

## Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Vättern Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden

Anna Eklund, Linda Tofeldt, Johanna Tengdelius-Brunell, Anna Johnell, Jonas German, Elin Sjökvist, Maria Rasmusson, Elinor Andersson



Pärbild.  
Bilden föreställer Vättern vid fyren i Vadstena

ISSN: 1654-2258 © SMHI

KLIMATOLOGI Nr 42

## Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Vättern

Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden



## Sammanfattning

Beräkningar har gjorts för hur vattennivåer, tappningar, vattentemperatur och is beräknas förändras i Vättern fram till 2100 på grund av den globala uppvärmningen.

De tydligaste förändringarna i Vättern i ett framtida klimat väntas bli att:

- Det blir vanligare med låga nivåer.
- Det blir mindre vanligt med höga nivåer.
- De allra högsta nivåerna (så kallad beräknad högsta vattennivå) väntas bli oförändrade.
- Det blir högre vattentemperaturer.
- Det blir kortare period med is.

I ett varmare klimat beräknas avdunstningen öka, både från växtligheten i Vätterns tillrinningsområde och direkt från sjöns yta. Det gör att vattennivån i Vättern väntas ligga på en lägre nivå i framtiden. Enligt beräkningarna väntas medelvattennivån i Vättern minska med ca en till två decimeter till slutet av seklet, med ungefär lika stor minskning under alla årstider.

Antal dagar per år med nivåer under sänkingsgränsen 88,3 m väntas öka från dagens ca 1,5 månad till ca 3 månader i mitten av seklet och 4-6 månader i slutet av seklet. De allra högsta nivåerna, beräknad högsta vattennivå, beräknas vara oförändrade i framtiden.

Vattentemperaturen i Vätterns ytvatten väntas öka med ca en grad till mitten av seklet och ca 1,5 till 3 grader till slutet av seklet. Bottenvattnets temperatur väntas inte förändras till mitten av seklet men öka med upp till en grad i slutet av seklet.

Antal dagar per år med ytvattentemperaturer över 20 grader beräknas öka från dagens cirka en vecka per år till cirka två veckor i mitten av seklet och upp till 6 veckor i slutet av seklet. Antalet år då Vättern är islagd beräknas minska kraftigt till slutet av seklet.

## Abstract

Calculations have been made for how the water level, water release, water temperature and ice extent are expected to change in Lake Vättern up to the year 2100 due to global warming.

The most noticeable effects of the future climate on Lake Vättern are expected to be:

- More frequent low water levels
- Less frequent high water levels
- No change in the highest water levels (the calculated maximum water level)
- An increase in water temperature
- A shorter ice cover period.

With a warmer climate the evaporation is expected to increase, both from vegetation in the lake's catchment area as well as directly from the surface of the lake. This means that the water level in Lake Vättern is expected to be lower in the future. Calculations show that the average water level in Lake Vättern is expected to drop by one to two decimetres by the end of the century, with about the same reduction for all seasons.

The number of days per year where the water level is below 88.3 m is expected to increase from the present value of around 1.5 months to about 3 months by the middle of the century and 4-6 months by the end of the century. The highest levels, the calculated maximum water level, are expected to remain unchanged in the future.

The surface water temperature is expected to increase by about one degree by the middle of the century and by 1.5 to 3 degrees by the end of the century. The bottom water temperature is not expected to change by the middle of the century but could increase by up to one degree by the end of the century.

The number of days per year where the surface water temperature exceeds 20 degrees is expected to increase from the present value of around one week to two weeks by the middle of the century and up to 6 weeks by the end of the century. The number of years where Lake Vättern is frozen over is expected to decrease significantly by the end of the century.

## Ordlista

<b>100-årsnivå och 200-årsnivå</b>	En nivå som inträffar eller överträffas i genomsnitt en gång under en period av 100 respektive 200 år.
<b>Avrinningsområde</b>	Det landområde från vilket nederbörden förr eller senare kommer ut som vatten i vattendraget vid en angiven plats.
<b>Beräknad högsta nivå</b>	En beräknad högsta vattennivå är en mycket extrem vattennivå. Bestämning av den beräknade högsta vattennivån bygger på hydrologiska modellsimuleringar som beskriver följderna av att extremt stora nederbörds mängder faller under särskilt ogynnsamma förhållanden.
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change. Även benämnd FN:s klimatpanel.
<b>Klimatscenario</b>	En beskrivning av en tänkbar klimatutveckling i framtiden med hjälp av antaganden om framtida utsläpp av växthusgaser, en global och en regional klimatmodell.
<b>Medelhög nivå</b>	Medel av varje års högsta vattennivå
<b>Medellåg nivå</b>	Medel av varje års lägsta vattennivå
<b>Naturlig nivå</b>	Vattennivån vid oreglerade förhållanden
<b>Osäkerhet</b>	Det finns olika källor till osäkerheter i frågan om framtidens klimat. Den största osäkerheten ligger i hur mycket växthusgaser människan kommer släppa ut i framtiden. Det finns även osäkerheter i klimatmodellerna, t.ex. beroende på begränsad upplösning i både tid och rum.
<b>RCP</b>	RCP:er är möjliga utvecklingsvägar för strålningsbalansen med det gemensamma namnet "representativa koncentrationsutvecklingsbanor" från engelskans "Representative Concentration Pathways (RCP)". RCP:erna är namngivna efter den nivå av strålningsdrivning i $W/m^2$ som uppnås år 2100. RCP-scenarier låg till grund för IPCC:s rapport 2013.
<b>Referensperiod</b>	SMHI använder referensperioden 1961-1990 för att definiera dagens klimat. Nya observationer jämförs med medelvärdet för 1961-1990 för att säga hur de avviker från det normala. Meteorologiska världsorganisationen, WMO, definierar referensperioderna och nästa period blir 1991-2020.
<b>Reglering</b>	Mänsklig påverkan på vattenståndet i en sjö
<b>Skiktning</b>	Då vattenmassor med olika fysikaliska och kemiska egenskaper delas upp i ett ytskikt och ett bottenkikt. I denna rapport avses skiktning pga. temperatur.
<b>Starttillstånd</b>	Ett utgångsläge som används i modellberäkningar
<b>Tappning</b>	Den mängd vatten som tappas från en reglerad sjö.
<b>Tillrinning</b>	Det vatten som rinner till en sjö.
<b>Återkomsttid</b>	Ett mått på hur ofta förekomsten av extrema naturliga händelser kan förväntas. Med en händelses återkomsttid menas att händelsen i genomsnitt inträffar eller överträffas en gång under denna tid. Ett värde som har en återkomsttid på 100 år uppnås eller överträffas i genomsnitt en gång på 100 år. Det innebär att sannolikheten är en (1) procent varje enskilt år. Eftersom man exponerar sig för risken under flera år blir den ackumulerade risken avsevärt större. För en konstruktion vars livslängd beräknas till 100 år blir den ackumulerade risken hela 63 % att 100-årsvärdet överskrids någon gång under 100 år. Om säkerhetsnivån väljs till 100-årsvärdet är risken att det värdet överskrids större än att det underskrids. Det är alltså troligare att konstruktionen, under sin livslängd, kommer att utsättas för förhållanden utöver den nivå som valts än att den nivån aldrig inträffar. För 10-årsvärdet är sannolikheten 65 % att det överskrids någon gång under 10 år.





## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>BAKGRUND OCH SYFTE .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Tidigare beräkningar .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>VÄTTERN.....</b>	<b>1</b>
<b>2.1</b>	<b>Historiska vattennivåer .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2</b>	<b>Låga nivåer 2016-2017 .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>METODIK.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1</b>	<b>Beräkningar för dagens klimat.....</b>	<b>4</b>
3.1.1	Beräkning av inflöde, vattennivåer och tappningar för Vättern.....	4
3.1.2	Beräkning av vattentemperatur, isläggning och islossning .....	6
<b>3.2</b>	<b>Framtida klimat .....</b>	<b>7</b>
3.2.1	Vattennivåer i framtida klimat .....	8
3.2.2	Vattentemperaturer i framtida klimat .....	9
<b>4</b>	<b>RESULTAT .....</b>	<b>10</b>
<b>4.1</b>	<b>Tillrinning, vattennivåer och tappning .....</b>	<b>10</b>
4.1.1	Tillrinningens årsdynamik .....	10
4.1.2	Förändrad total medeltillrinning för år och säsonger .....	11
4.1.3	Vattennivåer i dagens och framtida klimat.....	12
4.1.4	Varaktigheter vattenstånd.....	15
4.1.5	Varaktigheter tappning.....	17
<b>4.2</b>	<b>Vattentemperatur och is .....</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>DISKUSSION OCH SLUTSATSER .....</b>	<b>24</b>
<b>5.1</b>	<b>Vattennivåer .....</b>	<b>24</b>
<b>5.2</b>	<b>Vattentemperaturer och is .....</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>TACKORD.....</b>	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>REFERENSER .....</b>	<b>25</b>



# 1 Bakgrund och syfte

Sveriges stora sjöar används idag av många intressenter och för många verksamheter. Många människor bor längs med sjöarnas stränder, sjöarna fungerar som transportleder, dricksvattentäkter och som en del av vattenkraftproduktionen. De är också viktiga miljöer för växt- och djurliv. Ett förändrat klimat, med förändrade vattennivåer och vattentemperaturer påverkar sjöarnas framtida användning.

Den här rapporten syftar till att ge bättre förståelse för hur klimatförändringar påverkar Vättern, samt att ta fram underlag som kan användas av beslutsfattare, exempelvis som underlag för samhällsplaneringen. Rapporten presenterar beräkningar av framtida vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och isförhållanden i Vättern.

I denna rapport beskrivs klimatförändringarna, men inte konsekvenserna av dem. Det kommer att beskrivas mer utförligt i den kunskapsammansättning som ska tas fram under hösten 2017. I den rapporten kommer problematik relaterat till dagens och i framtida klimat kring Vänern, Vättern, Mälaren och Hjälmaren att beskrivas.

Alla värden på vattennivåer i denna rapport anges i meter över havet i höjdsystemet RH00 Motala.

## 1.1 Tidigare beräkningar

En rad studier har tidigare gjort för Vätterns vattennivåer. Sanner och Losjö (2000) och German och Stensen (2010) har på uppdrag av Kammarkollegiet och Jönköpings kommun tagit fram ett förslag över hur de höga nivåerna kan minskas med en alternativ reglering. German och Stensen (2010) har beräknat förändrade vattennivåer i framtida klimat. German m.fl. (2013) redovisar högvattenstånd i dagens och framtida klimat och Hallberg m.fl. (2010) har gjort beräkningar för vattennivåer i Jönköping.

I denna rapport visas resultat från nya beräkningar av vattennivåer i dagens och framtida klimat. Det som är nytt från föregående rapporter är att vi nu har en ny generation klimatscenarier (IPCC, 2013). Någon ny beräkning av vindens påverkan på vattennivån har inte gjorts i denna rapport, eftersom en sådan beräkning redan finns i Hallberg m.fl. (2010).

I denna rapport visas också resultat från beräkningar av vattentemperatur och isförhållanden i Vättern i framtida klimat. Den typen av beräkningar har inte gjorts förut.

## 2 Vättern

Vättern är Sveriges näst största sjö och Europas sjätte största. Karaktäristiskt för sjön är att den är stor och djup, men har ett förhållandevis litet avrinningsområde. Sjön är känd för sin fina vattenkvalitet med naturligt låg partikel- och näringsämneshalt. Sjön har ett kallt vatten och det förekommer arter som har krav på kallt vatten för att överleva.

Jönköping är ett av de 18 utpekade områdena med betydande översvämningrisk som identifierats av MSB inom deras arbete med översvämningdirektivet (MSB, 2011). Sjön är också viktig för fiske, turism och friluftsliv.

De största tillflödena kommer från Huskvarnaån samt det vattendrag som mynnar i Vättern vid Karlsborg. I Vätterns avrinningsområde finns en del mindre vattenkraftverk, men regleringarna är inte så stora att de påverkar Vätterns vattennivå. Vättern är reglerad och vattnet tappas vid Motala och rinner vidare genom Motala Ström genom sjöarna Boren, Roxen och Glan för att slutligen mynna i Bråviken i Östersjön.

## 2.1 Historiska vattennivåer

Vätterns vattenstånd har uppmätts varje dag sedan 1858 i Motala. Historiskt har vattennivån i Vättern varierat mellan ca 88 och 89 m (Figur 1). Tillrinningsområdet är litet och sjön är stor, vilket gör att vattennivån ändras mycket långsamt. Både höga nivåer och låga nivåer varar därför under en längre tid. De högsta nivåerna förekom 1876 (Tabell 1) och de lägsta 1976 (Tabell 2).

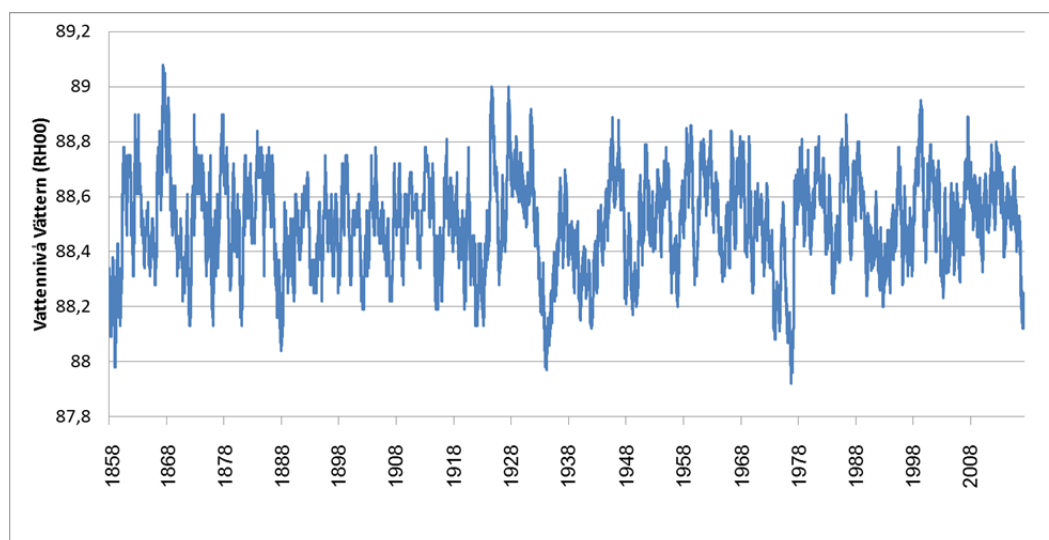
Efter det torra året 1976 fanns under vintern 1976/1977 mycket snö i Vätterns avrinningsområde, vilket ledde till en rejäl tillrinning till sjön i samband med snösmältningen. Från att ha legat på den lägsta nivån någonsin (87,92 m) i oktober 1976 var nivån åter normal i maj 1977. Det är den snabbaste vattennivåökningen som förekommit under någon längre period i Vättern. Från mitten av mars till mitten av maj steg nivån med en halv meter.

Tabell 1. År med höga nivåer i Vättern

År	Högsta nivå (m)
1867	89,08
1924	89
1927	89
1999	88,95

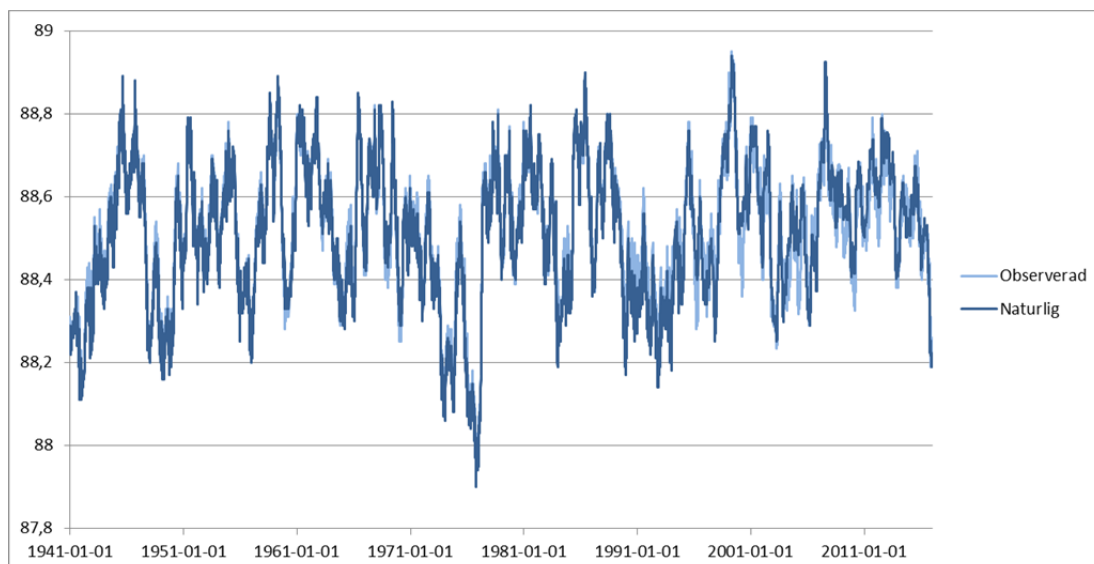
Tabell 2. År med låga nivåer i Vättern

År	Lägsta nivå (m)
1976	87,92
1933-1934	87,97
1858-1859	87,98
1887-1888	88,04



Figur 1. Vattennivå i Vättern för perioden 1 januari 1858 till 31 maj 2017 i meter över havet i höjdsystem RH00.

År 1928 började vattennivån i Vättern att regleras. Fram till år 1958, då dagens vattendom började gälla, var friheten i regleringen relativt liten. Även i dagens dom styrs regleringen till stor del av hur den naturliga vattennivån skulle ha varit och vattennivån följer den naturliga ganska väl (Figur 2). Därför har vi i beräkningarna i denna rapport räknat med den naturliga vattennivån i Vättern, dvs. nivån vid oreglerade förhållanden.

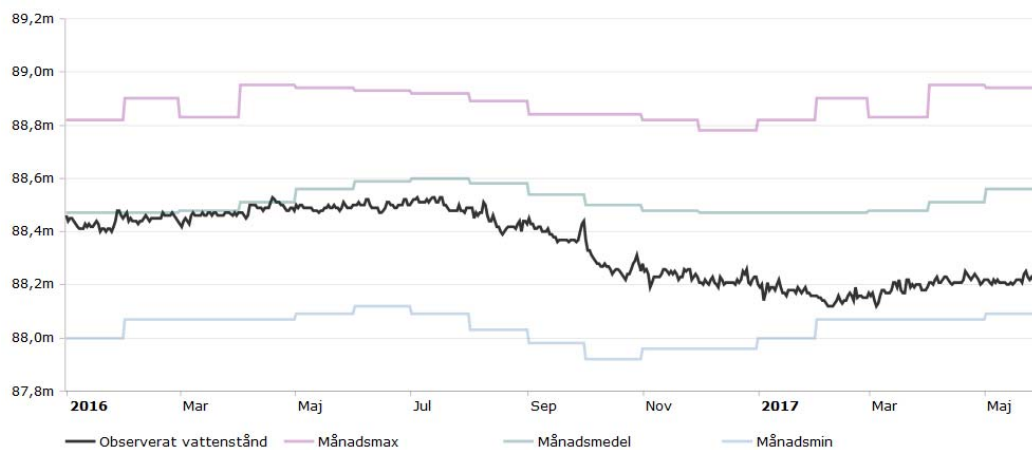


Figur 2. Observerad vattennivån och rekonstruerad naturlig vattennivå i Vättern sedan regleringen infördes till dec 2016. Vi kan se att vattennivån följer den naturliga.

## 2.2 Låga nivåer 2016-2017

Vattennivån i Vättern har varit låg under slutet av 2016 och under 2017 på grund av att lite nederbörd fallit i avrinningsområdet. Som lägst har nivån varit 88,12 m (Figur 3), vilket är ca 30 cm under medelvattennivån, men 20 cm högre än det lägsta 1976.

Det är relativt ovanligt att nivån är så pass låg. Sedan mätningarna startade 1858 har en lägre nivå än 2017 uppmätts vid fem tillfällen, de i Tabell 1 samt enstaka dagar under 1973 och 1974.



Figur 3. Vattennivån i Vättern juni 2016 till maj 2017 jämfört med statistik 1958-2016.

## 3 Metodik

Beräkningar har gjorts för tillrinning, vattennivå, tappning, vattentemperatur och is i dagens och framtida klimat. Här beskrivs kortfattat hur dessa beräkningar gjorts.

### 3.1 Beräkningar för dagens klimat

#### 3.1.1 Beräkning av inflöde, vattennivåer och tappningar för Vättern

För att kunna beräkna vattenståndsförändringar i Vättern i dagens och ett framtida klimat krävs först en hydrologisk modell som kan beskriva tillrinning och vattenståndsförändring. Modellen kalibreras mot uppmätta data i dagens klimat. För att beräkna förändringar i ett framtida klimat matas modellen med temperatur och nederbördsdata från klimatmodeller.

I denna studie har beräkningar och förändringar av det *naturliga vattenståndet* analyserats.

#### HBV-modellen

Den hydrologiska avrinningsmodell som används för beräkningar av de hydrologiska effekterna av ett ändrat klimat i Sverige är normalt HBV-modellen. Den har utvecklats vid SMHI sedan början av 70-talet (Bergström, 1995, Lindström m.fl., 1997). Modellen är begreppsmässig, d.v.s. den bygger på en förenklad fysikalisk beskrivning och kalibreras till specifika vattendrag.

HBV-modellen har en enkel struktur och är i grunden uppbyggd av tre huvudmoduler, en för beräkning av snöns ackumulation och avsmältning, en för beräkning av avdunstning och markfuktighet och en tredje rutin för beräkning av hur flödesförloppet påverkas av yttre faktorer såsom sjöar och dammanläggningar. Modellen är semidistribuerad vilket innebär att avrinningsområdet delas in i delområden inom vilka höjder och vegetationszoner (skog, öppet landskap, glaciär och sjöar) klassificeras. Den har dessutom speciella funktioner för att hantera sjöar och regleringsrutiner.

I denna studie har samma uppsättning av HBV-modellen använts som i German och Stensen (2010). Modellen är uppsatt för avrinningsområdet fram till Motala kraftverk, se Figur 4. Vättern är speciell eftersom den har en stor sjöyta i förhållande till avrinningsområdet. Hela 30 % av Vätterns avrinningsområde utgörs av Vättern själv och totalt utgörs avrinningsområdet av det 35 % sjö. Som indata till modellen används observerad nederbörd och temperatur som hämtats från SMHIs databas med areellt fördelad temperatur och nederbörd med data från 1961 (Johansson, 2000 och Johansson och Chen 2005). För att kalibrera HBV-modellen har observerat vattenstånd för Vättern hämtats in. Sambandet mellan vattennivå och vattenföring, det så kallade avbördnings sambandet, som gäller för beräkningen av naturligt vattenstånd i Vättern har använts för att beskriva utflödet från Vättern i modellen. Modellen har sedan kalibrerats för att utifrån temperatur och nederbörd kunna beräkna tillrinning till och det naturliga vattenståndet i Vättern.

#### Kalibrering HBV-modellen

HBV-modellen har kalibrerats mot uppmätta data för Vättern (tillrinning och vattenstånd). Kalibreringen försvåras av det faktum att Vättern dels är en djup sjö (som istäcker sällan), dels att sjön utgör en så stor del av avrinningsområdet, men slutresultatet är en tillfredsställande kalibrering som bedöms beskriva vattenståndsvariationen i dagens klimat på ett rimligt sätt och ska kunna hantera framtida klimat bra. Exempel på kalibreringsresultatet visas i Bilaga A.



Figur 4. Delavrinningsområden i HBV-modellen som har använts i studien.

#### Metodik för beräknad högsta vattennivå

En beräknad högsta vattennivå är en mycket extrem vattennivå, som används för att dimensionera dammanläggningar för att undvika dammhaverier (Svensk Energi m.fl. 2015). Detta vattenstånd har använts i MSB:s översvänningskarteringar (MSB, 2014) och som en gräns i länsstyrelsers rekommendationer för lokalisering av viss ny bebyggelse (Länsstyrelsen Västra Götalands län och Värmlands län, 2011).

Beräkningarna i den här rapporten har utförts enligt de riktlinjer för bestämning av beräknad högsta vattennivå som fastställts av Svensk Energi m.fl. (2015). Bestämning av det beräknade högsta vattenståndet bygger på hydrologiska modellsimuleringar som beskriver följderna av att extremt stora nederbörds mängder faller under särskilt ogynnsamma förhållanden. I beräkningarna antas dessa extrema nederbörds mängder samverka med en föregående blöt höst, kraftig snösmältning och vattenmättade markförhållanden. Kritiska flöden och vattenstånd simuleras under minst en tioårsperiod genom att den verkliga observerade nederbörden i det beräknade området successivt byts ut mot en 14 dygn lång dimensionerande nederbördssekvens. De olika flödesskapande faktorerna, vilka var och en för sig ligger inom ramen för vad som har inträffat, kombineras på det sätt som ger den mest kritiska samlade effekten. Den samlade effekten, när de ogynnsamma förhållandena inträffar samtidigt, blir mycket extrema flöden. Flödenas återkomsttid kan inte anges med denna metod, men jämförelser med

frekvensanalys indikerar att flöden som beräknas på detta sätt i genomsnitt har återkomsttider över 10 000 år (Svensk Energi m.fl. 2015).

För beräkningarna för Vättern har maximala snötäcket tagits fram från åren 1962-2015 och dimensioneringsberäkningen är gjord med data från 1994-2014.

Vid beräkningsstarten så ska vattenståndet för ett magasin (eller sjö) läggas på en nivå som är rimlig inför en förväntat kraftig vårflood. Erfarenheter från beräkningar visar att valet av startvattenstånd kan vara viktigt för slutresultatet i beräkningen. För Vättern finns det inte någon entydig sänkningsgräns att förhålla sig till, utan sjön ska i stort variera som om den var oregerad. Vid framtagande av beräknad högsta vattennivå för Vättern har därför två olika startvattenstånd använts, ett medelvattenstånd (MW) och ett högsta uppmätta vattenstånd för startdagen den 6 april.

### **Metodik för beräkning av 100-årsnivå och 200-årsnivå**

För översvämningskarteringar, rekommendationer för ny bebyggelse samt dammsäkerheten används sjöars 100-årsnivåer eller 200-årsnivåer. Dessa är inte lika extrema som de beräknade högsta nivåerna. Med en händelses återkomsttid menas att den inträffar eller överträffas i genomsnitt en gång under denna tid. Det innebär att sannolikheten för exempelvis ett 100-års flöde är 1 på 100 för varje enskilt år. Eftersom man exponerar sig för risken under flera år blir den ackumulerade sannolikheten avsevärd. För ett hus som står i 100 år i ett område som endast är skyddat mot ett 100-års flöde, är sannolikheten för översvämning under denna tid hela 63 %.

Beräkningarna i denna rapport har gjorts utifrån Flödeskommittens riktlinjer (Svensk Energi m.fl. 2015). En tidsserie med varje års högsta vattenståndsvärde anpassas till en fördelningsfunktion, tidsserien har justerat så att maxnivån för de olika åren är oberoende av varandra. För beräkningar av Vätterns 100-års- och 200-årsnivå har data för den naturliga vattennivån för perioden 1858 till 2016 använts. Beräkningar har gjorts med flera olika fördelningsfunktioner.

### **3.1.2 Beräkning av vattentemperatur, isläggning och islossning**

Kustzonsmodellen (PROBE-SCOBİ), är en biogeokemisk modell som beräknar tillståndet i kustvatten. Kustzonsmodellen är en så kallad endimensionell modell, som löser upp modellvariablerna i djupled med hög noggrannhet men är horisontellt homogen inom ett område (Sahlberg, 2009; Marmefelt et al., 1999).

Då Kustzonmodellen sattes upp för Vättern användes en bassäng. Bassängen har inget till- eller utflöde och kan horisontellt sett ses som en homogen vattenmassa. Vertikalt är bassängen indelad i 97 djupnivåer. Efter att modellen kalibrerats för den historiska perioden 1997-2015 har modellen körts för två framtida perioder: 2032-2050 och 2080-2098.

#### **Drivdata**

Kustzonsmodellen drivs av observerad temperatur, vind, molnmängd och relativ luftfuktighet med tre timmars upplösning. Meteorologisk data har hämtats från SMHI:s väderstationer Visingsö och Sätenäs. Valet av stationer grundades på tillgång till data av god kvalitet samt stationens representativitet. Mätningar med 3 timmars upplösning startade först 1996, därför används perioden 1997-2015 för att beskriva det historiska klimatet.

En 3D-modell av Vättern skapades i ArcGIS med hjälp av strandlinjer och historiska djupdata. Utifrån 3D-modellen har hypsografer, som beskriver sambandet mellan sjödjup och area, beräknats. Äldre djupdata korrigerades med hänsyn till historiska regleringsförändringar.



## Temperaturberäkningar

Temperaturen för ytvattnet respektive bottenvattnet beräknades genom att ett medelvärde från modellens 3 översta respektive understa beräkningsceller bildades. Utifrån detta medelvärde har medeltemperaturen under de tre perioderna 1997-2015, 2032-2050 och 2080-2098 beräknats. För samma perioder gjordes en sammanställning av maxtemperaturen i ytvattnet. En sammanställning gjordes också för antalet dagar med en ytvattentemperatur större än 5, 10, 15 och 20 grader under respektive period. Temperatur och förekomst av is har beräknats för varje enskild dag under 19-årsperioden för att sedan divideras med 19 år för att få ut antal dagar med is, antal dagar med skiktning samt antalet dagar med temperaturer över ett visst värde.

Definitionen som ligger till grund för beräkningen av språngskiktet är: temperaturen ska skilja mer än 1 grad per meter. Då modellens vertikala upplösning varierar mellan 0,5 och 2 meter har definitionen översatts till att språngskiktet existerar om något av följande uppfylls:

- 1) Avståndet mellan cellerna är 0,5m och temperaturskillnaden är större än 0,5 grader.
- 2) Avståndet mellan cellerna är 0,75 m och temperaturskillnaden är större än 0,75 grader.
- 3) Avståndet mellan cellerna är 1 m och temperaturskillnaden är större än 1 grad.
- 4) Avståndet mellan cellerna är 2 m och temperaturskillnaden är större än 1 grad.

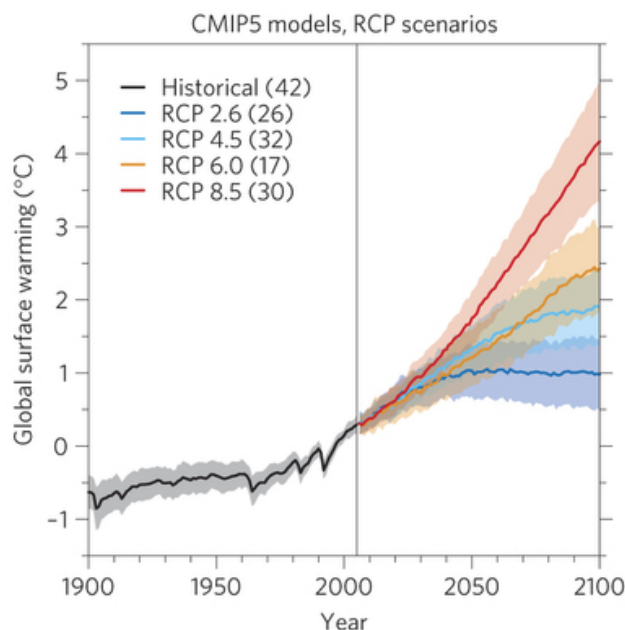
För att undvika att få med variationer i det översta ytvattnet eller understa bottenvattnet inkluderades inte de 2 övre/under beräkningscellerna i testet.

### Beräkning av isläggning och islossning

Isläggningsdatum motsvarar den första dagen då istjockleken under minst tre dygn är större än 0. Islossningsdatum motsvarar den första dagen då istjockleken är 0 efter en period (3 dagar eller längre) med is.

## 3.2 Framtida klimat

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. RCP-scenarierna 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 begränsade utsläpp, och RCP8.5 med höga utsläpp (Figur 5)(IPCC, 2013).



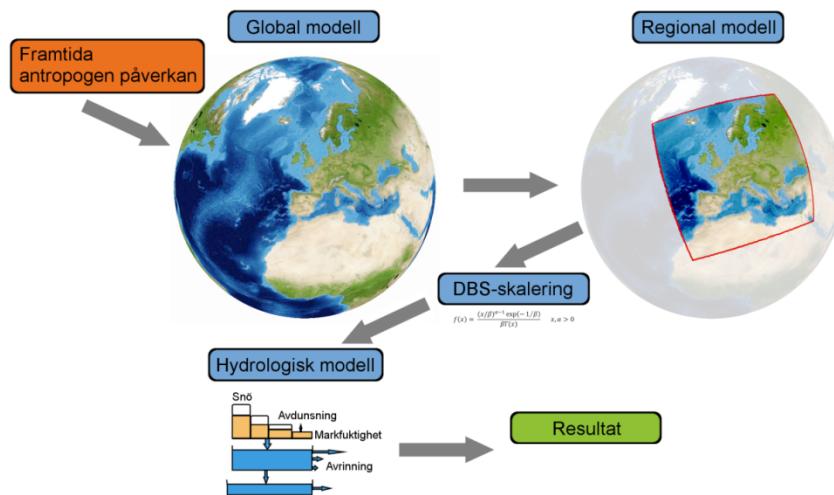
Figur 5 Global uppvärmning relativt år 2000 för de fyra olika RCP-scenarierna. Från IPCC (2013).

För att göra beräkningar av det framtida klimatet krävs klimatmodeller, som 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 görs 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 beräkningar. I beräkningarna för Vättern har ett underlag med nio olika globala klimatmodeller från olika institut runt om i världen använts. Rossby Centre vid SMHI har utfört regional modellering med den regionala klimatmodellen RCA4 (Strandberg m.fl. 2014).

### 3.2.1 Vattennivåer i framtida klimat

För att utföra analyser på lokal skala, exempelvis för hydrologiska beräkningar, krävs data med högre geografisk upplösning än  $50 \text{ km} \times 50 \text{ km}$ . SMHI har därför tidigare utvecklat en metod, DBS (Distribution Based Scaling), för att öka upplösningen till  $4 \times 4 \text{ km}^2$  (Yang m.fl. 2010). Därefter har hydrologiska beräkningar s med HBV-modellen utfört där temperatur och nederbörd från klimatscenarierna har använts som drivdata i beräkningarna RCA4 (Sjökvist m.fl., 2015). Figur 6 visar kopplingen mellan klimatsimuleringarna som använts i den hydrologiska modellen.



Figur 6. Illustration av kopplingen mellan global- och regional klimatmodell samt hydrologisk modell vid studier av klimatteffekter för vattenflöden och vattennivåer.

Beräkningarna har gjorts för perioden 1961 till 2098 och sedan har 30-åriga medelvärden för vattennivåer och flöden beräknats för perioderna 2021-2050 och 2069-2098. Dessa har jämförts med den så kallade referensperioden 1961-1990. Vid beräkning av 100- och 200-års vattenstånd har en frekvensanalys med Gumbelfördelning utförts. Av beräkningstekniska skäl har endast en fördelning använts i detta fall.

För beräkningarna av beräknad högsta vattennivå (BHW) är starttillstånden viktiga och för beräkningarna för framtida klimat har beräkningar av startvattenstånd gjorts (Svensk Energi m.fl. 2015). Medelförändringen för MW och MHW vid slutet av seklet för RCP 4.5 respektive RCP 8.5 har använts för att räkna fram dessa. Förändringen har sedan räknats fram genom att jämföra respektive klimatscenario med klimatsceniots referensperiod. För klimatsceniernas referensperioder har samma startvattenstånd för MW och MHW använts som i dagens klimat. Sedan har medelförändringen, samt min och max beräknats för BHF för scenario RCP 4.5 respektive RCP 8.5.

### 3.2.2 Vattentemperaturer i framtida klimat

Beräkningen för vattentemperatur och is för framtida klimat sker på samma sätt som för dagens klimat (se stycke 3.1.2) förutom att den indata som beskriver lufttemperaturen har ändrats till framtida förhållanden.

För att beskriva framtida klimat används den så kallade delta-metoden, som innebär att observerade data för en historisk period används och justeras för klimatförändringar. Klimatmodeller ger klimatscenarier, som kan innehålla flera olika kombinationer av modeller och framtida utsläpp. De beskriver flera olika väderparametrar men kvaliteten är inte tillräckligt bra för att användas direkt i Kustzonsmodellen. Därför används det historiska datasetet justerat för klimatförändringar.

Klimatförändringar för de fyra olika parametrarna; temperatur, vind, molnmängd och relativ luftfuktighet studeras hos nio olika klimatscenarier och slutsatsen är att temperatur är den parameter som ger den avsevärt största förändringen. Förändringen i temperatur mellan den historiska och de två framtida perioderna beräknas och de två deltavärdena adderas direkt på det historiska datasetet. På så vis skapas två dataset representativa för två framtida tidsperioder.

Även här används RCP4.5 och RCP8.5 för att beskriva framtida utvecklingsvägar i klimatmodellerna.

## 4 Resultat

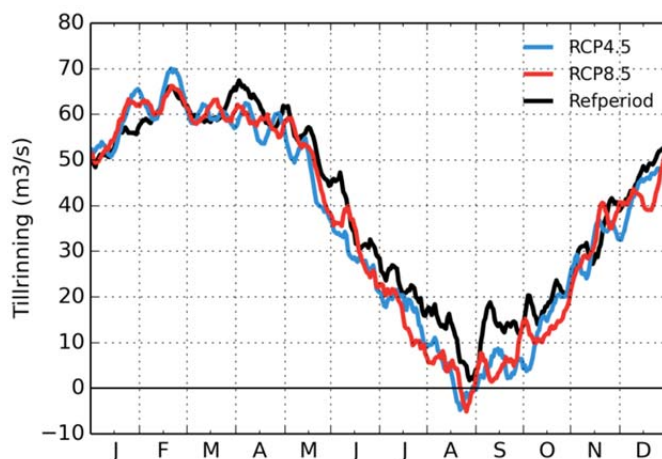
### 4.1 Tillrinning, vattennivåer och tappning

Resultaten presenteras för de flesta parametrar som 30-åriga medelvärden för referensperioden 1961-1990 samt som förändringar i ett framtida klimat för tidsperioderna 2021-2050 samt 2069-2098 jämfört med historiskt klimat. Varje enskilt klimatscenario har beräknats och bearbetats separat men resultaten presenteras som medelvärden för RCP4.5 respektive RCP8.5.

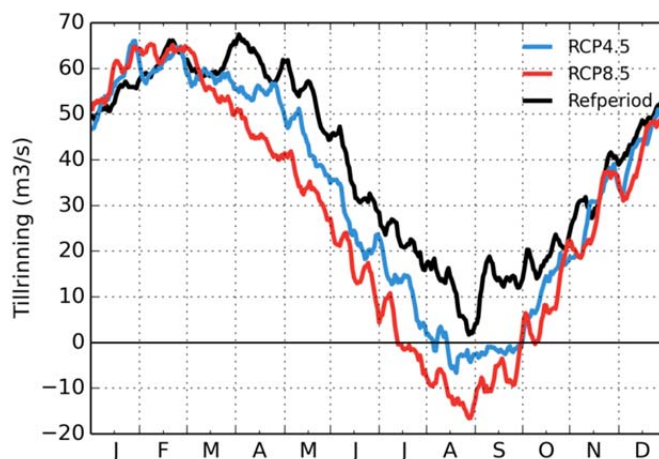
#### 4.1.1 Tillrinningens årscykel

Tillrinningen varierar mellan olika år och under året beroende på hur nederbörd, temperatur, snötäcke, markfuktighet och avdunstning varierar och samspelar. För vattendragen finns dock vanligen en återkommande dynamik under året. Förändringar i årstidsförloppen kan ha stor betydelse för vattenförsörjning, översvämningsrisker, vattenkraftsproduktion samt miljö och biologisk mångfald.

I Figur 7 och 8 visas medelvärden för tillrinningens årscykel. Från tillrinningen har avdunstningen från Vätterns yta dragits bort. Vätterns avrinningsområde uppvisar för södra Sverige typiska drag, med hög vintertillrinning och en vegetationsperiod med relativt låga flöden. Vid mitten av seklet (Figur 7) visar både RCP4.5 och RCP8.5 på en lägre tillrinning under sommaren och början av hösten. Vid slutet av seklet, (Figur 8) är förändringen större och framtidsscenarierna visar på minskande tillrinningar för i stort sett hela året. Förändringen av tillrinningen under vintermånaderna är liten. Diagrammen visar även på en längre säsong med lägre tillrinning vilket kan kopplas till en längre vegetationsperiod och en högre avdunstning från sjön. Växterna tar upp mer vatten och det når då inte vattendragen. RCP8.5 visar på en större minskning av tillrinningen samt längre period med låg tillrinning än vad RCP4.5 ger. Diagrammen visar medelvärden och därmed framträder de typiska dragen tydligare men variationen mellan olika år är stor.



Figur 7. Tillrinningens årscykel för Vätterns avrinningsområde för referensperioden 1961-1990 samt framtidsscenarierna 2021-2050. Resultatet visas för ett lågt utsläppsscenario (RCP4.5) och ett högt utsläppsscenario (RCP8.5). Från tillrinningen har även avdunstningen från Vätterns yta dragits bort.

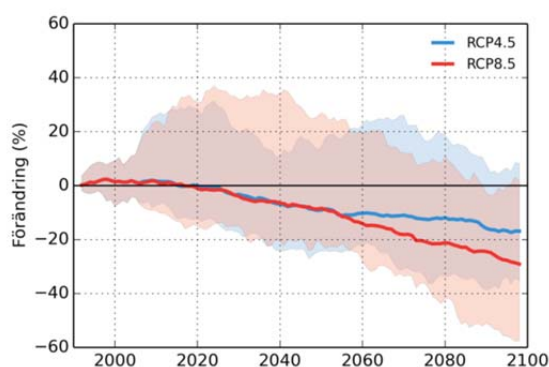


Figur 8. Tillrinningens årscykel för Vätterns avrinningsområde för referensperioden 1961-1990 samt framtidsperioden 2069-2098. Resultatet visas för ett lågt utsläppsscenario (RCP4.5) och ett högt utsläppsscenario (RCP8.5). Från tillrinningen har även avdunstningen från Vätterns yta dragits bort.

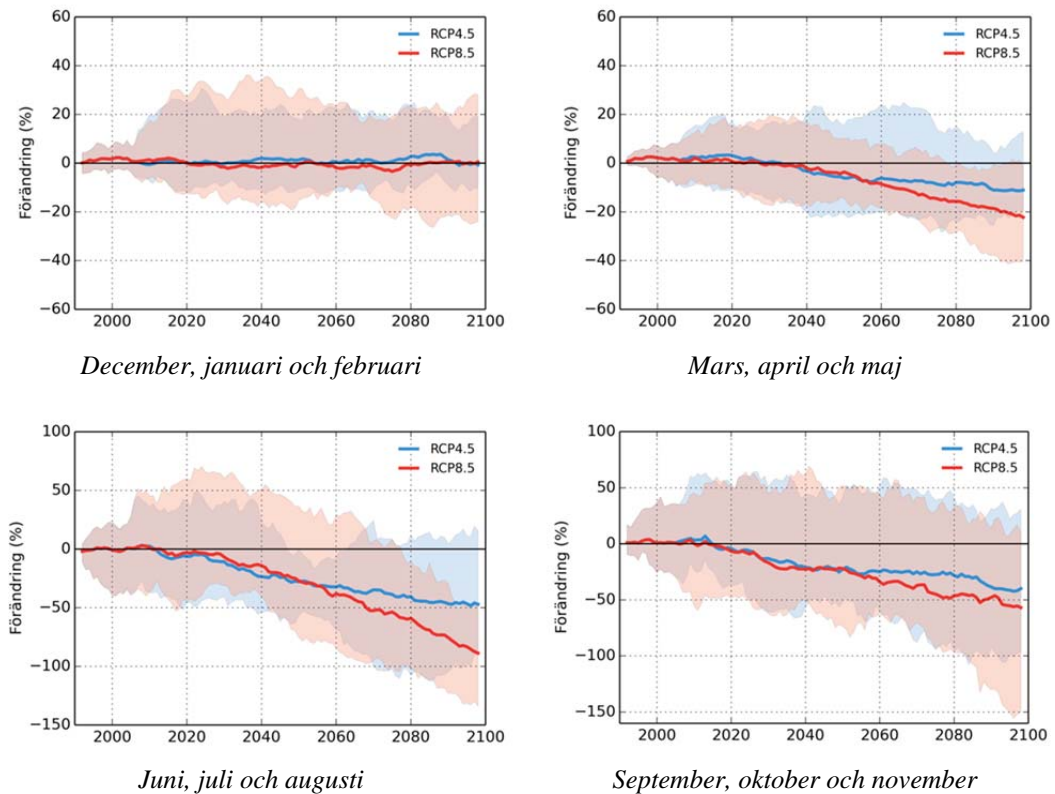
#### 4.1.2 Förändrad total medeltillrinning för år och säsonger

I Figur 9 och Figur 10 redovisas beräkningar av förändringen av årstillrinningen samt förändringen av tillrinningen under olika säsonger. Den avdunstning som sker direkt från sjön är också borträknad. Förändringen är beräknad som löpande 30-års medelvärden jämfört med referensperioden 1961-1990.

Den totala årstillrinningen beräknas minska och minskningen är ungefär lika stor fram till mitten av seklet för de båda scenarierna. I slutet av seklet blir minskningen större, 20 % för RCP4.5 och 30 % för RCP8.5. För säsongerna ses den största minskningen av tillrinningen under sommarmånaderna, där minskningen ligger på 50 % för RCP4.5 och närmare 90 % för RCP8.5 vid slutet av seklet. Detta kan förklaras av en ökad avdunstning i ett varmare klimat. Tillrinningen väntas minska även under våren och hösten och under vintermånaderna ser den ut att vara relativt oförändrad.



Figur 9. Förändrad årstillrinning till Vätterns avrinningsområde. Resultatet visas för ett lågt utsläppsscenario (RCP4.5) och ett högt utsläppsscenario (RCP8.5). Linjerna visar medelvärden och de färgade fältet är spridningen mellan de olika modellerna.



Figur 10. Förändrad tillrinning under de olika säsongerna till Vätterns avrinningsområde. Resultatet visas för ett lågt utsläppsscenario (RCP4.5) och ett högt utsläppsscenario (RCP8.5). Linjerna visar medelvärden och de färgade fältet är spridningen mellan de olika modellerna.

### 4.1.3 Vattennivåer i dagens och framtida klimat

Resultaten från vattenståndsberäkningar med HBV-modellen för dagens klimat redovisas i Tabell 3. Beräkningar har gjorts för medelvärdet av varje års lägsta nivå (medellågnivå eller MLW), medelvattenståndet (medelnivå eller MW) samt medelvärdet av varje års högsta nivå (medelhögnivå eller MHW) under tidsperioden 1961-1990.

För att beräkna 100-årsnivån och 200-årsnivån gjordes frekvensanalys med flera olika fördelningar, se Bilaga B. Från dessa valdes resultat från GEV-fördelningen ut och det är dessa som visas i Tabell 3.

Beräkningar av 100-års och 200-årsnivån har tidigare gjorts. De nya beräkningarna visar identiska värden med den senaste beräkningen (German m.fl. 2013). Den beräknade högsta nivån för Vättern har tidigare tagits fram 1995 (Johansson m.fl., 1995). Den beräknade högsta nivån var då 89,39 m med ett starttillstånd på 88,40 m, alltså nära det nya värdet med det lägre startvattenståndet. Sedan den beräkningen gjordes har modellerna förbättrats och ytterligare 20 års data har kunnat användas vid beräkningen. Den nya beräkningen ger därför säkrare värden. Beräknad högsta vattennivå har tagits fram med två olika startvattenstånd (se stycke 3.1.1). Beräkningarna visar att startvattenståndet är viktigt för resultatet. Det är mer rimligt att startvattenståndet ligger närmre medelvärdet än det högsta värdet för beräkningens startdatum. Därför får det lägre värdet på beräknad högsta nivå betraktas som mer rimligt, men att skillnaderna är så stora mellan de båda beräkningarna tyder på att osäkerheterna är relativt stora.

Tabell 3. Beräknade vattennivåer i dagens klimat. Nivåerna anges i meter över havet i RH00 Motala. MLW, MW och MHW är medelvärden för 1961-1990. 100-års och 200-årsnivåerna är beräknade för perioden 1858-2016.

	Medellågnivå MLW (m)	Medelnivå MW (m)	Medelhögnivå MHW (m)	100-års nivå (m)	200-års nivå (m)	Beräknad högsta vattennivå, BHW (startvattenstånd MW=88.51) (m)	Beräknad högsta vattennivå, BHW (startvattenstånd HW= 88.94) (m)
Dagens klimat	88,31	88,50	88,67	89,01	89,03	89,37	89,60

Beräkningen av vattennivåer för de 18 klimatscenarierna redovisas som förändringen mellan referensperioden 1961-1990 och en framtidsperiod för medellåg nivå, medelvattenstånd, medelhöga nivåer, 100- och 200 års nivåer samt beräknad högsta vattennivå. Beräkningar har gjorts för de två perioderna 2021-2050 samt 2069-2098. I Tabell 4 redovisas klimatsceniernas medelförändring samt min- och maxvärden jämfört med klimatsceniernas referensperiod 1961- 1990 för RCP 4.5 respektive RCP 8.5.

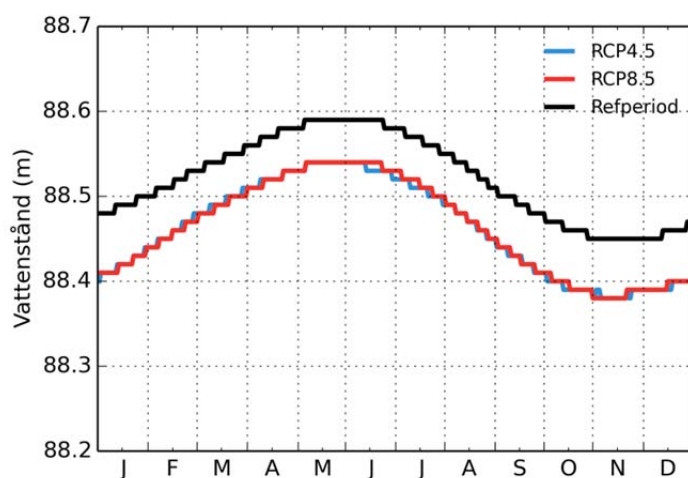
Beräkningarna pekar på att medellågnivån, medelnivån och medelhögnivån (medel av varje års högsta vattennivå) kommer att minska i ett framtida klimat, med ca 10 cm för RCP 4.5 och ca 20 cm för RCP 8.5 vid slutet av seklet. 100-års och 200-årsnivån väntas bli oförändrad i slutet på seklet.

Beräknad högsta vattennivå har gjorts med två stycken olika startvattenstånd även i ett framtida klimat. I ett framtida klimat har nya startvattenstånd använts i beräkningarna. Medelförändringen för medelvattenstånd och medelhögvattenstånd vid slutet av seklet för RCP 4.5 respektive RCP 8.5 har använts för att räkna fram nya startvattenstånd. För RCP 4.5 har 10 cm dragits ifrån dagens startvattenstånd för MW och HW. För RCP 8.5 har 20 cm dragits ifrån dagens startvattenstånd för MW respektive HW. I ett framtida klimat är förändringen av Beräknad högsta vattennivå liten och skillnaden för resultaten med de två olika startvattenstånden liten.

Tabell 4. Förändringen för beräknade vattennivåer i ett framtida klimat för ett lågt utsläppsscenario (RCP4.5) respektive ett högt utsläppsscenario (RCP8.5) för de två perioderna 2021-2050 samt 2069-2098. I tabellen redovisas medelförändringen i cm samt max-och minvärden för de olika scenarierna. I tabellen presenteras resultatet på cm-nivå. Beräkningarna är dock inte så noggranna utan siffrorna ska ses som ungefärliga förändringar.

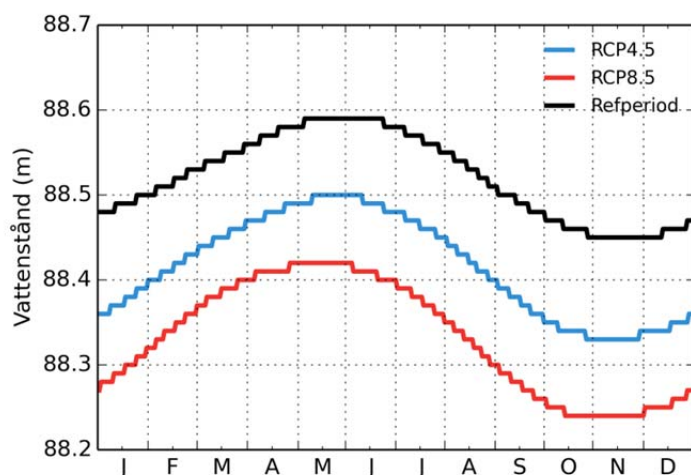
	Medel-lågnivå	Medel-nivå	Medel-högnivå	100-årsnivå	200-årsnivå	Beräknad högsta vattennivå (startvattenstånd MW=88.41)	Beräknad högsta vattennivå (startvattenstånd MHW=88.84)
<b>RCP 4.5 (2021-2050)</b>	- 2 (-9 till +11)	- 6 (-14 till +6)	- 5 (-15 till +7)	- 1 (-17 till +18)	- 1 (-17 till +22)	+3 (-9 till +10)	+4 (-9 till +10)
<b>RCP 8.5 (2021-2050)</b>	- 2 (-11 till +13)	- 6 (-12 till +12)	- 5 (-11 till +12)	+3 (-2 till +9)	+4 (-1 till +12)	+7 (-14 till +19)	+8 (-13 till +20)
<b>RCP 4.5 (2069-2098)</b>	- 13 (-26 till +3)	- 11 (-22 till +4)	- 9 (-19 till +6)	- 1 (-8 till +13)	+1 (-8 till +15)	+2 (-19 till +28)	+2 (-20 till +28)
<b>RCP 8.5 (2069-2098)</b>	- 21 (-42 till +3)	- 19 (-40 till 0)	- 17 (-39 till +3)	0 (-14 till +10)	+3 (-14 till +16)	0 (-20 till +25)	+2 (-16 till +26)

Figur 11 och 12 visar hur vattennivån i Vättern varierar under året. För perioden 2021-2050 visar de båda klimatscenerierna RCP4.5 och RCP8.5 en likartad förändring av vattenståndsvariationen, de visar båda på en minskning av vattenståndet för hela året med drygt 5 cm. För framtidsperioden 2069-2098 visar dock RCP8.5 på en större minskning av vattenståndet, drygt 20 cm och RCP4.5 en minskning med drygt 10 cm.



Figur 11. Vattennivåns års variation i Vättern. Svart linje visar klimatsceneriernas referensperiod 1961-1990. Blå linje representerar RCP4.5 (lågt scenario) och röd linje RCP8.5 (högt scenario) för framtidsperioden 2021-2050.





Figur 12. Vattennivåns årsvariation i Vättern. Svart linje visar klimatsceneriarnas referensperiod 1961-1990. Blå linje representerar RCP4.5 (lågt utsläppsscenario) och röd linje RCP8.5 (høgt utsläppsscenario) för framtidsperioden 2069-2098.

#### 4.1.4 Varaktigheter vattenstånd

Beräkningar har gjorts med tidsserier från HBV-modellen där medelvärdet av antalet dagar/år över eller under olika vattennivåer har beräknats för referensperioden 1961-1990 samt två framtidsperioder, 2021-2050 och 2069-2098. Beräkningarna för dagens klimat baseras på vattenståndsobservationer från Vättern. Förändringen för framtidsperioderna är beräknade som medelvärden för RCP 4.5 samt RCP 8.5 jämfört med klimatsceneriarnas referensperioder.

I Tabell 5 visas medelvärdet av antalet dagar/år som vattenståndet i Vättern ligger över eller under olika nivåer för referensperioden 1962-1990. Tabell 6 visar förändringen av medelvärdet samt min och max för klimatscenerierna RCP 4.5 och RCP 8.5 för de två framtidsperioderna. Beräkningarna visar på att höga nivåer blir mindre vanliga i framtiden medan de låga nivåerna förekommer oftare. En tabell där antal dagar med en viss nivå redovisas för fler intervall finns i Bilaga C.

Tabell 5. Beräknade medelvärden (antal dagar/år) mellan olika vattennivåer för dagens klimat, 1961-1990.

[m.ö.h]	Dagens klimat [Antal dagar]
>89	0
88,9-89	0
88,8-88,9	7
88,7-88,8	53
88,6-88,7	66
88,5-88,6	76

88,4-88,5	69
88,3-88,4	50
88,2-88,3	18
88,1-88,2	14
88-88,1	9
87,9-88	3
<87,9	1

Tabell 6. Förändringen i dagar/år över eller under olika vattenstånd i ett framtida klimat för ett lågt utsläppsscenario (RCP4.5) respektive ett högt utsläppsscenario (RCP8.5) för de två perioderna 2021-2050 samt 2069-2098. I tabellen redovisas medelförändringen i dagar samt max-och minvärden för de olika scenarierna.

[m.ö.h]	Observerat 1961-1990 [dagar]	RCP 4.5 2021-2050 [Förändring dagar]	RCP 8.5 2021-2050 [Förändring dagar]	RCP 4.5 2069-2098 [Förändring dagar]	RCP 8.5 2069-2098 [Förändring dagar]
>88,7	60	- 7 (-32 till +36)	- 4 (-22 till +69)	- 15 (-38 till +10)	- 21 (-41 till +17)
<88,3	48	+35 (-37 till +88)	+44 (-37 till +106)	+76 (-30 till +166)	+130 (+10 till +255)

I Tabell 7 nedan presenteras antalet dagar för perioden maj-september som vattennivån understiger 88,31 m för dagens klimat och förändringen i antalet dagar för de två klimatscenierna RCP4.5 och RCP8.5 för perioderna 2021-2050 samt 2069-2098. Nivån 88,31 m (motsvarande 2,97 m över slusströskeln i Motala) är viktig för turisttrafiken i Göta kanal. När vattennivån understiger 88,31 kan det bli problem för de stora kanalbåtarna att ta sig in i slussen i Motala. För dagens klimat är medelvärdet av antalet dagar/år som vattennivån understeg 88,31 m 13 dagar. I framtiden väntas antalet dagar öka med ca 5 dagar vid mitten av seklet för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. I slutet av seklet har antalet dagar ökat med ca 30 dagar för RCP4.5 och ca 50 dagar för RCP8.5.

Tabell 7. Beräknade antal dagar för perioden maj-september under vattennivån 88,31 m för dagens klimat. Samt förändringen i dagar under vattennivån 88,31 i ett framtida klimat för ett lågt utsläppsscenario (RCP4.5) respektive ett högt utsläppsscenario (RCP8.5) för de två perioderna 2021-2050 samt 2069-2098. I tabellen redovisas medelförändringen i dagar samt max-och minvärden för de olika scenarierna.

[m.ö.h]	Observerat 1961-1900 [dagar]	RCP 4.5 2021-2050 [Förändring dagar]	RCP 8.5 2021-2050 [Förändring dagar]	RCP 4.5 2069-2098 [Förändring dagar]	RCP 8.5 2069-2098 [Förändring dagar]
<88.31 maj-sep	13	+5 (-10 till +14)	+5 (-10 till +18)	+27 (-9 till +60)	+51 (+4 till +104)

#### 4.1.5 Varaktigheter tappning

Beräkningar har gjorts med tidsserier från HBV-modellen där tappningen från Vättern till Motala Ström har beräknats. Medelvärdet av antalet dagar per år över eller under olika tappningar har beräknats för referensperioden 1961-1990 samt för två framtidsperioder, 2021-2050 och 2069-2098. Beräkningarna för dagens klimat baseras på modellberäkningar utförda med observerad temperatur och nederbördsdata. Förändringen för framtidsperioderna redovisas som medelvärden för RCP 4.5 samt RCP 8.5 jämfört med klimatsceneriernas referensperioder.

I Tabell 8 visas medelvärdet av antalet dagar/år som vattenföringen ligger över eller under olika nivåer för referensperioden 1962-1990. Tabell 9 visar förändringen av medelvärdet samt min och maxvärden för klimatscenerierna RCP 4.5 och RCP 8.5. Beräkningarna visar att höga vattenföringar blir mindre vanliga i framtiden medan de låga vattenföringarna förekommer oftare. En tabell där antal dagar med en viss tappning redovisas för fler intervall finns i Bilaga C.

Tabell 8. Beräknade medelvärden (antal dagar/år) för vattenföringar mellan olika nivåer för dagens klimat, 1961-1990.

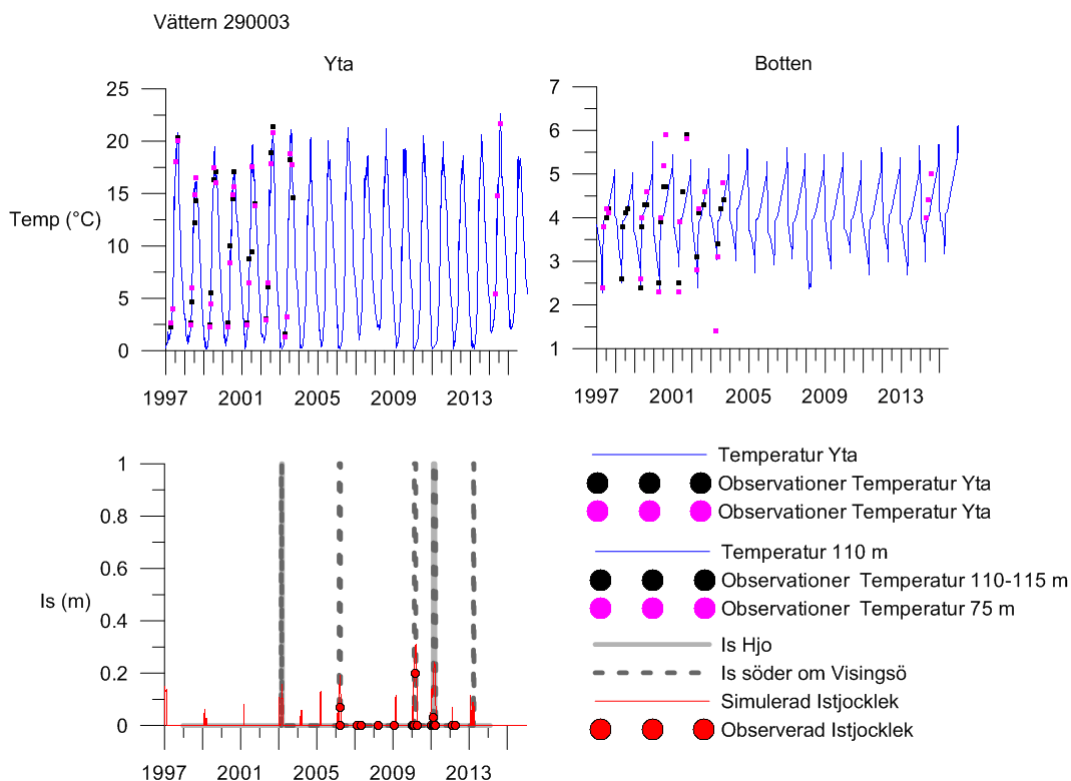
[m <sup>3</sup> /s]	Dagens klimat [Antal dagar]	40-30	98
>70	2	30-20	62
70-60	26	20-10	29
60-50	62	<10	4
50-40	83		

Tabell 9. Förändringen i dagar/år över eller under olika vattenföringar i ett framtida klimat för ett lågt utsläppsscenario (RCP4.5) respektive ett högt utsläppsscenario (RCP8.5) för de två perioderna 2021-2050 samt 2069-2098. I tabellen redovisas medelförändringen i dagar samt max-och minvärden för de olika scenarierna.

[m <sup>3</sup> /s]	Observerat 1961-1990 [dagar]	RCP 4.5 2021-2050 [Förändring dagar]	RCP 8.5 2021-2050 [Förändring dagar]	RCP 4.5 2069-2098 [Förändring dagar]	RCP 8.5 2069-2098 [Förändring dagar]
>60	28	-4 (-19 till +27)	-1 (-15 till +49)	-9 (-19 till +11)	-12 (-29 till +18)
<10	4	0 (0 till +3)	+1 (0 till +3)	+3 (0 till +11)	+32 (0 till +100)

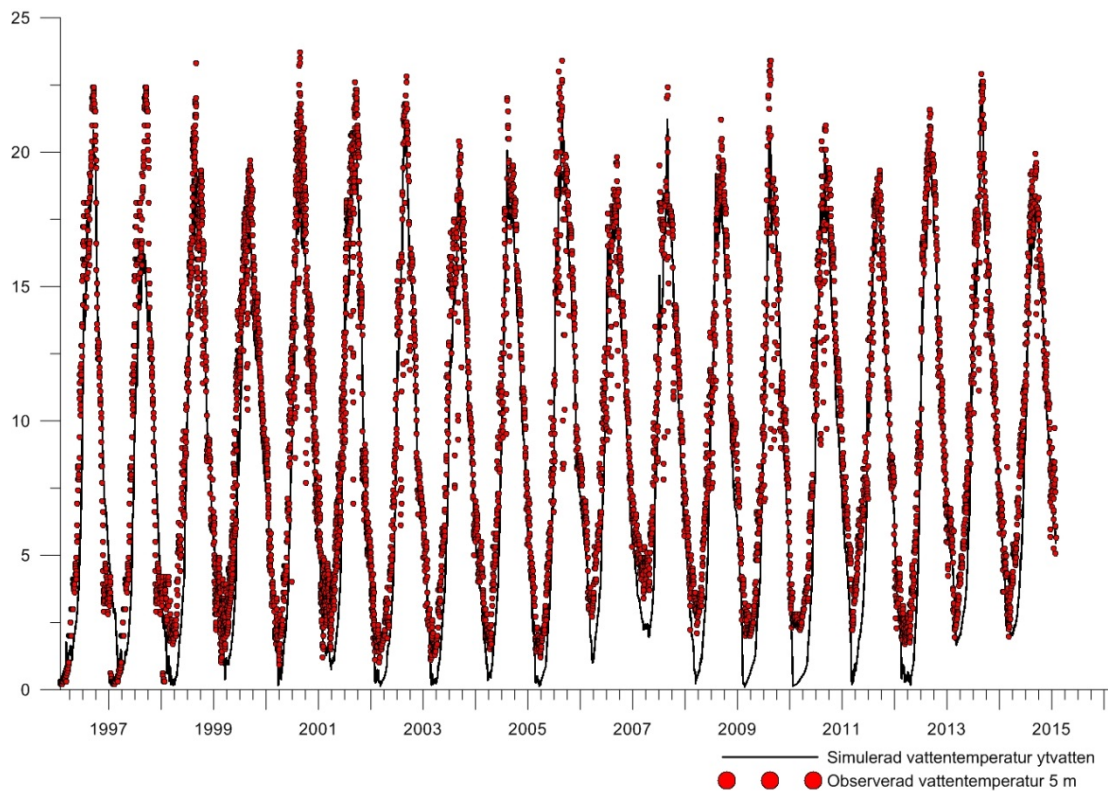
## 4.2 Vattentemperatur och is

I syfte att validera modellberäkningarna från Kustzonsmodellen i Vättern har beräkningarna jämförts med uppmätta data, se Figur 13. Överst i figuren presenteras temperaturen i ytvattnet och bottenvattnet från modellen och stationerna Jungfrun och Edskvarna. Den nedersta grafen i Figur 13 visar simulerad istjocklek. Beräkningen för förekomsten av is är grov eftersom hela Vättern beskrivs på samma sätt över hela den horisontella ytan. Det går till exempel inte att beskriva förekomst av is i mindre vikar men ett öppet vatten i de mer centrala delarna. Simuleringarna av is ger dock en indikation på hur förekomsten av is påverkas i ett framtida klimat. I grafen för istjocklek (Figur 13) visar modellen att det förekommer is under 12 av de 19 åren mellan 1997-2015.



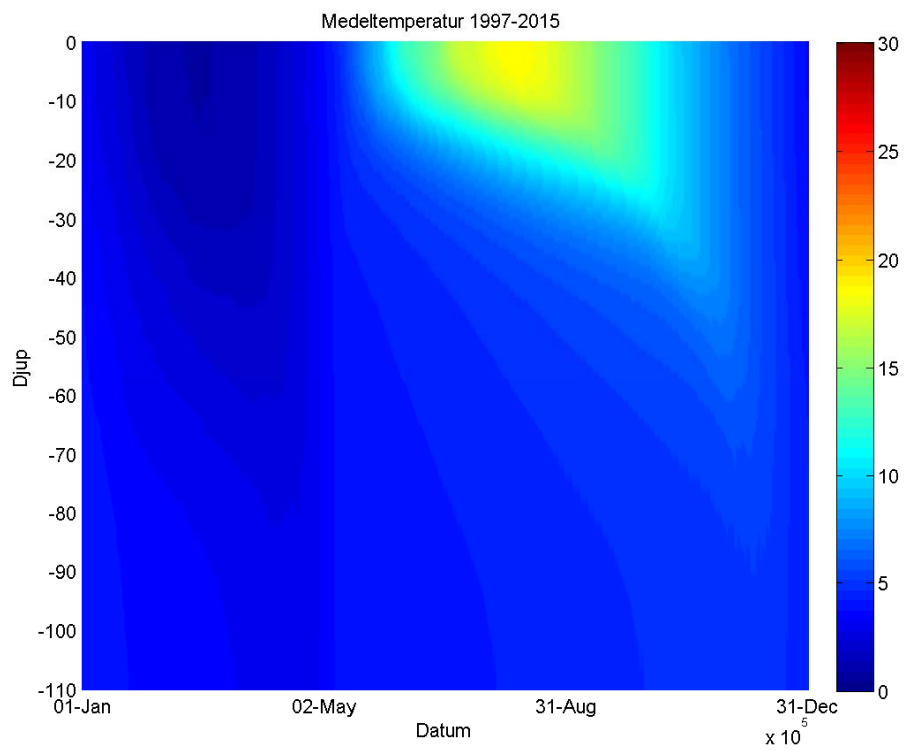
Figur 13. De två övre graferna visar simulerad temperatur °C (blå) i yta respektive botten (110 m) i Vättern. Observationer är från stationen Jungfrun (lila) och Edskvarna (svart). Den nedre grafen visar simulerad istjocklek i meter (röd) samt en markering om någon is har observerats (grå graf visar 1) eller om någon is inte har observerats eller om ingen observation finns (grå graf visar 0) i Hjo samt utanför Visingsö. Vintern 1997, 1998, 2000, 2001, 2003, 2006, 2007, 2011 och 2013 observerades att det inte var någon is utanför Hjo. Röda punkter visar uppmätt istjocklek i meter.

Den simulerade temperaturen har också jämförts med dygnsdata som observerats i Motalaviken vid Motala kraftverk samt vid Motala och Vadstenas dricksvattenintag. Temperaturen är uppmätt på 5 meters djup. Den simulerade temperaturen som visas i Figur 14 representerar den överst metern i hela Vättern. I stora drag fångar modellen variationerna bra även om vintertemperaturerna avviker tydligt vissa år, vilket kan vara en effekt av en lokal variation.

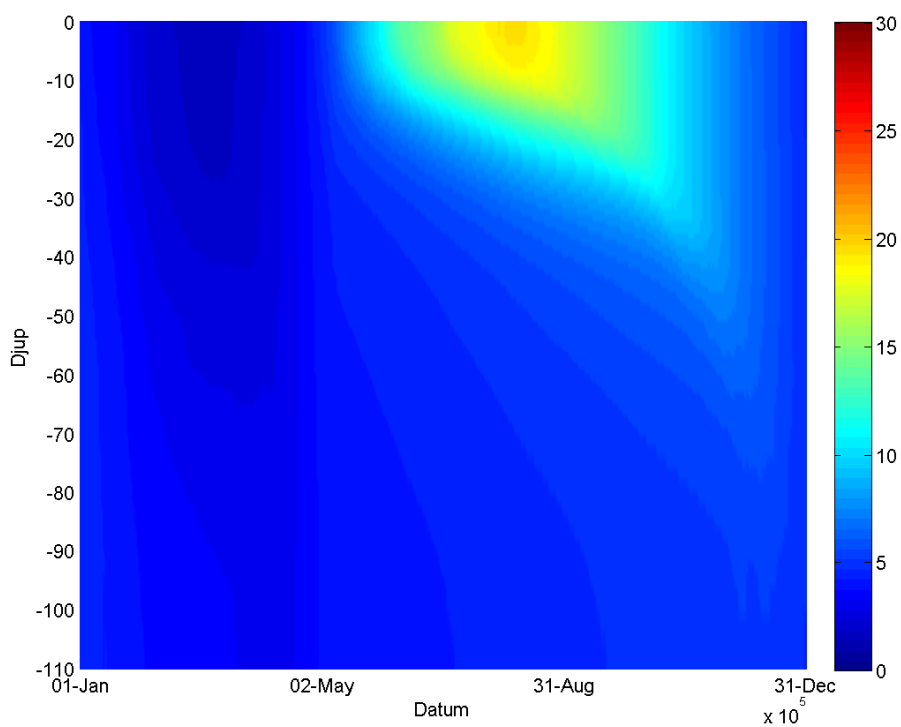


Figur 14. Simulerad vattentemperatur vid Motalaviken i Vättern. Observationerna är från 5 meters djup. Den simulerade vattentemperaturen är ett medelvärde för modellens översta celler vilket motsvarar den översta metern.

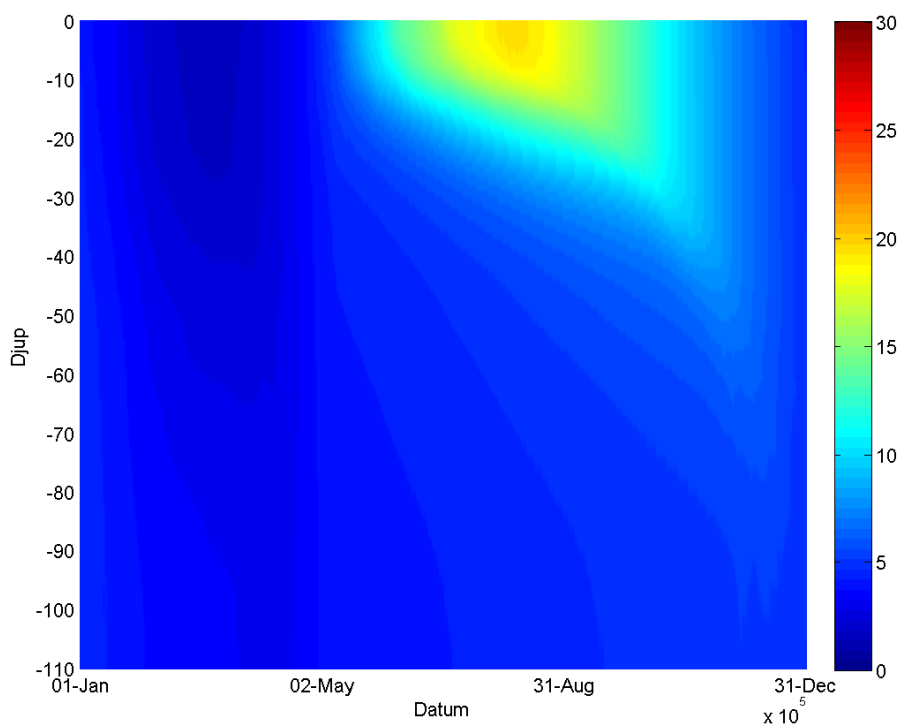
För att illustrera hur temperaturen ser ut i hela profilen visas den simulerade temperaturen för alla djup under ett normalår i Figur 15. Normalåret innehåller medelvärdesbildade temperaturer för varje dag under perioden 1997-2015. Sommartid kan en temperaturgradient ses djupledes, vilket tyder på att sjön är skiktad. Temperaturerna kan ses öka i framtiden om än med en liten ökning till perioden 2032-2050. Temperaturerna för klimatscenerierna RCP 4,5 och RCP 8,5 påminner om varnadra under perioden 2032-2050 (Figur 16 och 17) men under perioden 2080-2098 kan man se en tydligare temperaturökning i scenario RCP 8,5 än i RCP 4,5 (Figur 18 och 19).



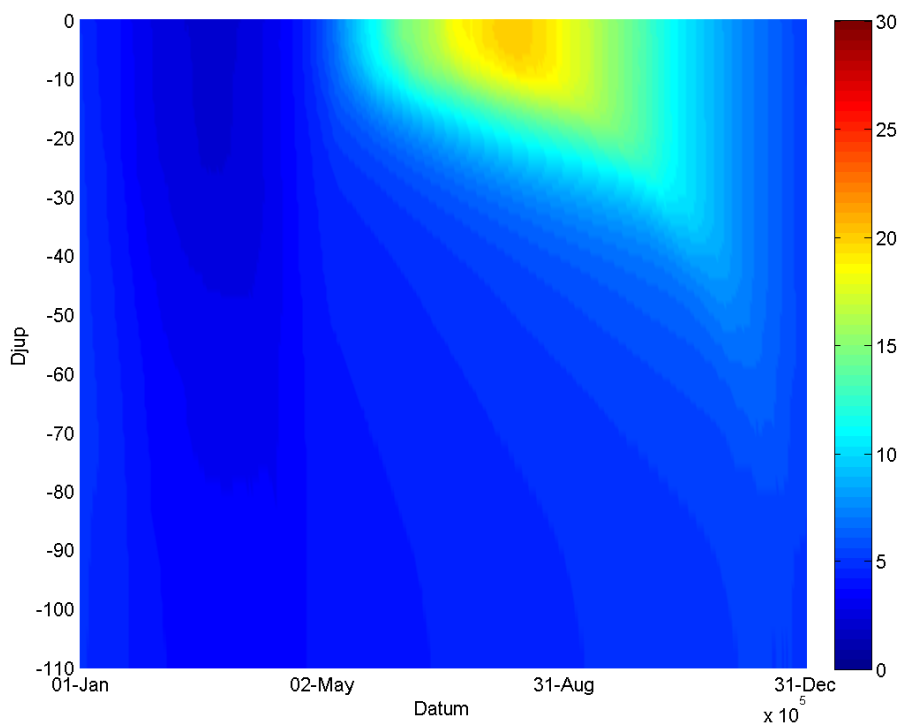
*Figur 15. Simulerad temperatur för alla djup under ett normalår(1997-2015) i Vättern.*



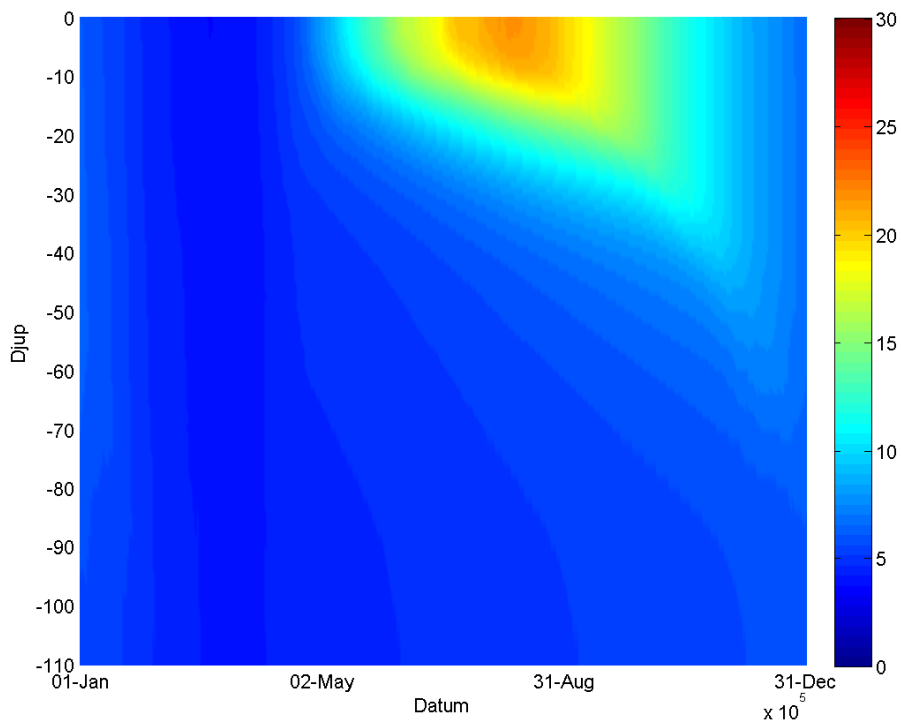
Figur 16. Simulerad temperatur för alla djup under ett normalår baserat på perioden 2032-2050 och med RCP 4.5 i Vättern.



Figur 17. Simulerad temperatur för alla djup under ett normalår baserat på perioden 2032-2050 och med RCP 8.5 i Vättern.



Figur 18. Simulerade temperatur för alla djup under ett normalår baserat på perioden 2080-2098 och med RCP 4.5 i Vättern.



Figur 19. Simulerad temperatur för alla djup under ett normalår baserat på perioden 2080-2098 och med RCP 8.5 i Vättern.



För att se hur temperatur och is förändras, enligt RCP 4.5 samt 8.5, under de framtida perioderna 2032-2050 och 2080-2098 har ett antal indikatorer valts ut, se Tabell 10. Medeltemperaturen ökar i både yt- och bottenvatten till perioden i mitten av seklet och ytterligare något till perioden i slutet av seklet. Skillnaden i medeltemperaturen är liten mellan RCP 4,5 och 8,5 i mitten av seklet men i slutet av seklet kan en större ökning ses, speciellt för RCP 8,5. Maxtemperaturen ökar med cirka en grad till mitten av seklet och ytterligare till slutet av seklet.

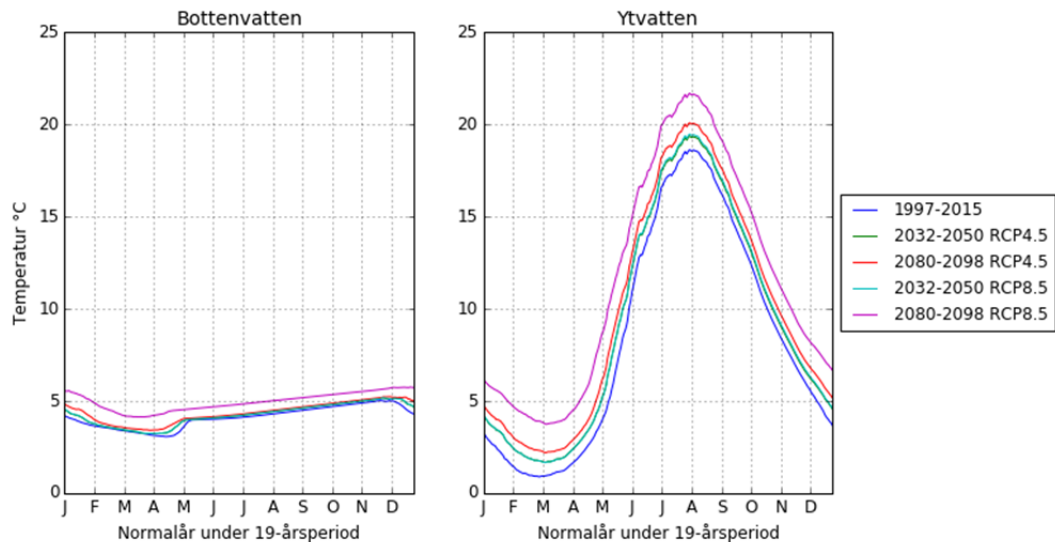
Förekomsten av dagar då temperaturen överstiger 5, 10, 15 respektive 20 grader i ytvattnet ökar i alla scenarier med störst ökning för RCP8.5 i slutet av seklet. Antalet dagar med skiktning ökar medan antalet dagar med is minskar.

*Tabell 10. Olika parametrar för vattentemperatur och is i Vättern, dels medelvärde för referensperioden 1997-2015, dels genomsnittlig förändring till de båda perioderna 2032-2050 och 2080-2098 samt de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 (lågt scenario) och RCP8.5 (högt scenario). I detta fall har det av beräkningstekniska skäl inte varit möjligt att beräkna osäkerheten i värdena, men värdena ska betraktas som ungefärliga förändringar. Därför har vi valt att presentera resultaten i halvgrader och hela antal dagar.*

	Period 1997-2015	Period 2032-2050 RCP4.5	Period 2032-2050 RCP8.5	Period 2080-2098 RCP4.5	Period 2080-2098 RCP8,5
Medeltemperatur ytvatten, grader C.	8,5	+1,0	+1,0	+1,5	+3,0
Medeltemperatur bottenvatten, grader C.	4,0	+0	+0	+0,5	+1,0
Maxtemperatur ytvatten, grader C	22,5	+0,5	+1,0	+1,5	+3,0
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvattnet >5 grader C	219	+18	+18	+31	+78
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvattnet >10 grader C	145	+12	+13	+22	+47
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvattnet >15 grader C	79	+13	+14	+24	+46
Antal dagar/år med en medeltemperatur i ytvattnet >20 grader C	6	+5	+6	+11	+38
Antal dagar/år med skiktning *	20	+2	+4	+5	+9
Antal dagar/år med is	24	-15	-15	-20	-24
Antal år med is	12 av 19	6 av 19	6 av 19	5 av 19	1 av 19

\*Skiktning definierats utefter den metod som beskrivs i stycke 3.1.2.

Temperaturen ökar i Vätterns yt- och bottenvatten för de framtida scenarierna jämfört med referensperioden. Temperaturen för ett normalår som baseras på någon av de tre 19-årsperioden redovisas i Figur 20. Störst skillnad är det mellan referensperioden och den framtida perioden 2080-2098 (RCP8.5).



Figur 20. Simulerad temperatur för bottenvattnen och ytvatten under ett normalår (1997-2015) i Vättern för referensperiod (blå) och framtidscenarier (övriga).

## 5 Diskussion och slutsatser

I denna rapport redovisas resultat från beräkningar av bl.a. framtida vattennivåer och vattentemperaturer. Resultatet från denna rapport kan användas t.ex. som underlag till samhällsplaneringen och som ett underlag för studier av påverkan på Vätterns ekosystem.

Konsekvenserna av dessa förändringar kommer att behandlas i en kommande rapport, där även Väner, Mälaren och Hjälmarren ingår.

### 5.1 Vattennivåer

I detta projekt har nya beräkningar för Vätterns vattennivå gjorts. De nya beräkningsresultaten skiljer sig dock inte så mycket från de tidigare (Johansson m. fl., 1995, German och Stensen, 2010 samt German m.fl. 2013). Den tidigare beräkningen för beräknad högsta vattennivå är från 1995 och sedan dess har modellerna utvecklats och mer än 20 år med nya observationsdata finns tillgängliga. Trots detta blir resultatet relativt likt det gamla då vi antar det lägre startvattenståndet (se stycke 4.1.3).

Det är inga stora förändringar i de nya resultaten jämfört med tidigare beräkningar för framtida vattennivåer (German och Stensen, 2010 samt German m.fl. 2013). Tidigare beräkningar gav en svag minskning av 100-års och 200-årsnivån i framtiden medan de nya beräkningarna indikerar en svag ökning, men skillnaderna är ändå inte så stora. Detta är första gången en klimatkänslighetsanalys för beräknad högsta vattennivå för Vättern görs.

För beräkningarna för framtida klimat finns också nya förutsättningar. Det finns nu en ny generation klimatscenarier (IPCC 2013) med två olika utsläppsscenarier, RCP4.5 och RCP8.5. När det gäller de höga nivåerna blir resultatet relativt lika mellan de båda scenarierna. RCP8.5 ger dock en större minskning av de låga nivåerna.

Det finns en del osäkerheter i beräkningarna. Den största osäkerheten ligger i hur mycket växthusgaser människan kommer släppa ut i framtiden. Det finns även osäkerheter i klimatmodellerna, t.ex. beroende på begränsad upplösning i både tid och rum.

I samtliga beräkningar för vattennivåer och tappningar har vi antagit att Vättern följer den nivå den skulle gjort om den var oreglerad. Detta stämmer mycket bra för dagens klimat, eftersom vattennivån i stort följer det naturliga. Även i beräkningarna för framtiden har vi antagit att vattennivån följer den naturliga, eftersom det inte finns några planer nu på att ändra Vätterns vattendom.

## 5.2 Vattentemperaturer och is

Det här är första gången beräkningar av vattentemperaturer i framtida klimat görs för Vättern. Trots att modellen är enkel ger den bra resultat för dagens klimat. Vi har dock haft vissa svårigheter att validera beräkningsresultatet eftersom det inte finns så mycket mätningar. Vi har dock kunnat jämföra resultatet för ytvattnet med en längre mätserie från Motalaviken.

Med den metoden vi har använt för beräkning av vattentemperatur och isförhållanden har vi av beräkningstekniska skäl inte kunnat beräkna någon osäkerhet i vattentemperaturen. Det ska dock påpekas att det i resultatet för framtida vattentemperaturer och is finns osäkerheter och att värdena ska betraktas som ungefärliga.

## 6 Tackord

Denna rapport har tagits fram i samarbete med en referensgrupp bestående av Christian Brun, Länsstyrelsen Örebro, Frida Moberg, Länsstyrelsen Jönköping, Lars Westholm Länsstyrelsen Västra Götaland, Tomas Ekelund, Länsstyrelsen Östergötland, Måns Lindell, Vätternvårdsförbundet, Annica Magnusson, Jönköpings kommun, Marie Kristoffersson, Motala kommun, Peder Österlöf, Tekniska verken och Henric Stöök, AB Göta kanalbolag. Vi vill tacka referensgruppen för värdefulla synpunkter och diskussioner.

Vi vill också tacka Johan Andreasson, Sten Bergström, Niclas Hjerdt, Lena Lindström och Sian de Koster på SMHI för stor hjälp under olika delar av arbetet med rapporten.

## 7 Referenser

Bergström, S. (1995) The HBV Model. In. Singh, V.P. (ed.). Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources publications, Highlands Ranch, Colorado, pp. 443-476.

German, J., Gustavsson, H. och Eklund, D. (2010). Förändrad regleringsstrategi för Vättern och möjligheter att klara ökade flöden genom Roxen. Rapport 31 2010. Dnr 2010/103/18.

German, J. och Stensen, B. (2010). Vattenstånd i Vättern i ett ändrat klimat. Rapport nr 53 2010.

German, J., Södling, J., Hallberg, K. och Andréasson, J. (2013). Högvattenstånd Vättern. PM SMHI Diariernr 2013/1228/10.4.

Hallberg, K., Asp, M., Berglöv, G., Caldarulo, L. och German, J. (2010). Analys av samvariation mellan faktorer som påverkar vattennivåvariationerna i Jönköping. SMHI Rapport nr 86.

- 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.
- Johansson, E., Sahlberg, J. och Olofsson, J. (1995). Dammdimensionering i Motala Ström, SMHI Dnr 9411-1568/203.
- Johansson, B. (2000). Areal precipitation and temperature in the Swedish mountains. An evaluation from a hydrological perspective. *Nordic Hydrology*, 31, 207-228.
- Johansson, B. och Chen, D. (2005). Estimation of areal precipitation for runoff modelling using wind data: a case study in Sweden. *Climate Research*, 29, 53-61
- Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M. and Bergström, S. (1997). Development and test of the distributed HBV-96 model. *Journal of Hydrology* 201, 272-288.
- Länsstyrelsen i Västra Götalands och Värmlands län (2011). Stigande vatten. En handbok för fysisk planering i översvämningshotade områden.
- Marmefelt, E., Arheimer, B. and Langner, J. (1999). An integrated biochemical model system for the Baltic Sea. *Hydrobiologia*, 393, 45-56.
- Marsaglia G, Tsang WW, Wang J (2003). "Evaluating Kolmogorov's Distribution". *Journal of Statistical Software* 8 (18): 1-4.
- MSB (2011). Identifiering av områden med betydande översvämningsrisk Steg 1 i förordningen (2009:956) om översvämningsrisker - preliminär riskbedömning. Dnr 2011-2996.
- MSB (2014). Vägledning för översvämningskartering av vattendrag. Fakta, inspirerande exempel och tips för en bra beställning.
- Sahlberg, J. (2009). The Coastal Zone Model. SMHI Reports Oceanography. No.98
- Sanner, H. och Losjö, K. (2010). Alternativa regleringar av Vättern för att minska de högsta vattenstånden. SMHI rapport nr 10 2010. Dnr 2000/198/204.
- 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. SMHI Klimatologi Nr 15.
- Strandberg, G., Bärring, L., Hansson, U., Jansson, C., Jones, C., Kjellström, E., Kolax, M., Kupiainen, 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.
- Svensk Energi, Svenska Kraftnät och SveMin (2015). Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar
- Yang, W., Andréasson, J., Graham, L.P., Olsson, J., Rosberg, J., and F. Wetterhall (2010) Distribution-based scaling to improve usability of regional climate model projections for hydrological climate change impact studies, *Hydrol. Res.*, 41, 211-229.

## Bilaga A Kalibreringsresultat Vättern

Exempel på kalibreringsresultat visas i Figur 21. Medelfelet för det modellberäknade naturliga vattenståndet under perioden 1961-2009 är 2 cm, medel av absolutfelet är 5 cm, största avvikelserna mellan observerat och modellerat vattenstånd är 31 cm. Studerar man enbart nivåer högre än 88,70 är fortfarande medel av absolutfelet 5 cm, men största avvikelserna minskar till 18 cm. Det ska i den här jämförelsen komma ihåg att naturliga vattenståndet räknas fram utifrån observerat vattenstånd och tappning i Motala och att beräkningen har ändrats så att det från februari 1995 sker som veckomedelvärde, medan de här gjorda jämförelserna avser största fel på dygnsbasis.



Figur 21. Exempel på kalibreringsresultat för HBV-modellen. Grön linje observerat naturligt vattenstånd under perioden maj 1997 till januari 2000 och röd linje modellerat vattenstånd. Det observerade vattenståndet är visat som veckomedel, medan det beräknade är dygnsmedel.

## Bilaga B Beräkning av 100-års- och 200-årsnivå.

I Tabell 11 visas resultat från beräkningen av 100-års- och 200-årsnivån. KS-testet tittar på största avvikelserna mellan datamaterialets empiriska fördelningsfunktion, och fördelningens fördelningsfunktion. Kolmogorov Smirnovs anpassningstest finns beskrivet av t.ex. Marsaglia m.fl. (2003).

Tabell 11. Resultat från beräkningar av 100-årsnivå och 200-årsnivå för Vättern.

Fördelningsfunktion	100-årsnivå		200-årsnivå		KS-test
	Värde (m)	95% konfidensintervall	Värde (m)	95% konfidensintervall	
<b>GEV</b>	89,01	88,94-89,05	89,03	88,95-89,07	0,54
<b>Weibull</b>	88,97	88,92-89,01	88,99	88,93-89,04	0,89
<b>Log Pearson typ III</b>	89,00	88,93-89,06	89,03	88,94-89,10	-
<b>Lognormal</b>	89,04	88,94-89,12	89,08	88,96-89,17	0,19
<b>Gumbel</b>	89,36	89,12-89,61	89,48	89,16-89,80	0,95

## Bilaga C. Varaktigheter vattenstånd och vattenföring

Förändringen i dagar mellan olika vattenstånd i ett framtida klimat för ett lågt utsläppsscenario (RCP4.5) respektive ett högt utsläppsscenario (RCP8.5) för de två perioderna 2021-2050 samt 2069-2098. I tabellen redovisas medelförändringen i dagar samt max-och minvärden för de olika scenarierna.

[m.ö.h]	RCP 4.5 2021-2050	RCP 8.5 2021-2050	RCP 4.5 2069-2098	RCP 8.5 2069-2098
>89,0	0 (0 till 0)	0 (0 till +1)	0 (0 till 0)	0 (0 till 0)
88,9-89	0 (-5 till +3)	0 (-5 till +7)	-1 (-5 till 0)	-1 (-5 till +1)
88,8-88,9	+1 (-9 till +6)	+1 (-7 till +17)	0 (-6 till +12)	-2 (-12 till +14)
88,7-88,8	-8 (-32 till -4)	-5 (-26 till +44)	-14 (-29 till -7)	-18 (-33 till +2)
88,6-88,7	-27 (-58 till -8)	-21 (-59 till +35)	-33 (-73 till +2)	-45 (-85 till +3)
88,5-88,6	-17 (-55 till +9)	-31 (-73 till -10)	-34 (-87 till -10)	-57 (-110 till -33)
88,4-88,5	-4 (-49 till +22)	-8 (-25 till +18)	-11 (-40 till -2)	-25 (-65 till +5)
88,3-88,4	+12 (-21 till +79)	+20 (-32 till +59)	+14 (-16 till +43)	+18 (-14 till +40)
88,2-88,3	+20 (-25 till +65)	+24 (-25 till +63)	+35 (-18 till +68)	+41 (+5 till +75)
88,1-88,2	+15 (-9 till +62)	+14 (-9 till +25)	+24 (-9 till +60)	+33 (+6 till +75)
88-88,1	+6 (-3 till +21)	+5 (-3 till +19)	+13 (-3 till +36)	+24 (-1 till +64)
87,9-88	+1 (0 till +5)	+1 (0 till +3)	+4 (0 till +23)	+18 (0 till +54)
<87,9	0 (0 till 0)	0 (0 till 0)	0 (0 till +3)	+14 (0 till +46)

*Förändringen i dagar mellan olika vattenföringar i ett framtida klimat för ett lågt utsläppsscenario (RCP4.5) respektive ett högt utsläppsscenario (RCP8.5) för de två perioderna 2021-2050 samt 2069-2098. I tabellen redovisas medelförändringen i dagar samt max-och minvärden för de olika scenarierna.*

[m <sup>3</sup> /s]	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
	2021-2050	2021-2050	2069-2098	2069-2098
>70	+1 (-7 till +14)	+1 (-7 till +21)	-1 (-7 till +11)	-1 (-7 till +15)
70-60	-5 (-15 till +13)	-2 (-14 till +28)	-8 (0 till -13)	-10 (-22 till +3)
60-50	-20 (-46 till +9)	-10 (-40 till +42)	-26 (-55 till +11)	-27 (-56 till +2)
50-40	-28 (-59 till +2)	-33 (-74 till +4)	-41 (-97 till 0)	-66 (-117 till -24)
40-30	-5 (-47 till +29)	-19 (-53 till +13)	-20 (-71 till +14)	-43 (-107 till -9)
30-20	+39 (-37 till +117)	+38 (-49 till +86)	+46 (-10 till +83)	+51 (+3 till +91)
20-10	+18 (-16 till +37)	+23 (-16 till +51)	+46 (-14 till +120)	+66 (+6 till +150)
<10	0 (0 till +3)	+1 (0 till +3)	+3 (0 till +11)	+32 (0 till +100)



## 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 klimatscenarioer
- 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 effekstudier
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
39. Anna Eklund, Jenny Axén Mårtensson, Sten Bergström och Elin Sjökvist (2015)  
Framtidens vattentillgång i Mälaren, Göta älv, Bolmen, Vombsjön och Gavleån. Underlag till Dricksvattenutredningen.
40. Anna Bohman (Centrum för klimatpolitisk forskning, C SPR) vid Linköpings universitet, Lotta Andersson, SMHI och C SPR, Linköpings universitet samt Åsa Sjöström, SMHI. (2016)  
Förslag till en metod för uppföljning av det nationella klimatanpassningsarbetet. Redovisning av ett regeringsuppdrag. December 2016.

41. Johan Södling (2016)  
Statistisk metodik för beräkning  
av dimensionerande havsvattenstånd  
(Ej publicerad)



**SMHI**

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

ISSN 1654-2258