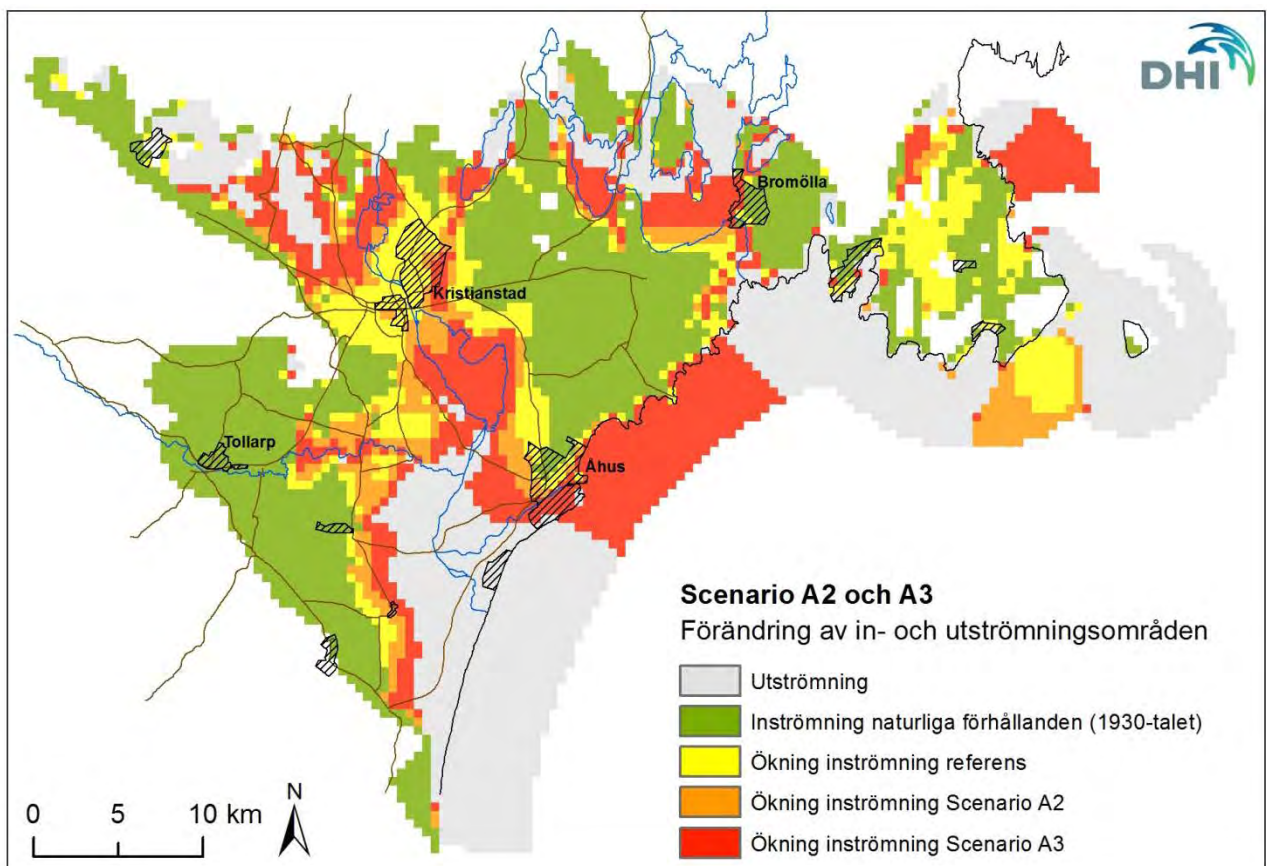


Framtida klimat- och uttagsscenarier för Kristianstadsslätten

Beräkningar med MIKE SHE



C4 Teknik, Kristianstads kommun

PM



Framtida klimat- och uttagsscenarier för Kristianstadsslätten

Beräkningar med MIKE SHE

Beställare C4 Teknik, Kristianstads kommun
Beställarens ombud Michael Dahlman

| | |
|-------------------|-----------------------|
| Projektledare | Erik Mårtensson |
| Kvalitetsansvarig | Lars-Göran Gustafsson |

| | |
|---------------|------------|
| Projektnummer | 12802515 |
| Godkänd | 2014-09-09 |
| Version | Version 2 |
| Restriktioner | Inga |



INNEHÅLL

| | | |
|-----------------|---|------------|
| 1 | Inledning | 1 |
| 2 | Framtida klimat..... | 1 |
| 2.1 | Klimatmodeller | 1 |
| 2.2 | Valda klimatscenarier..... | 2 |
| 2.3 | Osäkerheter | 3 |
| 2.4 | Korrigerig av scenariodata | 3 |
| 2.5 | Framtida klimat på Kristianstadslätten | 6 |
| 2.5.1 | Temperatur..... | 6 |
| 2.5.2 | Nederbörd | 7 |
| 2.5.3 | Potentiell avdunstning..... | 9 |
| 3 | Beräkningsfall | 10 |
| 3.1 | Klimatscenarier | 10 |
| 3.2 | Uttagsscenarier | 12 |
| 3.2.1 | Uttagsscenario 1 – förändrad bevattning | 12 |
| 3.2.2 | Uttagsscenario 2 – övergång från yt- till grundvattenbevattning | 14 |
| 3.2.3 | Uttagsscenario 3 – maximal uttagskapacitet | 14 |
| 3.2.4 | Sammanfattning uttagsscenarier | 15 |
| 4 | Resultat..... | 1 |
| 4.1 | Vattenbalanser | 1 |
| 4.2 | In- och utströmning till sedimentär berggrund | 11 |
| 4.3 | Transporttid till sandsten | 16 |
| 4.4 | Grundvattendjup..... | 17 |
| 4.5 | Flöden i Vramsån | 20 |
| 4.6 | Sammanfattning och diskussion | 21 |
| 5 | Rekommendationer | 23 |
| 6 | Referenser | 24 |
| Appendix | | |
| A | Kompletterande beräkningsresultat | A-1 |
| A.1 | Vattenbalanser | A-1 |
| A.2 | In- och utströmning till sedimentär berggrund | A-3 |
| A.3 | Förändring av djup till grundvattenytan..... | A-8 |

1 Inledning

Uttagen av grundvatten på Kristianstadsslätten är betydande. Särskilt uttagen till bevattning är stora, men även till kommunal dricksvattenförsörjning och till livsmedelsindustrins produktion. Tidigare studier av vattenomsättningen på Kristianstadsslätten (DHI, 2011a) har indikerat att på delar av slätten är uttagen i samma storleksordning som den vertikala tillströmningen. Detta medför ökade risker för sänkta grundvattennivåer, minskad vattenföring i vattendragen, ökad saltvatteninträngning utmed kusten samt föroreningsspridning till de djupare och värdefulla grundvattentillgångarna i den sedimentära berggrunden.

Klimatförändringarna kan medföra ändringar i hydrologin på Kristianstadsslätten till följd av högre temperaturer och ändrade nederbördsmonster. Efterfrågan på grundvatten kan också öka på grund av ökat bevattningsbehov och brist på användbart ytvatten till såväl bevattning som dricksvatten.

I syfte att utreda hur framtida klimat- och uttagsscenarioer kan påverka vattenomsättningen på Kristianstadsslätten har C4 Teknik, Kristianstads kommun, låtit DHI genomföra beräkningar med kommunens regionala MIKE SHE-modell. I föreliggande rapport redovisas förutsättningar, resultat och slutsatser av dessa beräkningar.

2 Framtida klimat

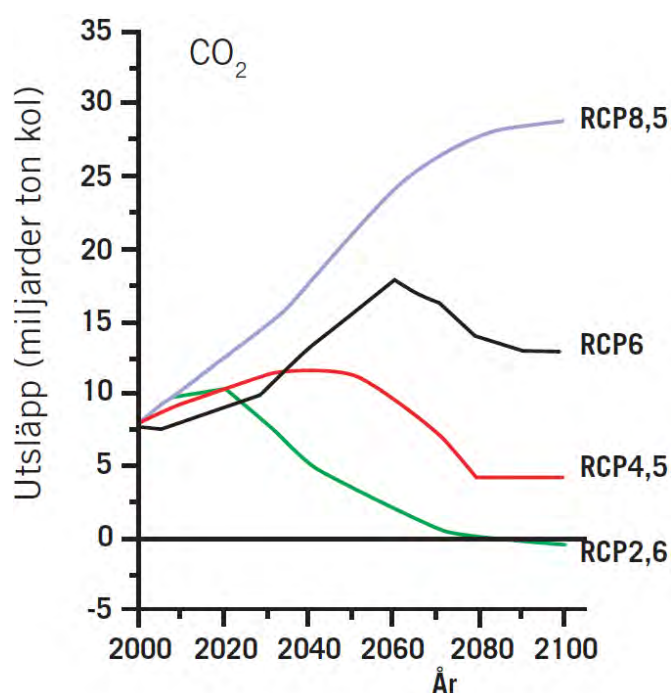
2.1 Klimatmodeller

För att studera hur klimatet kommer att förändras i framtiden används globala klimatmodeller (GCM). Dessa beskriver översiktligt de storskaliga processerna i atmosfären. Tidigare användes så kallade utsläppsscenarioer för att driva modellerna. Utsläppsscenarioer är antaganden om framtida utsläpp av växthusgaser och partiklar vilka baseras på antaganden om jordens folkmängd samt ekonomiska, sociala och tekniska utveckling. Sådana scenarioer kallas SRES-scenarioer. De mest kända av dessa är A2, B2 och A1B.

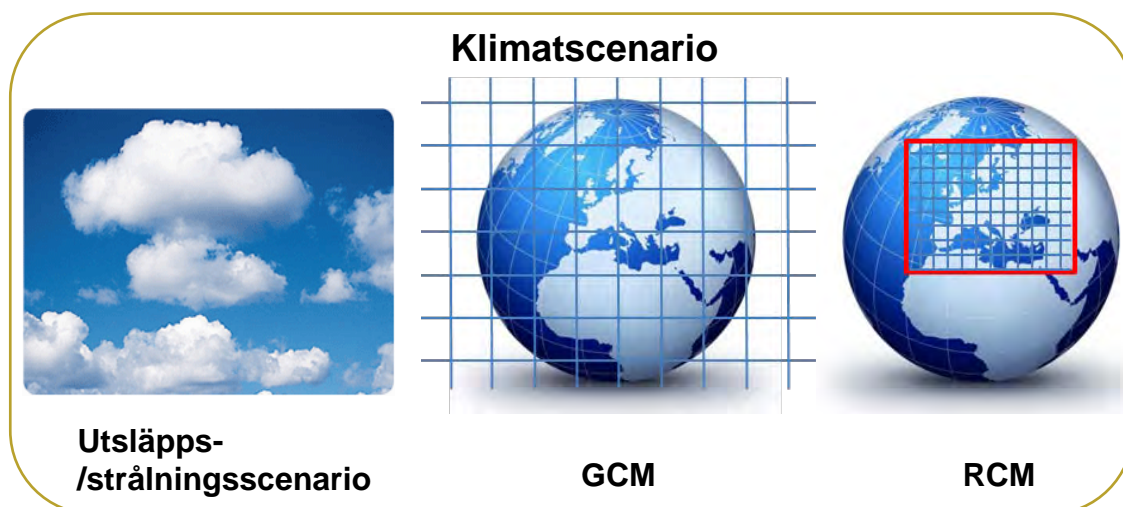
FNs klimatpanel (IPCC) har tagit fram en ny typ av scenarioer som benämns strålningsscenarioer (RCP-scenarioer). Dessa baseras på antaganden om hur strålningsdrivningen (växthuseffekten) kommer att förstärkas i framtiden. Desto mer utsläpp av växthusgaser desto mer strålningsdrivning. I Figur 2-1 visas hur utsläppen av kol förändras fram till år 2100 för fyra RCP-scenarioer.

Trots att upplösningen på de globala modellerna förbättrats avsevärt under senare år krävs det fortfarande en mer detaljerad beskrivning av de regionala förhållandena vid mer lokala klimatanalys. Därför används regionala klimatmodeller (RCM) för att dynamiskt skala ner resultaten från de globala modellerna. Med dynamisk nedskalning menas att den regionala modellen drivs av resultat från den globala modellen på modellränderna, dvs. modellens yttre gräns. Detta innebär att den globala modellen har stor betydelse för resultaten från den regionala modellen.

Kombinationen av utsläppsscenario, global och regional modell benämns ofta klimatscenario, se Figur 2-2. Genom att byta utsläppsscenario men behålla samma globala och regionala modell kan således ett helt nytt klimatscenario skapas.



Figur 2-1. Exempel på möjliga utvecklingsbanor för utsläpp av koldioxid vid olika RCP:er angivet som miljarder ton kol.



Figur 2-2. Ett klimatscenario är en kombination av global (GCM) och regional (RCM) klimatmodell och utsläppsscenario.

2.2 Valda klimatscenarier

Vid klimateffektstudier är det nödvändigt att utvärdera ett större antal klimatscenarier, dvs. olika kombinationer av globala och regionala klimatmodeller och utsläpps-/strålningsscenario. Då flera scenarier analyseras kan gemensamma nämnare i resultaten identifieras vilket innebär att resultaten blir robustare. Vidare ger skillnaden mellan scenarierna en kvantifiering av spridningen i resultaten.

I Tabell 2-1 presenteras de klimatscenarier från vilka data använts för att analysera Kristianstadsslätans framtida klimat. Scenarierna är de senaste vilka gjorts tillgängliga av Rossby Centre inom ramen för CORDEX-programmet, ett WCRP (World Climate Research

Program) finansierat projekt. Sammanlagt har åtta (8) olika kombinationer av global och regional modell analyserats för två strålningsscenarioer, RCP4,5 och RCP8,5. Detta ger totalt sexton (16) olika klimatscenarier (Tabell 2-1). RCP8,5 utgör det mest extrema strålningsscenarioet där utsläppen av koldioxid fortsätter att öka fram till år 2100. I RCP4,5 ökar utsläppen fram till mitten på seklet för att sedan avta och nå en stabil nivå runt 2080 (Figur 2-1).

Innan klimatscenarierna analyserats med avseende på framtida temperatur och nederbörd har scenariodata korrigerats enligt beskrivning i avsnitt 2.4.

Tabell 2-1. Sammanställning av analyserade klimatscenarier.

| Namn | RCP-scenario | Upplösning |
|------------|--------------|------------|
| CanESM2 | 4,5 och 8,5 | 50 km |
| CNRM-CM5 | 4,5 och 8,5 | 50 km |
| EC-EARTH | 4,5 och 8,5 | 50 km |
| IPSL-CM5A | 4,5 och 8,5 | 50 km |
| MIROC5 | 4,5 och 8,5 | 50 km |
| MPI-ESM | 4,5 och 8,5 | 50 km |
| NorESM1 | 4,5 och 8,5 | 50 km |
| GFDL-ESM2M | 4,5 och 8,5 | 50 km |

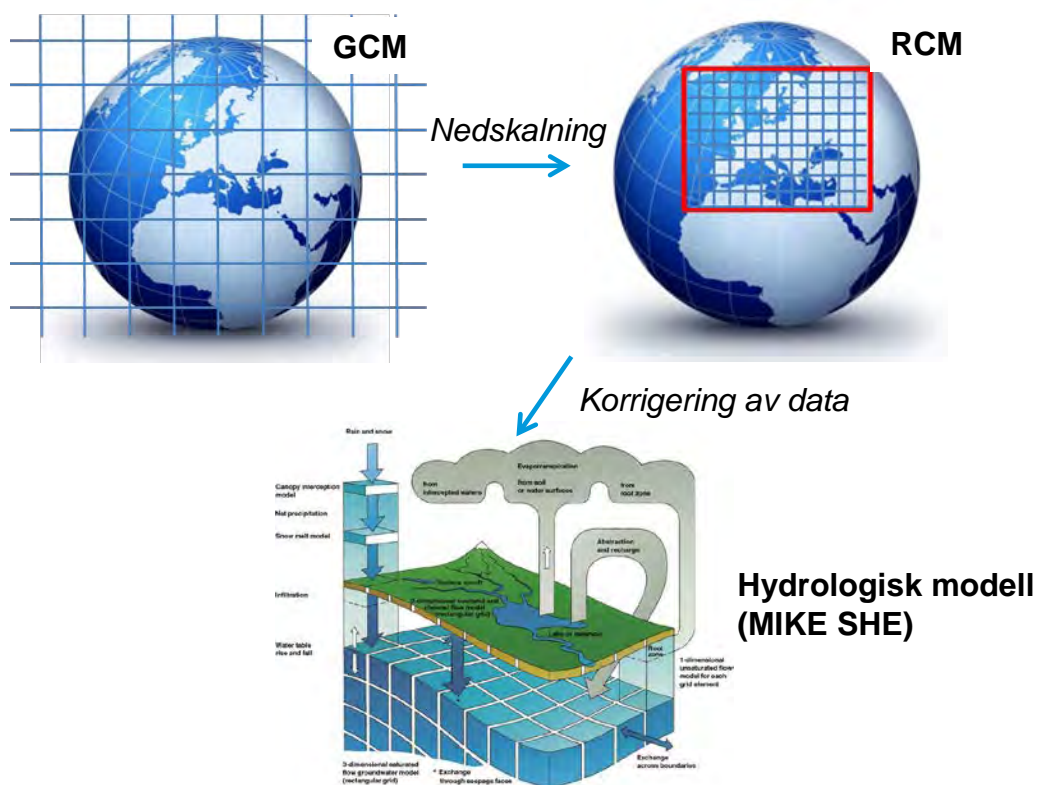
2.3 Osäkerheter

Klimatmodellernas syfte är att beräkna klimatets respons på förändringar i koncentrationen av växthusgaser i atmosfären. Denna respons varierar mellan olika klimatmodeller då de beskriver samma klimatologiska processer på olika sätt. Detta är den grundläggande orsaken till varför det finns en spridning i resultaten mellan olika modeller.

I syfte att dels visa på spridningen men framförallt hitta de gemensamma nämnarna har totalt sexton olika klimatscenarier utvärderats. Om det finns stora olikheter i resultaten från klimatscenarierna innebär detta att osäkerheten också är större. Om däremot flera scenarier pekar åt samma håll kan resultaten tolkas som mer troliga och robusta. Med bakgrund av detta är det viktigt att fokusera på de huvudsakliga trenderna då resultat för klimatförändringar presenteras i rapporten och inte på absoluta värden.

2.4 Korrigering av scenariodata

För att möjliggöra jämförelse av observerad och modellerad data samt för att kunna använda data från regionala klimatmodeller som indata till hydrologiska modellberäkningar (MIKE SHE) är det nödvändigt att korrigera modellerad data mot observationer. Detta beror på att klimatmodellerna inte kan beskriva dagens klimat på ett tillfredställande sätt, vilket innebär att de systematiska felen behöver korrigeras. Vad gäller nederbörd är ofta antalet dagar med nederbörd överskattat i klimatmodellerna och därmed även den totala nederbördsvolymen. Detta beror bl.a. på att nederbörd fördelas jämnt i gridrutan även om det enbart regnar i en del av rutan. Ytterligare en konsekvens av detta är att regnintensiteten är lägre jämfört med observerad stationsdata. I Figur 2-3 illustreras dataflödet från GCM via RCM till hydrologisk modell.



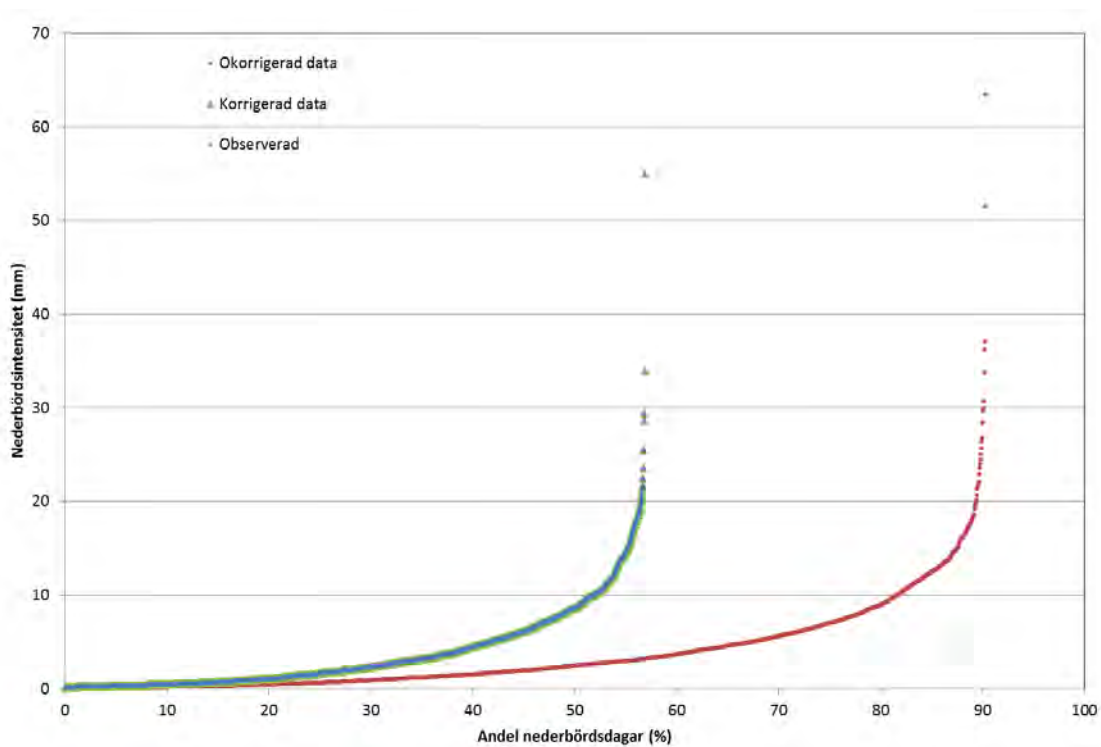
Figur 2-3. Principbild över dataflödet från global klimatmodell (GCM), via regional klimatmodell (RCM), till hydrologisk modell.

Modellerad nederbörd och temperatur från samtliga 16 klimatscenarier har korrigerats mot griddad observerad data för Kristianstad för perioden 1976-2005. Korrigeringen har utförts på så sätt att modellerad nederbörd och temperatur statistiskt har anpassats så de överensstämmer med observationer. Korrektionerna som då införs appliceras sedan på framtida modellerad scenariodata. Korrigeringsmetoden har utvecklats inom ramen för FoU-projektet *Svenskt Vatten Utveckling/FORMAS – projekt nr 10-103 (2010-2012): "Regnintensitet i Europa med fokus på Sverige – ett klimatförändringsperspektiv."*

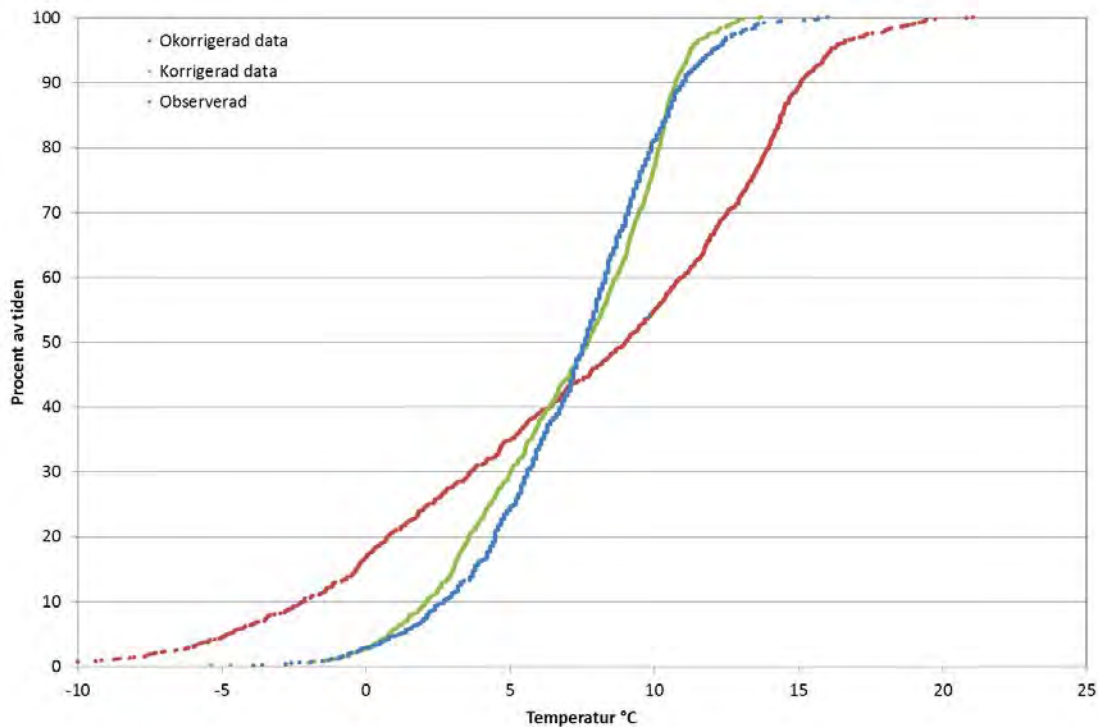
Korrektionsfaktorerna för nederbörd är intensitetsberoende och korrigeringen har utförts månadsvis. I Figur 2-4 visas ett exempel på hur modellerad nederbördsdata anpassats till observerad nederbörd. Här ses att korrektionen även genomförs med avseende på andelen nederbördsdagar vilken överskattas i modellen.

Temperaturdata har korrigerats med en term som ansatts linjärt beroende av modellerad rådata. Korrigeringsfunktionen har anpassats för respektive kalendermånad. Figur 2-5 visar på motsvarande sätt hur modellerad rådata för dygnsmedeltemperaturen anpassats till observerad temperatur för en specifik månad.

Utgående från dagens referensnormaler har framtida potentiell avdunstning beräknats baserat på den månadsvisa temperaturförändringen enligt en metod beskriven i MIKE by DHI (2011), grundad på Kay & Davies (2008).



Figur 2-4. Jämförelse av antal dagar med olika nederbördsintensitet för observerad data, modellerad rådata och korrigerad modelldata.



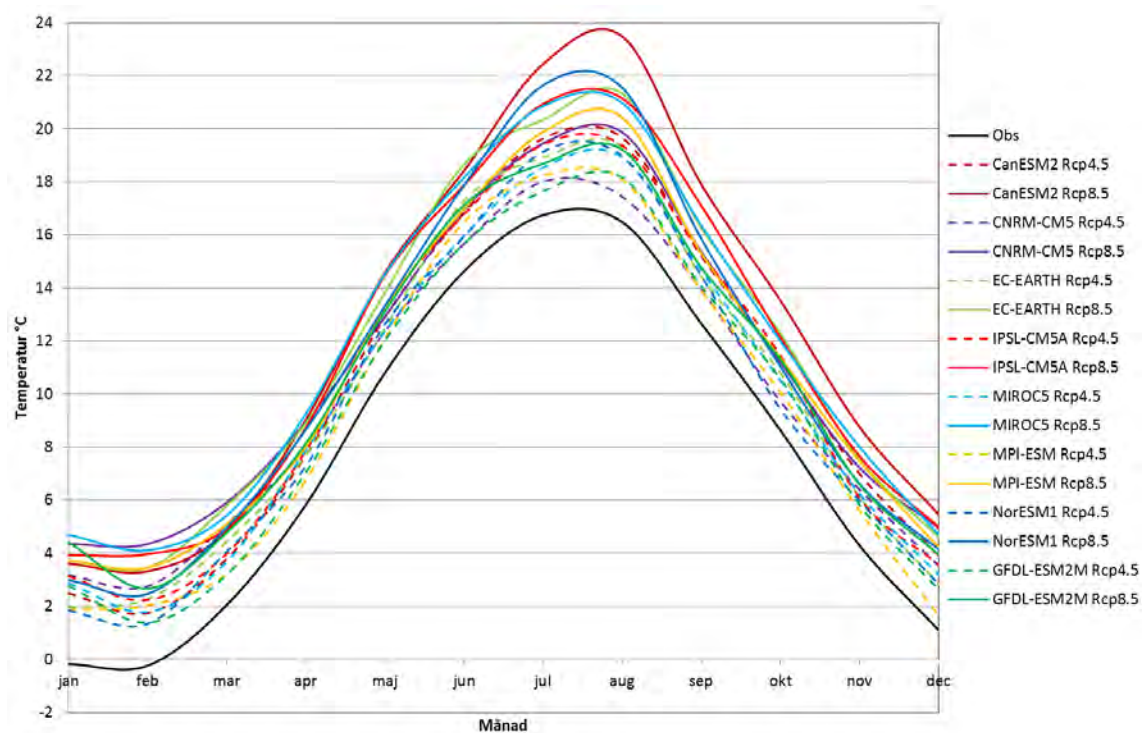
Figur 2-5. Jämförelse av dygnsmedeltemperatur för observerad data, modellerad rådata och korrigerad modelldata.

2.5 Framtida klimat på Kristianstadslätten

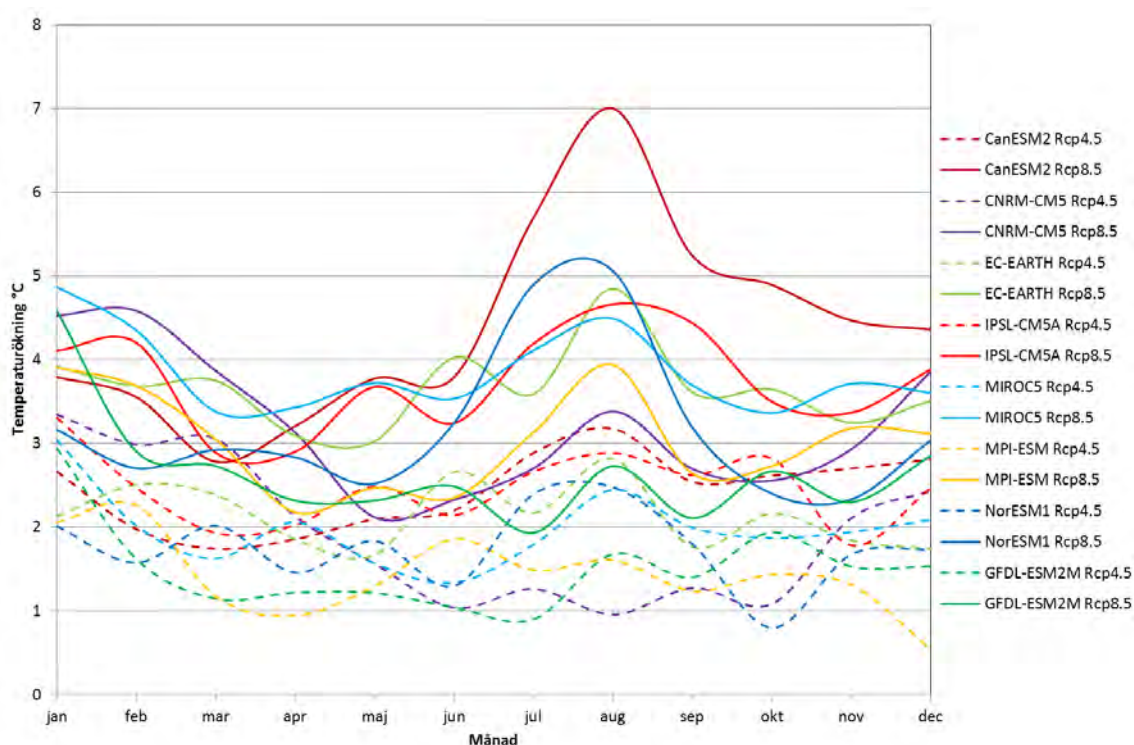
I detta avsnitt redovisas resultaten från klimatanalysen. Resultaten presenteras dels som absoluta värden och dels som relativa förändringar jämfört med referensperioden 1976-2005. Samtliga värden som presenteras för framtida scenarier är korrigerad enligt beskrivning i avsnitt 2.4 och representerar perioden 2071-2100.

2.5.1 Temperatur

Temperaturen väntas stiga under årets alla månader i samtliga scenarier (Figur 2-6). Ingen tydlig trend kan ses för vilka månader temperaturökningen blir som störst (Figur 2-7). Möjligtvis kan en något större höjning ses under årets inledande månader (januari-februari) och under månaderna juli-september. Sett över hela året väntas medeltemperaturen stiga med 1,5 – 4,4 °C med ett medelvärde på 2,7 °C.



Figur 2-6. Observerade (1976-2005) och framtida månadsmedeltemperaturer (2071-2100) för sexton klimatscenarier.



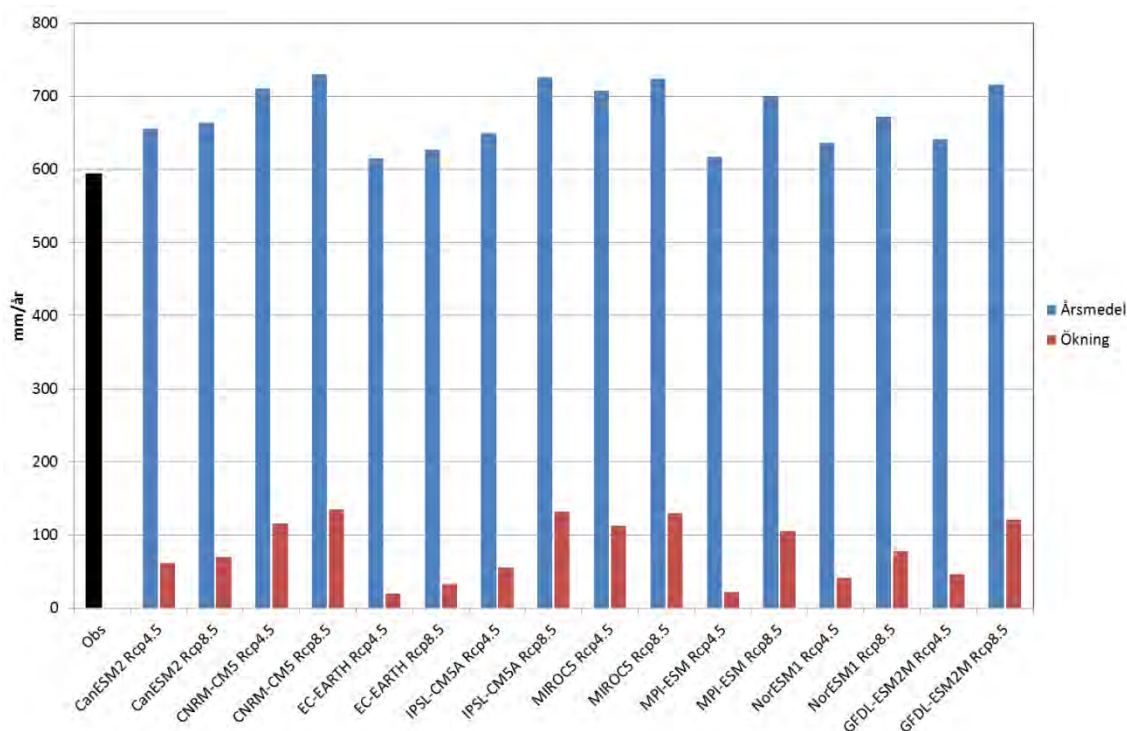
Figur 2-7. Beräknad ökning (°C) av månadsmedeltemperaturen till 2071-2100 jämfört med referensperioden 1976-2005 för sexton klimatscenarier.

2.5.2 Nederbörd

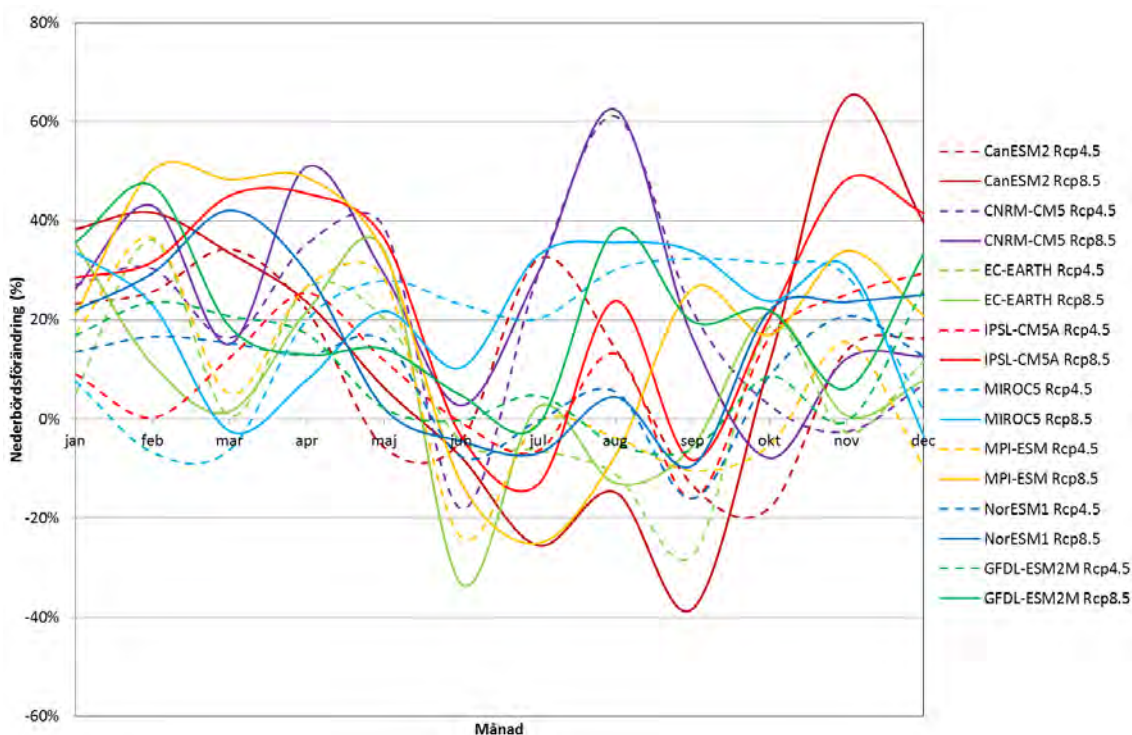
Samtliga scenarier pekar på en ökning av nederbörden sett över hela året (Figur 2-8). Ökningen varierar från ca 20 till 135 mm/år vilket motsvarar 4–23 % ökning jämfört med dagens årsmedel. Medelökningen ligger på 13 %.

I princip samtliga scenarier pekar på en ökning av nederbörden under samtliga månader under perioden november-maj (Figur 2-9). Spridningen är dock mycket stor under enskilda månader, från i princip oförändrat till en ökning på upp till 50–60 %. Under perioden juni-oktober varierar förändringen enskilda månader från -40 till +60 %. Jämförs den totala förändringen under perioden (juni-oktober) visar elva av sexton scenarier på en sammanlagd ökning av nederbörden eller nära oförändrat.

Viktigt att ha i åtanke är att siffrorna som presenteras är medel över 30-årsperioder (1976-2005 respektive 2071-2100). Även i framtiden kommer det att vara en stor variation mellan enskilda månader och år och förekomma torra månader/år med nederbörd under dagens medel.



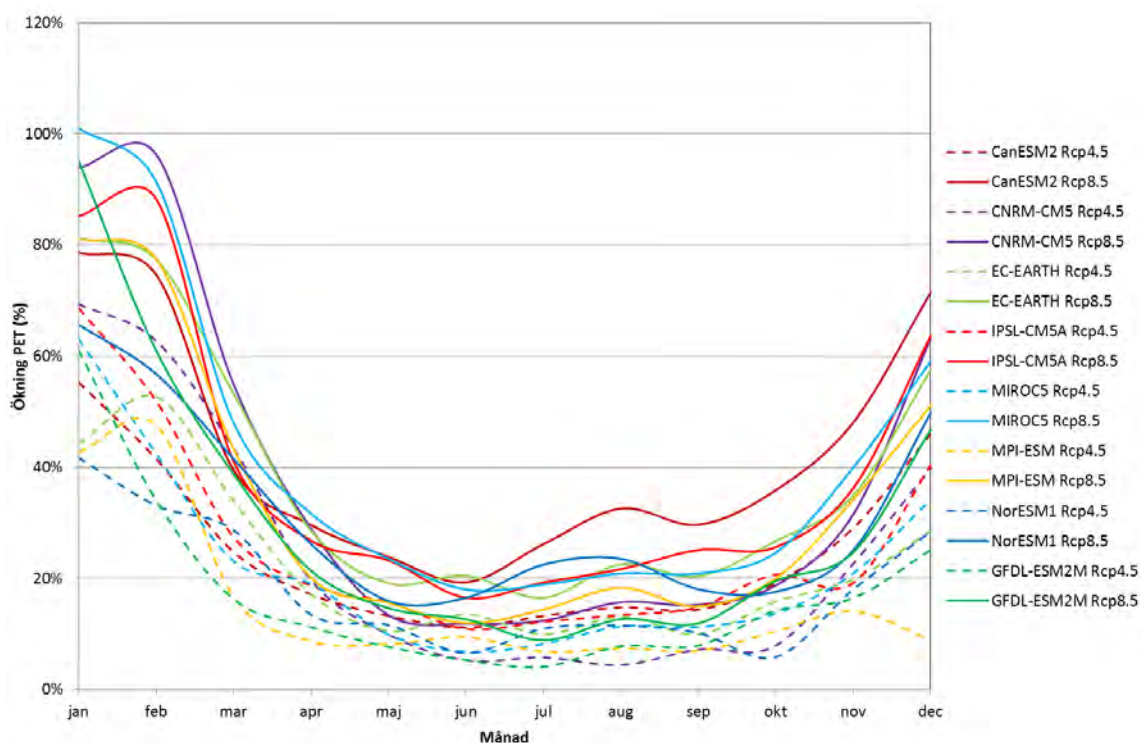
Figur 2-8. Observerad (1976-2005) och framtida årsmedelnederbörd (2071-2100) samt beräknad framtida ökning jämfört med referensperioden för sexton klimatscenarier.



Figur 2-9. Beräknad förändring (%) av månadsmedelnederbörd till 2071-2100 jämfört med referensperioden 1976-2005 för sexton klimatscenarier.

2.5.3 Potentiell avdunstning

Ökningen av temperaturen får till följd att även den potentiella avdunstningen ökar (Figur 2-10). Störst är den procentuella ökningen under vintermånaderna då ökningen uppgår till 40–100 % beroende på klimatscenario. Under sommaren varierar ökningen mellan 7 och 30 %. Viktigt att komma ihåg är den potentiella avdunstningen idag är mycket liten, nära noll, under vintermånaderna vilket innebär att den kommer vara liten även i framtiden trots den stora procentuella ökningen.



Figur 2-10. Beräknad ökning (%) av potentiell avdunstning (PET) till 2071-2100 jämfört med referensperioden 1976-2005 för sexton klimatscenarier.

3 Beräkningsfall

Totalt har åtta (8) beräkningsfall simulerats med MIKE SHE-modellen för Kristianstadsslätten förutom referensfallet (Tabell 3-1). Referensfallet utgörs av den senaste uppdaterade versionen av modellen (DHI, 2011b). Denna baseras på meteorologiska förhållanden under 1980- och 1990-talet. Uttagen uppgår till totalt 24,9 Mm³/år (exkl. Listerlandet).

Övriga beräkningsscenarioer utgörs av olika kombinationer av framtida klimat- och uttagsscenarioer. Nedan ges en kort beskrivning av respektive scenario. Utförligare beskrivning av scenarierna ges i avsnitt 3.1 (klimatscenarioer) och 0 (uttagsscenarioer).

- Klimatscenario A – medelscenario för framtida klimatförändring
- Klimatscenario B – extremscenario för framtida klimatförändring
- Uttagsscenario 1 – ändrad bevattning till följd av klimatförändringar
- Uttagsscenario 2 – övergång från bevattning med ytvatten till grundvatten
- Uttagsscenario 3 – uttag enligt SGUs bedömda maximala uttagskapacitet

Tabell 3-1. Beräkningsfall – kombinationer av klimat- och uttagsscenarioer.

| | | Klimatscenario | | |
|----------------|---------------|----------------|------------|------------|
| | | Dagens klimat | Scenario A | Scenario B |
| Uttagsscenario | Dagens (2010) | Referens | Sc A | Sc B |
| | Scenario 1 | | Sc A1 | Sc B1 |
| | Scenario 2 | | Sc A2 | Sc B2 |
| | Scenario 3 | | Sc A3 | Sc B3 |

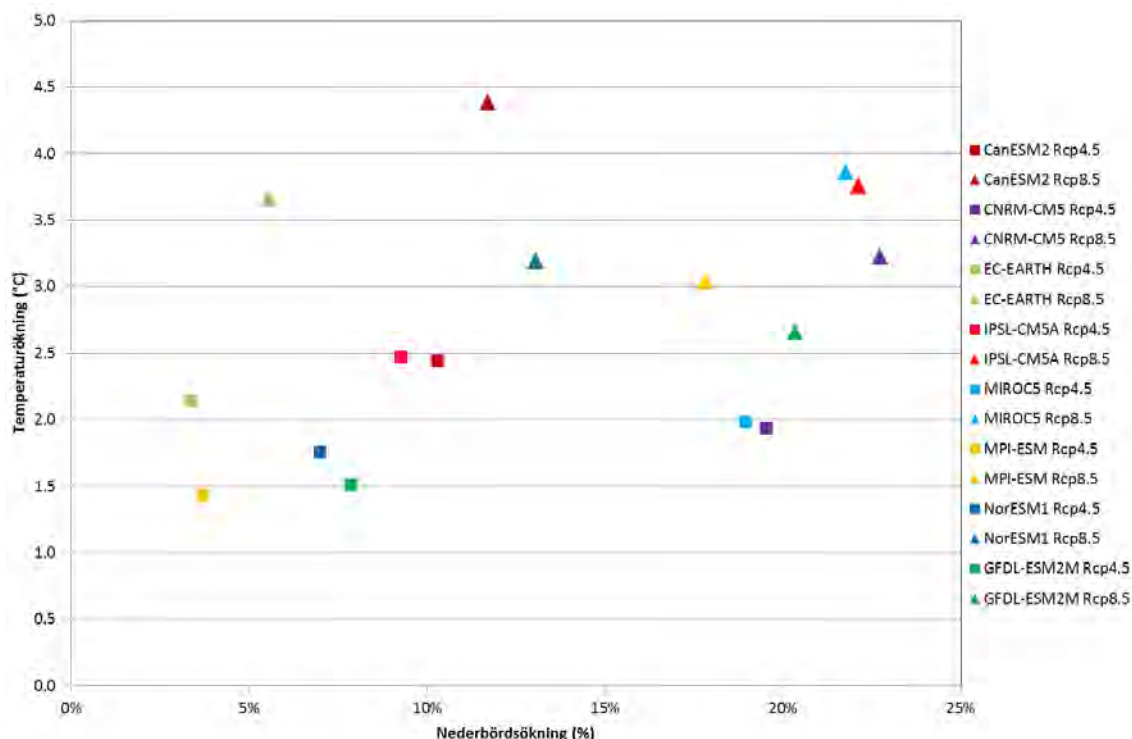
3.1 Klimatscenarioer

Från de sexton analyserade klimatscenarioerna har två valts ut; ett medel- och ett extremscenario. Vid valet har hänsyn tagits till förändringar i temperatur, nederbörd och vegetationsperiod, definierat som perioden mellan den första och sista sammanhängande 4-dygnsperioden med en dygnsmedeltemperatur >5°C. IPSL-CM5A-RCP4.5 har valts som medelscenario (klimatscenario A) och MIROC5-RCP8.5 har valts som extremscenario (klimatscenario B).

Det finns en tydlig korrelation mellan temperatur- och nederbördsökning (Figur 3-1). Ju större temperaturhöjning desto större ökning av nederbörden. MIROC5-RCP8.5 utgör ett av de mest extrema scenarierna med en stor ökning av både temperatur och nederbörd. IPSL-CM5A-RCP4.5 utgör ett medelscenario i detta avseende men är ett av de mer extrema av RCP4.5-scenarioerna. Även vad gäller förändringen av vegetationsperiodens start, slut och total längd utgör MIROC5-RCP8.5 respektive IPSL-CM5A-RCP4.5 ett extrem- respektive medelscenario (Tabell 3-2).

Ur grundvattenbildningssynvinkel finns andra scenarier som är mer extrema, både i positiv och i negativ bemärkelse. Scenarier som CanESM2-RCP8.5 och EC-EARTH-RCP8.5 med en stor temperaturökning i kombination med en liten nederbördsökning skulle sannolikt generera en mindre grundvattenbildning än valda scenarier. På motsvarande sätt hade scenarierna MIROC5-RCP4.5 och CNRM-CM5-RCP4.5 gett en större grundvattenbildning än valda scenarier till följd av en mindre ökning i temperatur i kombination med en stor ökning i nederbörd.

Anledningen till att inte något av dessa scenarier valts hänger ihop med resonemanget i avsnitt 2.3 rörande osäkerheter. Scenarierna avviker från majoriteten av övriga scenarier och kan därför anses vara mindre troliga och robusta än valda scenarier.



Figur 3-1. Nederbördsökning (%) som funktion av temperaturökning (°C) till 2071-2100 jämfört med referensperioden 1976-2005 för sexton klimatscenarier.

Tabell 3-2. Start, slut och längd på vegetationsperioden idag (1976-2005) och för sexton klimatscenarier (2071-2100).

| Scenario | Dagnr. start | Datum start | Dagnr. slut | Datum slut | Längd |
|------------------|--------------|-------------|-------------|------------|-------|
| Obs | 102 | 12-apr | 316 | 12-nov | 214 |
| CanESM2 RCP4.5 | 89 | 30-mar | 342 | 08-dec | 253 |
| CanESM2 RCP8.5 | 73 | 14-mar | 362 | 28-dec | 289 |
| CNRM-CM5 RCP4.5 | 74 | 15-mar | 331 | 27-nov | 257 |
| CNRM-CM5 RCP8.5 | 60 | 01-mar | 341 | 07-dec | 281 |
| EC-EARTH RCP4.5 | 81 | 22-mar | 328 | 24-nov | 247 |
| EC-EARTH RCP8.5 | 63 | 04-mar | 349 | 15-dec | 286 |
| IPSL-CM5A RCP4.5 | 89 | 30-mar | 334 | 30-nov | 245 |
| IPSL-CM5A RCP8.5 | 81 | 22-mar | 355 | 21-dec | 274 |
| MIROC5 RCP4.5 | 89 | 30-mar | 330 | 26-nov | 241 |
| MIROC5 RCP8.5 | 65 | 06-mar | 341 | 07-dec | 276 |
| MPI-ESM RCP4.5 | 89 | 30-mar | 321 | 17-nov | 232 |
| MPI-ESM RCP8.5 | 77 | 18-mar | 338 | 04-dec | 261 |
| NorESM1 RCP4.5 | 80 | 21-mar | 330 | 26-nov | 250 |
| NorESM1 RCP8.5 | 75 | 16-mar | 335 | 01-dec | 260 |

| | | | | | |
|-------------------|----|--------|-----|--------|-----|
| GFDL-ESM2M RCP4.5 | 90 | 31-mar | 328 | 24-nov | 238 |
| GFDL-ESM2M RCP8.5 | 83 | 24-mar | 336 | 02-dec | 253 |

Framtida havsnivåer

En effekt av klimatförändringarna är att havsnivåerna väntas stiga. Orsakssambanden kring varför världshaven stiger är komplicerade men de stora bidragen kommer från landisarnas avsmältning och varmare hav (varmt vatten fyller en större volym än kallt). Det råder en stor osäkerhet i hur stor höjningen blir. Senaste IPCC-rapporten (IPCC, 2013) pekar på en global höjning av havsytan med 0,3 – 1 m. SMHIs senaste rekommendationer är att planera för en höjning av medelvattenytan med 1 m. I Scenario A och B har havsnivån vilken utgör ett randvillkor i MIKE SHE-modellen höjts med 1 m. Även randvillkor för vattendrag beskrivna med MIKE 11 (se nedan) som mynnar i havet har ändrats.

Framtida flöden

Klimatförändringarna kommer att påverka vattenföringen i vattendragen. I MIKE SHE-modellen är större vattendrag som Helge å, Vramsån, Skräbeån och Vinne å beskrivna med separata hydrauliska modeller i MIKE 11 och kopplade till MIKE SHE. MIKE SHE-modellen täcker in hela tillrinningsområdet för alla vattendrag utom Helge å. För Helge å ligger ett inflöde inlagt i form av ett randvillkor vid Torsebros. Detta randvillkor har justerats med månadsvisa förändringsfaktorer från SMHIs regionala klimatanalys för Skåne län (SMHI, 2011). Samma faktorer har applicerats för både Scenario A och B. Applicerade faktorer medför att årsmedelflödet i Helge å ökar med ca 3 % jämfört med referensen.

3.2 Uttagsscenarier

3.2.1 Uttagsscenario 1 – förändrad bevattning

Klimatförändringarna leder till både en tidigare start och ett senare slut för vegetationsperioden (Tabell 3-2). Detta innebär att det i framtiden kommer att vara möjligt att så tidigare och skörda senare, kanske även skörda flera skördar under en säsong. Således kommer sannolikt även bevattningssäsongen att förlängas och bevattningsbehovet påverkas till följd av ett varmare klimat.

Bevattning av grödor sker huvudsakligen för att:

- Säkerställa hög skörd
- Säkerställa hög kvalitet
- Ge en jämn skörd varje år

Huruvida bevattning är nödvändig eller ej styrs till största delen av vilka grödor som odlas. Bevattning är en förutsättning för att det ska vara ekonomiskt lönsamt att odla grödor som potatis¹, grönsaker, frukt och bär medan andra grödor såsom vall, spannmål och sockerbetor inte är lika ekonomiskt lönsamma att bevattna (LRF, 2010). För att kunna göra en träffsäker bedömning av hur bevattningen kommer att förändras i framtiden behövs således kunskap om vilka grödor som kommer att odlas i slutet på seklet. Då detta är i det närmaste omöjligt att sätta om är utgångspunkten i nedanstående antaganden kring bevattningens framtida förändring att grödorna som idag odlas på slätten är desamma i framtiden.

¹ Bevattning av stärkelsepotatis vilket utgör 60 % av potatisodlingen i Kristianstad kommun enligt 2012 års siffror (Jordbruksverkets statistikdatabas) är mindre lönsamt att bevattna än färsk- och matpotatis (LRF, 2010).

Bevattningen startar i samband med sådden vilken sker vid vegetationsperiodens start. I modellen startar alla bevattningsuttag den 15 april vilket stämmer väl överens med vegetationsperiodens start den 12 april för referensperioden 1976-2005. Bevattningsperiodens slut följer dock inte vegetationsperiodens slut. I modellen slutar bevattningsperioden den 15 augusti.

Det är rimligt att anta att bevattningens start följer vegetationsperiodens start även i framtiden. Därför har starten i Scenario A1 respektive B1 satts till det datum då vegetationsperioden startar i klimatscenario A respektive B. Konsekvensen blir en tidigareläggning med ca 2 veckor för Scenario A1 och ca 5 veckor för Scenario B1 (Tabell 3-3).

Gällande slutdatum har detta antagits bli förskjutet motsvarande vegetationsperiodens förlängning vilket innebär ca 2 veckor för Scenario A1 och ca 3 veckor för Scenario B1. Totalt sett innebär detta att bevattningsperioden förlängs med 4 respektive 8 veckor.

Tabell 3-3. Datum för ansatt start och slut för bevattningsperioden i MIKE SHE.

| | Bevattning start | Bevattning slut | Förlängning jmf med referens |
|-------------|------------------|-----------------|------------------------------|
| Referens | 15-apr | 15-aug | |
| Scenario A1 | 30-mar | 1-sep | 4 veckor |
| Scenario B1 | 6-mar | 7-sep | 8 veckor |

Dagens bevattningsintensiteter (m^3/d) har i modellen lämnats oförändrade jämfört med dagens intensiteter i både Scenario A1 och B1. Motiven till att lämna dessa oförändrade är:

- I valda klimatscenarier väntas nederbörden öka under större delen av vegetationsperioden. Beräkningar för Scenario A respektive B (enbart klimatförändring) visar att nettonebörden är oförändrad eller ökar något.
- Det finns en svag trend mot att jordbruksarealen minskar på Kristianstadslätten. Inom Kristianstad kommun minskade arealen med dryga 6 % mellan 1985 och 2012 (Jordbruksverkets statistikdatabas).
- Enligt Jordbruksverket sker en övergång till grödor som är mer värmetåliga och klarar längre torrperioder (muntlig kontakt med Marcus Lundmark, Jordbruksverket, 2014-02-21).

Trots att bevattningsintensiteterna lämnas oförändrade kommer de totala bevattningsmängderna att öka eftersom bevattningsperioden är längre. I Scenario A1 ökar uttagen med $2,3 \text{ Mm}^3/\text{år}$ och i Scenario B1 med $4,0 \text{ Mm}^3/\text{år}$ jämfört med dagens situation. De totala uttagen uppgår till $27,2$ respektive $28,9 \text{ Mm}^3/\text{år}$.

Att bevattningsintensiteterna lämnas oförändrade hänger även ihop med det inledande antagandet att grödorna som odlas är desamma i framtiden som idag. Skulle en övergång ske till mer bevattningskrävande grödor, från spannmål, vall och betor till potatis, grönsaker och frukt, skulle bevattningsuttagen kunna öka dramatiskt. Beroende på lokalt klimat kan man räkna med ett bevattningsbehov på $1500 - 2500 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{år}$ (LRF, 2010). Som ett exempel skulle det innebära ett bevattningsbehov på $60 - 100 \text{ Mm}^3/\text{år}^2$ bara inom Kristianstad kommun utgående från att odlingsarealen är densamma i framtiden som idag. Detta är i samma storleksordning som den av SGU bedömda maximala uttagskapaciteten för hela slätten, se avsnitt 3.2.3.

Siffrorna skulle kunna ställas i relation till de bevattningsuttag som ligger inlagda i MIKE SHE-modellen vilka uppgår till ca $9,2 \text{ Mm}^3/\text{år}$ i grundvattenuttag och ytterligare $8 \text{ Mm}^3/\text{år}$ i ytvattenuttag på norra och södra slätten tillsammans (exkl. Listerlandet). Under torrår uppgår bevattningsuttagen (grundvatten) till ca $16 \text{ Mm}^3/\text{år}$, dvs. totalt $24 \text{ Mm}^3/\text{år}$ inkl. $8 \text{ Mm}^3/\text{år}$

² Beräkning baserad på odlingsareal 2012 inom Kristianstad kommun enligt Jordbruksverkets statistikdatabas.

ytvattenuttag. Dessa siffror är dock behäftade med en stor osäkerhet då de baseras på en bedömning av bevattningsuttagen under 1980-talet. Modellen har inte uppdaterats med avseende på tillståndgivna uttag för bevattning sedan modellen sattes upp i mitten på 1990-talet. Med bakgrund av detta är sannolikt bevattningsuttagen underskattade vilket bekräftas vid en snabb genomgång av senaste årens beviljade vattendomar. Konsekvensen av att uttagen är underskattade blir att den absoluta ökningen till följd av en förlängd bevattningsperiod underskattas i detta scenario. Med större bevattningsuttag skulle den absoluta förändringen till följd av en förlängd bevattningsperiod öka.

Övriga ändringar i modellen

Förutom ändringar i bevattningsuttag har följande ändringar avseende vegetation och återföring av uttag gjorts i modellen:

- Vegetationsparametrar (lövareaindex och rotdjup) för områdena utan odling som idag följer dagens vegetationsperiod har justerats så att de följer framtida vegetationsperioder i klimatscenario A respektive B.
- En övergång till ett tvåskördssystem ses redan idag på slätten (muntlig kontakt med Marcus Lundmark, Jordbruksverket, 2014-02-21). Med anledning av detta har följande ändringar gjorts:
 - För områden med vår- och höstsäd har en extra skörd lagts in efter skörden av spannmålet. Vilken typ av gröda denna skörd består av vet vi idag inte. Vegetationsparametrar har därför satts motsvarande en gräsbevuxen yta.
 - För områden med potatisodling har det antagits att färskpotatis odlas på våren och därefter matpotatis. Så görs redan idag.
 - För vallodlingar har en respektive två extra skördar lagts in för Scenario A1 respektive B1.
- Återföringen av uttag som nederbörd har justerats motsvarande bevattningsperiodens förlängning.

3.2.2 Uttagsscenario 2 – övergång från yt- till grundvattenbevattning

Till följd av en framtida stigande havsnivå riskerar salt havsvatten att tränga upp i Helge ås vattensystem och göra vattnet obrukbart till bevattning. På slätten sker dock redan idag en övergång från bevattning med ytvatten från vattendrag och sjöar till bevattning med grundvatten av andra skäl; grundvattnet ger en tryggare vattentillgång och vatten av bättre kvalitet.

I samband med modellens upprättande gjordes en bedömning att ytvattenuttagen uppgick till 10-15 Mm³/år. Uttagen ligger inte inlagda i modellen då de bedömdes vara försumbara i förhållande till vattendragens vattenföring. Återföringen, i form av nederbörd, ligger däremot inlagd i modellen.

I uttagsscenario 2 har grundvattenuttagen ökat med totalt 10 Mm³/år under dagens bevattningsperiod, fördelat på 100 brunnar över slätten. Den framtida förändringen av bevattningssäsongen bör rimligtvis även gälla för ytvattenbevattningen varför uttagsperioden förlängts enligt bevattningssäsongens förlängning, enligt beskrivning i avsnitt 3.2.1. Detta innebär att den totala uttagsökningen uppgår till 12,2 respektive 13,9 Mm³/år (exkl. Listerlandet) i Scenario A2 respektive B2. De totala uttagen uppgår till 39,4 respektive 43,1 Mm³/år.

3.2.3 Uttagsscenario 3 – maximal uttagkapacitet

I sista uttagsscenario har uttagen i modellen ökat för att totalt uppgå till 70 Mm³/år vilket SGU uppskattar den totala uttagkapaciteten till i rapporten "Sammanställning av hydrogeologiska data för Kristianstadsslätten" från 1979. Denna uppskattning används än idag i olika sammanhang. Uppskattningen omfattar enbart uttag från den sedimentära berggrunden. SGU bedömer att ytterligare 15 Mm³/år kan tas ut från isälvsavlagringar vilket skulle ge ett totalt uttag

på 85 Mm³/år. Dessa har dock inte inkluderats i uttagsscenariot. SGUs uppskattning används och hänvisas till

Uttagsökningen till 70 Mm³/år skulle kunna tänkas vara en konsekvens av en befolkningsökning, ökade bevattningsbehov (se resonemang i avsnitt 3.2.1), export av grundvatten till andra kommuner/länder eller en kombination av alla tre.

Uttagen har fördelats på 30 uttagsbrunnar fördelade över hela slätten. Uttagsökningen är större i Scenario A3 än i B3 eftersom det krävs en större ökning från A2 till A3 än från B2 till B3 för att nå upp till 70 Mm³/år. De totala uttagen uppgår till 67,1 respektive 67,5 Mm³/år (exkl. Listerlandet).

3.3 Sammanfattning scenarier

En beskrivning av samtliga scenarier ges i Tabell 3-4. I Tabell 3-5 sammanfattas de totala grundvattenuttagen och förändringarna i uttag på norra respektive södra slätten för referensen och samtliga scenarier. Förändringen i respektive uttagsscenario styrs av klimatscenario (A eller B) varför uttagen för Scenario A1-3 respektive B1-3 redovisas. Uttagen i Scenario A och B är lika stora som för referensen. Uttagen för referensen har delats upp i olika kategorier: bevattning, kommunala, industriella och privata & djurhållning. För norra slätten tillkommer även uttagen från Ignaberga stenbrott.

Tabell 3-4. Beskrivning av samtliga simulerade scenarier.

| Scenario | Beskrivning |
|-------------|---|
| Referens | Dagens klimat Grundvattenuttag enligt 2010 års situation (bevattningsuttag enligt bedömning för 1980-talet) |
| Scenario A | Medelscenario för framtida klimat 2071-2100 Grundvattenuttag enligt 2010-års situation (bevattningsuttag enligt bedömning för 1980-talet) |
| Scenario B | Extremscenario för framtida klimat 2071-2100 Grundvattenuttag enligt 2010 års situation (bevattningsuttag enligt bedömning för 1980-talet) |
| Scenario A1 | Medelscenario för framtida klimat 2071-2100 Ökad bevattning till följd av klimatförändringar |
| Scenario B1 | Extremscenario för framtida klimat 2071-2100 Ökad bevattning till följd av klimatförändringar |
| Scenario A2 | Medelscenario för framtida klimat 2071-2100 Övergång från bevattning med ytvatten till grundvatten |
| Scenario B2 | Extremscenario för framtida klimat 2071-2100 Övergång från bevattning med ytvatten till grundvatten |
| Scenario A3 | Medelscenario för framtida klimat 2071-2100 Grundvattenuttag motsvarande 70 Mm ³ /år enligt SGUs uppskattning av maximal uttagkapacitet. |
| Scenario B3 | Extremscenario för framtida klimat 2071-2100 Grundvattenuttag motsvarande 70 Mm ³ /år enligt SGUs uppskattning av maximal uttagkapacitet. |

Tabell 3-5. Sammanställning av grundvattenuttag (Mm³/år) för uttagsscenarier. Medel för 10 år. Uttag i referensen är uppdelade i olika uttagskategorier: bevattning, kommunala, industriella och privata & djurhållning.

| Scenario | Bevattning | Kommunala | Industriella | Privata & Djurhållning | Ignaberga | Uttags-scenario 1 | Uttags-scenario 2 | Uttags-scenario 3 | Summa |
|--------------|------------|-----------|--------------|------------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|
| Norra | | | | | | | | | |
| Referens | 5.5 | 8.2 | 1.2 | 1.1 | 2.5 | - | - | - | 18.5 |
| Scenario A1 | 5.5 | 8.2 | 1.2 | 1.1 | 2.5 | 1.3 | - | - | 19.8 |
| Scenario A2 | 5.5 | 8.2 | 1.2 | 1.1 | 2.5 | 1.3 | 5.2 | - | 25.0 |
| Scenario A3 | 5.5 | 8.2 | 1.2 | 1.1 | 2.5 | 1.3 | 5.2 | 18.1 | 43.1 |
| Scenario B1 | 5.5 | 8.2 | 1.2 | 1.1 | 2.5 | 2.4 | | | 20.9 |
| Scenario B2 | 5.5 | 8.2 | 1.2 | 1.1 | 2.5 | 2.4 | 6.1 | | 27.0 |
| Scenario B3 | 5.5 | 8.2 | 1.2 | 1.1 | 2.5 | 2.4 | 6.1 | 16.0 | 43.0 |
| | | | | | | | | | |
| Södra | | | | | | | | | |
| Referens | 3.7 | 1.1 | 1.0 | 0.7 | - | - | - | - | 6.5 |
| Scenario A1 | 3.7 | 1.1 | 1.0 | 0.7 | - | 1.0 | - | - | 7.5 |
| Scenario A2 | 3.7 | 1.1 | 1.0 | 0.7 | - | 1.0 | 7.0 | - | 14.5 |
| Scenario A3 | 3.7 | 1.1 | 1.0 | 0.7 | - | 1.0 | 7.0 | 9.6 | 24.1 |
| Scenario B1 | 3.7 | 1.1 | 1.0 | 0.7 | - | 1.6 | - | - | 8.1 |
| Scenario B2 | 3.7 | 1.1 | 1.0 | 0.7 | - | 1.6 | 8.1 | - | 16.2 |
| Scenario B3 | 3.7 | 1.1 | 1.0 | 0.7 | - | 1.6 | 8.1 | 8.4 | 24.6 |
| | | | | | | | | | |
| Hela | | | | | | | | | |
| Referens | 9.2 | 9.3 | 2.2 | 1.8 | 2.5 | - | - | - | 24.9 |
| Scenario A1 | 9.2 | 9.3 | 2.2 | 1.8 | 2.5 | 2.3 | - | - | 27.2 |
| Scenario A2 | 9.2 | 9.3 | 2.2 | 1.8 | 2.5 | 2.3 | 12.2 | - | 39.4 |
| Scenario A3 | 9.2 | 9.3 | 2.2 | 1.8 | 2.5 | 2.3 | 12.2 | 27.7 | 67.1 |
| Scenario B1 | 9.2 | 9.3 | 2.2 | 1.8 | 2.5 | 4.0 | - | - | 28.9 |
| Scenario B2 | 9.2 | 9.3 | 2.2 | 1.8 | 2.5 | 4.0 | 14.2 | - | 43.1 |
| Scenario B3 | 9.2 | 9.3 | 2.2 | 1.8 | 2.5 | 4.0 | 14.2 | 24.4 | 67.5 |

4 Resultat

I följande avsnitt redovisas resultat från beräkningsfallen. Samtliga beräkningar har körts för en 30-årsperiod för att nå semi-stationära tillstånd. Vid utvärdering av resultat har endast den sista 10-årsperioden analyserats, dvs. år 21-30.

Följande resultat har tagits fram:

- Vattenbalanser för norra och södra slätten (avsnitt 4.1)
- In- och utströmningsområden i sandstenen (avsnitt 4.2)
- Transporttid till sandsten (avsnitt 4.3)
- Grundvattendjup (avsnitt 4.4)
- Flöden i Vramsån (avsnitt 4.5)

4.1 Vattenbalanser

Vattenbalanser har tagits fram för två delområden, norra och södra slätten, enligt tidigare indelning (DHI, 2011a). Den norra och södra delen delas av Nävlingeåsen och dess geologiska förlängning mot Åhus. Listerlandet är exkluderat i alla vattenbalanser.

Figur 4-1 visar en principbild över de olika vattenbalanskomponenterna vilka redovisas i Tabell 4-1 och Tabell 4-2 för norra respektive södra slätten. Resultaten redovisas som medel över 10 år i enheten $\text{Mm}^3/\text{år}$. I Appendix A.1 redovisas motsvarande tabeller med vattenbalanskomponenter i enheten $\text{mm}/\text{år}$. För nyckelkomponenter (grundvattenbildning, drän-/basflöde till vattendrag/diken, vertikalt nettoflöde till sandstenen, horisontellt flöde till havet från sandstenen och grundvattenuttag) redovisas även diagram som visar absolutvärden och förändring jämfört med referensfallet i Figur 4-2 till Figur 4-7.

Nedan följer kommentarer till framtagna vattenbalanser.

Referens

- Grundvattenbildningen uppgår till 23 respektive 28 % av nederbörden på norra respektive södra slätten. Detta motsvarar en total grundvattenbildning på $150 \text{ Mm}^3/\text{år}$ ($77+73 \text{ Mm}^3/\text{år}$) för hela slätten (exkl. Listerlandet). (Figur 4-2)
- Av det bildade grundvattnet försvinner ca 75 % till vattendrag och diken som avrinning och dränering från de ytliga jordlagren. Resterande del, ca $37 \text{ Mm}^3/\text{år}$, når den sedimentära berggrunden.
- Uttagen uppgår till totalt $25 \text{ Mm}^3/\text{år}$; $18,5 \text{ Mm}^3/\text{år}$ från norra och $6,5 \text{ Mm}^3/\text{år}$ från södra slätten. (Figur 4-6 och Figur 4-7)
- För den norra slätten är den vertikala tillströmningen till sandstenen i samma storleksordning som uttagen medan det finns en positiv differens på dryga $10 \text{ Mm}^3/\text{år}$ på den södra delen av slätten. Med positiv differens menas att den vertikala tillströmningen är större än uttagen.

Scenario A och B – framtida klimat

- Nederbörden ökar med 9 respektive 20 % i Scenario A respektive B. Samtidigt ökar avdunstning och transpiration till följd av en högre framtida temperatur. I Scenario A blir nettoeffekten nära noll eller något negativ vilket innebär att grundvattenbildningen är i stort sett oförändrad. I Scenario B är nettoeffekten positiv vilket medför att grundvattenbildningen ökar med ca 15 %. (Figur 4-2)
- Konsekvensen av ökad grundvattenbildning i Scenario B är ett ökat drän- och basflöde till vattendrag och diken. Den vertikala transporten till den sedimentära berggrunden påverkas endast marginellt. (Figur 4-3 och Figur 4-4)

Scenario A1 och B1 – förändrad bevattning

- Interception och transpiration ökar för Scenario A1 och B1 jämfört med Scenario A och B. Detta till följd av att vegetationsperioden förlängts och fler skördar lagts in. Avdunstning från omättad zon minskar samtidigt då tillgängligt vatten i större utsträckning tas upp av växtligheten. Totalt sett ökar evapotranspirationen. (Tabell 4-1 och Tabell 4-2)
- Grundvattenbildningen minskar i både Scenario A1 och B1 jämfört med Scenario A och B till följd av den högre evapotranspirationen. Detta motverkas till viss del av en högre nederbörd (bevattning) till följd av en ökad återföring av grundvattenuttag. Jämfört med referensen är nettoeffekten fortsatt positiv för Scenario B1, dvs. grundvattenbildningen är högre än för referensen. För Scenario A1 är grundvattenbildningen 4-7 % lägre än i referensfallet. (Figur 4-2)
- Ökningen i grundvattenuttag är större för Scenario B1 än för Scenario A1 då bevattningsperiodens förlängning är större i B1 än A1. De ökade uttagen leder till en större vertikal tillströmning till sandstenen samt ett minskat horisontellt nettoutflöde till havet. För södra slätten sker det fortsatt ett horisontellt nettoutflöde. (Figur 4-4 och Figur 4-5)
- Konsekvenserna av den minskade grundvattenbildningen och den ökade vertikala tillströmningen till den sedimentära berggrunden ses i ett minskat drän- och basflöde till vattendrag och diken jämfört med Scenario A och B. Detta innebär minskade flöden i vattendrag, framförallt sommartid då bevattningsuttagen sker. (Figur 4-3)
- I efterhand kan man argumentera för att förlängningen av vegetationsperioden borde varit inkluderat i Scenario A respektive Scenario B då detta är en direkt och odiskutabel konsekvens av klimatförändringarna. Bevattningsbehovet och dess framtida förändring är behäftat med flera antaganden och osäkerheter. Med detta i åtanke speglar Scenario A1 respektive B1 bättre den rent klimatologiska effekten av ett framtida klimat på slättens hydrogeologi.

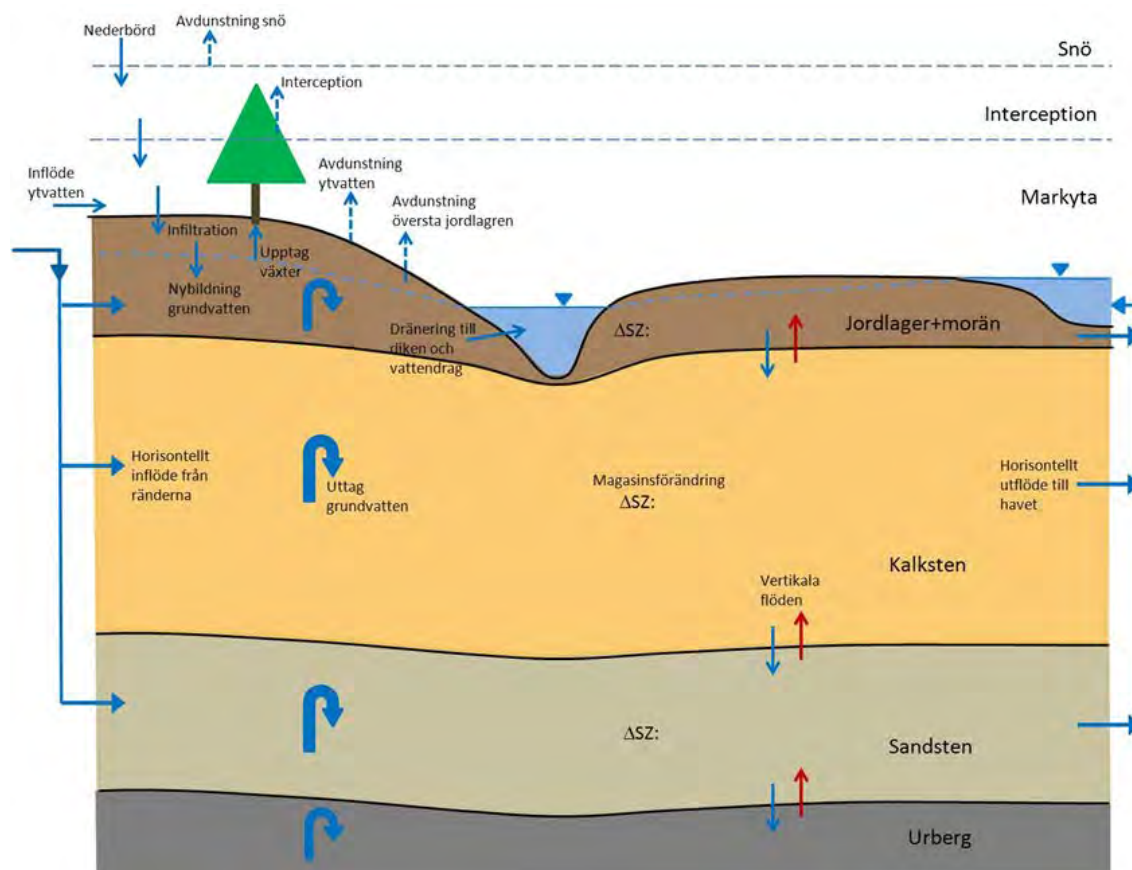
Scenario A2 och B2 – övergång från yt- till grundvattenbevattning

- Uttagen ökar med ca 12 respektive 14 Mm³/år jämfört med Scenario A1 och B1 till följd av övergången från bevattning med ytvatten till grundvatten. (Figur 4-6)
- De ökade uttagen leder till en ökad vertikal tillströmning och minskat horisontellt nettoutflöde till havet från den sedimentära berggrunden. Detta sker på bekostnad av både ett minskat drän- och basflöde till vattendrag/diken och minskad transpiration (ger högre grundvattenbildning). Under sommarhalvåret då uttagen är som störst vänder t.o.m. riktningen på det horisontella flödet på den norra slätten, dvs. det sker ett flöde från sandstenen under havet till sandstenen under land vilket medför en ökad risk för saltvatteninträngning.
- Det totala drän- och basflödet i Scenario B2 är oförändrat jämfört med referensfallet. Detta innebär att nettoeffekten av de ökade uttagen och den ökade grundvattenbildningen till följd av klimatförändringarna är nära noll. För Scenario A2 är drän- och basflödet 11-18 % lägre än referensfallet. (Figur 4-3)
- Förändringarna av nettoutflödet till havet är likartade för både Scenario A2 och B2. (Figur 4-5)

Scenario A3 och B3 – maximal uttagskapacitet

- För Scenario A3 och B3 ses samma konsekvenser av de ökade uttagen som för Scenario A2 och B2. Förändringarna är dock mycket större.
- För den norra slätten är den vertikala tillströmningen till sandstenen mindre än uttagen från densamma. Det horisontella utflödet till havet minskar och vänder riktning så att det sker ett kontinuerligt (året runt) inflöde från havet istället. På södra slätten finns det fortfarande en positiv differens mellan den vertikala tillströmningen och uttagen och det sker fortsatt ett horisontellt nettoutflöde till havet från sandstenen. Detta har dock minskat med över 50 % jämfört med referensen. Uttagen är inte jämnt fördelade mellan norra och södra slätten varför påverkan är mindre på den södra delen.

- Minskningen av drän- och basflödet uppgår till 34 respektive 18 % för Scenario A2 respektive B2 på den norra slätten. Motsvarande minskning på den södra slätten är 18 respektive 6 %.



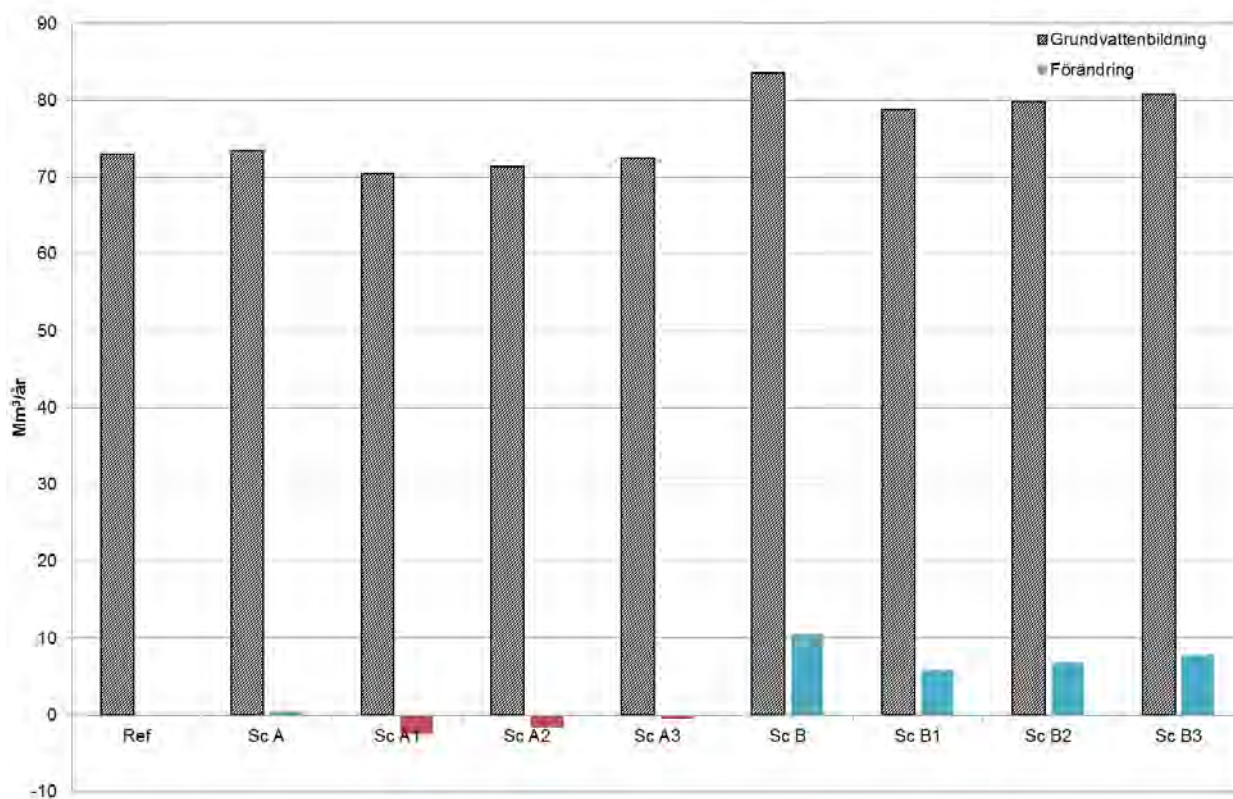
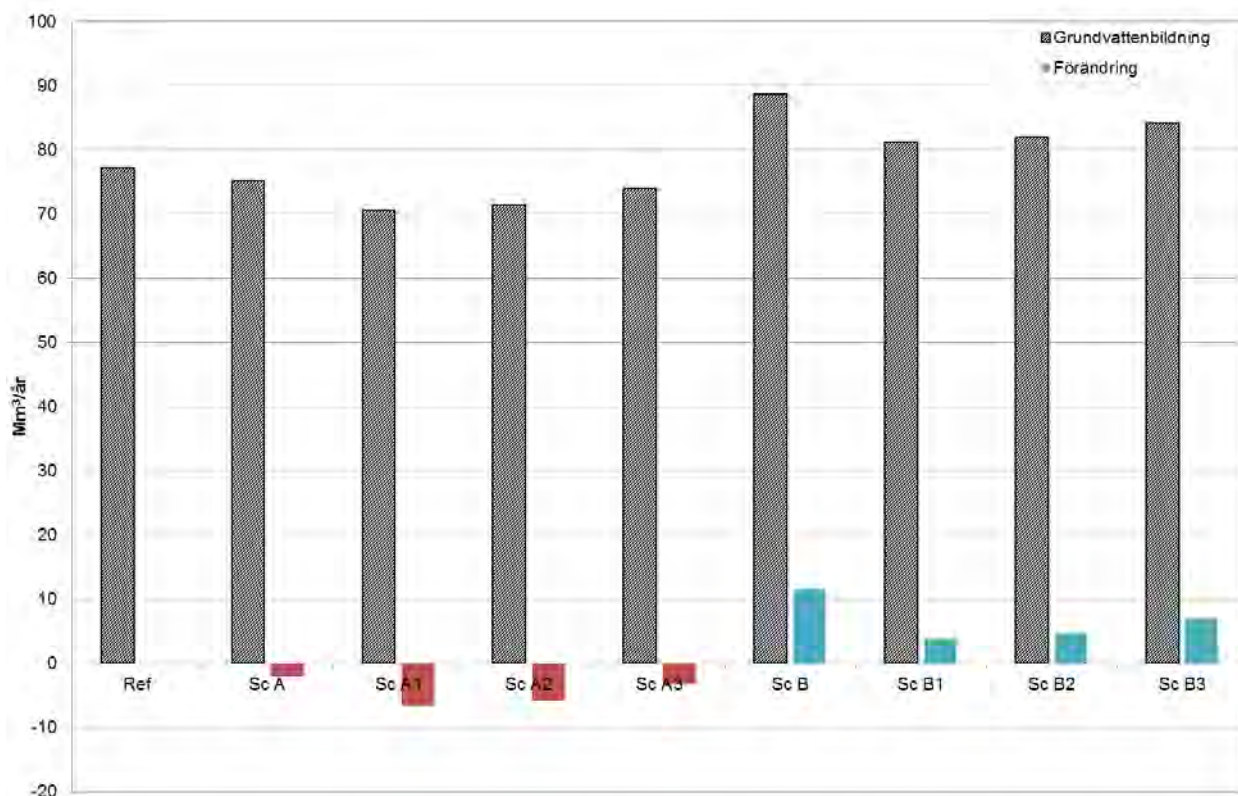
Figur 4-1. Översiktsbild över redovisade vattenbalanskomponenter.

Tabell 4-1. Sammanställning av vattenbalanskomponenter (Mm³/år), medel för 10 år, för norra slätten. Grundvattenbildningen utgörs av nederbörden minus olika avdunstningsprocesser ovan mark och i omättad zon. Det vertikala flödet ner till sandstenen reduceras av drän- och basflöde till vattendrag, grundvattenuttag och ett horisontellt nettoflöde till havet. Nettoflödet till havet är differensen mellan det horisontella utflödet till havet och inflödet från randområdena. Ett negativt tecken innebär att inflödet är större än utflödet alternativt att flödet sker från havet istället för till.

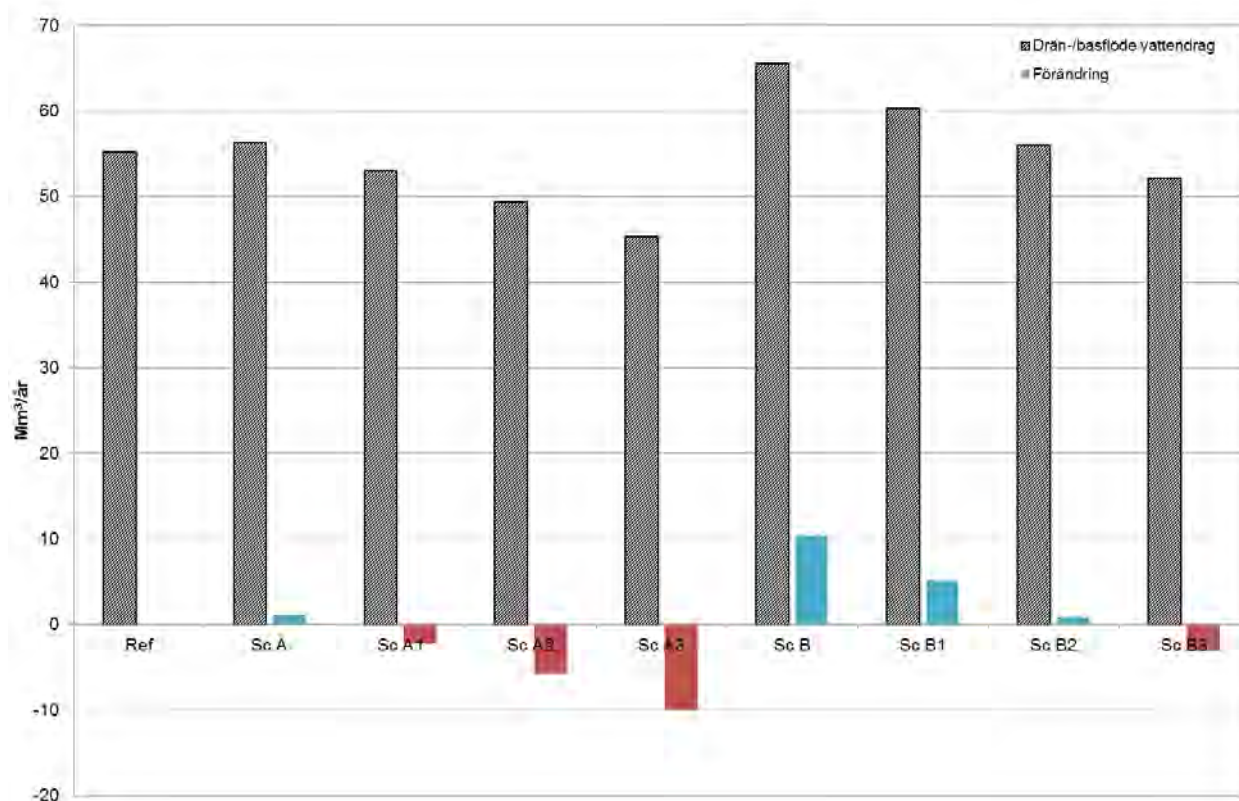
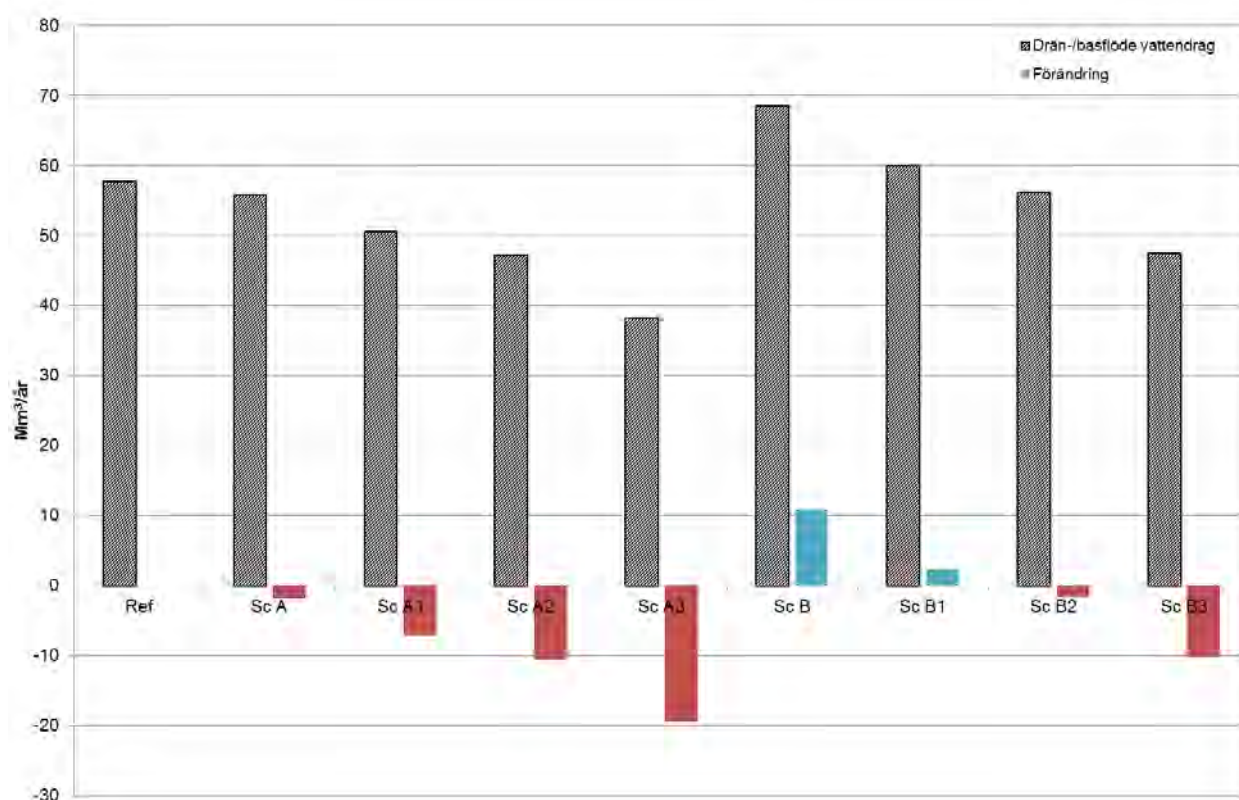
| | | Referens | Sc A | Sc A1 | Sc A2 | Sc A3 | Sc B | Sc B1 | Sc B2 | Sc B3 |
|-------------------------|------------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ovan mark | Nederbörd | 340.1 | 369.3 | 371.0 | 371.0 | 371.0 | 409.5 | 412.7 | 412.7 | 412.7 |
| | Avdunstning snö | 11.4 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| | Interception | 66.9 | 76.0 | 83.8 | 83.8 | 83.7 | 84.7 | 96.8 | 96.7 | 96.7 |
| | Avdunstning ytvatten | 1.7 | 2.1 | 1.8 | 1.8 | 1.6 | 2.5 | 1.9 | 1.9 | 1.8 |
| | Inflöde ytvatten | 2.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.3 |
| Omättad zon | Infiltration | 262.3 | 288.8 | 283.0 | 283.0 | 283.2 | 321.6 | 313.3 | 313.3 | 313.4 |
| | Avdunstning översta jordlagren | 65.9 | 84.3 | 72.9 | 72.6 | 72.0 | 94.1 | 75.4 | 75.2 | 74.8 |
| | Upptag växter (transpiration) | 119.5 | 130.2 | 140.4 | 139.8 | 138.2 | 139.5 | 157.5 | 156.9 | 155.4 |
| Mättad zon | Nybildning grundvatten | 77.2 | 75.1 | 70.6 | 71.4 | 74.0 | 88.7 | 81.2 | 82.0 | 84.2 |
| | | | | | | | | | | |
| | Jordlager och morän | | | | | | | | | |
| | Drän-/basflöde vattendrag/diken | 57.7 | 55.8 | 50.6 | 47.2 | 38.2 | 68.6 | 60.0 | 56.1 | 47.5 |
| | Nettoflöde till hav | 1.3 | 1.1 | 0.9 | 0.8 | 0.0 | 1.5 | 1.3 | 1.2 | 0.5 |
| | Grundvattenuttag | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| | Vertikalt nettoflöde till kalksten | 17.8 | 17.5 | 18.2 | 22.4 | 34.9 | 18.0 | 19.2 | 24.0 | 35.3 |
| | Kalksten | | | | | | | | | |
| | Nettoflöde till hav | -1.1 | -1.3 | -1.3 | -1.2 | -1.7 | -1.3 | -1.3 | -1.3 | -1.6 |
| | Grundvattenuttag | 2.6 | 2.6 | 2.9 | 3.5 | 3.6 | 2.6 | 3.1 | 3.9 | 3.9 |
| | Vertikalt nettoflöde till sandsten | 16.4 | 15.9 | 16.4 | 19.9 | 33.5 | 16.3 | 17.1 | 21.2 | 33.4 |
| | Sandsten | | | | | | | | | |
| | Nettoflöde till hav | 1.1 | 0.4 | -0.1 | -1.3 | -5.5 | 0.6 | -0.2 | -1.5 | -5.3 |
| | Grundvattenuttag | 15.5 | 15.5 | 16.5 | 21.1 | 39.1 | 15.5 | 17.4 | 22.7 | 38.7 |
| | | | | | | | | | | |
| Grundvattenuttag totalt | 18.5 | 18.5 | 19.8 | 25.0 | 43.1 | 18.5 | 20.9 | 27.0 | 43.0 | |

Tabell 4-2. Sammanställning av vattenbalanskomponenter (Mm³/år), medel för 10 år, för norra slätten. Grundvattenbildningen utgörs av nederbörden minus olika avdunstningsprocesser ovan mark och i omäddad zon. Det vertikala flödet ner till sandstenen reduceras av drän- och basflöde till vattendrag, grundvattenuttag och ett horisontellt nettoflöde till havet. Nettoflödet till havet är differensen mellan det horisontella utflödet till havet och inflödet från randområdena. Ett negativt tecken innebär att inflödet är större än utflödet alternativt att flödet sker från havet istället för till.

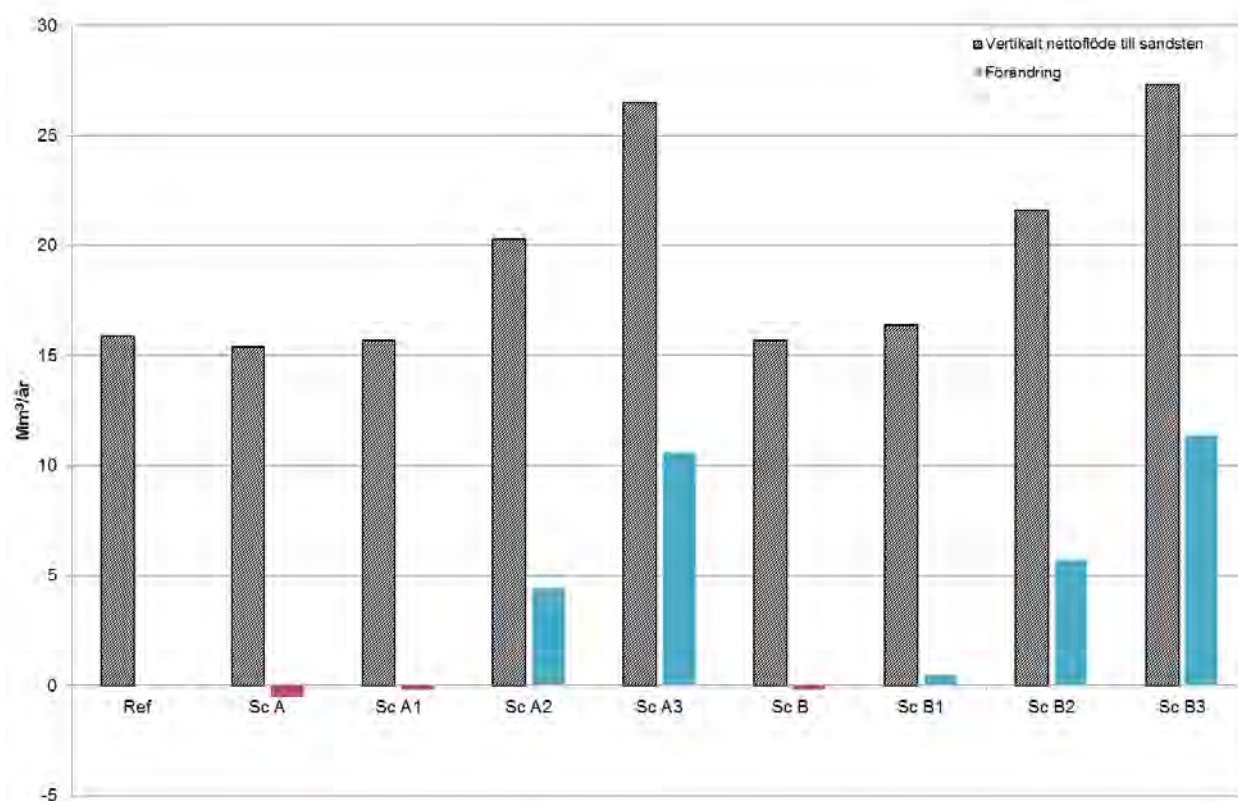
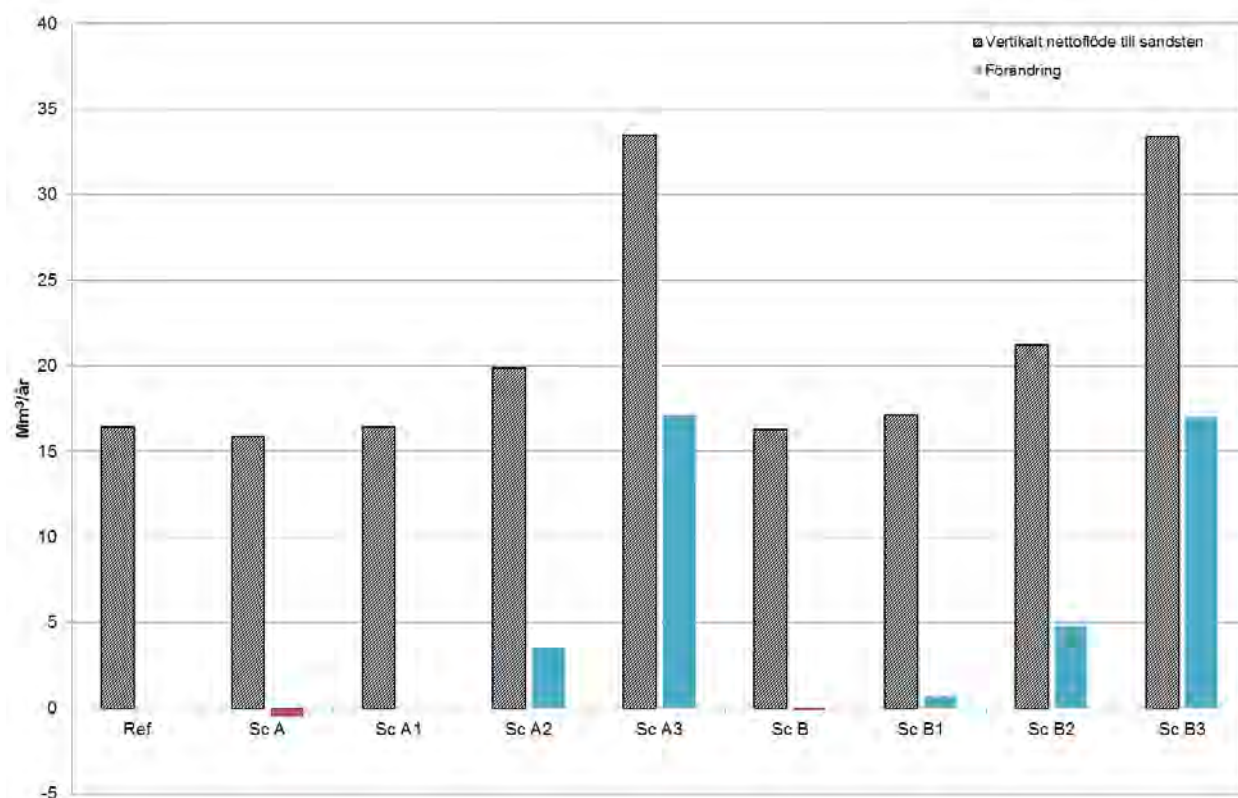
| | | Referens | Sc A | Sc A1 | Sc A2 | Sc A3 | Sc B | Sc B1 | Sc B2 | Sc B3 |
|-------------------------|------------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ovan mark | Nederbörd | 258.8 | 281.8 | 283.9 | 283.9 | 283.9 | 310.0 | 313.9 | 313.9 | 313.9 |
| | Avdunstning snö | 9.5 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| | Interception | 48.6 | 55.5 | 61.9 | 61.9 | 61.9 | 61.7 | 71.8 | 71.8 | 71.8 |
| | Avdunstning ytvatten | .8 | 1.1 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 1.3 | 1.0 | 0.9 | 0.9 |
| | Inflöde ytvatten | 1.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | 0.0 | -0.1 | -0.1 | 0.0 | 0.0 |
| Omäddad zon | Infiltration | 201.0 | 222.9 | 218.8 | 218.8 | 219.0 | 245.9 | 240.0 | 240.2 | 240.2 |
| | Avdunstning översta jordlagren | 46.1 | 59.4 | 50.7 | 50.4 | 50.1 | 66.2 | 51.8 | 51.5 | 51.2 |
| | Upptag växter (transpiration) | 82.4 | 90.7 | 98.2 | 97.7 | 97.0 | 97.0 | 110.1 | 109.5 | 108.9 |
| Mäddad zon | Nybildning grundvatten | 73.0 | 73.4 | 70.5 | 71.4 | 72.5 | 83.5 | 78.8 | 79.8 | 80.8 |
| | | | | | | | | | | |
| | Jordlager | | | | | | | | | |
| | Drän-/basflöde vattendrag/diken | 55.2 | 56.3 | 53.0 | 49.4 | 45.3 | 65.6 | 60.3 | 56.0 | 52.1 |
| | Nettoflöde till hav | -1.1 | -0.9 | -1.1 | -1.2 | -1.3 | -0.4 | -0.6 | -0.9 | -1.0 |
| | Grundvattenuttag | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| | Vertikalt nettoflöde till kalksten | 18.8 | 18.3 | 18.8 | 23.4 | 29.2 | 18.8 | 19.7 | 25.0 | 30.2 |
| | Kalksten | | | | | | | | | |
| | Nettoflöde till hav | 1.6 | 1.5 | 1.5 | 1.1 | 1.0 | 1.5 | 1.4 | 1.1 | 0.9 |
| | Grundvattenuttag | 1.5 | 1.5 | 1.7 | 2.1 | 2.1 | 1.5 | 1.8 | 2.3 | 2.3 |
| | Vertikalt nettoflöde till sandsten | 15.9 | 15.4 | 15.7 | 20.3 | 26.5 | 15.7 | 16.4 | 21.6 | 27.3 |
| | Sandsten | | | | | | | | | |
| | Nettoflöde till hav | 11.2 | 10.6 | 10.1 | 8.2 | 5.1 | 10.9 | 10.3 | 8.0 | 5.4 |
| | Grundvattenuttag | 4.8 | 4.8 | 5.6 | 12.2 | 21.7 | 4.8 | 6.1 | 13.7 | 22.1 |
| | | | | | | | | | | |
| Grundvattenuttag totalt | 6.4 | 6.4 | 7.4 | 14.4 | 24.0 | 6.4 | 8.0 | 16.1 | 24.5 | |



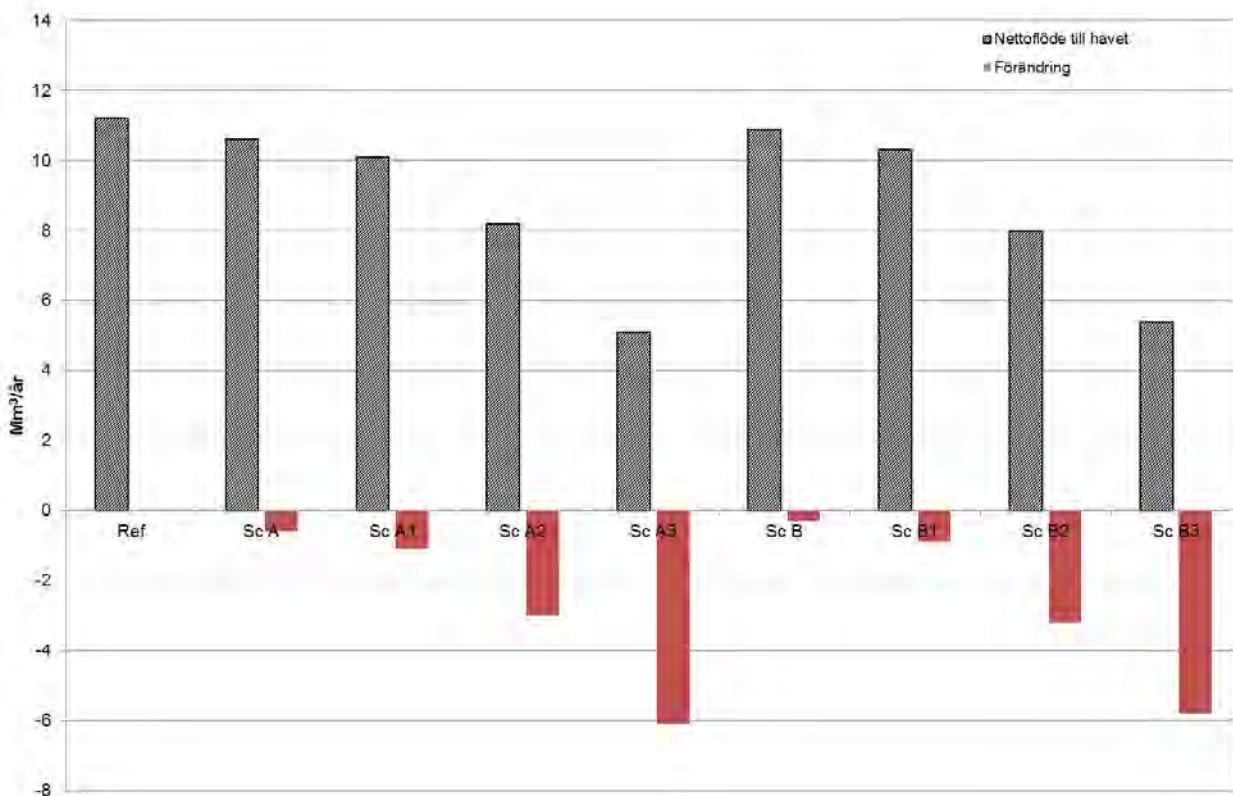
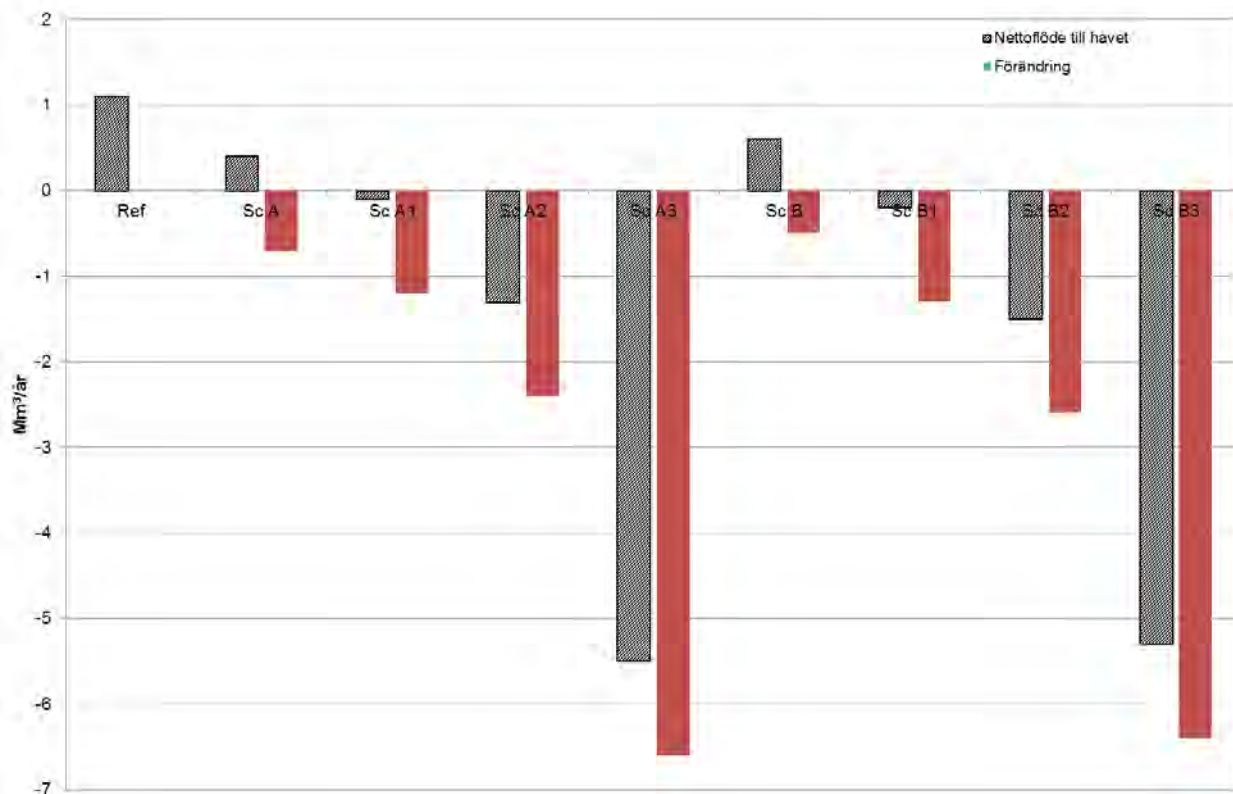
Figur 4-2. Grundvattenbildning på norra (övre diagrammet) och södra (undre diagrammet) slätten samt förändring jämfört med referensfallet i Mm³/år. Blå staplar indikerar en ökning och röda staplar en minskning.



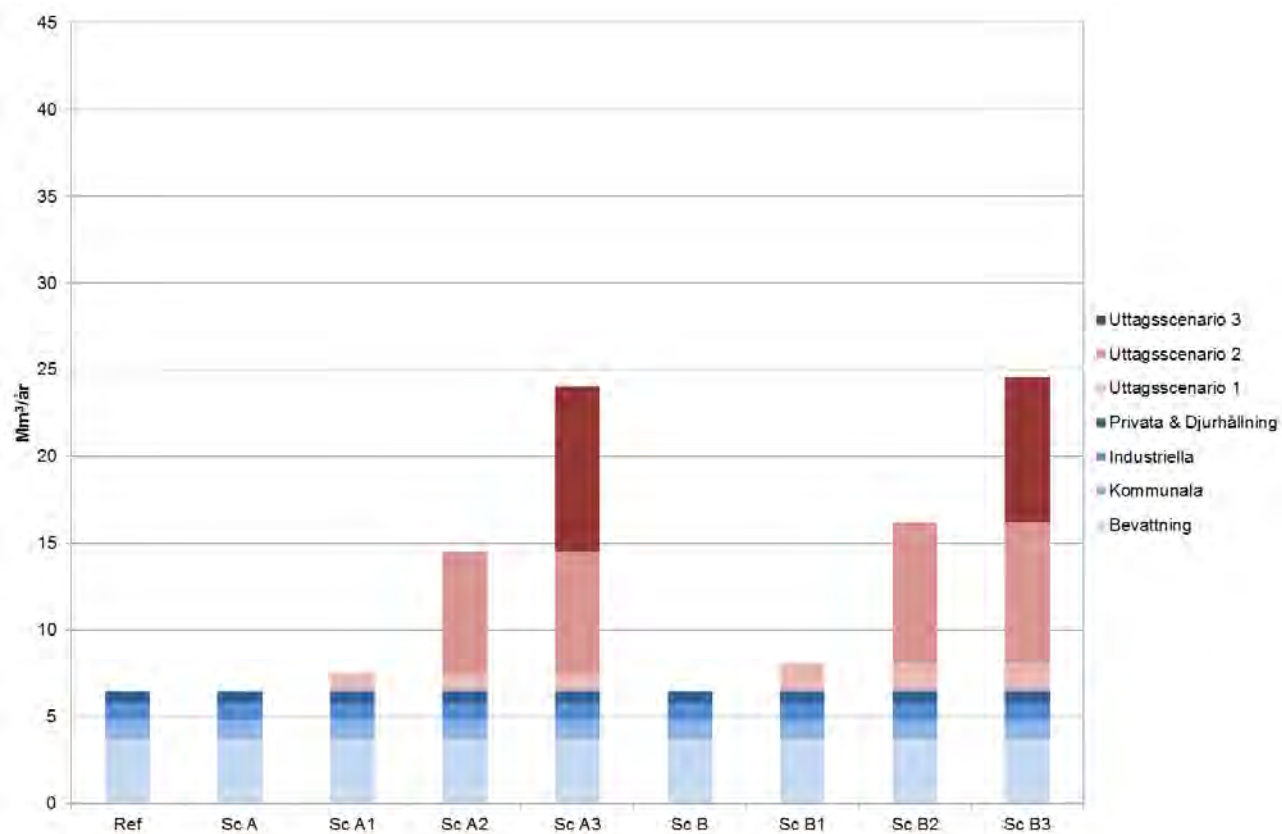
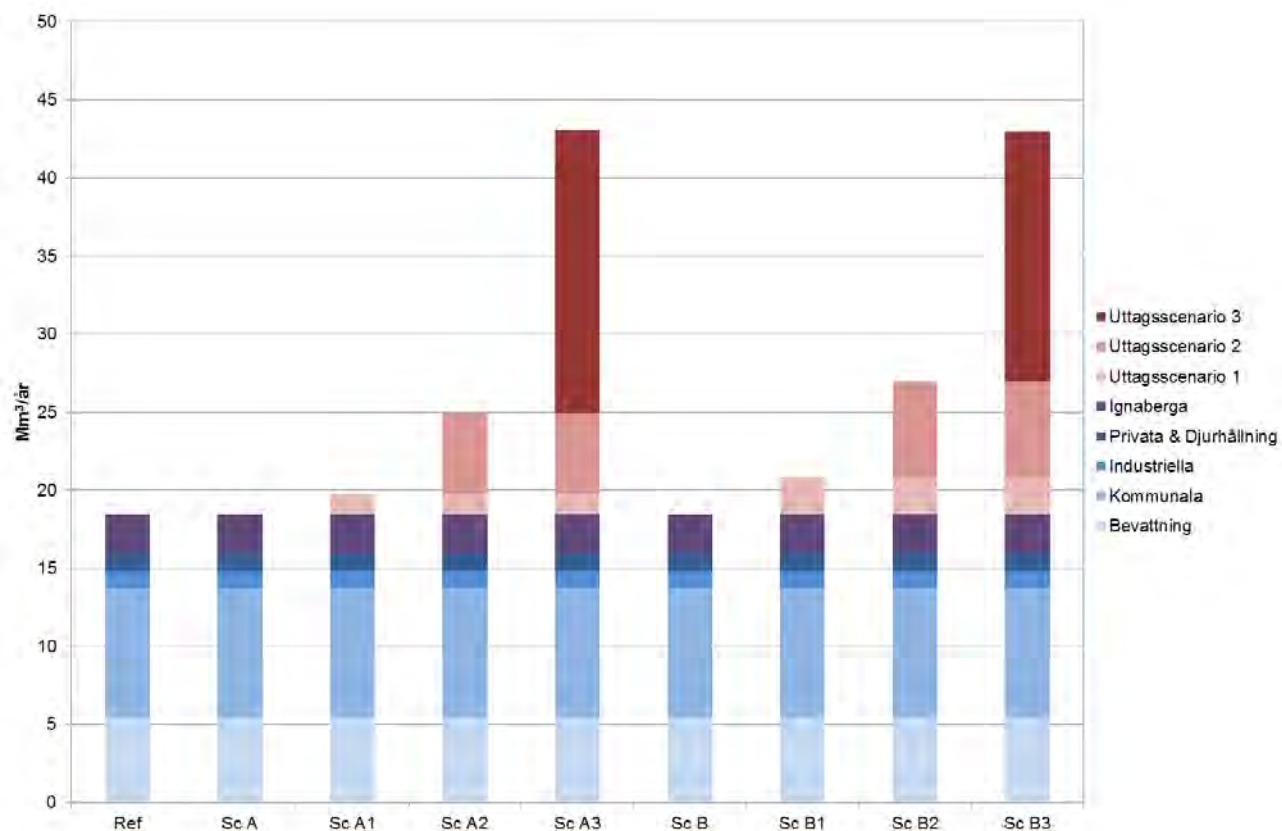
Figur 4-3. Drän- och basflöde till vattendrag och diken på norra (övre diagrammet) och södra (undre diagrammet) slätten samt förändring jämfört med referensfallet i Mm³/år. Blå staplar indikerar en ökning och röda staplar en minskning.



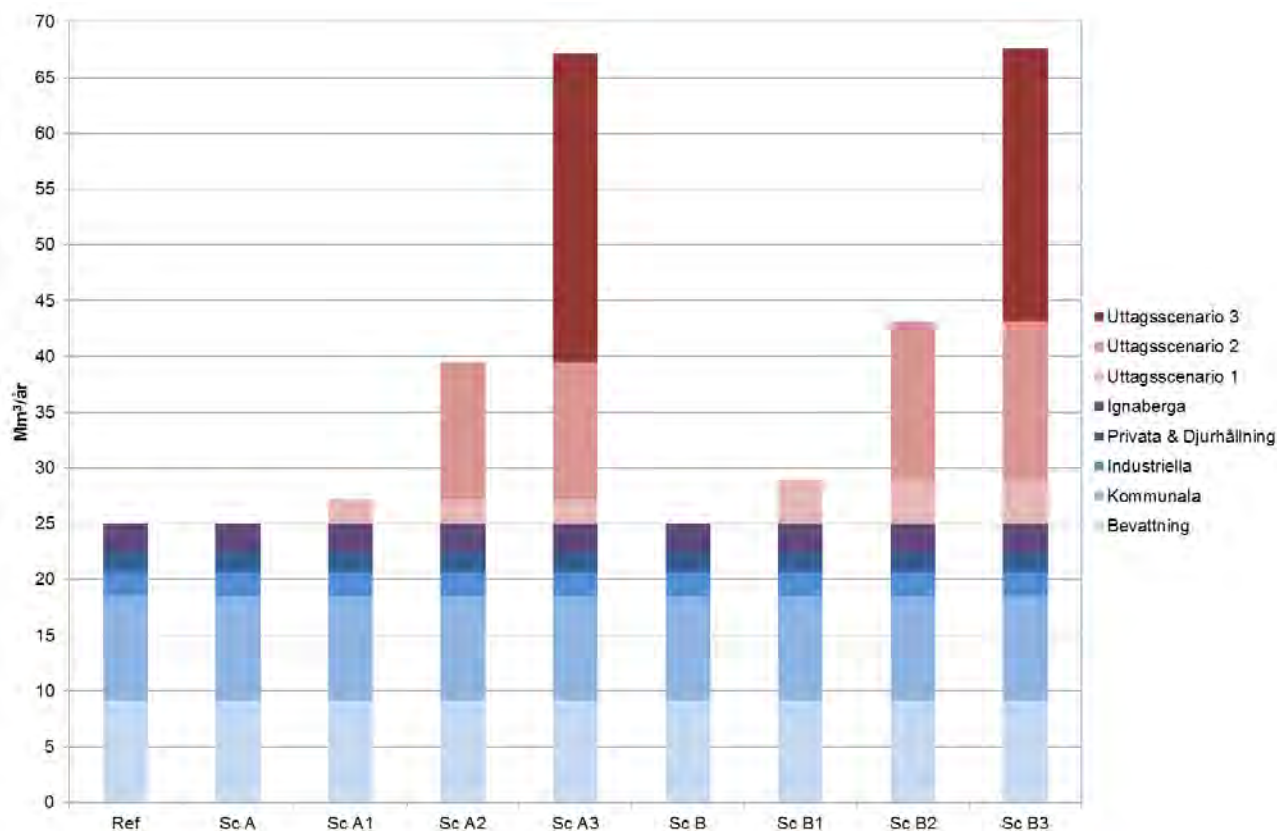
Figur 4-4. Vertikalt nettoflöde till sandsten på norra (övre diagrammet) och södra (undre diagrammet) slätten samt förändring jämfört med referensfallet i Mm³/år. Blå staplar indikerar en ökning och röda staplar en minskning.



Figur 4-5. Horisontellt nettoflöde till havet från sandsten på norra (övre diagrammet) och södra (undre diagrammet) slätten samt förändring jämfört med referensfallet i $\text{Mm}^3/\text{år}$. Blå staplar indikerar en ökning och röda staplar en minskning.



Figur 4-6. Grundvattenuttag på norra (övre diagrammet) och södra (undre diagrammet) slätten i Mm³/år.



Figur 4-7. Sammanlagt grundvattenuttag på norra och södra slätten i $Mm^3/år$.

4.2 In- och utströmning till sedimentär berggrund

En viktig aspekt på det framtida grundvattenskyddet är fördelningen mellan in- och utströmningsområden för den sedimentära berggrunden. Inom de delar där trycket i berggrunden är högre än trycket i jordlagren (utströmningsområden) finns ett naturligt skydd mot föroreningstransport, medan det motsatta gäller där den vertikala gradienten är nedåtriktad (inströmningsområden). De naturliga inströmningsområdena för den sedimentära berggrunden återfinns längs slättens randområden; i höjdryggarna i norr; i nordväst längs Nävlingeåsen; i ett större område i väst längs Linderödsåsen samt i hela området mellan Ivösjön, Hammarsjön och kusten.

Tidigare beräkningar med MIKE SHE (DHI, 2011a) visar att andelen inströmningsområden ökat till följd av grundvattenuttagen. Störst ökning av inströmningsområdena ses i och kring Kristianstad, på Listerlandet, vid Vramsån och nordost samt sydost om Hammarsjön. I Figur 4-8 visas de naturliga in- och utströmningsförhållandena på slätten innan grundvattenuttagen började (1930-talet).

Den rena klimatförändringen (Scenario A och B) samt med förlängd bevattningssäsong (Scenario A1 och B1) har en liten effekt på fördelningen av in- och utströmningsområden. En positiv effekt i form av starkare utströmning och svagare inströmning kan ses i Scenario B där trycknivåerna höjs något i jordlagren till följd av den ökade grundvattenbildningen. Skillnaden mellan referensen och Scenario A är marginell (se Figur 4-9 och Figur 4-10 för jämförelse av tryckdifferens mellan sandsten och jordlager för referens och Scenario A).

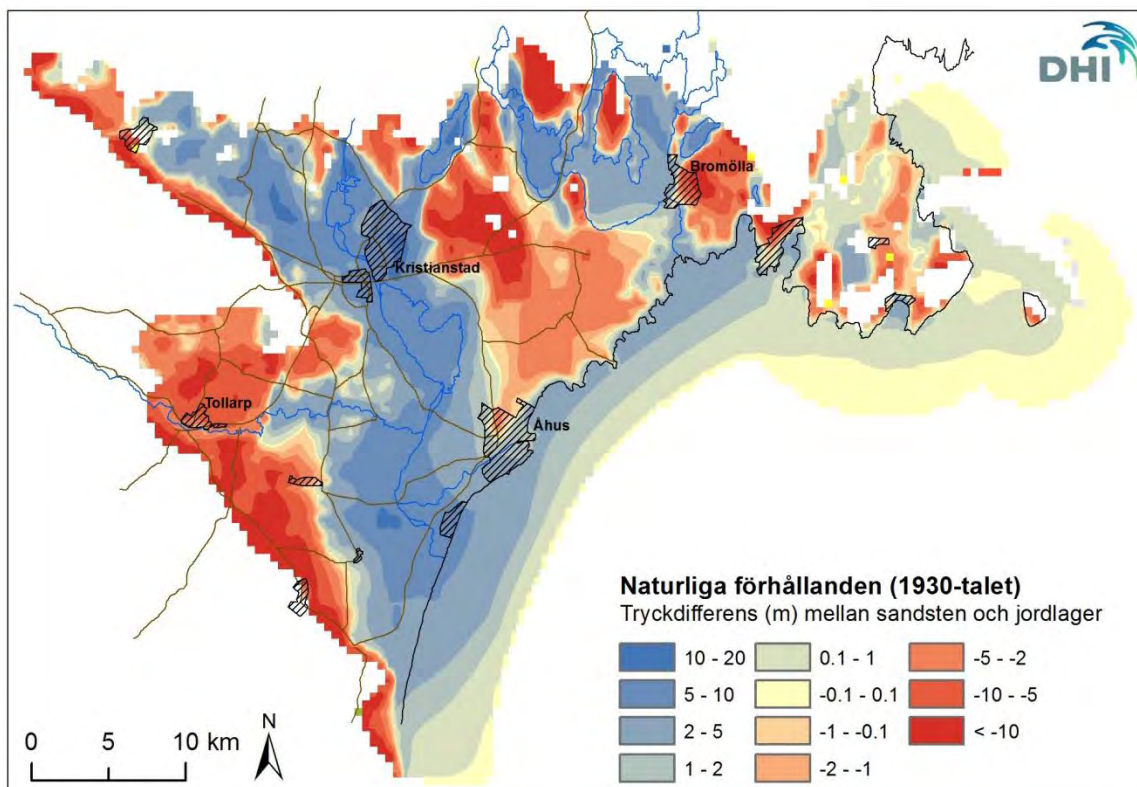
Kraftiga förändringar ses för Scenario A2/A3 och B2/B3 vilket visas i Figur 4-11 och Figur 4-12 för Scenario A2 respektive A3. I Scenario A2 respektive B2 ökar inströmningsområdena framförallt runt Hammarsjön, vid Vramsån och i den sydvästra delen av slätten. Sommartid är

förändringen än större då hela uttagsökningen ligger i form bevattningsuttag (övergång från yt- till grundvattenbevattning). Under vintertid är uttagen oförändrade och grundvattenbildningen större än i referensen vilket kompenserar då årsmedel studeras.

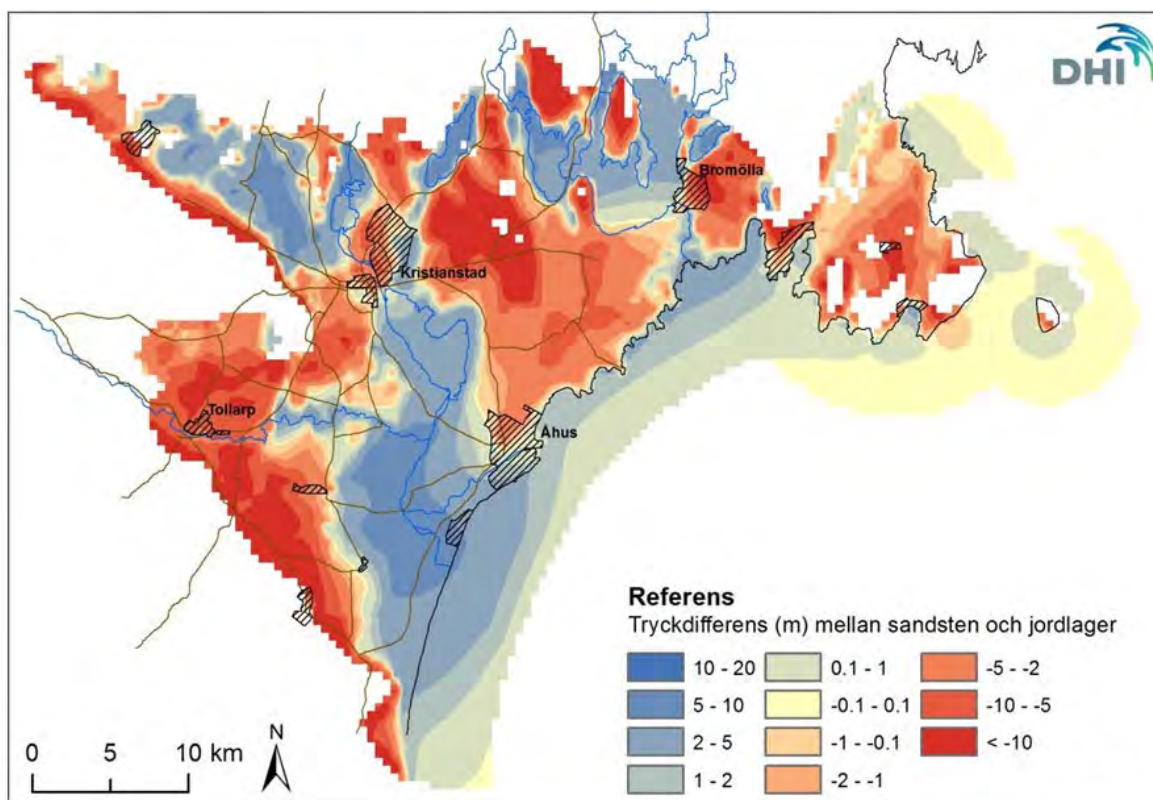
Ett inströmningsområde bildas längs med kusten då uttagen ökar till 70 Mm³/år (Scenario A3 och B3). Detta betyder att det föreligger en ökad risk för saltvatteninträngning längs denna sträcka. Exempelvis riskerar de kommunala dricksvattenbrunnarna i Åhus saltvatteninträngning. Även vattenbalanserna (avsnitt 4.1) visar att det i både Scenario A3 och B3 sker ett inflöde från havet för den norra delen av slätten. Även i Scenario A2 och B2 sker ett inflöde från havet men enbart under sommartid då uttagen är som störst. I Scenario A3 och B3 övergår hela Hammarsjön och Araslövssjön samt delar av Ivösjön, Oppmannasjön och Råbeslövssjön från utströmning- till inströmningsområde (Figur 4-12).

Ovanstående illustreras i Figur 4-13 och Figur 4-14 som visar hur fördelningen av in- och utströmningsområden förändras i Scenario A2/A3 (Figur 4-13) och Scenario B2/B3 (Figur 4-14) jämfört med referensfallet samt slättens naturliga förhållanden på 1930-talet.

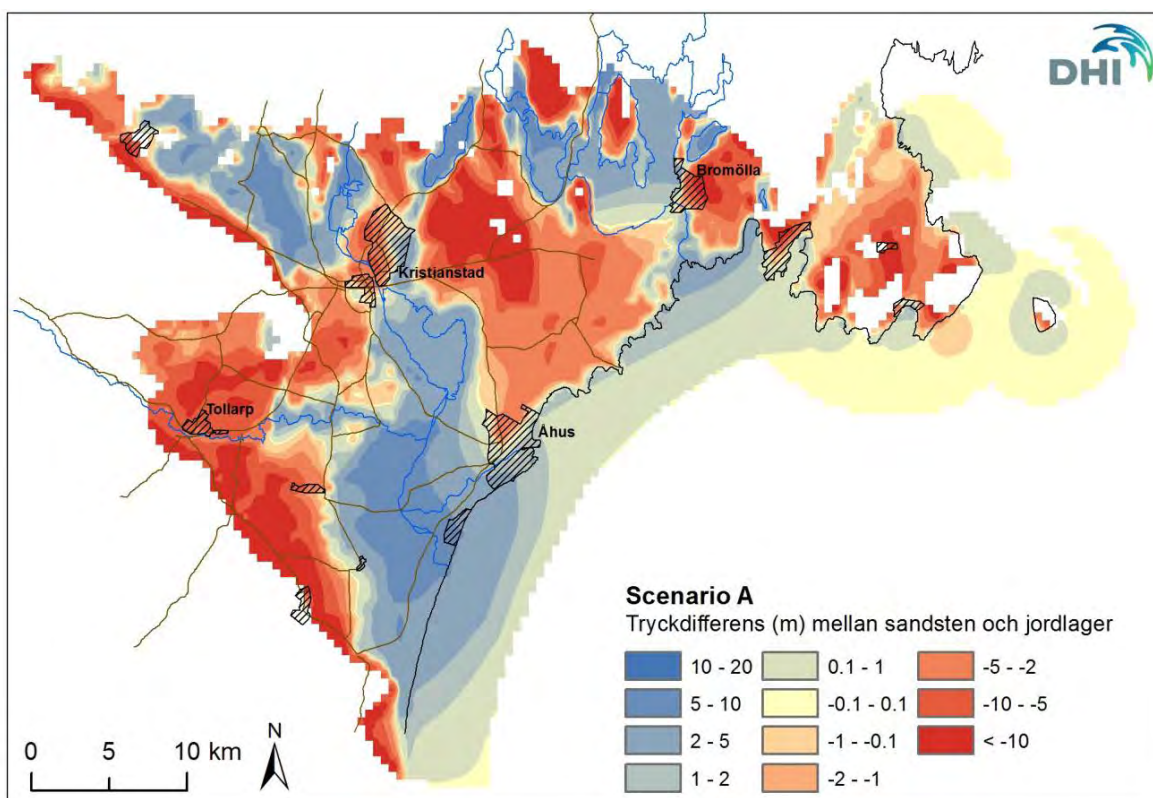
Kartbilder som visar beräknad tryckdifferens mellan sandsten och jordlager redovisas i Appendix A.2 för samtliga beräkningsfall.



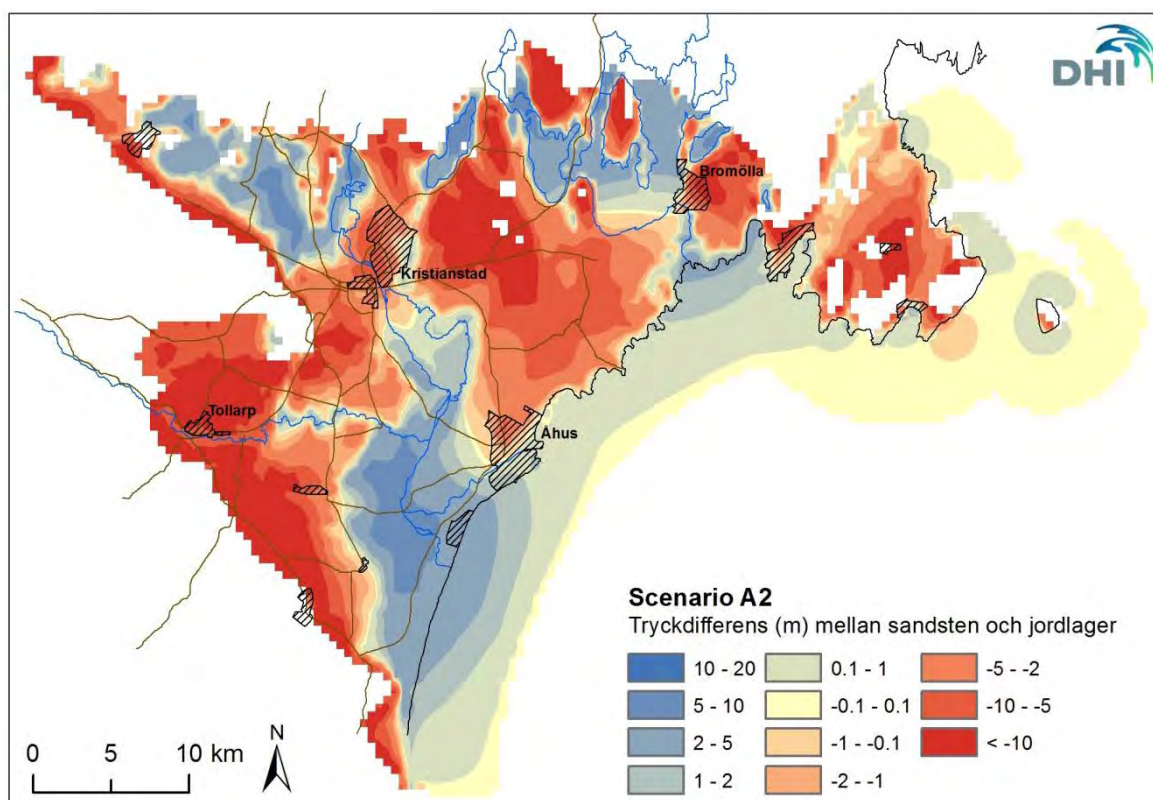
Figur 4-8. Tryckdifferens mellan sandsten och jordlager för naturliga förhållanden (1930-talet). Medel för 10 år. Blå områden indikerar utströmning och röda inströmning.



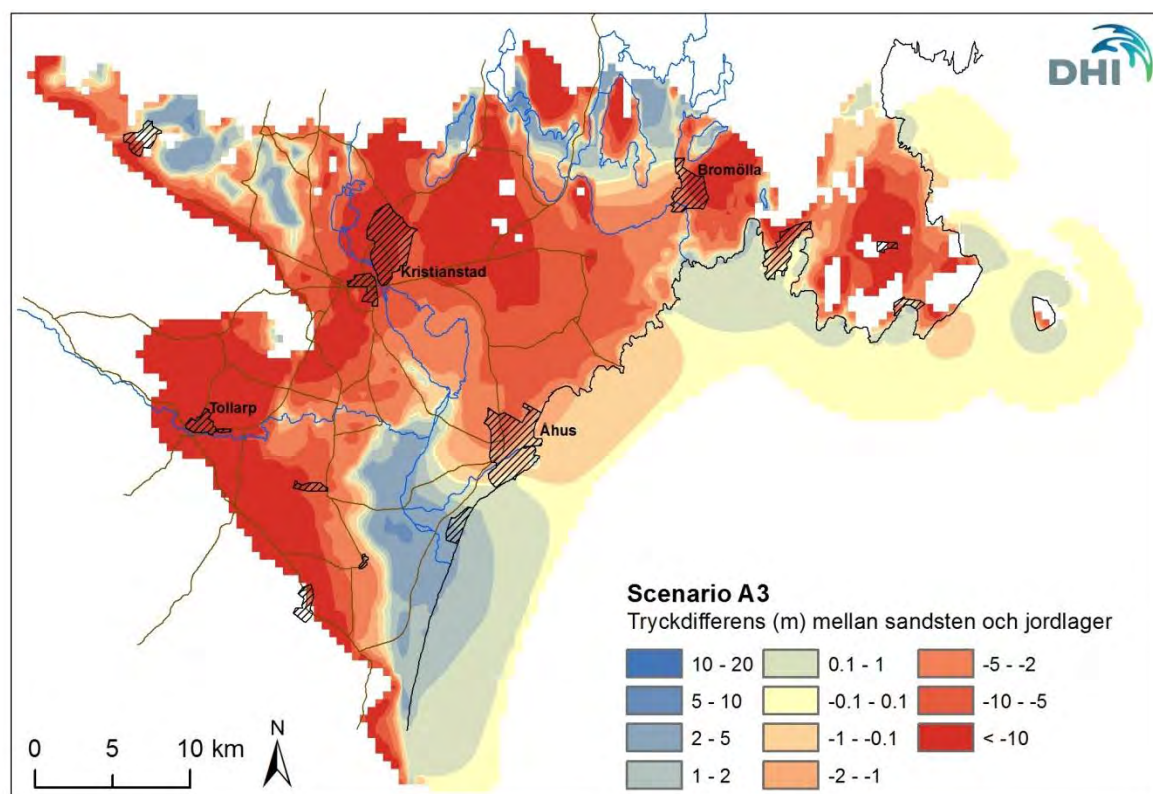
Figur 4-9. Tryckdifferens mellan sandsten och jordlager för referens. Medel för 10 år. Blå områden indikerar utströmning och röda inströmning.



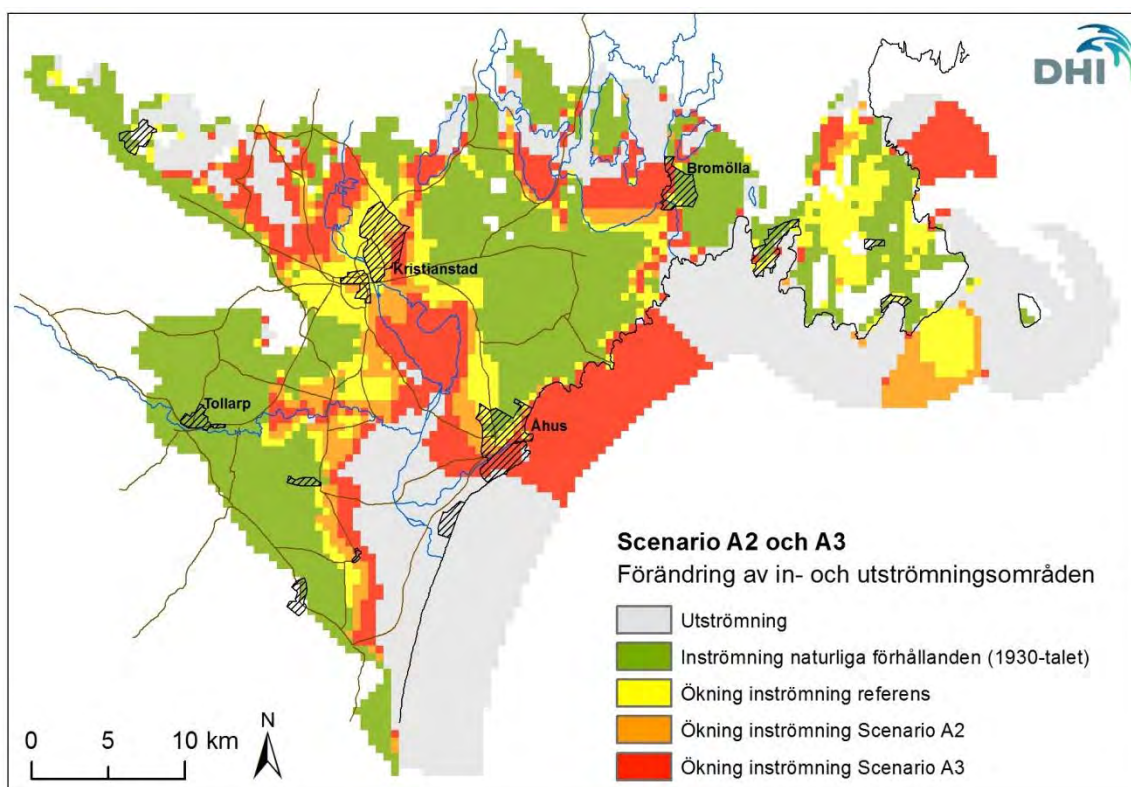
Figur 4-10. Tryckdifferens mellan sandsten och jordlager för Scenario A. Medel för 10 år. Blå områden indikerar utströmning och röda inströmning.



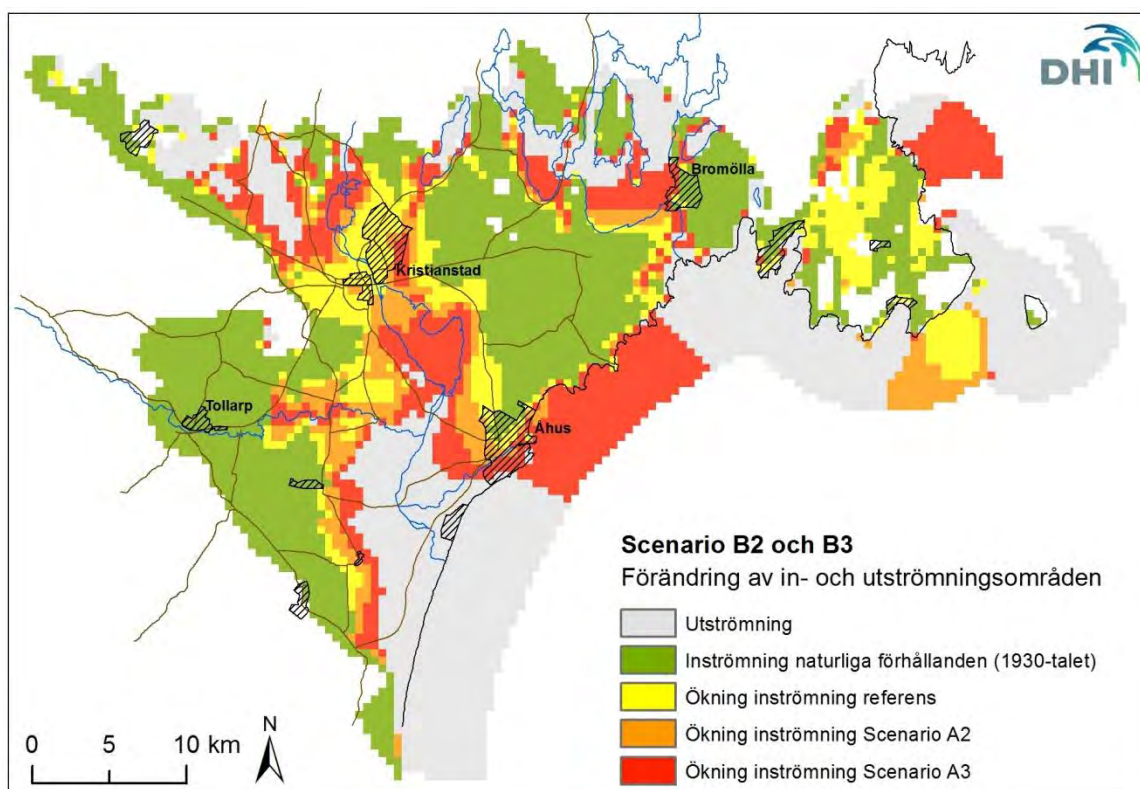
Figur 4-11. Tryckdifferens mellan sandsten och jordlager för Scenario A2. Medel för 10 år. Blå områden indikerar utströmning och röda inströmning.



Figur 4-12. Tryckdifferens mellan sandsten och jordlager för Scenario A3. Medel för 10 år. Blå områden indikerar utströmning och röda inströmning.



Figur 4-13. Ökning av andelen inströmningsområden till den sedimentära berggrunden mellan 1930-talet (naturliga förhållanden) och referens (2010), Scenario A2 och A3. Medelvärden för 10-årsperiod.



Figur 4-14. Ökning av andelen inströmningsområden till den sedimentära berggrunden mellan 1930-talet (naturliga förhållanden) och referens (2010), Scenario B2 och B3. Medelvärden för 10-årsperiod.

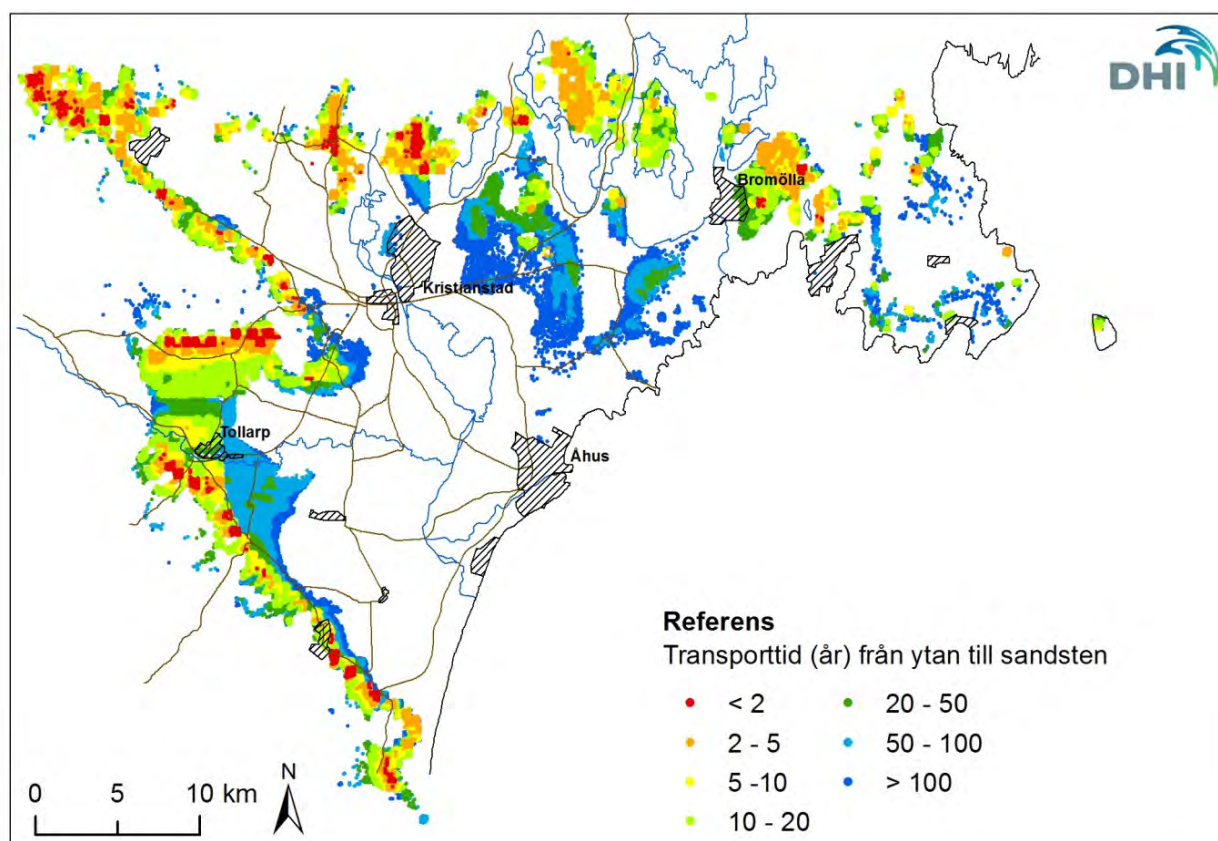
4.3 Transporttid till sandsten

En konsekvens av en starkare inströmning är att transporttiden för vattnet att nå sandstenen minskar. För att göra en bedömning hur transporttiden, av t.ex. en vattenlöslig förorening, förändras har partikelspåringsberäkningar gjorts för referensfallet och Scenario A3. I beräkningarna har fiktiva partiklar spridits i takt med infiltrationen och deras väg kartlagts. Startpunkter för alla partiklar vilka når sandstenen har registrerats och transporttiden från ytan till sandstenen beräknats. Resultaten från de sista 10 åren av flödesberäkningarna har cyklats 50 gånger vilket innebär att den totala simuleringsperioden motsvarar 500 år. Partiklar med en transporttid längre än 500 år inkluderas därmed inte.

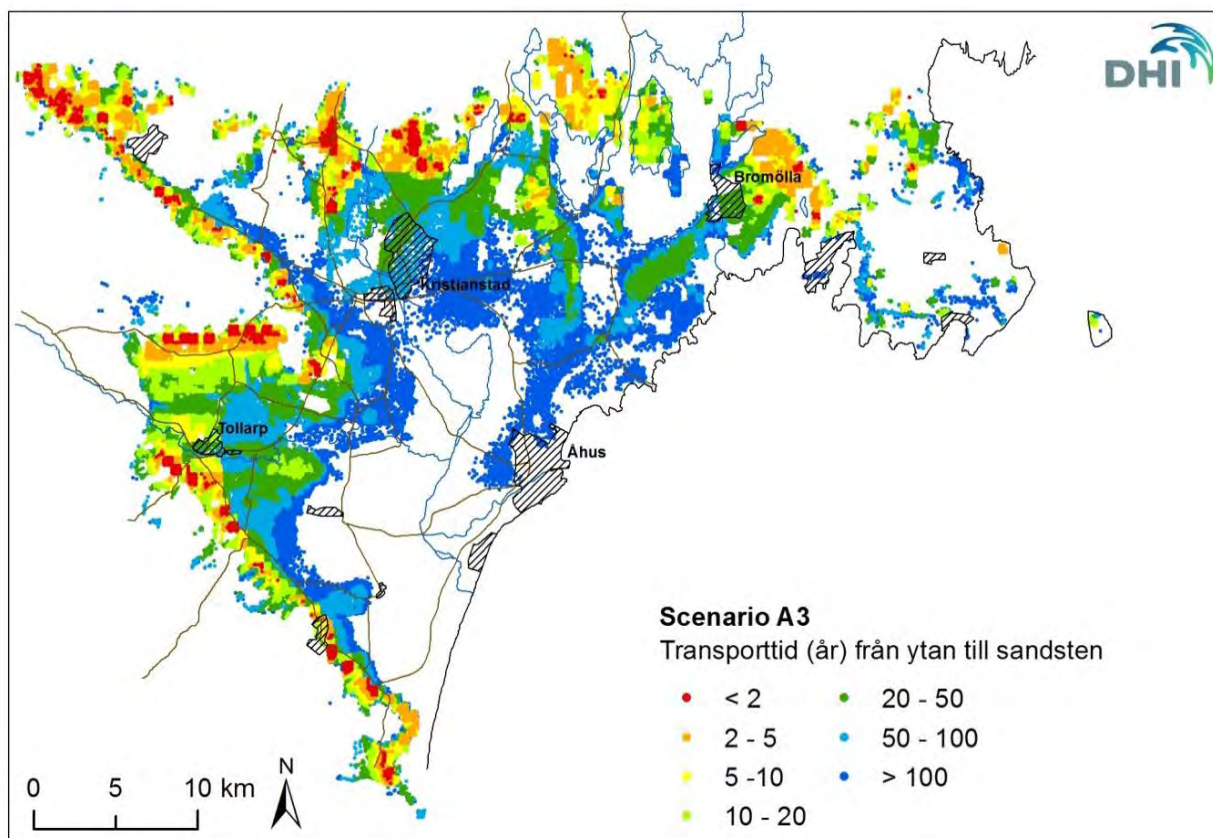
Viktigt att notera är att inga partiklar släppts i havet varför resultaten inte kan visa hurvida havsvatten når sandstenen under land. För att åstadkomma detta hade partiklar behövt placeras initialt i det översta beräkningslagret och inte i takt med infiltrationen. Den huvudsakliga anledningen till att detta inte gjorts är att denna typ av studier (saltvatteninträngning) bör ske med programvara vilken kan hantera densitetsdriven strömning vilket MIKE SHE inte kan. Detta borde vara av största intresse då flödesresultaten för Scenario A2, A3, B2 och B3 visar att det sker ett flöde från sandstenen under havet till sandstenen under land.

Där den vertikala gradienten är som störst, dvs. där inströmningen är som starkast, är även transporttiden som kortast. Dessa områden återfinns längs slättens randområden; höjdryggarna i norr; nordväst längs Nävlingeåsen och nordöst längs Ryssberget. Här är transporttiden mindre än 10 år från ytan till sandstenen (Figur 4-15).

Förändringen i transporttid är marginell i randområdena för Scenario A3 jämfört med referensfallet (Figur 4-16). Däremot ses en kraftig ökning av områden där partiklar når sandstenen inom studerad period på 500 år. Störst förändring ses i och norr om Kristianstad, söder om Ivösjön och vid Vramsån. Här når partiklarna sandstenen inom 50 år och i områden med isälvsavlagringar inom 20 år.



Figur 4-15. Startpunkt och transporttid (år) för partiklar släppta på ytan vilka når sandstenen i referensfallet.



Figur 4-16. Startpunkt och transporttid (år) för partiklar släppta på ytan vilka når sandstenen i Scenario A3.

4.4 Grundvattendjup

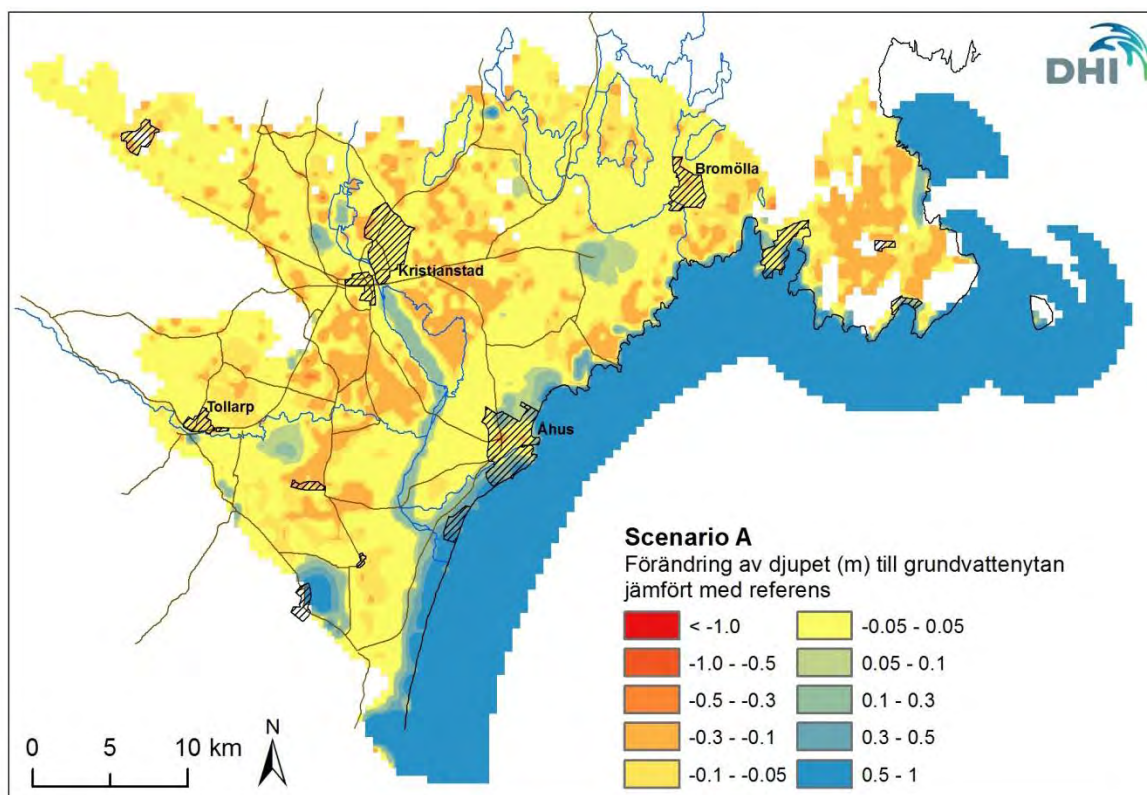
Vattenbalanserna visar att grundvattenbildningen är relativt oförändrad i Scenario A och ökar i Scenario B. Detta återspeglas i hur djupet till grundvattenytan förändras. I Scenario A (Figur 4-17) ses en svag minskning i en del områden och en ökning i andra. En större, generell höjning ses i Scenario B (Figur 4-18).

Störst positiv förändring ses i isälvsavlagringarna (grus) där infiltrationen är hög. Här har avdunstningsprocesserna en mindre inverkan vilket ger en högre nettonederbörd och grundvattenbildning. Samtidigt är det här, i isälvsavlagringarna, den största negativa påverkan på grundvattennivåerna ses i uttagsscenarierna, exemplifierat i Figur 4-19 och Figur 4-20 för Scenario A3 respektive B3. Detta beror på att den hydrauliska kontakten med sandstenen är god och en trycksänkning i den sedimentära berggrunden därmed får ett större genomslag. I dessa områden uppgår avsänkningen till 1 meter och strax däröver.

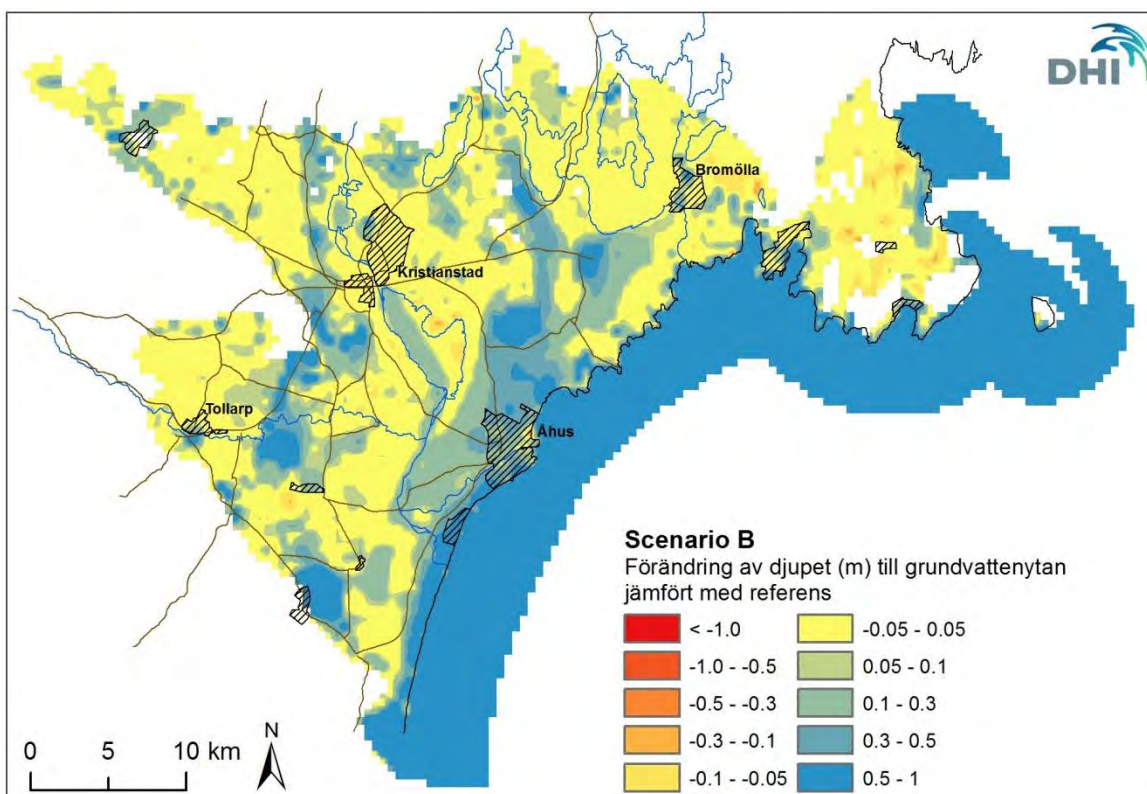
Den ökade grundvattenbildningen i B-scenarierna motverkar den negativa effekten av ökade uttag. Därför ses en betydligt större påverkan än i A-scenarierna. Först i Scenario B3 kan en kraftigare sänkning av grundvattennivåerna ses.

Längs kusten ses en höjning av grundvattennivåerna som en följd av den högre havsnivån (+1 m) i alla framtida scenarier. Även längs Helge å ses en höjning av grundvattennivån som en följd av havsnivåhöjningen samt till viss del av att randflödet vid Torsebro är högre än i referensen.

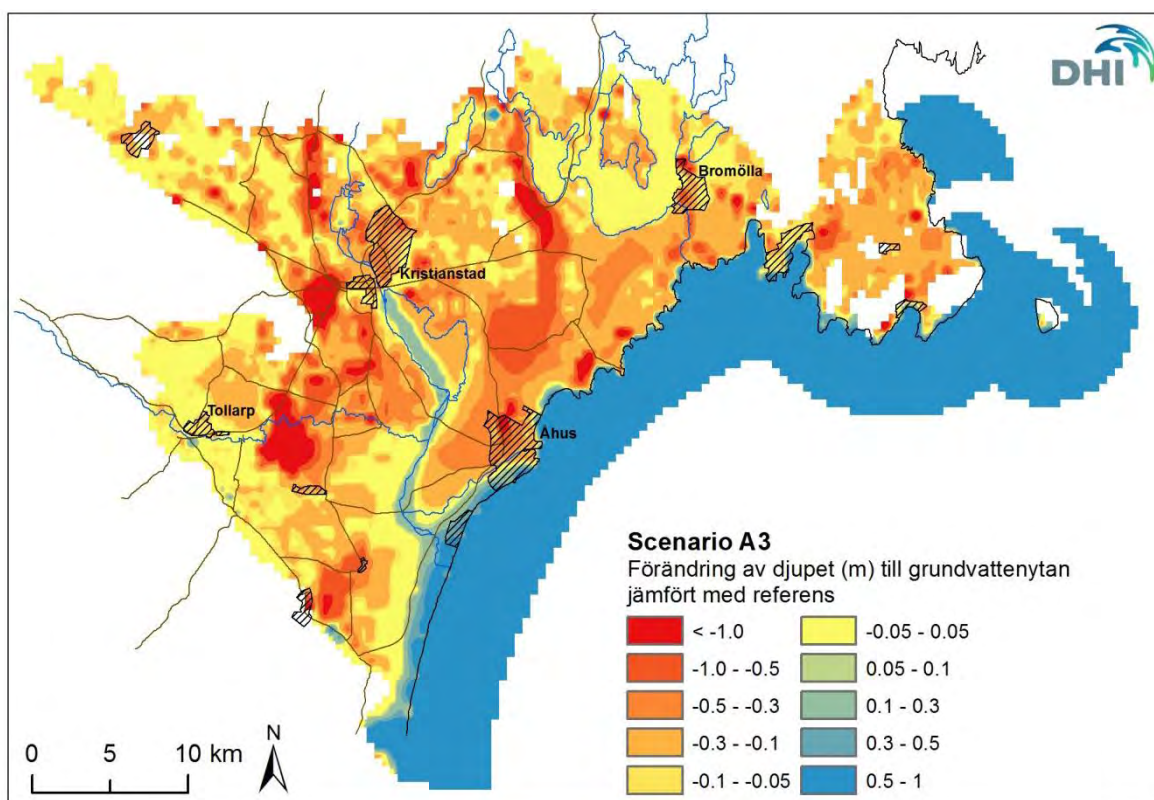
Kartbilder som visar beräknad förändring av djupet till grundvattenytan jämfört med referensen redovisas i Appendix A.3 för samtliga scenarier.



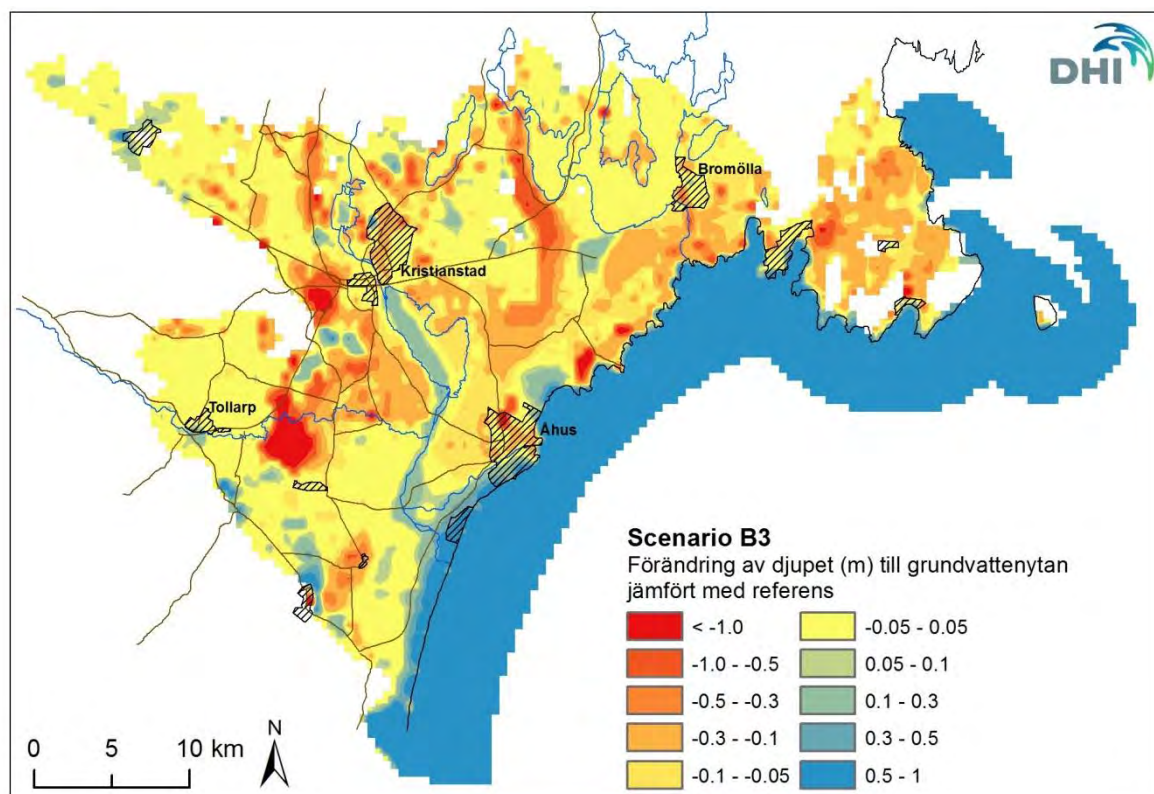
Figur 4-17. Förändring av djup (m) till grundvattenytan för Scenario A jämfört med referens, våren år 2099.



Figur 4-18. Förändring av djup (m) till grundvattenytan för Scenario B jämfört med referens, våren år 2099.



Figur 4-19. Förändring av djup (m) till grundvattenytan för Scenario A3 jämfört med referens, våren år 2099.



Figur 4-20. Förändring av djup (m) till grundvattenytan för Scenario B3 jämfört med referens, våren år 2099.

4.5 Flöden i Vramsån

Beräknade flöden i Vramsån vid utloppet till Helge å har analyserats med avseende på förändring av medel- och minflöden. För referensen har en medellågvattenföring (MLQ) beräknats från medelvärdet av varje års lägsta dygnsvattenföring. För samtliga scenarier inkl. referensen har antalet dagar som denna vattenföring underskrids summerats. Resultaten redovisas tillsammans med förändringen av medelvattenföringen i Tabell 4-3. Förändringen av antal dagar/år under MLQ redovisas även i diagramform i Figur 4-21 för A-scenarierna.

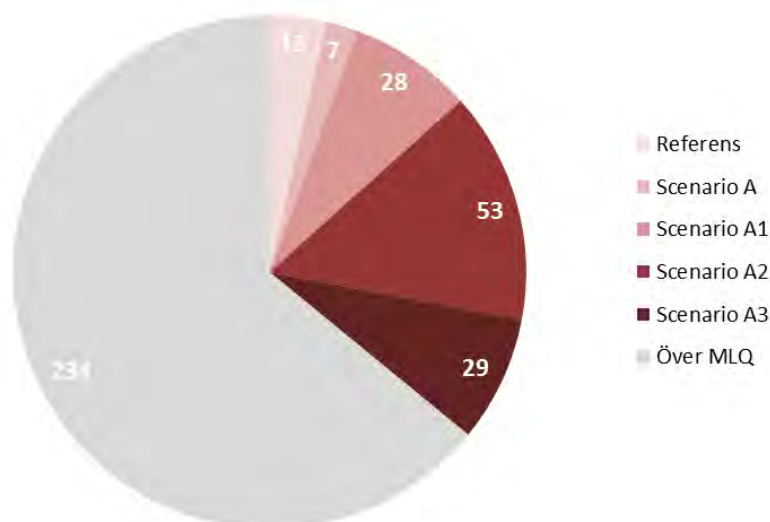
Antalet dagar under MLQ ökar något i Scenario A medan det minskar i Scenario B. När uttagen ökar i de olika scenarierna ökar även antalet dagar då MLQ underskrids. I Scenario A3 respektive B3 underskrids MLQ under 131 respektive 114 dagar/år.

Påverkan på dygnsmedelflödet ser annorlunda ut. Detta ökar i samtliga B-scenarier och i Scenario A och A1. Att så är fallet förklaras av att uttagsökningen i uttagsscenario 1 och 2 är bevattnings. Dessa uttag sker enbart under sommarhalvåret då flödet i Vramsån redan är lågt. Under vinterhalvåret ökar inte uttagen och nettonederbörden är högre än i referensen. Den sammanlagda effekten på medelvattenföringen blir då positiv.

Trots ovanstående kunde en större negativ påverkan på medelvattenföringen förväntats med hänsyn till hur drän- och basflödet till vattendrag i vattenbalansen för södra slätten förändras i de olika scenarierna. En förklaring är att en stor del av Vramsåns tillrinningsområde ligger utanför slätten vilken är opåverkad av de ökade uttagen.

Tabell 4-3. Antal dagar/år med medellågvattenföring samt förändring (%) av medelvattenföring och dygnsmaxflöde jämfört med referens för Vramsån för samtliga scenarier.

| Scenario | Antal dagar/år under medellågvattenföring | Förändring (%) av medelvattenföring |
|-------------|---|-------------------------------------|
| Referens | 13 | - |
| Scenario A | 20 | 5.2 |
| Scenario A1 | 49 | 0.6 |
| Scenario A2 | 102 | -1.0 |
| Scenario A3 | 131 | -3.8 |
| Scenario B | 0 | 30 |
| Scenario B1 | 25 | 21 |
| Scenario B2 | 72 | 19 |
| Scenario B3 | 114 | 17 |



Figur 4-21. Ökning av antal dagar/år med flöde understigande MLQ för referens och Scenario A, A1, A2 och A3.

4.6 Sammanfattning och diskussion

De viktigaste resultaten sammanfattas nedan.

- För ett framtida medelklimatsscenario (Scenario A) beräknas ökningen i nederbörd motverkas av en ökad evapotranspiration till följd en högre temperatur vilket resulterar i en oförändrad grundvattenbildning. Med hänsyn till även en förlängd vegetationsperiod beräknas grundvattenbildningen att minska.
- En extrem klimatförändring med stor nederbördsökning kan till viss del kompensera för ökade uttag genom en högre grundvattenbildning vilket Scenario B visar. Samtidigt skulle scenarier vilka är extrema åt det motsatta hållet med liten nederbördsförändring kunna förvärra effekterna.
- Sammantaget är spridningen i de sexton utvärderade klimatscenarierna tämligen stor, framförallt avseende nederbördens förändring. Hur stor nederbördsökningen blir i relation till temperaturökningen styr huruvida nettoeffekten blir positiv (högre grundvattenbildning) eller negativ (lägre grundvattenbildning).
- Andelen inströmningsområden ökar i takt med att uttagen ökar i de olika uttagsscenarierna. Ca 46 % av slättens totala yta (fastlandsdelen) är inströmningsområden vid slättens naturliga förhållanden (motsvarande 1930-talet, innan grundvattenuttag). Denna andel ökar i Scenario A2 till 66 % och i Scenario A3 till hela 80 %. Även styrkan på inströmningen ökar vilket medför att transporttiden från ytan till sandstenen minskar. Sammantaget innebär detta att grundvattenskyddet försämras och riskerna för förorening ökar.
- När uttagen uppgår till 70 Mm³/år blir en av konsekvenserna att det bildas ett inströmningsområde utanför kusten i den norra delen av slätten. Vattenbalanserna visar att flödesriktningen vänder och att det istället för ett utflöde till havet sker ett inflöde från sandstenen under havet till sandstenen under land. Slutsatsen är att det föreligger en betydande risk för att den naturliga saltvattenkilen under land drivs längre in med saltvatteninträngning i uttagsbrunnar som en konsekvens. Denna effekt kan ses redan i Scenario A2 och B2 under sommarhalvåret då uttagen är som störst (totalt 40 Mm³/år).
- De ökade uttagen leder till en ökad vertikal transport till den sedimentära berggrunden vilket sker på bekostnad av ett minskat drän- och basflöde till vattendrag och diken samt transpiration (ger högre grundvattenbildning), förutom nämnda minskning i det horisontella flödet till havet.

- Situationen på norra slätten är mer kritisk än på södra slätten i de olika uttagsscenarierna. Redan idag (referensen) är den vertikala tillströmningen till sandstenen jämnstor med uttagen från densamma. Ökade uttag kommer att få direkta konsekvenser. Scenarierna visar att vid uttag uppemot 25 Mm³/år (idag ca 16 Mm³/år) på norra slätten riskeras att ett inflöde från havet sker. I dessa scenarier är i princip hela norra slätten ett inströmningsområde medan det på den södra slätten fortfarande finns större arealer med utströmning.
- Med tanke på att uttagen i modellen sannolikt är underskattade är det inte orimligt att de totala beviljade uttagsmängderna på slätten är i nivå med de i uttagsscenario 2 (ca 40 Mm³/år). Scenario A2 skulle i så fall kunna motsvara dagens verkliga situation om samtliga beviljade uttag utnyttjades året runt.

5 Rekommendationer

Utifrån resultaten i föreliggande och tidigare studier rekommenderas följande:

- Den mest osäkra parametern i MIKE SHE-modellen är grundvattenuttagen i allmänhet och bevattningsuttagen i synnerhet. Med största sannolikhet är uttagen i modellen underskattade. Det rekommenderas därför att modellen uppdateras med alla tillståndsgivna uttag och att en ny bedömning avseende ännu ej tillståndsgivna uttag görs.
- Resultaten i föreliggande studie visar med all tydlighet att det föreligger en risk för saltvatteninträngning längs kusten, framförallt för den norra delen av slätten. Det rekommenderas att detta utreds vidare med mer detaljerade beräkningar med programvara som kan hantera densitetsdriven strömning (t.ex. FEFLOW). Randvillkoren för en sådan beräkning bör tas från relevanta scenarier studerade med MIKE SHE-modellen.
- Ett kontrollprogram för övervakning av grundvattennivåer bör upprättas. Grundvattennivåer bör övervakas kontinuerligt via strategiskt placerade observationsbrunnar. Viktigt är att detta arbete påbörjas så snart som möjligt då trögheten i systemet gör att det tar tid innan förändringar i uttag får genomslag upp i de ytliga jordlagren. Lämplig placering av observationsbrunnarna är i isälvsavlagringarna där den hydrauliska kontakten med den sedimentära berggrunden är god vilket gör att uttagsförändringar får ett snabbare och tydligare genomslag här än i andra områden.

6 Referenser

DHI (2011a). MIKE SHE för Kristianstadslätten – Vattenbalanser och strömningsförhållanden i sandstenen för olika uttagsscenarier.

DHI (2011b). MIKE SHE för Kristianstadslätten – Dokumentation av modelluppdateringar.

IPCC (2013). Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers

Jordbruksverket (2014). Uppgifter hämtade från Jordbruksverkets statistikdatabas 2014-04-23.

LRF (2010). Kraftsamling växtodling – bevattning.

SGU (1979). Sammanställning av hydrogeologiska data för Kristianstadsslätten.

SMHI (2011). Klimatanalys för Skåne län. Rapport Nr 2011-52.

Muntlig kommunikation:

Marcus Lundmark, Jordbruksverket, 2014-02-21.

Henrik Eckersten, SLU, 2014-04-03.

APPENDIX A – Kompletterande beräkningsresultat



A Kompletterande beräkningsresultat

A.1 Vattenbalanser

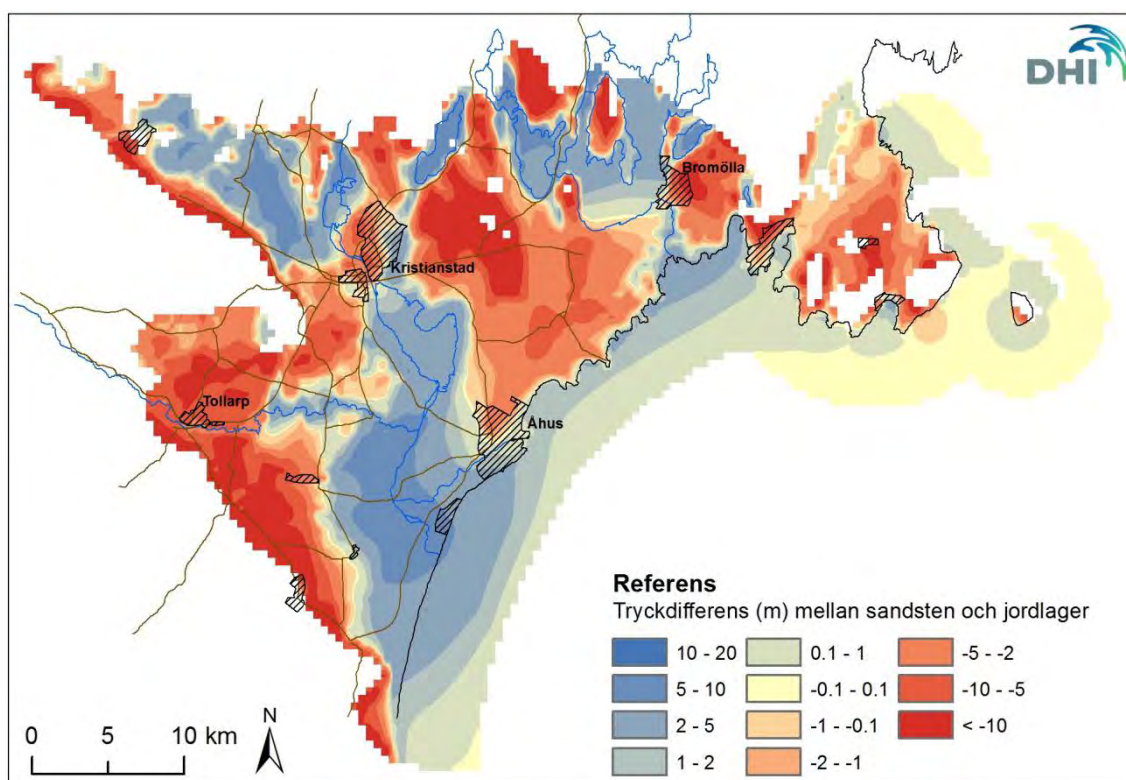
Tabell A-1. Sammanställning av vattenbalanskomponenter (mm/år), medel för 10 år, för norra slätten.

| | | Referens | Sc A | Sc A1 | Sc A2 | Sc A3 | Sc B | Sc B1 | Sc B2 | Sc B3 |
|-------------|------------------------------------|----------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| Ovan mark | Nederbörd | 673 | 736 | 740 | 740 | 740 | 817 | 823 | 823 | 823 |
| | Avdunstning snö | -23 | -5.4 | -5.4 | -5.4 | -5.4 | -2.2 | -2.2 | -2.2 | -2.2 |
| | Interception | -132 | -152 | -167 | -167 | -167 | -169 | -193 | -193 | -193 |
| | Avdunstning ytvatten | -3.4 | -4.2 | -3.6 | -3.6 | -3.2 | -5.0 | -3.8 | -3.8 | -3.6 |
| | Inflöde ytvatten | 4.4 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.4 | 0.8 | 0.8 | 0.6 | 0.6 |
| Omättad zon | Infiltration | 519 | 576 | 564 | 564 | 565 | 641 | 625 | 625 | 625 |
| | Avdunstning översta jordlagren | -130 | -168 | -145 | -145 | -144 | -188 | -150 | -150 | -149 |
| | Upptag växter (transpiration) | -237 | -260 | -280 | -279 | -276 | -278 | -314 | -313 | -310 |
| Mättad zon | Nybildning grundvatten | 153 | 150 | 141 | 142 | 148 | 177 | 162 | 164 | 168 |
| | Jordlager och morän | | | | | | | | | |
| | Drän-/basflöde vattendrag/diken | -114 | -111 | -101 | -94 | -76 | -137 | -120 | -112 | -95 |
| | Horisontellt nettoinflöde | -2.6 | -2.2 | -1.8 | -1.6 | 0.0 | -3.0 | -2.6 | -2.4 | -1.0 |
| | Grundvattenuttag | -0.8 | -0.8 | -0.8 | -0.8 | -0.8 | -0.8 | -0.8 | -0.8 | -0.8 |
| | Vertikalt nettoflöde till kalksten | 35 | 35 | 36 | 45 | 70 | 36 | 38 | 48 | 70 |
| | Kalksten | | | | | | | | | |
| | Horisontellt nettoinflöde | 1.8 | 2.6 | 2.6 | 2.4 | 3.4 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 3.2 |
| | Grundvattenuttag | -5.1 | -5.2 | -5.8 | -7.0 | -7.2 | -5.2 | -6.2 | -7.8 | -7.8 |
| | Vertikalt nettoflöde till sandsten | 32 | 32 | 33 | 40 | 67 | 33 | 34 | 42 | 67 |
| | Sandsten | | | | | | | | | |
| | Horisontellt nettoinflöde | -2.2 | -0.8 | 0.2 | 2.6 | 11 | -1.2 | 0.4 | 3.0 | 11 |
| | Grundvattenuttag | -31 | -31 | -33 | -42 | -78 | -31 | -35 | -45 | -77 |
| | Grundvattenuttag totalt | -37 | -37 | -39 | -50 | -86 | -37 | -42 | -54 | -86 |

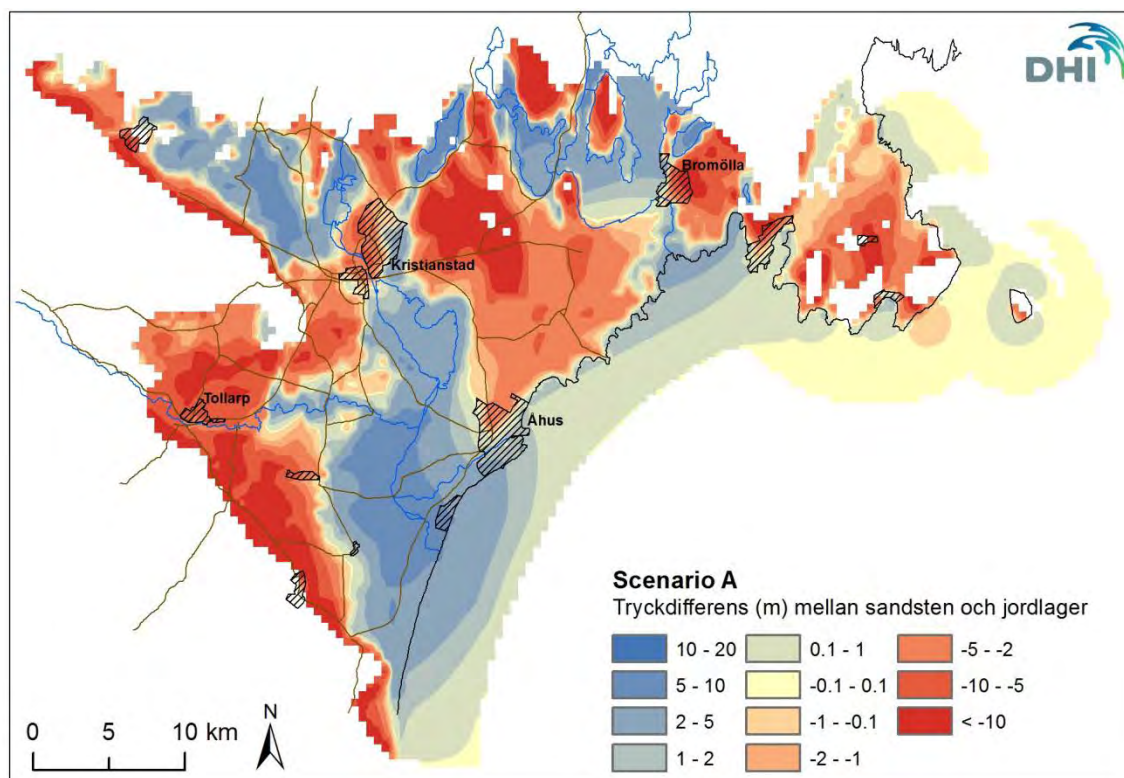
Tabell A-2. Sammanställning av vattenbalanskomponenter (mm/år), medel för 10 år, för södra slätten.

| | | Referens | Sc A | Sc A1 | Sc A2 | Sc A3 | Sc B | Sc B1 | Sc B2 | Sc B3 |
|-------------|------------------------------------|----------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| Ovan mark | Nederbörd | 767 | 836 | 842 | 842 | 842 | 919 | 931 | 931 | 931 |
| | Avdunstning snö | -28 | -6.5 | -6.5 | -6.5 | -6.5 | -3.0 | -3.0 | -3.0 | -3.0 |
| | Interception | -144 | -165 | -184 | -184 | -184 | -183 | -213 | -213 | -213 |
| | Avdunstning ytvatten | -2.4 | -3.3 | -2.7 | -2.7 | -2.4 | -3.9 | -3.0 | -2.7 | -2.7 |
| | Inflöde ytvatten | 3.3 | -0.3 | -0.3 | -0.3 | 0.0 | -0.3 | -0.3 | 0.0 | 0.0 |
| Omättad zon | Infiltration | 596 | 661 | 649 | 649 | 649 | 729 | 712 | 712 | 712 |
| | Avdunstning översta jordlagren | -137 | -176 | -150 | -149 | -149 | -196 | -154 | -153 | -152 |
| | Upptag växter (transpiration) | -244 | -269 | -291 | -290 | -288 | -288 | -326 | -325 | -323 |
| Mättad zon | Nybildning grundvatten | 216 | 218 | 209 | 212 | 215 | 248 | 234 | 237 | 240 |
| | Jordlager och morän | | | | | | | | | |
| | Drän-/basflöde vattendrag/diken | -164 | -167 | -157 | -146 | -134 | -195 | -179 | -166 | -154 |
| | Horisontellt nettoinflöde | 3.3 | 2.7 | 3.3 | 3.6 | 3.9 | 1.2 | 1.8 | 2.7 | 3.0 |
| | Grundvattenuttag | -0.3 | -0.3 | -0.3 | -0.3 | -0.3 | -0.3 | -0.3 | -0.3 | -0.3 |
| | Vertikalt nettoflöde till kalksten | 56 | 54 | 56 | 69 | 87 | 56 | 58 | 74 | 90 |
| | Kalksten | | | | | | | | | |
| | Horisontellt nettoinflöde | -4.7 | -4.4 | -4.4 | -3.3 | -3.0 | -4.4 | -4.2 | -3.3 | -2.7 |
| | Grundvattenuttag | -4.4 | -4.4 | -5.0 | -6.2 | -6.2 | -4.4 | -5.3 | -6.8 | -6.8 |
| | Vertikalt nettoflöde till sandsten | 47 | 46 | 47 | 60 | 79 | 47 | 49 | 64 | 81 |
| | Sandsten | | | | | | | | | |
| | Horisontellt nettoinflöde | -33 | -31 | -30 | -24 | -15 | -32 | -31 | -24 | -16 |
| | Grundvattenuttag | -14 | -14 | -17 | -36 | -64 | -14 | -18 | -41 | -66 |
| | Grundvattenuttag totalt | -19 | -19 | -22 | -43 | -71 | -19 | -24 | -48 | -73 |

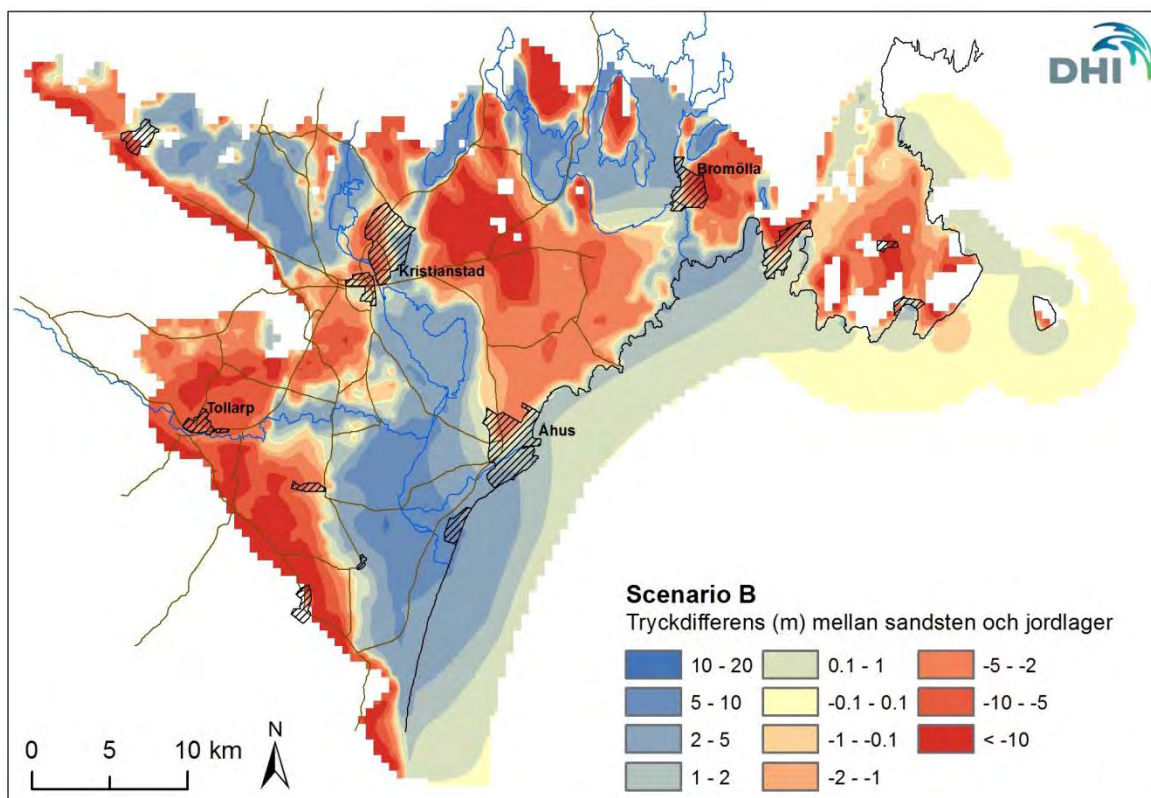
A.2 In- och utströmning till sedimentär berggrund



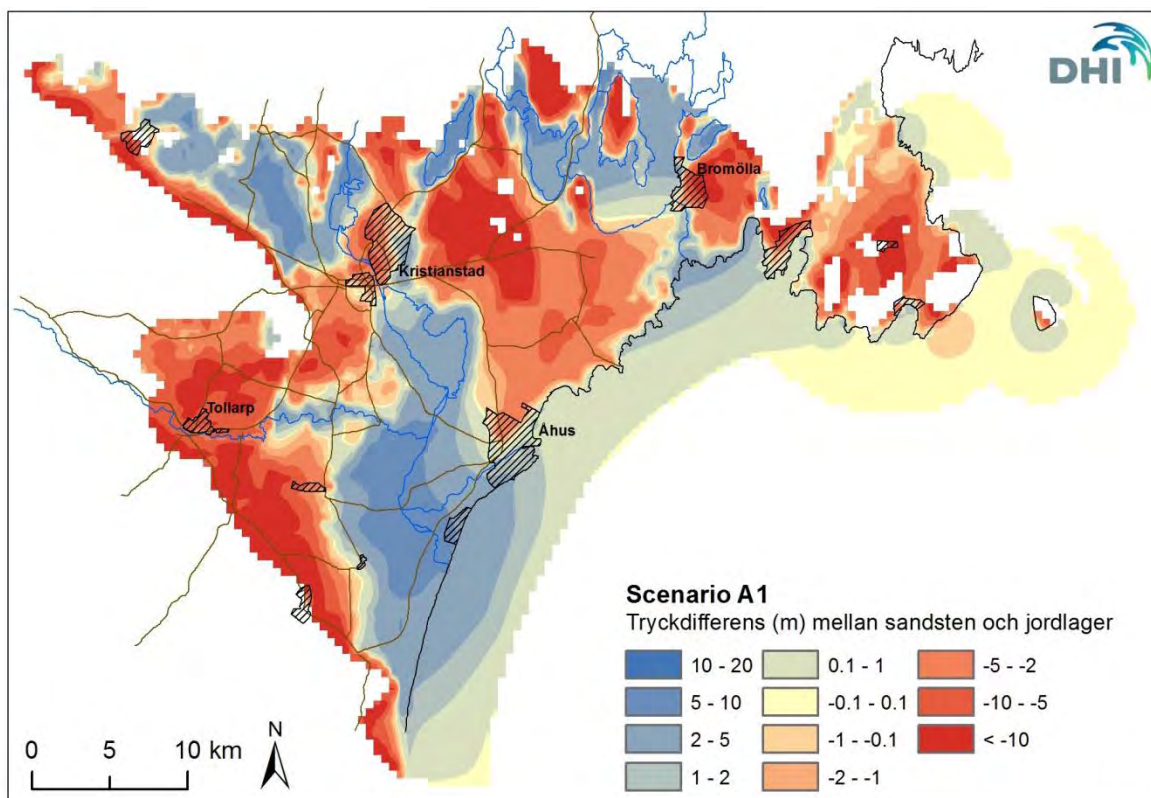
Figur A-1. Tryckdifferens mellan sandsten och jordlager för referens. Medel för 10 år. Blå områden indikerar utströmning och röda inströmning.



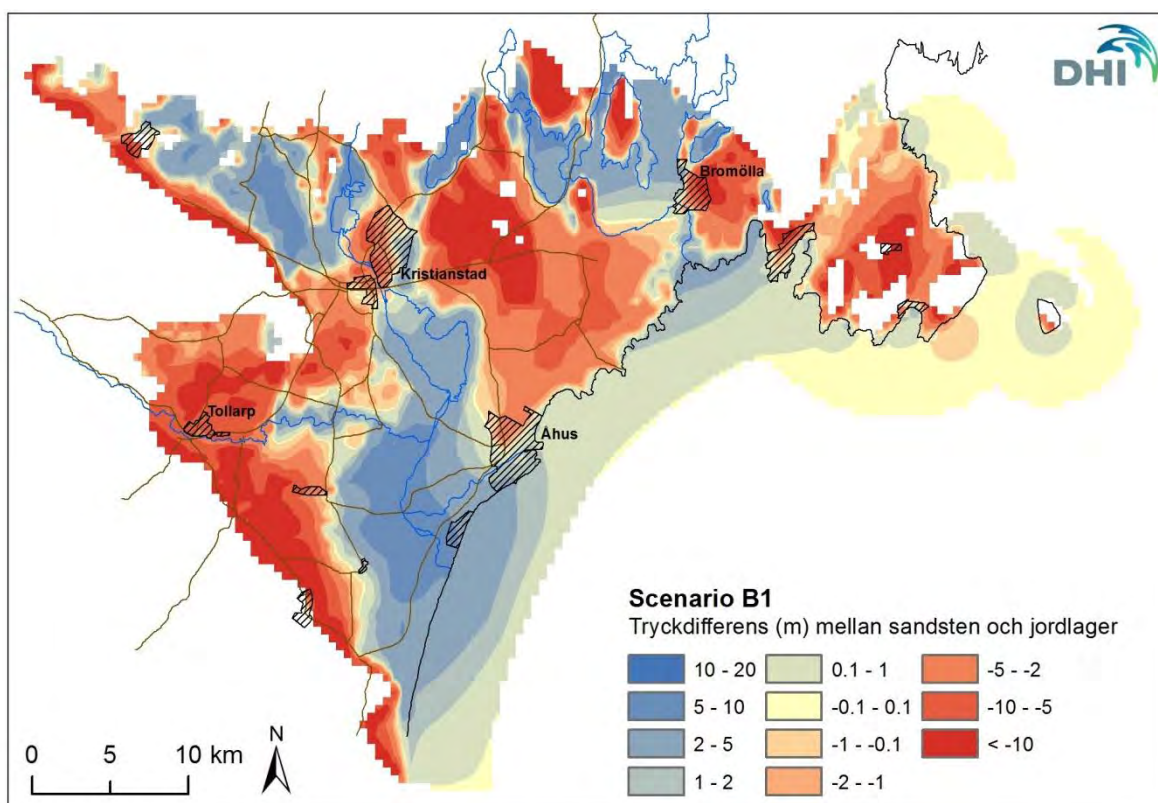
Figur A-2. Tryckdifferens mellan sandsten och jordlager för Scenario A. Medel för 10 år. Blå områden indikerar utströmning och röda inströmning.



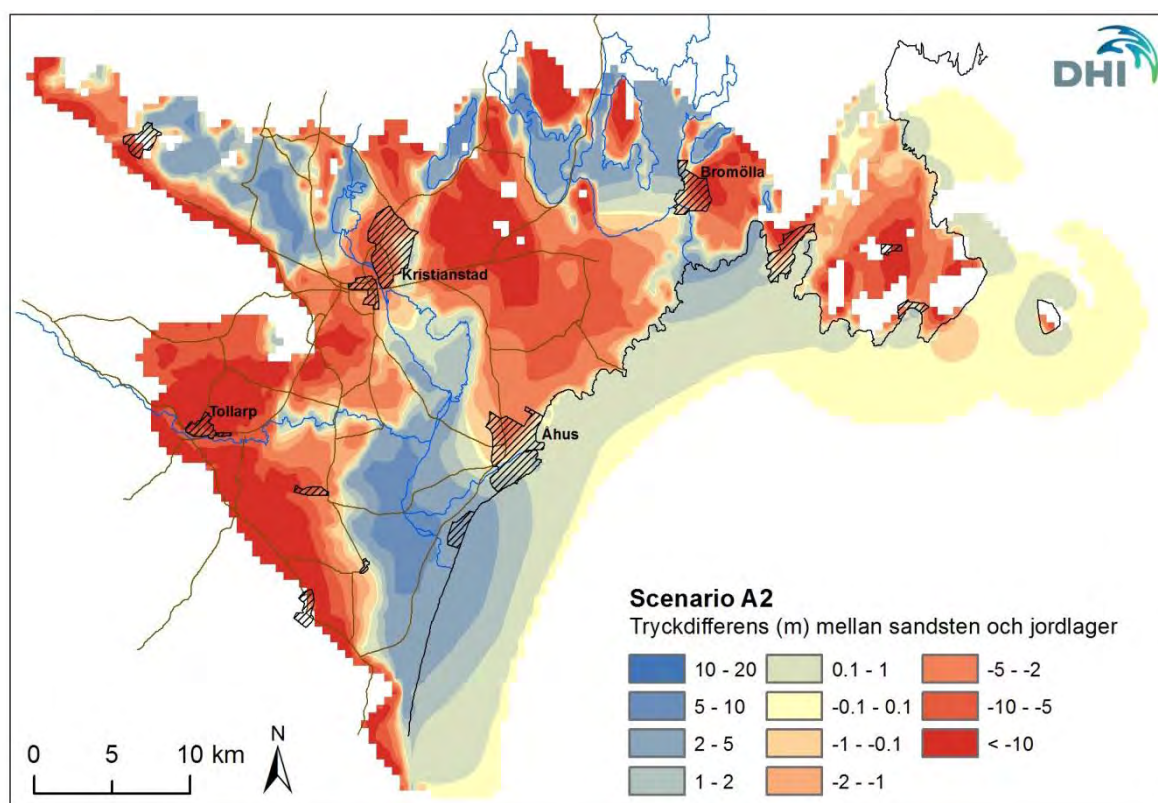
Figur A-3. Tryckdifferens mellan sandsten och jordlager för Scenario B. Medel för 10 år. Blå områden indikerar utströmning och röda inströmning.



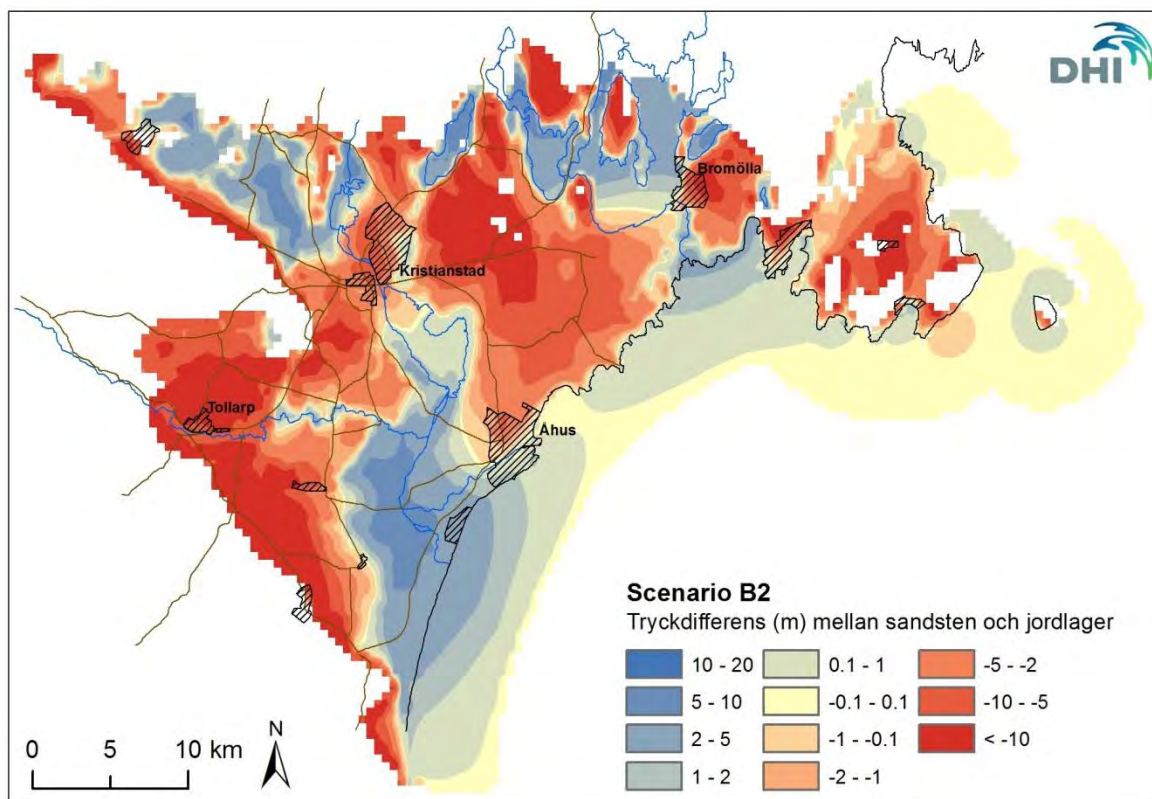
Figur A-4. Tryckdifferens mellan sandsten och jordlager för Scenario A1. Medel för 10 år. Blå områden indikerar utströmning och röda inströmning.



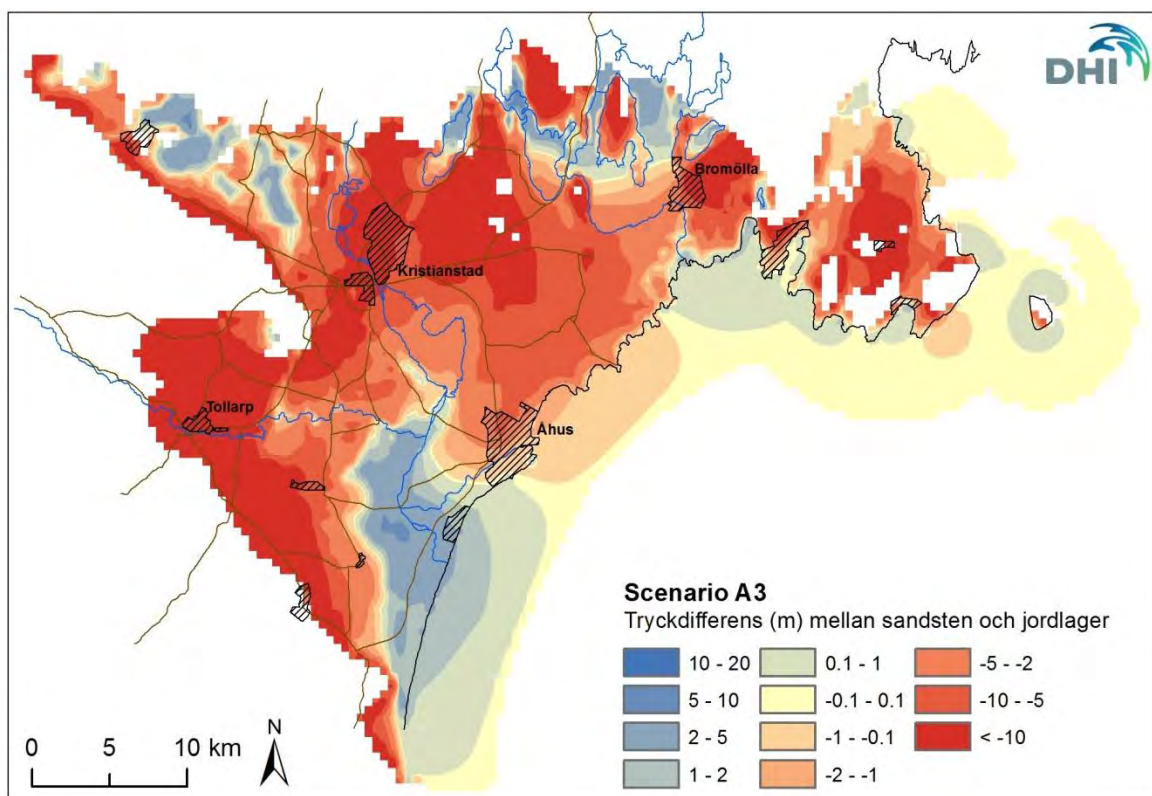
Figur A-5. Tryckdifferens mellan sandsten och jordlager för Scenario B1. Medel för 10 år. Blå områden indikerar utströmning och röda inströmning.



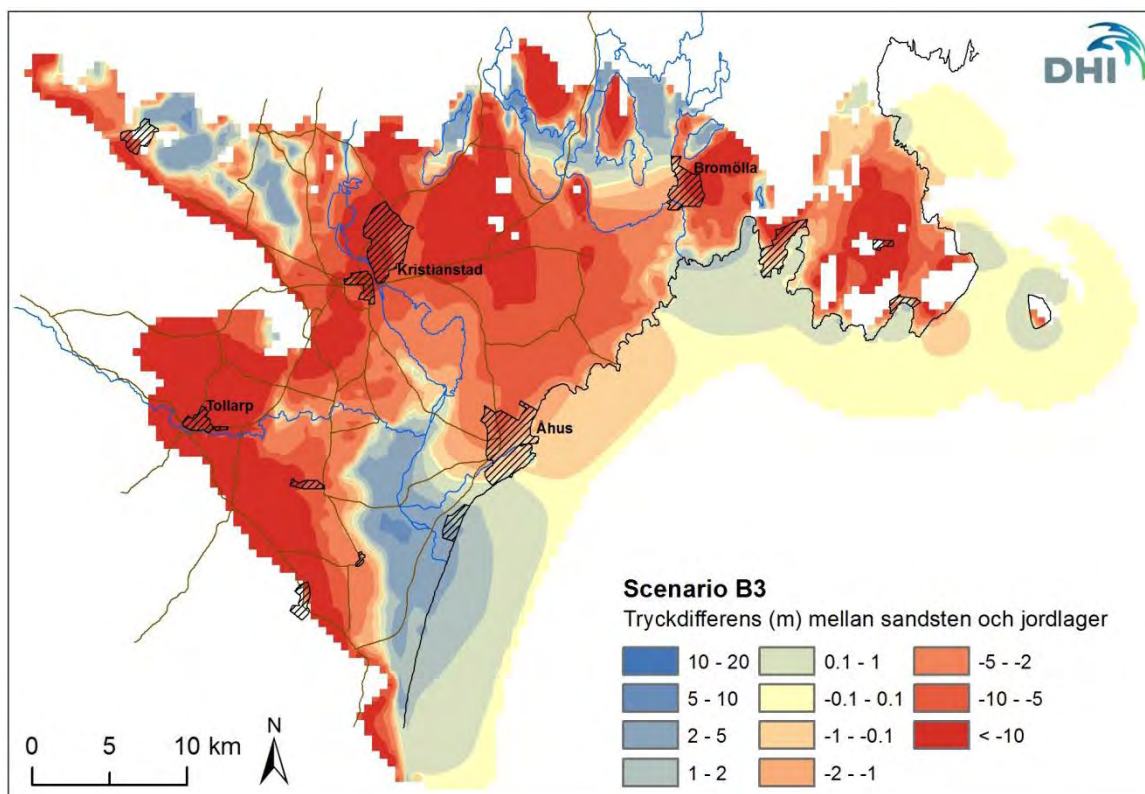
Figur A-6. Tryckdifferens mellan sandsten och jordlager för Scenario A2. Medel för 10 år. Blå områden indikerar utströmning och röda inströmning.



Figur A-7. Tryckdifferens mellan sandsten och jordlager för Scenario B2. Medel för 10 år. Blå områden indikerar utströmning och röda inströmning.

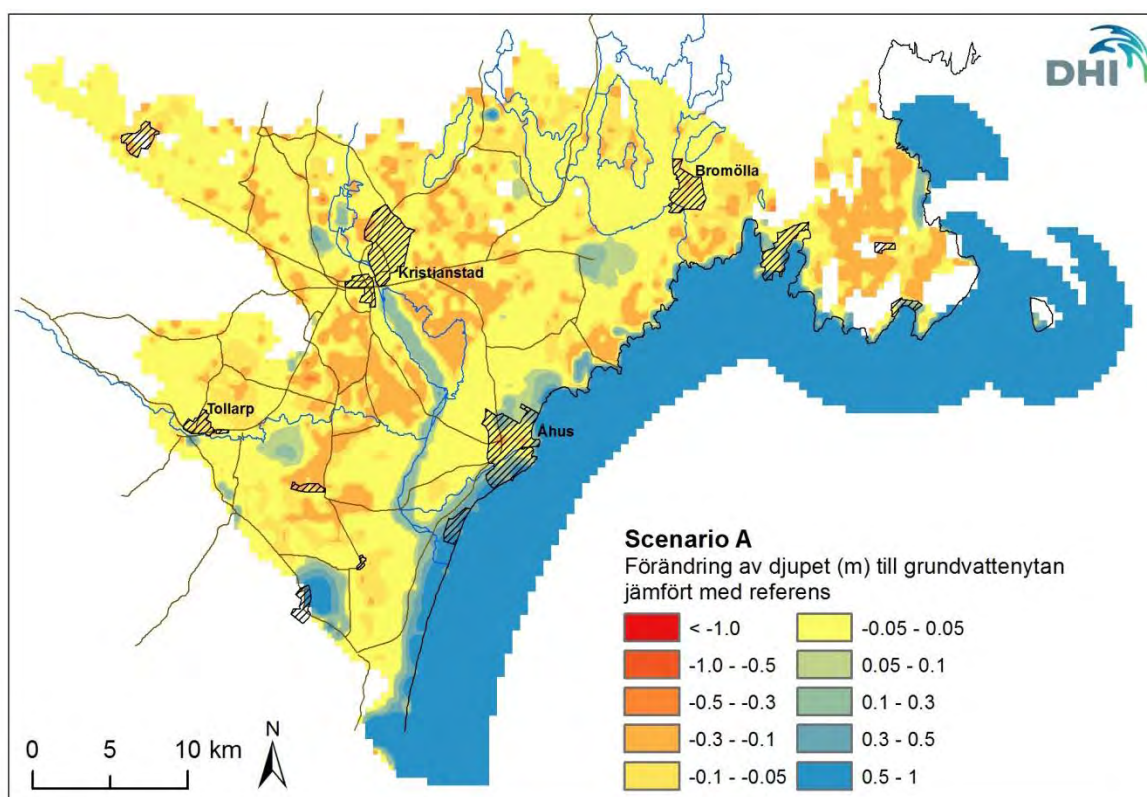


Figur A-8. Tryckdifferens mellan sandsten och jordlager för Scenario A3. Medel för 10 år. Blå områden indikerar utströmning och röda inströmning.

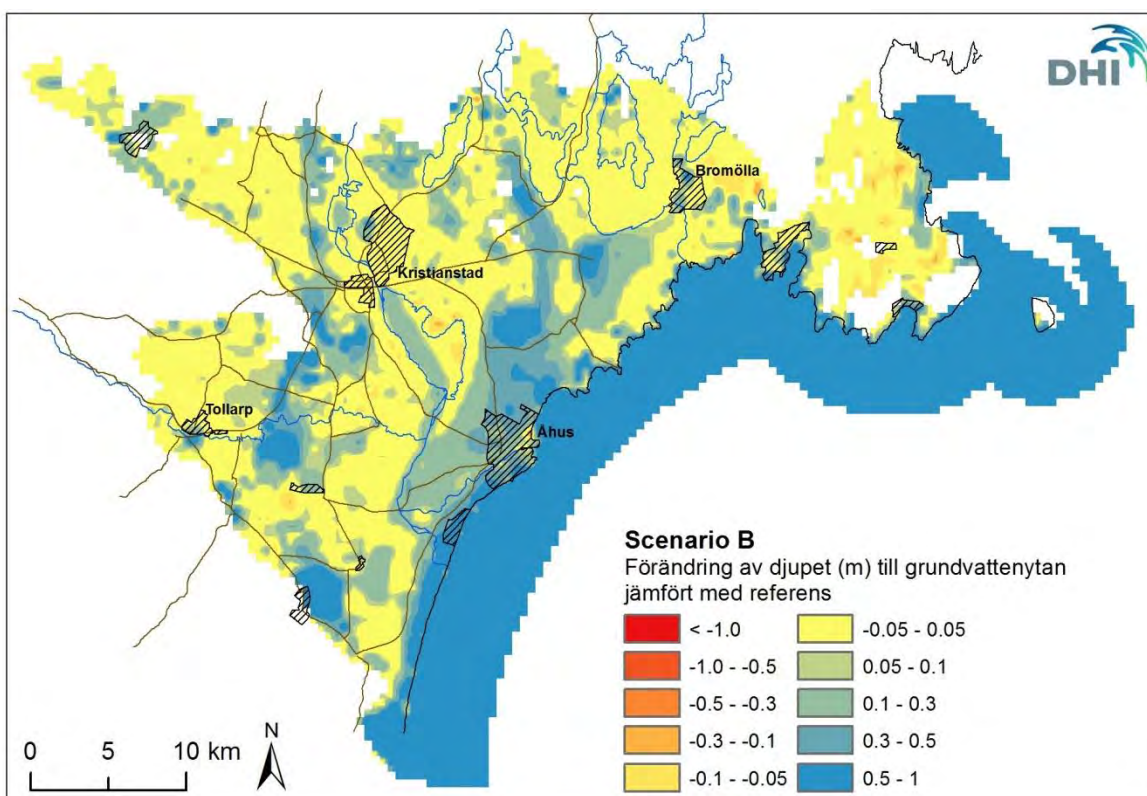


Figur A-9. Tryckdifferens mellan sandsten och jordlager för Scenario B3. Medel för 10 år. Blå områden indikerar utströmning och röda inströmning.

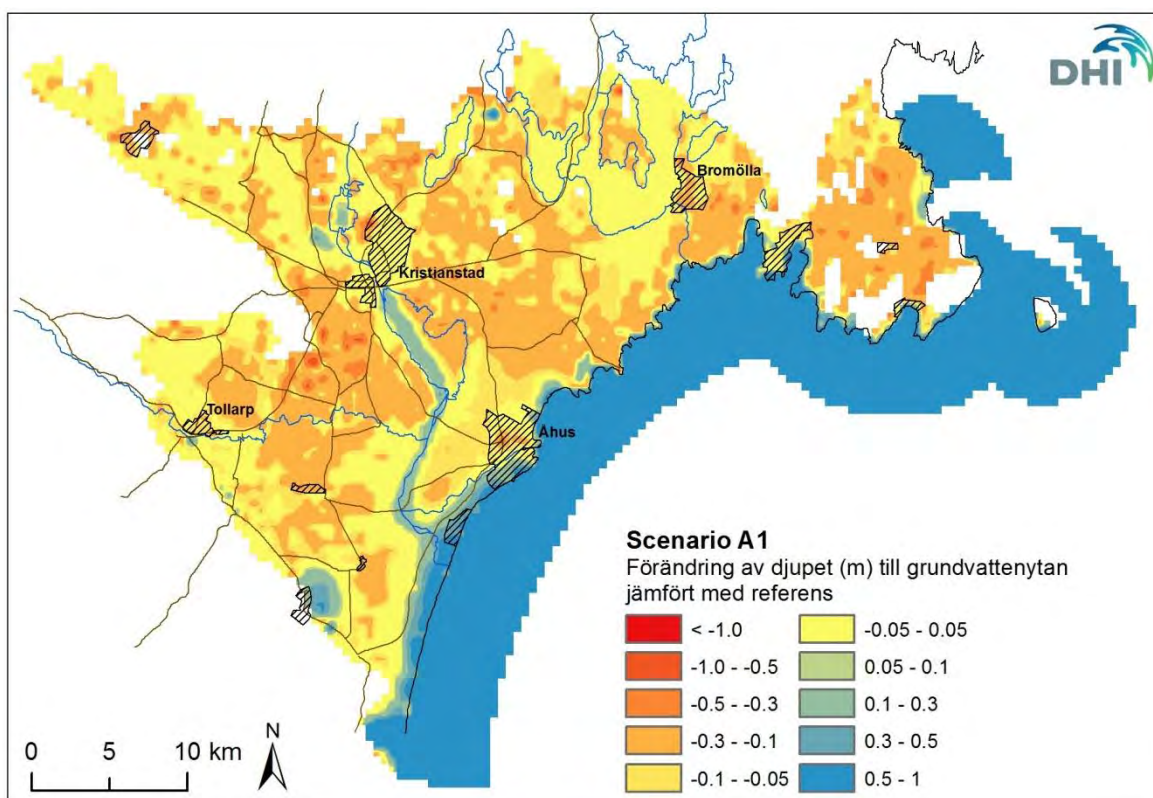
A.3 Förändring av djup till grundvattenytan



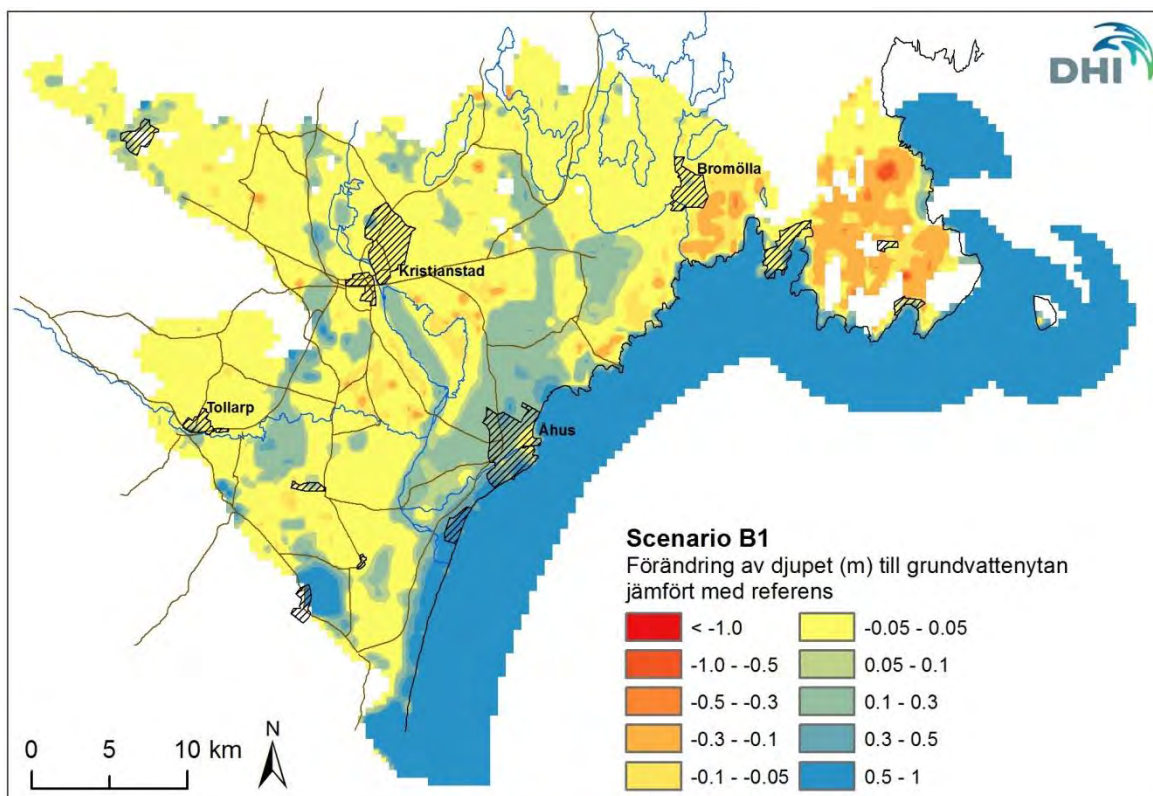
Figur A-10. Förändring av djup (m) till grundvattenytan för Scenario A jämfört med referens, våren år 29.



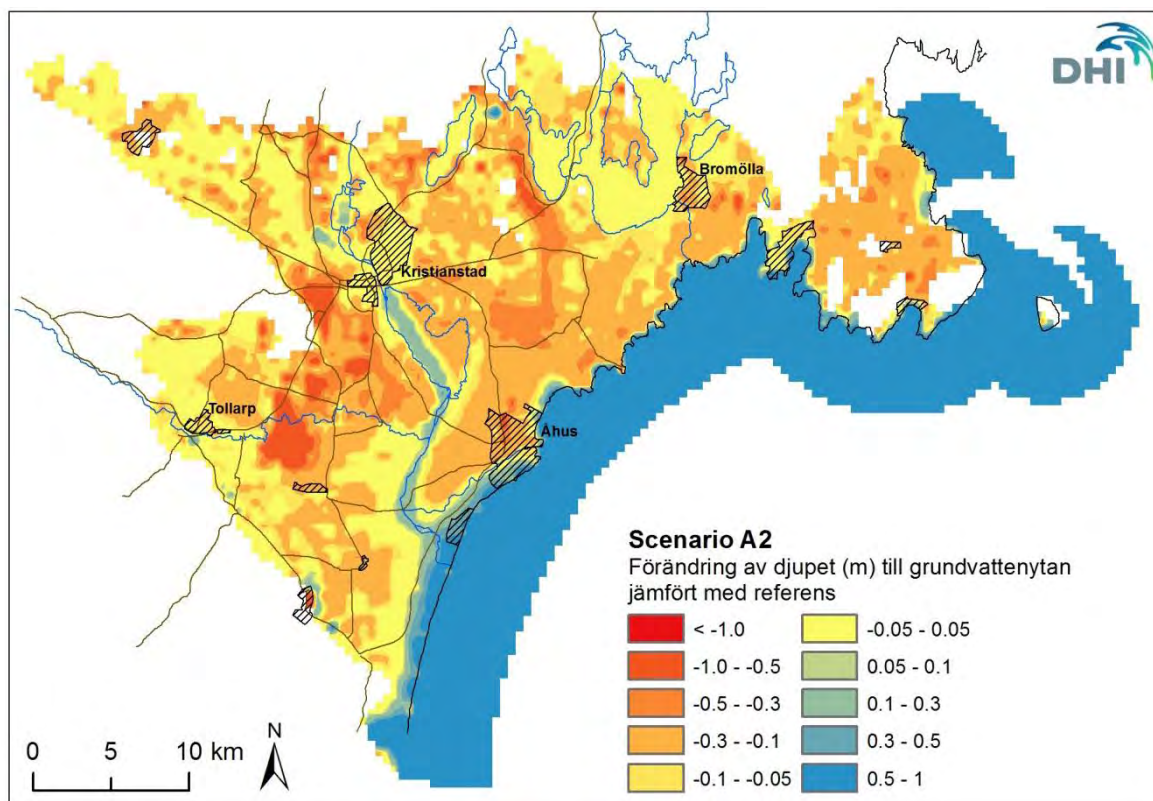
Figur A-11. Förändring av djup (m) till grundvattenytan för Scenario B jämfört med referens, våren år 29.



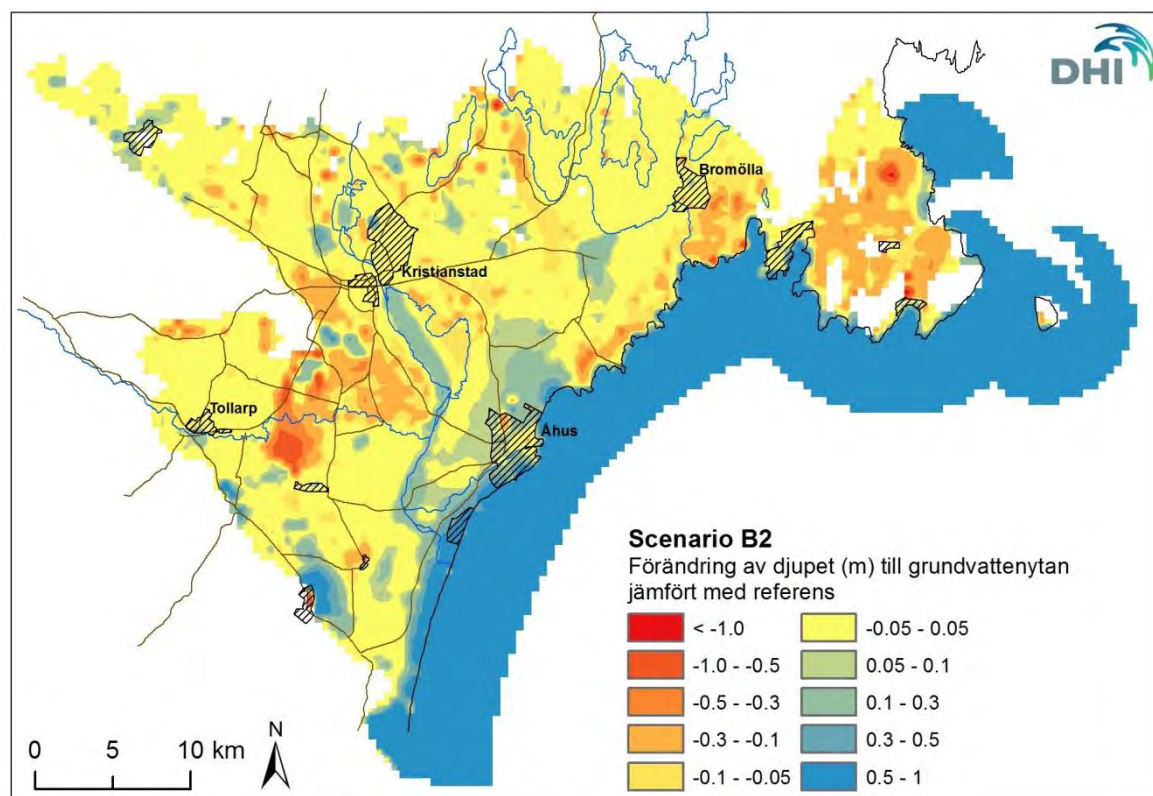
Figur A-12. Förändring av djup (m) till grundvattenytan för Scenario A1 jämfört med referens, februari år 29.



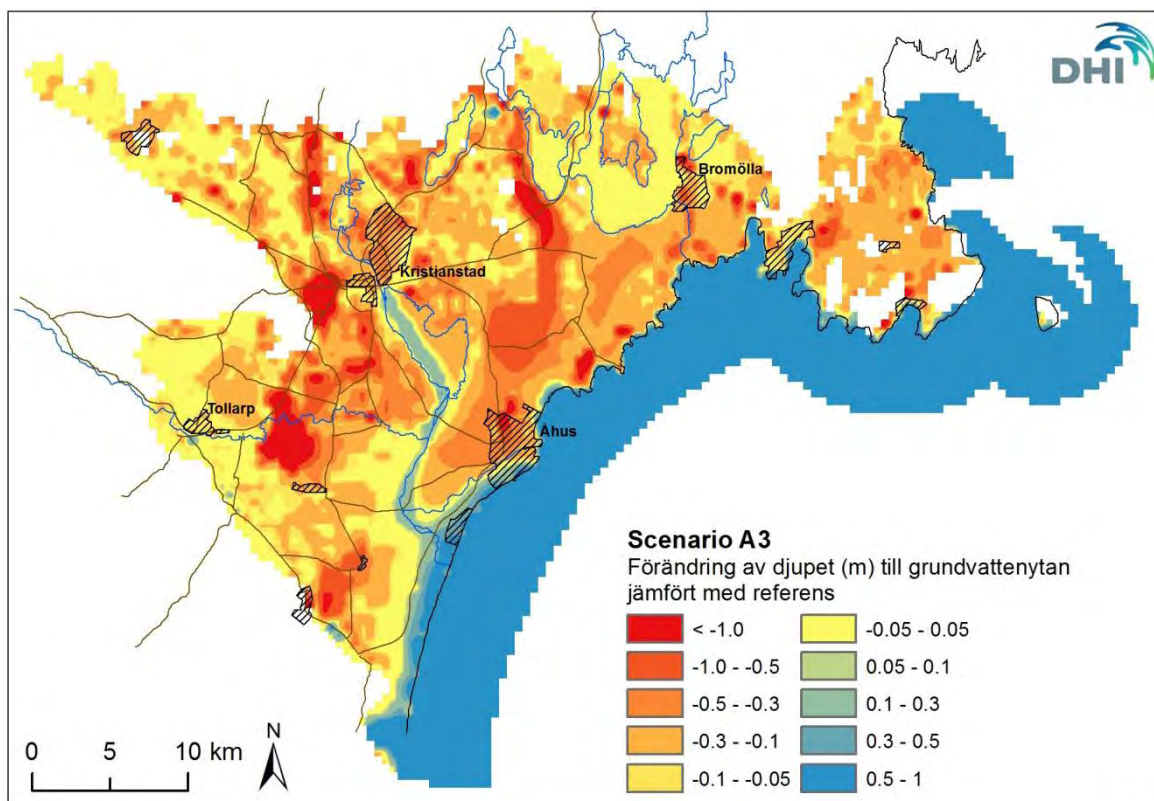
Figur A-13. Förändring av djup (m) till grundvattenytan för Scenario B1 jämfört med referens, februari år 29.



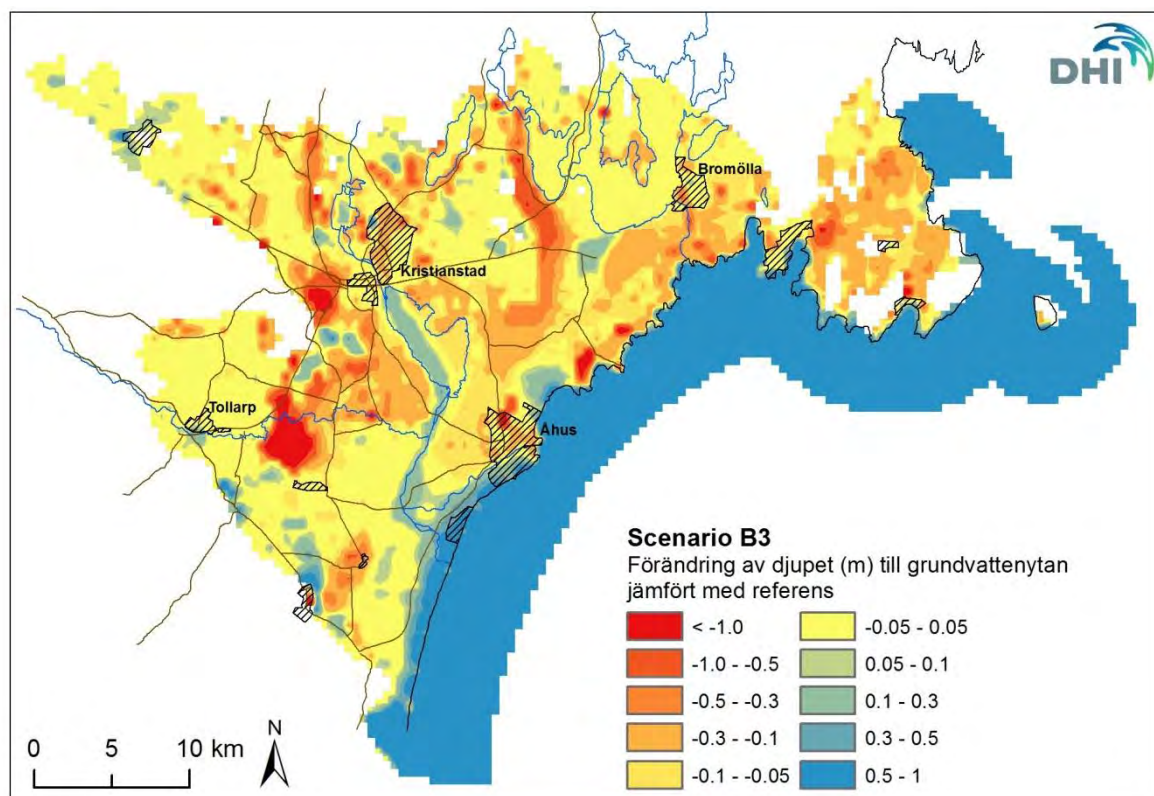
Figur A-14. Förändring av djup (m) till grundvattenytan för Scenario A2 jämfört med referens, februari år 29.



Figur A-15. Förändring av djup (m) till grundvattenytan för Scenario B2 jämfört med referens, februari år 29.



Figur A-16. Förändring av djup (m) till grundvattenytan för Scenario A3 jämfört med referens, februari år 29.



Figur A-17. Förändring av djup (m) till grundvattenytan för Scenario B3 jämfört med referens, februari år 29.

