og deres DC værdier for nedbør, at der ikke er stor årlig forskel mellem minimum og maksimum projektionerne.

Tabel 1. DC faktorerer for nedbør. Disse er estimeret for perioden 2011 – 2040 samt 2041 – 2070 af de tre globale klima modeller – regionale klima modeller (ARPEGE-HIRHAM5, BCM2-HIRHAM5 og ECHAM5-HIRHAM4) som udgør et min, median og max scenarie. DC faktorerer for perioden 2071 – 2100 er ikke vist, da de ikke anvendes i modellen. Det grå markerer de benyttede DC faktorer.

	Min		Median		Max	
	ARPEGE-HIRHAM5		BCM2-HIRHAM5		ECHAM5-HIRHAM4	
	2011-2040	2041-2070	2011-2040	2041-2070	2011-2040	2041-2070
Jan	0,98	0,98	1,05	1,09	1,01	1,07
Feb	1,01	1,04	0,87	0,98	0,9	1,15
Mar	0,91	0,79	1,31	1,28	1,04	1,1
Apr	0,93	0,96	0,82	1,07	1,01	1,32
Maj	1,08	1,03	0,91	1,13	1,18	1,22
Jun	0,82	0,83	1,15	1,06	1,01	1,06
Jul	1,12	1,1	0,94	0,99	1,03	1,24
Aug	0,92	0,7	1,12	1,08	0,97	1,02
Sep	0,81	0,86	1	0,97	1,02	0,97
Okt	1,13	1,07	0,94	1,03	0,97	1,09
Nov	0,95	0,89	1,11	1,15	1,18	1,18
Dec	1,22	1,34	1,09	1,24	0,97	1,01
Årlig middel	0,99	0,97	1,03	1,09	1,02	1,12

3.2.2 Fordampning

NIRAS har, ligesom for nedbøren, fremskrevet fordampningen via DC metoden. I /6/ er der også månedlige DC værdier for reference fordampningen dækkende Nordjylland for perioderne 2011 – 2040, 2041 – 2070 samt 2071 – 2100. Reference perioden dækker 1991 – 2010. Maksimum projektionen, som også benyttes for nedbør, benyttes ligeledes for reference fordampningen. Minimum, maksimum og median projektionerne og deres DC værdier for reference fordampning er vist i Tabel 2.

Tabel 2. DC faktorer for reference fordampning. Disse er estimeret for perioden 2011 – 2040 samt 2041 – 2070 af de tre globale klima modeller – regionale klima modeller (ARPEGE-HIRHAM5, BCM2-HIRHAM5 og ECHAM5-HIRHAM4) som udgør et min, median og max scenarie. DC faktorer for perioden 2071 – 2100 er ikke vist, da de ikke anvendes i modellen. Det grå markerer de benyttede DC faktorer.

	Min		Median		Max	
	ARPEGE-HIRHAM5		BCM2-HIRHAM5		ECHAM5-HIRHAM4	
	2011-2040	2041-2070	2011-2040	2041-2070	2011-2040	2041-2070
Jan	1,2	1,18	1,19	1,43	0,9	1,08
Feb	1,1	1,28	1,01	1,16	0,99	1,07
Mar	0,99	1,15	0,95	1,07	0,97	0,97
Apr	1,04	1,15	1,04	1,03	1,02	0,91
Maj	1,03	1,07	0,95	0,97	1,02	0,96
Jun	1,01	1,05	0,94	0,96	1,09	1
Jul	0,98	1,02	0,97	1,05	0,95	0,87
Aug	1,05	1,09	0,99	0,99	0,97	0,95
Sep	0,99	1,09	0,94	1,08	0,97	0,99
Okt	0,98	1,03	0,99	1,11	1,08	1,11
Nov	0,98	1,16	1,08	1,16	1,21	1,25
Dec	1,12	1,54	1,12	1,19	0,94	1,13
Årlig middel	1,04	1,15	1,01	1,10	1,01	1,02

3.2.3 Grundvandsindvinding til drikkevandsformål

Frederikshavn Vand er pålagt at reducere grundvandsindvindingen med mindst 500.000 m³/år for at opblende med vand fra Tolne. Dette for at kunne overholde de nationale krav til drikkevandskvalitet i Skagen forsyningsområde. Frederikshavn Vand planlægger et endelig stop af vandindvindingen i Skagen Klitplantage omkring 2030 – 2035.

Dette er indarbejdet i de fremtidige scenarier ved at køre et scenarie hvor grundvandsindvindingen er reduceret hhv. 30 %, 50 %, 80 % og helt lukket. Dette svarer til at indvindingen i 1999 er hhv. 1.366.180 m³/år, 975.843 m³/år, 390.337 m³/år og 0 m³/år. Uden en reduktion i grundvandsindvindingen er den 1.951.686 m³/år.

3.2.4 Havvandstandsstigninger

Der er usikkerhed omkring forventede havvandstandsstigninger. Frederikshavn Kommune har dog i deres klimatilpasningsplan valgt at arbejde med en estimeret havvandstandsstigning på 50 cm frem mod 2050 /8/.

I model scenarie 7 er en havvandsstandsstigning indarbejdet ved at øge randbetingelserne langs kysten med 50 cm. I den forbindelse er alle drænniveauer under kote 0,5 m hævet til 0,5 m og randbetingelserne for vandløbenes vandstand er ligeledes hævet.

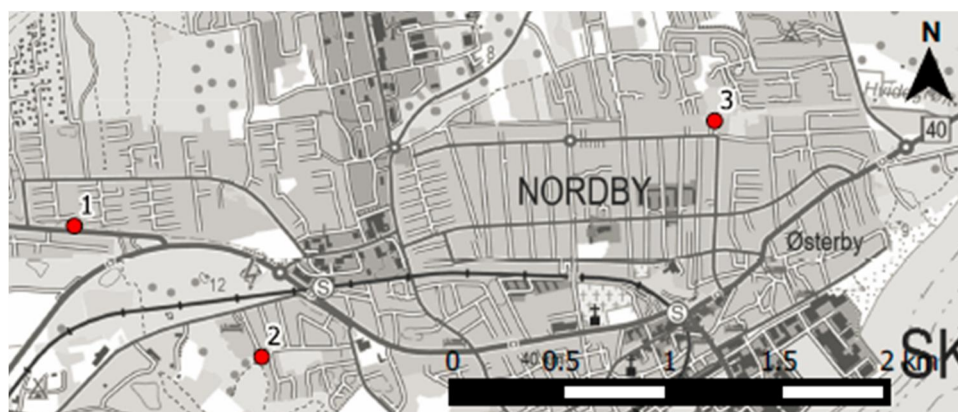
I scenarie 8 er der bygget videre på scenarie 7, således at havvandsstanden generelt er +0,5 m i forhold til nuværende situation. Over en 3 dages periode fra den 1. – 3. august 1999 er havvandsstanden dog øget til +2,3 m DNN for at se betydningen af ekstreme havvandsstandshændelser på grundvandet. I dette scenarie er drænniveauer og randbetingelserne for vandløbenes vandstand ikke ændret ift. scenarie 7. Dette betyder, det kun undersøges hvilken effekt havvandsstandsstigningen har på grundvandsstanden. Opstuvning i vandløb/grøfter medtages ikke i betragtningen.

4 RESULTATER

Data fra modelsimuleringerne er udtrukket fra modellen som grundvandsstandstidsserier for at følge den tidsmæssige udvikling. Tidsserierne er udtrukket fra 1999 – 2015 for udvalgte punkter. Yderligere er afstanden fra terræn til grundvandsstanden samt overfladeafstrømningen (via vandbalancer for 4 forskellige delområder af Skagen by) udtrukket. For de to sidstnævnte modeludtræk skelnes der mellem et tørt år, middel år og vådt år for at se betydningen under naturlige nedbørsmæssige 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.

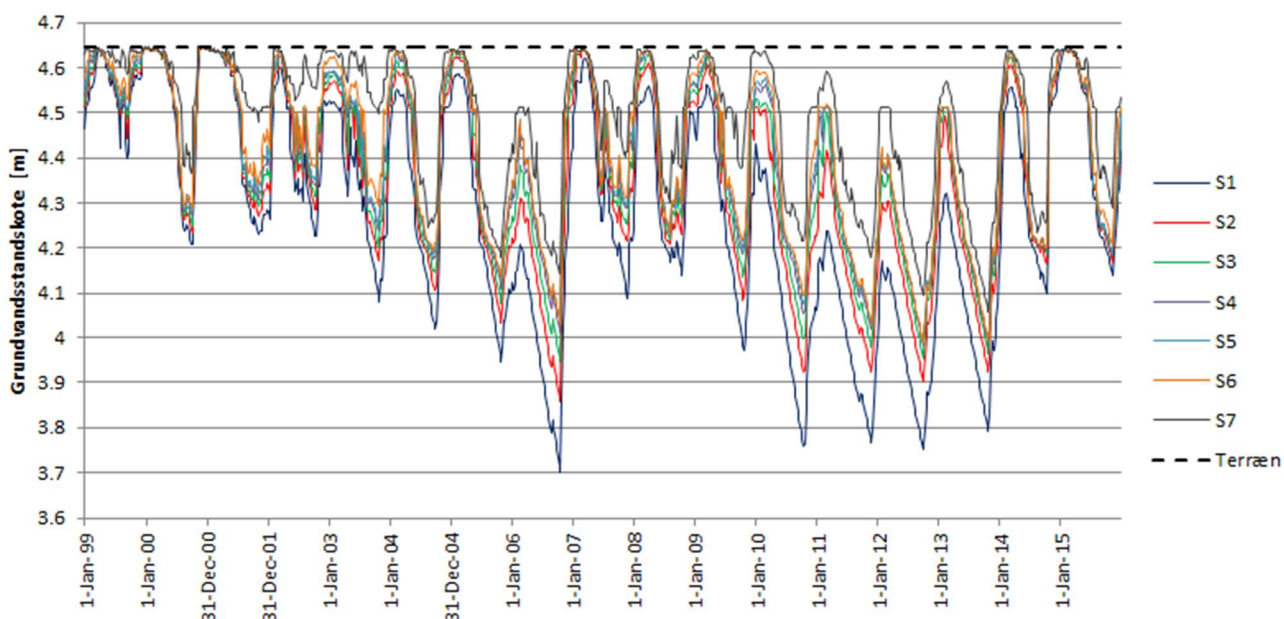
4.1 Udvikling i grundvandsstand

For at få et indblik i grundvandsstandens udvikling fra den nuværende situation til når grundvandsindvindingen i Skagen Klitplantage reduceres med hhv. 30 %, 50 %, 80 % og 100 %, samt når der tages højde for klimaforandringer og havvandsstandsstigning, 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 1.

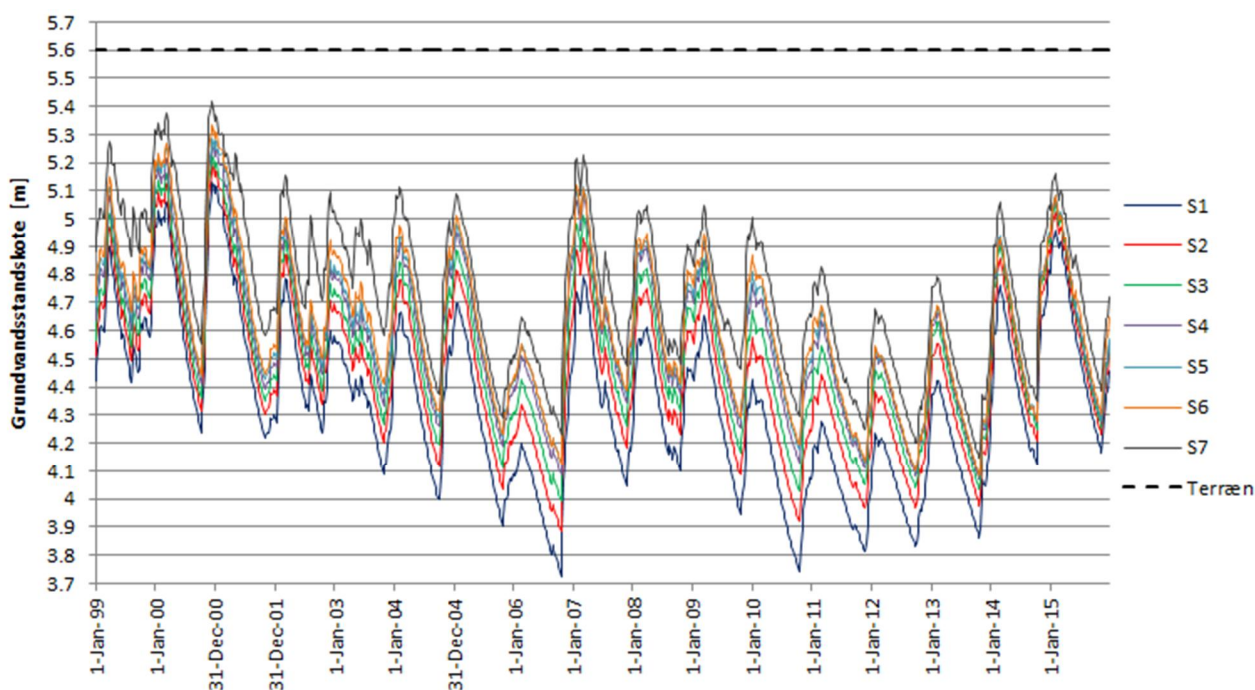


Figur 1. Udtagningspunkter (1, 2 og 3) for tidsserier med grundvandsstanden.

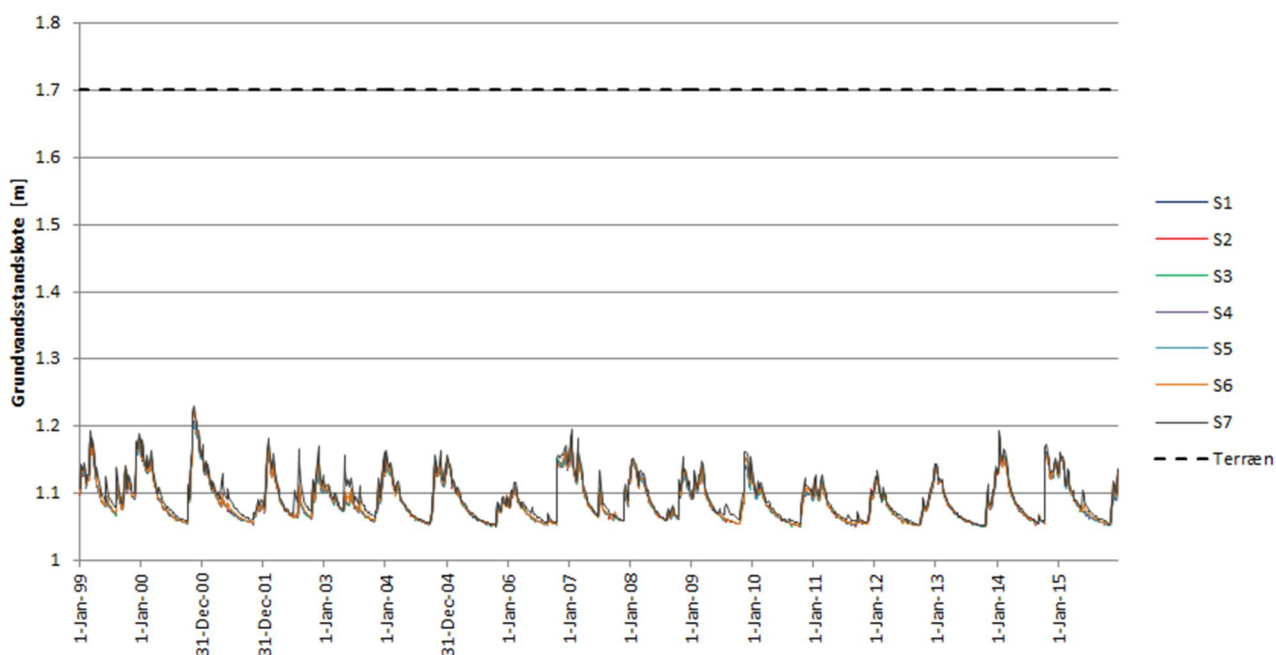
Udviklingen i grundvandsstanden fra 1999 – 2015 for de enkelte scenarier (Scenarie 1 (S1) – Scenarie 7 (S7)) er vist på Figur 2 for punkt 1, Figur 3 for punkt 2 og Figur 4 for punkt 3.



Figur 2. Grundvandsstandens udvikling fra 1999 – 2015 under scenarie 1 – 7 (S1 – S7) ved punkt 1 (jf. Figur 1). Terrænkoten ved punkt 1 er 4,65 m.



Figur 3. Grundvandsstandens udvikling fra 1999 – 2015 under scenarie 1 – 7 (S1 – S7) ved punkt 2 (jf. Figur 1). Terrænkoten ved punkt 2 er 5,6 m.



Figur 4. Grundvandsstandens udvikling fra 1999 – 2015 under scenarie 1 – 7 (S1 – S7) ved punkt 3 (jf. Figur 1). Terrænkoten ved punkt 3 er 1,7 m.

Generelt viser Figur 2 og Figur 3, at grundvandsstanden ved punkt 1 og 2 står relativt højt, og de årlige variationer svinger fra ca. 25 cm til 1,5 m. For punkt 1 varierer afstanden fra terræn til grundvandsstanden for det faktuelle data i perioden 1999 – 2015 mellem ca. 15 cm – 110 cm under terræn. Ved punkt 2 varierer afstanden fra terræn til grundvandsstanden mellem ca. 50 cm – 190 cm under terræn.

Figur 4 viser til gengæld, at ved punkt 3 er der generelt 0,5 m fra terræn til grundvandsstanden, og den årlige variation er mindre end 20 cm. Det er ligeledes tydeligt, at grundvandsstanden i punkt 3 ikke påvirkes ret meget af den reducerede indvinding i Skagen Klitplantage. Klimaændringerne og den stigende grundvandsstand har en betydning, men ikke i samme grad som i punkt 1 og 2.

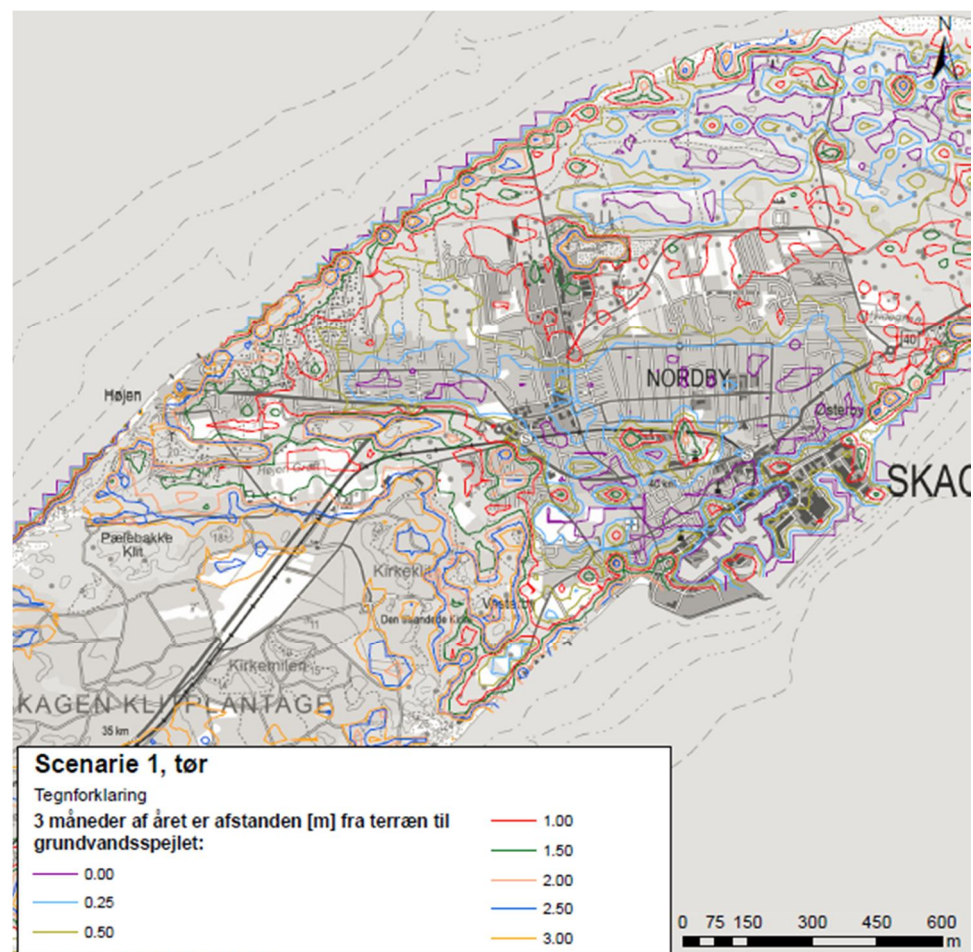
4.1.1 Konsekvenser af ændret indvindingsstrategi i Skagen Klitplantage

På grund af et højt kloridindhold og forekomster af pesticider blev indvindingen i Skagen Klitplantage omlagt i perioden 2006 – 2010. Indvindingen blev således spredt over et større areal og på flere borer i den vestlige del af Skagen Klitplantage og syd herfor. Denne omlægning kan have en påvirkning af grundvandsstanden i nærliggende områder til sløjfede borer. Figur 2 og Figur 3 viser imidlertid ikke en stigning i grundvandsstanden efter 2010 ift. før 2006, trods den samlede indvindingsmængde i perioden generelt har været faldende. Dette betyder, at omlægningen af grundvandsindvindingen i Skagen Klitplantage ikke har haft betydning for grundvandsstanden i punkt 1 og 2 (jf. Figur 1).

Figur 2 og Figur 3 viser dog, at der vil være en påvirkning af grundvandsstanden i punkt 1 og 2 når den samlede grundvandsindvinding i Skagen Klitplantage reduceres hhv. 30 %, 50 %, 80 % og 100 %. Klimaændringerne vil også have indflydelse på grundvandsstanden, men specielt havvandsstigningen vil have en stor indvirkning på grundvandsstanden.

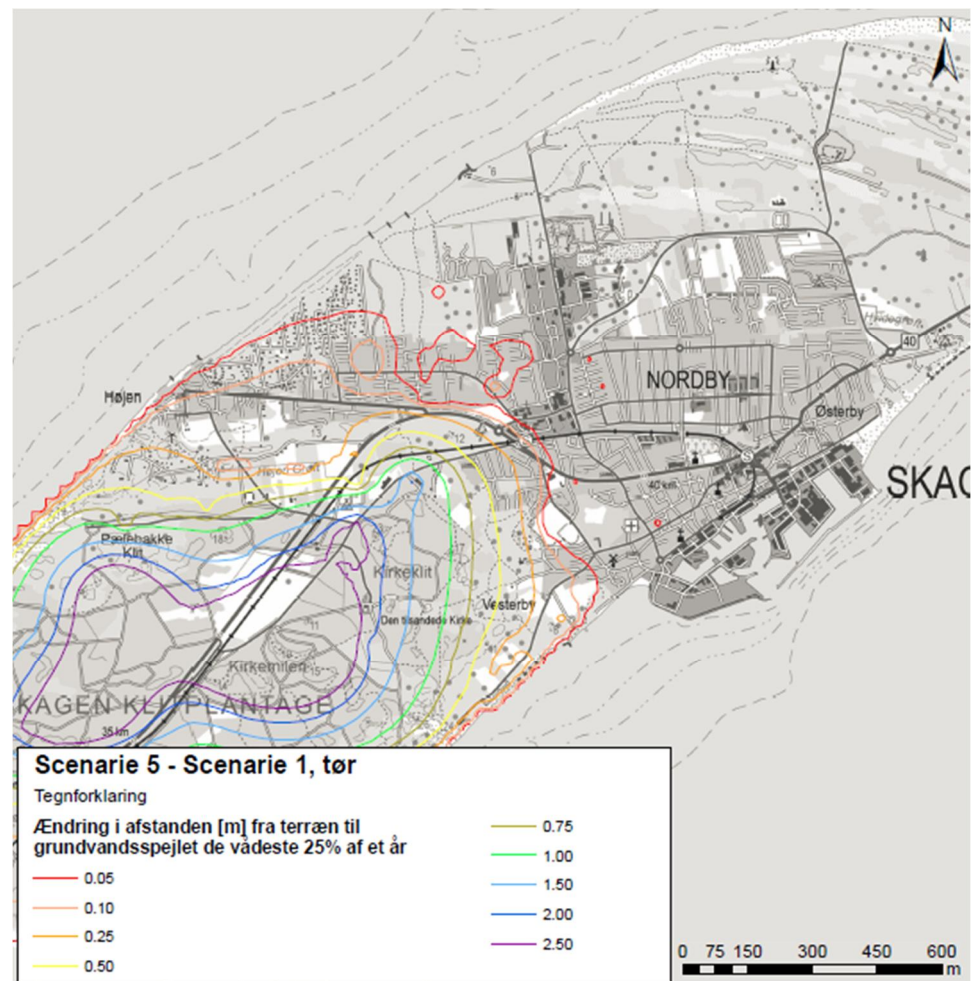
4.2 Afstand fra terræn til grundvandsstand

I Skagen by er afstanden fra terræn til grundvandsstanden naturligt relativ lille. Således viser udtræk fra modellen også, at afstanden fra terræn til grundvandsstanden i store dele af Skagen by under scenarie 1 (faktuelle forhold) i en tør periode (Figur 5) er mindre end 0,5 m. I en våd periode (Figur 6) er der i mange områder vand på terræn.

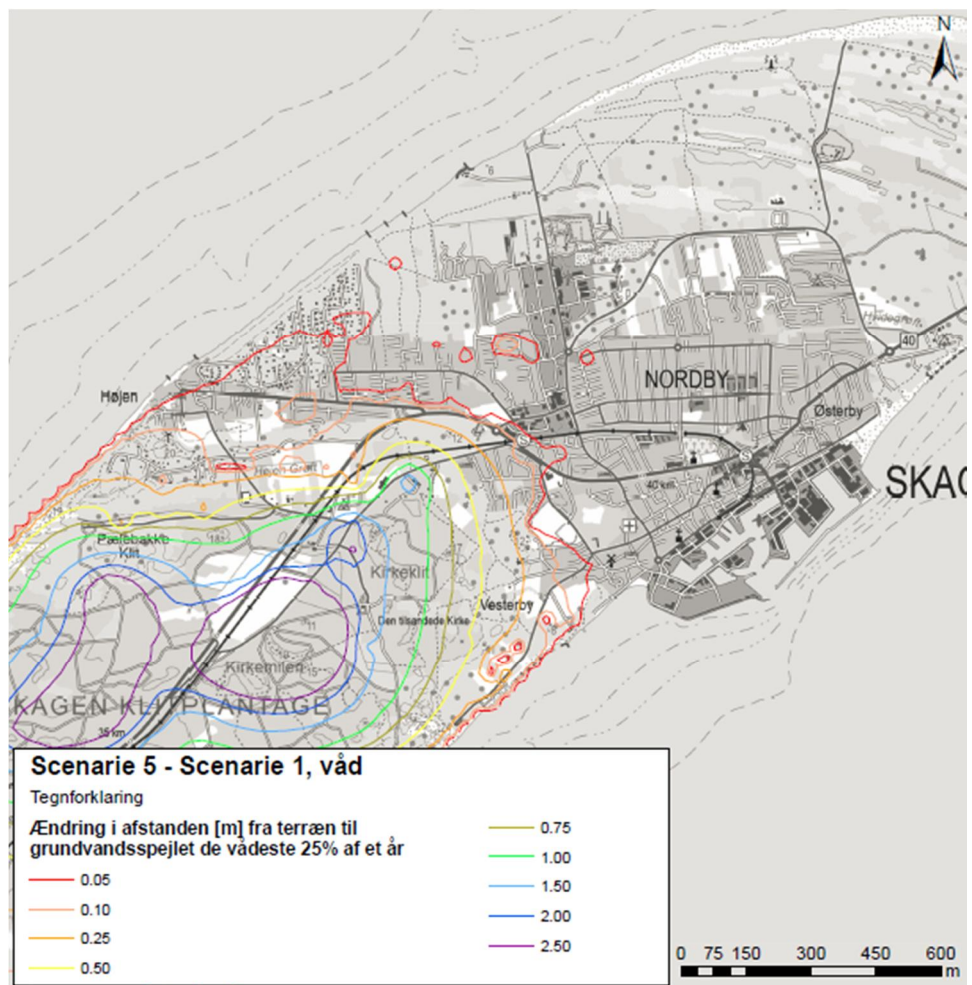


Figur 5. Afstanden fra terræn til grundvandsspejlet 3 måneder i et relativt tørt år, scenarie 1.

Skagen Klitplantage og samt simulering af fremtidige nedbørs og fordampningsforhold, 2011 – 2040).

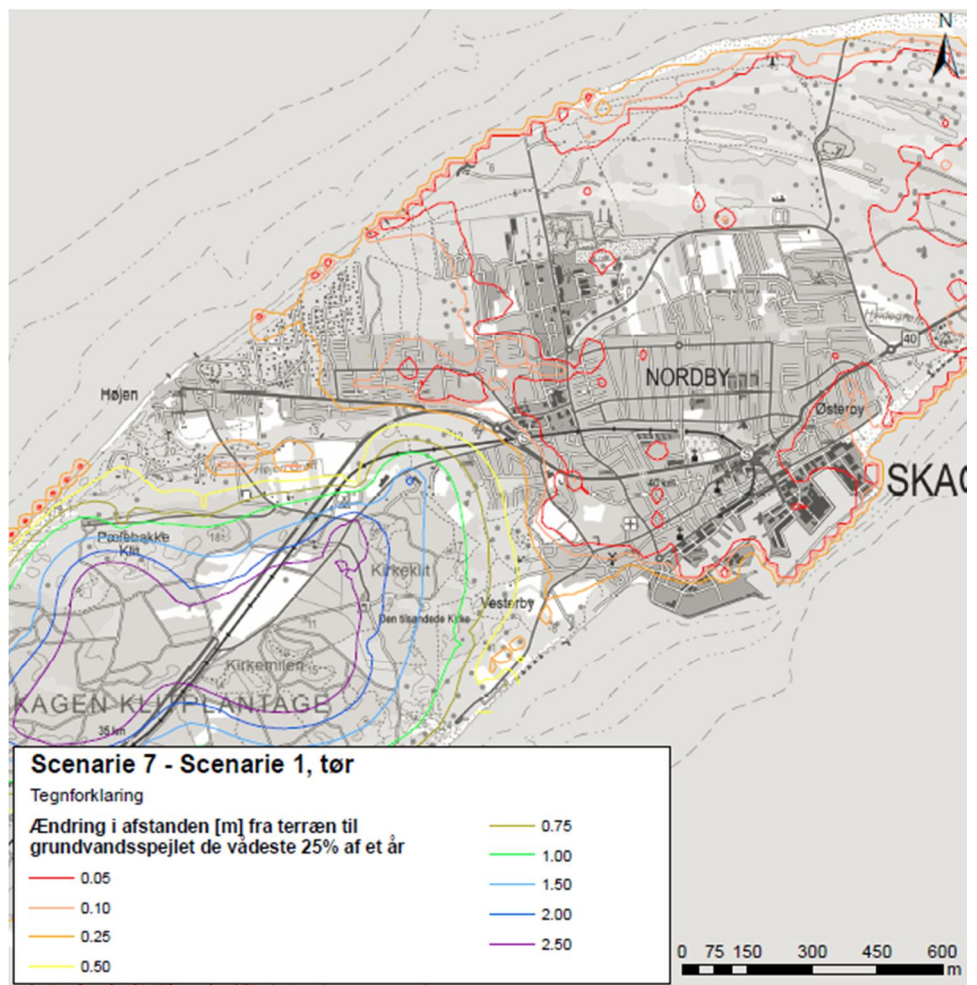


Figur 7. Ændring i afstanden fra terræn til grundvandsspejlet de vådeste 25 % af et relativt tørt år fra scenarie 5 til scenarie 1.

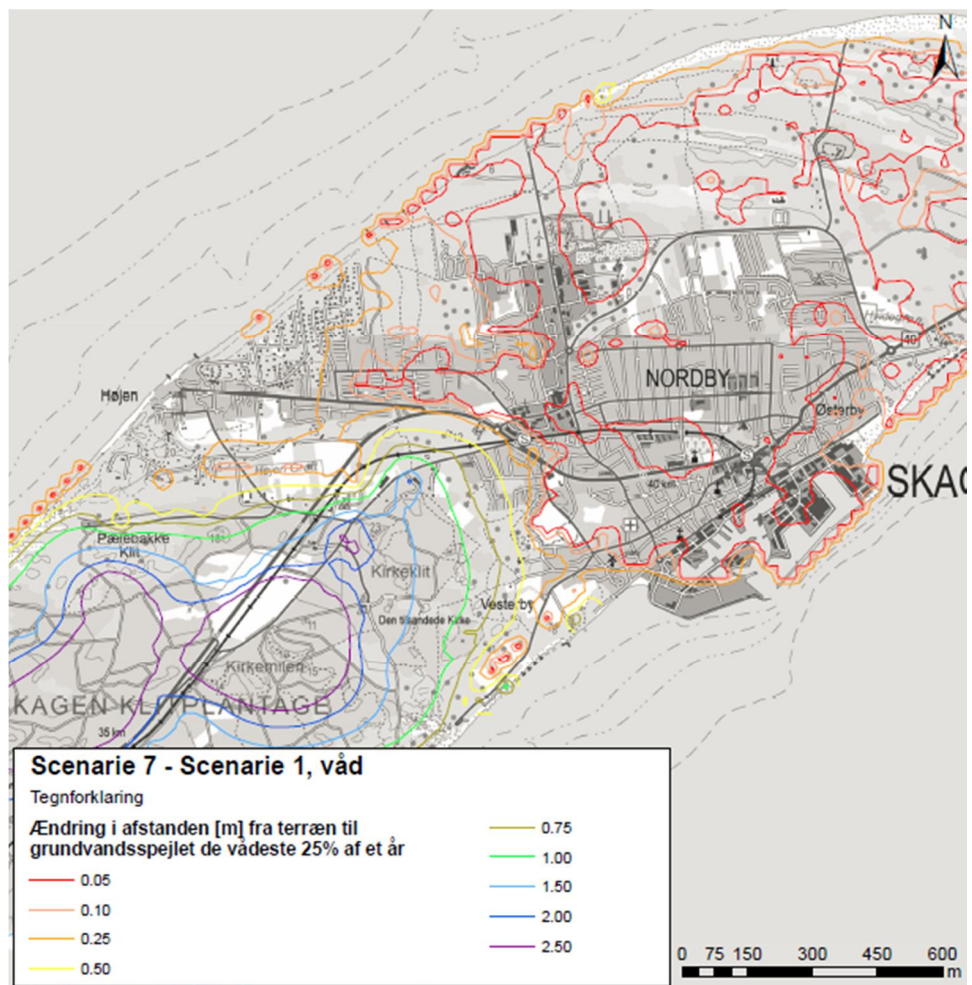


Figur 8. Ændring i afstanden fra terræn til grundvandsspejlet de vådeste 25 % af et relativ vådt år fra scenarie 5 til scenarie 1.

Scenarie 7 (100 % lukning af grundvandsindvindingen i Skagen Klitplantage, 0,5 m havvandsstandsstigning samt simulering af fremtidige nedbørs og fordampningsforhold, 2041 – 2070) viser markante ændringer i afstanden fra terræn til grundvandsspejlet de vådeste 25 % af både et tørt (Figur 9) og et vådt år (Figur 10). Det ses dog, at der flere steder i Skagen by ikke er nogle ændringer i grundvandsstanden. Dette skyldes, at grundvandsstanden allerede har nået terræn.



Figur 9. Ændring i afstanden fra terræn til grundvandsspejlet de vådeste 25 % af et relativ tørt år fra scenarie 7 til scenarie 1.

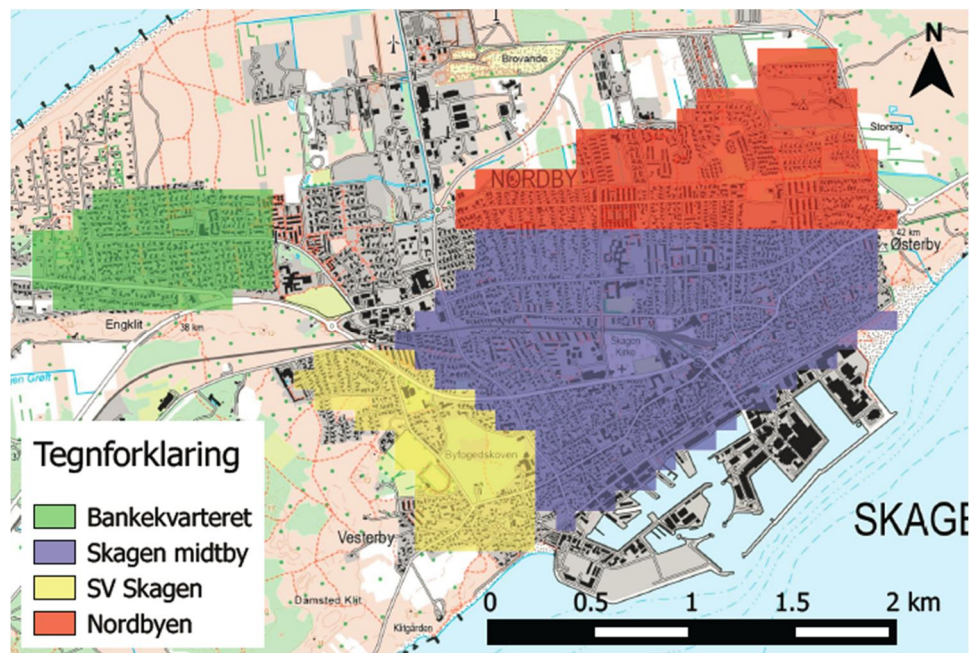


Figur 10. Ændring i afstanden fra terræn til grundvandsspejlet de vådeste 25 % af et relativt vådt år fra scenarie 7 til scenarie 1.

4.3 Afvandingsbehov

Da modellen simulerer grundvandsstand over/i terræn flere steder i Skagen by (eksempelvis Figur 5 og Figur 6) ses der heller ingen ændringer i afstanden fra terræn til grundvandsspejlet de vådeste 25 % af tiden disse steder (eksempelvis Figur 9 og Figur 10).

Modelteknisk håndteres vand på terræn af overfladeafstrømningsmodulet, 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 11. Data for overfladeafstrømningen er vist i Tabel 3 - Tabel 6. Overfladeafstrømningen afspejler den mængde vand, der skal fjernes fra området (afvandingsbehovet) for at holde grundvandsstanden i terræn ved de enkelte scenarieændringer. Den øgede overfladeafstrømning afspejler de enkelte scenariers (scenarie 2 – 7) påvirkning af områderne ift. reference scenariet (scenarie 1).

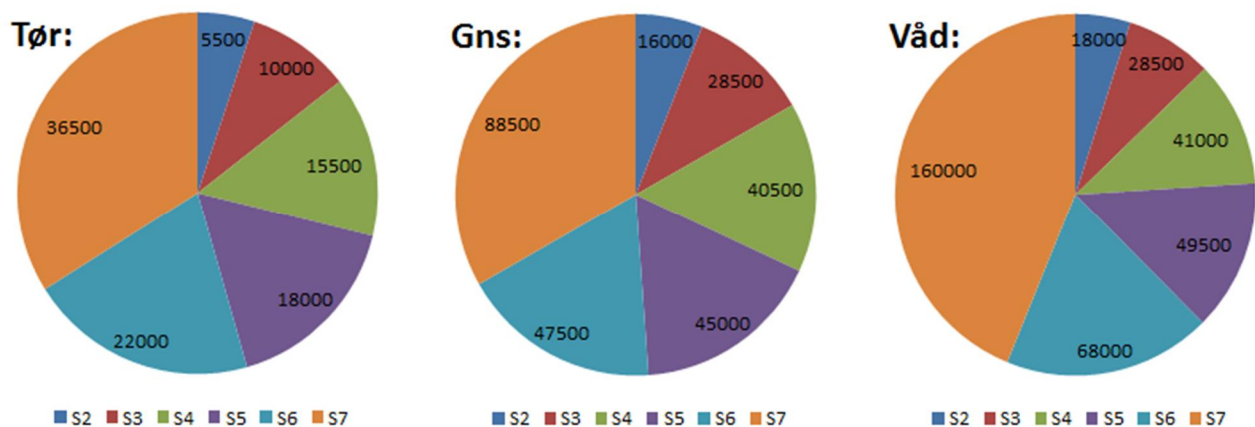


Figur 11. Markering af de fire områder (Bankekarteret, Skagen midtby, Nordbyen og SV Skagen) som overfladeafstrømningen/afvandingsbehovet er trukket ud for.

Tabel 3. Overfladeafstrømningen/afvandingsbehovet for scenarie 1 – 7 fra hhv. et tørt, middel og vådt år for området Bankekarteret. Bankekarteret har et areal på 64 ha..

Bankekarteret		Tørt år	Middel år	Vådt år
Sce.	Beskrivelse	Overfladeafstrømning [m ³ /år]	Overfladeafstrømning [m ³ /år]	Overfladeafstrømning [m ³ /år]
1	Reference scenarie, faktuelle forhold	13000	28000	86000
2	Indvinding reduceret med 30 %	18500	44000	104000
3	Indvinding reduceret med 50 %	23000	56500	114500
4	Indvinding reduceret med 80 %	28500	68500	127000
5	Indvinding lukket	31000	73000	135500
6	Indvinding lukket, klimaforandringer 2011-2040	35000	75500	154000
7	Indvinding lukket, klimaforandringer 2041-2070 og 0,5 m havstigning	49500	116500	246000

Tabel 3 viser, at afvandingsbehovet fra Bankekarteret øges ved en reducere-/lukning af grundvandsindvindingen i Skagen Klitplantaget. Ligeledes vil klimaforandringerne øge afvandingsbehovet fra Bankekarteret. Det er dog havvandsstigningen på 0,5 m (scenarie 7, S7), der bidrager med det største afvandingsbehov ift. reference scenariet (Figur 12). Mængdemæssigt når overfladeafstrømningen fra Bankekarteret ca. 246.000 m³ på et vådt år.

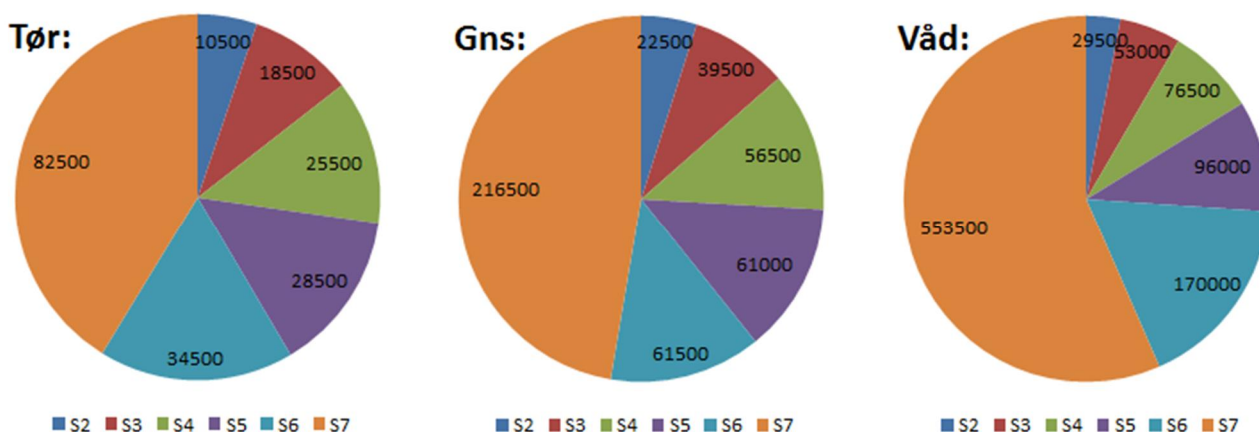


Figur 12. Cirkeldiagrammer over bidraget [m³/år] til afvandsbehovet i Bankekvarteret for de enkelte scenarier ift. reference scenariet under et tørt, gennemsnitlig og vådt år.

Tabel 4. Overfladeafstrømningen for scenarie 1 – 7 fra hhv. et tørt, middel og vådt år for området Skagen midtby. Skagen midtby har et areal på 223 ha.

Skagen midtby		Tørt år	Middel år	Vådt år
Scen.	Beskrivelse	Overfladeafstrømning [m ³ /år]	Overfladeafstrømning [m ³ /år]	Overfladeafstrømning [m ³ /år]
1	Reference scenarie, faktuelle forhold	200500	426500	832500
2	Indvinding reduceret med 30 %	211000	449000	862000
3	Indvinding reduceret med 50 %	219000	466000	885500
4	Indvinding reduceret med 80 %	226000	483000	909000
5	Indvinding lukket	229000	487500	928500
6	Indvinding lukket, klimaforandringer 2011-2040	235000	488000	1002500
7	Indvinding lukket, klimaforandringer 2041-2070 og 0,5 m havstigning	283000	643000	1386000

Ligesom i Tabel 3 viser Tabel 4, at det er scenarie 7, som påvirker overfladeafstrømningen mest. Figur 13 viser, at en lukning af grundvandsindvindingen i Skagen Klitplantage påvirker overfladeafstrømningen fra Skagen midtby med mellem 28.500 m³/år – 96.000 m³/år, hvilket ift. reference scenariet er mindre end 15 %.

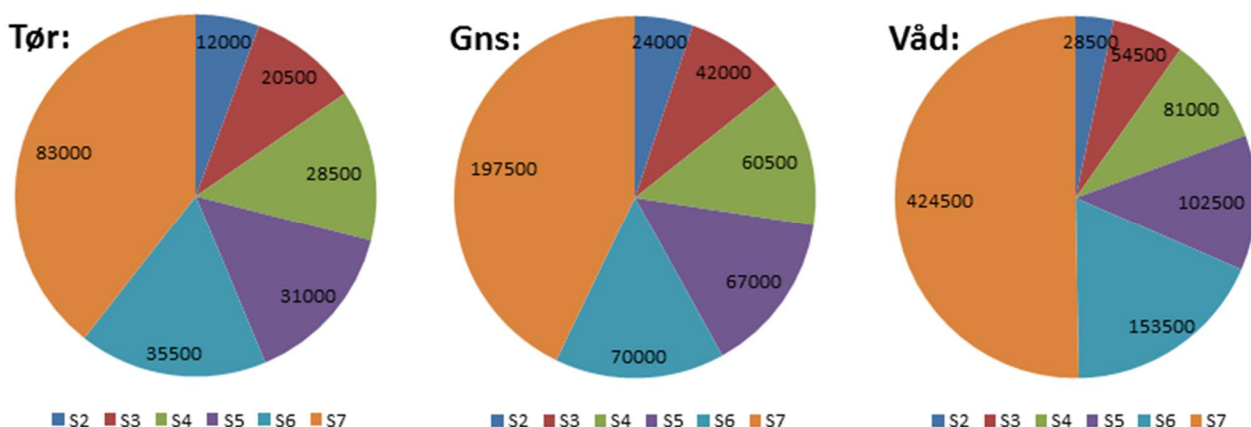


Figur 13. Cirkeldiagrammer over bidraget [m³/år] til afvandingsbehovet i Skagen midtby for de enkelte scenarier ift. reference scenariet under et tør, gennemsnitlig og vådt år.

Ligesom for Bankekvarteret og Skagen midtby viser SV Skagen (Tabel 5), at scenarie 7 har det største indvirkning på overfladeafstrømningen. En lukning af grundvandsindvindingen vil medføre en øget overfladeafstrømning på ca. 20 % – 25 %.

Tabel 5. Overfladeafstrømningen for scenarie 1 – 7 fra hhv. et tørt, middel og vådt år for området SV Skagen. SV Skagen har et areal på 65 ha.

SV Skagen		Tørt år	Middel år	Vådt år
Scen.	Beskrivelse	Overfladeafstrømning [m ³ /år]	Overfladeafstrømning [m ³ /år]	Overfladeafstrømning [m ³ /år]
1	Reference scenarie, faktuelle forhold	120500	262500	541500
2	Indvinding reduceret med 30 %	132500	286500	570000
3	Indvinding reduceret med 50 %	141000	304500	596000
4	Indvinding reduceret med 80 %	149000	323000	622500
5	Indvinding lukket	151500	329500	644000
6	Indvinding lukket, klimaforandringer 2011-2040	156000	332500	695000
7	Indvinding lukket, klimaforandringer 2041-2070 og 0,5 m havstigning	203500	460000	966000



Figur 14. Cirkeldiagrammer over bidraget [m³/år] til afvandingsbehovet i SV Skagen for de enkelte scenarier ift. reference scenariet under et tør, gennemsnitlig og vådt år.

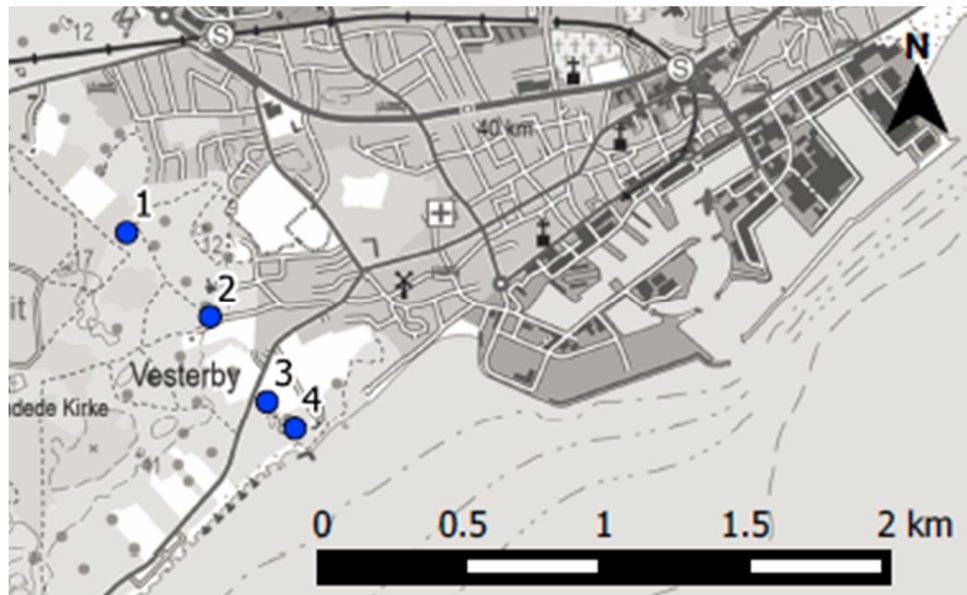
Sammenholdes Tabel 3, Tabel 4 og Tabel 5 ses det, at Bankekvarteret, af de tre bydele, er mere påvirket af ændringer i grundvandsindvindingen, klimaforandringer og havvandstandsstigninger end SV Skagen og Skagen midtby. Sidstnævnte er som forventet, det område der er mindst påvirket af ændringerne bortset fra Nordbyen, som mere eller mindre ikke er påvirket (jf. Tabel 6).

Tabel 6. Overfladeafstrømningen for scenarie 1 – 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
Scen.	Beskrivelse	Overfladeafstrømning [m ³ /år]	Overfladeafstrømning [m ³ /år]	Overfladeafstrømning [m ³ /år]
1	Reference scenarie, faktuelle forhold	0	10	16
2	Indvinding reduceret med 30 %	0	10	16
3	Indvinding reduceret med 50 %	0	10	16
4	Indvinding reduceret med 80 %	0	10	16
5	Indvinding lukket	0	10	16
6	Indvinding lukket, klimaforandringer 2011-2040	0	10	18
7	Indvinding lukket, klimaforandringer 2041-2070 og 0,5 m havstigning	2	25	40

4.4 Effekt af ekstrem havvandstandshændelse

I scenarie 8 er det undersøgt, hvilken effekt en ekstrem havvandstandshændelse på 2,3 m DNN i en periode på 3 dage har på grundvandsstanden. Scenarie 8 er sammenlignet med scenarie 7 hvor havvandsstanden er konstant 0,5 m over hele simuleringsperioden. Grundvandsstanden er udtrukket 4 steder (se Figur 15) med forskellige afstande til kysten, for at undersøge hvor langt ind i landet effekten vil kunne registreres.

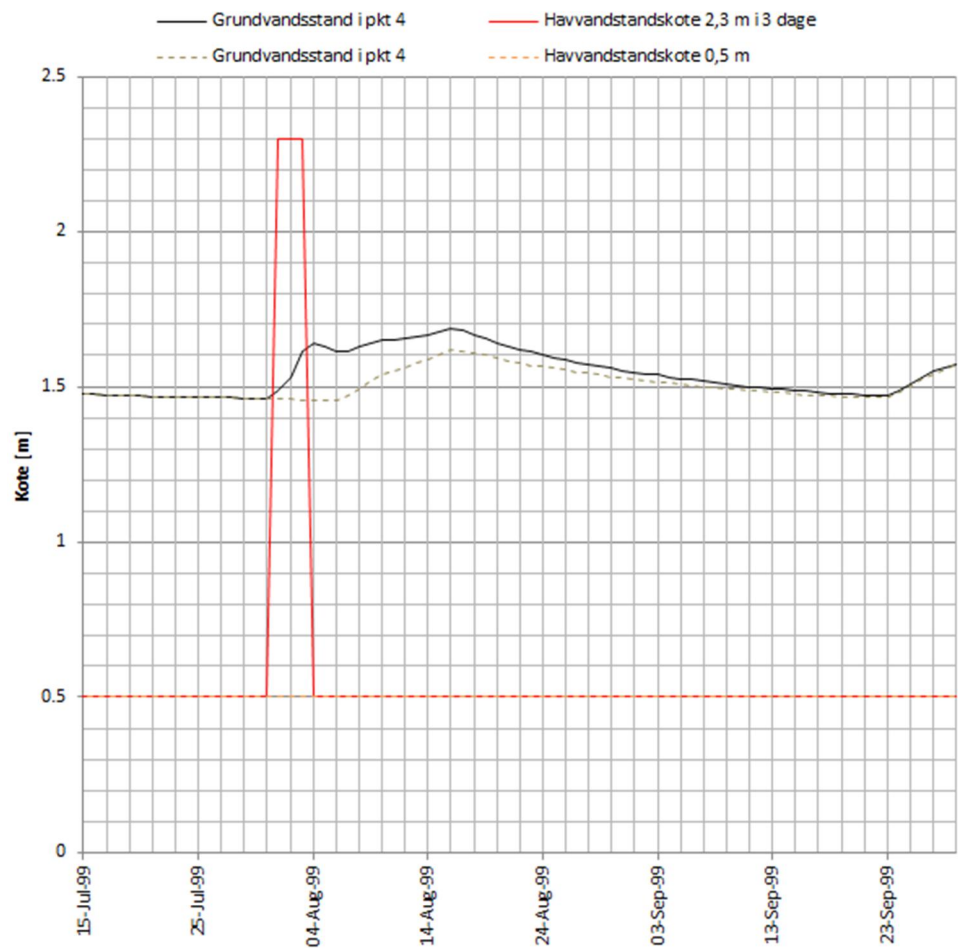


Figur 15. Udtagningspunkter (1, 2, 3 og 4) for tidsserier med grundvandsstanden.

Figur 16 viser grundvandsstandsændringen i punkt 4 (jf. Figur 15) mellem scenarie 8, hvor havvandsstanden i en periode på 3 dage stiger fra 0,5 m til 2,3 m, og scenarie 7 som har en konstant havvandsstand på 0,5 m. Det ses, at grundvandsstanden i punkt 4 stiger med ca. 18 cm over de 3 dage med en havvandsstand på 2,3 m ift. scenarie 7. Effekten af hændelsen aftager løbende og efter ca. 1,5 måned er grundvandsstanden faldet til samme niveau som scenarie 7.

Data er kun vist for punkt 4, da der i punkt 1, 2 og 3 ikke simuleres ændringer i grundvandsstanden forårsaget af den høje havvandsstands hændelse. Dette betyder også, at påvirkningen på grundvandsstanden er relativ kystnær.

Det skal bemærkes, at der ikke er regnet med opstuvning i vandløb/grøfter. Dette viser kun havvandsstandsstigningens effekt på grundvandsstanden.



Figur 16. Sammenhæng mellem grundvandsstanden i punkt 4 (jf.) og havvandsstanden. Fuldt optrukne sort og rød linje hører til samme scenarie og afspejler hhv. koten for grundvandsstanden i punkt 4 når havvandsstanden fra den 1. – 3. august 1999 stiger fra kote 0,5 m til 2,3 m. Stiplet grå og orange linje viser reference scenariet. Dvs. grundvandsstandens udvikling i punkt 4 ved en konstant havvandsstand på 0,5 m.

5 REFERENCER

- /1/ Frederikshavn Kommune, 2015. Afvandingsforhold i Skagen by. Fase 1: Interessentanalyse og samling af eksisterende data. Rapport udarbejdet af NIRAS.
- /2/ Frederikshavn Forsyning A/S, 2009. Opgradering af grundvandsmodel – Skagen Odde. Rapport udarbejdet af NIRAS (juli).
- /3/ Frederikshavn Vand A/S, 2012. Konsekvensanalyse af reduceret indvinding på Skagen Vandværk. Rapport udarbejdet af NIRAS (januar).
- /4/ <http://naturstyrelsen.dk/naturbeskyttelse/naturprojekter/life-hulsig-hede/>. Besøgt 18. december 2015.
- /5/ <http://naturstyrelsen.dk/naturbeskyttelse/naturprojekter/life-raabjerg-mose/>. Besøgt 18. december 2015.
- /6/ Seaby, I. P., 2013. Uncertainty in Hydrological Change Modelling. Ph.D. thesis. Danmarks og Grønlands geologiske undersøgelse rapport 2013/58.
- /7/ Frederikshavn Kommune og Naturstyrelsen, 2016. WETHAB, LIFE12 NAT/DK/000803, Hydrologisk forundersøgelse, april 2015 – marts 2016. Rapport udarbejdet af NIRAS.
- /8/ Kommuneplan 2015 og Klimatilpasningsplan. <http://frederikshavnkp13.cowi.webhouse.dk/dk/klimatilpasning/saarbarhedskortlaegning.htm#Havvandsstigning>. Besøgt 18. december 2015.