

Gunn Persson, Elin Sjökvist, Sofia Åström, Dan Eklund, Johan Andréasson, Anna Johnell,
Magnus Asp, Jonas Olsson och Signild Nerheim

Rapport Nr 2011-52

Klimatanalys för Skåne län



Pämbild: Rönne å svämmar över sina bräddar. Foto: Anna Stenlo, Länsstyrelsen i Skåne län



Författare:

Gunn Persson m.fl.

Uppdragsgivare:

Länsstyrelsen Skåne län

Rapportnr:

2011-52

Granskningsdatum:

2012-02-24

Granskare:

Sten Lindell

Dnr:

2011/1216/204

Version:

1.2*

Klimatanalys för Skåne län

Uppdragstagare

SMHI
601 76 Norrköping

Projektansvarig

Johan Andréasson

011-495 8609

joan.andreasson@smhi.se

Uppdragsgivare

Länsstyrelsen Skåne län

Kontaktperson

Therése Ehrnstén

Distribution

Klassificering

Allmän

Nyckelord

Klimatanalys, klimatsammanställning, klimatscenarier, hydrologiska förändringar

Övrigt

- Kompletterad efter länsstyrelsens önskemål 2012-01-23 och SMHI granskning
-

Sammanfattning

Länsstyrelsen i Skåne län har uppdragit åt SMHI att genomföra en analys och sammanställning av dagens och framtida klimat i Skåne län. SMHI har utfört en regional klimatanalys för perioden fram till slutet av innevarande sekel för länet. Syftet var att beskriva dagens och framtidens situation med hänsyn till ett klimat i förändring speciellt med avseende på havsvattenstånd, vattenföringsdynamik, skyfall och torka. Analysen utgår från ett underlag baserat på de senast tillgängliga klimatscenerierna.

Arbetet grundar sig på observationer och analyser från SMHI samt klimatscenerier från den internationella klimatforskningen. Framtidsberäkningarna avser i första hand tidsperioden fram till år 2100. För att ge en bild av de osäkerheter som råder om framtidens klimat har ett flertal klimatscenerier utnyttjats. Detta urval är betydligt mer omfattande än det begränsade antal scenarier som fanns tillgängliga när Klimat- och sårbarhetsutredningen lade fram sitt slutbetänkande hösten 2007.

Rapporten har utarbetats vid SMHIs avdelning Miljö & Säkerhet. Följande huvuddrag framgår för Skåne län:

- Klimatberäkningarna visar en successiv ökning av årsmedeltemperaturen för Skåne län under det innevarande seklet, men med stor variation mellan år. Temperaturökningen ses under alla årstider men är mest framträdande under vintern. Den beräknade årsmedeltemperaturen ligger i medeltal på drygt 11°C vid slutet av seklet. För referensperioden 1961-1990 var årsmedeltemperaturen för länet drygt 7°C.
- Årsmedelnederbörden ökar successivt framöver, men med stor variation mellan åren. I slutet av seklet visar medianvärdet av beräkningarna på att årsmedelnederbörden ökar med ca 20% jämfört med referensperioden 1961-1990. Den största ökningen av nederbörden sker på de högre terrängpartierna.
- De kraftiga regnen förväntas öka i intensitet, dvs. mer regn på kortare tid. En analys av data från klimatscenerier visar en ökning på över 30%, för 30-minuters nederbörd med 10-års återkomsttid¹, vid slutet av seklet.
- Antalet dagar med torra förhållanden i marken under växtsäsongen ökar. Vid slutet av seklet är ökningen 50-80 fler torra dagar, vilket är en kraftig förändring för vegetationen.
- Vattenföringen i vattendragen förändras med tiden så att den ökar i början och slutet av året och minskar under våren och sommaren. Årsmedelvattenföringen minskar med ca 5%. Medelvattenföringen sommartid minskar med ca 30%.
- Det beräknade framtida 100-årsflödet väntas öka med ca 20% vid slutet av seklet för Helge å. För Nybroån, Høje å och Råån ses däremot en minskning mot ca -10%.

Beräkningar av havsvattenstånd har gjorts för Viken, Barsebäck, Klagshamn, Skanör, Ystad, Simrishamn och Kungsholmsfort. Beräkningarna visar att en global höjning av havsnivån på +1 m fram till år 2100 innebär för Skånes del att:

- Medelvattenytan höjs med cirka 85 cm vid Viken, Barsebäck och Kungsholmsfort, och med cirka 90 cm i Klagshamn, Skanör, Ystad och Simrishamn.

¹ Med en händelses återkomsttid menas att händelsen i genomsnitt inträffar eller överträffas en gång under denna tid.

- Vattenstånd med 100 års återkomsttid höjs med 85- 90 cm, dvs. på samma sätt som medelvattenytan. Detsamma gäller 2, 10 och 50 års återkomsttid.
- Det innebär att kring år 2100 beräknas 100-årsvattenståndet variera mellan ca 215 cm och 260 cm (RH2000) längs Skåne läns kust.
- De beräkningar av återkomsttider som presenteras i denna rapport ligger 20 -25 cm högre än de beräkningar som presenteras i Nerheim (2007). Den relativa förändringen av medelvattenytan fram emot 2100 är ca 20 cm högre i de beräkningar som presenteras i denna rapport jämfört med de tidigare beräkningarna.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
2	BAKGRUND	1
3	SKÅNE LÄN	2
3.1	AVRINNINGSOMRÅDEN OCH SJÖAR	2
3.2	KLIMATET	4
3.2.1	<i>Temperatur.....</i>	4
3.2.2	<i>Nederbörd.....</i>	5
3.2.3	<i>Extrem korttidsnederbörd</i>	6
3.2.4	<i>Snö och is.....</i>	7
3.2.5	<i>Avrinning</i>	7
3.2.6	<i>Vindar</i>	9
3.2.7	<i>Åska och blixnar</i>	9
3.2.8	<i>Några väderrekord i Skåne län</i>	9
4	METOD FÖR FRAMTIDSANALYS.....	10
4.1	STUDERADE KLIMATINDEX	10
4.2	GEOGRAFISKT ANALYSOMRÅDE	10
4.3	TIDSPERIODER	11
4.4	VARIATION OCH OSÄKERHET	11
4.5	BERÄKNINGSMODELLER	12
4.6	KLIMATDATA FÖR EFFEKTSTUDIER	13
4.7	UTSLÄPPSCENARIER	15
4.8	KLIMATSCENARIER.....	15
4.8.1	<i>Klimatscenarier i denna studie</i>	16
5	SKÅNE LÄNS FRAMTIDSKLIMAT.....	18
5.1	TEMPERATUR	18
5.1.1	<i>Medeltemperatur för år och säsong.....</i>	18
5.1.2	<i>Varma perioder.....</i>	20
5.2	NEDERBÖRD	21
5.2.1	<i>Medelnederbörd för år och säsong</i>	21
5.2.2	<i>Extrem korttidsnederbörd</i>	23
5.3	TORKA OCH MARKFUKTIGHET	25
5.4	VATTENFÖRING	31
5.4.1	<i>Vattenföringens säsongsvariation.....</i>	31
5.4.2	<i>Medelvattenföring.....</i>	34
5.4.3	<i>100-årsflöden.....</i>	40
5.5	GRUNDVATTEN	47
6	HAVSVATTENSTÅND	48
6.1	DET GLOBALA HAVSVATTENSTÅNDET	48
6.2	HAVSVATTENSTÅND KRING SKÅNES KUST I DAGENS KLIMAT.....	50
6.2.1	<i>Vattenståndsvariationer.....</i>	51
6.2.2	<i>Adventstormen 2011.....</i>	53
6.2.3	<i>Medelvattenstånd</i>	55
6.2.4	<i>Beräknade extrema vattenstånd.....</i>	57
6.3	HAVSVATTENSTÅND KRING SKÅNES KUST I FRAMTIDENS KLIMAT	59
6.3.1	<i>Metodik</i>	59
6.3.2	<i>Medelvattenstånd</i>	59
6.3.3	<i>Beräknade extrema vattenstånd.....</i>	61
6.3.4	<i>Diskussion</i>	64
7	SLUTSATSER.....	64
8	REFERENSER	66

9	BILAGOR.....	70
---	--------------	----

1 Inledning

Länsstyrelsen i Skåne län ser behov av ett klimatunderlag för länet utöver det som erbjuds genom SMHIs anslagsverksamhet. SMHI har därför på beställning av länsstyrelsen utfört en regional klimatanalys för Skåne län. Analysen omfattar en stor mängd data och beräkningar som syftar till att ge en översiktlig bild av klimatförhållandena i länet såväl under dagens klimatförhållanden som i framtidens klimat. Arbetet är baserat på observationer och beräkningar från SMHI samt klimatscenarioer från den internationella klimatforskningen. Framtidsberäkningarna avser i första hand tidsperioden fram till år 2100.

Föreliggande rapport har utarbetats vid SMHIs avdelning Miljö & Säkerhet.

2 Bakgrund

Planering i långa tidsperspektiv baseras med fördel på ett underlag som tar hänsyn till de osäkerheter som ofrånkomligen finns i alla förutsägelser om framtiden. Ett sätt att ta hänsyn till osäkerheterna är att arbeta med så kallade scenarier som beskriver olika möjliga framtidsutvecklingar. Inom det internationella forskningssamhället genomförs stora ansträngningar för att beräkna och tolka utvecklingen av det framtida klimatet.

Dynamiken och förekomsten av vatten kommer att förändras eftersom ett förändrat klimat innebär väsentliga skillnader i årstidernas karaktär, speciellt med avseende på temperatur och nederbörd. Säsongsvariationen i vattenföring drivs till stor del av nederbördsmonster och lagring av vatten i landskapet exempelvis som snö eller i sjöar. I områden av Sverige med längre köldperioder lagras betydande mängder vatten under vintern i form av snö som under en relativt kort period smälter när temperaturen stiger under vår och försommar. I ett klimat med högre temperaturer kan denna säsongsvariation förändras och bli mindre accentuerad, samtidigt som höga flöden kan uppträda vintertid. Intensiva skyfall uppträder idag främst sommartid och orsakar ibland översvämningar, speciellt för vattensystem som inte dimensionerats för extrema flöden såsom exempelvis kombinerade dag- och spillvattensystem samt dränering i anslutning till infrastruktur. I ett framtida varmare klimat med ökad konvektiv nederbörd kan riskerna för skyfall komma att öka.

Beräkningar av framtida klimat har tidigare genomförts i bland annat den statliga Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU, 2007a). För dessa analyser användes sex klimatscenarioer framtagna av SMHI (se mer beskrivning av dessa i kapitel 4.8). Ett delbetänkande berörde även översvämningssproblematiken där de faktorer som leder till höga flöden identifierades; exempelvis extrem nederbörd och intensiv snösmältning (SOU, 2006). Underlag till detta delbetänkande levererades av SMHI (Bergström m.fl., 2006). Klimat- och sårbarhetsutredningen sammanställde även riskerna för naturolyckor i ett förändrat klimat (SOU, 2007b).

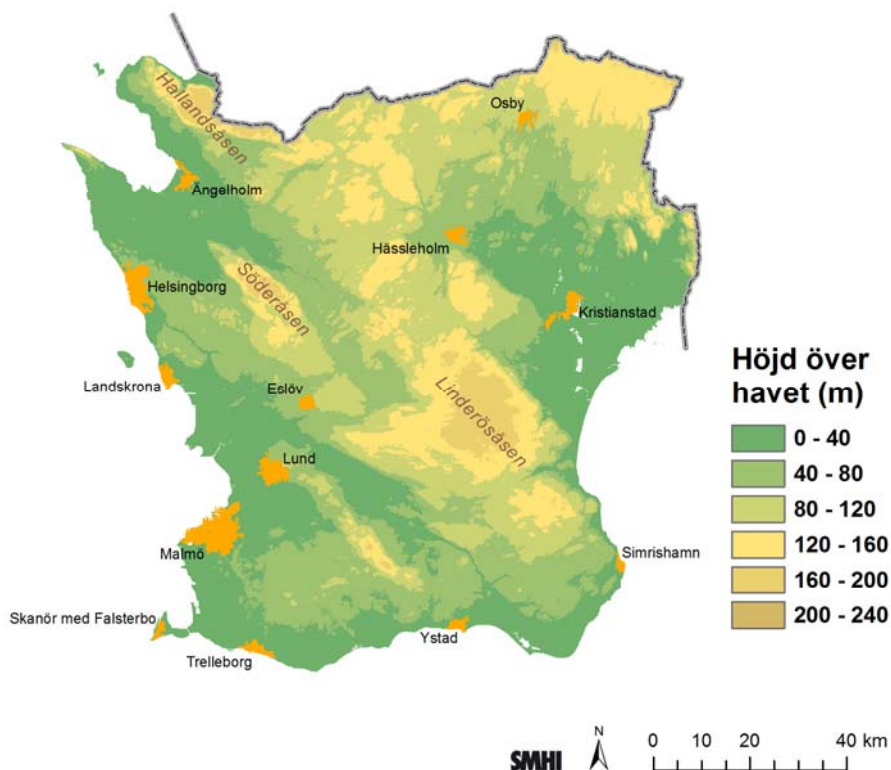
Inom det EU-finansierade projektet ENSEMBLES (van der Linden and Mitchell, 2009) har ett ensemblesystem utvecklats för beräkning av klimatförändringar baserat på de bästa europeiska globala och regionala klimatmodellerna med hög upplösning. Idag finns fler klimatscenarioer tillgängliga än tidigare, och för analysen av temperatur, nederbörd och klimatpåverkade flöden i denna rapport har 16 olika klimatscenarioer använts. Dessa scenarier kommer både från ENSEMBLES-projektet och från Rossby Centre vid SMHIs forskningsenhet. Att analysera en samling klimatscenarioer ger nya och bättre möjligheter att behandla de osäkerheter som är nära förknippade med frågeställningen.

SMHI har under senare år också utvecklat tekniken att använda resultat från klimatscenarioerna, vilket beskrivs i kapitel 4.6, och att presentera klimatdata i diagram och kartor.

3 Skåne län

I detta kapitel beskrivs Skåne läns landskap och klimat översiktligt. Beskrivningen baseras främst på faktablad från SMHI och de klimatkartor som tillsammans med information i Kunskapsbanken finns publicerat på www.smhi.se. Sveriges nationalatlas band om Skåne finns även refererad i texten.

Skåne läns areal är 11 035 km² (2007) och är uppdelad i 33 kommuner med totalt ca 1,2 miljoner invånare (Länsstyrelsernas GIS-tjänster). Skåne är ett slättlands- och backlandskap med kust i väster-söder-öster. Landskapet är mycket varierat med moränbackar blandat med slätter men också skogsområden och horstar (figur 3-1).



Figur 3-1. Skåne län, dess topografi och större samhällen. Kartan är producerad med Lantmäteriets data under Länsstyrelsens tillstånd för publicering av data och med data från SMHI.

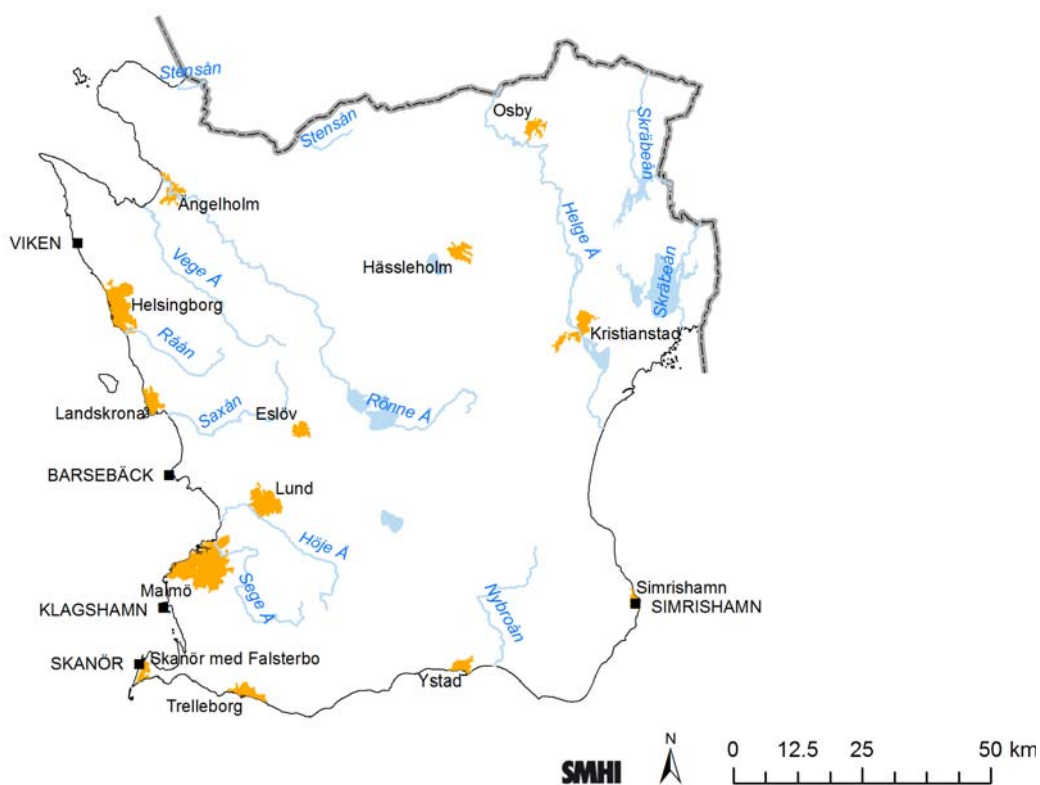
3.1 Avrinningsområden och sjöar

I Sverige finns totalt 119 huvudavrinningsområden. I Skåne län finns hela eller delar av 12 huvudavrinningsområden varav alla, utom Lagan, har sin mynning inom länet. Lagan har enbart 1,2 % av sitt avrinningsområde i Skåne, vilket är 0,7 % av länets areal. De övriga vattendragen är listade i tabell 3-1 (se även figur 3-2). Områden som inte ingår i huvudavrinningsområdena utgör ca 21 % av länets areal och är huvudsakligen kustområden.

Inom högländets sluttningområden finns många och små sjöar, i övrigt är sjöarna få. Det finns totalt 494 sjöar varav 319 är 0,01-0,1 km². Endast 8 sjöar är 10-100 km² och det finns inga sjöar som är större än 100 km² (SMHI, 2002). I Sverige finns drygt 100 000 sjöar större än 1 hektar (0,01 km²) (SMHI, 2008).

Tabell 3-1. Avrinningsområden i Skåne län, deras totala areal och den procentuella andelen av den totala arealen som finns inom länet samt hur stor del av länets areal som upptas av respektive avrinningsområde (SMHI, 2002).

Nr	Avrinningsområde	Total area (km ²)	Areaandel inom länet (%)	Del av länets areal (%)
88	Helge å	4749	63	26,6
96	Rönne å	1897	99	16,6
92	Kävlingeån	1204	100	10,6
87	Skråbeån	1006	64	5,7
95	Vege å	488	100	4,3
93	Saxån	360	100	3,2
90	Sege å	334	100	2,9
91	Höje å	316	100	2,8
89	Nybroån	316	100	2,8
94	Råån	193	100	1,7
97	Stensån	284	46	1,1



Figur 3-2. Skåne läns huvudvattendrag och större samhällen samt kuststationer för vattenstånd (versala).

3.2 Klimatet

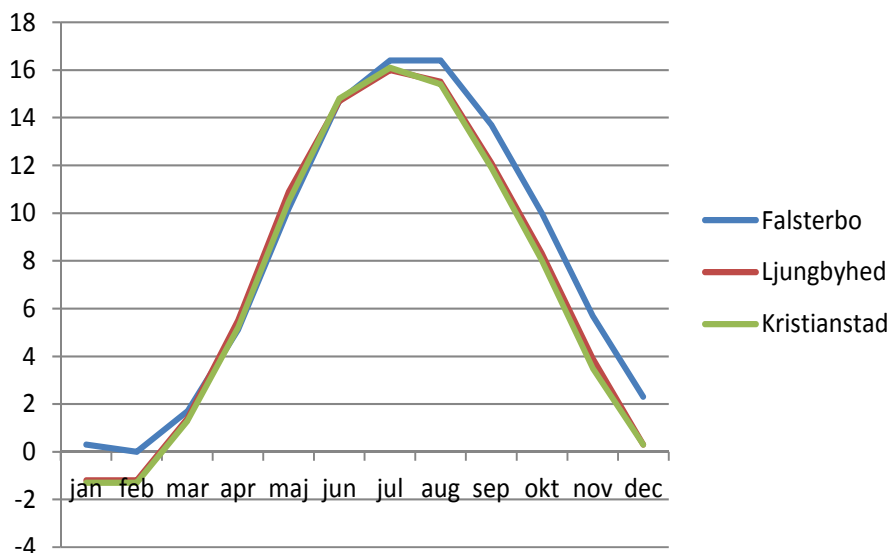
Skånes klimat präglas av kust- och inlandsklimat. Kännetecknande för kustklimatet är kraftigare vindar, mindre nederbörd och mindre temperaturvariationer. Havets fördröjande effekt gör att våren kommer senare, eftersom havet då kyler, och hösten blir längre, eftersom havet då värmer. Jordbruksområdena är öppna och ofta kustnära, skog finns på horstarna men också på lägre liggande områden.

3.2.1 Temperatur

Temperaturvariationerna i landskapet betingas till största delen av topografin. Ju högre desto lägre temperatur. Under vintern är havet varmare än land och vindarna från Nordatlanten ger därför ett mildare klimat. På sommaren har istället västvindarna en svalkande effekt eftersom ytvattnet i Nordatlanten är svalare än den uppvärmda luften (SNA, 1999).

Medeltemperaturen i januari varierar från 0°C på Falsterbonäset till -2°C vid Smålandsgränsen. I juli varierar medeltemperaturen från 15°C i trakterna av Fagerhult till 17°C i Malmö. Skåne, som är vårt sydligaste län är också det varmaste och sommaren är längre i Skåne än i övriga delar av Sverige. Variationerna i temperatur mellan år och inom år kan dock vara stora. Den ovanligt varma och torra sommaren 1955 inleddes t.ex. med extremt kyligt väder och det kom även lite snö så sent som 8 juni (SMHI, 2009a).

För att beskriva klimatvariationerna i Skåne representeras länet här av de tre mätstationerna Falsterbo, Ljungbyhed och Kristianstad (figur 3-3). Ljungbyhed och Kristianstad har mycket lika temperaturklimat. Årsmedeltemperaturen är 7,2°C vid Ljungbyhed och 7,0°C i Kristianstad. Klimatet i Falsterbo är varmare under höst-vinter vilket ger en årsmedeltemperatur på 8,0 °C.



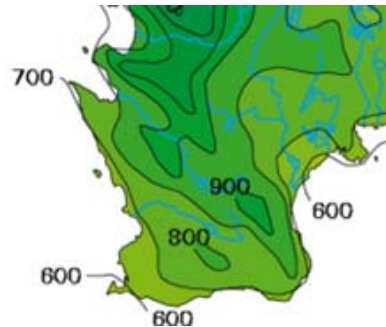
Figur 3-3. Månadsmedeltemperaturer (°C) för perioden 1961-1990 (s.k. normalperiod) för mätstationerna Falsterbo, Ljungbyhed och Kristianstad. Källa: SMHI:s Klimatarkiv.

I en studie av värmeböljor i Sverige 1961-2010 (SMHI, 2011 b) dyker åren 1994 och 1997 upp för Skånes del. Falsterbo och Bollerup hade 12 sammanhängande dagar med dygnsmedeltemperaturer på minst 22 °C juli-augusti 1994. Malmö och Helsingborg hade 11 dagar och Lund 10 dagar under samma period. I augusti 1997 hade Lund 16 dagar och Falsterbo 10 sammanhängande dagar med dygnsmedeltemperaturer på minst 22 °C. Samma år noterades i Kristianstad 23 sammanhängande

högsummardagar dvs. dagar då maxtemperaturen $\geq 25^{\circ}\text{C}$. Av varmaste tropiska nätter (dvs. $> 20^{\circ}\text{C}$) finns Sverigerekordet $23,7^{\circ}\text{C}$ från Kullen 10 augusti 1975.

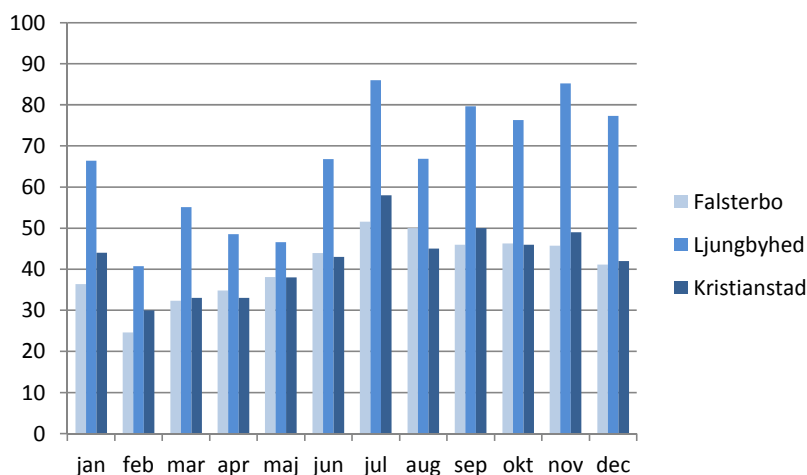
3.2.2 Nederbörd

Topografin har en avgörande betydelse för hur nederbörden fördelas (figur 3-4). Årsmedelnederbörden i Skåne ökar i genomsnitt med 150 mm per 100 m stigning (SNA, 1999). Frontnederbörd dominerar under höst och vinter men sommaren har en mer skurbetonad nederbörd, med stora mängder under kort tid. Ett exempel på nederbörd under kort tid är att det i Degeberga, Kristianstad föll 50 mm på 15 minuter den 8 juli 1973 (SMHI, 2001).



Figur 3-4. Den uppskattade verkliga årsmedelnederbörden 1961-1990.

Temperaturmässigt är Kristianstad och Ljungbyhed lika såsom framkom i det tidigare avsnittet. Vad gäller nederbördsfördelningen är dock snarare Falsterbo och Kristianstad lika (figur 3-5). Klimatet längs kusten kännetecknas bl.a. av mindre nederbörd vilket här representeras av Falsterbo och Kristianstad, med 491 mm respektive 511 mm i årsmedelnederbörd 1961-1990. Motsvarande siffra för Ljungbyhed, som representerar inlandsklimatet, är 796 mm och det är särskilt under den senare delen av året som nederbörden är högre där jämfört med de två andra stationerna. De siffror som här nämns är baserade på mätningar och är därför lägre än de i figur 3-4, som visar värden justerade för mätförluster.



Figur 3-5. Månadsmedelnederbörd (mm) 1961-1990 för stationerna Falsterbo, Ljungbyhed och Kristianstad. Årsmedelnederbörden är 491 mm i Falsterbo, 796 mm i Ljungbyhed och 511 mm i Kristianstad. Källa: SMHI:s Klimatarkiv.

3.2.3 Extrem korttidsnederbörd

En analys av extrem korttidsnederbörd i dagens klimat har gjorts baserad på nederbördsmätningar utförda var 15:e minut med fasta intervall (00, 15, 30 och 45 minuter varje timme) från 7 stationer i regionen; Hallands Väderö, Hanö, Helsingborg, Hörby, Malmö och Skillinge i Skåne län samt Ljungby i Kronobergs län. För de utvalda stationerna har beräkningar av återkomsttider för 15-minuters nederbörd utförts. Med en händelses återkomsttid menas att händelsen i genomsnitt inträffar eller överträffas en gång under denna tid.

De använda stationerna upprättades 1995. Under de 26 år som stationerna använts har dataunderlaget för några stationer under enstaka år varit för litet för att kunna utnyttjas. För samtliga stationer har dock minst 13 års data kunna utnyttjas, de flesta har 14 års data eller mer. Vid statistisk återkomsttidsanalys av tidsserier brukar en tumregel vara att inte extrapolera återkomsttiden från analysen längre än dubbla tidsseriens längd. Därför redovisas inte resultat för återkomsttider längre än 30 år. Ju högre återkomsttid desto större osäkerhet och för 30-årsvärden är osäkerheten relativt stor.

Den statistiska extremvärdesanalysen baseras på varje års maximala nederbördsmängd under 15 minuter. Alla års maximala nederbördsmängd under 15-minuter (årsmaxima) har för samtliga analyserade stationer inträffat under perioden juni-september. Det är förväntat eftersom det är den tid på året då kraftig skurnederbörd (s.k. konvektiv nederbörd) är vanligast. Majoriteten av årsmaxima har inträffat i juli och augusti.

Två olika fördelningsfunktioner har testats: Gumbel (anpassning till rät linje) och GEV (Generalized Extreme Value distribution, anpassar värdena till en krökt kurva). Gumbel-anpassningen visade sig följa observationerna bäst för de flesta stationer och därför ligger denna fördelningsfunktion bakom resultaten.

Resultaten presenteras i tabell 3-2 som mm nederbörd under 15 minuter med återkomsttiderna 1, 2, 5, 10, 20 och 30 år för de analyserade stationerna. Nederbördsmängd anges i mm oavsett om nederbörden faller som snö, hagel eller regn. Vid snöfall eller hagel menas mm vatten som snön respektive haglet skulle vara i smält form.

Tabell 3-2. Nederbörd under 15 minuter (mm) med återkomsttiderna 1, 2, 5, 10, 20 och 30 år.

Station	Återkomsttid					
	1 år	2 år	5 år	10 år	20 år	30 år
Hallands Väderö	7	8	10	12	13	14
Hanö	7	9	12	14	17	18
Helsingborg	8	9	11	13	14	15
Hörby	7	9	12	14	17	18
Malmö	8	9	11	12	13	14
Skillinge	6	7	9	10	11	12
Ljungby	8	12	17	20	24	26

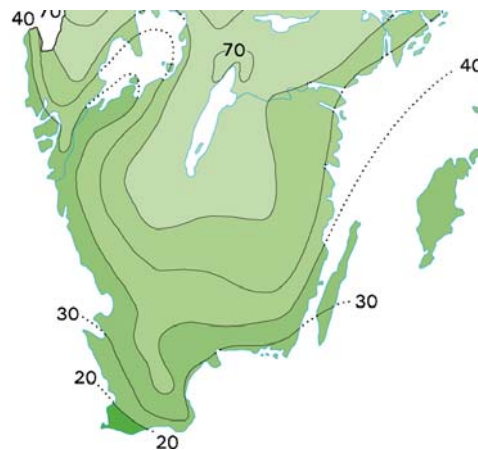
Den extrema korttidsnederbörden, dvs. kraftiga skurar, faller alltså under sommaren som regel. De kan då orsaka lokala problem med t.ex. översvämmade vägar och källaröversvämmningar, vilket kan vara nog så besvärligt för den som drabbas. Mer sällan påverkar de dock flödena nämnvärt i vattendragen mer än i mycket små bäckar med snabba förlopp dvs. som dränerar lokala små områden eller

hårdgjorda ytor. För större vattendrag krävs som regel längre perioder med nederbörd och nederbörd över större områden (eller snösmältning) för att skapa höga flöden. I ett läge då det redan är höga flöden i ett vattendrag kan ett tillfälle med extrem korttidsnederbörd dock vara det som krävs för att skapa översvämning från vattendraget. Det är dock mindre vanligt, särskilt som den extrema korttidsnederbörden oftast inträffar under en period på året då, som regel, vattendragen har låg vattenföring. Det har dock förekommit i Skåne att översvämningssproblem, orsakade av fyllda vattendrag, inträffat under regniga somrar.

3.2.4 Snö och is

Endast 10-20% av årsnederbörden faller i form av snö och mest i de östra delarna av länet. Chansen att se marken snötäckt är störst i januari.

Medelvärde av årets största snödjup är 0-30 cm och antal dygn med snötäcke varierar mellan 0-70 för 1961-1990 (www.smhi.se, klimatkartor). Frekvensen av vita jular (minst 1 cm snö) 1931-1980 var störst i de höglänta områdena, 40-50% (figur 3-6). I Falsterbo är vita jular mycket ovanliga. I en studie över snötäcke på juldagens morgon i Lund 1900-1997 hade 10 dagar med ett snötäcke på 1-9 cm och endast 4 dagar hade snötäcke större än 9 cm (SMHI, 1998).

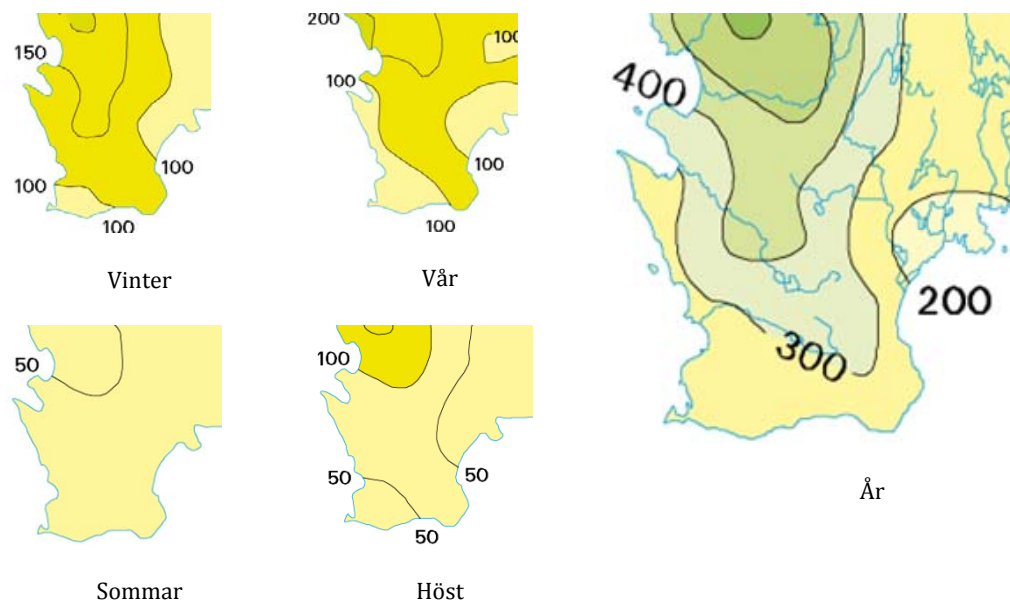


Figur 3-6. Frekvensen av vita jular 1931-1980. Källa: Klimatdata > Snö (www.smhi.se).

Isläggning och islossning rapporteras för ett antal svenska sjöar, bl.a. Osbysjön i Skåne, i SMHI:s faktablad "Vattenåret" sedan 2002. Isläggningsen i Osbysjön sker i medeltal 12 december och islossningen 26 mars för perioden 1961-1990. Variationen mellan år är stor och de senaste 9 åren har isläggningsen skett tidigast 17 november och senast 23 januari. Islossningens tidpunkt har varierat mellan 30 januari och 12 april.

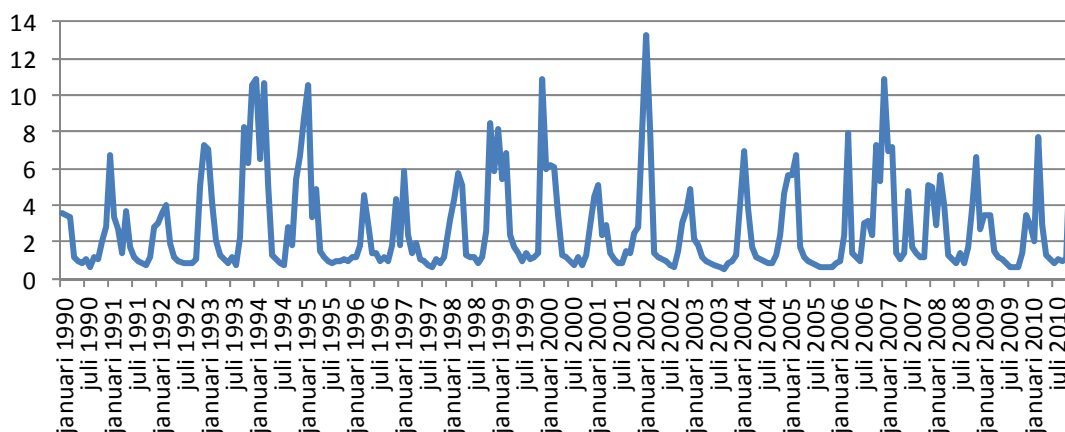
3.2.5 Avrinning

Avrinningsområdena i Skåne är, i ett Sverigeperspektiv, små och avvattningen till havet sker via åar med låg vattenföring. Avrinningen varierar inte så mycket över året (figur 3-7) beroende på att nederbörden endast till liten del lagras i form av snö. Det leder också till att vårfloden inte är så markant som i de norra delarna av Sverige. Ca 27% av länets areal utgör 63% av Helge ås avrinningsområde (tabell 3-1). Vattenföringen i Helge å (medelvattenföring vid mynningen ca 46 m³/s) kan jämföras med de större sydsvenska vattendragen.



Figur 3-7. Avrinning (mm) i medeltal perioden 1961-1990 för säsonger och år. Vinter = december-februari, vår=mars-maj, sommar=juni-augusti och höst=september-november. Källa: Klimatdata>Vattenbalans>Avrinning (www.smhi.se).

Vattenföringen varierar inom år och mellan år. I figur 3-8 syns perioder av hög vattenföring som toppar och perioder med låg vattenföring som dalar. Vanligen är vattenföringen låg under sommaren då avdunstningen är hög. I början och slutet av året är vattenföringen högre. Flödestoppar kan komma på våren eller på vintern. År 1996 hade t.ex. en flödestopp i april, sedan sjönk vattenföringen och var som lägst i augusti för att åter stiga och nå en topp i december. Till följd av kraftiga och/eller långvariga regn så kan även flödestoppar inträffa under sommaren, t.ex. drabbades Skåne i juli 2007.



Figur 3-8. Exempel på hur vattenföringen varierar mellan olika år i ett vattendrag i Skåne. I diagrammet visas modellberäknad månadsmedelvattenföring (m^3/s) för en punkt i Nybroån (6147030-1380610). Delavrinningsområdet är $34,8 km^2$ och hela avrinningsområdet för Nybroån är $275 km^2$. Källa: vattenweb.smhi.se.

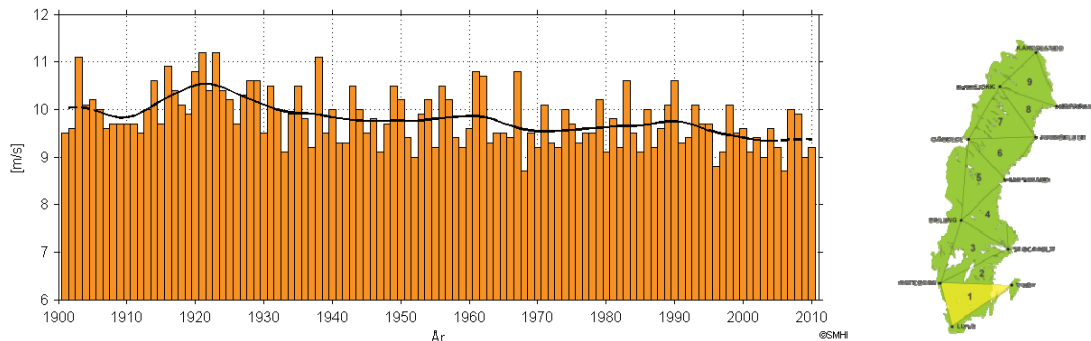
3.2.6 Vindar

Vindarna som präglar Skåne bildas huvudsakligen av två trycksystem över Nordatlanten. Tryckskillnaden dem emellan ger att luft strömmar norrut och länkas av mot öster p.g.a. jordens rotation. Vindriktningen är västlig till sydvästlig under större delen av året (SNA, 1999).

Det öppna landskapet gör att det blåser ofta och hårt. De högsta vindhastigheterna uppmätts vanligen september-mars. Starka vindar kan skada det skånska landskapet i form av jordflykt från åkrar, erosion vid kusterna och stormfällning av skog. Den 17 oktober 1967 drabbades de södra delarna av en svår orkan. Medelvinden i Ystad uppmättes till 33 m/s och var troligen högre vid Smygehuk, men vindmätaren blåste sönder innan vinden kulminerade (SMHI, 2009a).

Trots de oftast beskedliga vintrarna är det kombinationen av snö och blåst som skapar mycket svåra problem i Skåne. I en studie av vindklimatet i Sverige studerades, i brist på direkta mätningar, den s.k. geostrofiska vindhastigheten som baseras på lufttryckmätningar (Wern och Barring, 2009). Beräkningen tar inte hänsyn till landskapets friktion som bromsar vinden vilket innebär att den geostrofiska vinden är högre än den som direkta vindmätningar registrerar. Den linjära förändringen i geostrofisk vindstatistik 1901-2008 för triangel 1 (figur 3-9) visar en statistiskt signifikant minskning på -9% i medelvindhastighet och -37% för antal fall > 25 m/s. Värt att notera är dock att linjära trender påverkas mycket av vilken tidperiod som väljs. Den linjära förändringen för 1951-2010 visar även den på minskning men är inte statistiskt signifikant (SMHI, 2011c).

På www.smhi.se finns en interaktiv applikation, som uppdateras varje år, där olika vindmått, baserade på geostrofisk vind, presenteras för Sverige uppdelat i trianglar. I figur 3-9 visas medelvindhastigheten 1951-2010 för triangel 1.



Figur 3-9. Den geostrofiska medelvindhastigheten (m/s) för triangeln Lund-Visby-Göteborg 1951-2010. Källa: Klimatdata > geostrofisk vind (www.smhi.se)

3.2.7 Åska och blixtar

Nordvästra Skåne ligger inom det område som har flest åskdagar per år (> 25) i Sverige enligt en studie över registrerade urladdningar under perioden 2002-2009 (SMHI, 2011a). Variationen mellan åren är stor och för Götaland, den mest åskrika landsdelen, skedde över 100 000 urladdningar år 2002 men mindre än 40 000 urladdningar år 2008. Åskurladdningar kan förekomma när som helst under dygnet och året men vanligast är under eftermiddagar maj-september.

3.2.8 Några väderrekord i Skåne län

Av de svenska temperaturrekorden avseende högsta uppmätta månadsvärden återfinns maj (32,5°C Kristianstad 1892), september (29,1°C Stehag 1975), november (18,4°C Ugerup 1968) och december

(13,7°C Simrishamn 1977) för skånska mätstationer (Klimatdata > Temperaturrekord, www.smhi.se). Högsta uppmätta temperatur i Skåne är 36,0°C, från Ängelholm 30 juni 1947 (SMHI, 2009a).

Skånes lägsta temperatur, - 34°C, uppmättes i Sjöholmen (mellan Stehag och Höör) den 26 januari 1942. Det var vid tillfället vindstilla. Dagen innan visade termometern - 29°C men det blåste kuling på öppna platser. Det motsvarar ca - 47°C under vindstilla förhållanden (SMHI, 2009a).

Den högsta dygnsnederbörd som en SMHI-station i Skåne inrapporterat var 159 mm i Båstad 26 juli 1937. Ett icke-officiellt, men troligt, dygnsrekord på 260 mm kommer från en privat mätning i Vånga i nordöstra Skåne, 31 juli 1959. Den högsta uppmätta månadsnederbörden är 333 mm i Bäckaskog (öster om Kristianstad) juli 1959 (SMHI, 2009a).

Ett svårt snöoväder drabbade Götaland 11 januari 1968. I Skåne drabbades främst de östra delarna av länet. Kraftigt snöfall och stormvindar med snökaos på Österlen skedde 29 november 1973. Runt nyår 1978-79 rådde snökaos i södra Skåne. I februari 1979 var det dags igen. Då drabbades södra Skåne av det värsta snöovädet i Sverige sedan andra världskriget. Snö, hård vind och kyla ledde till kaosartade förhållanden (SMHI, 2000).

Svår torka rådde efter uppehållsväder 60 dagar i sträck under maj-juli 1992 i både Skåne och Blekinge (SMHI, 1999).

4 Metod för framtidsanalys

Klimatsammanställningen har gjorts för Skåne län avseende temperatur, nederbörd, vattenföring och havsnivå. Ett antal klimatindex har framtagits kopplade till temperaturer och nederbörd. Dessa beskrivs under kap 4.1.

4.1 Studerade klimatindex

Beräkningar och analyser av framtida klimatscenarier har gjorts för olika klimatindex.

- Kap. 5.1 Temperatur (medeltemperatur för år och säsong; varma perioder i form av antal 5-dygnsperioder med dygnsmedeltemperatur > 20°C)
- Kap 5.2 Nederbörd (medelnederbörd för år och säsong, extrem korttidsnederbörd)
- Kap 5.3 Markfuktighet (mått på torka)
- Kap 5.4 Vattenföring (säsongsvariation, medelvattenföring och flöden med 100 års återkomsttid)

4.2 Geografiskt analysområde

Det analyserade området avser Skåne län (figur 3-1) och resultaten presenteras i form av diagram och kartor. I diagrammen visas resultat för hela länet. Analyser gällande vattenföring presenteras för utvalda punkter som diagram, men också i kartformat.

4.3 Tidsperioder

I klimatstudier jämförs aktuella värden med medelvärden för en längre period, en referensperiod. I enlighet med internationell praxis används i denna rapport den så kallade standardnormalperioden 1961-1990 som referensperiod. Nästa standardnormalperiod kommer att bli 1991-2020.

Referensperiod och analysperiod för olika undersökta parametrar i denna utredning kan variera med ett par år beroende på datatillgång och den tid det tar för modellerna att nå ett rimligt starttillstånd.

De studerade tidsperioderna är förutom 1961-1990 för dagens klimat, 2021-2050 och 2069-2098 för analys av framtidsklimatet. Samtliga tidsperioder omfattar 30 år.

4.4 Variation och osäkerhet

Det är viktigt vid tolkning av resultat från analyser av förändringar i ett framtida klimat att ursprunget till de variationer och osäkerheter som förekommer tydligt framgår och även hur denna variation kan bidra med information. Tolkningen av rapportens grafer bör koncentreras till långsiktiga trender snarare än till absoluta värden. Där det är tillämpligt presenteras spridningsmått i form av percentiler för att indikera spridningen i resultat mellan olika klimatmodeller. I denna rapport används 25:e resp. 75:e percentilen, vilket betyder att i princip all data förutom de fyra lägsta och de fyra högsta scenarierna innefattas i datamängden när 16 olika scenarier används. Därmed fås en uppfattning av klimatsceniernas spridning. Detta underlättar tolkningen då det ger en mer samlad bild av den tänkbara framtidsutvecklingen.

Metoden som använts karakteriseras av att använda flera möjliga klimatscenarier, en så kallad *ensemble*, och bearbeta resultatet statistiskt. Syftet är att öka kvalitén i analysen och identifiera trender som är generella mellan olika scenarier. För att utnyttja fördelarna med ensembleanalys bör det finnas ett visst mått av variation. Speciellt gäller detta klimatsimuleringar där det är önskvärt att täcka in ett stort antal möjliga och olika scenarier som kan medföra mycket olika effekter. Hydrologisk respons som uppträder i flera olika klimatscenarier bedöms således mer trolig än hydrologisk respons som uppträder sporadiskt.

Osäkerheter i den typ av resultat som presenteras i denna analys påverkas av:

- Val av utsläppsscenarier
- Val av global klimatmodell
- Val av regional klimatmodell
- Naturlig variabilitet

Spridningen i resultat kan vara betydande för somliga klimatvariabler delvis beroende på att olika modeller beskriver klimatologiska processer på olika sätt, exempelvis återkopplingen mellan atmosfärisk koncentration av växthusgaser och temperatur.

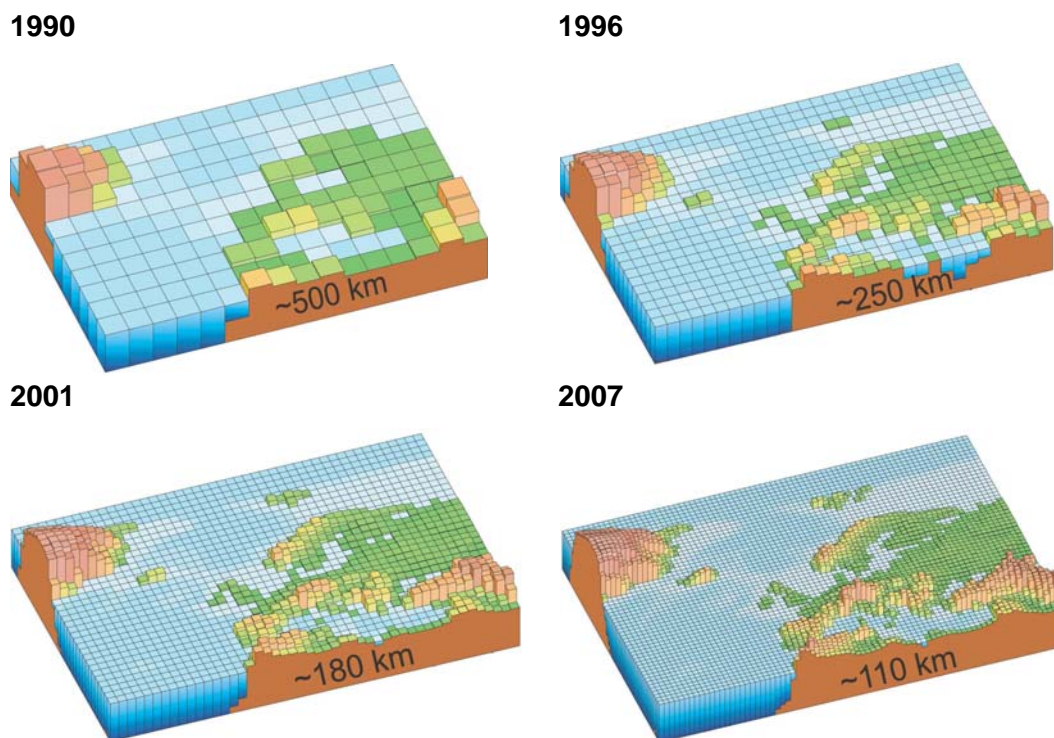
Det ligger i frågeställningens natur att det är svårt att på förhand definiera ett mått på responsen för ökade emissioner av växthusgaser, då detta är en effekt som modellerna syftar till att studera. Således är tillgången till flera olika klimatmodeller en stor fördel. Trender i respons som observeras i flertalet klimatmodeller och för flertalet utsläppsscenarier är således att betrakta som mer robust eftersom samma resultat uppnåts från olika oberoende förutsättningar. Om resultaten från olika modeller och utsläppsscenarier är mycket olika är osäkerheten större.

Det klimat som beskrivs av en klimatmodell kan inte förväntas vara i fas med det verkliga klimatet på kort tidsskala, ett fenomen som benämns naturlig variabilitet. Dock ska en välfungerande klimatmodell beskriva medelvärden och variabilitet med tillräcklig precision, t.ex. korrekt antal kalla och varma vintrar under en trettioårsperiod. Dessa vintrar kan infalla i en annan sekvens än i det observerade klimatet.

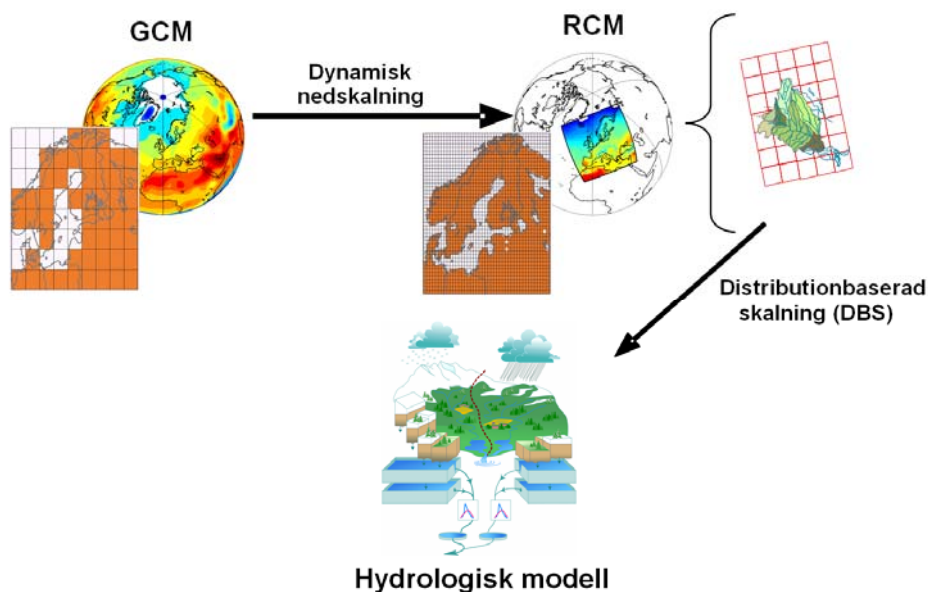
4.5 Beräkningsmodeller

För att få en översiktlig bild av framtida klimat används globala klimatmodeller (GCM) som beskriver luftströmmar och väderfenomen översiktligt över hela jorden. Dessa drivs bland annat med antaganden om framtidens utsläpp av växthusgaser, så kallade utsläppsscenarioer. Figur 4-2 visar hur upplösningen i de globala klimatmodeller som använts av IPCC utvecklats under de senaste 20 åren.

För mer detaljerade regionala analyser krävs en bättre beskrivning av detaljer som påverkar det regionala klimatet. Därför kopplas de globala klimatberäkningar till regionala klimatmodeller (RCM) med bättre upplösning och beskrivning av detaljer såsom exempelvis Östersjön och den Skandinaviska bergskedjan. Den regionala klimatmodellen drivs av resultat från den globala modellen på randen av sitt modellområde. Det gör att valet av global modell får stor betydelse för slutresultatet även regionalt. Regionala klimatmodeller finns bland annat vid forskningsenheten Rossby Centre på SMHIs forskningsavdelning. Figur 4-3 visar hur dataflödet ser ut mellan klimatmodeller på olika skalor och hur indata levereras till en hydrologisk modell där det är möjligt att studera effekter på vattenföring, magasineringen etc.



Figur 4-2. Horisontell upplösning i olika generationer av klimatmodeller som använts inom IPCC (modifierad efter IPCC 2007). Vertikal upplösning visas inte i figuren men följer en liknande utveckling mot finare upplösning.



Figur 4-3. Illustration av dataflödet mellan global- och regional modell samt nedskalning till hydrologisk modell.

Den hydrologiska modellen som används är HBV-modellen. Det är en konceptuell avrinningsmodell utvecklad vid SMHI sedan slutet av 1970-talet (Lindström, m.fl., 1997). Modellen byggs upp av beräkningsrutiner för markfuktighet, snöackumulation och snösmältning, grundvatten och routing (beskrivning av vattnets väg). Indata till modellen har i denna studie hämtats från regionala klimatmodeller efter DBS-skalering, som beskrivs i avsnitt 4.6.

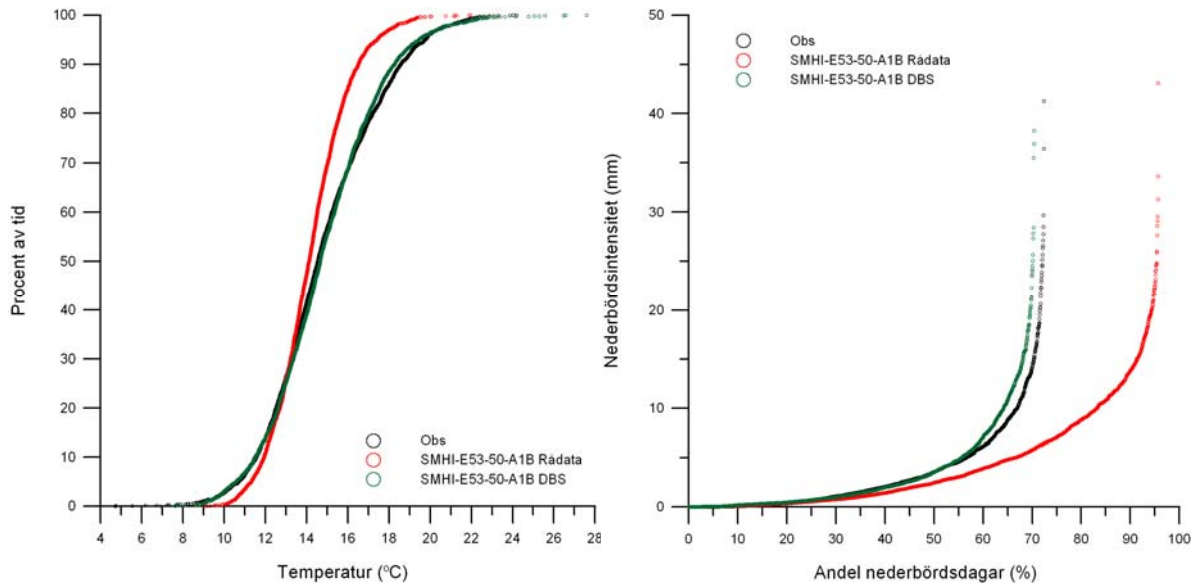
Analysen med HBV-modellen är gjord för *oreglerade* förhållanden. Det innebär att sjöar och reglerade magasin beskrivs som om de hade haft naturliga utlopp och inte aktivt reglerats för exempelvis vattenkraftsproduktion. Effekten av dessa reglerade magasin är dock begränsad för riktigt stora flöden, eftersom de måste släppas fram, oavsett reglering. Analyserna är gjorda för oreglerade förhållanden av flera skäl. Dels är det svårt att överblicka hur magasinerna regleras. Dessutom kan de regleringsstrategier som tillämpas under nuvarande klimatförhållanden komma att ändras när klimatet ändras. Andra faktorer, som exempelvis ändrade marknadsstrategier hos kraftproducenterna, kan ha minst lika stor effekt på vattenhushållningen som klimatförändringarna.

4.6 Klimatdata för effektstudier

För att använda klimatmodellernas utdata till att studera exempelvis hydrologiska effekter, krävs ett gränssnitt mellan klimatmodellen och den hydrologiska modellen. Anledningen är att klimatmodellerna inte kan beskriva det nutida klimatet tillräckligt väl för att ge en trovärdig hydrologisk respons, när utdata från klimatmodellen används direkt som indata till en hydrologisk modell.

Under senare år har en metod utvecklats som möjliggör en sådan anpassning. Metoden benämns DBS-metoden (Yang m.fl., 2010) och innebär att data från meteorologiska observationer används till att justera klimatmodellens resultat för att ta bort de systematiska felen. De korrigeringsfaktorer som då införs bibehålls vid beräkningen av framtidens klimat, varefter klimatberäkningens utdata blir statistiskt jämförbar med observationer och direkt kan användas som indata till en hydrologisk modell. Vid användning av DBS-metoden bibehåller man vid övergången till den hydrologiska modellen både förändringar i medelvärden och de förändringar i klimatets variabilitet som ges av klimatmodellen. Metoden har tidigare använts för hydrologiska modellberäkningar av Andréasson m.fl. (2011).

Figur 4-4 visar exempel på en anpassning med DBS-metoden. Figuren visar rådata i form av temperatur och andel nederbördsdagar och deras nederbördsintensitet från en klimatmodell, samt när dessa rådata anpassats med DBS-metoden. I figuren visas att data efter anpassningen stämmer väl överens med observerade data. Särskilt viktigt är att den överskattning av antal dagar med nederbörd med en viss intensitet som ges av klimatmodellen korrigeras.



Figur 4-4. Jämförelse mellan rådata från klimatmodeller och data som anpassats med DBS-metoden. Till vänster dygnsmedeltemperatur (procent av tiden som viss dygnsmedeltemperatur underskrids och till höger nederbörd (andel dagar med olika nederbördsintensitet).

En förutsättning när DBS-metoden används är att resultaten för framtida tidsperioder måste jämföras med historiskt klimat så som detta beskrivs av klimatmodellen och inte av meteorologiska observationer. Metoden innebär också att det inte är möjligt att jämföra individuella dagar eller år med observationsdata.

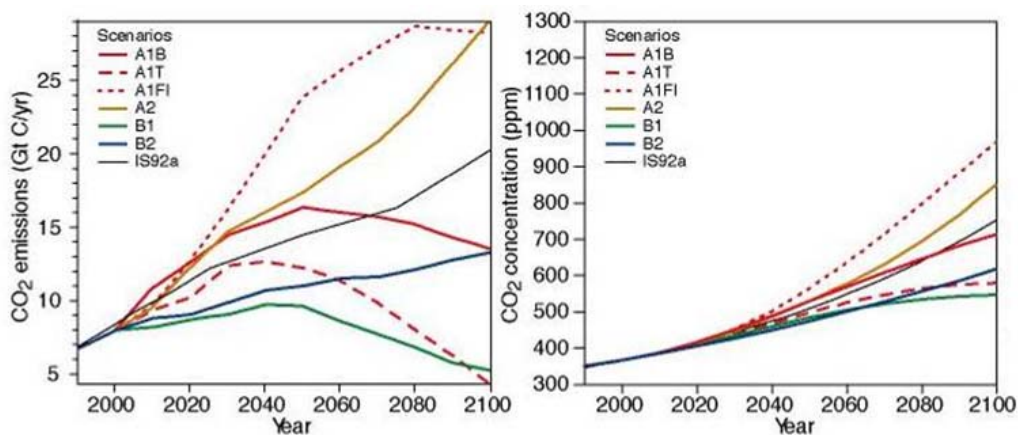
Anpassning av klimatmodelldata med hjälp av DBS-metoden används i denna studie för nederbörd och temperatur, vilka också är drivvariablerna för den hydrologiska modellen. Den observerade nederbörd och temperatur som klimatmodelldata anpassas mot har hämtats från den databas, PTHBV, som SMHI byggt upp med särskild inriktning på hydrologisk modellering.

Databasen innehåller interpolerade värden på nederbörd och temperatur, vilka anges i ett rikstäckande rutnät med upplösningen $4 \text{ km} \times 4 \text{ km}$. Data från SMHIs meteorologiska stationer har i denna databas interpolerats till gridrutor med hjälp av en geostatistisk interpolationsmetod som benämns optimal interpolation. Metoden innebär att hänsyn tas både till stationernas avstånd från beräkningsrutan och till deras inbördes korrelation. För att i interpolationen kunna beskriva den rumsliga variationen, utnyttjas höjddata samt (för nederbörd) även information om typisk vindriktning och vindstyrka under olika delar av året och i olika delar av landet. Detaljer om hur interpolationen utförs beskrivs av Johansson (2000) och Johansson och Chen (2003 och 2005). I databasen har den observerade nederbörden även korrigerats för mätförluster, som framförallt orsakas av att en del av nederbörden blåser förbi mätaren. Mätförlusterna har beräknats enligt Alexandersson (2003). I dessa beräkningar tas hänsyn till hur vindutsatt mätstationen är och om nederbörden faller som snö eller regn, vilket avgörs utifrån temperaturen.

4.7 Utsläppsscenarioer

För att kunna göra beräkningar av framtida klimat behövs antaganden om framtida utsläpp av växthusgaser. Vanligtvis används utsläppsscenarioer som utarbetats av FN:s klimatpanel, IPCC. Några exempel visas i figur 4-5. Dessa bygger på antaganden av världens utveckling fram till år 2100 (Nakićenović and Swart, 2000). I utsläppsscenarioerna görs olika antaganden om jordens befolkning, ekonomisk tillväxt, teknologisk utveckling m.m. Utifrån dessa antaganden uppskattas hur mycket klimatpåverkande gaser och partiklar som kommer att släppas ut. Dessa utsläpp ger upphov till förändringar i atmosfärens sammansättning, som till exempel mängden koldioxid i luften, vilket i sin tur har en inverkan på klimatet.

Genom att göra simuleringar i klimatmodellerna med växthusgaskoncentrationer som motsvarar dagens förhållanden respektive för framtida förhållanden får man en bild av den framtida förändringen av klimatet. Eftersom framtidsberäkningarna grundar sig på IPCC:s utsläppsscenarioer innebär det att effekterna av eventuella utsläpps begränsningar till följd av internationella avtal inte medräknats.

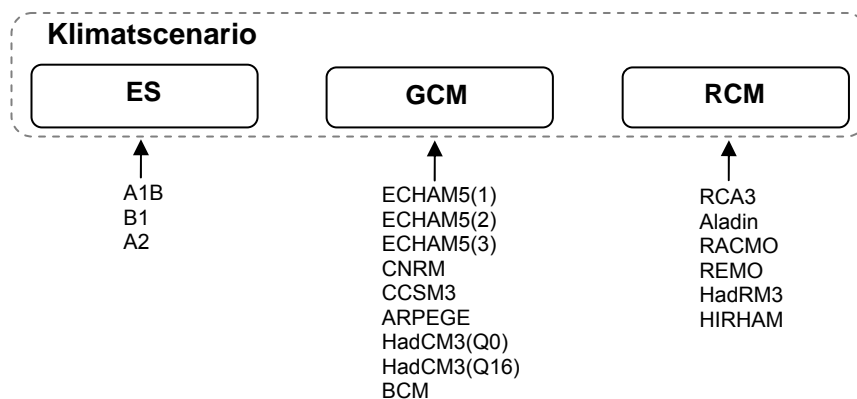


Figur 4-5. Antagande om framtida utsläpp av CO₂ (vänster) och resulterande CO₂-koncentrationer (höger) enligt olika scenarier (modifierad från IPCC, 2001).

4.8 Klimatscenarier

Ett klimatscenario är en successiv realisering av ett utsläppsscenario i en global- och en regional klimatmodell enligt dataflödet som beskrivs i figur 4-3. Samma utsläppsscenario kan således ge upphov till olika klimatscenarier beroende på vilka globala och regionala modeller som används. De tre komponenterna illustreras i figur 4-6 där också de möjliga alternativen för utsläppsscenario (ES= Emissions scenario), global klimatmodell (GCM= Global Circulation Model) och regional klimatmodell (RCM= Regional Climate Model) som används i denna studie framgår (se vidare avsnitt 4.8.1).

Under flera år användes huvudsakligen sex klimatscenarier för de flesta studier av klimateffekter i Sverige, inklusive av den statliga Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU, 2007a). Dessa sex klimatscenarier bygger på en global klimatmodell från Hadley Centre i England (HadCM3/AM3H) och en från Max-Planck-institutet i Tyskland (ECHAM4/OPYC3). Dessa globala modeller har körts med utsläppsscenario A2 respektive B2 som de beskrivs av Nakićenović and Swart (2000). De regionala klimatmodeller som användes benämns RCA0 och RCA3 och kommer från Rossby Centre vid SMHI:s forskningsenhet.



Figur 4-6. Ett klimatscenario består av en kombination av utsläppsscenario (ES), global modell (GCM) och regional modell (RCM).

Numera finns det tillgång till ett stort antal regionala klimatscenarier beräknade med nyare globala och regionala klimatmodeller. För Östersjön finns dock inga senare resultat än de som fanns tillgängliga vid tidpunkten för Klimat- och sårbarhetsutredningen. Det europeiska ENSEMBLES-projektet (van der Linden and Mitchell, 2009) syftade till att utveckla ett system för samordnade beräkningar av klimatförändringar baserat på ett antal europeiska och några utomeuropeiska globala och regionala klimatmodeller. Rossby Centre deltog i ENSEMBLES-samarbetet med den regionala klimatmodellen RCA3. ENSEMBLES-projektet fokuserade i huvudsak på klimatförändringar i ett tidsperspektiv fram till år 2050, varför en del klimatscenarier bara sträcker sig fram till mitten på seklet. Det utsläppsscenario som huvudsakligen användes inom ENSEMBLES benämns A1B (Nakićenović and Swart, 2000), men ett scenario med kraftigare utsläpp, A2, och ett med lägre utsläpp, B1, användes också.

I figur 4-5 visas ett antal utsläppsscenarier, där A1B, A2 och B1 ingår. Ur figuren framgår bland annat att A1B är ett scenario där koldioxidutsläppen till atmosfären beräknas att kulminera runt år 2050. Koldioxiden i atmosfären fortsätter dock enligt detta scenario att stiga även efter 2050 på grund av systemets tröghet. Ur figuren ses även att skillnaden mellan effekten av olika utsläppsscenarier är liten fram till mitten av seklet och ökar därefter.

4.8.1 Klimatscenarier i denna studie

De sammanställningar som gjorts av temperatur, nederbörd, markfuktighet och vattenföring (Kap. 5.1-5.4) bygger på DBS-skalerade data från klimatscenerierna i tabell 4-1.

Tabell 4-1 innehåller klimatscenarier från ENSEMBLES-projektet samt några från Rossby Centre vid SMHI. Observera att endast 12 av dessa 16 klimatscenarier sträcker sig ända fram till år 2100. De övriga fyra sträcker sig fram till 2050. Till största delen har utsläppsscenario A1B använts eftersom de flesta modellkörningar inom ENSEMBLES-projektet använt sig av detta, men även A2 och B1 finns representerade.

















Den globala klimatmodellen ECHAM5 kommer från Max-Planck-institutet för meteorologi i Tyskland och HadCM3 från Hadley Center i England. Resultat baserade på ECHAM5 finns också från tre simuleringar som har startats från olika initialtillstånd i slutet på 1800-talet, vilka betecknas ECHAM5(1), ECHAM5(2) respektive ECHAM5(3). ECHAM5(3) är den simulering av de tre som har bäst överensstämmelse med faktisk klimatutveckling i Europa under slutet av 1900-talet och har därför pekats ut som huvudalternativ för ENSEMBLES-projektets beräkningar. Denna modell är därför den vanligaste globala klimatmodell som används i denna rapport.

Även HadCM3 har använts med två olika initialtillstånd, men då har också modellen varit parametriserad med olika klimatkänslighet, som är ett mått på den temperaturökning som kan förväntas om mängden koldioxid i atmosfären fördubblas. En av dessa simuleringar refereras som Q0 och betraktas som mest trolig. Den version som har högre klimatkänslighet, Q16, ligger dock även den inom vad som klimatforskarna betraktar som rimliga gränser.

Övriga använda globala klimatmodeller är ARPEGE från CNRM i Frankrike, BCM från METNO i Norge och den nordamerikanska modellen CCSM3.

De klimatscenarier som använts är de som funnits tillgängliga vid genomförandet, dvs. inget aktivt urval av scenarier har gjorts. Allt eftersom fler klimatscenarier blir tillgängliga kan fler fall med höga respektive låga utsläppsscenarioer inkluderas i klimatensamblesimuleringar. På så sätt kan fler tänkbara utvecklingar av klimatet simuleras. En större ensemble ger starkare statistiska mått på hur en framtida utveckling kan se ut. Den idag tillgängliga ensemblen är dock en stor förbättring mot vad som fanns tillgängligt för några år sedan, även om urvalet inte är systematiskt.

Tabell 4-1. Sammanställning av använda klimatscenarier. Nationsflaggorna avser instituten som har genomfört den regionala nedskalningen (RCM). Den globala klimatmodellen (GCM) ECHAM5 kommer från Max Planck Institute i Tyskland, ARPEGE från CNRM i Frankrike, HadCM3 från Hadley Centre i England och BCM från METNO i Norge. CCSM3 är en nordamerikansk modell som körts vid SMHI. Observera att endast 12 av dessa 16 klimatscenarier sträcker sig ända fram till år 2100.

Nation	Institut	Scenario	GCM	RCM	Upplösning	Period
	SMHI	A1B	ECHAM5(1)	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A1B	ECHAM5(2)	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A1B	ECHAM5(3)	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A1B	ECHAM5(3)	RCA3	25 km	1961-2100
	SMHI	B1	ECHAM5(1)	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A1B	ARPEGE	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A1B	CCSM3	RCA3	50 km	1961-2100
	CNRM	A1B	ARPEGE	Aladin	25 km	1961-2050
	KNMI	A1B	ECHAM5(3)	RACMO	25 km	1961-2100
	MPI	A1B	ECHAM5(3)	REMO	25 km	1961-2100
	C4I	A2	ECHAM5(3)	RCA3	25 km	1961-2050
	HC	A1B	HadCM3(Q0)	HadRM3	25 km	1961-2100
	C4I	A1B	HadCM3(Q16)	RCA3	25 km	1961-2100
	METNO	A1B	BCM	HIRHAM	25 km	1961-2050
	METNO	A1B	HadCM3(Q0)	HIRHAM	25 km	1961-2050
	DMI	A1B	ECHAM5(3)	HIRHAM	25 km	1961-2100

5 Skåne läns framtidsklimat

Analysen av Skåne läns framtidsklimat har gjorts utgående från de klimatscenarier som beskrivits i kap. 4.8.1. Dessa klimatscenarier har, som framgår av tabell 4-1, en horisontell upplösning av 25-50 km. Efter justering med hjälp av observationer (PTHBV-databasen) har klimatscenarierna lagrats med samma upplösning som den observerade databasen, dvs. 4 km × 4 km. Analyser av dessa bearbetade klimatscenarier gör det möjligt att presentera analyser och kartor med motsvarande upplösning i rummet. Det är dock mycket viktigt att här poängtera att *klimatsignalen från klimatmodellerna inte har denna höga upplösning*.

Klimatet i Skåne län är maritimt och varierar inte speciellt mycket inom länet. De små variationer som finns beror av topografien. Medeltemperaturen är något högre i kustnära områden och något lägre i högre terräng. De flesta vädersystem som påverkar Skåne bildas över Atlanten och passerar Skåne med västlig eller sydvästlig vind. Nederbördsområdena påverkas av de många åsar som finns i Skåne. Vid gränsen till Halland hävs luften av Hallandsåsen och här återfinns länets blötaste område, vilket syns tydligt i nederbördskartorna. Både Söderåsen och Linderödsåsen kan också urskiljas, så väl i observerad som i beräknad nederbörd. När klimatsignalen studeras, i termer av exempelvis procentuell förändring, är de regionala skillnaderna vanligen små.

Resultaten presenteras i form av diagram och kartor samt några tabeller. I bilagorna 1-3 finns kartor för temperatur och nederbörd. Några av dessa kartor finns också i detta kapitel. En lista över bilagorna finns i kapitel 9. Beräkningarna avser alltid hela 24-timmarsperioder.

Att klimatsignalen från klimatmodellerna inte har den höga upplösning som de i denna analys gjorda beräkningarna syns tydligt i kustzoner där klimatsceniernas grid (rutnät) blir synligt för vissa variabler. Resultaten från de gridrutor som huvudsakligen representerar havsytor speglas även över land. Skåne är ett litet län och därför blir denna skillnad mer påtaglig än för många andra län. Detta kommenteras i texten som ger stöd för tolkning av kartorna.

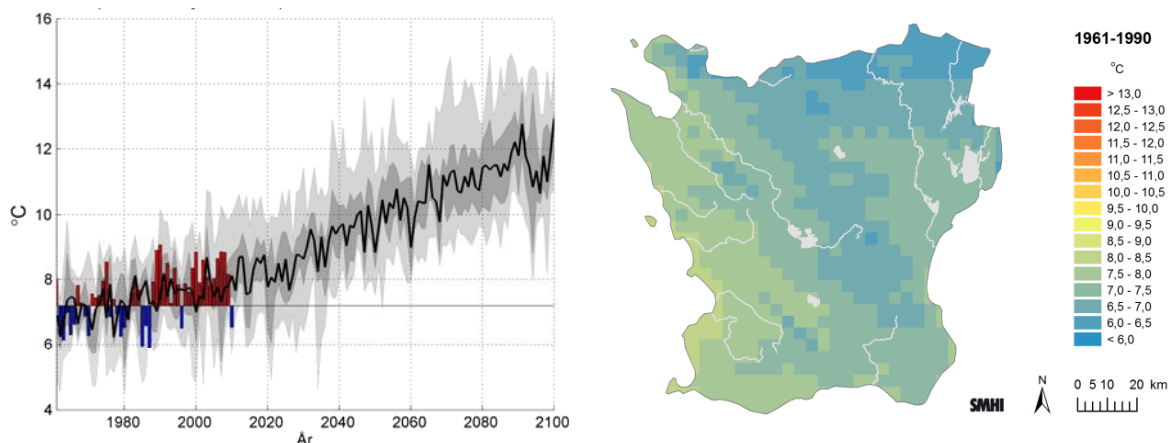
5.1 Temperatur

Statistik över dagens klimat för Skåne län har sammanställts utifrån SMHIs areellt interpolerade databas PTHBV (Johansson, 2000; Johansson och Chen, 2003 och 2005). Databasen innehåller optimalt interpolerade observationer (se kap.4.6) med en upplösning på 4 km x 4 km och med data från 1961.

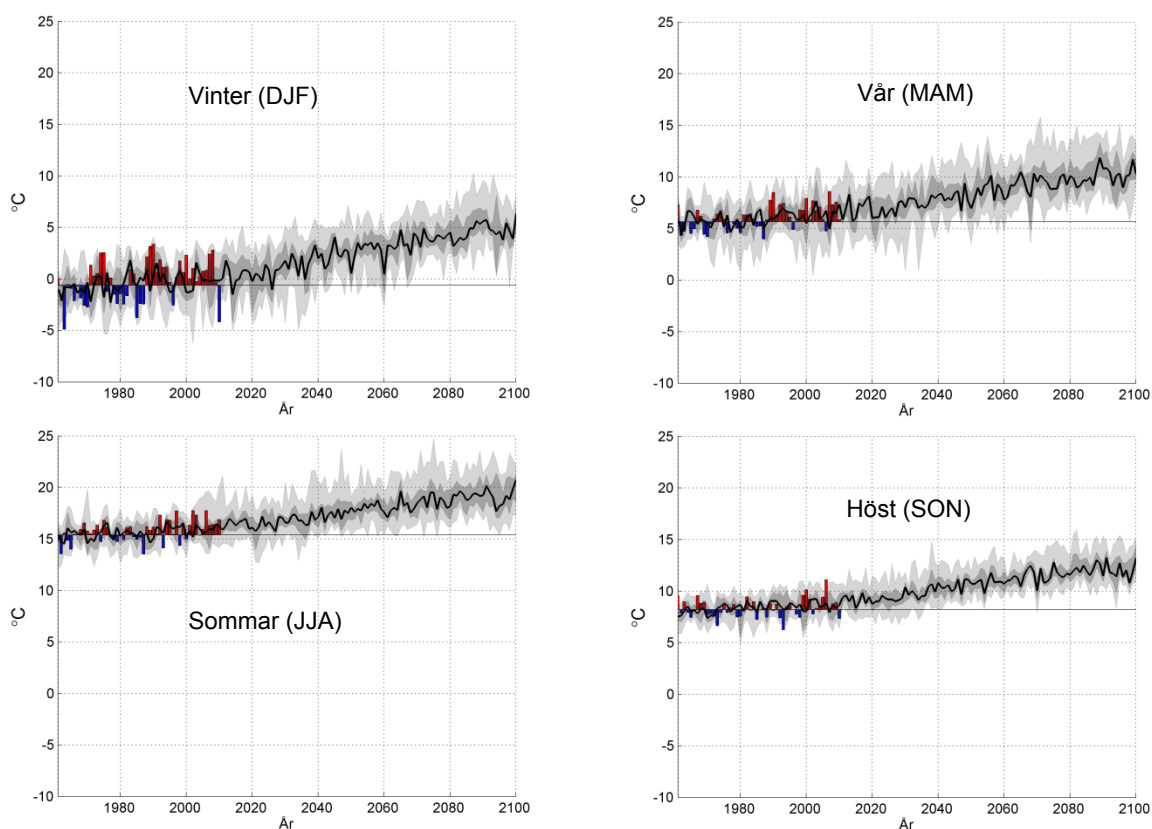
5.1.1 Medeltemperatur för år och säsong

Årsmedeltemperaturen i Skåne län för referensperioden 1961-1990 (30 år) baserad på PTHBV-databasen var 7,2°C. För perioden 1991-2010 (20 år) var medeltemperaturen för länet 8,0°C, dvs. ca 0,8°C varmare.

Den beräknade temperaturutvecklingen för Skåne län baserat på samtliga klimatscenarier i tabell 4-1 framgår av figur 5.1-1. Årsmedeltemperaturen ökar successivt och når temperaturer på i medeltal drygt 11°C i slutet av seklet. Variationen mellan år är dock stor och spridningen visar att relativt kalla år kan förekomma de närmsta årtiondena. Årsmedeltemperaturer på ca 14 °C såväl som ned mot 8°C kan förekomma i slutet på seklet om hänsyn tas till hela spännvidden som ges av de 12 klimatscenierna. Kartan (figur 5.1-1) visar hur den observerade årsmedeltemperaturen varierar i länet. Det är varmast längs kusten och kallast på höjdpartierna. Värt att notera är att hela klimatensemblen i slutet av seklet ligger över medeltemperaturerna för period 1961-1990 och för perioden 1990-2010.



Figur 5.1-1. Beräknad utveckling av årsmedeltemperaturen i Skåne län baserat på samtliga klimatscenarier i tabell 4-1. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och observerade lägre värden visas som blå staplar. Årsmedeltemperaturen 1961-1990 visas som en horisontell linje. De skuggade partierna avser maximivärdet, 75:e percentilen, 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Medianvärdena presenteras som svart linje. Kartan visar den observerade årsmedeltemperaturen 1961-1990 (°C).



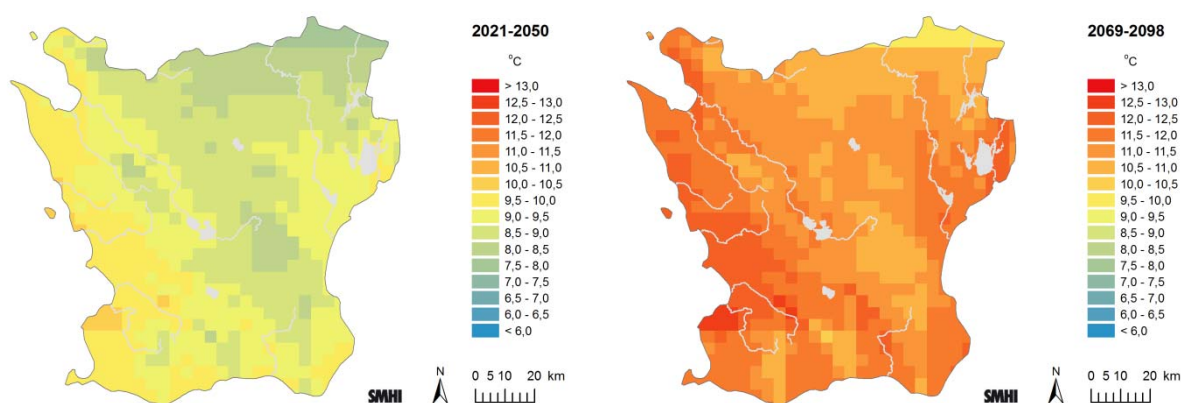
Figur 5.1-2. Den beräknade temperaturutvecklingen i Skåne län för de fyra årstiderna baserat på samtliga klimatscenarier. Årstiderna definieras enligt meteorologisk standard: månaderna december-februari = vinter, mars-maj = vår, juni-augusti = sommar och september-november = höst. Observerade värden, medianvärden, percentiler, min- och maxvärden visas i enlighet med figur 5.1-1.

I bilaga 1 visas alla kartor över årsmedeltemperaturen beräknad för tidsperioderna 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differensen för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. De observerade

värdena 1961-1990 visas också som jämförelse med beräknade värden för samma period. Observerade och beräknade värden 1961-1990 visar mycket bra överensstämmelse för länet.

Temperaturutvecklingen för de fyra säsongerna visas i figur 5.1-2. Variationen i säsongstemperatur mellan åren är störst för vintern. Medeltemperatur för referensperioden 1961-1990 är $-0,6^{\circ}\text{C}$ för vintern, $5,7^{\circ}\text{C}$ för våren, $15,4^{\circ}\text{C}$ för sommaren och $8,2^{\circ}\text{C}$ för hösten. För samtliga säsonger syns en temperaturuppgång under seklet och den är mest framträdande för vintern (se även differenskartor i bilaga 1).

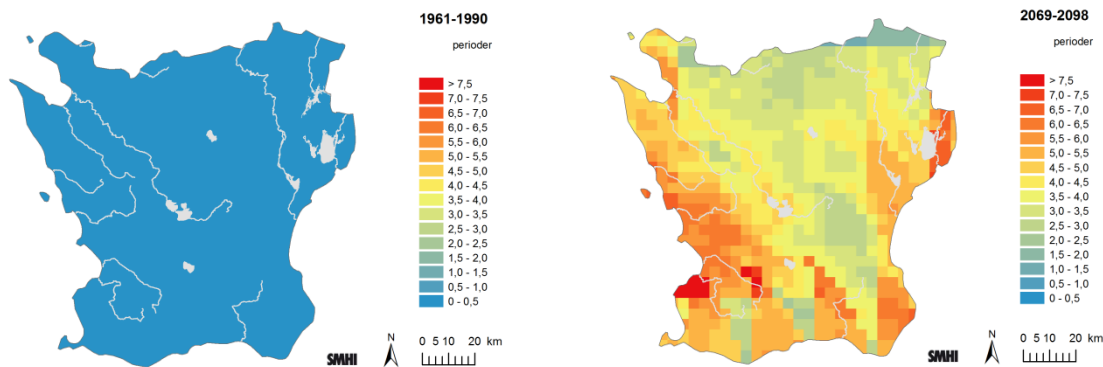
I beräkningarna över framtidsklimatet, avseende årsmedeltemperaturer, kvarstår det regionala mönstret med varmare förhållanden vid kusten och svalare på de mer höglänta områdena (figur 5.1-3 och bilaga 1). Differenskartorna antyder att temperaturökningen är ungefär densamma över hela länet. Differenskartorna i bilaga 1 har ett snett mönster i södra Skåne vilket beror på att de ursprungliga gridrutorna från klimatmodellernas beräkningar är grövre och slår igenom. De havsbaserade gridrutorna påverkar långt in över land och de landbaserade påverkar ut mot kusten.



Figur 5.1-3. Årsmedeltemperatur ($^{\circ}\text{C}$), beräknad för 2021-2050 (vänster karta) och 2069-2098 (höger karta). Värdena avser 30-årsmedelvärden.

5.1.2 Varma perioder

Varma perioder är beräknat som det antal perioder med 5 eller fler dygn i följd där dygnsmedeltemperaturen överstiger 20°C . I figur 5.1-4 visas beräknade värden för perioderna 1961-1990 och 2069-2098. I dagens klimat förekommer i medeltal inga 5-dygnsperioder då dygnsmedeltemperaturen överstiger 20°C . De beräknade värdena stämmer väl överens med de observerade för perioden 1961-1990 (se bilaga 2). I framtidsklimatet däremot förekommer allt fler, i slutet av seklet kan vi räkna med ca 5 perioder (= 25 dygn) längs kusten, lokalt upp mot 7 perioder, och 2 perioder i inlandet (se högra kartan i figur 5.1-4). I kartorna för framtidsberäkningarna syns samma mönster från havsbaserade gridrutor som tidigare nämnts. Tolkningen bör dock vara den ovan givna. I bilaga 2 visas kartor med 30-årsmedelvärden över antalet 5-dygnsperioder per år med dygnsmedeltemperatur över 20°C för perioderna 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098.



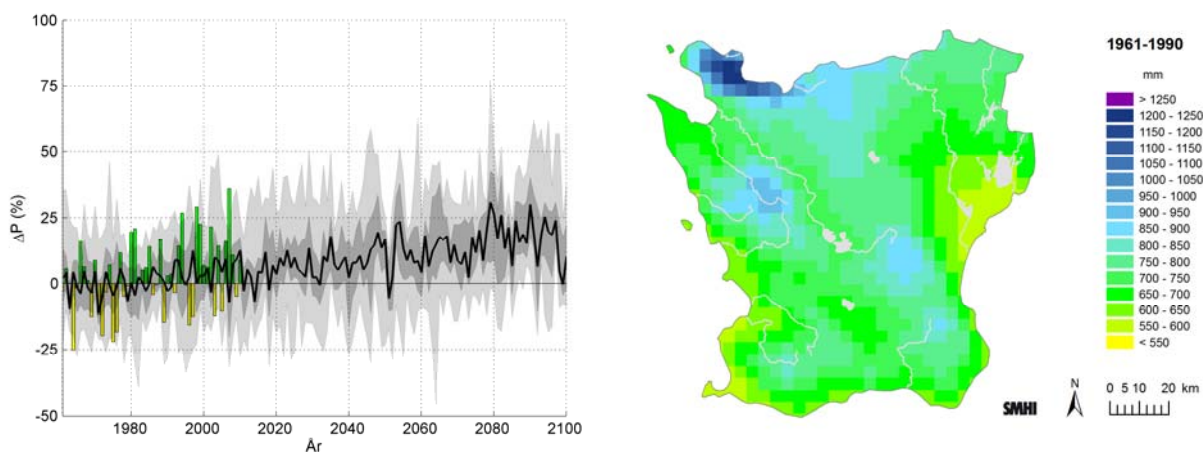
Figur 5.1-4. Antal 5-dygnsperioder med dygnsmedeltemperatur över 20°C, beräknat för 1961-1990 (vänster karta) och 2069-2098 (höger karta). Värdena avser 30-årsmedelvärden.

5.2 Nederbörd

Statistik över dagens klimat för Skåne län har sammanställts utifrån SMHIs areellt interpolerade databas PTHBV (Johansson, 2000; Johansson och Chen, 2003 och 2005). Databasen innehåller optimalt interpolerade observationer med en upplösning på 4 km × 4 km och med data från 1961.

5.2.1 Medelnederbörd för år och säsong

Årsmedelnederbörden i Skåne län för referensperioden 1961-1990 (30 år) baserad på PTHBV-databasen var 747 mm. För perioden 1991-2010 (20 år) var årsmedelnederbörden för länet 805 mm, dvs. 58 mm mer nederbörd per år i genomsnitt, vilket är en ökning med 8%.



Figur 5.2-1. Beräknad utveckling av årsmedelnederbörden i Skåne län baserat på samtliga klimatscenarier i tabell 4-1 och uttryckt som avvikelse (%) från medelvärdet för 1961-1990. Observerade värden presenteras som gröna staplar då de överstiger referensperiodens medelvärde och som gula staplar då de understiger medelvärdena. De skuggade partierna avser maximivärdet, 75:e percentilen, 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedelnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Medianvärdena presenteras som svart linje. Kartan visar den observerade årsmedelnederbörden 1961-1990 (mm).

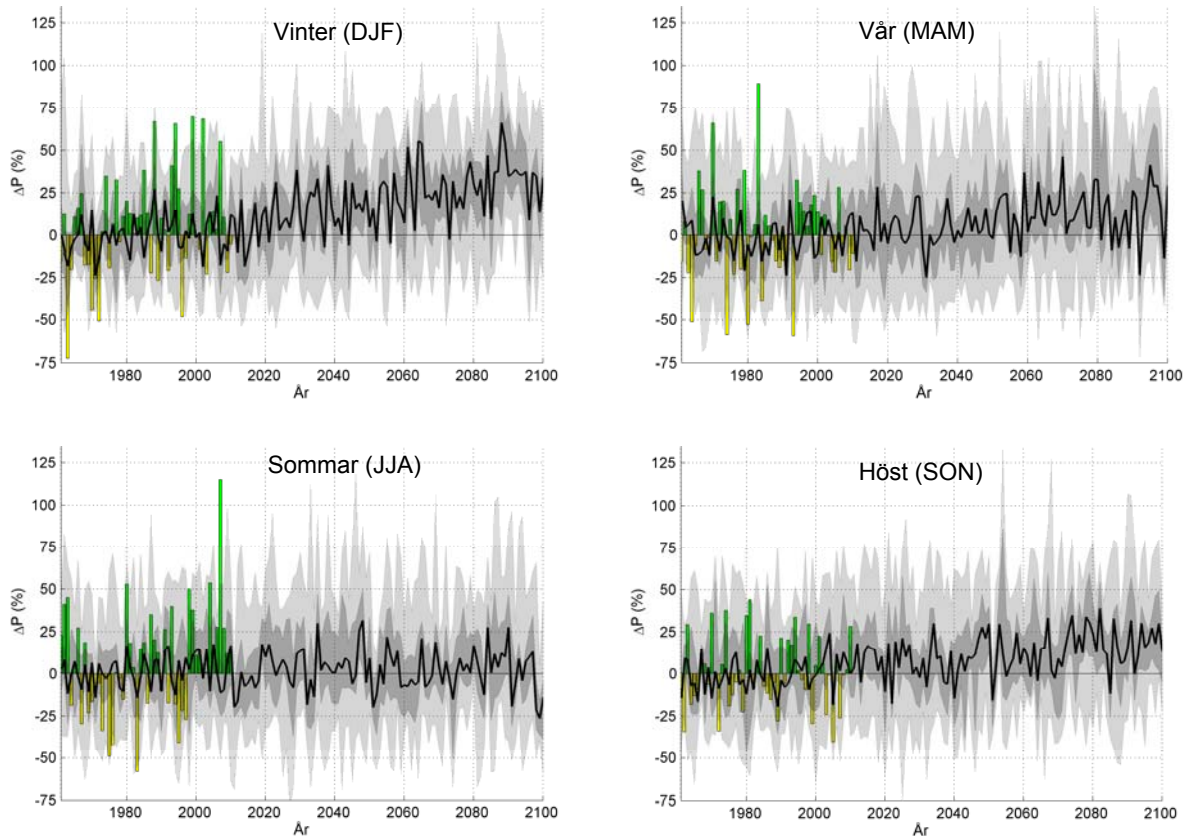
Den beräknade utvecklingen för årsnederbörd i Skåne län baserat på samtliga klimatscenarier i tabell 4-1 framgår av figur 5.2-1. Årsmedelnederbörden ökar successivt om än med stor variation mellan

åren. I slutet av seklet ligger medianvärdet för årsmedelnederbörden på ca +20 %, i relation till referensperioden.

Kartan (figur 5.2-1) visar hur den observerade årsmedelnederbörden varierar i länet.

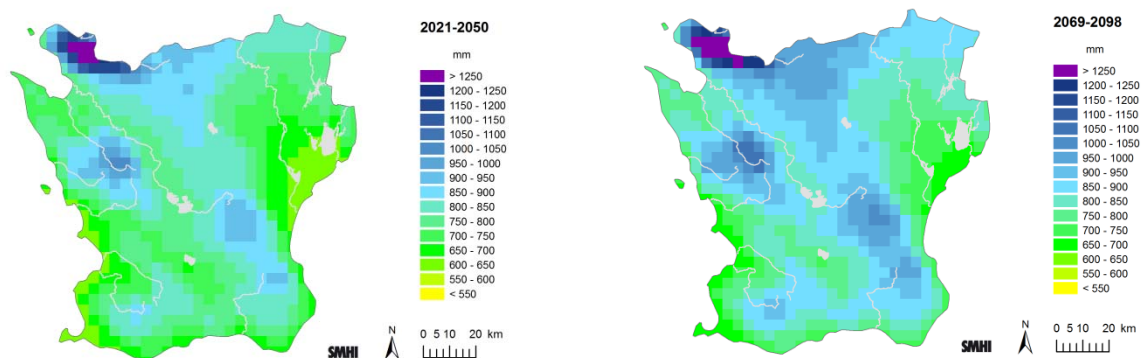
Nederbördsfördelningen följer ganska väl topografin med mindre nederbörd längs kusten och mer vid Hallandsåsen och övriga åsar i länet.

Nederbördsutvecklingen för de fyra säsongerna visas i figur 5.2-2. Vintern uppvisar den tydligaste ökningen av nederbörd med ca 30% i slutet av seklet. Även för vår och höst syns en ökande nederbördstrend men för sommarperioden framgår ingen tydlig förändring. Variationen mellan år är fortsatt mycket stor.



Figur 5.2-2. Den beräknade nederbördsutvecklingen i Skåne län för de fyra årstiderna baserat på samtliga klimatscenarier. Årstiderna definieras enligt meteorologisk standard: månaderna december-februari = vinter, mars-maj = vår, juni-augusti = sommar och september-november = höst. Observerade värden, medianvärden, percentiler, min- och maxvärden visas i enlighet med figur 5.2-1.

I bilaga 3 visas kartor över årsmedelnederbörd beräknad för tidsperioderna 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differensen för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. De observerade värdena 1961-1990 visas även för jämförelse med beräknade värden för samma period. Observerade och beräknade värden 1961-1990 visar mycket god överensstämmelse för länet.









Figur 5.2-3. Årsmedelnederbörd (mm), beräknat för 2021-2050 (vänster karta) och 2069-2098 (höger karta). Värdena avser 30-årsmedelvärden.

Figur 5.2-3 visar kartor över nederbördsutvecklingen för Skåne län. I slutet av seklet har årsmedelnederbörden ökat med 100-150 mm över hela länet (se även differenskartorna i bilaga 2). Ökningen är störst på höjdpartierna.

5.2.2 Extrem korttidsnederbörd

För att bedöma hur klimatförändringen kommer att påverka kortvariga intensiva regn har nederbördsdata från klimatscenarioer analyserats. Sex globala klimatscenarioer har använts (tabell 5.2-1), samtliga körda för perioden 1961-2100 och nedskalade med den regionala klimatmodellen RCA3 till 50×50 km. Från dessa klimatscenarioer har nederbörd i tidssteg om 30 minuter tagits ut, s.k. 30-min nederbörd. Data med tidssteget 30 minuter har den högsta tillgängliga tidsupplösningen från klimatscenarioerna.

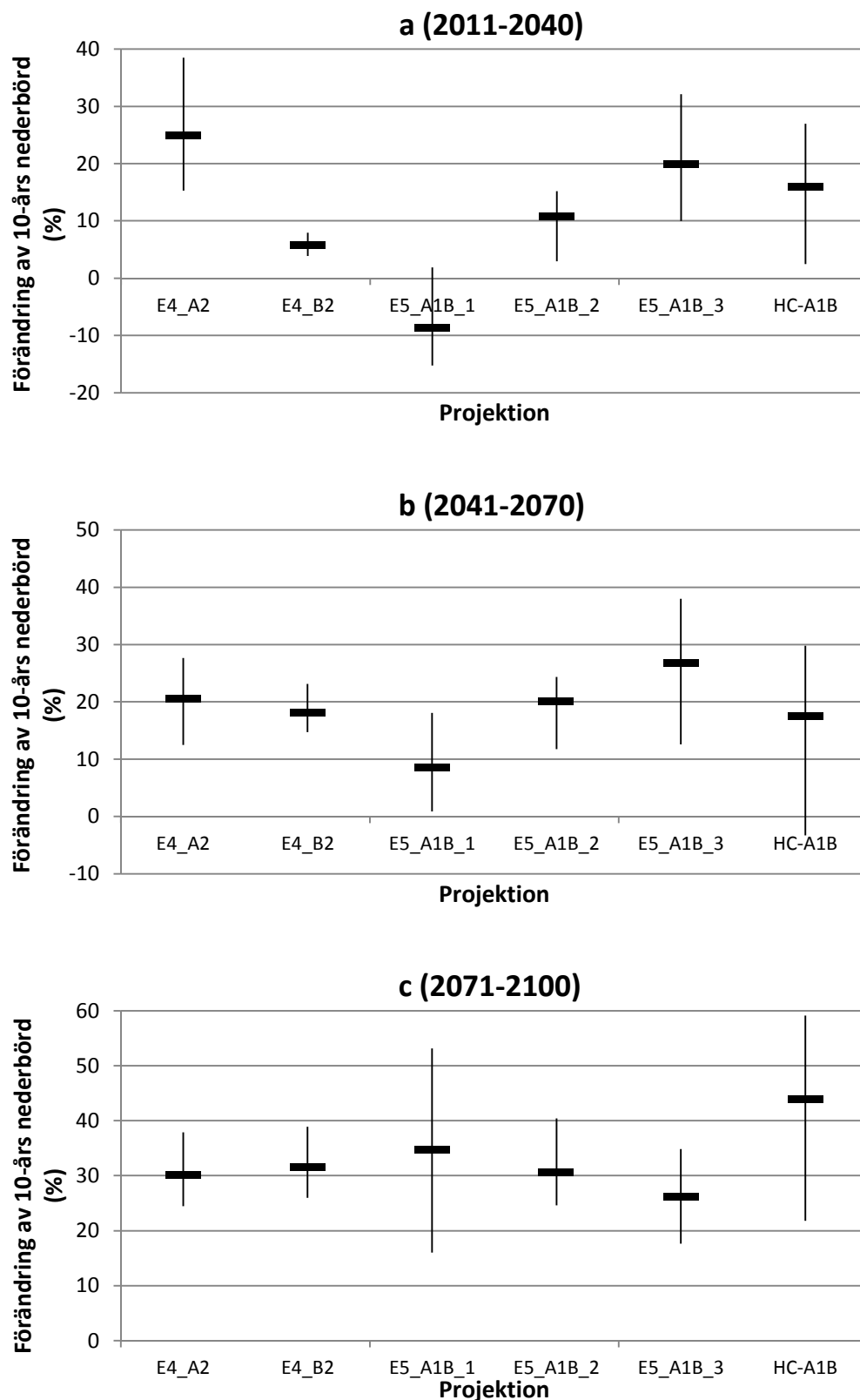
Tabell 5.2-1. Klimatscenarioer analyserade med avseende på extrem korttidsnederbörd.

Nation	Institut	Scenario	GCM	RCM	Upplösning	Period
	SMHI*	A1B	ECHAM5(1)	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI*	A1B	ECHAM5(2)	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI*	A1B	ECHAM5(3)	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A1B	HadCM3(Q0)	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A2	ECHAM4	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	B2	ECHAM4	RCA3	50 km	1961-2100

* Scenarier som sammanfaller med klimatscenarioer som har använts för övriga analyser i denna rapport.

I analysen har fyra modellgridrutor utvalts som berör Skåne län. För var och en har tidsserier med 30-min nederbörd extraherats ur modellresultaten för fyra 30-års perioder: 1961-1990 (referens), 2011-2040, 2041-2070 och 2071-2100. För varje serie har en extremvärdesanalys utförts genom att beräkna varje års maximala 30-min intensitet, till dessa anpassa en fördelning till en rät linje (Gumbel) och ur denna beräkna värdet motsvarande 10 års återkomsttid (se metodbeskrivning i Olsson et al., 2012 samt i kapitel 3.2.3).

Förändringen av 30-min nederbörden med en återkomsttid på 10 år för tre olika framtidsperioder visas i figur 5.2-4. Förändringen från period 1961-1990, vilken används som referens, till period 2011-2040 ligger mellan -10% och +25% med ett medelvärde på +11% (figur 5.2-4a). Fem av scenarierna visar



Figur 5.2-4. Förändring av 30-min nederbörd med 10 års återkomsttid från period 1961-1990 till period 2011-2040 (överst), 2041-2070 (mitten) och 2071-2100 (nederst). Horisontellt streck betecknar medelvärdet för de fyra analyserade gridrutorna; vertikalt streck spridningen inom dessa.

på en ökning av 10-årsnederbörden men den sjätte (SMHI-E51-50-A1B) visar på en svag minskning. Spridningen mellan gridrutorna inom varje scenario varierar från liten (SMHI-ECHAM4-A2) till relativt stor (SMHI-HCQ0-50-A1B). Spridningen mellan och inom scenarierna visar på osäkerheterna i analysen vilka är betydande, allmänt eftersom det handlar om klimatscenarier och specifikt eftersom det handlar om extrem korttidsnederbörd som av naturen uppvisar en kraftig variation.

Fram till period 2041-2070 sker en ökning med i genomsnitt 11% med en spridning inom varje scenario som är likartad den tidigare perioden (figur 5.2-4b). För denna period visar inget scenario en minskning totalt sett, men enskilda gridrutor med en marginell minskning finns i ett scenario (SMHI-HCQ0-50-A1B). Fram till period 2071-2100 finns inget resultat som visar minskad nederbörd utan enbart ökning indikeras med i genomsnitt 33% (figur 5.2-4c). Scenarierna ligger tämligen samlade kring detta värde men i två av scenarierna visar enskilda gridrutor på en ökning upp över 50%.

Totalt sett visar studien på en ökning av den extrema korttidsnederbörden med ca 10% fram till mitten av seklet och med drygt 30% ökning i slutet av det. Liksom för dagens kraftiga skurnederbörd kan även framtidens skurar främst förväntas under sommaren (se även beskrivningen av dagens extrema korttidsnederbörd i kapitel 3.2.3).

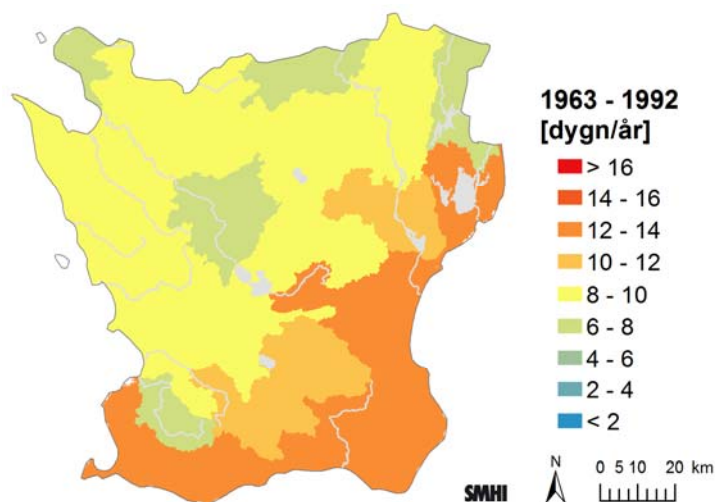
5.3 Torka och markfuktighet

Torka är ett relativt begrepp som definieras efter användningsområde. Meteorologer relaterar vanligen till ”brist på regn” dvs. perioder utan nederbörd. För en producent av vattenkraft råder torka då vattenmagasinen har liten fyllnadsgrad, även om det vid tillfället regnar. För bedömning av brandrisk i mark och skog är det främst det allra översta jordskiktets torka som har betydelse. För grödors utveckling är det tillståndet i det markskikt varur rötterna kan ta vatten som är viktigast. I föreliggande analys av framtida torka har vi fokuserat på vattentillgång i mark, markfuktighet, med relevans för vegetationen.

Den hydrologiska HBV-modellen, som har använts för att beräkna förändringar av hydrologiska förhållanden i Skåne län, erbjuder också möjlighet att studera framtida förändringar av markfuktighet. Modellens beräknade markfuktighet är i viss mån modellspecifik och beskriver inte till fullo de lokala förhållandena avseende jordarter, jordlager och markanvändning. Modellen ger ändå en god bild av hur blöt marken är från markytan ner till grundvattnet, dvs. den omättade markzonen. För Skåne län pekar klimatanalysen på att årsnederbörden generellt kommer att öka (se kap 5.2). Det är dock inte samma sak som att risken för torka kommer att minska. För att bedöma risken för torka måste också förändringar av avdunstning vägas in och relateras till nederbördens fördelning över året, vilket görs av den hydrologiska modellen. Grovt sett kan man säga att avdunstningen ökar ca 5-10 procent för varje grads ökning av temperaturen (Bergström et al, 2011). Detta motverkar effekten av ökad nederbörd och kan medföra att avrinningen minskar trots att nederbörden ökar.

För att kunna analysera hur risken för torka förändras i framtiden måste först ett mått på torka tas fram. Det finns inget vedertaget begrepp som med enkelhet kan överföras till den hydrologiska modellen. I denna analys har därför medelvärdet av varje års lägsta markfuktighet under 30-årsperioden 1963-1992 använts som ett representativt mått på när det är torrt i marken. I den fortsatta texten benämns detta som torka. Detta mått relaterar till dagens variationsmönster av markfuktighet i Skåne län. Under referensperioden 1963-1992 rådde torka, enligt det beskrivna måttet i genomsnitt under ca nio dagar per år (figur 5.3-1). Det innebär att vissa år har fler torra dagar och andra kan helt sakna torra dagar. Ett regionalt mönster ses där Skånes sydligaste och östra delar uppvisar flest dagar med torka.

Det modellvärde som här behandlas ger ett relativt mått på markfuktigheten och behandlar inte lokal variation i markegenskaper eller grödor. För den lokala användaren som känner till mark- och grödoförhållanden samt problem med torka kan det valda måttet ge en god indikation över framtida förhållanden.



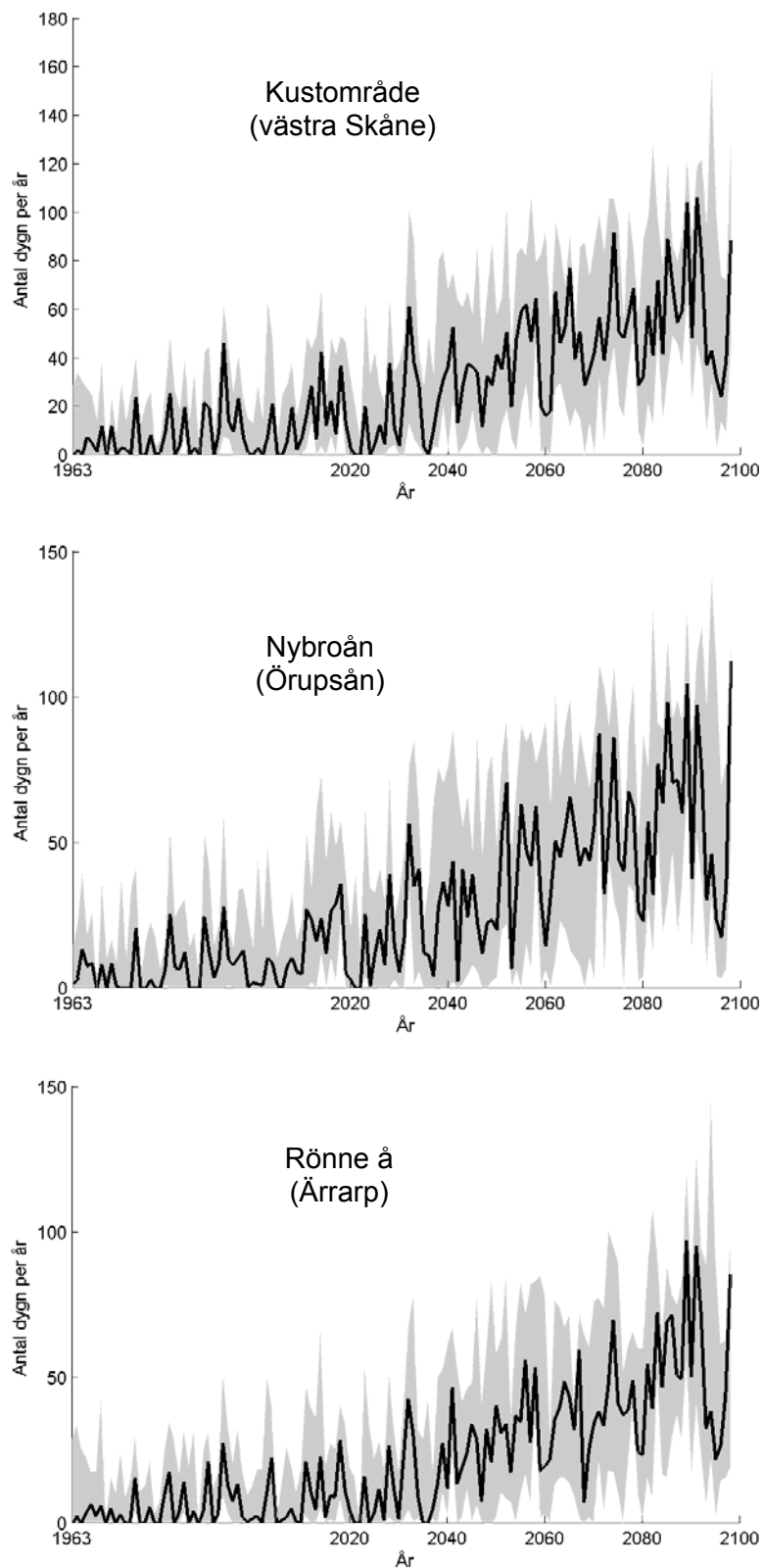
Figur 5.3-1. Antal dagar per år under referensperioden (1963-1992) då markfuktigheten är lägre än medelvärdet av varje års lägsta värde. Kartan visar medelvärdet för de 16 klimatscenariernas referensperiod. Vattendrag och sjöar markeras med grått.

För att studera hur förekomsten av dagar med torra förändras fram till slutet på det innevarande seklet har fem områden valts ut, fördelade över Skåne län (figur 5.3-2). I figur 5.3-3 och 5.3-4 visas diagram för respektive område över antal dagar per år då markfuktigheten är lägre än medelvärdet av varje års lägsta värde beräknat för referensperioden 1963-1992. Analysen redovisas för perioden 1963-2100, så som den beskrivs av klimatsimuleringarna. Det innebär att beräkningarna beskriver klimatvariationen över tiden, men inte det direkta utfallet för varje år. Det är därför inte möjligt att jämföra verkliga inträffade torrår (exempelvis 1977) med de som redovisas i diagrammen.

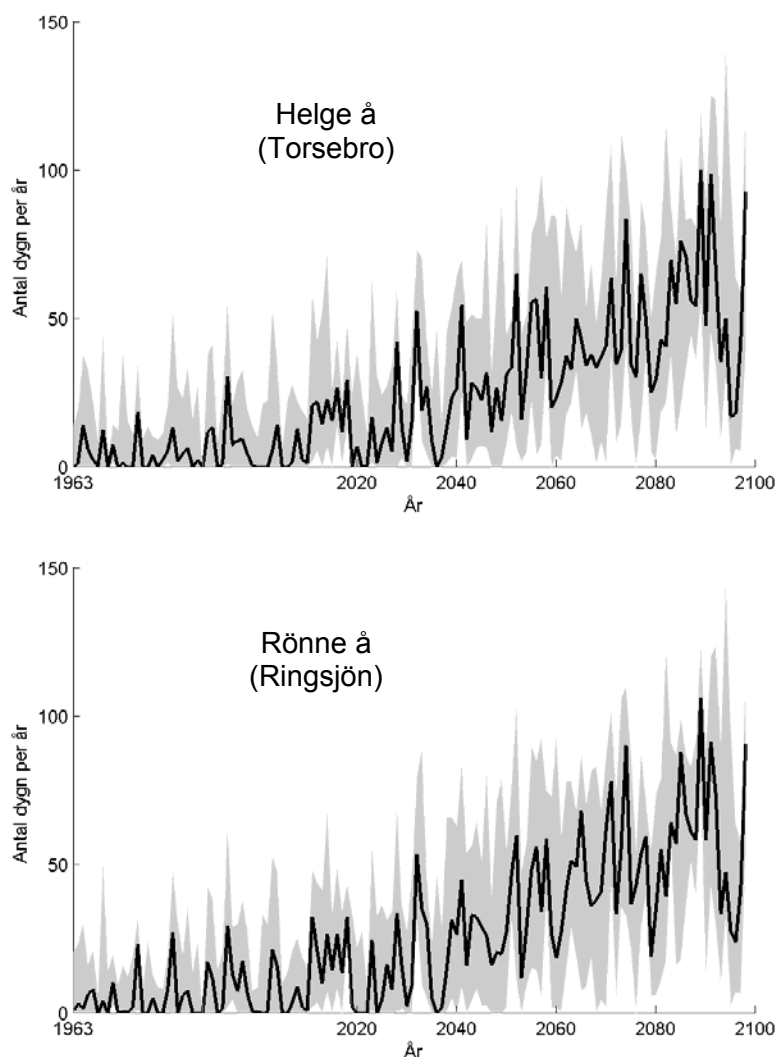
För samtliga områden syns en liknande signal med successivt ökande förekomst av dagar med torra. Variationen fram till ca 2030 liknar den historiska, med vissa år med torra och andra helt utan. Därefter ökar frekvensen av torra och praktiskt taget samtliga år uppvisar perioder med torra.



Figur 5.3-2. Utvalda områden för redovisning av förändrad frekvens av torra.

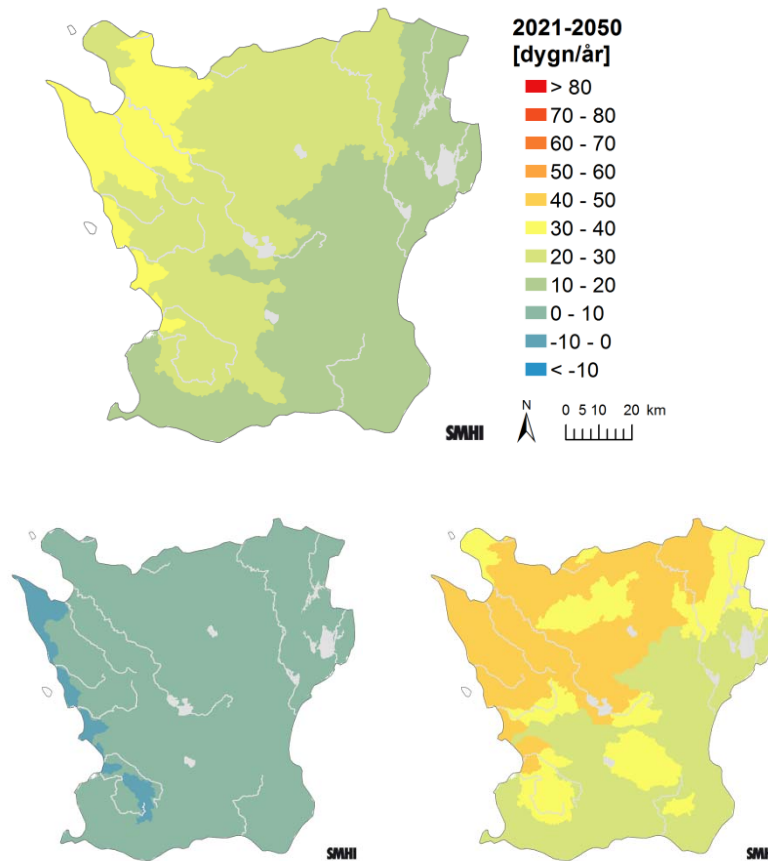


Figur 5.3-3. Antal dagar per år då markfuktigheten är lägre än medelvärdet, beräknat av varje års lägsta värde, för referensperioden 1963-1992. Beräkningarna är gjorda för ett kustområde (västra Skåne), Nybroån (Örupsån) och Rönne å (Ärrarp). 16 klimatscenarier har använts fram till 2050 och därefter 12 klimatscenarier till slutet på seklet. Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen och den svarta linjen visar medianen.



Figur 5.3-4. Antal dagar per år då markfuktigheten är lägre än medelvärdet, beräknat av varje års lägsta värde, för referensperioden 1963-1992. Beräkningarna är gjorda för Helge å (Torsebro) och Rönne å (Ringsjön). 16 klimatscenarier har använts fram till 2050 och därefter 12 klimatscenarier till slutet på seklet. Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen och den svarta linjen visar medianen.

Figur 5.3-5 redovisar den geografiska fördelningen över länet avseende förändringen av antalet dagar med torra för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden 1963-1992. I genomsnitt ökar antalet dagar med torra med 10-40 dagar per år, med störst ökning i nordväst och minst ökning i de östra delarna samt närmast södra kusten. Detta ska jämföras med referensperiodens medelvärde som varierar mellan 6 och 14 dagar per år. Spridningen i scenarieberäkningarna är stor vilket illustreras av de mindre kartorna (25:e och 75:e percentil), men signalen pekar i stort sett entydigt på ökat antal dagar med torra.

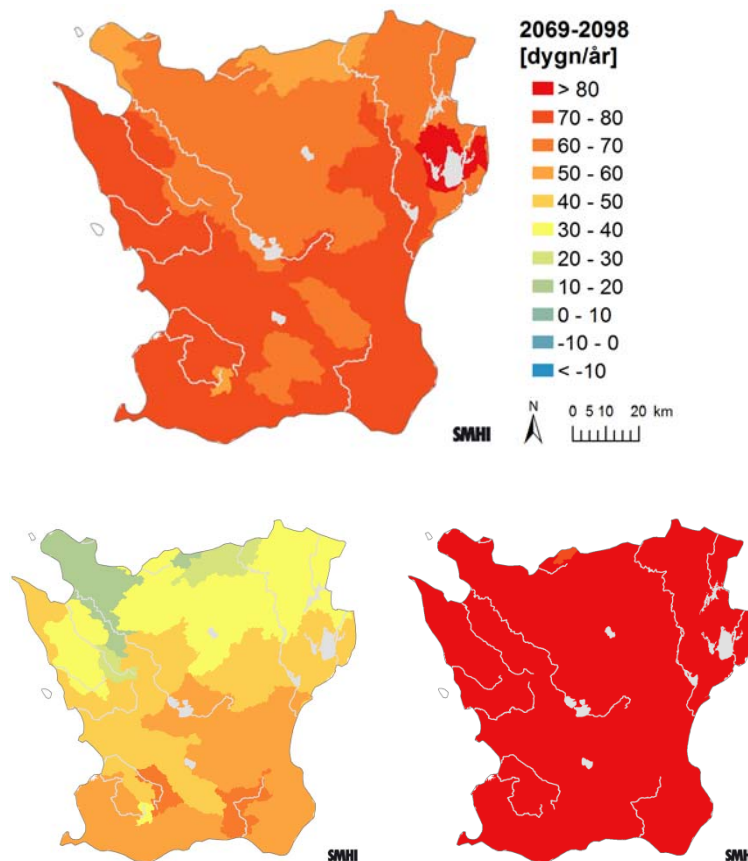


Figur 5.3-5. Skillnad mellan perioden 2021-2050 och 1963-1992 för antal dagar per år då markfuktigheten är lägre än medelvärdet av varje års lägsta värde beräknat för referensperioden 1963-1992. Den större figuren visar medelvärdet medan den nedre vänstra visar 25:e percentilen och den nedre högra figuren visar 75:e percentilen.

I slutet på seklet (2069-2098) är ökningen av antalet dagar med torka dramatisk (figur 5.3-6). I genomsnitt ökar antalet dagar med torka med 50-80 dagar per år. Det är svårt att se något geografiskt mönster, då ökningen är stor över hela länet. Möjligen är ökningen något större i den södra halvan av Skåne.

För att underlätta tolkningen av figurerna 5.3-5 och 5.3-6 finns i bilaga 4 kartor som på motsvarande sätt visar det absoluta antalet dagar istället för skillnaden mellan perioderna.

Det finns många olika mått på torka och de varierar stort beroende på vilken tillämpning som avses. I detta fall har ett mått använts som relaterar till markfuktigheten och dagens förhållanden. Detta för att måttet ska kunna ge en uppfattning om framtida förutsättningar för grödor avseende problem med torra markförhållanden. Om vi enbart studerar nederbörden ger det en sämre information om förhållandena för grödorna.



Figur 5.3-6. Skillnad mellan perioden 2069-2098 och 1963-1992 för antal dagar per år då markfuktigheten är lägre än medelvärde av varje års lägsta värde beräknat för referensperioden 1963-1992. Den större figuren visar medelvärdet medan den nedre vänstra visar 25:e percentilen och den nedre högra figuren visar 75:e percentilen.

Av säsongsutvecklingen för nederbörd som beskrevs i kapitel 5.2.1 framgår att nederbörden under sommaren inte uppvisar någon större förändring. Den kommer fortsatt att variera mellan åren men uppvisar ingen tydlig ökande eller minskande trend. Nederbörden visar en ökning framförallt under vintern och möjligen en svag tendens till ökning under vår och höst. Samtidigt kommer avdunstningen att öka under växtperioden till följd av högre temperatur. Den ökning av torra dagar som ses i diagram och kartor i detta avsnitt avser växtperioden. Processerna i marken är trögare än i atmosfären vilket gör att t.ex. nederbörden kan variera snabbare än tillståndet i marken. Torra perioder kan avlösa blöta snabbt vad gäller nederbörd men marken fungerar som ett förråd och torkar ut långsammare respektive fylls på långsammare efter torka.

Att växtperioden blir torrare avspeglar sig även i resultaten för vattenföring och tillrinning i denna rapport (kap. 5.4). Vattendragen är mottagare av vatten från marken, så när marken torkar ut tillförs allt mindre mängder till vattendragen.

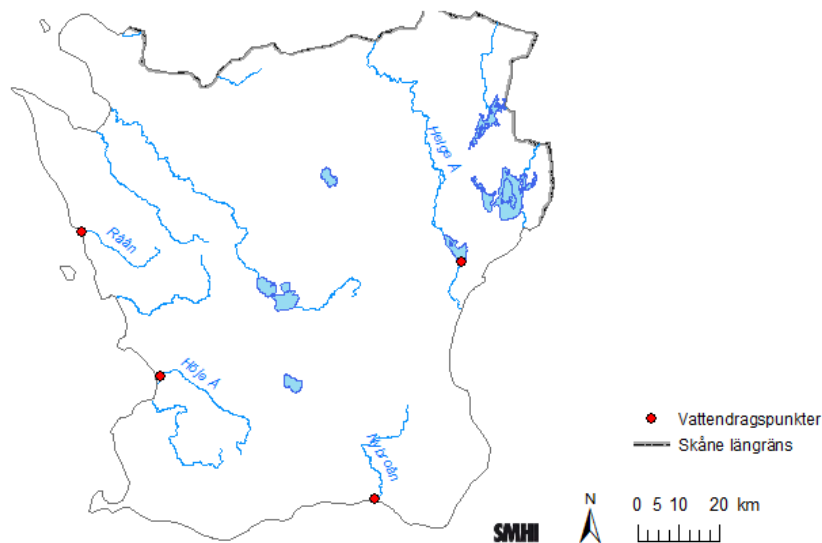
Det absoluta värdet på vatteninnehållet i marken uttryckt som mängd vatten för grödorna att tillgå beror på jordart, gröda och rotförhållanden samt lutningsförhållanden. Huruvida en gröda bevattnas eller inte beror på en mängd faktorer som tillgång på vatten och hur pass lönsam bevattning är dvs. produktiviteten. I framtiden kommer troligen grödoval och bruksmetoder förändras liksom uppfattningen om torka.

5.4 Vattenföring

I detta avsnitt beskrivs hur vattenföringen i vattendragen kan förväntas förändras efterhand som klimatet förändras. Vattenföring är benämningen för den mängd vatten som rinner fram i ett vattendrag och mäts ofta i kubikmeter per sekund (m^3/s). Vattenföringen på en plats i ett vattendrag är densamma som den totala tillrinningen från hela uppströms avrinningsområdet. Med lokal tillrinning avses bidrag från ett delavrinningsområde. Den lokala tillrinningen innefattar inte det vatten som kommer in i ett beräkningsområde uppströms ifrån.

Varje vattendrag har sin egen rytm och storleken på flödet varierar under året främst med klimatet i avrinningsområdet men också till följd av eventuella regleringar. Sjöar har en utjämnande effekt på vattenföringen i ett vattendrag, vilket beror på att en sjös utlopp på ett naturligt sätt begränsar utflödet. Under perioder med hög tillrinning kommer således vatten att magasineras i en sjö, sjöns nivå stiger, och flödet ur sjön blir mindre än det totala tillflödet. Den dämpande effekten styrs framförallt av sjöns areal och utloppets avbördningsförmåga, dvs. utformningen av utloppet och förhållandena nedströms sjön.

Resultat av hur vattenföringens dynamik kan förändras under året, hur medelvattenföringen per år och säsong kan förändras samt hur tillrinning (lokal och total) med en återkomsttid på 100 år förändras presenteras för fyra av länets vattendrag; Helge å, Nybroån, Råån och Höje å (se figur 5.4-1). Beräkningarna avser oreglerade förhållanden.



Figur 5.4-1. Översiktsskarta över Skåne län med markering för vattendragpunkter som har använts i flödesanalysen (röda).

5.4.1 Vattenföringens säsongsvariation

I figuren 5.4-2 presenteras vattenföringens dynamik under året för Helge å vid utlopp Hammarsjön, Nybroån vid mynningen i Östersjön, Höje å vid mynningen i Öresund och Råån vid mynningen i Öresund för referensperioden 1963-1992 och de två framtidsperioderna 2021-2050 och 2069-2098.

Medelvattenföringen för varje dag på året under referensperioden presenteras med en heldragen mörk linje och för den analyserade framtida perioden presenteras medelvattenföringen som en heldragen röd linje. De färgade fälten visar spannet mellan 75:e percentilen och 25:e percentilen för varje dags maximala respektive minimala värde under året av alla klimatscenarier. De grå fälten visar variationen

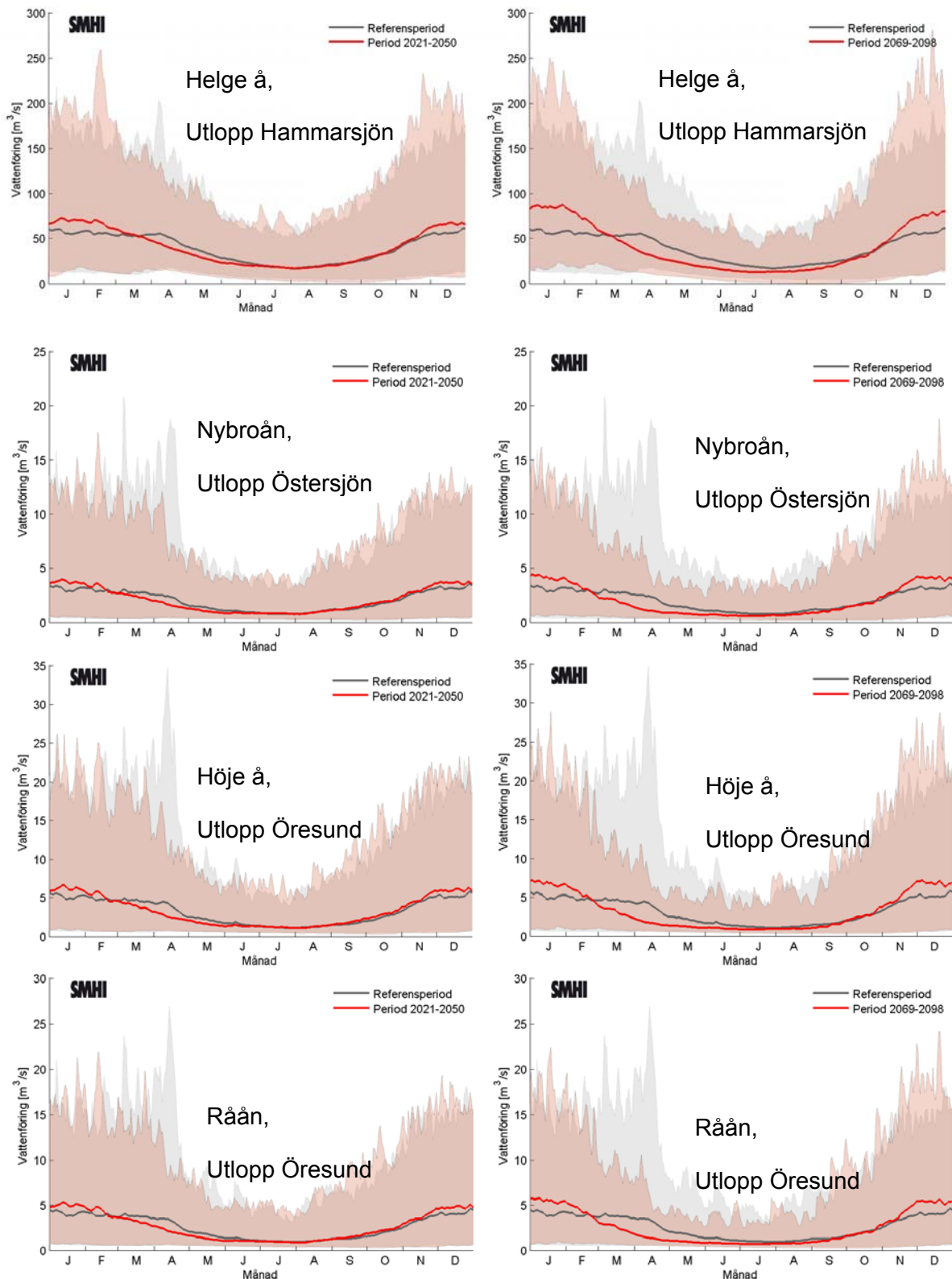
under referensperioden och de rosa fälten visar variationen för angiven framtida period. Notera att även referensperioden 1963-1992 har beskrivits med drivdata från klimatsimuleringarna.

För samtliga vattendrag ökar vattenföringen i början och slutet på året och minskar under våren och vanligen också under sommaren. Den förändring i säsongsdynamiken som ses för perioden 2021-2050 jämfört med 1961-1990 förstärks för perioden 2069-2098. Perioden 2021-2050 visar högre vattenföring i början och slutet av året jämfört med referensperioden 1963-1992. Detta blir ännu tydligare för perioden 2069-2098. Runt mars och april påvisar de båda framtida perioderna lägre vattenföring än referensperioden.

Förändringen i säsongsdynamik orsakas av att nederbörden beräknas öka under vintern samtidigt som en minskande mängd lagras i form av snö beroende på högre temperaturer. Det gör att flödet ökar under vintern samtidigt som snösmältningen på våren minskar eller helt uteblir vissa år. Avdunstningen under vår- och höstperioder ökar eftersom temperaturen ökar och växterna därmed har en längre säsong. Det leder till att mindre mängd av nederbörden kommer till vattendragen. Vår och höst definieras här utifrån dagens förhållanden.



Helge å. Foto: Anna Stenlo, Länsstyrelsen i Skåne län,



Figur 5.4-2. Den vänstra figuren för medeldygnsvattenföring perioden 1963-1992 och 2021-2050 baserat på 16 klimatsimuleringar. Den högra figuren visar motsvarande baserat på 12 klimatsimuleringar för slutet på seklet (2069-2098). Heldragen svart linje visar medelvattenföring för referensperioden och heldragen röd linje visar medelvattenföring för den framtida tidsperioden. Det grå fältet visar variationen mellan 75:e percentilen av alla scenariers maxvärde och 25:e percentilen av alla scenariers minvärde under referensperioden. Det ljusröda fältet visar motsvarande för de framtida tidsperioderna.

5.4.2 Medelvattenföring

Analys av hur ett framtida klimat kan påverka medelvattenföringen för vattendrag i Skåne län presenteras i detta avsnitt. Även den lokala tillrinningen kommenteras.

Figurerna 5.4- 3 – 5.4-6 visar den procentuella förändringen av årsmedelvattenföring och medelvattenföring per säsong för Helge å vid utlopp Hammarsjön, Nybroån vid mynning i Östersjön, Höje å vid mynningen i Öresund och Råån vid mynningen i Öresund (figur 5.4-1). Figurerna avser vattenföringen vid respektive utloppsplats dvs. den totala tillrinningen och ger en sammanfattande bild av samtliga klimatscenarier relativt referensperioden 1963-1992.

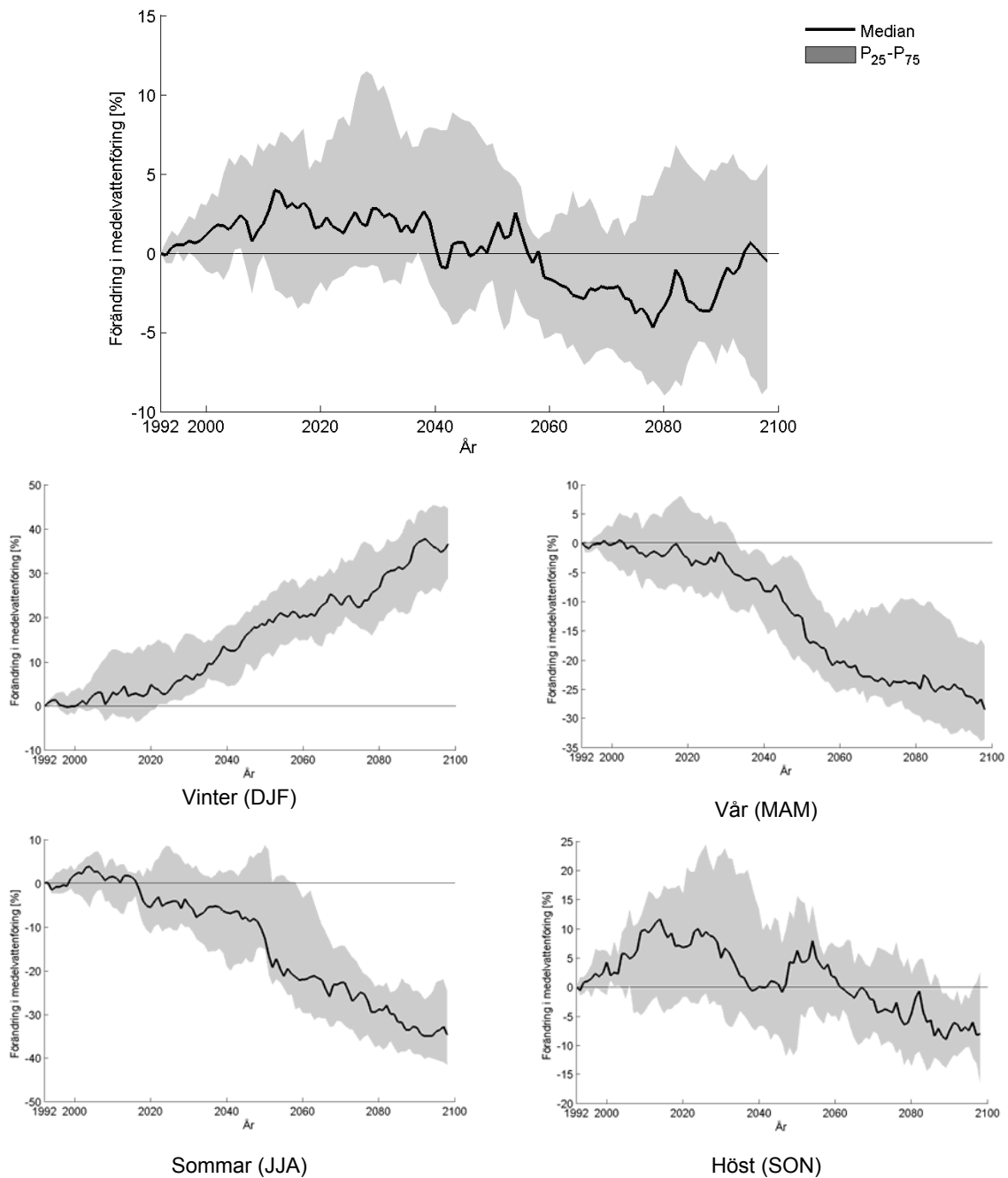
Medelvattenföringen har beräknats för löpande 30-årsperioder efter tidsperioden 1963-1992 (dvs. 1964-1993, 1965-1994, ..., 2069-2098). Detta har gjorts för samtliga klimatscenarier. Medelvattenföringen beräknad för perioden 1963-1992 utgör referensvärdet med vilket beräknad medelvattenföring för övriga 30-årsperioder relateras till och förändringen uttrycks i procent.

Utvecklingen under vinter, vår och sommar är tydlig för samtliga vattendrag men för hösten är den mer varierad under perioden. Ökningen vid seklets slut för vintern är ungefär 25%. Motsvarande för våren är minskning med ca 25% för Helge å vid utlopp Hammarsjön och Nybroån vid mynning i Östersjön samt en minskning runt 40 % för Höje å vid mynningen i Öresund och Råån vid mynningen i Öresund. För sommaren kan minskningen vid seklets slut förväntas vara 30-35%.

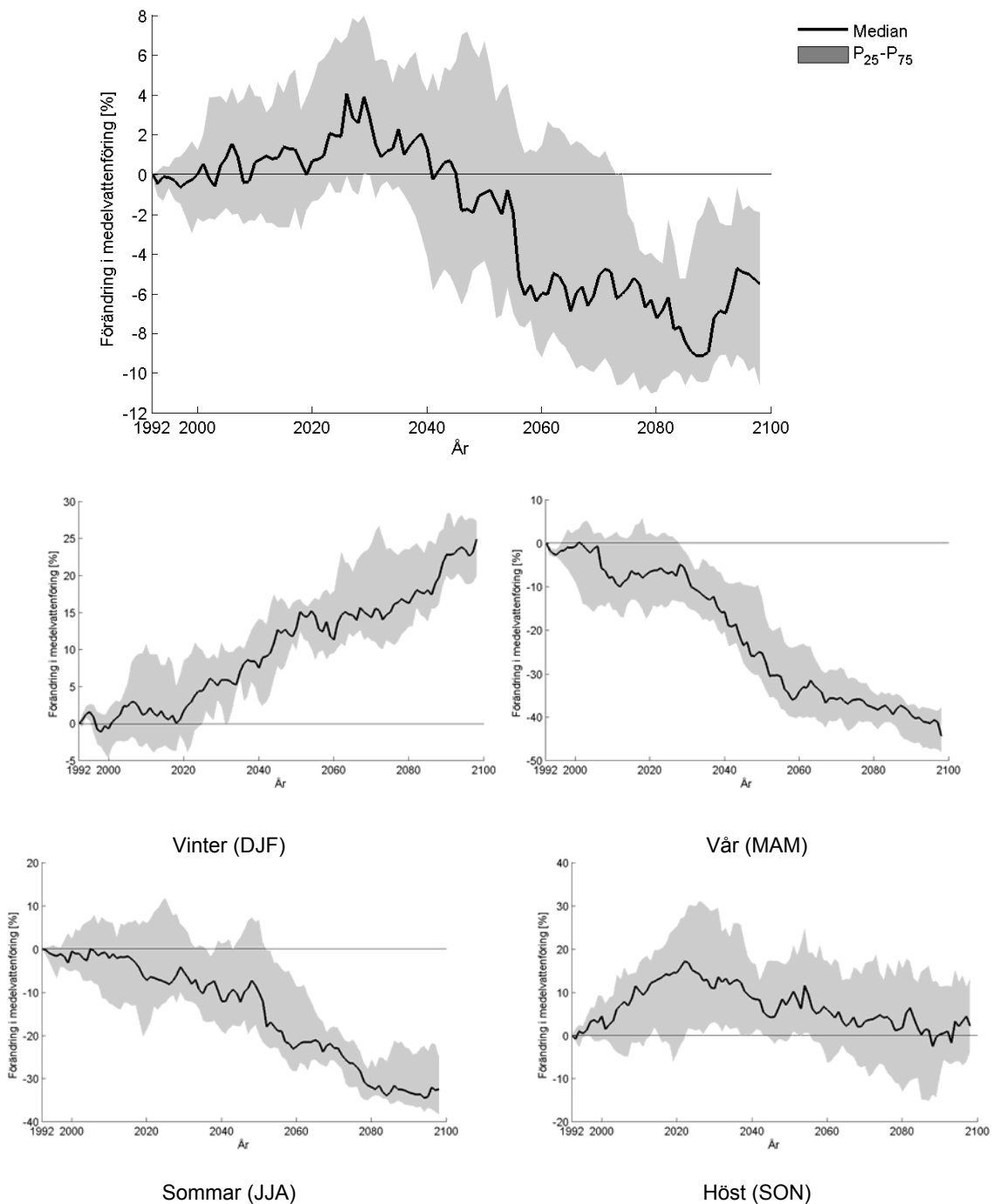
Förändringen av årsmedelvattenföringen uppvisar ett likartat förlopp för de fyra vattendragen. Fram till ca 2040 ses en svag ökning i medianvärdena, för att därefter visa på minskande årsmedelvattenföring. För Helge kan en återgång ses mot slutet av seklet men för Nybroån, Höje å och Råån ser årsmedelvattenföringen ut att minska med 6-7%. Utvecklingen beskrivs schematiskt i tabell 5.4-1.

Tabell 5.4-1. Förenklad sammanfattande tabell av figurerna 5.5-4– 5.5-7. Pilarna anger en förändringsriktning och tre symboler används. Ökande medeltillrinning under perioden visas som uppåtgående pil och minskande som nedåtgående pil. Då ingen tydlig förändring kan ses eller förändringen varierar periodvis upp och ned utan tydlig riktning mot slutet av perioden anges detta med horisontell pil. Observera att tolkningen är grovt schematisk och anger inte storleken på förändringen.

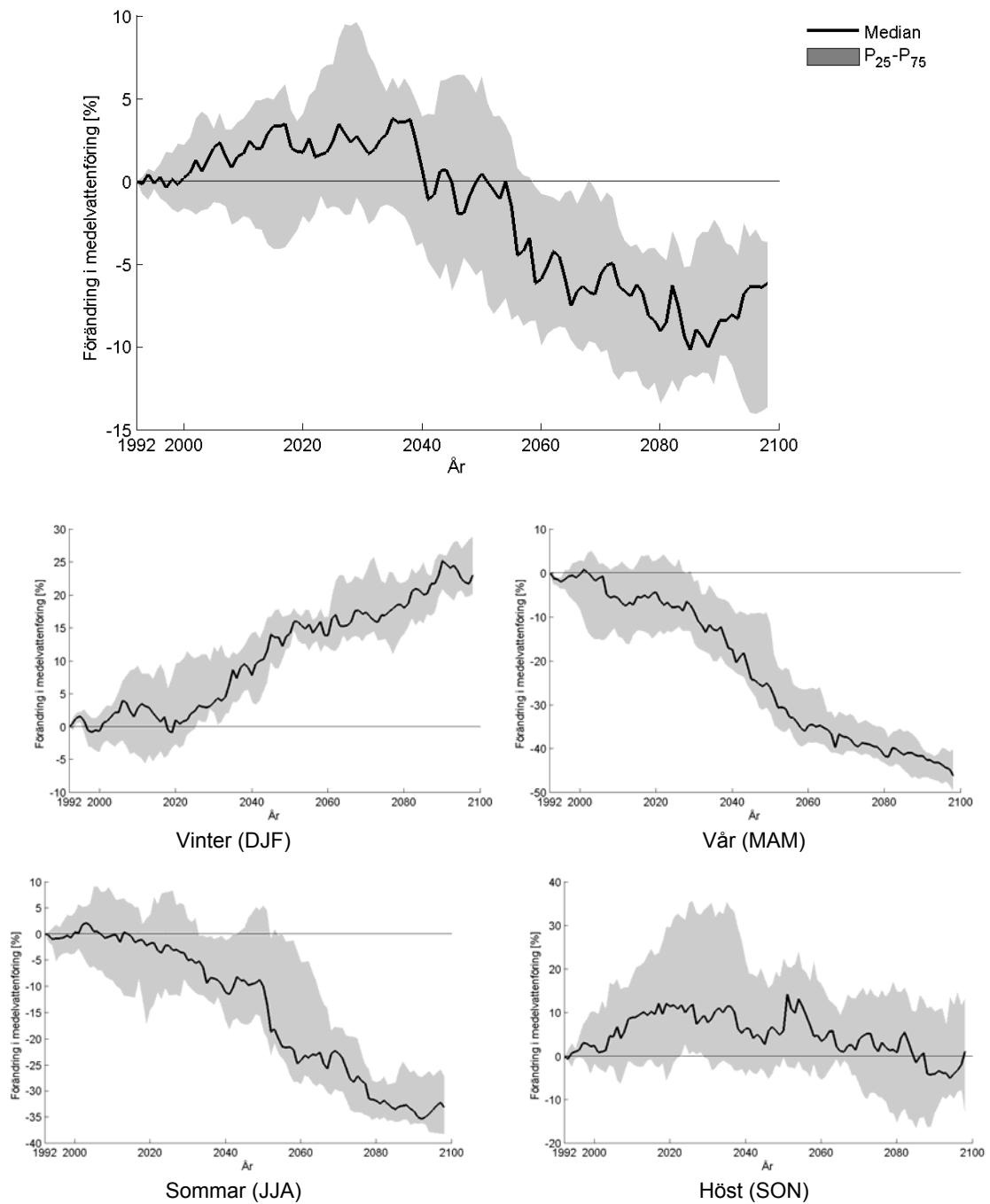
	Plats i vattendrag	År	Vinter	Vår	Sommar	Höst
1	Helge å vid utlopp Hammarsjön	→	↗	↘	↘	→
2	Nybroån vid mynning i Östersjön	↘	↗	↘	↘	→
3	Höje å vid mynningen i Öresund	↘	↗	↘	↘	→
4	Råån vid mynningen i Öresund	↘	↗	↘	↘	→



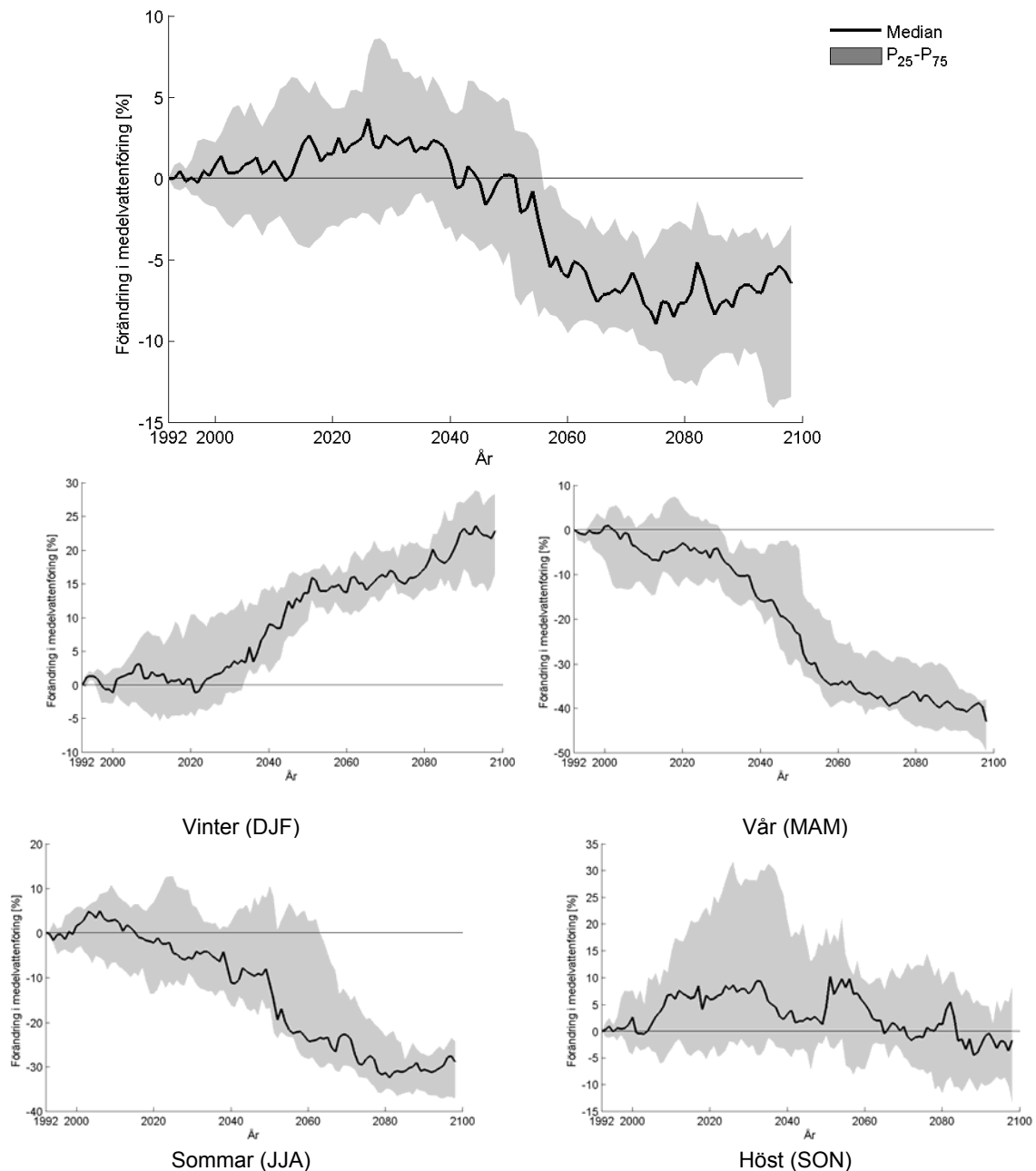
Figur 5.4-3. Procentuell förändring av årsmedelvattenföring (överst) och medelvattenföring per säsong i Helge å vid utloppet till Hammarsjön enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärdet av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



Figur 5.4-4. Procentuell förändring av årsmedelvattenföring (överst) och medelvattenföring per säsong i Nybroån vid mynningen i Östersjön enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärde av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



Figur 5.4-5. Procentuell förändring av årsmedelvattenföring (överst) och medelvattenföring per säsong i **Höje å vid mynningen i Öresund** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Observera att det är olika skala på figurerna. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärdet av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.

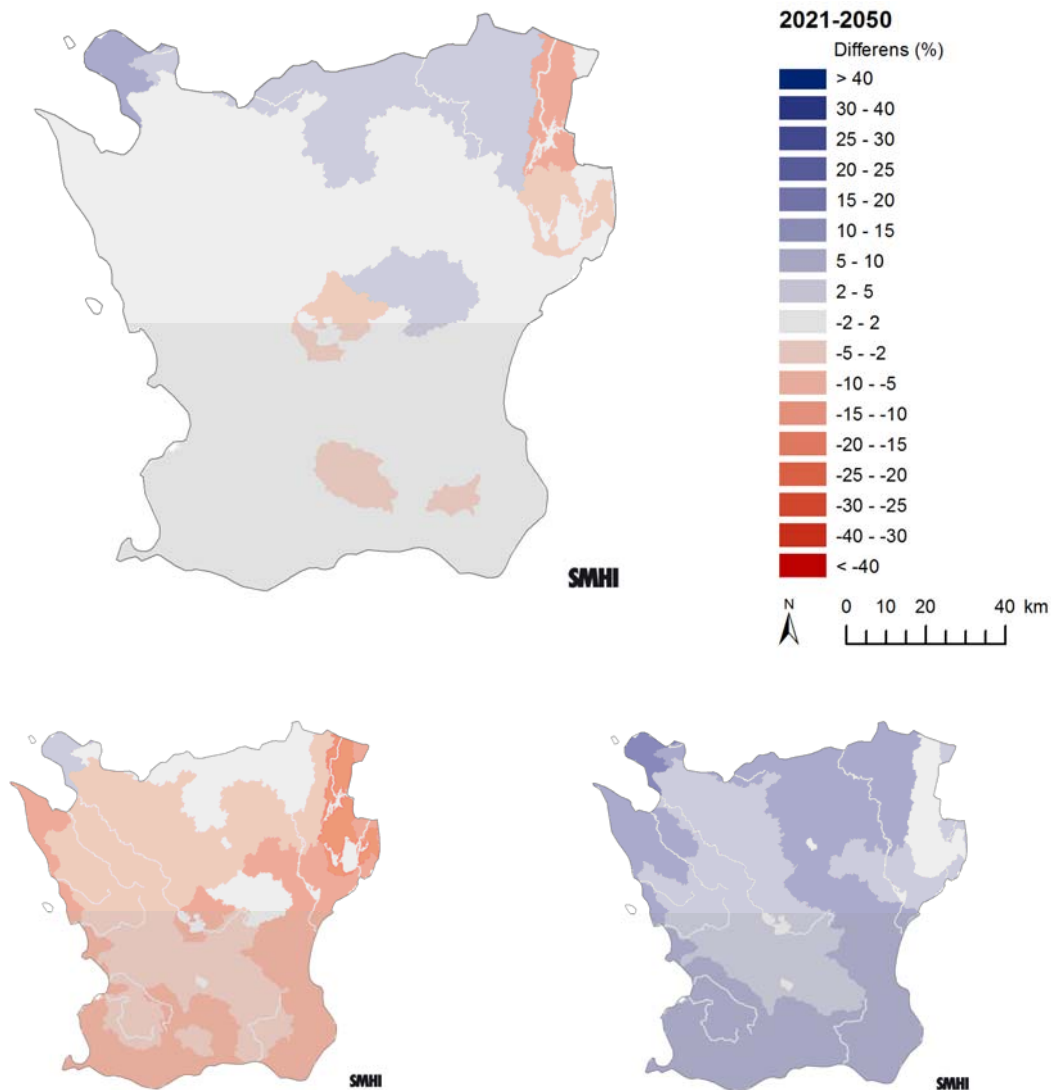


Figur 5.4-6. Procentuell förändring av årsmedelvattenföring (överst) och medelvattenföring per säsong till **Råån vid mynningen i Öresund** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Observera att det är olika skala på figurerna. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärdet av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.

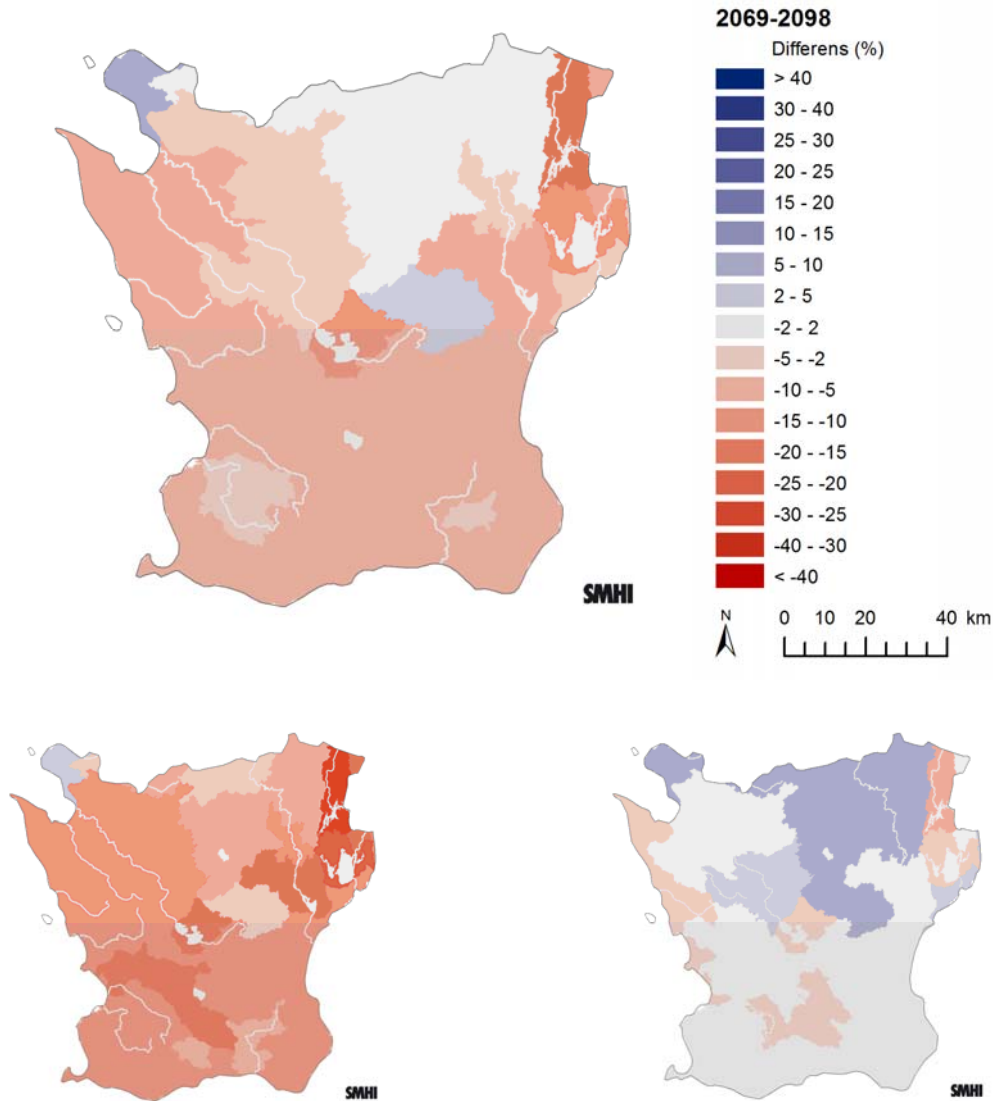
I figurerna 5.4-7 och 5.4- 8 visas i kartform medianvärdet av förändringen av den lokala årsmedeltillrinningen i procent för hela länet beräknat från samtliga klimatscenarioer för perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098. Parallellt visas även 25:e percentilen och 75:e percentilen av samtliga scenariers årsmedeltillrinning för samma perioder.

I kartbilderna visas den lokala tillrinningen, det vill säga bara det bidrag av vatten som rinner från varje enskilt avrinningsområde. Det ger en bild av hur mindre vattendrag påverkas eftersom deras vattenföring endast beror av lokala förhållanden.

För den lokala tillrinningen, enligt klimatscenariernas medianvärden syns en förändring på -2 till 2 % i stort sett hela Skåne för perioden 2021-2050 jämfört med 1961-1990. I de nordostliga delarna av Skåne kan en ökning på 2-5 % förväntas och i de allra nordostligaste samt vissa inre delar av Skåne ses en minskning på 2-10 % relativt referensperioden. Den ökning som ses i den nordvästliga delen av länet återfinns även i 25:e percentilvärdena, vilket får anses vara ett tydligt resultat. Mot slutet av seklet förstärks mönstret och stora delar av länet har en minskning på 5-10% jämfört med referensperioden 1963-1992. De nordligaste delarna ligger på en förändring med -2 till 10 % och de allra nordostligaste samt inre delarna på 5-15 % relativt 1961-1990.



Figur 5.4-7. Förändring av lokal årsmedeltillrinning i Skåne för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den övre figuren visar medianvärdena medan den nedre vänstra figuren visar 25:e percentilen och den nedre högra figuren visar 75:e percentilen av samtliga scenariers årsmedelvärden.



Figur 5.4-8. Förändring av lokal årsmedeltillrinning i Skåne län för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större figuren visar medianvärdena medan den nedre vänstra figuren visar 25:e percentilen och den nedre högra figuren visar 75:e percentilen av samtliga scenariers årsmedelvärden.

5.4.3 100-årsflöden

Begreppen återkomsttid, risk och sannolikhet är centrala i samband med diskussioner om höga flöden. Med en händelses återkomsttid menas att händelsen i genomsnitt inträffar eller överträffas en gång under denna tid. Infrastruktur med lång livslängd exponeras för denna risk under lång tid och således är den ackumulerade sannolikheten avsevärd. Sannolikheten för exempelvis ett 100-års flöde är 1 på 100 för varje enskilt år. För ett objekt med en beräknad livslängd på 100 år och dimensionerad för att klara en 100-årsnivå är den ackumulerade sannolikheten för översvämning med nivåer över 100-årsnivån under denna period 63 %. Detta är skälet till att man för riskobjekt, som exempelvis större dammar, ofta sätter gränsen vid, eller till och med bortom, flöden med en återkomsttid i storleksordningen 10 000 år. Sannolikheten under 100 års exponering uppgår då till ca 1 %. Tabell 5.4- 2 visar sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikheten under 100 år. Beräkningen av 100-årsflödets storlek görs med en statistisk beräkning, s.k. frekvensanalys, baserad på vattenföringens årliga maxvärden utifrån en tidsserie. Genomgående har Gumbel-fördelning

använts vid flödesanalysen, även kallad Extreme Value Type I. Resultat från en frekvensanalys måste tolkas med försiktighet. Dessa är i högsta grad beroende på mätseriens längd vilket gör att exempelvis ett 100-årsflöde ofta ändras i takt med att nya data flyter in. Beräkningarna försvåras speciellt om dataserierna är korta eller om de är påverkade av regleringar i vattendraget. För att underlätta tolkningen i ett klimatperspektiv används här samma längd på tidsserien som en standardperiod, dvs. 30 år.

Tabell 5.4-2. Sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikhet i procent. Värden lägre än 1 % redovisas inte.

Återkomsttid (år)	Sannolikhet under 1 år	Sannolikhet under 5 år	Sannolikhet under 10 år	Sannolikhet under 20 år	Sannolikhet under 50 år	Sannolikhet under 100 år
2	39	92	99	100	100	100
5	18	63	86	98	100	100
10	10	39	63	86	99	100
25	4	18	34	56	87	98
50	2	10	18	33	63	86
100	1	5	10	18	39	63
1000			1	2	5	10
10 000						1

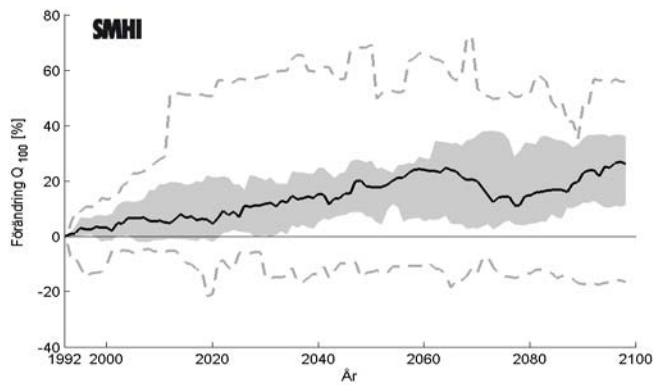
I figur 5.4-9 presenteras 100-årsvattenföringar för Helge å vid utlopp Hammarsjön, Nybroån vid mynning i Östersjön, Höje å vid mynningen i Öresund och Råån vid mynningen i Öresund. Beräkningarna är gjorda för oregrerade förhållanden och avser vattenföringen dvs. den totala tillrinningen.

100-årsflöden har beräknats för löpande 30-årsperioder efter tidsperioden 1963-1992 (dvs. 1964-1993, 1965-1994, ..., 2069-2098). Detta har gjorts för samtliga klimatscenarier. 100-årsflödet beräknat för perioden 1963-1992 utgör referensvärdet med vilket beräknade 100-årsflöden för övriga 30-årsperioder jämförs med. Förändringen av storleken på 100-årsflödet uttrycks i procent. Diagram med de enskilda scenarieberäkningarna finns i bilaga 5.

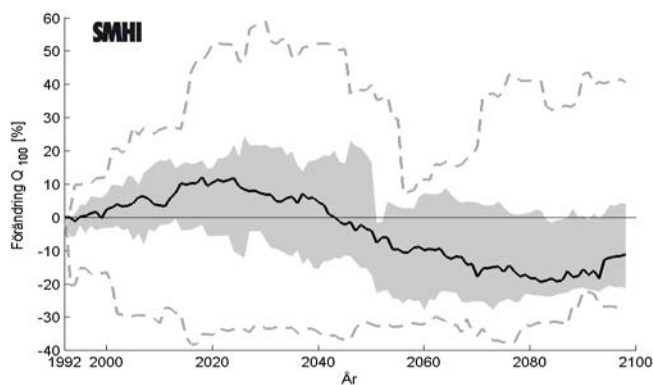
Variationen är stor mellan de olika beräkningarna. För Helge å vid utlopp Hammarsjön visar beräkningarna på en ökad total 100-årstillrinning på slutet av seklet med ca 20%. För övriga vattendragspunkter visar beräkningarna på en minskning med ca 10% vid slutet av perioden. I tabell 5.4-3 anges 100-årsvattenföringar för de fyra vattendragen dels beräknad för dagens förhållanden utifrån statistisk bearbetning av mätdata och dels anges 25:e och 75:e percentilvärdena enligt framtidsberäkningarna.

Tabell 5.4-3. Beräknade 100-årsvattenföringar för utvalda vattendrag i Skåne län i dagens klimat enligt SMHI:s flödesstatistik (HQ 100). Den beräknade 100-årsvattenföringen vid seklets slut enligt 25:e och 75:e percentilen av klimatscenerierna.

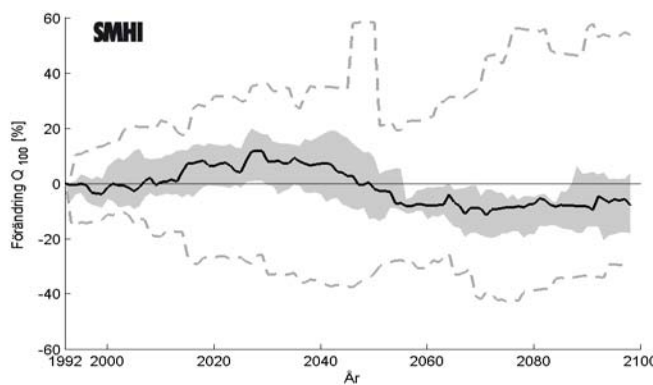
Huvudvattendrag	Plats	100-års vattenföring (m ³ /s)	
		Idag enligt flödesstatistik	Vid seklets slut enligt beräknade 25-75 percentiler (m ³ /s)
Helge å	Utlopp Hammarsjön	284	316 - 323
Nybroån	Mynning i Östersjön	46	36 - 48
Höje å	Mynningen i Öresund	32	26 - 33
Råån	Mynningen i Öresund	39	29 - 42



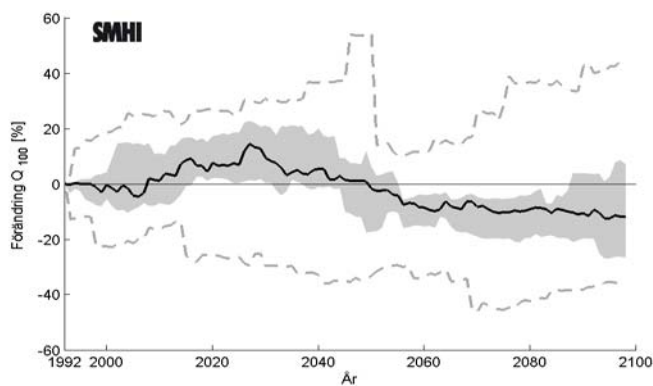
Helge å
vid utloppet till Hammarsjön



Nybroån
vid mynningen till Östersjön

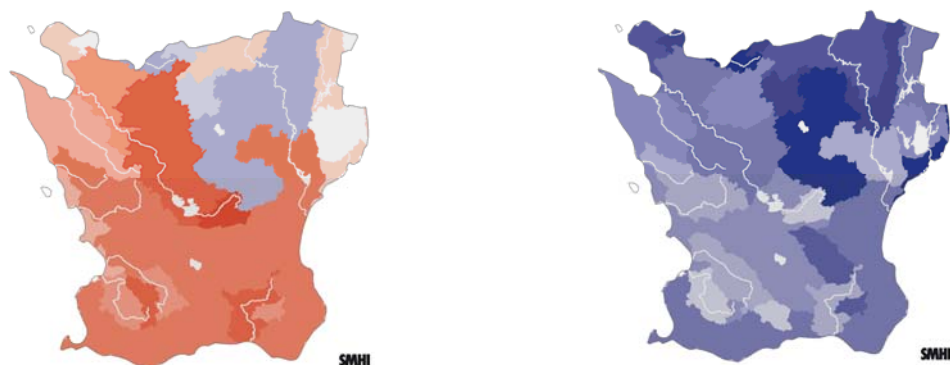
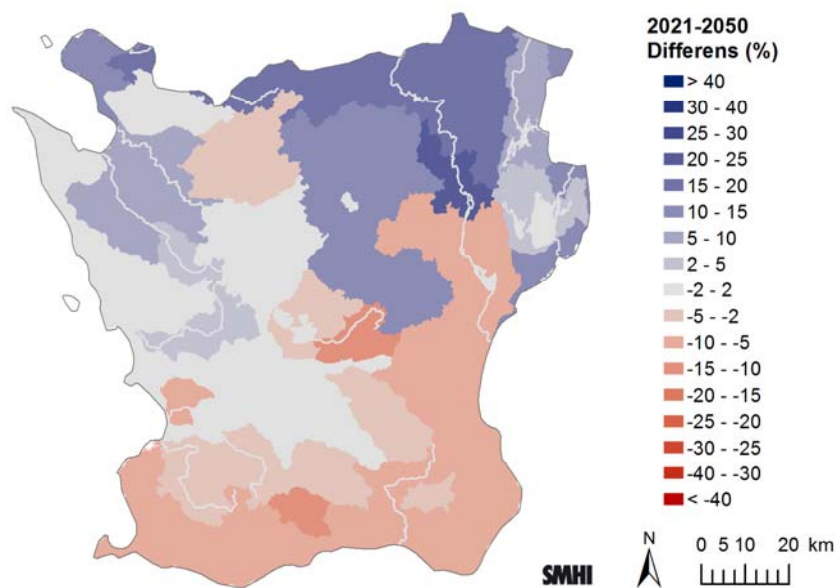


Höje å
vid mynningen till Öresund



Råån
vid mynningen i Öresund

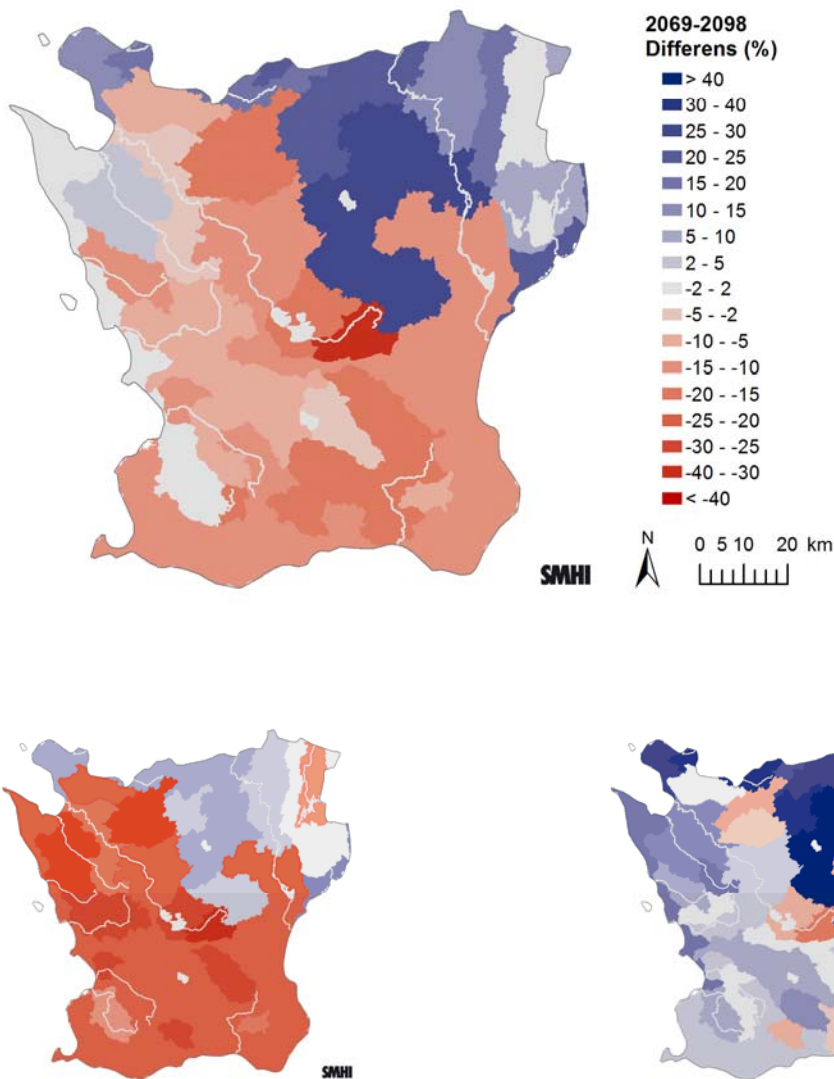
Figur 5.4-9. Procentuell förändring av 100-årsvattenföring enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årsvattenföringen beräknad från referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärdena för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen. Den svarta linjen visar medianen och de streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarier.



Figur 5.4-10. Förändring av **lokal 100-årstillrinning** i Skåne län för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större figuren visar medianvärdena medan den nedre vänstra figuren visar 25:e percentilen och den nedre högra figuren visar 75:e percentilen av samtliga scenariers 100-årsvärden.

I kartorna (figurerna 5.4-10 och 5.4-11) visas medianvärdet av förändringen av den *lokala* 100-årstillrinningen i hela länet beräknat från samtliga klimatscenarier för perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098. I kartbilderna redovisas resultat för det bidrag av vatten som rinner från varje enskilt avrinningsområde. Det ger en bild av hur mindre vattendrag, vars vattenföring endast beror av lokala förhållanden, påverkas.

Den lokala 100-årstillrinningen förändras olika över länet enligt medianvärdena. I syd till sydost syns en minskning på 2-15% för perioden 2021-2050 jämfört med 1961-1990. I de nord till nordöstliga delarna är förändringen -2 till 20 % relativt referensperioden.

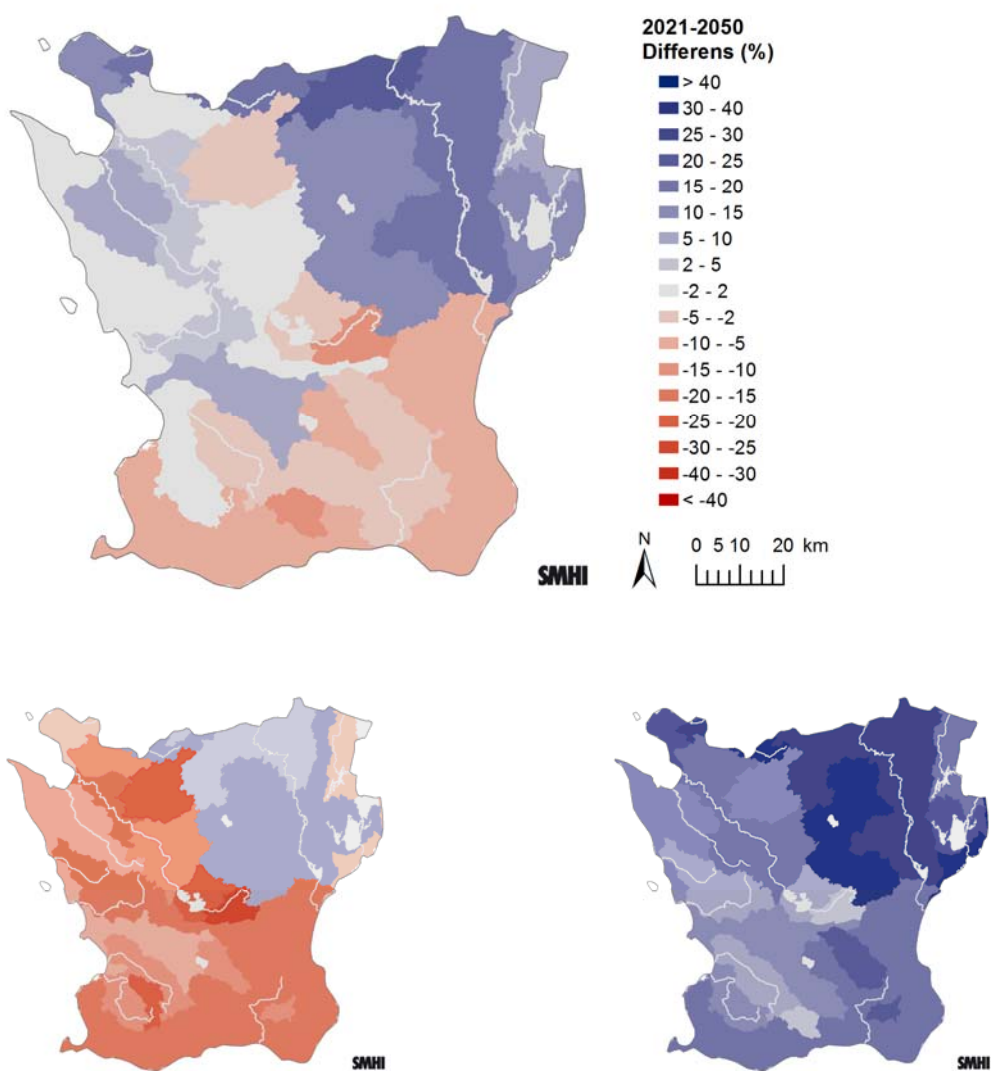


Figur 5.4-11. Förändring av **lokal 100-årstillrinning** i Skåne län för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större figuren visar medianvärdena medan den nedre vänstra figuren visar 25:e percentilen och den nedre högra figuren visar 75:e percentilen av samtliga scenariers 100-årsmedelvärden.

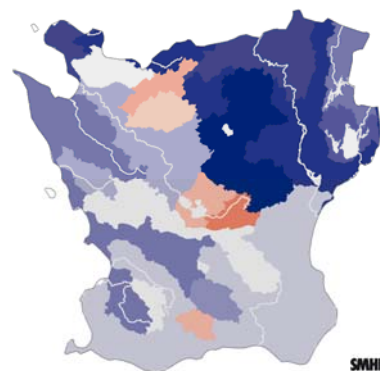
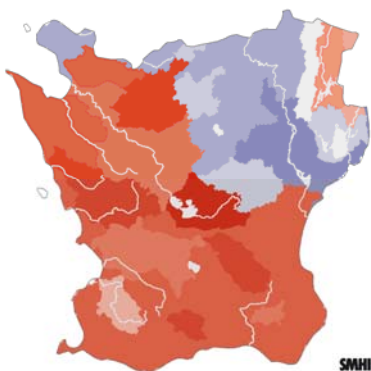
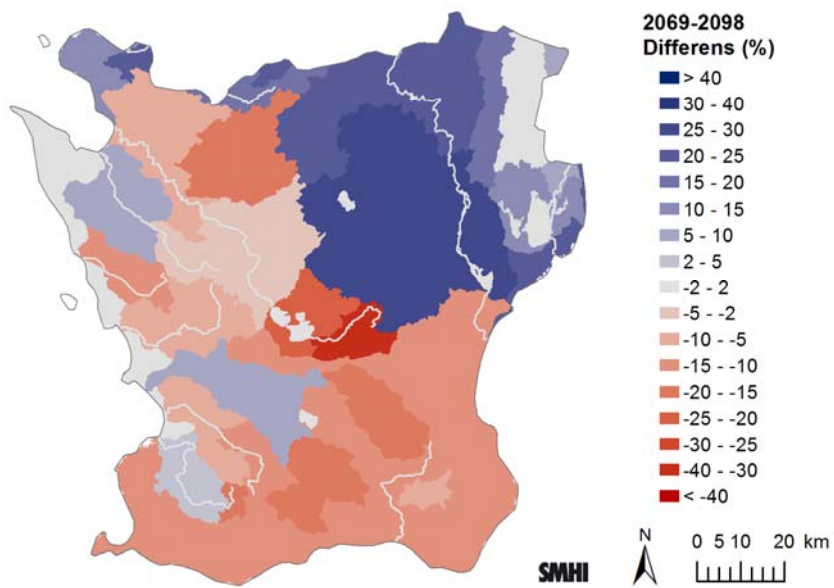
I figurerna 5.4- 12 och 5.4-13 visas medianvärdet av förändringen av den **totala** 100-årstillrinningen i hela länet beräknat från samtliga klimatscenarier för perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098. Parallellt visas även 25:e percentilen och 75:e percentilen av samtliga scenariers totala 100-årstillrinning för samma perioder.

I dessa kartbilder visas alltså det ackumulerade flödesbidraget från alla uppströms avrinningsområden, till skillnad från den lokala tillrinningen som syns i figurerna 5.4-10 och 5.4-11.

I kartorna syns ett mönster som liknar det för den lokala 100-årstillrinningen med endast smärre variationer.



Figur 5.4-12. Förändring av **total 100-årstillrinning** i Skåne län för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större figuren visar medianvärdena medan den nedre vänstra figuren visar 25:e percentilen och den nedre högra figuren visar 75:e percentilen av samtliga scenariers 100-årsvärden.



Figur 5.4-13. Förändring av **total 100-årstillrinning** i Skåne län för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större figuren visar medianvärdena medan den nedre vänstra figuren visar 25:e percentilen och den nedre högra figuren visar 75:e percentilen av samtliga scenariers 100-årsvärden.

5.5 Grundvatten

Högre temperaturer och ökad nederbörd påverkar det hydrologiska kretsloppet och därmed också grundvattenförhållandena. För svenska förhållanden är det mycket liten skillnad mellan grundvattenbildning och avrinningsbildning. Kartmaterialet i kapitel 5.4.2 ger därför en god bild av hur grundvattenbildningen kan komma att förändras. Dessa kompletteras här med en kort sammanfattning av tidigare studier över grundvattenbildning i framtida klimat.

Grundvattenbildningen är beroende av vilken typ av jordart som förekommer och markens olika zoner. I en studie av Rodhe m.fl., (2009) redovisas beräknad grundvattenbildning och grundvattennivåer i Sverige för typjordarna grov jord och morän (här kallade markklasser), för perioden 1961-1990 och 2071-2100. Som grund för slutsatserna kring grundvattnet har en särskild beräkningsmodell utvecklats. Modellen baseras bland annat på dagliga värden för temperatur och nederbörd. För att beräkna framtida grundvattennivåer har i grundvattenmodellen använts data från tioalet klimatscenarier.

I en rapport framtagen av SGU och SMHI (Sundén m.fl., 2010) diskuteras grundvattennivåer och vattenförsörjning i framtida klimat baserat på de beräkningar som gjorts med ovan nämnda modell.

Grundvattenbildningen 1961-1990 är beräknad för att jämföras med framtida grundvattenbildning och bygger därför på temperatur och nederbörd enligt klimatmodellen. Det regionala mönstret i förändringen i grundvattenbildning stämmer överens med Sverigekartor över förväntad förändring i avrinning (ex. Andréasson m.fl., 2007). Den modellerade grundvattenbildningen har anpassats till att stämma överens med uppmätt avrinning, men med skillnaden att grundvattenbildningen i olika jordarter har uppskattats.

I beräkningarna över förändrad grundvattenbildning syns för Skånes län en minskning med -5 – -20% för markklassen morän (figur 5.6-1). För markklassen grov framkommer en svagare minskningstendens, än för markklassen morän, ned till -10%. Längs södra och östra kusten visas förändringen 0-5%.



Figur 5.5-1. Beräknad förändring av årsmedelvärden för grundvattenbildning, fram till 2071-2100 jämfört med 1961-1990, för markklasserna morän och grov. Källa: Rodhe m.fl., 2009.

I studien (Rodhe m.fl., 2009) redovisas beräkningar för några av SGUs grundvattenstationer. Hallsberg representerar grov jord med grund grundvattennivå och Herrljunga morän. Grundvattennivåns uppskattade variationsvidd 1961-1990 och 2071-2100 var för Hallsberg 0,95 m respektive 1,13 m och för Herrljunga 2,50 m respektive 3,07 m, dvs. större variation i framtidsklimatet. Den relativa förändringen var 15,6% för Hallsberg och 18,6 % för Herrljunga.

Grundvattennivåns medelvariation över året uppvisar likartade mönster för de bägge typjordarna. I dagens klimat ökar grundvattennivån på våren för att därefter sjunka till lägsta nivå i september och därefter stiga till december och sedan plana ut. Skillnaden i framtidsklimatet är framförallt högre

nivåer i början på året dvs. under vintern, orsakat av minskad snöbildning och därmed påfyllnad av regnederbörd. En längre vegetationsperiod kan också ses i form av lägre nivåer under större del av året, framförallt för den grova jorden. Detta stämmer väl överens med vattenföringens säsongsdynamik som är beskriven i kapitel 5.4.1.

I de varaktighetsdiagram över grundvattennivåer som presenteras i Sundén m.fl. (2010) kan ses att för två grundvattenstationer i Herrljunga (i morän med liten magasinstorlek) ökar frekvensen av ytligare grundvattennivåer. Samma tendens syns även för station Hallsberg (i sand med liten magasinstorlek). Studien omfattar 10 klimatscenarier.

En stigande havsnivå kan förutom ökade översvämningrisker och kusterosion också påverka grundvattenförhållandena närmast kusterna. En högre havsnivå ger generellt sett en högre grundvattennivå. Hur långt in i landet havsnivån påverkar beror främst på lutningsförhållanden och markegenskaper, men också på uttaget av grundvatten. En påtaglig effekt av en höjd havsnivå kan vara ökad saltvatteninträngning i kustnära brunnar. Problematiken är dock mycket beroende på uttaget av grundvatten för dricksvattenförsörjningen dvs. i flera kustnära områden attraktiva för boende i Sverige är problemet ökande redan idag beroende på ökade uttag av grundvatten.

Länsstyrelserna i Skåne och Blekinge län har i en rapport beskrivit konsekvenser av stigande havsnivå för fysisk planering. För Skåne bedöms saltvatteninträngningen som liten och av tio lågt liggande grundvattenskyddsområden i Skåne anses Torekov, Degeberga sommarby och Åhus behöva djupare analyser över eventuella framtida problem (Länsstyrelserna, 2008).

6 Havsvattenstånd

6.1 Det globala havsvattenståndet

Havsvattenståndets variation beror av många faktorer. Globalt sett är de viktigaste den termiska expansionen (havets utvidgning vid uppvärmning) och bidrag från smältande glaciärer och de stora landisarna på Grönland och Antarktis. Ändrade nederbördsförhållanden på dessa stora isar har också stor betydelse. Det finns även stora lokala skillnader, som beror på ändrade salthaltsförhållanden, ändringar i det lokala vindklimatet, ändrade gravitationsfält när de stora isarna smälter samt ändrade landhöjnings- och landsänkningsförhållanden när belastningen på jordskorpan förändras om trycket från de stora isarna minskar. Eftersom de mest extrema vattennivåerna oftast är mest intressanta lokalt så betyder ändrad frekvens, intensitet och riktning hos stormar mycket.

I början av 1990-talet skickades flera satelliter upp vars syfte var att mäta jordytan med stor precision. Dessa mätningar visar att havsytan globalt i medeltal stigit drygt 3 mm/år under perioden 1991-2003. Detta syns även i svenska mätserier. Det finns samtidigt områden som stigit mer, eller mindre, bland annat beroende på variationer i temperatur.

Frågan om framtidens havsnivåer har blivit alltmer aktuell under de år som gått sedan IPCC presenterade sin fjärde Assessment Report (AR4) i januari 2007 (IPCC, 2007) och som utgick från den då tillgängliga klimatforskningen. AR4 angav 18-59 cm som ett intervall för höjningen av havsnivån, med regionala variationer. I bedömningen ingick effekten av havets volymexpansion orsakad av uppvärmningen och bidrag från smältande landbaserade isar. IPCC noterade att det inte fanns tillräckligt underlag för att bedöma huruvida landisarnas avsmältning skulle ytterligare accelerera i framtiden. Sedan dess har flera vetenskapliga artiklar publicerats som betonar risken för att isavsmältningen kan komma att ske snabbare och att världshavet kan komma att stiga mer än vad som tidigare antagits.

Nyare uppgifter från den internationella forskningen presenteras i tabell 6-1. Den är baserad på de uppgifter som nått SMHI hittills och gör inte anspråk på att vara fullständig. Observera att siffrorna inte är helt jämförbara eftersom de utgår från olika referensperioder. Därför har den aktuella referensperioden angivits i tabellen. Samtliga referenser bygger på vetenskapliga studier. SMHI söker mer information om bakgrundsmaterial till olika ställningstaganden om framtida havsvattennivån, men har i dagsläget endast de publicerade rapporterna att tillgå.

Tabell 6-1. Sammanställning av internationella utredningar avseende stigande havsnivå.

Datum	Källa	Referensperiod	Höjning till ungefär år 2100 (cm)
Januari 2007	IPCC (2007)	1980-1999	18-59 (exkl. isdynamik)
Hösten 2008	Deltacommissie (2008) (Holland)	1990	55-120
April 2009	Rummukainen och Källén (2009)	2009	<i>"det kan röra sig om en meter under de närmaste 100 åren"</i>
Juni 2009	Ministry of Natural Resources and Environment (2009), Vietnam	1980-1999	75 (65-100)
Juni 2009	UK Climate Projections science report (Lowe et al., 2009)	1980-1999	11,6 – 75,8 runt Storbritannien och Irland
September 2009	Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap I Norge (2009)	2000-2100	80
November 2009	Copenhagen diagnosis (2009)	1980-1999	<i>"at least twice as much as projected by Working Group1 of the IPCC AR4"</i> <i>"it may well exceed 1 m"</i>
November 2009	NOAA (2009)	<i>"by the end of this century"</i>	3 – 4 fot (90-120 cm)
November 2009	Netherlands Environmental Assessment Agency PBL et al. (2009).	1990 -2100	55 -110 (40 -105 lokalt för Holland)
Februari 2010	Australian Department of Climate Change (2010)	1990-2100	110
Februari 2011	Köpenhamns klimatanpassningsplan (Københavns Kommune, 2011)	2010-2110	100
2011	SWIPA 2011 Assessment (AMAP, 2011)	1990-2100	90-160

Senare bedömningar av havets framtida nivåer skiljer sig från IPCC:s siffror från 2007. En del av skillnaden är dock skenbar och kan till en del bero på att uppgifterna presenteras på ett annat sätt i Assessment Report AR4 (IPCC, 2007) än i IPCC:s tredje Assessment Report (TAR) (IPCC, 2001). IPCC tolkas också ibland alltför bokstavligen utan att man tar hänsyn till att IPCC – som det uttryckligen skrivs i sammanfattningen för beslutsfattare – inte medräknat effekterna av isflöden från inlandsisarna till havet, så kallade dynamiska effekter (Naturvårdsverket, 2007, sid. 33).

Ytterligare en orsak är att de olika källorna använder sannolikhetsnivåer som ofta skiljer sig åt. Jämförelsen mellan IPCC AR4 och den holländska Deltakommitténs bedömningar diskuteras ingående av Vellinga m.fl. (2008) i ett underlagsdokument till Deltakommittén. Man betonar att det holländska arbetet fokuserar på den övre gränsen av tänkbara utvecklingar genom att använda A1F1-scenariet för framtida utsläpp. En stor skillnad ligger också i bedömningen av hur isarna på Antarktis och Grönland kommer att utvecklas. IPCC:s högsta siffra (59 cm) och det högsta värdet från UK Climate Projections science report (75,8 cm) har gemensamt att de representerar 95-percentilen, vilket i detta sammanhang alltså inte kan ses som en övre gräns.

I Köpenhamns klimatanpassningsplan som kom ut på hearing i februari 2011 anges också en medelvattenhöjning på strax under 1 m som sannolik fram till 2100 (Københavns Kommune, 2011).

I en kunskapssammanställning av AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme) 2011 (AMAP, 2011) behandlas bl.a. havsnivåns utveckling. Författarna bedömer att havsnivån kan stiga mellan 0,9 m och 1,6 m från 1990 till 2100 och att en stor del av höjningen beror på avsmältning från Arktiska isen. Vad gäller bidraget från värmeutvidgningen följer bedömningen IPCC:s AR4. I den svenska kunskapssammanställning som publicerades 2011 (Rummukainen et al.) konstateras att flera studier pekar på att landisarna bidrar till havsnivåhöjningen, om än i lägre grad än vad som bedöms i AMAP (2011). Man poängterar att betydande osäkerheter kvarstår om hur stor havsnivåhöjningen blir till år 2100, och givetvis även därefter. Studier under senare år av de landbaserade isarna visar att deras framtida bidrag gör den högre bedömningen i AR 4 mer trolig än den lägre.

Det är slutligen viktigt att notera att de flesta uppskattningar som förekommer rörande framtida havsnivåer bygger på något eller några av IPCC:s utsläppsscenarier. Det innebär att effekterna av eventuella utsläpps begränsningar till följd av internationella avtal inte medräknats. Om man lyckas genomföra utsläpps begränsningar så minskar stigningstakten, men den upphör inte helt på grund av klimatsystemets stora tröghet.

Sammantaget pekar de internationella sammanställningar och bedömningar, som SMHI tagit del av, på att ett rimligt antagande av en övre gräns för hur mycket havsytan kan komma att stiga är ungefär 1 m under perioden 1990-2100, sett som ett globalt medelvärde. Utifrån detta värde och antaganden över lokala effekter, gällande att stormfrekvensen inte kommer att förändras väsentligt jämfört med det historiska klimatet, har framtida medelnivåer och extremnivåer beräknats för Skånes län. På grund av de osäkerheter som råder bör dock denna fråga följas noggrant i framtiden.

6.2 Havsvattenstånd kring Skånes kust i dagens klimat

Havspegelns observerar vattenståndet i havet. Mätningar av havsvattenstånd startade i Skånes län redan 1886 med timnoteringar vid Ystad, samtidigt började SMHIs föregångare göra mätningar i Kungsholmsfort i Blekinge län. Mätstationen i Klagshamn startade 1929. I Barsebäck började SMHI göra mätningar 1937 och i Viken 1976. 1983 började SMHI mäta vattenståndet i Simrishamn (figur 6-1) och i Skanör 1992. Vid flera av dessa peglar finns även GPS-stationer för mätning av absolut landhöjning. Samlokaliseringar av havsvattenstånd och absolut landhöjning gör att den globala havsnivåhöjningen kan följas.

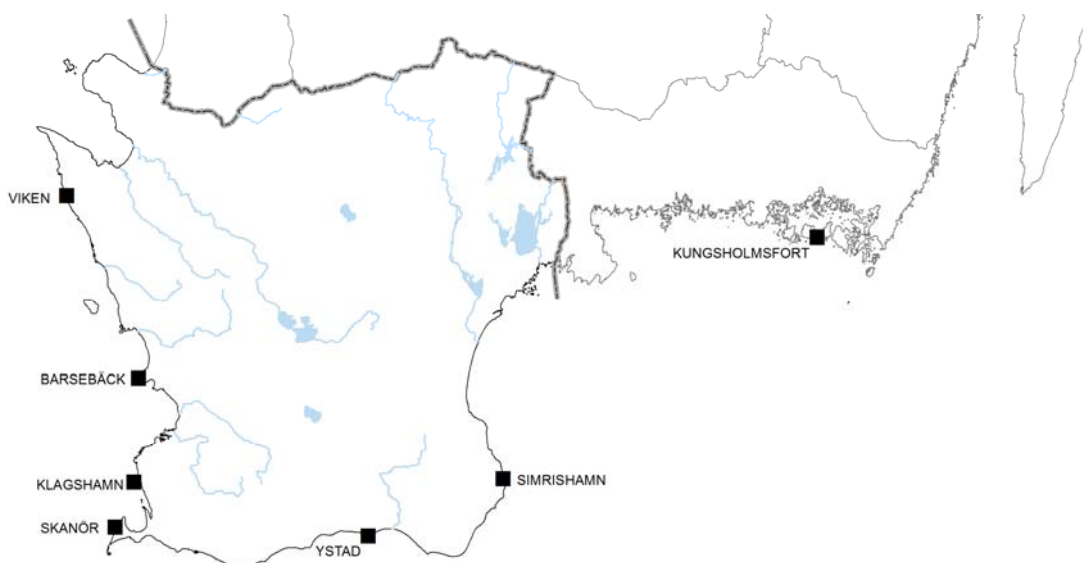


Figur 6-1. Havspegeln i Simrishamn. Mätningar av havsvattenstånd i Simrishamn startade år 1983.
Foto: SMHI.

Tabell 6-2 och figur 6-2 visar vattenståndsstationer från Viken till Kungsholmsfort. Idag mäts vattenstånd på fem orter längs Skånes kust; Viken, Barsebäck, Klagshamn, Skanör och Simrishamn. I rapporten visas även resultat från Kungsholmsfort för att visa variationer norrut från Simrishamn men också för att denna mätserie på grund av dess längd ger ett bra underlag för analyser.

Tabell 6-2. Stationslista över svenska mätstationer för vattenstånd från Viken till Kungsholmsfort. Årtal markerade med * betyder att det endast finns dygnsvärden mellan angivna årtal. Övriga data är timvärden eller, på senare år, ännu högre tidsupplösning.

Stationsnamn	Start	Slut	Latitud	Longitud
Viken	1976		56 09	12 35
Barsebäck	1937 (1937*)	(1981*)	55 54	12 43
Klagshamn	1929		55 31	12 54
Skånör	1992		55 25	12 50
Ystad	1886	1986	55 25	13 49
Simrishamn	1983		55 33	14 21
Kungsholmsfort	1886		56 06	15 35



Figur 6-2. Havspeglar kring Skåne län och Blekinge län.

6.2.1 Vattenståndsvariationer

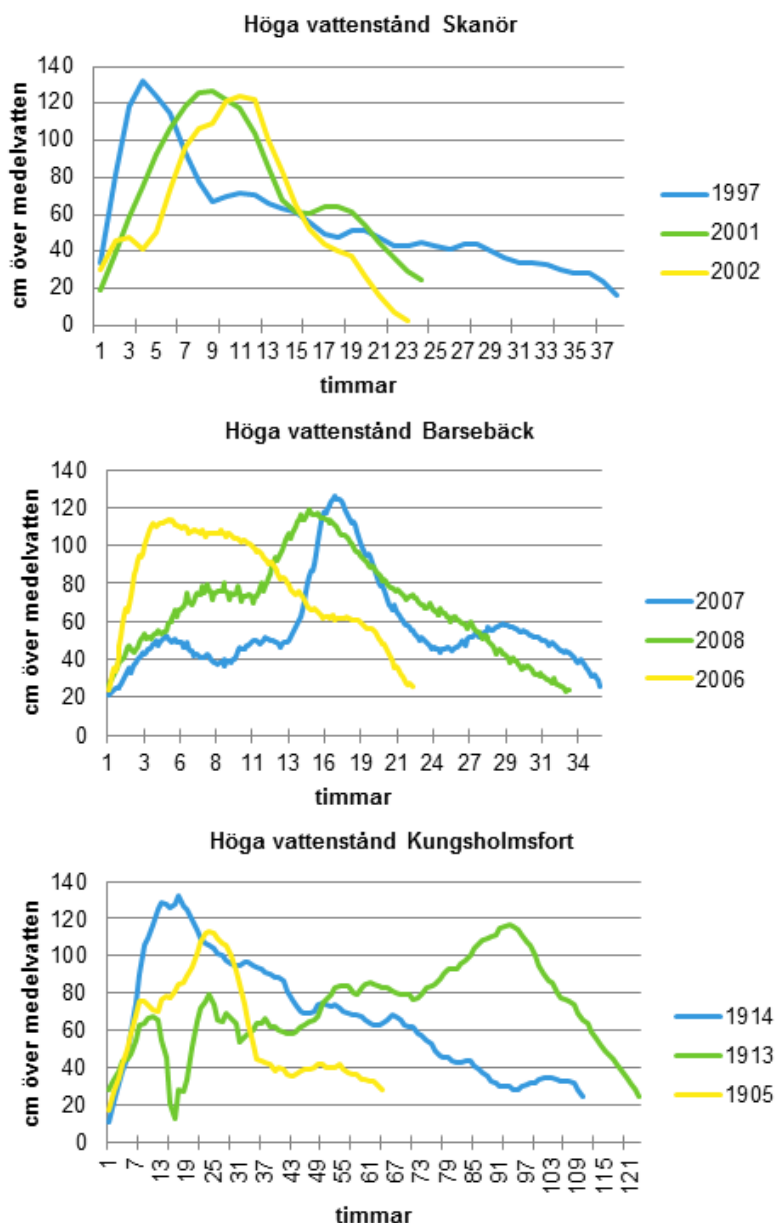
Analyser av långa tidsserier av havsvattenstånd visar att havet stiger. En analys av data från 1886 fram till idag visar att denna absoluta höjning varit ungefär 1,5 mm/år (SMHI, 2009b). Sedan 1980 har den varit ungefär 3 mm/år. Satellitobservationer visar på en global höjning av vattenståndet på ca 3 mm/år från 1993-2005, och en något lägre höjning efter 2005 på 2,5 mm/år.

I Sverige pågår en landhöjning, som är störst i norra Sverige och avtar successivt söderut. I södra Skåne sker varken landhöjning eller landsänkning. Där passerar den s.k. noll-linjen. I dagligt tal förväxlas ofta landhöjningen med den skenbara landhöjningen som är relationen mellan havets höjning och landets höjning/sänkning. Historiskt sett har vattenståndet i södra Sverige höjts relativt land, medan vattenståndet i norra Sverige sjunkit relativt land på grund av den landhöjningsprocess som fortfarande pågår. I och med den kraftiga landhöjningen i norra Sverige tar det längre tid där innan effekterna av den globala vattenståndsökningen märks. I områden med mindre landhöjning höjs vattenståndet relativt land.

Vattenståndet på en plats är effekten av många faktorer som verkar med olika kraft och variation över tiden (exempelvis vindar, lufttryck, vattnets densitet, landhöjningen och världshavens vattenstånd). Medelvattenståndet är en viktig faktor för hur hög vattennivå som uppnås vid varje tillfälle med extrema nivåer eftersom det bestämmer vattenståndets utgångsläge. Medelvattenståndet i Östersjön beror delvis på hur högt vattenståndet är i Nordsjön och i Skagerrak, men också på om de rådande vindarna ger inflöde eller utflöde. Ett exempel på en period med höga medelvattenstånd är vintern

2006- 2007 då ihållande västvindar ledde till mycket högre vattenstånd än normalt i Östersjön, och då också rekordet från Barsebäck uppmättes (se figur 6-3). Förhållanden som ger kortvariga höga vattenstånd är till exempel kraftiga lågtryck och kraftig vind mot kusten som ger vindstuvning in mot land.

Figur 6-3 visar de tre högsta uppmätta vattenstånden i Barsebäck, Skanör och Kungsholmsfort. I figuren kan vattenståndet följas vid varje tillfälle för de olika platserna. I Skanör stiger vattenståndet snabbt och den högsta nivån varar bara någon timme eller två innan vattenståndet relativt snabbt sjunker till lägre nivåer. Vid Barsebäck ökar istället vattenståndet generellt sett långsammare och nivåerna sjunker också långsammare. Kungsholmsfort liknar Barsebäck och den gröna linjen (1913) i figuren visar ett tillfälle med långvarigt högt vattenstånd.



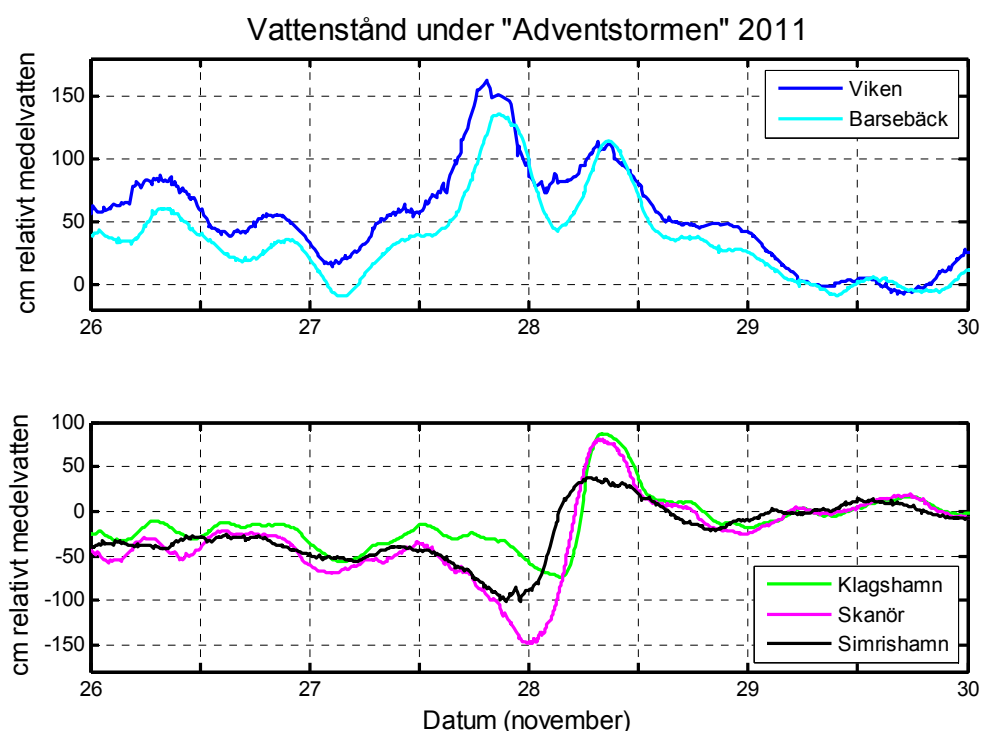
Figur 6-3. Exempel på tillfällen med höga vattenstånd vid Skanör, Barsebäck och Kungsholmsfort. De blå linjerna visar de högsta uppmätta vattenstånden vid respektive plats, den gröna linjen de näst högsta och den gula de tredje högsta vattenstånden som uppmätts.

Det finns inget enkelt förlopp eller samband mellan vindriktning, hastighet och lufttryck som ger högt vattenstånd eftersom man behöver känna till det storskaliga vädret i kombination med topografi för att kunna göra en exakt beskrivning.

En förutsättning för extrema vattenstånd, speciellt i Östersjön, är att en kraftig storm behöver föregås av ett högt medelvattenstånd orsakat av västliga och sydvästliga vindar under lång tid (några månader). Detta sker efter sommaren, då vattenståndet oftast pendlar kring det normala. Under hösten kan då mycket vatten pressas in i Östersjön och medelvattenståndet kan stiga till runt +50 cm, ibland ännu mer. När det sedan blåser kraftiga pålandsvindar kan mycket vatten pressas in mot kusten och vi får höga vattenstånd. Detta är en förenklad bild, vindarna ändrar ofta riktning under lågtryckspassagen och det finns många olika förlopp som leder till extremer. I Öresundsregionen kompliceras bilden av topografiska förhållanden.

6.2.2 Adventstormen 2011

En mild höst med mycket sydvästliga vindar höjde långsamt vattenståndet över det normala i Västerhavet. Stormen Berits framfart 26 november 2011 höjde nivåerna temporärt till drygt 80 cm över medelvattenståndet. När adventstormen drog in under eftermiddagen 27 november steg vattenståndet snabbt. Den kraftiga västvinden, med orkanstyrka i byarna, pressade upp vattenståndet till extrema nivåer längs med västkusten.



Figur 6-4. Vattenstånd i Viken, Barsebäck, Klagshamn, Skanör och Simrishamn 26-30 november 2011. Vattenståndet visas här i cm relativt medelvatten, och datumet anger UTC-tid. Norr om Öresundsbron steg vattenståndet till mycket höga nivåer. Längs södra och östra Skånekusten sjönk först vattenståndet, vilket ledde till en mycket hög vattenståndsskillnad under en kort period.

Under kvällen vred vinden till nordvästlig och pressade upp vattenståndsnivåerna längre söderut. I Viken observerades +163 cm (figur 6-4) vilket är nära det gamla rekordet från november 1985 (+166 cm). Stormen gav en ny toppnotering i Barsebäck, +136 cm, vilket är det högsta vattenståndet sedan

mätningarna påbörjades 1937. Det tidigare Barsebäckrekordet var +128 cm, från stormen Per i januari 2007.

De kraftiga vindarna omfördelade vattenmassorna i Öresund. Söder om Öresundsbron observerades låga vattenstånd när den kraftiga västliga vinden pressade in vatten i Östersjön. Vattenståndet sjönk till -149 cm i Skanör, vilket är nära rekordet på -155 cm från decemberstormen 1999.

De kraftiga vindarna orsakade också höga vågor längs med västkusten. Vid Väderöarna observerade SMHIs vågboj en signifikant våghöjd på 7,4 meter och maxvågor på upp mot 11 meter. Även i Öresund har rapporter om höga vågor nått SMHI.

Adventstormen skapade problem på flera håll. I Helsingborg ledde kombinationen av högt vattenstånd, kraftiga vågor och byvind, på upp mot 40 m/s, till att en eller flera vågor sköljde över en drygt 4 m hög skyddsmur (Parapeten) utanför båthamnen. Kraften i vattenmassorna lossade fastmurade 500 kg stenblock, kullersten sköljdes bort och bilar flyttades (figur 6-5 och figur 6-6). Havsvattnet trängde också in i dagvattensystem och orsakade översvämning av Strandvägen.



Figur 6-5. Skador på Parapeten i Helsingborg. Skyddsmuren till höger på drygt 4 m räckte inte till för krafterna i vågorna vid adventsstormens höga vattenstånd och kraftiga vindar. Bilar som stod parkerade vid trottoaren flyttades över vägen in i båtar. Kullerstenen spolades bort. Foto: Widar Narvelo, Helsingborgs stad.



Figur 6-6. Kullersten och bilar transporterades flera meter. Foto: Widar Narvelo, Helsingborgs stad.

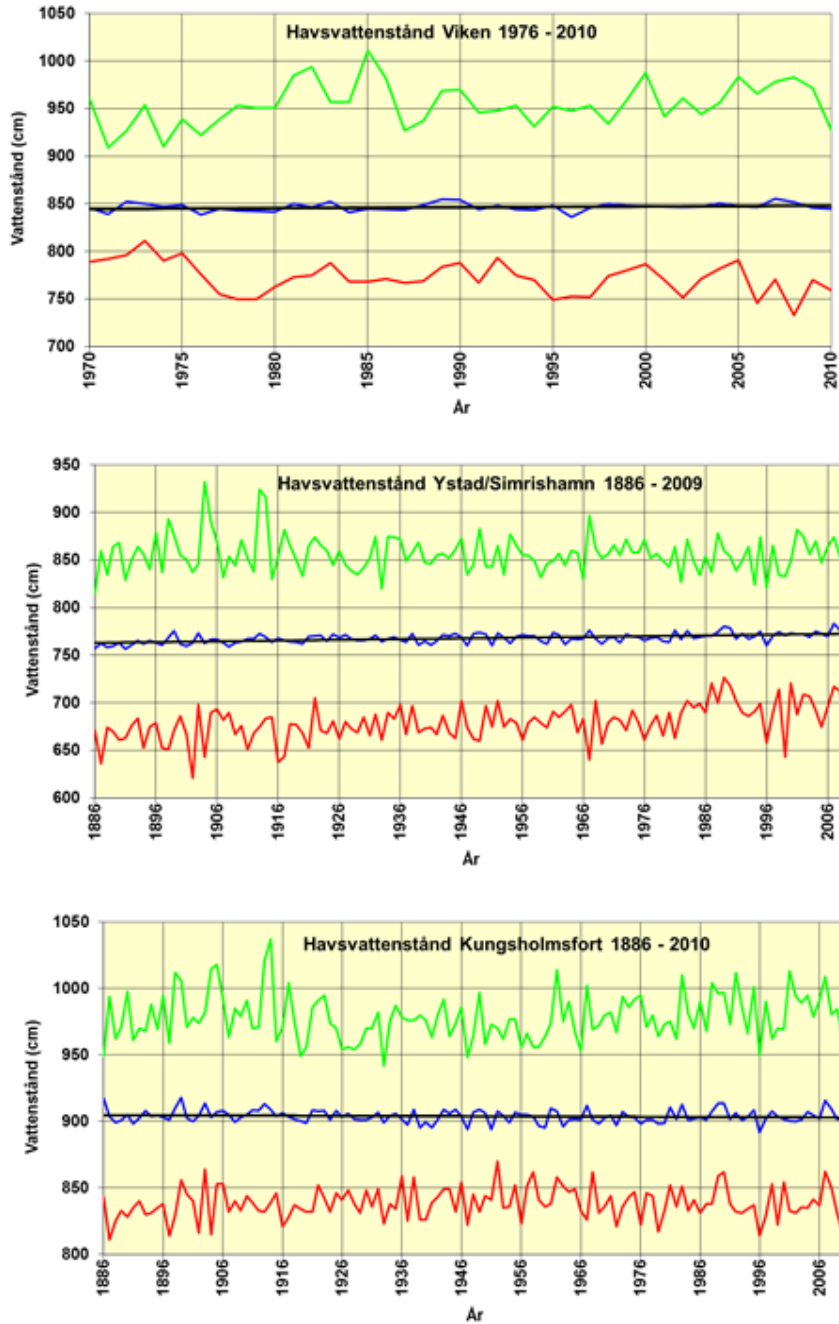
6.2.3 Medelvattenstånd

SMHI mäter och redovisar havsvattenståndet relativt ett beräknat medelvattenstånd. Detta bestäms genom statistisk analys av många års årsmedelvärden (trendlinje²).

Det beräknade medelvattenståndet³ varierar något från år till år beroende på havets höjning och på landhöjningen som varierar regionalt. Det beräknade medelvattenståndet för ett specifikt år skiljer sig från årets genomsnittliga vattenstånd, beräknat utifrån mätningar under året. Figur 6-7 visar årsmedelvärden, högsta och lägsta vattenstånd för respektive år samt årets beräknade medelvattenstånd vid Viken, Simrishamn (med stöd av Ystad) och Kungsholmsfort. Nivåerna visas i mätstationens lokala höjdsystem.

² Lutningen på trendlinjen kan förändras något under tiden allt eftersom nya data kommer in. Detta gör att en gammal uppgift om högsta uppmätta vattenstånd kan skilja sig från en nyare uppgift för ett och samma år eftersom värdet anges i relation till en ny trendlinje.

³ Årets medelvattenstånd är ett beräknat värde bestämt genom regression av många års årsmedelvärden. Det krävs mer än 30 års värden för att någorlunda väl kunna bestämma regressionslinjen. Respektive års medelvattenstånd betraktas som respektive års värde på regressionslinjen. Vid Viken, Ystad/Simrishamn och Kungsholmsfort finns värden från 1976 respektive 1886, vilket innebär ett gott statistiskt underlag.



Figur 6-7. Årsmedelvattenstånd (blå) och årets högsta (grön) och lägsta (röd) vattenstånd vid Viken (1976-2010), Simrishamn med stöd av Ystad (1886-2010) och Kungsholmsfort (1886-2010). Nivåerna anges i lokalt höjdsystem. En regressionslinje (svart) är inlagd för hela respektive period och motsvarar det beräknade medelvattenståndet.

Den absoluta landhöjningen är 0,13 cm/år vid Viken, 0,06 cm/år i Simrishamn och 0,14 cm/år i Kungsholmsfort. Tabell 6-3 visar årets beräknade medelvattenstånd i höjdsystemet RH2000 för år 1990 och för år 2011 för SMHI:s mätstationer vid Viken, Barsebäck, Klagshamn, Skanör, Ystad, Simrishamn och Kungsholmsfort, tillsammans med den absoluta och den synbara (apparenta) landhöjningen. Med den synbara landhöjningen avses landhöjningen i förhållande till havets medelnivå. Märk att den synbara landhöjningen gäller för dagens klimat. För att kunna beskriva havets

relation till land används fasta höjdsystem. I denna rapport anges vattennivåer om inget annat anges i höjdsystemet RH2000 vilket är Sveriges nya nationella höjdsystem.⁴

Tabell 6-3. Årets beräknade medelvattenstånd 1990 och 2011 i höjdsystemet RH2000 för SMHI:s mätstationer Viken, Barsebäck, Klagshamn, Skanör, Ystad, Simrishamn och Kungsholmsfort. För stationen vid Ystad som lades ner 1986 är värdena (kursiva värden i tabellen) uppskattade från mätstationerna Skanör och Simrishamn.

Mätstation	Medelvattenstånd RH2000 (cm)		Absolut landhöjning (cm/år)	Synbar landhöjning (cm/år)
	1990	2011		
Viken	5	7	0,13	-0,09
Barsebäck	10	11	0,12	-0,06
Klagshamn	12	13	0,10	-0,05
Skanör	13	15	0,06	-0,07
Ystad	13	15	0,06	-0,07
Simrishamn	13	15	0,06	-0,08
Kungsholmsfort	11	13	0,14	0,01

6.2.4 Beräknade extrema vattenstånd

Som mått på extremhändelser används ofta begreppet återkomsttid, vilket betecknar den genomsnittliga tiden mellan två händelser av samma omfattning. I själva verket uttrycker begreppet en procentuell sannolikhet för att en händelse inträffar varje enskilt år. Begreppet återkomsttid ger därför en falsk känsla av säkerhet, eftersom det anger sannolikheten för ett enda år och inte den sammanlagda sannolikheten för en period av flera år. Tabell 6-4 visar den sammanlagda sannolikheten för att ett vattenstånd med en viss återkomsttid skall överskridas under en längre tidsperiod. Ett vattenstånd med återkomsttiden 100 år har t.ex. 5 % sannolikhet att överskridas under 5 år, 39 % sannolikhet att överskridas under en 50-årsperiod och en sannolikhet på 63 % att överskridas under en 100 årsperiod.

Tabell 6-4. Sannolikheten för ett visst vattenstånd uttryckt i procent under en period av år.

Återkomst-tid (år)	Sannolikhet under 5 år (%)	Sannolikhet under 10 år (%)	Sannolikhet under 20 år (%)	Sannolikhet under 50 år (%)	Sannolikhet under 100 år (%)
5	67	89	99	100	100
10	41	65	88	99	100
20	23	40	64	92	99
50	10	18	33	64	87
100	5	10	18	39	63

Beräknade nivåer med återkomsttider på flera hundra år innehåller stora osäkerheter. I Flödeskommitténs "Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar" (Svensk Energi m.fl., 2007) anges tumregeln att den beräknade återkomsttiden inte bör vara mer än

⁴ RH2000. Mätningarna utfördes under åren 1979-2003 vid den tredje precisionsavvägning (Riksavvägningen) som höll bättre kvalitet än sina föregångare, RH00 och RH70. Nollnivån definieras av Normaals Amsterdams Peil (NAP), vilket är en punkt i Amsterdam som används som 0-punkt även i andra europeiska länder. Med införandet av RH 2000 har det för första gången skapats möjligheter för alla lokala användare att ansluta sina lokala höjdnät till ett nationellt höjdsystem som såväl regionalt som lokalt håller en mycket hög kvalitet.

dubbelt så lång som den underliggande tidsserien. Om återkomsttider långt utöver detta beräknas blir osäkerheten i beräkningen mycket stor.

Om man använder tumregeln från Flödeskommitténs riktlinjer innebär detta inga problem för Barsebäck, Klagshamn, Ystad och Kungsholmsfort, mätserierna därifrån är tillräckligt långa (mer än 50 år) för att beräkna 100 års återkomsttid. Mätserierna från Viken och Simrishamn är 34 respektive 28 år långa vilket innebär att 100 års återkomstnivå är ganska osäker. Vid Skanör blir 50 års återkomstnivå osäker då den mätserien är 18 år lång, och vi har valt att inte beräkna 100 års återkomstnivå för Skanör.

Vattenstånd med återkomsttiderna 2, 10, 50 och 100 års återkomsttid i dagens klimat (t.o.m. 2010) har analyserats för de sju platserna, inklusive 95 % konfidensintervall, se tabell 6-5.

Statistiken visar en tydlig tendens till högre extremer vid Viken, Skanör och Ystad. Detta beror på topografiska effekter i Öresund och i södra Östersjön. SMHI:s stationsnät är framtaget för att vara representativt för hela kusten. Som en fingervisning kan man utgå ifrån att vattenståndsextremer mellan stationerna ligger mellan nivåerna på de två närläggna stationerna. Som beskrevs i en tidigare SMHI-rapport (Nerheim, 2007) är det två olika regimer i Skåne och skiljelinjen går mellan Barsebäck och Klagshamn. Detta innebär exempelvis att man inte har max-vattenstånd samtidigt i Viken och i Simrishamn.

Tabell 6-5. Uppmätta medelvattenstånd för respektive station och beräknade vattenstånd med återkomsttid 2, 10, 50 och 100 år för dagens klimat. Vattenstånden anges i cm i RH2000. Kursiverade siffror anger 95 % konfidensintervall.

Mätstation	Medelvatten- stånd	Beräknings- period	2 års återkomst nivå	10 års återkomst- nivå	50 års återkomst- nivå	100 års återkomst- nivå
Viken	7 cm 2011	1976 - 2010	117 (110 – 125)	146 (136 – 146)	167 (153 – 200)	174 (158 – 218)
Barsebäck	11 cm 2011	1937 - 2010	90 (83 – 96)	117 (110 – 126)	131 (124 – 146)	135 (127 – 154)
Klagshamn	13 cm 2011	1929 - 2010	99 (93 – 105)	128 (122 – 137)	145 (136 – 165)	150 (140 – 176)
Skanör	15 cm 2011	1992 - 2010	115 (100 – 115)	139 (129 – 152)	148 (141 – 173)	
Ystad	15 cm 2011	1886 - 2010	103 (99 – 107)	131 (125 – 140)	156 (144 – 177)	166 (152 – 195)
Simrishamn	15 cm 2011	1982 - 2010	100 (93 – 106)	118 (112 – 125)	124 (120 – 134)	126 (122 – 136)
Kungsholms- fort	13 cm 2011	1986 - 2010	86 (83 – 89)	111 (106 – 118)	130 (122 – 144)	137 (127 – 156)

6.3 Havsvattenstånd kring Skånes kust i framtidens klimat

Vattenståndet i Skåne i framtidens klimat har beräknas från en förväntad global höjning av vattenstånd med 1 m fram till år 2100 med kompensation för lokal landhöjning. Medelvattenståndet i framtidens klimat har beräknats och presenteras i avsnitt 6.3.2. I avsnitt 6.3.3 presenteras framtida extrema vattenstånd och nivåer med 2, 10, 50 och 100 års återkomsttid i framtidens klimat tillsammans med beräkningarna för dagens klimat för jämförelser. Alla nivåer anges i höjdsystemet RH2000.

6.3.1 Metodik

Då vattenståndshöjningen beskrivs relativt 1990 är alla framtida nivåer beräknade utifrån 1990. Ekvationen nedan visar hur medelvattenytan 2100 beräknats. Nivåerna anges i RH2000.

$$MW_{2100} = MW_{1990} + SLR_{1990-2100} - LH_{1990-2100}$$

MW är medelvattenstånd, SLR är havsnivåhöjningen (Sea Level Rise) och LH är landhöjning.

För statistiska beräkningar av extrema vattenstånd har årshögsta vattenstånd använts för hela dataserien från respektive station både för dagens och framtidens klimat. Metodiken bygger på ett antagande om att fördelningen av extrema vattenstånd är densamma som idag och att hela höjningen av vattenståndet beror på medelvattenytans höjning. De senaste forskningsresultaten från Rossby Centre/ENSEMBLES-projektet (Nikulin et al., 2011) visar ingen tendens att stormar varken blir vanligare eller mer ovanliga och stödjer därmed detta förhållningssätt.

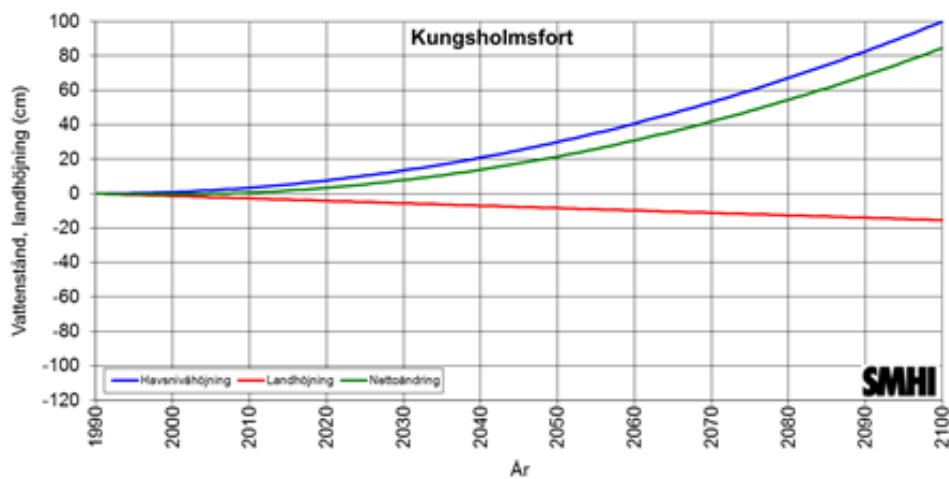
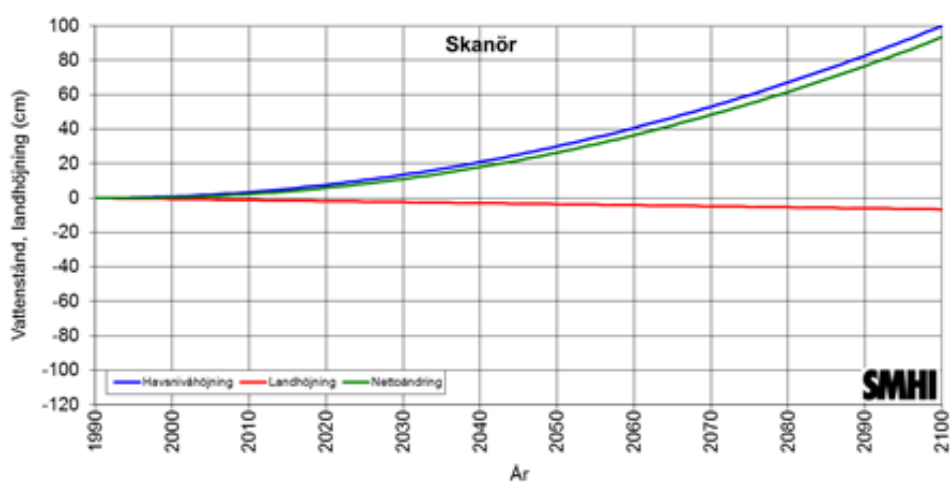
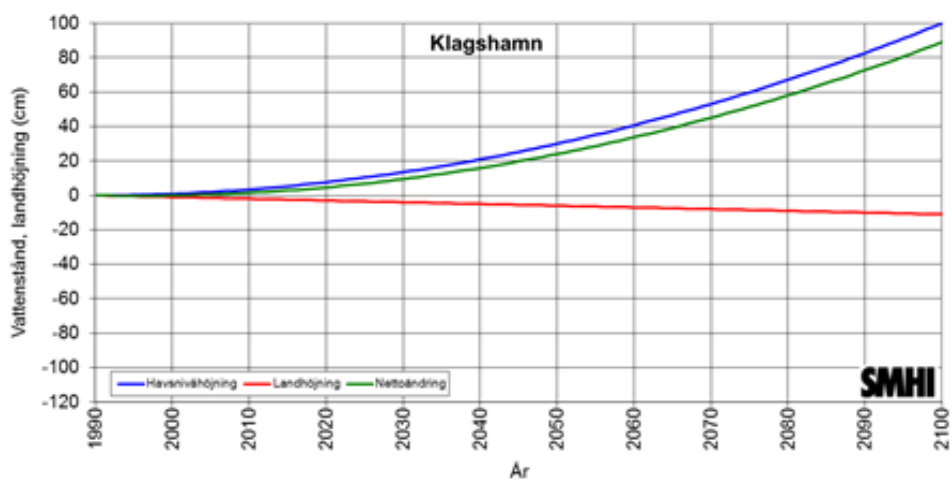
Det finns två huvudsakliga skillnader i beräkningarna av dagens och framtidens vattenstånd som gjorts i denna rapport, jämfört med beräkningarna som gjordes i den tidigare SMHI-rapporten (Nerheim, 2007).

- Den metodik som användes i rapporten från 2007 har uppdaterats eftersom den baserades på ett scenario som ger kraftig ökning av västvindar fram till 2100 och senare forskningsresultat indikerar att ökande västvindar är mindre sannolika. Denna effekt finns således inte med i denna rapport.
- I rapporten från 2007 gjordes beräkningar av vattenståndet i framtidens klimat med antaganden om global vattenstånds höjning från IPCC:s rapport 2007, lågt scenario 18 cm och högt scenario 59 cm fram till 2100. I föreliggande rapport beräknas vattenståndet i framtidens klimat från en förväntad global höjning av vattenstånd med 1 m fram till år 2100.

6.3.2 Medelvattenstånd

Figur 6-8 visar förändringen av medelvattenståndet 1990-2100 för Klagshamn, Skanör och Kungsholmsfort, där vi har förutsatt att havet stiger 30 cm fram till 2050 och 100 cm fram till 2100, med kompensation för lokal landhöjning. Figuren visar att mellan 1990 till idag råder nästan balans mellan landhöjning och havshöjning med en sådan utveckling, och att havshöjningen tar fart mot seklets slut. Nettoändringen är nära 90 cm för Klagshamn, nästan 100 cm för Skanör och ca 85 cm för Kungsholmsfort från 1990 till 2100. Tabell 6-6 visar medelvattenytan 2010 och 2100 och den relativa förändringen.

En jämförelse har gjorts med de resultat som presenterades i SMHI Rapport 2007-53. Jämförelsen visar att den relativa förändringen av medelvattenytan fram emot 2100 i Skånes län blir cirka 20 cm högre med de beräkningar som gjorts i denna rapport.



Figur 6-8. Relativ förändring av medelvattenståndet från 1990 till 2100 för Klagshamn, Skanör och Kungsholmsfort. Utvecklingen av medelvattenytan (blå) förutsätter en global havsnivåhöjning med 30 cm fram till 2050 och 100 cm fram till 2100. Den absoluta landhöjningen (röd) är störst i Kungsholmsfort och lägst i Skanör. Nettoändringen (grön) blir nära 90 cm för Klagshamn, nästan 100 cm för Skanör och ca 85 cm för Kungsholmsfort.

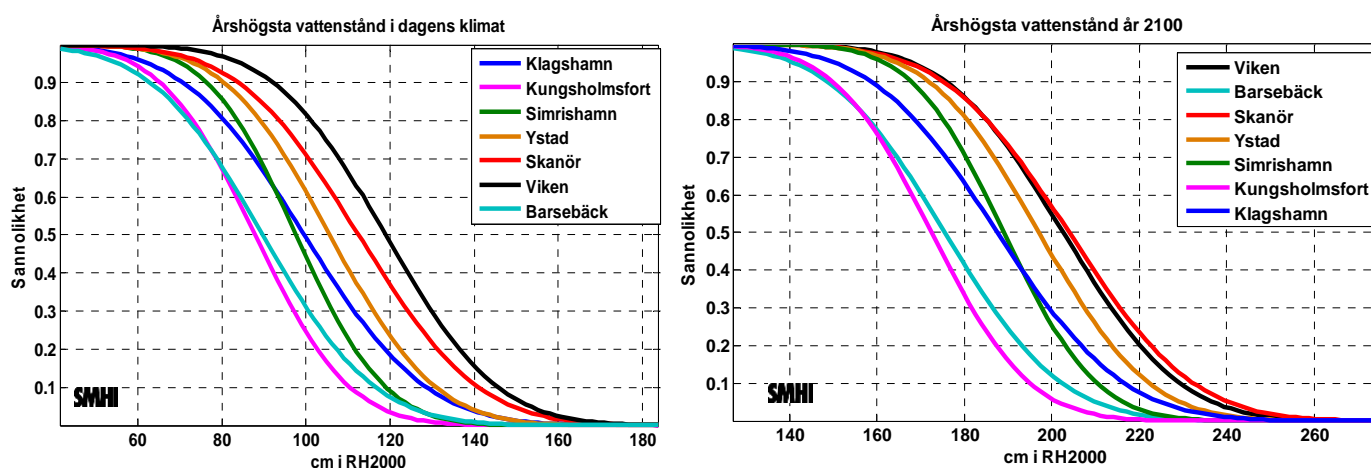
Tabell 6-6. Medelvattenståndet i RH2000 år 2011 och 2100 förutsatt en havsnivåhöjning om 100 cm och en bibehållen landhöjning.

Mätstation	Medelvatten 2011 (RH2000) (cm)	Medelvatten 2100 (RH2000) (cm)	Relativ förändring 2011-2100 (cm)
Viken	7	91	84
Barsebäck	11	97	86
Klagshamn	13	100	88
Skanör	15	106	91
Ystad	15	106	91
Simrishamn	15	106	91
Kungsholmsfort	13	98	85

6.3.3 Beräknade extrema vattenstånd

Sannolikhetsfördelningar av årshögsta vattenstånd har beräknats för år 2010 och 2100 för de sju analyserade platserna (figur 6-9)). Syftet med dessa grafiska presentationer är att åskådliggöra hur vattennivåerna förändras olika i länet och hur detta förändras i tiden. I bilaga 6 finns ett diagram för varje mätstation som visar sannolikhetsfördelningen av årshögsta vattenstånd för år 2010 och 2100.

Den vänstra bilden i figur 6-9 visar att år 2010 är Viken följt av Skanör de två platser som har högst extrema vattenstånd. Kungsholmsfort, Barsebäck och Simrishamn är de platser som har lägst extremer. Däremellan ligger Ystad och Klagshamn. Den högra bilden i figur 6-9 visar att år 2100 har Skanör och Viken bytt plats så att Skanör har högst extremer. Skanör har lägst landhöjning, tillsammans med Ystad och Simrishamn, vilket är skälet till förändringen relativt andra stationer. Därefter är ordningen i stort sett den samma som år 2011, dvs. Kungsholmsfort och Barsebäck har lägst extremer.



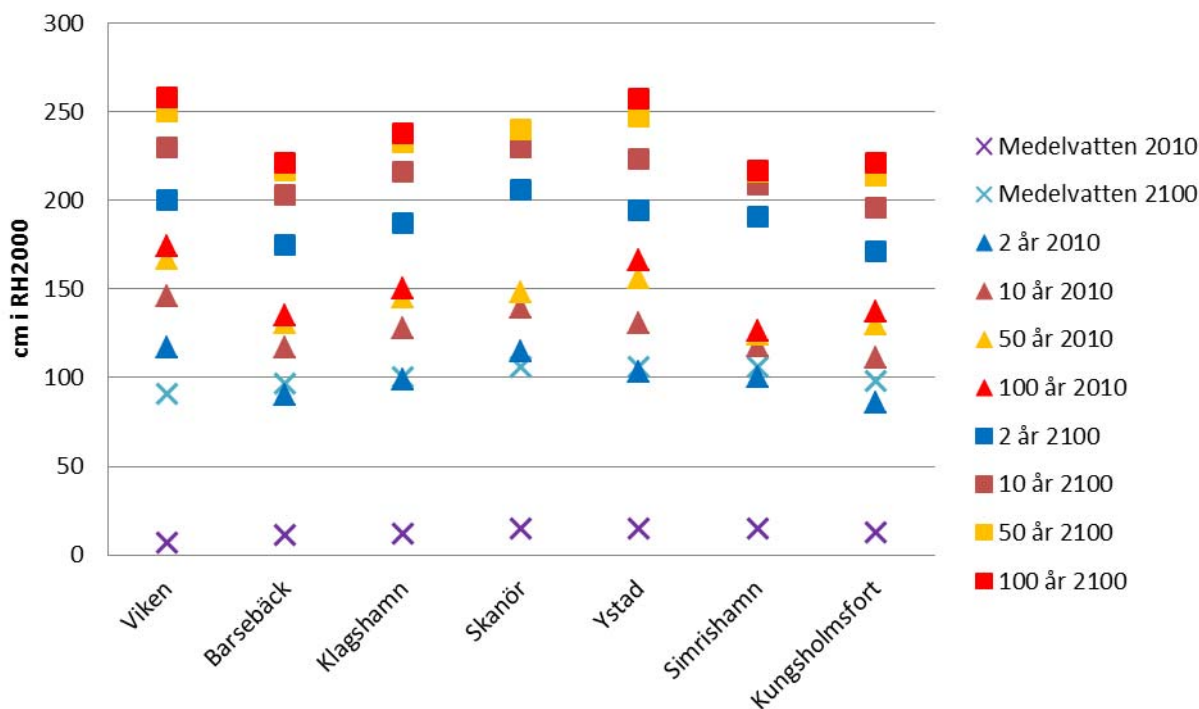
Figur 6-9. Sannolikhetsfördelning av årshögsta vattenstånd i dagens klimat (vänster) och år 2100 (höger). Figuren visar resultat för de sju mätstationer som ligger i Sölund och stationen Kungsholmsfort, i höjdsystemet RH2000. Sannolikheten 0,5 är detsamma som 50 % sannolikhet, vilket motsvarar 2 års återkomsttid. En sannolikhet på 0,1 motsvarar 10 års återkomsttid.

Vattenstånd med återkomsttiderna 2, 10, 50 och 100 års återkomsttid i dagens klimat (t.o.m. 2010) och vid århundradets slut har analyserats för de sju platserna, inklusive 95 % konfidensintervall, se tabell 6-7. Beräknade återkomstnivåer och medelvattenstånd presenteras också visuellt i figur 6-10.

Tabell 6-7. Uppmätta medelvattenstånd för respektive station och beräknat framtida medelvattenstånd samt beräknade vattenstånd med återkomsttid 2, 10, 50 och 100 år för dagens klimat och fram till 2100. Vattenstånden anges i cm i RH2000. Kursiverade siffror anger 95 % konfidensintervall.

Mätstation	Medelvattenstånd	Beräkningsperiod	2 års återkomstnivå	10 års återkomstnivå	50 års återkomstnivå	100 års återkomstnivå
Viken	7 cm 2011	1976 - 2010	117 (110 – 125)	146 (136 – 146)	167 (153 – 200)	174 (158 – 218)
	91 cm 2100	Ca 2100	200 (193 – 208)	230 (220 – 247)	250 (236 – 284)	258 (242 – 302)
Barsebäck	11 cm 2011	1937 - 2010	90 (83 – 96)	117 (110 – 126)	131 (124 – 146)	135 (127 – 154)
	97 cm 2100	Ca 2100	175 (169 – 182)	203 (196 – 212)	217 (209 – 232)	221 (213 – 240)
Klagshamn	13 cm 2011	1929 - 2010	99 (93 – 105)	128 (122 – 137)	145 (136 – 165)	150 (140 – 176)
	100 cm 2100	Ca 2100	187 (181 – 193)	216 (210 – 225)	233 (224 – 253)	238 (228 – 264)
Skånör	15 cm 2011	1992 - 2010	115 (100 – 115)	139 (129 – 152)	148 (141 – 173)	-
	106 cm 2100	Ca 2100	206 (192 – 206)	230 (220 – 244)	240 (232 – 264)	-
Ystad	15 cm 2011	1886 - 2010	103 (99 – 107)	131 (125 – 140)	156 (144 – 177)	166 (152 – 195)
	106 cm 2100	2100	194 (191 – 198)	223 (216 – 231)	247 (236 – 268)	257 (243 – 286)
Simrishamn	15 cm 2011	1982 - 2010	100 (93 – 106)	118 (112 – 125)	124 (120 – 134)	126 (122 – 136)
	106 cm 2100	2100	191 (185 – 198)	209 (204 – 217)	216 (211 – 225)	217 (213 – 228)
Kungsholm-sfort	13 cm 2011	1986 - 2010	86 (83 – 89)	111 (106 – 118)	130 (122 – 144)	137 (127 – 156)
	98 cm 2100	2100	171 (167 – 174)	196 (191 – 202)	214 (207 – 229)	221 (212 – 241)

Vattenstånd år 2010 och 2100 i Skåne län



Figur 6-10. Uppmätt och beräknat medelvattenstånd för respektive station för dagens (lila kryss) och framtidens klimat (svarta kryss), samt beräknade vattenstånd med återkomsttid 2 år (blå markering), 10 år (grön markering), 50 år (orange markering) och 100 år (röd markering) för dagens klimat (2010) och fram till 2100. Vattenstånden anges i cm i RH2000. Notera att framtidens medelvattenstånd i vissa fall är lika högt eller högre än vattenstånd som idag har 2 års återkomsttid.

Resultaten av beräkningarna av återkomsttider visar att vid samtliga sju platser kommer vattenstånd som idag har en återkomsttid på 100 år att inträffa oftare än vartannat år fram emot år 2100. Extremernas varaktighet kan typiskt variera mellan 3 till 12 timmar, se figur 6-3. Samtidigt kommer vattenstånd med återkomsttiden 100 år att vid slutet av seklet vara mellan 85 – 90 cm högre än idag, detsamma gäller vattenstånd med återkomsttiderna 2, 10 och 50 år. Störst ökning av dessa extrema nivåer fås vid Skanör, Ystad och Simrishamn p.g.a. att dessa platser har den lägsta landhöjningen. Viken och Kungsholmsfort har högst landhöjning och får därför inte lika stor ökning. Barsebäck och Klagshamn hamnar i en regim mittemellan.

En jämförelse med de resultat som presenterade i Nerheim (2007) visar att:

- Återkomstnivåerna för vattenstånd fram emot 2100 är 20 – 25 cm högre än de som presenterades för det högsta scenariot i den föregående rapporten. Den största skillnaden fås vid Kungsholmsfort.
- Dagens återkomstnivåer blir endast några centimeter (0-3 cm) högre med de beräkningar som gjorts i denna rapport, vilket beror på att nya data kommit med i beräkningarna.

6.3.4 Diskussion

Adventstormens effekter i Helsingborg åskådliggör vilka krafter som finns i havet vid förhållanden som ger extrema vattenstånd. Det illustrerar också en effekt som inte finns med i klimatanalysen, nämligen våguppsköljningen som kan bli mycket högre än den totala höjden på vattenytan. Våguppsköljningens höjd och längd beror på den inkommande vågen, men också på kustens lutning och vilket material den består av (gräsmatta, betong, sprängsten, sand). I kustnära vatten reduceras våghöjden på grund av bottendjupet och vi vet inte idag exakt vilka våghöjder som fanns i Öresund vid det aktuella tillfället. I medeltal var de inte i närheten av Parapetens höjd. Troligtvis har en eller några mycket högre vågor kommit in och tagit sig över en barriär som är mycket högre än själva havsnivån (inklusive våghöjden). Det visar på betydelsen av att även beakta effekten av olika konstruktioner.

7 Slutsatser

I denna rapport redovisas en stor mängd data och beräkningar som syftar till att ge en översiktlig bild av klimatförhållandena i Skåne län såväl under dagens förhållanden som i framtidens förändrade klimat. Arbetet är baserat på observationer och analyser från SMHI samt klimatscenarier från den internationella klimatforskningen. Framtidsberäkningarna avser i första hand tidsperioden fram till år 2100.

För att ge en bild av de osäkerheter som råder om framtidens klimat har ett antal klimatscenarier utnyttjats i arbetet. Detta urval är baserat på vad som varit tillgängligt vid SMHIs forskningsavdelning när rapporten skrevs. Scenarierna representerar en god bredd av den internationella forskningens resultat och är betydligt mer omfattande än det begränsade antal scenarier som fanns tillgängliga när Klimat- och sårbarhetsutredningen lade fram sitt slutbetänkande hösten 2007. Den stora spridningen mellan olika klimatmodeller ger en mer nyanserad bild än vad som tidigare varit fallet. Klimatforskningen kommer ständigt med nya resultat som kan komma att modifiera bilden ytterligare, vilket läsaren bör vara medveten om.

Följande resultat framgår av klimatanalyserna i denna rapport:

- Klimatberäkningarna visar en successiv ökning av årsmedeltemperaturen för Skåne län under det innevarande seklet, men med stor variation mellan år. Temperaturökningen ses under alla årstider men är mest framträdande under vintern. Den beräknade årsmedeltemperaturen ligger i medeltal på drygt 11°C vid slutet av seklet. För perioden referensperioden 1961-1990 var årsmedeltemperaturen för länet drygt 7°C.
- Det regionala temperaturmönster som framträder över länet i dagens klimat, med varmare förhållanden vid kusten och svalare på de mer höglänta områden, kvarstår i framtidsberäkningarna.
- För perioden 1991-2010 ökade årsmedelnederbörden med ca 8% i länet jämfört med perioden 1961-1990.
- Årsmedelnederbörden ökar successivt framöver, men med stor variation mellan åren. I slutet av seklet visar medianvärdet av beräkningarna på att årsmedelnederbörden ökar med ca 20% jämfört med referensperioden 1961-1990. Den största ökningen av nederbörden sker på de högre terrängpartierna.
- De kraftiga regnen förväntas öka, dvs. mer regn på kortare tid. En analys av data från klimatscenarier visar en ökning på ca 10% fram till mitten av seklet och drygt 30% vid seklets

slut, för 30-minuters nederbörd med 10-års återkomsttid, i relation till referensperioden 1961-1990.

- Antalet dagar med torra förhållanden i marken under växtsäsongen ökar. Vid slutet av seklet är ökningen 50-80 fler torra dagar, vilket är en kraftig förändring för vegetationen.
- Vattenföringen i vattendragen förändras med tiden så att den ökar i början och slutet av året och minskar under våren och sommaren. Årsmedelvattenföringen minskar med ca 5%. Vattenföringen sommartid minskar med ca 30%.
- Det beräknade framtida 100-årsflödet väntas öka med ca 20% vid slutet av seklet för Helge å. För Nybroån, Höje å och Råån ses däremot en minskning mot ca -10%.

Ett stort antal övriga klimatberoende förhållanden, som inte ingår i denna studie, kommer också att förändras efterhand som klimatet ändras.

I en SMHI-rapport (Nerheim, 2007) gjordes beräkningar av havsvattenståndet i Skånes län i dagens och framtidens klimat baserat på antaganden om global vattenstands höjning från IPCCs rapport från 2007 (18 och 59 cm fram till 2100). Nyare uppgifter från den internationella forskningen pekar sammantaget på att en övre gräns för hur mycket havsytans nivå kan komma att stiga är ungefär 1 m under perioden 1990-2100 sett som ett globalt medelvärde. Utifrån detta värde och antaganden om att eventuella lokala effekter kommer att motsvara dagens förhållanden har framtida medelnivåer och extremnivåer beräknats för Skånes län, tillsammans med dagens medel- och extremnivåer.

Resultaten av beräkningarna visar att för Skånes del innebär en global havsnivåhöjning på +1 m fram till 2100 att:

- Medelvattenytan höjs med cirka 85 cm vid Viken, Barsebäck och Kungsholmsfort, och med cirka 90 cm i Klagshamn, Skanör, Ystad och Simrishamn.
- Vattenstånd med 100 års återkomsttid höjs med mellan 85 - 90 cm, dvs. på samma sätt som medelvattenytan. Detsamma gäller 2, 10 och 50 års återkomsttid.
- Detta innebär att kring år 2100 beräknas 100-årsvattenståndet variera mellan ca 215 cm och 260 cm (RH2000) kring Skåne läns kust.
- År 2010 har Viken högst extrema vattennivåer och Kungsholmsfort lägst extrema nivåer. År 2100 har Skanör något högre extrema nivåer än Viken. Kungsholmsfort har fortfarande lägst extrema nivåer.
- De beräkningar av återkomstnivåer som presenteras i denna rapport ligger 20 – 25 cm högre än de beräkningar som presenterades i Nerheim (2007). Den relativa förändringen av medelvattenytan fram emot 2100 är ca 20 cm högre i de beräkningarna som presenteras i denna rapport jämfört med de tidigare beräkningarna.

8 Referenser

- Alexandersson H. 2003. Korrektion av nederbörd med enkel klimatologisk metodik. *SMHI Meteorologi*, nr 111, Norrköping.
- AMAP 2011. Snow, water, ice and permafrost in the Arctic. *SWIPA 2011 Executive Summary*. 15 pp.
- Andréasson J., Hellström S.-S., Rosberg J. och Bergström S. 2007. Översiktlig kartpresentation av klimatförändringars påverkan på Sveriges vattentillgång - Underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen. *SMHI Hydrologi* nr 106, 2007.
- Andréasson J., Bergström S., Gardelin M., German J., Gustavsson H., Hallberg K. och Rosberg J. 2011. Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - metodutveckling och scenarier. *Elforsk rapport* 11:25.
- Australian Department of Climate Change 2010. *Climate Change Risks to Australia's Coast – A first pass national assessment*. Updated version February 23, 2010.
- Bergström S., Andréasson J., Losjö K., Stensen B. och Wern L. 2011. Hydrologiska och meteorologiska förhållanden i Göta älvdalen. Statens geotekniska institut, Göta älvutredningen. *GÄU-delrapport 27*, 41s.
- Bergström S., Hellström S.-S. och Andréasson J. 2006. Nivåer och flöden i Vänerns och Mälarens vattensystem – Hydrologiskt underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen. *SMHI Reports Hydrology*, No. 20, Norrköping.
- Copenhagen Diagnosis 2009. *Updating the World on the Latest Climate Science*. I. Allison, N.L. Bindoff, R.A. Bindshadler, P.M. Cox, N. de Noblet, M.H. England, J.E. Francis, N. Gruber, A.M. Haywood, D.J. Karoly, G. Kaser, C. Le Quéré, T.M. Lenton, M.E. Mann, B.I. McNeil, A.J. Pitman, S. Rahmstorf, E. Rignot, H.J. Schellnhuber, S.H. Schneider, S.C. Sherwood, R.C.J. Somerville, K. Steffen, E.J. Steig, M. Visbeck, A.J. Weaver. The University of New South Wales Climate Change Research Centre (CCRC), Sydney, Australia, 60pp.
- Deltacommissie 2008. *Working together with water - A living land builds for its future*. Findings of the Deltacommissie 2008.
- Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap 2009. *Havsnivåstigning – Estimer av framtidig havsnivåstigning i norske kystkommuner*. Rapport från Det nasjonale klimatilpasningssekretariatet ved Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. Reviderad utgåva september 2009.
- IPCC 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noger, M., van der Linden, P.J. Dai, X., Maskel, K. and Johnsen, C.A.(eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp.
- IPCC 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Johansson, B. 2000. Areal precipitation and temperature in the Swedish mountains. An evaluation from a hydrological perspective. *Nordic Hydrology*, 31, 207-228.

- Johansson, B. and Chen, D. 2003. The influence of wind and topography on precipitation distribution in Sweden: Statistical analysis and modelling. *International Journal of Climatology*, 23, 1523-1535.
- Johansson, B. and Chen, D. 2005. Estimation of areal precipitation for runoff modelling using wind data: a case study in Sweden. *Climate Research*, 29, 53-61.
- Københavns Kommune, 2011. Københavns Klimatilpasningsplan.
- Lindström G., Johansson B., Persson M., Gardelin M. och Bergström S. 1997. Development and test of the distributed HBV-96 model. *Journal of Hydrology*, 201, 272-288.
- Lowe J. A., Howard T. P., Pardaens A., Tinke, J., Holt J., Wakelin S., Milne G., Leake J., Wolf J., Horsburgh K., Reeder T., Jenkins G., Ridley J., Dye S. and Bradley S. 2009. *UK Climate Projections science report: Marine and coastal projections*. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK.
- Länsstyrelserna 2008. Stigande havsnivå – konsekvenser för fysisk planering. Länsstyrelserna i Skåne och Blekinge län. *Länsstyrelserapport 2008:5*. 49 s.
- Ministry of Natural Resources and Environment 2009. *Climate Change, Sea Level Rise Scenarios for Vietnam*. Report from the Ministry of Natural Resources and Environment of Vietnam, Hanoi.
- Nakićenović N., and R. Swart (eds.) 2000. *Special Report on Emissions Scenarios*. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.
- Naturvårdsverket 2007. FN:s klimatpanel 2007: Den naturvetenskapliga grunden. Sammanfattning för beslutsfattare. *NV Rapport 5677*, Stockholm.
- Nerheim S. 2007. Framtida medel- och högvattenstånd i Skåne och Blekinge. *SMHI Rapport 2007-53*.
- Netherlands Environmental Assessment Agency, Royal Netherlands Meteorological Institute and Wageningen University and Research Centre 2009. *News in Climate Science and Exploring Boundaries - A Policy brief on developments since the IPCC AR4 report in 2007*. Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL), Bilthoven, November 2009 PBL publication number 500114013.
- Nikulin G., Kjellström E., Hansson U., Strandberg G. and Ullerstig A. 2011. Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations. *Tellus*, 63A, 41-55.
- NOAA 2009. *NOAA Response to Congressional Questions Regarding Climate Change*. The Honorable Joe Barton and the Honorable Fred Upton. *Questions for the Record from the March 25, 2009 Hearing on Climate Adaptation. Response Updated November 2009 to Include Additional Graphic*
- Olsson, J., Amaguchi, H., Alsterhag, E., Dåverhög, M., Adrian, P.-E., and A. Kawamura (2012) Adaptation to climate change impacts on urban flooding: a case study in Arvika, Sweden, *Clim. Chang.*, revised.
- Rodhe A., Lindström G. och Dahné J. 2009. Grundvattennivåer i ett förändrat klimat. *Slutrapport från SGU-projekt 60-1642/2007*

- Rummukainen M. och Källén E. 2009. *Ny klimatvetenskap 2006-2009. En kort genomgång av forskningen om klimatfrågans naturvetenskapliga grunder sedan IPCC AR4/WG I från 2007.* Rapport till Kommissionen för hållbar utveckling. Stockholm.
- Rummukainen M., Johansson D.J.A., Azar C., Langner J., Döscher R. och Smith H. 2011. Uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet. *SMHI Klimatologi* Nr 4. 48s.
- SMHI 1998. Vit jul? Faktablad nr 1 från KLAR (*SMHIs KLimatARkiv*).
- SMHI 1999. Väder och vatten under ett århundrade 1900-1999. *SMHI faktablad* nr 3.
- SMHI 2000. Svåra snöoväder. Faktablad nr 3 från KLAR (*SMHIs KLimatARkiv*).
- SMHI 2001. Extrem nederbörd 1900-2001. Faktablad nr 4 från KLAR (*SMHIs KLimatARkiv*).
- SMHI 2002. Län och huvudavrinningsområden i Sverige. *SMHI faktablad* nr 10.
- SMHI 2008. Sveriges sjöar. *SMHI faktablad* nr 39.
- SMHI 2009a. Sveriges landskapsklimat. *SMHI faktablad* nr 42.
- SMHI 2009b. Havsvattenstånd vid svenska kusten. *SMHI faktablad* nr 41.
- SMHI 2011 a. Blixt och dunder – om åska i Sverige 2002-2009. *SMHI faktablad* nr 48.
- SMHI 2011b. Värmeböljor i Sverige. *SMHI faktablad* nr 49.
- SMHI 2011c. Vind och storm i Sverige 1901-2010. *SMHI faktablad* nr 51.
- SNA 1999. Atlas över Skåne. *Sveriges Nationalatlas*.
- SOU 2006. Översvämningshot. Risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Vänern. Delbetänkande av Klimat- och sårbarhetsutredningen, *SOU 2006:94*. Stockholm.
- SOU 2007a. Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter. Slutbetänkande av Klimat- och sårbarhetsutredningen. *SOU 2007:60*, Stockholm.
- SOU 2007b. Översiktlig sårbarhetsanalys för översvämning, skred, ras och erosion i bebyggd miljö i ett framtida klimat. Klimat- och sårbarhetsutredningen *SOU 2007:60*, bilaga B14.
- Sundén G, Maxe L. och Dahné J. 2010. Grundvattennivåer och vattenförsörjning vid ett förändrat klimat. *SGU-rapport 2010:12*
- Svensk Energi, Svenska Kraftnät och SveMin* 2007. Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar - Nyutgåva 2007. ISBN 978-91-7622-197-6.
- van der Linden P., and J.F.B. Mitchell (eds.) 2009. *ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project*. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160pp.
- Vellinga, P., Katsman C.A., A. Sterl and J.J. Beersma, (eds.) 2008. Exploring high end climate change scenarios for flood protection of the Netherlands: - an international scientific assessment. *International Scientific Assessment. Background document to Deltacommissie*.
- Wern L. och Barring L. 2009. Sveriges vindklimat 1901-2008. Analys av förändring i geostrofisk vind. *SMHI Meteorologi* nr 138/2009.

Yang W., Andréasson J., Graham L.P., Olsson J., Rosberg J. and Wetterhall F. 2010. Distribution based scaling to improve usability of RCM projections for hydrological climate change impacts studies. *Hydrology Research*, 41.3-4, 211-229.

Övriga referenser

Länsstyrelsernas GIS-tjänster, <http://www.gis.lst.se/lanskartor/>

SMHI:s Klimatarkiv

SMHI vattenweb, vattenweb.smhi.se

9 Bilagor

Bilaga 1. Årsmedeltemperatur (°C). Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990.

Bilaga 2. Antal 5-dygnsperioder med dygnsmedeltemperatur över 20 °. Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098.

Bilaga 3. Årsmedelnederbörd (mm). Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990.

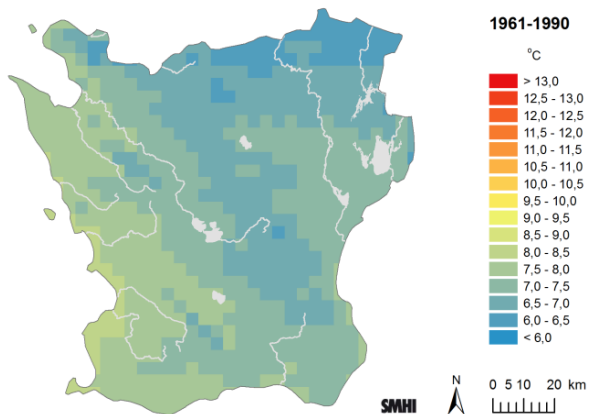
Bilaga 4. Antal dagar per år då markfuktigheten är lägre än medelvärdet av varje års lägsta värde referensperioden 1963-1992. Medelvärden, 25:e och 75:e percentilerna för perioderna 1963-1992, 2021-2050 och 2069-2098 visas i kartform med samma skala. (I figur 5.3-1 på sidan 26 används en högre upplöst skala för att visa medelvärdena för perioden 1963-1992 tydligare.)

Bilaga 5. Förändring av 100-årstillrinning enligt 16 klimatscenarier (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinningen för referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 senaste åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat för perioden 2021-2050 jämfört med värdet för 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.

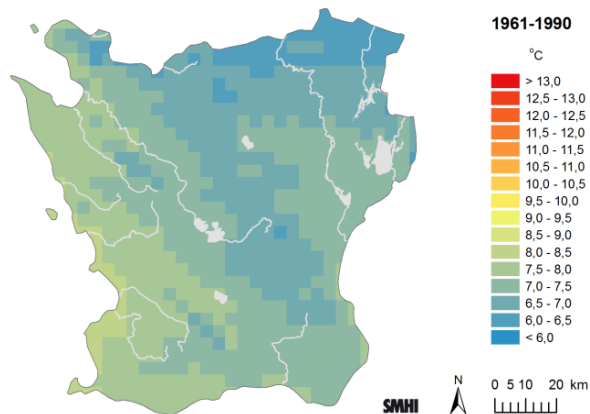
Bilaga 6. Extrema havsvattenstånd. Sannolikhetsfördelning för Viken, Barsebäck, Klagshamn, Skanör, Ystad, Simrishamn och Kungsholmsfort, 2100 och 2100.

Bilaga 1 - Årsmedeltemperatur

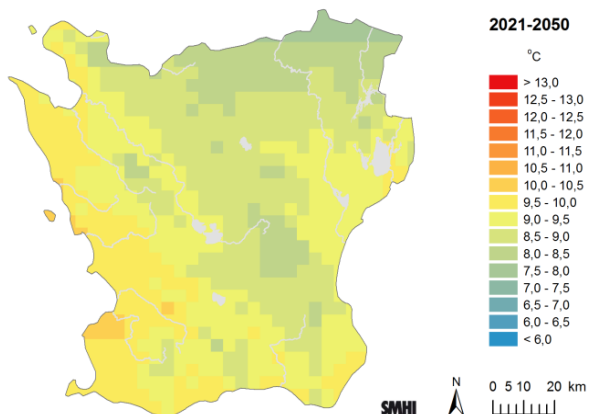
Observerat 1961-1990 (°C)



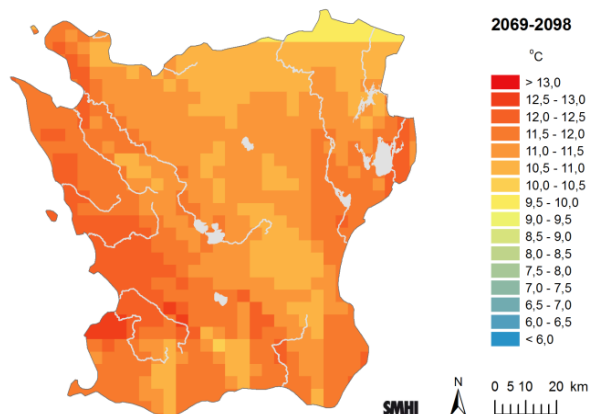
Beräknat 1961-1990 (°C)



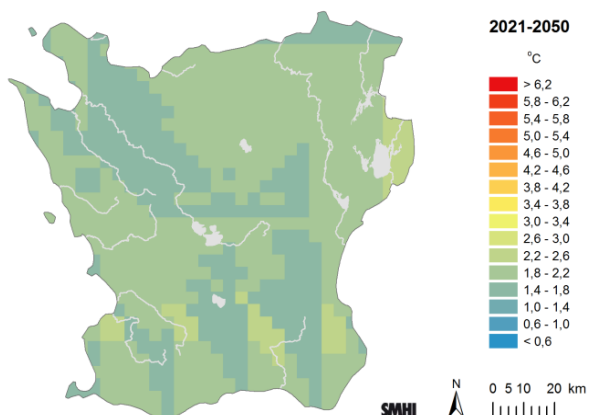
Beräknat 2021-2050 (°C)



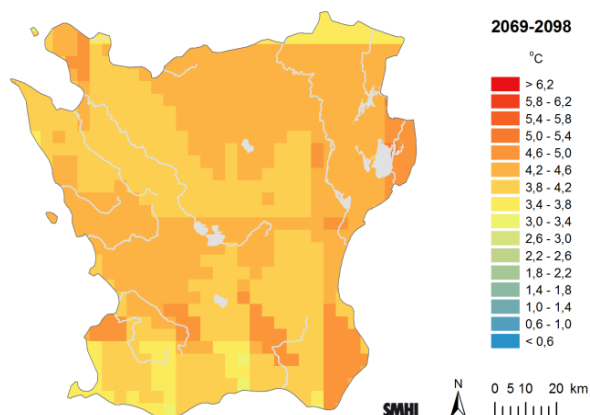
Beräknat 2069-2098 (°C)



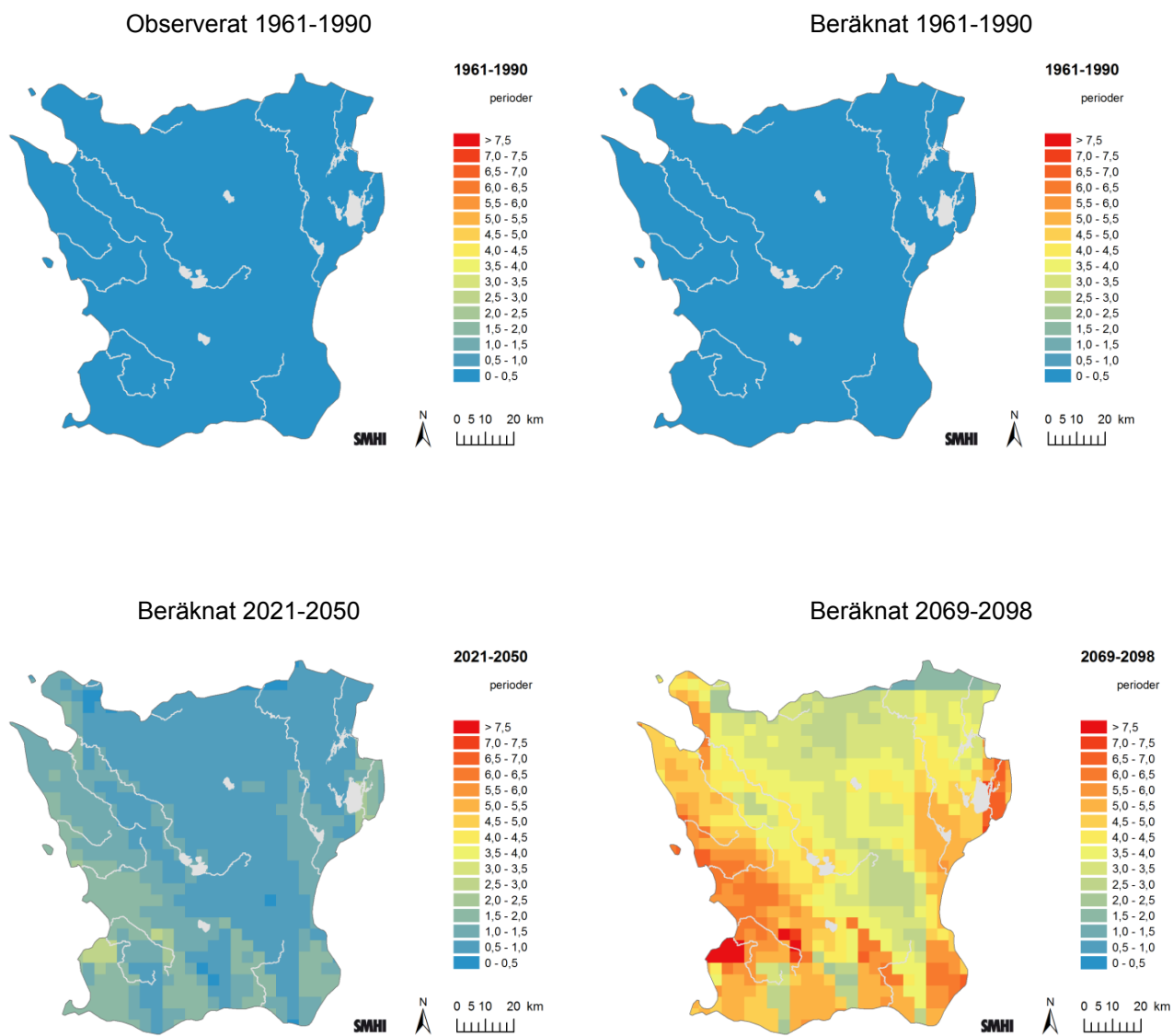
Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 (Δ °C)



Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (Δ °C)

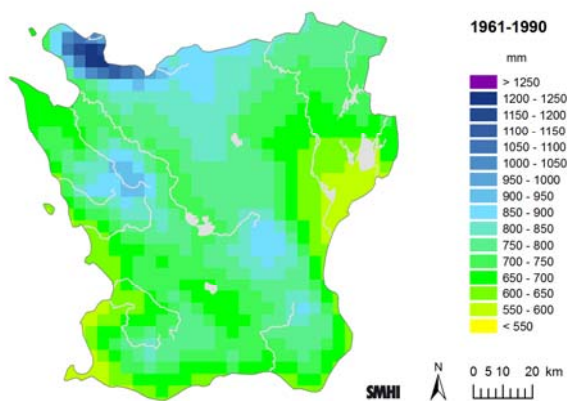


Bilaga 2 – Antal 5-dygnsperioder med dygnsmedeltemperatur > 20°C

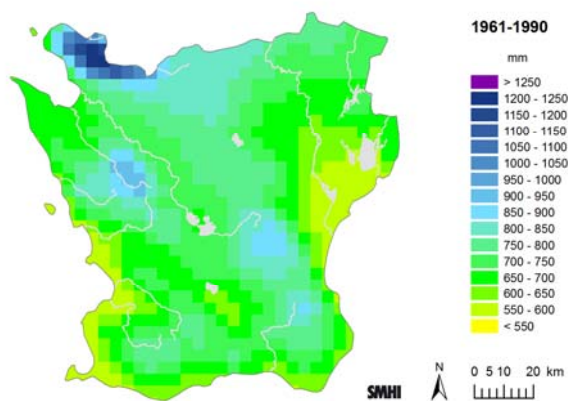


Bilaga 3 - Årsmedelnederbörd

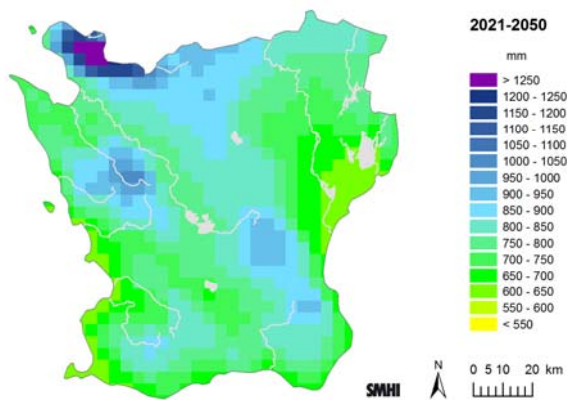
Observerat 1961-1990 (mm/år)



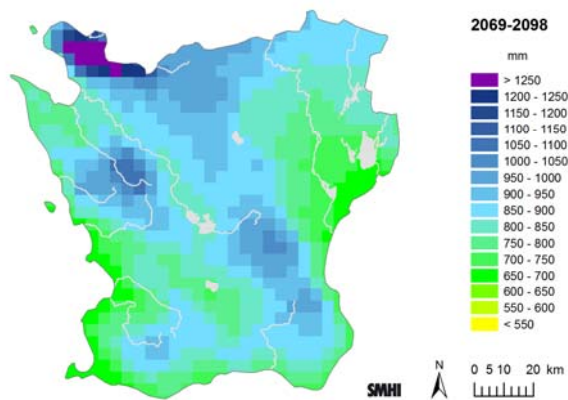
Beräknat 1961-1990 (mm/år)



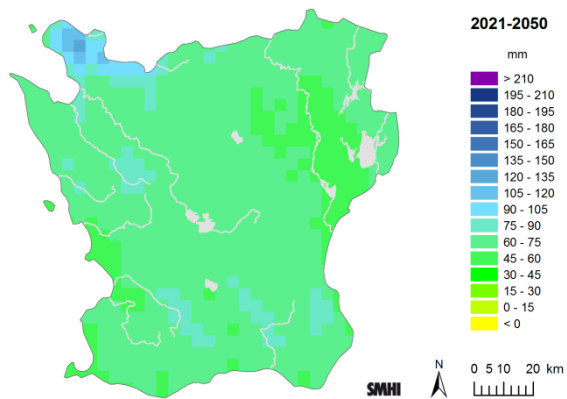
Beräknat 2021-2050 (mm/år)



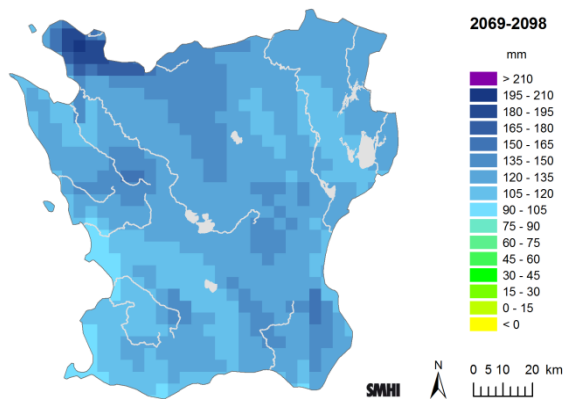
Beräknat 2069-2098 (mm/år)



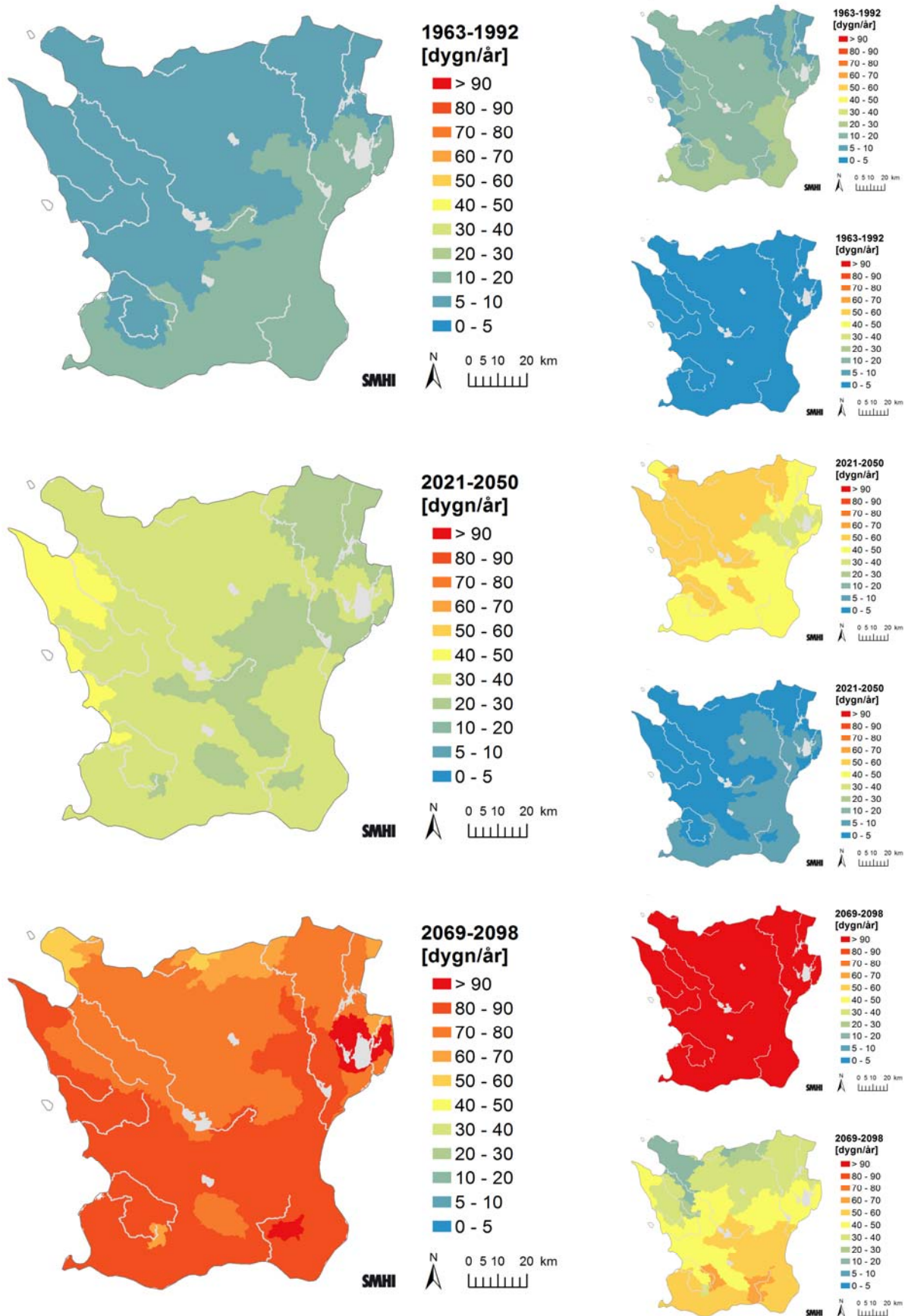
Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 (mm/år)



Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (mm/år)

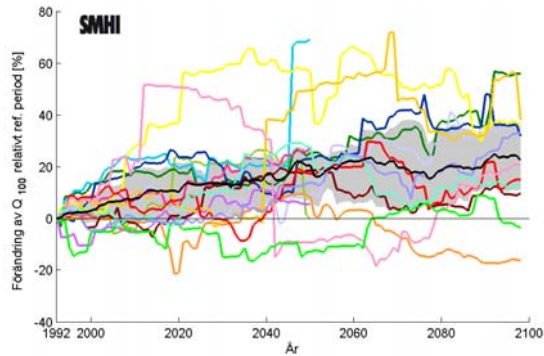


Bilaga 4 – Antal dagar med låg markfuktighet (se definition i kap 5.3)

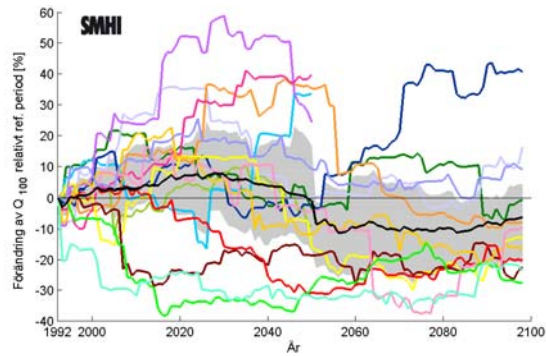


Bilaga 5 – Förändring av 100-årstillrinning

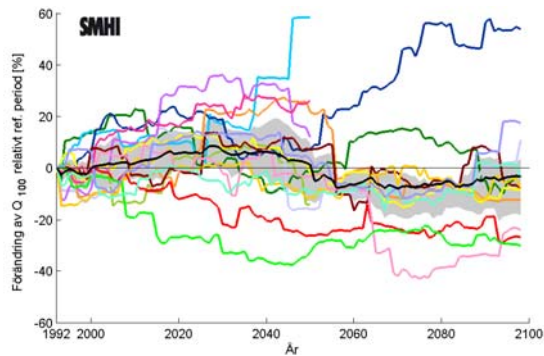
Helge å vid utloppet till Hammarsjön



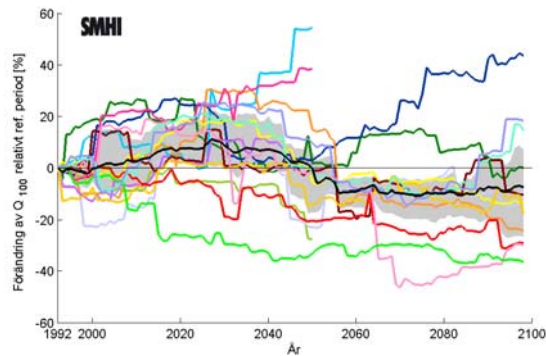
Nybroån vid mynningen till Östersjön



Höje å vid mynningen till Öresund



Råån vid mynningen i Öresund



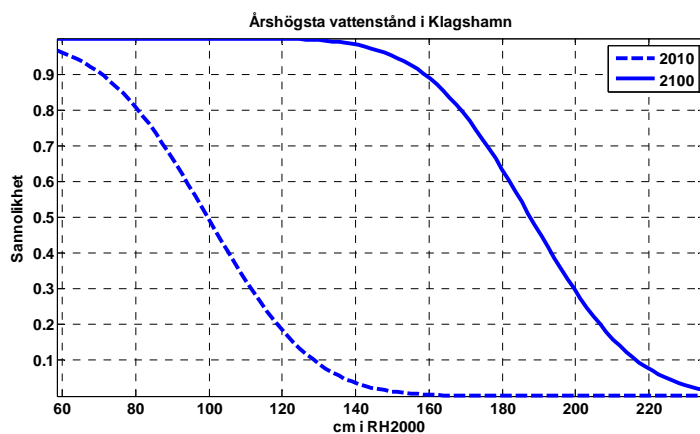
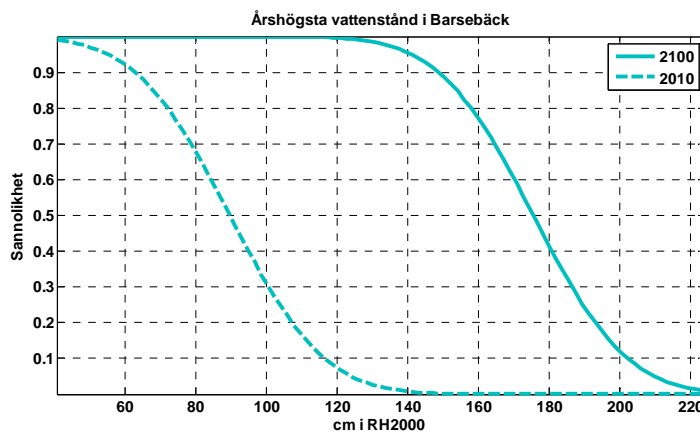
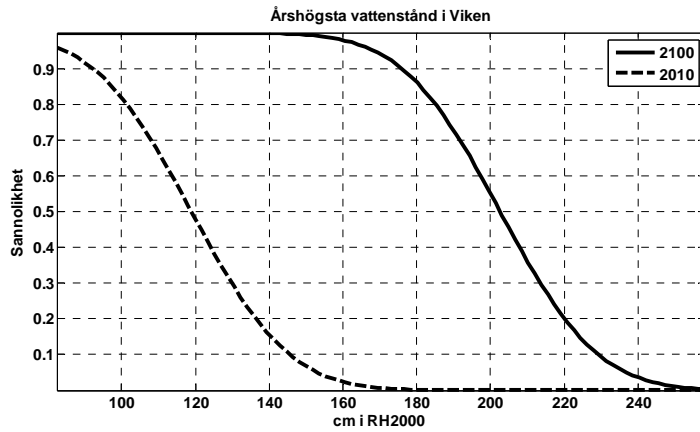
De 16 klimatsimuleringarna är färgkodade enligt:

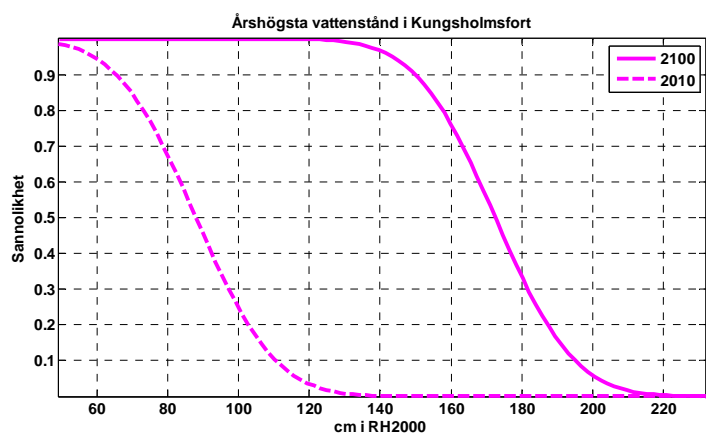
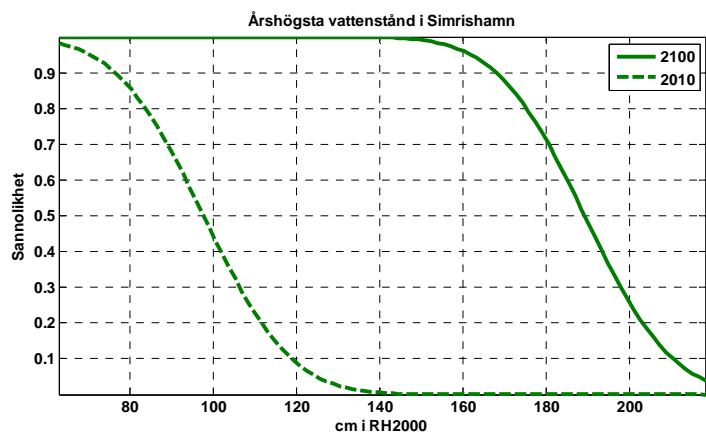
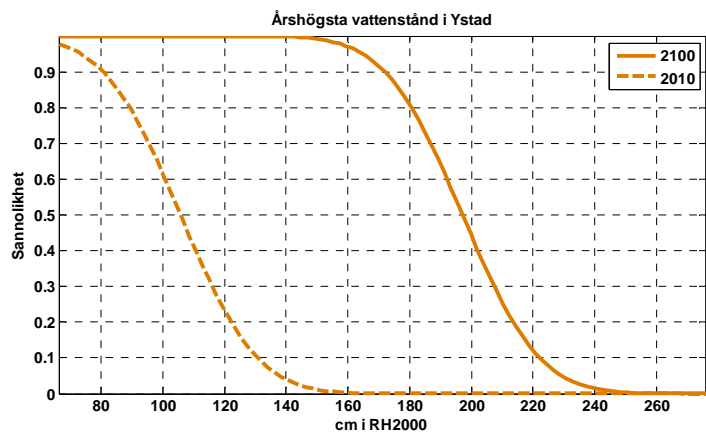
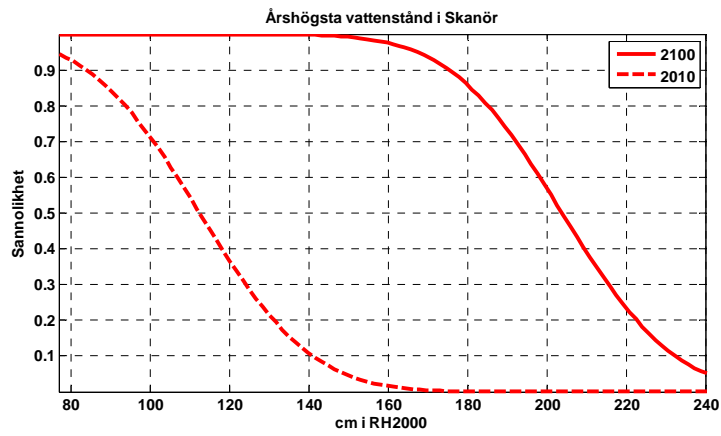
- C4I-E53-25-A2
- C4I-HCQ16-25-A1B
- CNRM-AR-25-A1B
- DMI-E53-25-A1B
- HC-HCQ0-25-A1B
- KNMI-E53-25-A1B
- METNO-BCM-25-A1B
- METNO-HCQ0-25-A1B
- MPI-E53-25-A1B
- SMHI-CCSM3-50-A1B
- SMHI-CNRM-50-A1B
- SMHI-E51-50-A1B
- SMHI-E51-50-B1
- SMHI-E52-50-A1B
- SMHI-E53-25-A1B
- SMHI-E53-50-A1B
- Medelvärde

Det grå fältet visar spridningen mellan 25:e och 75:e percentilen.

Bilaga 6 – Extrema havsvattenstånd

Diagrammen visar sannolikhetsfördelningen av extrema vattenstånd i cm relativt RH200 för Viken, Barsebäck, Klagshamn, Skanör, Ystad, Simrishamn och Kungholmsfort, 2010 och 2100. En sannolikhet på 0,5 är detsamma som 50 % sannolikhet vilket motsvarar 2 års återkomsttid. En sannolikhet på 0,1 motsvarar 10 års återkomsttid.







Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 NORRKÖPING
Tel 011-495 80 00 Fax 011-495 80 01