

Framtidens vattentillgång i Mälaren, Göta älv, Bolmen, Vombsjön och Gavleån

Underlag till Dricksvattenutredningen

Anna Eklund, Jenny Axén Mårtensson, Sten Bergström och Elin Sjökvist



Pärmbild: Mälaren, Göta älv, Bolmen, Vombsjön och Gavleån

ISSN: 1654-2258 © SMHI

KLIMATOLOGI Nr 39, 2016

**Framtidens vattentillgång i Mälaren, Göta älv,
Bolmen, Vombsjön och Gavleån**

Underlag till Dricksvattenutredningen

Anna Eklund, Jenny Axén Mårtensson, Sten Bergström och Elin Sjökvist

Sammanfattning

Dricksvattenutredningen har, tillsammans med sin referensgrupp för klimatförändringar, valt några orter för mer noggranna fallstudier kring framtida dricksvattenförsörjning. Som ett underlag har SMHI tagit fram denna klimatanalys för de fem ytvattentäkterna Mälaren, Göta älv, Bolmen, Vombsjön och Gavleån.

Det finns idag en stor risk för översvämningar runt **Mälaren**, men med en ökad tappningskapacitet vid Slussen och en ny vattendom minskar översvämningens risk betydligt. Den utökade tappningskapaciteten ger också goda möjligheter att hantera framtidens extrema tillrinningar. Om havsnivåhöjningen blir stor (1 meter globalt) kan nivåerna i Mälaren tidvis bli höga, men översvämningens risk väntas inte bli lika stor som den är idag. I framtiden beräknas det kunna bli vanligare med låga nivåer i Mälaren.

Hur stort vattenflödet i **Göta älv** blir styrs till största delen av vattennivå i Vänern och tappningen från Vänern till Göta älv. I framtidens klimat väntas det bli vanligare med såväl höga som låga nivåer i Vänern. Det leder till att det blir vanligare med både höga och låga vattenflöden i Göta älv. Förhållandena påverkas om regleringsstrategin för Vänern ändras.

Tillrinningen till **Bolmen** beräknas i framtiden öka under vintern och minska under vår och sommar. Det väntas bli vanligare med låg tillrinning till sjön medan 100-årstillrinningen väntas öka något i framtiden.

Medeltillrinningen till **Vombsjön** beräknas öka något, men skillnaderna mellan årstiderna blir stora med ökad tillrinning vintertid och minskad under sommar och vår. Perioden med låg tillrinning under sommaren väntas bli längre.

Medelflödet i **Gavleån** beräknas öka i framtiden, men skillnaderna mellan olika årstider är stora. Vårflödet väntas minska och istället ökar vattenflödena vintertid. Vattenflödena sommartid beräknas minska och perioden med lågflödet bli längre.

Summary

Together with the reference group for climate change, the governmental investigation on drinking water has selected a few locations for more detailed case studies of the future drinking water supply. As a basis, SMHI has developed this climate analysis for the five catchment areas for Mälaren, Göta älv, Bolmen, Vombsjön and Gavleån.

There is currently a high risk of flooding around **Mälaren**, but an increased regulation capacity at Slussen in Stockholm and a new regulation schedule will significantly reduce the risk of flooding. The increase in regulation capacity also provides for better management of any extreme inflows in the future. If the sea level rise is large (1 metre globally) then the water levels in Mälaren will sometimes be high, but the flood risk is not expected to be as great as today. Calculations also show that low water levels in Mälaren will be common in the future.

The discharge in **Göta älv** is mostly controlled by the water level in Vänern together with the volume of water released from Vänern to Göta älv. In the future it is expected that both high and low water levels will be more common in Vänern. This means that high and low water flows will be more common in Göta älv. However this could change if the regulation strategy for Vänern is changed.

Future inflow to **Bolmen** is calculated to increase during the winter and decrease during spring and summer. It is expected that low inflow to the lake will be more common, while the 100-year inflow is expected to increase slightly.

The average inflow to **Vombsjön** is expected to increase slightly, with a large seasonal variation showing increased inflow in the winter and a reduction during spring and summer. The summer period of low inflow is expected to be longer.

The average flow in **Gavleån** is calculated to increase in the future, with a large seasonal variation. Spring floods are expected to decrease and instead the winter flow will be greater. During the summer the flow is expected to decrease and the period of low flow will be longer.

Innehållsförteckning

1	BAKGRUND OCH SYFTE	1
2	METODIK	2
2.1	Antaganden om utsläpp	2
2.2	Globala och regionala modeller	3
2.3	Hydrologiska beräkningar	3
2.4	Skillnader mellan de olika analyserna	3
2.5	Osäkerheter	4
2.6	Begreppen återkomsttid, risk och sannolikhet.....	4
3	DE STUDERADE VATTENTÄKTERNA	6
3.1	Mälaren	6
3.2	Göta älv.....	7
3.3	Bolmen.....	8
3.4	Vombsjön	8
3.5	Gavleån.....	8
4	RESULTAT.....	9
4.1	Temperatur	9
4.2	Nederbörd.....	9
4.3	Vattentillgång	11
4.3.1	Mälaren	12
4.3.2	Göta älv.....	15
4.3.3	Bolmen.....	17
4.3.4	Vombsjön	19
4.3.5	Gavleån.....	21
5	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	23
6	TACKORD	23
7	REFERENSER	24

1 Bakgrund och syfte

Den statliga utredningen ”En trygg dricksvattenförsörjning” (hädanefter benämnd Dricksvattenutredningen) ska identifiera nuvarande och potentiella utmaningar för en säker dricksvattenförsörjning i landet, på kort och lång sikt. Utgångspunkten ska bland annat vara klimatförändringarnas förväntade effekter på dricksvattenförsörjningen. Utredningen ska också lämna en uppdaterad beskrivning av hur klimatförändringarna kan komma att påverka olika delar av landet.

Som ett underlag tog SMHI i maj 2015 fram en klimatanalys för parametrar som är relevanta för dricksvattenförsörjningen (Eklund m.fl., 2015). Den analysen redovisar klimatförändringarna på Sverigeskala. SMHI tog också fram en analys för historiskt klimat 1860-2014 (Persson, 2015).

Dricksvattenutredningen har, tillsammans med sin referensgrupp för klimatförändringar, valt några orter för mer noggranna fallstudier; Stockholm, Göteborg, Malmö, Ulricehamn, Gävle och Kristianstad. Av dessa är det fyra som hämtar sitt dricksvatten från ytvattentäkter, varav en, Malmö, har två vattentäkter. Som ett underlag till fallstudierna har SMHI tagit fram denna klimatanalys för de fem ytvattentäkterna Mälaren, Göta älv, Bolmen, Vombsjön och Gavleån. Ulricehamn och Kristianstad får sitt dricksvatten från grundvattentäkter och ingår därför inte i denna studie.

Föreliggande rapport går inte djupare in på konsekvenserna för dricksvattenförsörjningen utan stannar vid förändringar i vattentillgång.

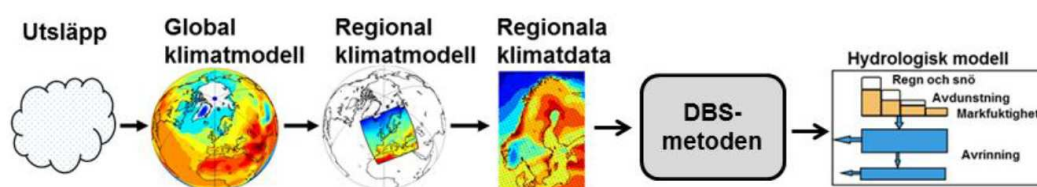
Rapporten grundar sig delvis på de klimatscenarier som använts av FNs klimatpanel i dess femte utvärdering AR5 (IPCC, 2013). Beräkningarna för Bolmen, Vombsjön och Gavleån är gjorda med dessa scenarier som grund. De är framtagna med samma metodik som i det så kallade nedskalningsprojektet (Sjökvis m.fl., 2015) och tidigare klimatanalys till Dricksvattenutredningen (Eklund m.fl., 2015).

För Mälaren och Göta älv har inte några nya beräkningar gjorts. Istället sammanfattas resultat från tidigare studier (Andréasson m.fl., 2011 och Bergström m.fl., 2010). Dessa beräkningar grundar sig på den tidigare generationens klimatscenarier (AR4, IPCC 2007), som togs fram inom det internationella forskningsprojektet ENSEMBLES (van der Linden och Mitchell, 2009).

2 Metodik

I detta kapitel beskrivs metodiken mycket kortfattat. Mer information finns i Eklund m.fl. (2015), Sjökvist m.fl. (2015), Andreasson m.fl. (2011) och Bergström m.fl. (2010). På smhi.se finns också ”Vägledning klimatscenarier” som stöd för användande av klimatscenarier (Persson m.fl., 2015).

De olika delarna i beräkningarna visas i figur 2.1 och beskrivs i följande stycken.



Figur 2.1 Illustration av beräkningsgången från utsläpp till hydrologisk modell.

2.1 Antaganden om utsläpp

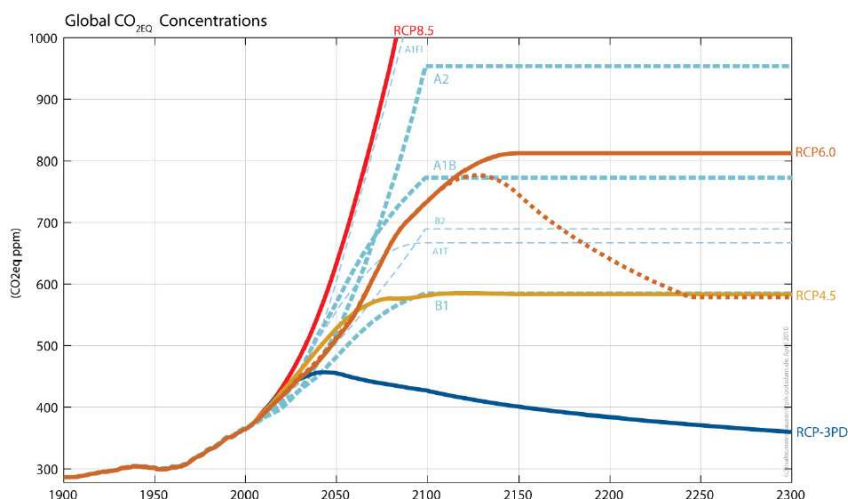
Klimatets utveckling i framtiden beror på hur atmosfärens innehåll av växthusgaser förändras. För att kunna studera framtidens klimat behövs antaganden om hur utsläppen av växthusgaser kommer att bli. Det finns flera möjliga utvecklingar och vilken av dem som slår in beror på människans förmåga att begränsa utsläppen.

För Bolmen, Vombsjön och Gavleån bygger beräkningarna på de så kallade RCP-scenarierna (Moss m.fl., 2010). De beskriver resultatet av utsläppen, den så kallade strålningsbalansen i atmosfären, fram till år 2100. I följande analyser används två RCP-scenarier, RCP4.5 som bygger på låga utsläpp, och RCP8.5 med höga utsläpp. Tabell 2.1 beskriver vilka antaganden som ligger till grund för scenarierna.

Tabell 2.1 Antaganden som ligger till grund för utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5.

RCP4.5	RCP8.5
• Utsläppen av koldioxid ökar något och kulminerar omkring år 2040 • Befolkningsmängd något under 9 miljarder i slutet av seklet • Lågt arealbehov för jordbruksproduktion, bland annat till följd av större skördar och förändrade konsumtionsmönster • Omfattande skogsplanteringsprogram • Låg energiintensitet • Kraftfull klimatpolitik	• Koldioxidutsläppen är tre gånger dagens vid år 2100 och metanutsläppen ökar kraftigt • Jordens befolkning ökar till 12 miljarder vilket leder till ökade anspråk på betes- och odlingsmark för jordbruksproduktion • Teknikutvecklingen mot ökad energieffektivitet fortsätter, men långsamt • Stort beroende av fossila bränslen • Hög energiintensitet. • Ingen tillkommande klimatpolitik

För Mälaren och Göta älv har en äldre generations utsläppsscenarier använts, de så kallade SRES-scenarierna (Nakićenović och Swart, 2000). Det är främst scenariot A1B som använts och koldioxidkoncentrationen i atmosfären i det scenariot ligger mellan RCP4.5 och RCP8.5 (figur 2.2). Men även två andra scenarier har använts; A2, med kraftigare utsläpp och B1, med lägre utsläpp. Resultatet redovisas som ett medelvärde av beräkningarna och det går inte att särskilja utvecklingen vid olika utsläppsnivåer i resultatet från dessa äldre studier.



Figur 2.2 Global koldioxidkoncentration för RCP-scenarierna respektive SRES-scenarierna. Källa: IPCC.

2.2 Globala och regionala modeller

För att göra beräkningar av det framtida klimatet krävs klimatmodeller, de är matematiskt formulerade beskrivningar av de fysikaliska processerna i klimatsystemet. De globala klimatmodellerna beskriver hela jorden och de regionala beskriver mer förfinat ett delområde. Indelningen sker i så kallade gridboxar, ett 3-dimensionellt rutnät av atmosfären. Det är mycket omfattande beräkningar som sker på superdatorer.

Den globala klimatmodelleringen görs med en relativt grov upplösning, vilket betyder att storleken på rutorna vid jordytan kan vara ca $200 \times 200 \text{ km}^2$. Den regionala klimatmodelleringen utförs med högre upplösning, ca $50 \times 50 \text{ km}^2$, och ger därför mer detaljerade resultat. Den högre upplösningen är en nödvändig förutsättning för att kunna ta hänsyn till regionala förhållanden såsom påverkan av Östersjön och den skandinaviska fjällkedjan.

I analysen för Bolmen, Vombsjön och Gavleån ingår nio olika globala klimatmodeller från olika institut runt om i världen. Rossby Centre vid SMHI har utfört regional modellering med den regionala klimatmodellen RCA4 (Strandberg m.fl., 2014).

För Mälaren och Göta älv har totalt 12 respektive 14 olika kombinationer av globala och regionala klimatmodeller använts.

2.3 Hydrologiska beräkningar

För hydrologiska beräkningar krävs data med ännu högre geografisk upplösning och korrigering av systematiska fel från klimatberäkningen. SMHI har därför utvecklat en metod, DBS (Distribution Based Scaling), som ökar upplösningen till $4 \times 4 \text{ km}^2$ (Yang m. fl., 2010). Därefter har hydrologisk modellering utförts med HBV-modellen (Lindström m.fl., 1997). Denna modell är en standardmetod för att beräkna vattenflöden och vattentillgång utifrån meteorologiska data.

2.4 Skillnader mellan de olika analyserna

Som nämnts tidigare bygger resultaten i denna rapport på två olika generationer av klimatscenarier. Förutsättningarna skiljer sig åt mellan det nya och äldre materialet (tabell 2.2 och figur 2.2). De största skillnaderna är:

- RCP8.5-scenariet representerar en framtid med betydligt högre utsläpp och koncentrationer av växthusgaser i atmosfären än de högsta SRES-scenarierna.

- De globala klimatmodellerna har vidareutvecklats och urvalet av dessa skiljer sig mellan beräkningarna.
- De äldre beräkningarna har utnyttjat flera regionala klimatmodeller, medan de nya bygger på endast en regional modell (RCA4), som dessutom har utvecklats med tiden.

Dessa ändrade förutsättningar gör det svårt att göra alltför detaljerade jämförelser mellan beräkningarna, men det går ändå att dra en del generella slutsatser. De stora dragen i förändringen av nederbörd, temperatur, vattentillgång och flöden är desamma i de olika beräkningarna. Användningen av RCP8.5-scenariet, med sin höga framtida koncentration av växthusgaser, förstärker de hydrologiska effekterna avsevärt jämfört med tidigare publicerade analyser.

Tabell 2.2 Skillnader och likheter mellan de olika beräkningarna.

	Mälaren	Göta älv	Bolmen, Vombsjön och Gavleån
Utsläppsscenarioer	SRES (A1B, A2, B1)	SRES (A1B, A2, B1)	RCP4.5 och RCP8.5
Globala modeller	12 kombinationer av globala och regionala modeller	16 kombinationer av globala och regionala modeller	9 globala modeller
Regionala modeller			1 regional modell RCA4
Nedskalningsmetod	DBS	DBS	DBS
Hydrologisk modell	HBV	HBV	HBV
Referens	Andreasson (2011)	Bergström (2010)	Nytt material framtaget för denna rapport

2.5 Osäkerheter

Ett klimatscenario kräver en lång kedja av beräkningar och antaganden. Det finns alltså flera källor till osäkerheter; klimatets naturliga variationer, val av klimatmodell och framtida utsläpp av växthusgaser.

Den naturliga variationen innebär att klimatet varierar naturligt från år till år. Denna osäkerhet påverkar mest klimatscenarioer för en nära framtid, eftersom klimatet inte hunnit förändras så mycket. Klimatförändringen är då svår att urskilja från den naturliga variationen i klimatet.

Alla klimatmodeller baseras på samma grundläggande kunskap om klimatsystemet och fungerar på ungefär samma sätt. Resultaten skiljer sig ändå åt beroende på att processerna i klimatsystemet kan beskrivas på olika sätt, och att fler eller färre processer inkluderas i modellerna. Ingen modell är perfekt, därför är det bra att sammanväga resultaten från olika modeller. Spridningen mellan beräkningarna baserade på olika klimatmodeller ger en bild av vilken osäkerhet som föreligger.

Framtidens klimat beror på framtida utsläpp av växthusgaser. Ett viktigt resultat, som kan utläsas i klimatscenarioerna, är att valet av utsläppsscenario har relativt liten betydelse för de närmsta årtiondena. Mot mitten på seklet börjar valet av utsläppsscenario växa i betydelse för det beräknade klimatets utveckling.

För de hydrologiska beräkningarna tillkommer även osäkerheter från den hydrologiska modellen.

2.6 Begreppen återkomsttid, risk och sannolikhet

I rapporten används begreppet återkomsttid för att beskriva hur ovanlig en händelse är. Med en händelses återkomsttid menas att händelsen inträffar eller överträffas i genomsnitt en gång under denna tidsperiod. Det innebär att sannolikheten för exempelvis ett 100-årsflöde är 1 på 100 för varje enskilt år. Efterhand som tiden går växer sannolikheten för att händelsen ska inträffa någon gång under tidsperioden. För t.ex. ett hus som står i 100 år i ett område som endast är skyddat mot ett 100-årsflöde, är sannolikheten för översvämning under denna tid hela 63 %. Detta är skälet till

att större dammar ofta dimensioneras för återkomsttider på, eller till och med bortom, 10 000 år. Då blir ändå sannolikheten under 100 års exponeringstid ca 1 %. Tabell 2.3 visar sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikheten.

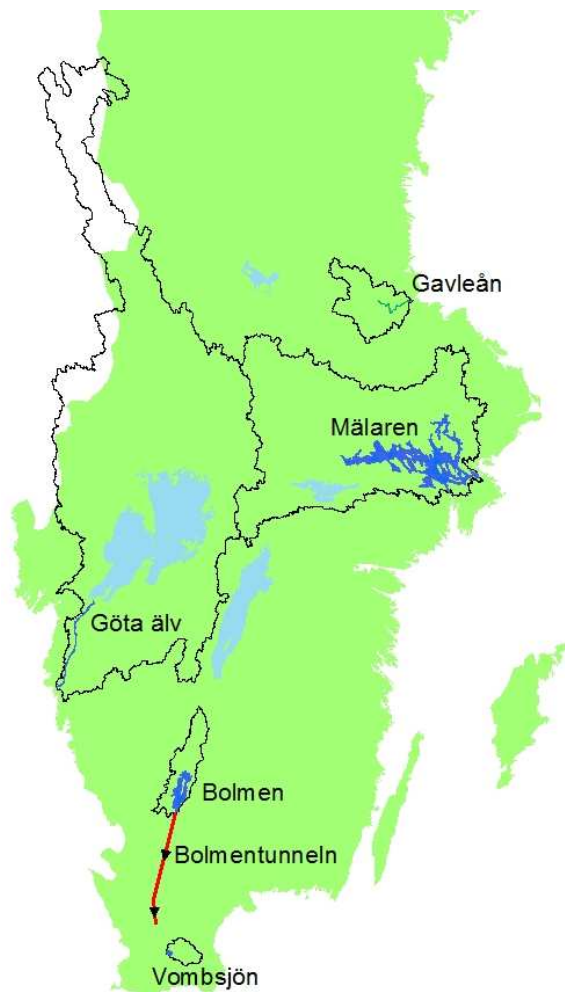
Tabell 2.3 Sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikhet i procent.

Återkomsttid (år)	Sannolikhet under 50 år (%)	Sannolikhet under 100 år (%)
100	39	63
1000	5	9,5
10 000	0,5	1

Beräkning av återkomsttider sker med en teknik som kallas frekvensanalys och försvåras om dataserierna är korta eller om de är påverkade av regleringar i vattendrag. Det innebär exempelvis att ett beräknat 100-årsflöde kan komma att ändras när nya data kommer in.

3 De studerade vattentäkterna

De studerade områdena (figur 3.1) har valts ut av Dricksvattenutredningen tillsammans med referensgruppen för klimatförändringar. I figuren visas vattentäkternas avrinningsområden och även sträckningen av Bolmentunneln.



Figur 3.1. De studerade vattentäkterna och dess avrinningsområde. Från Bolmen transporteras vattnet till Skåne genom den så kallade Bolmentunneln.

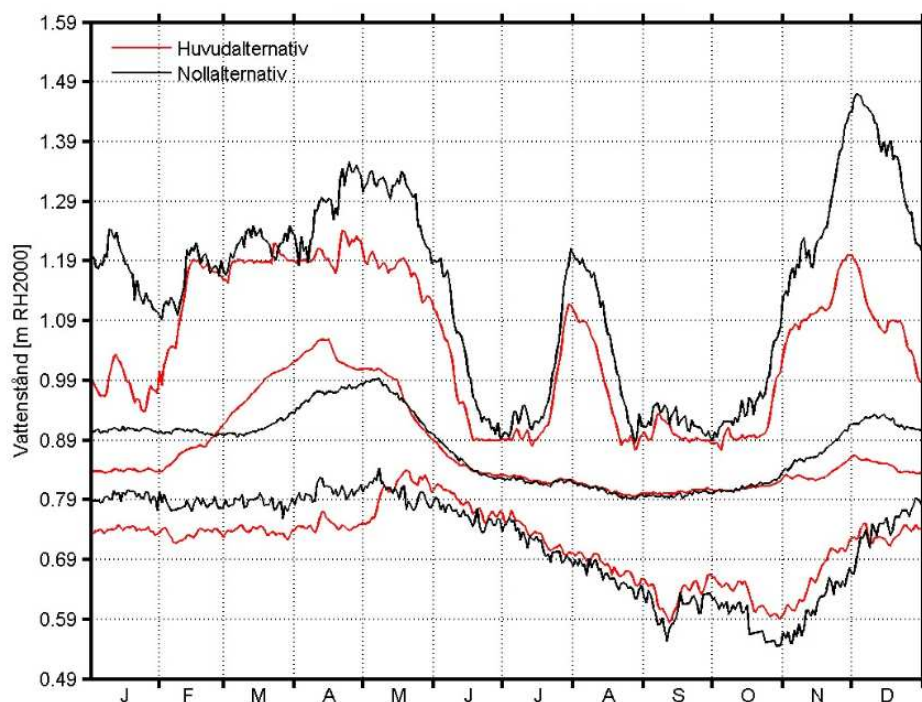
3.1 Mälaren

Mälaren är dricksvattentäkt för ca 2 miljoner människor, bland annat i Stockholm (www.norrvatten.se). Sjöns nivå ligger i genomsnitt bara ca 0,7 m över havsnivån och det finns därför risk för saltvatteninträngning vid höga vattennivåer i havet. Mälaren är en reglerad sjö och avtappningen sker vid flera platser i Stockholm samt vid Södertälje kanal. Medeltappningen ut från Mälaren är 163 m³/s.

Med dagens reglering av Mälaren är risken för en översvämning stor, något som bekräftades efter höga tillrinningar år 2000. I samband med ombyggnaden av Slussen i Stockholm planeras därför en ökning av tappningskapaciteten. SMHI har tagit fram en ny regleringsstrategi, som ska minska risken för översvämningar runt Mälaren, minska risken för låga vattennivåer i Mälaren och förhindra saltvatteninträngning (Andréasson m.fl., 2011). Vid utformningen av den nya regleringen har årtidsvariationer som gynnar den strandnära naturmiljön eftersträfvats.

Med den nya regleringsstrategin sänks de högsta nivåerna i Mälaren och de lägsta höjs (figur 3.2). Som mål har satts upp att vattennivån inte ska överstiga nivån 1,39 m i höjdsystem RH2000. Det

målet klaras med god marginal om situationen från år 2000 skulle upprepas. Højningen i samband med vårfloden har tillåtits i regleringen för att gynna strandnära naturmiljöer.



Figur 3.2 Mälarens beräknade medel- min- och maxvattenstånd med regleringsstrategi enligt Nollalternativet (motsvarande dagens situation) respektive Huvudalternativet (Ökad tappningsmöjlighet vid Slussen samt ny vattendom). Den analyserade perioden är åren 1976-2005 och innehåller såväl det extremt torra året 1976 som det extremt blöta året 2000. Källa: Andréasson m.fl., 2011.

3.2 Göta älv

Göta älv är huvudvattentäkten för Göteborg och vattenintaget finns vid Lärjeholm, ca 7 km uppströms centrala Göteborg (www.goteborg.se). Göta älv är den älv i landet som har störst medelflöde och dess avrinningsområde sträcker sig in i Norge och Härjedalen. Vid Kungälv delar älven upp sig i Nordre älv och Göta älv, som rinner genom Göteborg. Där finns de så kallade Ormoskärmarna, som till viss del kan styra hur mycket vatten som går i vardera grenen. Medelflödet i Göteborgsgren är ca 200 m³/s och i Nordre älv ca 400 m³/s. Vid låga vattenflöden är andelen av vattnet som går i Göteborgsgren större än en tredjedel.

Vattenflödet i Göta älv är beroende av vattennivån i Vänern och den strategi som tillämpas vid tappning av vatten ut från Vänern. Det finns många olika intressen som är beroende av nivån i Vänern. Det finns många översvämningskänsliga områden runt Vänern, men samtidigt kan nivån i Vänern inte bli för låg för fartygstrafikens skull. Naturmiljön i sjön gynnas av stora vattennivåskillnader eftersom igenväxningen då blir mindre. Götaälvdalen är ett område med stor skredrisk, som ökar vid höga flöden och stora tappningsförändringar. Därför får tappningen i älven inte bli för stor. Det föreligger också risk för översvämnningar längs älven vid höga vattenflöden och höga vattennivåer i havet. Ytterligare ett intresse är dricksvattenförsörjningen i Göteborg, som får problem om flödet blir så lågt att saltvatten från havet tränger in till vattenintaget.

I Vänerns vattendom finns en högsta gräns för tappningen på 1030 m³/s, på grund av skredrisken. I samband med den kraftiga översvämnningen i Vänern år 2000-2001 gjordes dock ett avsteg från domen då tappningen ökades till ca 1200m³/s. I Vänerns vattendom finns en bestämmelse, som förenklat säger att Lilla Edets kraftverk ska handhas så att vattenföringen i Göteborgsgrenen inte understiger 125 m³/s under vardagar och 110 m³/s under helgdagar. Denna bestämmelse beror delvis på att saltvatten inte ska tränga in till vattenintaget.

Sedan 2008 tillämpas en tappningsstrategi för Vänern för att minska översvämningar (Länsstyrelsen i Västra Götaland och Vattenfall, 2008). Kortfattat går strategin ut på att tappa ut mycket vatten redan vid halvhöga vattennivåer för att minska risken att nå de höga nivåerna. Under senare år har omfattande diskussioner förts mellan länsstyrelserna, Vattenfall, Sjöfartsverket och andra berörda för att göra ytterligare justeringar av tappningsstrategin.

Redan i dagens klimat är risken stor för både höga och låga nivåer i Vänern och det finns inget enkelt sätt att komma till rätta med dessa problem.

3.3 Bolmen

Bolmen är Sveriges 12:e största sjö och ligger i Lagans avrinningsområde. Härifrån går en tunnel, Bolmentunneln, med vatten till Ringsjöverket i Skåne. Tunneln togs i drift 1987 och förser stora delar av västra Skåne med dricksvatten. Bolmen är reglerad och tappningen vid Skeens kraftverk är i medeltal ca 22 m³/s. Enligt vattendom får uttaget genom Bolmentunneln vara 6 m³/s, men det genomsnittliga uttaget är ca 1,4 m³/s (www.sydvatten.se).

3.4 Vombsjön

Vombsjön är den andra stora vattentäkten som förser västra Skåne med dricksvatten, varifrån bland annat Malmö får huvuddelen av sitt dricksvatten. Sjön ligger i de övre delarna av Kävlingeåns avrinningsområde och regleras för att tillgången på dricksvatten ska vara tillräcklig. Från Vombsjön tas i medeltal ca 1 m³/s vatten till dricksvatten (www.sydvatten.se). Detta vatten får infiltrera ner till ett grundvattenmagasin, där det sedan tas ut. Det vatten som tappas från Vombsjön den naturliga vägen, till Kävlingeån, är i medeltal ca 3,5 m³/s.

3.5 Gavleån

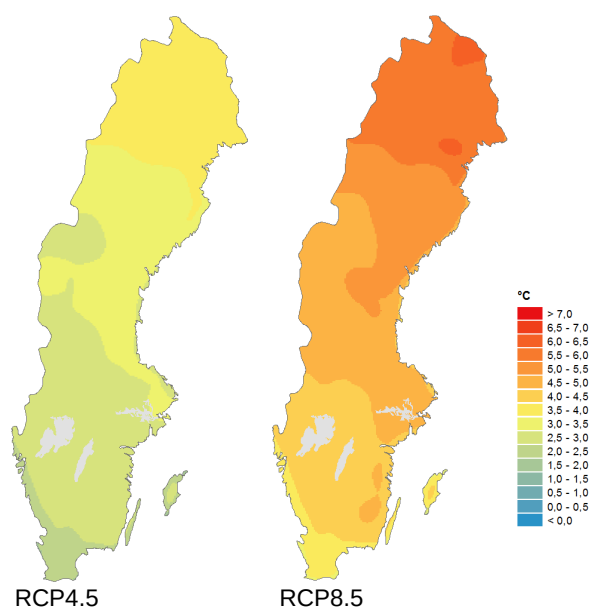
Gävle får sitt dricksvatten från Valboåsen, en rullstensås som sträcker sig utmed Gavleån väster om staden. För att få tillgång till mer vatten i åsen infiltreras vatten från Gavleån en bit uppströms Gävle (www.gastrikevatten.se). Medelflödet i Gavleån är ca 20 m³/s.

4 Resultat

4.1 Temperatur

Klimatberäkningarna visar på en ökning av årsmedeltemperaturen under innevarande sekel, men med stor spridning av resultaten (figur 4.1). Störst beräknas ökningen bli i norr. Scenario RCP4.5 innebär i medeltal en ökning på ca 3 grader till 2100 jämfört med perioden 1961-1990. För RCP8.5 är ökningen större, i medeltal ca 6 grader till 2100.

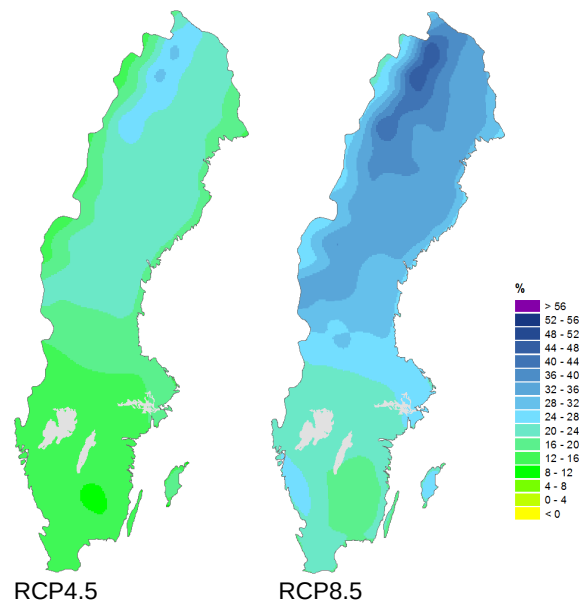
Vattentemperaturen i sjöar och vattendrag beror till stor del på temperaturen i luften. Det finns dock en årstidsfördröjning eftersom vattnet värms upp långsammare än luften på våren och kyls ner långsammare på hösten. Några beräkningar har inte gjorts för framtida vattentemperaturer, men det kan antas att även de stiger när lufttemperaturen stiger.



Figur 4.1. Förändring (grader) av årets medeltemperatur mellan referensperioden 1961-1990 och 2069-2098. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Källa: Eklund m.fl., 2015.

4.2 Nederbörd

Medelnederbörden beräknas öka i hela landet i framtiden (figur 4.2). Störst väntas ökningen bli i Norrlands inland. Skillnaden mellan de två utsläppsscenarierna är små för perioden 2021-2050 men ökar mot slutet av århundradet. En ökning väntas under alla årstider, men främst för vintern och våren.



Figur 4.2 Förändring (%) av årets medelnederbörd mellan referensperioden 1961-1990 och perioden 2069-2098. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Källa: Eklund m.fl., 2015.

Den extrema korttidsnederbörden är redan idag ett problem, framför allt i städer, och beräknas bli mer intensiv i ett framtida klimat. Detta gäller främst skyfall med kort varaktighet (tabell 4.1).

Tabell 4.1 Beräknad procentuell ökning av korttidsnederbörd med 10 års återkomsttid från 1961-1990 till 2021-2050 respektive 2069-2098. Tabellen visar ett medelvärde för hela landet och för samtliga scenarier. Källa: Eklund m.fl., 2015.

	2021-2050		2069-2098	
Varaktighet	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
20 min	19	23	30	51
1 timme	14	16	20	34
3 timmar	13	13	17	29
12 timmar	12	14	18	29

4.3 Vattentillgång

Vattentillgång och vattenflöden beror av nederbörd, snösmältning och avdunstning. I vissa fall är det den ökade nederbörden som påverkar vattentillgången mest, medan det i andra fall är den ökade avdunstningen eller den förändrade snösmältningen. Framtidens vattentillgång kommer därför att förändras på olika sätt i olika delar av landet. Förändringen kan också skilja sig för de olika parametrarna; vattentillgång, extrema flöden och lågflöden.

Vid perioder med kraftigt regn eller stor snösmältning kan vattendrag och sjöar översvämmas. I städer orsakas översvämningar vanligtvis av kraftig nederbörd under en kort tid, vilket behandlas i avsnitt 4.2.

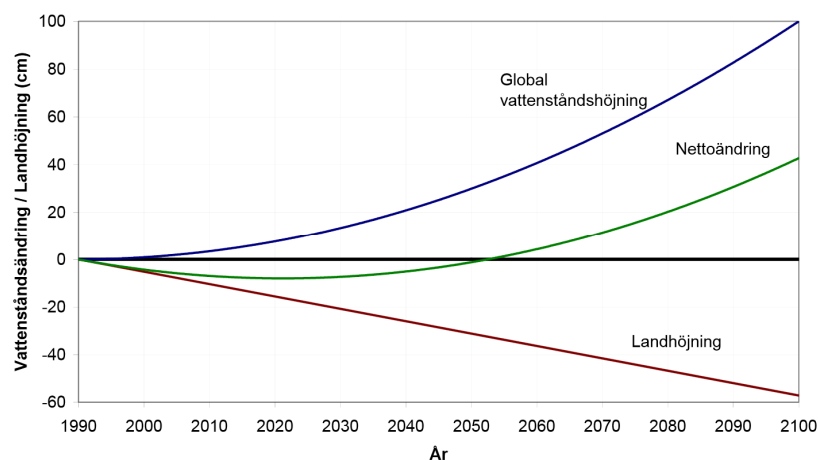
I detta kapitel används de olika begreppen vattenstånd, tappning, tillrinning, 100-årstillrinning, vattenflöde och 100-årsflöde. De används alla för att beskriva hur mycket eller lite vatten det förväntas finnas i framtiden. Att olika termer används beror på att olika parametrar används för sjöar, vattendrag och vattenkraftmagasin.

Vattenstånd	Används här för att beskriva vattennivån i Mälaren.
Tappning	Används här för att beskriva hur mycket vatten som tappas från Vänern till Göta älv.
Tillrinning	Används här för att beskriva hur mycket vatten som rinner till sjöarna Bolmen och Vombsjön.
100-årstillrinning	Används här för att beskriva extrem tillrinning till Bolmen och Vombsjön. Det är den tillrinningen som i genomsnitt inträffar eller överträffas en gång under en 100-årsperiod.
Vattenflöde	Används här för att beskriva hur mycket vatten som rinner i Gavleån.
100-årsflöde	Används här för att beskriva extremt flöde i Gavleån. Det är det flödet som i genomsnitt inträffar eller överträffas en gång under en 100-årsperiod

4.3.1 Mälaren

Det finns idag en stor risk för översvämningar i Mälaren, men med en ombyggnad av Slussen och en ny vattendom för Mälaren minskar översvämningens risk betydligt.

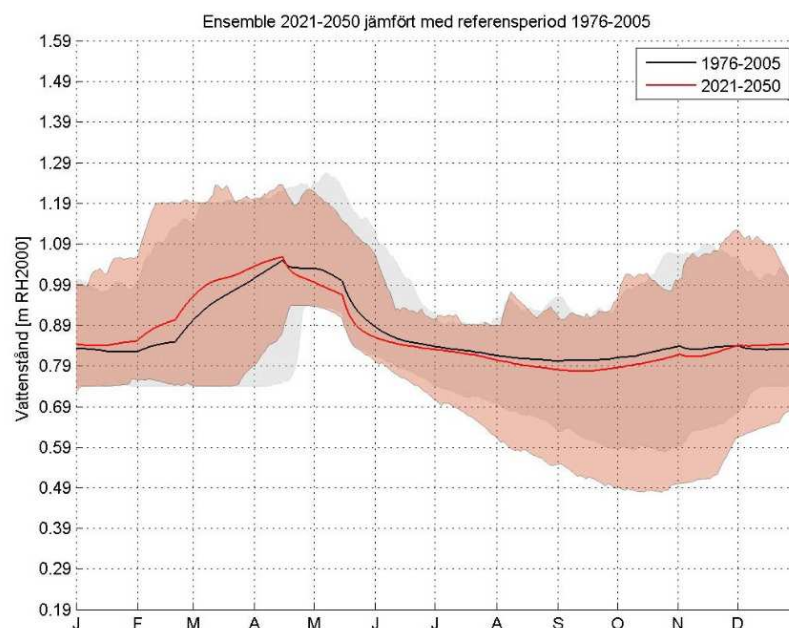
FN:s klimatpanels (IPCC:s) senaste utvärdering av kunskapsläget (AR5) från september 2013 (IPCC, 2013) visar att havet kan komma att stiga med upp emot en meter under detta sekel. Utvecklingen beror på framtidens utsläpp av växthusgaser. Vid beräkningarna av regionala effekter för Sverige ska den framtida havsnivån justeras för den landhöjning som råder på platsen. Hur den höjda havsnivån och landhöjningen samverkar i Stockholm visas i figur 4.3. Utgångspunkten i figuren är att havsnivån höjs med en meter från 1990 till 2100. Under dessa antaganden kommer havsnivåhöjningen inte att få någon större betydelse för Stockholm och Mälaren under seklets första hälft, men efter 2050 bör havsnivåhöjningen tas med i beräkningarna. Att vattnet i havet höjs kan leda till att salt vatten tränger in i Mälaren, vilket orsakar problem för dricksvattenförsörjningen (Länsstyrelserna i Stockholm m.fl., 2011).



Figur 4.3 Den globala vattenståndshöjningen, landhöjningen och nettohöjning av Saltsjöns nivå. En landhöjning med 5.2 mm/år har antagits och en höjning av det globala medelvattenståndet med 30 cm år 2050 och 100 cm år 2100. Under dessa antaganden är nettoeffekten ± 0 år 2050 och drygt +40 cm år 2100. Källa: Andréasson m.fl., 2011.

Andréasson m fl. (2011) har räknat med två olika alternativ, en global höjning på 0,8 m och en global höjning på 1 m till slutet av seklet. Detta motsvarar en lokal höjning på ca 0,3 m respektive 0,5 m. I beräkningarna ingår även en förändrad tillrinning i framtida klimat och den nya tappningsstrategin.

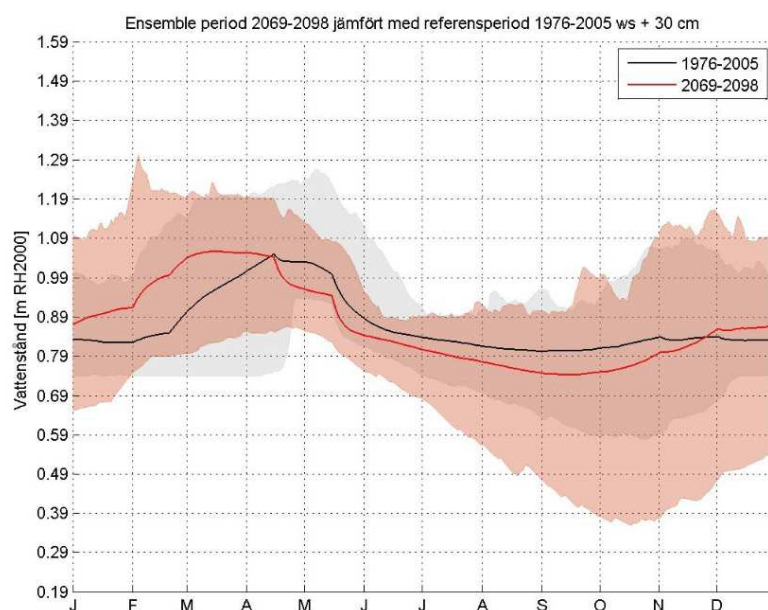
Fram till mitten av seklet beräknas den nya regleringen klara av att hålla nivåerna i Mälaren under målnivån 1.39 m (figur 4.4). Däremot väntas klimatförändringarna leda till en ökad risk för låga nivåer i Mälaren.



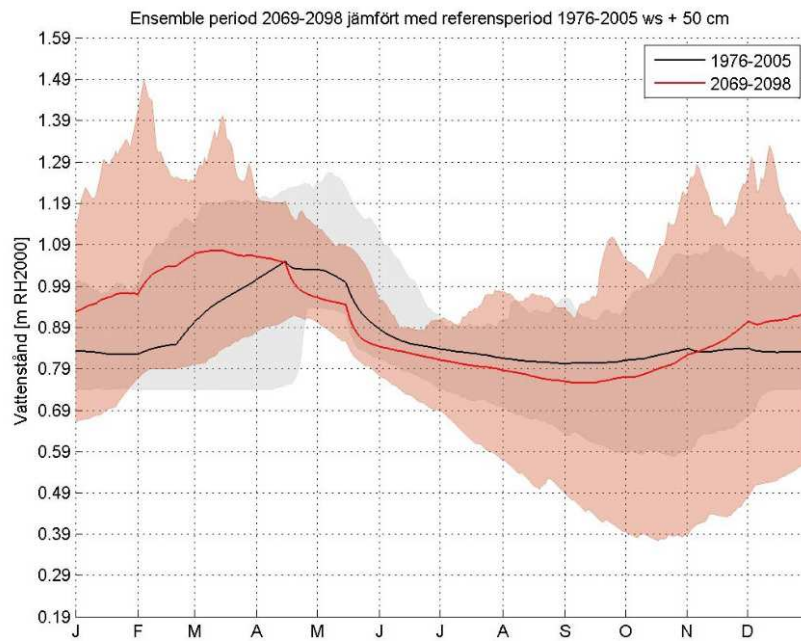
Figur 4.4 Beräknat vattenstånd från en ensemble om 12 klimatscenarier för perioden 1976-2005 (svart linje) och för den framtida perioden 2021-2050 (röd linje). Förutom medelvärde visas 25:e percentilen av varje dags minsta vattenstånd respektive 75:e percentilen av varje dags största vattenstånd för de 12 klimatscenarierna (grått respektive rosa fält). Källa: Andréasson m.fl., 2011.

Om havsnivån stiger med 30 cm (80 cm globalt) till slutet på seklet väntas den nya regleringsstrategin klara av att hålla Mälarens vattennivå under målnivån 1.39 (figur 4.5). Om havsnivån däremot stiger 50 cm (ca 1 meter globalt) klarar den nya regleringsstrategin inte av att hålla Mälarens nivå under målnivån 1.39 m (figur 4.6).

De låga nivåerna i Mälaren beräknas bli ännu vanligare i slutet av seklet. Den föreslagna regleringsstrategin kan då behöva ses över för att bättre klara av såväl höga som låga nivåer i Mälaren.



Figur 4.5 Beräknat vattenstånd från en ensemble om 12 klimatscenarier för perioden 1976-2005 (svart linje) och för den framtida perioden 2069-2098 (röd linje). För den senare perioden har havsnivån höjts med 30 cm. Förutom medelvärde visas 25:e percentilen av varje dags minsta vattenstånd respektive 75:e percentilen av varje dags största vattenstånd för de 12 klimatscenarierna (grått respektive rosa fält). Källa: Andréasson m.fl., 2011.

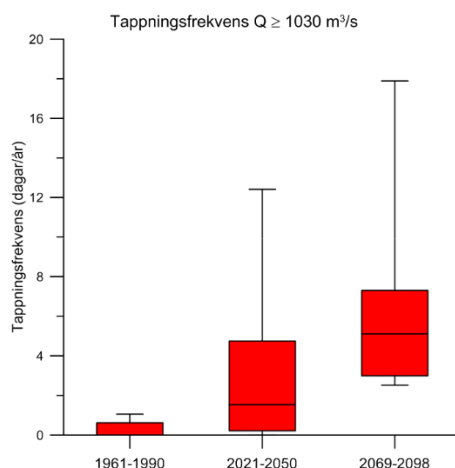


Figur 4.6 Beräknat vattenstånd från en ensemble om 12 klimatscenarier för perioden 1976-2005 (svart linje) och för den framtida perioden 2069-2098 (röd linje). För den senare perioden har havsnivån höjts med 50 cm. Förutom medelvärde visas 25:e percentilen av varje dags minsta vattenstånd respektive 75:e percentilen av varje dags största vattenstånd för de 12 klimatscenarierna (grått respektive rosa fält). Källa: Andréasson m.fl., 2011.

4.3.2 Göta älv

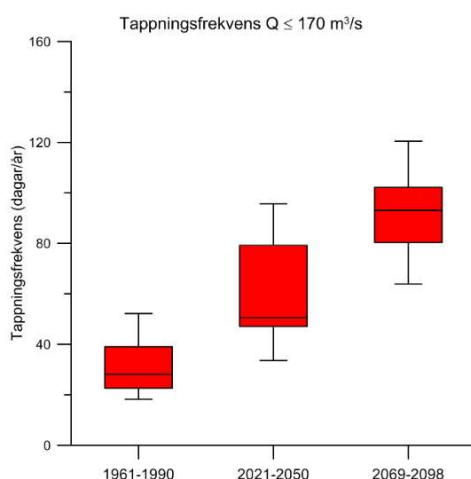
I dagens klimat finns en betydande risk för både höga och låga nivåer i Vänern. Det finns inget enkelt sätt att komma till rätta med det.

I framtida klimat beräknas tillrinningen till Vänern att öka, vilket medför att Vänerns nivå oftare blir högre vilket i sin tur leder till att det blir vanligare med hög tappning från Vänern och ett högre vattenflöde i Göta älv (figur 4.7).



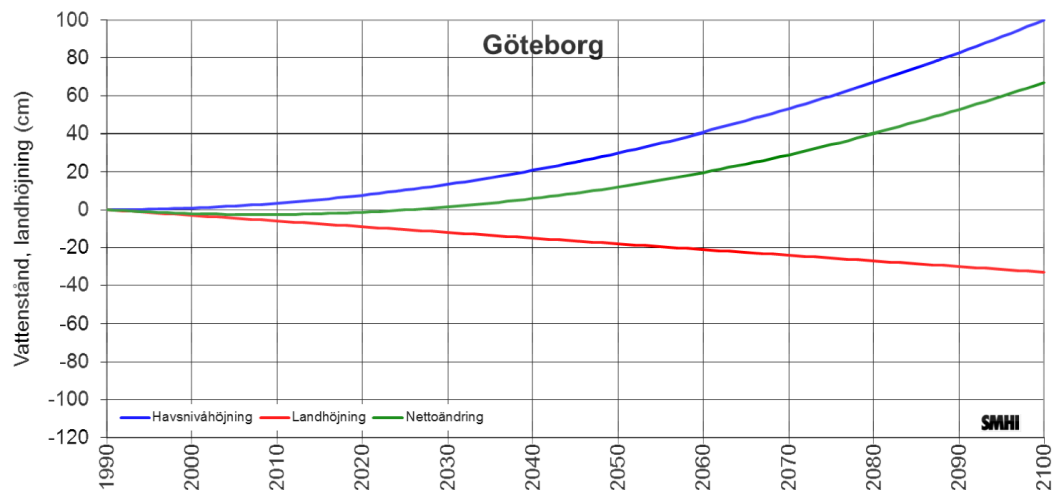
Figur 4.7 Box and whiskers-diagram över beräknat antal dagar med tappning lika med $1030 \text{ m}^3/\text{s}$ från Vänern enligt dagens vattendom och den tappningsstrategi som tillämpas sedan hösten 2008. Inom de färgade rektanglarna ligger 50 % av beräkningarna. Staplarna representerar max- och minvärden. Strecket i mitten avser medianvärdet. 14 regionala klimatscenarier har använts fram till 2050 och 11 stycken för perioden därefter. Källa: Bergström m.fl. 2010.

Samtidigt som vattennivån i Vänern oftare väntas bli hög i framtida klimat så väntas även antalet dagar med låg vattennivå bli fler. Det beror på att avdunstningen ökar när temperaturen stiger. De låga nivåerna leder till fler dagar med låg tappning från Vänern och lågt vattenflöde i Göta älv (figur 4.8).



Figur 4.8 Box and whiskers-diagram över beräknat antal dagar med tappning lika med $170 \text{ m}^3/\text{s}$ från Vänern enligt dagens vattendom och den tappningsstrategi som tillämpas sedan hösten 2008. Inom de färgade rektanglarna ligger 50 % av beräkningarna. Staplarna representerar max- och minvärden. Strecket i mitten avser medianvärdet. 14 regionala klimatscenarier har använts fram till 2050 och 11 stycken för perioden därefter. Källa: Bergström m.fl. 2010.

I Göteborg kan en höjd havsnivå påverka dricksvattnet, eftersom saltvatten kan tränga in till vattenintaget. FN:s klimatpanels (IPCC:s) senaste utvärdering av kunskapsläget (AR5) från september 2013 (IPCC, 2013) visar att havet kan komma att stiga med upp emot en meter under detta sekel. Det medför efter att landhöjningen har dragits bort, en havsnivåhöjning på nästan 70 cm i Göteborg år 2100. Höjningen av havsnivå kan leda till att salt vatten tränger in till vattenintaget (Göteborgsregionens kommunalförbund, 2014).

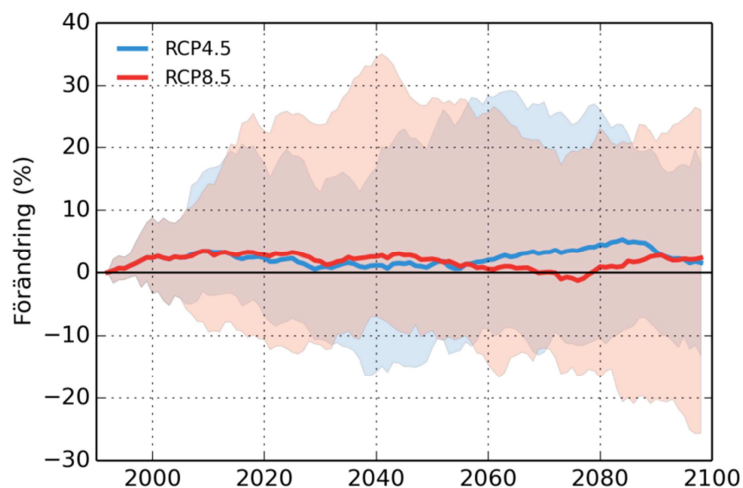


Figur 4.9 Relativ förändring av medelvattenståndet från 1990 till 2100 för Göteborg. Utveckling av medelvattenytan (blå) förutsätter en global havsnivåhöjning med 30 cm fram till 2050 och 100 cm fram till 2100. Den absoluta landhöjningen (röd) har dragits bort och nettoändringen blir nästan 70 cm för Göteborg. Källa: Persson m.fl., 2011.

4.3.3 Bolmen

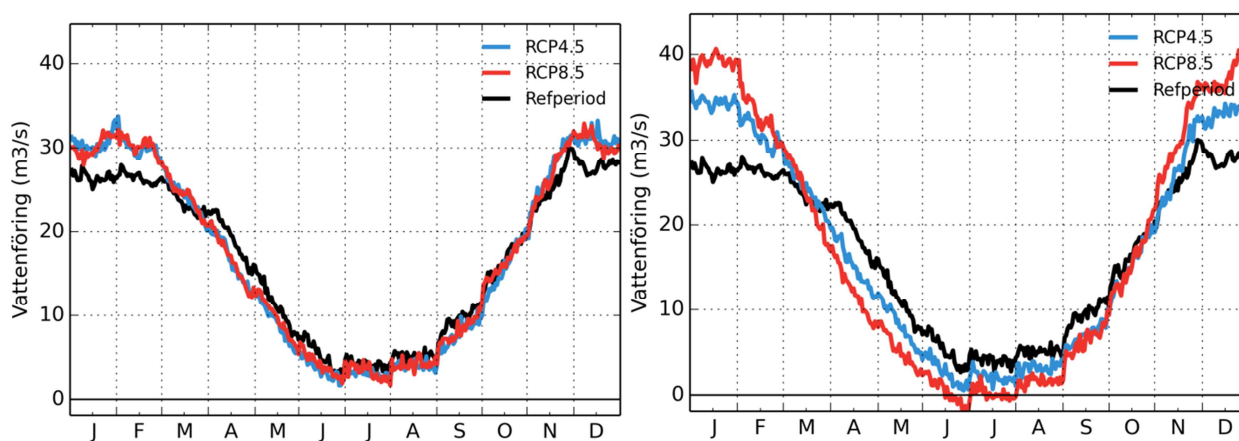
Medeltillrinning

Bolmen beräknas få en svag ökning av medeltillrinning i framtiden, men förändringen är inte särskilt tydlig (figur 4.10). Skillnaderna mellan beräkningarna enligt RCP4.5 respektive RCP8.5-scenarierna är i medeltal små, men spridningen är stor mellan enskilda klimatberäkningar.



Figur 4.10 Förändring i medeltillrinning till Bolmen fram till 2100. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Linjerna visar medelförändringen för samtliga modeller för RCP4.5 (blå linje) och RCP8.5 (röd linje). De ljusblå och rosa fälten visar spridningen mellan den största och minsta förändringen.

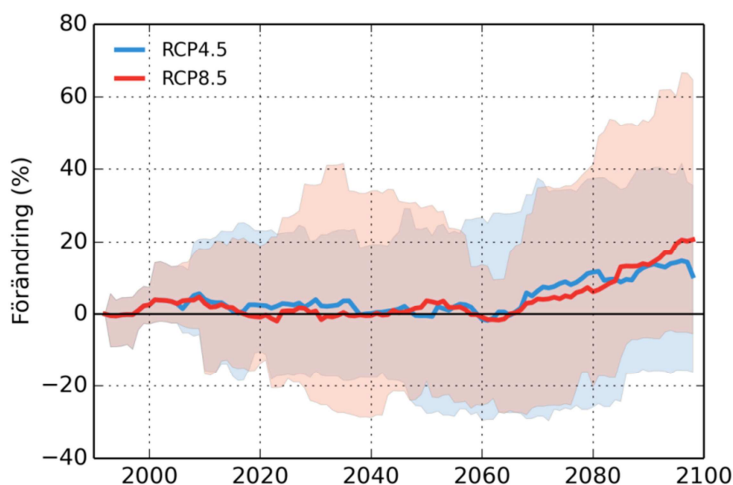
Figur 4.11 visar en tydlig beräknad framtida förändring i årsdynamiken, med ökad tillrinning under vintern och minskad under vår och sommar. Perioden med låg tillrinning väntas bli längre. Vattennivån för Bolmen har inte beräknats, men ett rimligt antagande är att även den beräknas ökar vintertid och minskar sommartid.



Figur 4.11 Till vänster visas tillrinningens årsdynamik för Bolmen för perioden 2021-2050 för RCP4.5 (blå) och för RCP8.5 (röd). Till höger visas tillrinningens årsdynamik för Bolmen för perioden 2069-2098 för RCP4.5 (blå) och för RCP8.5 (röd). Som jämförelse visas tillrinningens årsdynamik för perioden 1961-1990 (svart). Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5.

Hög tillrinning

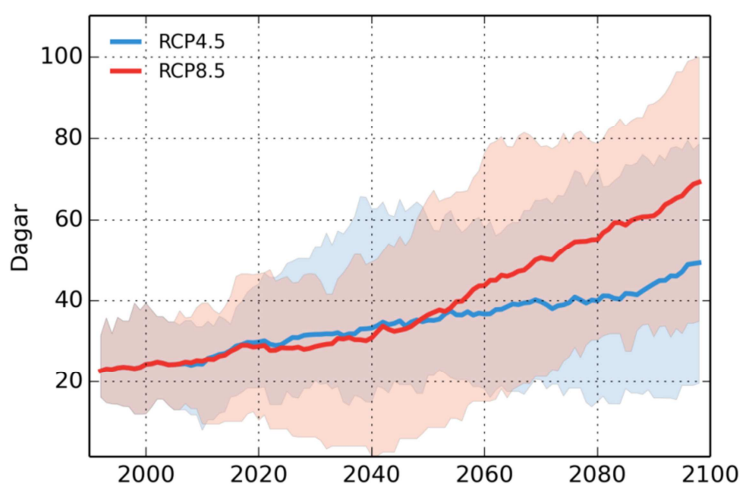
Förändringen i 100-årstillrinningen till Bolmen beräknas bli liten fram till mitten av seklet och därefter väntas den öka (figur 4.12). Skillnaderna mellan beräkningarna enligt RCP4.5 respektive RCP8.5-scenarierna är i medeltal små, men spridningen är stor mellan enskilda klimatberäkningar.



Figur 4.12 Förändring i 100-årstillrinning till Bolmen fram till 2100. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Linjerna visar medelvärdet för samtliga modeller för RCP4.5 (blå linje) respektive RCP8.5 (röd linje). De ljusblå och rosa fälten visar spridningen mellan den största och minsta förändringen.

Låg tillrinning

Figur 4.13 visar antalet dagar med låg tillrinning till Bolmen. Det är den lokala tillrinningen som visas, dvs. tillrinningen från ett mindre område runt sjön. Tillrinningen från hela området uppströms beräknas följa samma mönster som den lokala tillrinningen. Antalet dagar med låg tillrinning till Bolmen väntas öka från idag ca 25 dagar till mellan 50 och 70 dagar år 2100 (figur 4.13). Anledningen att det väntas bli vanligare med låg tillrinning i framtiden är att avdunstningen ökar i ett framtida varmare klimat. Beräkningarna baserade på RCP8.5-scenariet skiljer sig avsevärt från beräkningarna enligt RCP4.5 vid slutet av seklet. Spridningen är stor mellan enskilda klimatberäkningar.

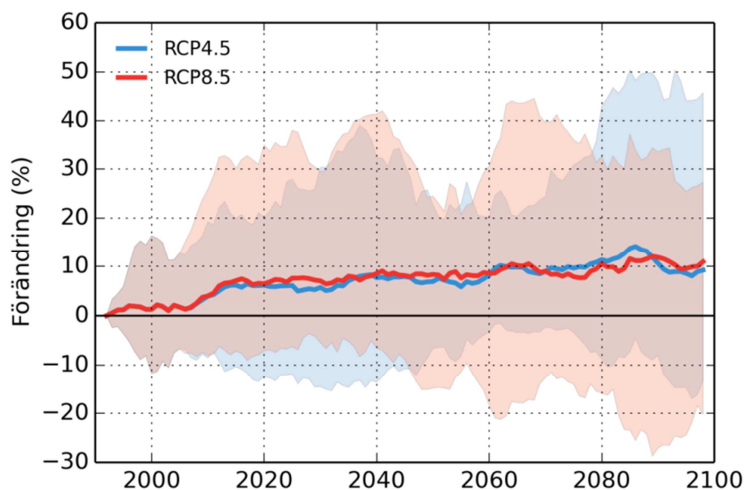


Figur 4.13 Antal dagar med låg lokal tillrinning till Bolmen fram till 2100. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Linjerna visar medelvärdet för samtliga modeller för RCP4.5 (blå linje) respektive RCP8.5 (röd linje). De ljusblå och rosa fälten visar spridningen mellan största och minsta värdet. Med låg tillrinning avses en tillrinning som är lägre än medelvärdet av varje års lägsta tillrinning 1961-1990.

4.3.4 Vombsjön

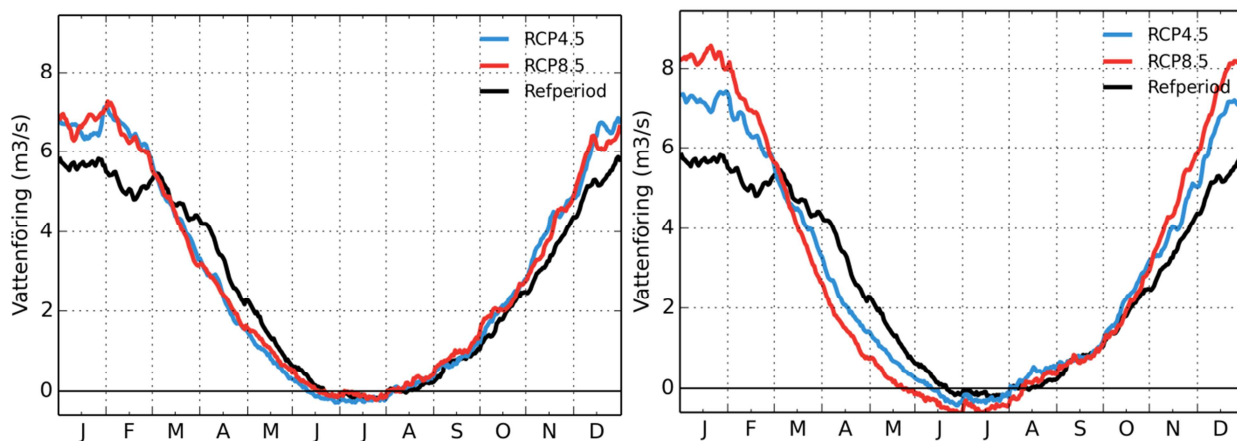
Medeltillrinning

Medeltillrinningen till Vombsjön sett över hela året vänta öka i framtiden (figur 4.14). Ökningen är ungefär 10 % i slutet på seklet och ungefär lika stor för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Spridningen är stor mellan enskilda klimatberäkningar.



Figur 4.14 Förändring i medeltillrinning till Vombsjön fram till 2100. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Linjerna visar medelförändringen för samtliga modeller för RCP4.5 (blå linje) och RCP8.5 (röd linje). De ljusblå och rosa fälten visar spridningen mellan den största och minsta förändringen.

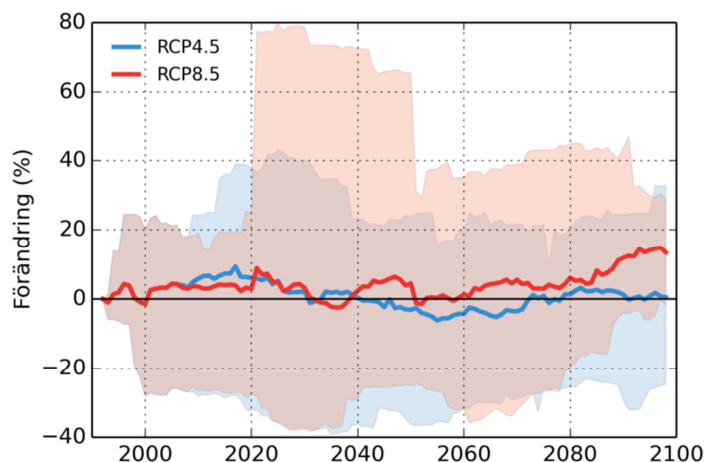
Årsdynamiken i tillrinningen till Vombsjön visas i figur 4.15. Här syns tydligt att tillrinningen beräknas öka under senhösten och vintern samt minska under vår och sommar. Perioden med låga tillrinningar väntas bli mycket längre. Förändringarna är större för beräkningar baserade på RCP8.5 än på RCP4.5-scenariet. Vattennivån för Vombsjön har inte beräknats, men troligtvis väntas även den öka vintertid och minska sommartid.



Figur 4.15 Till vänster visas tillrinningens årsdynamik för Vombsjön för perioden 2021-2050 för RCP4.5 (blå) och för RCP8.5 (röd). Till höger visas tillrinningens årsdynamik för Vombsjön för perioden 2069-2098 för RCP4.5 (blå) och för RCP8.5 (röd). Som jämförelse visas tillrinningens årsdynamik för perioden 1961-1990 (svart). Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5.

Hög tillrinning

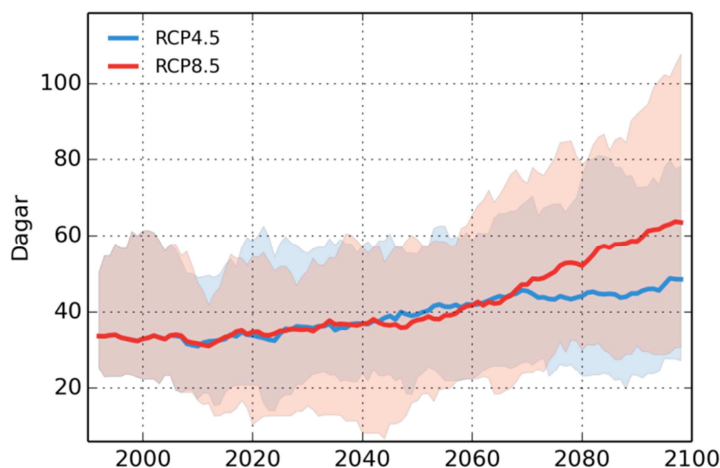
Förändringen av 100-årstillrinningen till Vombsjön är liten (figur 4.16). För det högsta utsläppsscenariot, RCP8.5, märks en ökning i slutet av århundradet. Skillnaderna mellan beräkningarna enligt RCP4.5 respektive RCP8.5-scenarierna är i medeltal relativt små, men spridningen är stor mellan enskilda klimatberäkningar.



Figur 4.16 Förändring i 100-årstillrinning till Vombsjön fram till 2100. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Linjerna visar medelvärde för samtliga modeller för RCP4.5 (blå linje) respektive RCP8.5 (röd linje). De ljusblå och rosa fälten visar spridningen mellan den största och minsta förändringen.

Låg tillrinning

I figur 4.17 visas den lokala tillrinningen till Vombsjön, dvs. tillrinningen från ett mindre område runt sjön. Den totala tillrinningen från hela området uppströms Vombsjön beräknas dock följa samma mönster som den lokala tillrinningen. I framtidens varmare klimat väntas avdunstningen öka, främst under sommaren. Det leder till att tillrinningen till Vombsjön oftare än i dag blir låg (Figur 4.17). Antal dagar med låg tillrinning väntas öka från dagens 30-35 dagar till ca 45 dagar år 2100 enligt RCP4.5 och drygt 60 dagar enligt RCP8.5. Spridningen är stor mellan enskilda klimatberäkningar

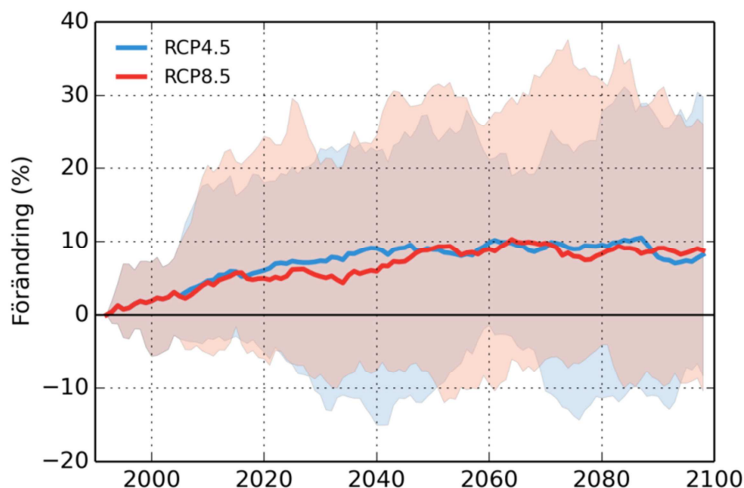


Figur 4.17 Antal dagar med låg lokal tillrinning till Vombsjön fram till 2100. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Linjerna visar medelvärde för samtliga modeller för RCP4.5 (blå linje) respektive RCP8.5 (röd linje). De ljusblå och rosa fälten visar spridningen mellan största och minsta värdet. Med låg tillrinning avses en tillrinning som är lägre än medelvärde av varje års lägsta tillrinning 1961-1990.

4.3.5 Gavleån

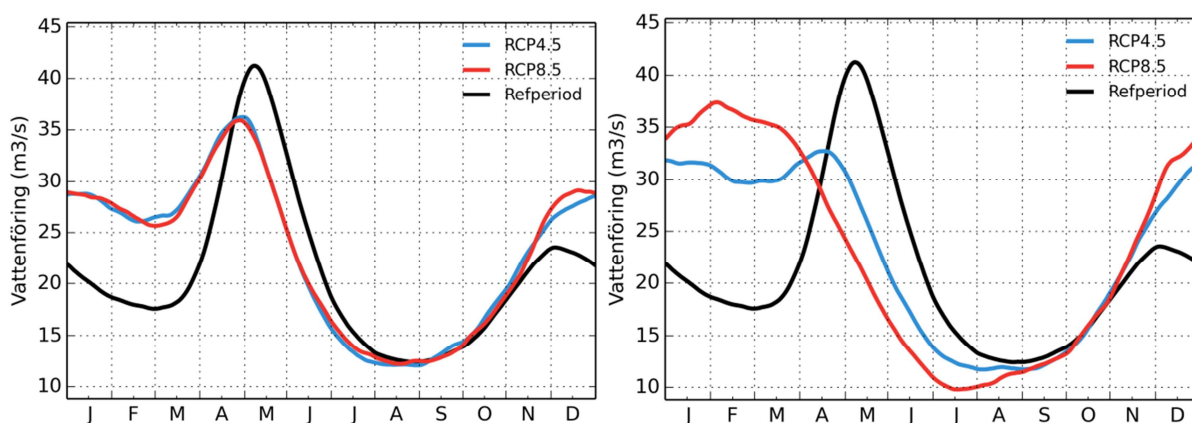
Medelflöden

Medelflödet i Gavleån beräknas öka i framtiden (figur 4.18). Ökningen till slutet av seklet är knappt 10 % för båda scenarierna. Skillnaderna mellan beräkningarna enligt RCP4.5 respektive RCP8.5-scenarierna är i medeltal små, men spridningen är stor mellan enskilda klimatberäkningar.



Figur 4.18 Förändring i medelflöde i Gavleån vid Gävle fram till 2100. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Linjerna visar medelförändringen för samtliga modeller för RCP4.5 (blå linje) och RCP8.5 (röd linje). De ljusblå och rosa fälten visar spridningen mellan den största och minsta förändringen.

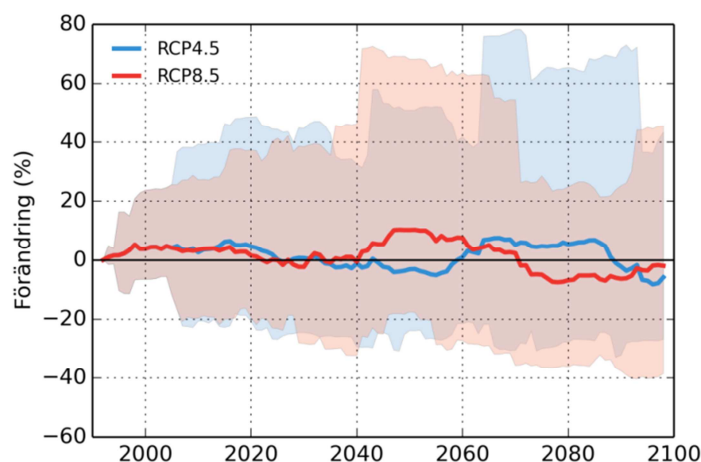
Vattenflödets årsdynamik i Gavleån beräknas förändras mycket i framtiden (Figur 4.19). För perioden 2021-2050 beräknas vårflo den minska och komma tidigare. Istället väntas flödet öka vintertid. Orsaken till detta är att vinternederbörden i allt större utsträckning faller som regn istället för snö i det varmare klimatet. En minskning av flödet märks också under sommaren. För perioden 2069-2098 blir förändringen tydligare. För RCP8.5 beräknas vårflo den försvinna helt och flödena blir störst under vintern. Även minskningen av flödena sommartid blir tydligare i det kraftigare scenariot RCP8.5.



Figur 4.19 Till vänster visas vattenflödets årsdynamik i Gavleån vid Gävle för perioden 2021-2050 för RCP4.5 (blå) och för RCP8.5 (röd). Till höger visas vattenflödets årsdynamik i Gavleån vid Gävle för perioden 2069-2098 för RCP4.5 (blå) och för RCP8.5 (röd). Som jämförelse visas tillrinningens årsdynamik för perioden 1961-1990 (svart). Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5.

Högflöden

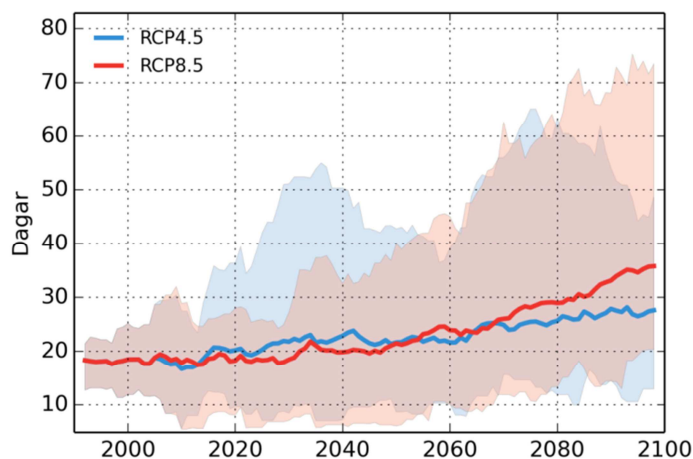
100-årflödet i Gavleån väntas inte förändras så mycket under detta sekel (figur 4.20). Skillnaderna mellan beräkningarna enligt RCP4.5 respektive RCP8.5-scenarierna är i medeltal relativt små, men spridningen är stor mellan enskilda klimatberäkningar



Figur 4.20 Förändring i 100-årsflödet i Gavleån vid Gävle fram till 2100. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Linjerna visar medelvärdet för samtliga modeller för RCP4.5 (blå linje) respektive RCP8.5 (röd linje). De ljusblå och rosa fälten visar spridningen mellan den största och minsta förändringen.

Lågflöden

Eftersom avdunstningen ökar i ett varmare klimat väntas det bli vanligare med låga flöden i framtiden (figur 4.21). Antal dagar med lågt flöde i Gavleån ökar från dagens knappt 20 till 25-35 år 2100. Detta är en mindre förändring än längre söderut i landet. Beräkningarna baserade på RCP8.5-scenariet skiljer sig från beräkningarna enligt RCP4.5 vid slutet av seklet. Spridningen är stor mellan enskilda klimatberäkningar.



Figur 4.21 Antal dagar med lågt flöde i Gavleån vid Gävle fram till 2100. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Linjerna visar medelvärdet för samtliga modeller för perioden 2069-2098 för RCP4.5 (blå linje) respektive RCP8.5 (röd linje). De ljusblå och rosa fälten visar spridningen mellan största och minsta värdet. Med lågt flöde avses ett flöde som är lägre än medelvärdet av varje års lägsta flöde 1961-1990.

5 Diskussion och slutsatser

Den framtida utvecklingen av vattentillgången skiljer sig mellan de studerade vattentäkterna. I många fall beror den också på hur sjöarna kommer att regleras i framtiden. En gemensam slutsats kan dras; det väntas i framtiden bli vanligare med de låga nivåerna, tillrinningarna och flödena i samtliga studerade vattentäkter. Förändringen är dock tydligare i de södra delarna av landet.

Beräkningarna för Göta älv och Bolmen tyder på att högflöden och hög tillrinning väntas bli vanligare i framtiden, medan de höga flödena i Gavleån och Vombsjön inte beräknas förändras så mycket. För Mälaren beror utvecklingen till största delen på hur sjön regleras och på hur mycket havsnivån stiger.

För Göta älv och Mälaren kan den stigande havsnivån också göra att problem med saltvatteninträngning ökar.

6 Tackord

Förutom rapportförfattarna har även Johan Andréasson och Lisette Edvinsson bidragit till arbetet med rapporten. Tack också till alla som arbetat i projektet ”Nedskalning av RCP-scenarier”.

7 Referenser

- Andréasson, J., Gustavsson, H. och Bergström, S. (2011). Projekt Slussen – Förslag till ny reglering av Mälaren. Rapport nr 2011-64, SMHI.
- Bergström, S., Andréasson, J., Asp, M., Caldarulo, L., German, J., Lindahl, S., Losjö, K. och Stensen, B. (2010). Fördjupad studie rörande översvåmningsriskerna för Vänern – slutrapport. Rapport nr 2010-85, SMHI.
- Eklund, A., Axén Mårtensson, J., Bergström, S., Björck, E., Dahné, J., Lindström, L., Nordberg, D., Olsson, J., Simonsson, L. och Sjökvist, E. (2015). Sveriges framtida klimat- Underlag till Dricksvattenutredningen. SMHI Klimatologi Nr 14.
- Göteborgsregionens kommunalförbund (2014). Vattenförsörjningsplan för Göteborgsregionen.
- 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.
- IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC 5th Assessment Report. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- 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.
- Länsstyrelserna i Stockholm, Södermanland, Västmanlands, Uppsala och Örebro län, (2011). Mälaren om 100 år – förstudie om dricksvattentäkten Mälaren i framtiden.
- Länsstyrelsen i Västra Götaland och Vattenfall (2008). En ändrad tappningsstrategi för Vänern – en överenskommelse mellan länsstyrelsen i Västra Götalands län och Vattenfall AB.
- Moss, R., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P. och Wilbanks, T.J. (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463, 747–756.
- Nakićenović, N. och Swart, R. (ed.) (2000). Special report on emission scenarios. A special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Persson G., Andréasson, J., Eklund, D., Hallberg, K., Nerheim, S., Sjökvist, E., Wern, L. och Åström, S. (2011). Klimatanalys för Västra Götalands län. SMHI Rapport Nr 2011-45.
- Persson, G., Strandberg, G. och Berg, P. (2015). Vägledning för användande av klimatscenarier. SMHI Klimatologi Nr 11, 2015.
- Persson G. (2015) Sveriges klimat 1860-2014. Underlag till Dricksvattenutredningen. SMHI Klimatologi nr 13.
- Sjökvist, E., Axén Mårtensson, J., Dahné, J., Köplin, N., Björck, E., Nylén, L., Berglöv, G., Tengdelius Brunell, J., Nordborg, D., Hallberg, K., Södling, J. och Berggreen Clausen, S. (2015). Klimatscenarier för Sverige-Bearbetning av RCP-scenarier för meteorologiska och hydrologiska effektstudier. Rapport Nr 2015-3
- Strandberg, G., Barring, L., Hansson, U., Jansson, C., Jones, C., Kjellström, E., Kolax, M., Kupiainen, M., Nikulin, G., Samuelsson, P., Ullerstig, A. och Wang, S. (2014). CORDEX scenarios for Europe from the Rossby Centre regional climate model RCA4. Reports Meteorology and Climatology, 116, SMHI.

Van Der Linden, P. och Mitchell, J.F.B. (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.

www.gastrikevatten.se

www.goteborg.se

www.norrvatten.se

www.sydvatten.se

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

SMHIs publiceringar

SMHI ger ut sju rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationell publik och skrivs därför oftast på engelska. I de övriga serierna används det svenska språket.

Seriernas namn	Publiceras sedan
RMK (Report Meteorology and Climatology)	1974
RH (Report Hydrology)	1990
RO (Report Oceanography)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985
KLIMATOLOGI	2009

I serien KLIMATOLOGI har tidigare utgivits:

1. Lotta Andersson, Julie Wilk, Phil Graham, Michele Warburton (University KwaZulu Natal) (2009)
Local Assessment of Vulnerability to Climate Change Impacts on Water Resources in the Upper Thukela River Basin, South Africa – Recommendations for Adaptation
2. Gunn Persson, Markku Rummukainen (2010)
Klimatförändringarnas effekter på svenskt miljömålsarbete
3. Jonas Olsson, Joel Dahné, Jonas German, Bo Westergren, Mathias von Scherling, Lena Kjellson, Fredrik Ohls, Alf Olsson (2010)
En studie av framtida flödesbelastning på Stockholms huvudavloppssystem
4. Markku Rummukainen, Daniel J. A. Johansson, Christian Azar, Joakim Langner, Ralf Döscher, Henrik Smith (2011)
Uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet. En översyn av natur-vetenskapliga aspekter
5. Sten Bergström (2012)
Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv – kunskapssammanställning 2012
6. Jonas Olsson och Kean Foster (2013)
Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige
7. FNs klimatpanel – Sammanfattning för beslutsfattare. Effekter, anpassning och sårbarhet. Bidrag från arbetsgrupp 2 (WG 2) till den femte utvärderingen (AR 5) från Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2014)
8. Att begränsa klimatförändringar. FNs klimatpanel – Sammanfattning för beslutsfattare. Bidrag från arbetsgrupp 3 (WG 3) till den femte utvärderingen (AR 5) från Intergovernmental Panel on Climate Change (2015)
9. Erik Kjellström SMHI. Reino Abrahamsson, Pelle Boberg. Eva Jernbäcker Naturvårdsverket. Marie Karlberg, Julien Morel
Energimyndigheten och Åsa Sjöström SMHI (2014)
Uppdatering av det klimatvetenskapliga kunskapsläget
10. Risker och konsekvenser för samhället av förändrat klimat – en kunskapsöversikt (2014)
11. Gunn Persson (2015)
Vägledning för användande av klimatscenarier
12. Lotta Andersson, Anna Bohman, Lisa van Well, Anna Jonsson, Gunn Persson och Johanna Farelus (2015)
Underlag till kontrollstation 2015 för anpassning till ett förändrat klimat

13. Gunn Persson (2015)
Sveriges klimat 1860-2014. Underlag till Dricksvattenutredningen.
14. Anna Eklund, Jenny Axén Mårtensson, Sten Bergström, Emil Björck, Joel Dahné, Lena Lindström, Daniel Nordborg, Jonas Olsson, Lennart Simonsson och Elin Sjökvist (2015)
Sveriges framtida klimat. Underlag till Dricksvattensutredningen.
15. Elin Sjökvist, Jenny Axén Mårtensson, Joel Dahné, Nina Köplin, Emil Björck, Linda Nylén, Gitte Berglöv, Johanna Tengdelius Brunell, Daniel Nordborg, Kristoffer Hallberg, Johan Södling, Steve Berggreen-Clausen (2015)
Klimatscenarier för Sverige - Bearbetning av RCP-scenarier för meteorologiska och hydrologiska effektstudier
16. Elin Sjökvist, Gunn Persson, Jenny Axén Mårtensson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson och Håkan Persson (2015)
Framtidsklimat i Dalarnas län – enligt RCP-scenarier.
17. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Värmlands län – enligt RCP-scenarier.
18. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Örebro län – enligt RCP-scenarier.
19. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Västmanlands län – enligt RCP-scenarier.
20. Elin Sjökvist, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson (2015)
Framtidsklimat i Uppsala län – enligt RCP-scenarier.
21. Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Stockholms län – enligt RCP-scenarier.
22. Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Södermanlands län – enligt RCP-scenarier.
23. Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Östergötlands län – enligt RCP-scenarier.
24. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Västra Götalands län – enligt RCP-scenarier.
25. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Jönköpings län – enligt RCP-scenarier.
26. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Kalmar län – enligt RCP-scenarier.

27. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Kronobergs län – Enligt RCP-scenarier.
28. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Hallands län – enligt RCP-scenarier.
29. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Skåne län – enligt RCP-scenarier.
30. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Blekinge län – enligt RCP-scenarier.
31. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Gotlands län – enligt RCP-scenarier.
32. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Norrbottens län – enligt RCP-scenarier.
33. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Västerbottens län – enligt RCP-scenarier.
34. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Jämtlands län – enligt RCP-scenarier.
35. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Västernorrlands län – enligt RCP-scenarier.
36. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Gävleborgs län – enligt RCP-scenarier.
37. Jonas Olsson, Weine Josefsson (red.) (2015) Skyfallsuppdraget - ett regeringsuppdrag till SMHI
38. Gunn Persson, Linda Nylén, Steve Berggreen-Clausen, Peter Berg, David Rayner och Elin Sjökvist (2015)
Från utsläppsscenarioer till lokal nederbörd och översvämningsrisker



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

ISSN 1654-2258