SMHI

RAPPORT NR 2024-32

Klimatanalys för Göteborgs stad

Pärmbild.
Foto: Lo Birgersson.

RAPPORT NR 2024-32

TITEL
Klimatanalys för Göteborgs stad

FÖRFATTARE
Elin Sjökvist, Maria Andersson, Anna Eklund, Jonas German, Ola Kalén, Qianqian Li, och Maria Norman, SMHI

UPPDRAGSGIVARE
Göteborgs stad
Stadsbyggnadsförvaltningen
Box 2554, 403 17 Göteborg
Anna Karlsson
Telefon 031-368 1865
E-post anna.karlsson@stadsbyggnad.goteborg.se

PROJEKTANSVARIG
Elin Sjökvist, SMHI 601 76 Norrköping
Telefon 011-495 87 16
E-post elin.sjokvist@smhi.se

KLASSIFICERING
Allmän

SMHI DIARIENUMMER
2024/1819/4.1.3

VERSION 03 – 2025-01-16

Version	Datum	Utförd av
01	2024-12-05 Granskning	Sofia Åström
02	2024-12-19 Rättning av kommentarer	Elin Sjökvist och Maria Andersson
03	2025-01-16 Slutlig justering	Elin Sjökvist och Maria Andersson

Sammanfattning

Hur klimatet i Göteborg utvecklas i framtiden beror på hur väl människan lyckas minska utsläppen av växthusgaser. För att analysera det framtida klimatet används i rapporten antaganden om framtida utsläpp baserade på RCP-scenarier och SSP-scenarier och beräkningar från den senaste klimatforskningen. De framtida utsläppen är avgörande för resultaten som presenteras i rapporten.

Under slutet av 1900-talet var årsmedeltemperaturen i Göteborg ca 7,2°C. I slutet av seklet ökar årsmedeltemperaturen, ca 9,7°C enligt RCP4.5 och 11,3°C enligt RCP8.5. Det nya temperaturklimatet motsvarar ungefär det som under referensperioden fanns i Nederländerna respektive centrala Frankrike.

Temperaturen stiger under alla årstider. På vintern ökar temperaturen mest av alla årstider och går från minus till plusgrader i medeltemperatur under perioden 2011-2040. Antal frostdygn och antalet nollgenomgångar minskar i takt med att vintrarna blir varmare. Behovet av uppvärmning minskar.

Värmeböljorna förlängs, enligt RCP4.5 blir de nära dubbelt så långa i slutet av seklet, och enligt RCP8.5 nära tre gånger så långa som i slutet av 1900-talet. I samband med ökad värmeexponering ökar också behovet av kyla. Vegetationsperioden förlängs, enligt RCP4.5 ökar den med ca 2 1/2 månad. Enligt RCP8.5 är ökningen ca 3 1/2 månad, vilket innebär 10 månaders vegetationsperiod.

Nederbörden ökar över hela året. Vintern och våren uppvisar störst förändringar till slutet av seklet, och mest ökar nederbörden med RCP8.5. Skyfallen blir kraftigare och de ökar dubbelt så mycket med RCP8.5 som med RCP4.5.

I slutet av seklet förekommer snö endast enstaka dagar i Göteborg. Isperioden på sjöar förkortas succesivt i takt med uppvärmningen och isfria vintrar kommer bli allt vanligare. Ett minskat snötäcke kan leda till djupare tjäle. Men i Göteborg kommer minusgrader bli allt mer ovanliga och därmed kommer även förekomsten av tjäle minska efterhand.

Flödena i Göta älv beror i hög grad på tappningen från Vänern. Tillrinningen i Göta älvs avrinningsområde kommer förändras i ett framtida klimat, men regleringen förväntas överskugga förändringen, under förutsättning att Vänerns vattendom inte ändras. Maxflödet i älven kommer sannolikt bli ungefär som dagens i ett framtida klimat, men frekvensen och varaktigheten för tillfällen med maxtappningar ökar. Även de lägsta flödena kan öka i frekvens och varaktighet.

Flödets årsdynamik i Säveån, Mölndalsån och Lärjeån uppvisar marginella förändringar. Vinterflödena ökar något och på våren är flödena något lägre än idag. Även på sommaren och hösten finns en tendens till något lägre flöden. Tillfällen med höga flöden beror av ökad intensiv nederbörd. Höga flöden ökar i samtliga vattendrag. På grund av ökad avdunstning i ett varmare klimat blir även antalet dagar med lågflöden fler i samtliga vattendrag. Även brandrisken ökar pga ökar avdunstning.

Dricksvattenförsörjningen är beroende av ett relativt högt vattenflöde i Göta älv för att inte salt havsvatten ska tränga in till dricksvattenintaget. I ett varmare klimat stiger havsnivån och det kan bli vanligare med låga flöden. Båda dessa faktorer kan medföra en ökad saltvatteninträngning. Vid tillfällen med kraftig nederbörd kan föroreningar spolas ut i älven. I framtiden beräknas det bli vanligare med kraftig nederbörd, vilket kan leda till en sämre vattenkvalitet.

Medelvattennivån i havet stiger redan idag och kommer att fortsätta stiga i hundratals till tusentals år framöver. Till följd av ett förhöjt medelvattenstånd i framtida klimat ändras utgångsläget och högvattenhändelser som är relativt ovanliga idag blir mer vanliga i framtiden. För höga extremnivåer motsvarar dagens 200-årsnivå en händelse med en återkomstperiod på 10 år under ett medelhögt scenario och en återkomstperiod på cirka 3 år under ett mycket högt scenario år 2100. För låga extremnivåer råder det omvända, dvs lågvattenhändelser som är ovanliga idag blir än mer ovanliga i framtida klimat med ett högre medelvattenstånd.

Ordlista

Avdunstning	Här används avdunstning för summan av vatten som avgår till luften från mark eller vattenytor (evaporation) och från växlighet (transpiration).
Avrinningsområde	Ett avrinningsområde avgränsas ytterst av en ytvattendelare. All avrinning från området har ett gemensamt utlopp vid en given punkt i ett vattendrag. Avrinningsområdet definieras av uppströmsområden till denna punkt.
Ensemble	En ensemble är en samling olika klimatscenarier. Klimatscenarierna kan till exempel skilja sig åt med avseende på val av klimatmodell eller utsläpps- och strålningsscenario. Ett klimatscenario som ingår i en ensemble kallas för en medlem.
IPCC	The Intergovernmental Panel on Climate Change – FNs klimatpanel.
Klimatanpassning	Att anpassa samhället till nuvarande och framtida klimat.
Klimatindikator	Ett mått för att beskriva klimatet och dess eventuella förändring.
Klimatmodell	En matematisk beskrivning av jordens klimat.
Klimatscenario	En beräkning av det framtida klimatet utifrån en eller flera klimatmodeller och ett utsläppscenario.
Konfidensintervall	Konfidensintervall är en skattning av osäkerheten hos beräkningar utifrån en begränsad mängd data.
Lågflöde	Här definieras gränsen för ett lågflöde som ett medelvärde av varje års lägsta vattenflöde (MLQ) för en given tidsperiod.
Oreglerade vattenflöden	Vattenflöden som inte är påverkade av reglering.
RCP	Representative Concentration Pathways – Framtidsscenarion som beskriver strålningsdrivningen i atmosfären utifrån antaganden om framtida utsläpp.
Reglering	Åtgärd för ändring av vattenföringen i ett vattendrag eller avbördningen från en sjö (indirekt vattenståndet) till förmån för utvinnande av vattenkraft, vattenförsörjning och torrläggning m.m.
SSP	Shared Socioeconomic Pathways - Beskriver fem möjliga socioekonomiska utvecklingar in i framtiden utifrån hur väl vi lyckas minska utsläppen och klimatanpassa samhället.
Skyfall	SMHIs definition är ”minst 50 mm nederbörd på en timme eller minst 1 mm på en minut”. Men även mindre regnmängder kan få konsekvenser förknippade med skyfall.
Stålningsdrivning	Strålningsdrivningen är skillnaden mellan hur mycket energi solinstrålningen som träffar jorden innehåller och hur mycket energi som jorden strålar ut i rymden igen. Denna energi mäts i enheten watt per kvadratmeter, W/m². Strålningsdrivningen ökar då mängden växthusgaser ökar i atmosfären, vilket resulterar i en global ökning av temperaturen på jorden.
Vattenflöde	Ett mått på hur mycket vatten per tidsenhet som passerar genom en tvärsektion av vattendraget. I Sverige används enheten m³/s eller l/s för vattenflöde.
Vattenföring	Se vattenflöde.
Värmebölja	Innebär en längre period med höga dagstemperaturer. Det finns ingen vedertagen definition och det kan förekomma olika definitioner.
Växthusgaser	Gaser i atmosfären som har den egenskapen att de absorberar jordens värmestrålning och på så sätt hindrar en del av värmestrålningen att försvinna från atmosfären och ut i rymden. Exempel på växthusgaser är koldioxid, metan och vattenånga.
Återkomsttid Återkomstperiod	Med en händelses återkomsttid eller återkomstperiod menas att händelsen i genomsnitt överträffas en gång under denna tid. Ett värde som har en återkomsttid på 100 år överträffas i genomsnitt en gång på 100 år. Det innebär att sannolikheten är 1% varje enskilt år. Eftersom exponering för händelsen sker under flera år blir den ackumulerade sannolikheten avsevärt större, exempelvis blir den ackumulerade sannolikheten 63% att 100-årsnivån överskrids minst en gång under en 100-årsperiod. Det är alltså mer troligt att händelsen överskrids under 100 år än att den inte gör det.

Innehåll

Sammanfattning 5
1 Bakgrund 1
2 Klimat i förändring 1
2.1 Väder eller klimat? 1
2.2 Klimatförändringen påverkar hela jorden 2
2.3 Klimatförändringen i Göteborg fram till idag 3
3 Metod och presentation 7
3.1 Beräkning av framtida klimat 7
3.2 Osäkerheter och säkerheter 9
3.3 Uppdatering av underlag 10
4 Temperatur 10
4.1 Årsmedeltemperatur 11
4.2 Medeltemperatur säsonger 12
4.3 Antal frostdygn 13
4.4 Högsommardygn 13
4.5 Längsta period med högsommardygn 14
4.6 Antal dagar med nollgenomgångar 15
4.7 Vegetationsperiodens längd 15
4.8 Kylgraddagar 16
4.9 Graddagar för uppvärmning 17
5 Nederbörd 17
5.1 Årsmedelnederbörd 17
5.2 Medelnederbörd säsong 18
5.3 Antal torra dygn 19
5.4 Längsta period med torra dygn 20
5.5 Antal dygn med extrem nederbörd (20 mm) 21
5.6 Skyfall 22
6 Vind 23
7 Snö och is 25
7.1 Antal dagar med snö 25
7.2 Isperiod 25
7.3 Tjäle 26
8 Vattenföring 26
8.1 Göta älv 27
8.2 Årsdynamik vattenföring 28
8.3 Höga flöden 29
8.4 Beräknat högsta flöde (BHF eller Metod I flöde) 30
8.5 Antal dagar med lågflöden 31

9 Vattentillgång 31
10 Brandrisk 32
11 Havsnivåer 32
11.1 Observationer av havsvattenstånd 32
11.2 Medelvattenstånd i dagens klimat 33
11.3 Global havsnivåhöjning 34
11.4 Historisk havsnivåhöjning 36
11.5 Medelvattenstånd i framtida klimat 37
11.6 Karakteristiska havsnivåer 39
11.7 Vanligt förekommande havsnivåer 40
11.7.1 Dagens klimat 40
11.7.2 Framtida klimat 43
11.8 Extremnivåer i dagens klimat 45
11.8.1 Höga extremnivåer 45
11.8.2 Låga extremnivåer 47
11.9 Extremnivåer i framtida klimat 48
11.9.1 Höga extremnivåer 48
11.9.2 Låga extremnivåer 52
11.10 Säkerheter och osäkerheter i beräkningar av framtida havsnivå 53
11.11 Ny forskning sedan IPCC:s rapport AR6 2021 54
12 Havsis 55
12.1 Observationer av havsis 55
12.2 Issäsong 56
12.3 Istjocklek och iskoncentration 59
12.4 Historisk förändring av isutbredning 62
13 Referenser 62
14 Bilaga 66
14.1 Klimatindikatorer extrem nederbörd 66
14.2 Standardavvikelse 67
14.3 Havsnivåer 68
14.3.1 Metodik framtida medelvattenstånd 68
14.3.2 Metodik extremnivåer 68
14.3.3 Höga extremnivåer i framtida klimat 69
14.3.4 Låga extremnivåer i framtida klimat 70
14.3.5 Frekvenstabeller av havsvattenstånd 71
14.3.6 Antaganden, osäkerheter och konfidensintervall 77
14.4 Havsis 78
14.4.1 Issäsong 78
14.4.2 Istjocklek och iskoncentration 80

1 Bakgrund

Klimatförändringen innebär stora utmaningar för alla delar av samhället, och alla sektorer måste bidra till att både minska utsläppen och anpassa sin verksamhet till framtidens klimat. Stadsbyggnadsförvaltningen i Göteborgs stad ansvarar för att tillhandahålla kunskaps- och beslutsunderlag i den översiktliga planeringen. I maj 2024 antog Kommunfullmäktige Göteborgs stad en plan för klimatanpassning 2024–2026. I planen anges att klimatanalyserna löpande behöver aktualiseras och utvecklas.

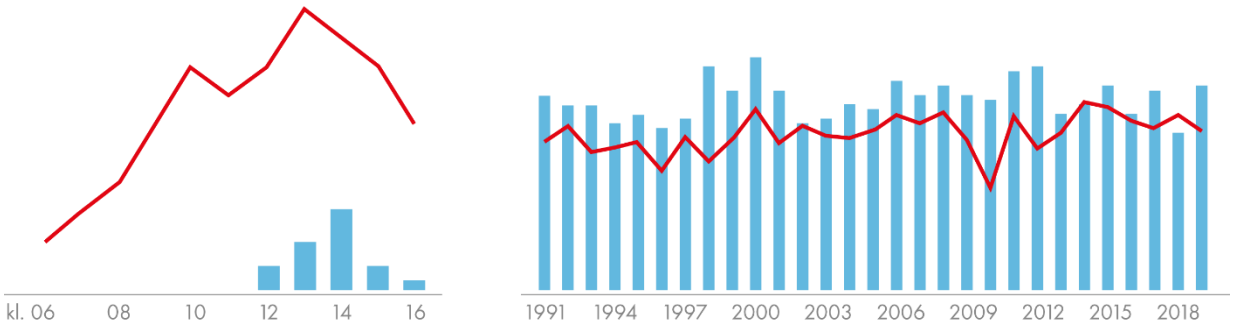
Nuvarande kunskapsunderlag utgår bland annat från Klimatanalys för Västra Götalands län som SMHI utförde på uppdrag av Länsstyrelsen i Västra Götaland 2011. Sedan kunskapsunderlaget togs fram för nästan 15 år sedan har observationsserierna blivit längre och nya klimatscenarier har utarbetats av IPCC och SMHI. Staden ser därför ett behov av att uppdatera den klimatanalys som gjordes av Länsstyrelsen, utifrån ny kunskap och nya metoder.

2 Klimat i förändring

I detta kapitel beskrivs hur en klimatförändring identifieras, övergripande konsekvenser av nuvarande klimatförändring, samt Göteborgs klimatförhållanden och hur klimatet här förändrats hittills.

2.1 Väder eller klimat?

I media rapporteras regelbundet om översvämningar, torka, stormar, onormalt kalla eller varma förhållanden på olika platser på jorden. Är dessa ett bevis på en pågående klimatförändring? En enskild väderhändelse kan aldrig vara ett bevis på en klimatförändring, men om förekomsten av olika händelser förändras över en längre tid kan de tillsammans visa att klimatet förändras. Figur 1 illustrerar skillnaden mellan väder och klimat. Den vänstra figuren visar data på enskilda händelser vid ett givet klockslag (väder) och den högra statistik på flertalet händelser under en längre tidsperiod (klimat).



Figur 1. Illustrationer av väder och klimat. Den vänstra figuren visar ett exempel på väderobservationer och den högra väderstatistik under en längre tidsperiod, dvs klimat.

Väder är en enskild händelse som sker vid en viss tidpunkt på en viss plats. Det kan vara en observerad händelse, något som inträffar just nu, eller en väderprognos några dagar in i framtiden.

Klimat är statistik på väder över en lång tidsperiod. Ofta används 30-årsperioder för att definiera klimatet på en specifik plats. Det kan vara medeltemperatur, antal värmeböljor eller sannolikheten för ett skyfall.

En *klimatförändring* är skillnaden i klimat mellan två tidsperioder på en given plats. Förändringen kan t.ex. beskrivas mellan två historiska tidsperioder eller mellan en historisk och en framtida. Det kan vara temperaturökning, minskad nederbörd eller stigande havsnivå. En klimatförändring kan oftast inte beskrivas *inom* en 30-årsperiod, då den naturliga variationen i vädret är för stor.

2.2 Klimatförändringen påverkar hela jorden

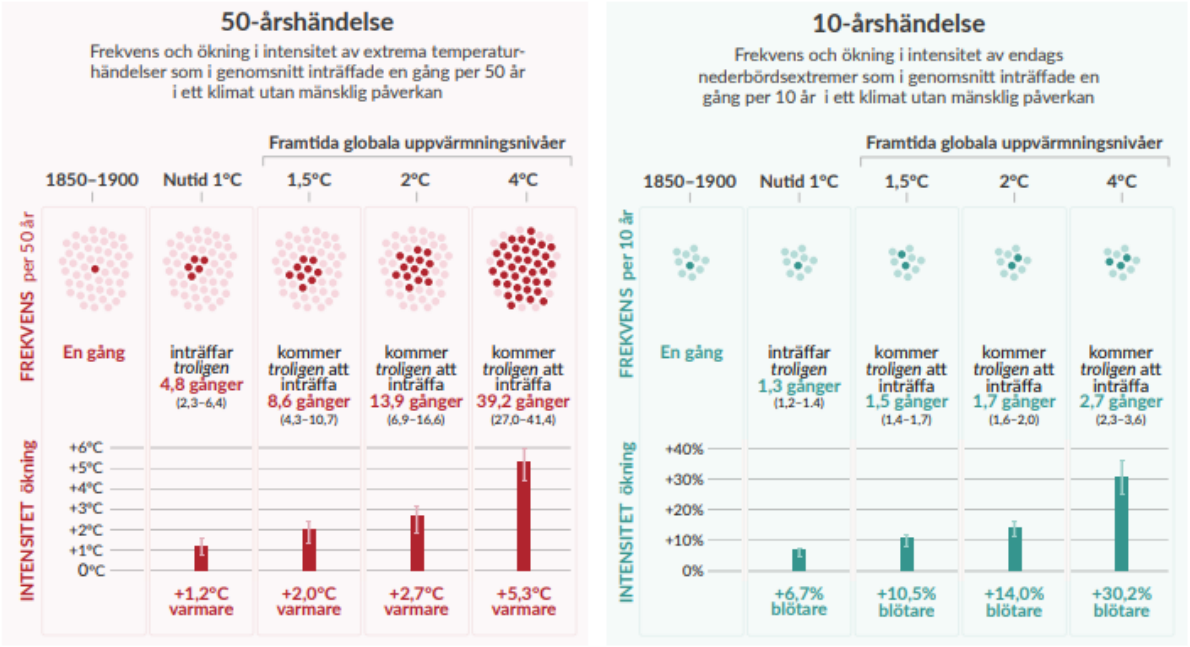
Jordens klimat är i ständig förändring och jorden har historiskt varit både kallare och varmare än den är idag. Klimatet kan till exempel förändras av kontinentalförskjutningar, vulkanutbrott, solens intensitet, jordens rörelse runt solen och mängden växthusgaser i atmosfären. Sedan 1800-talet har människan ökat mängden växthusgaser i atmosfären, vilket har resulterat i en stigande temperatur på jorden. IPCC, FN:s klimatpanel, beskriver i sin senaste sammanställning (IPCC, 2021) människan som huvudorsak till den uppvärmning som skett sedan 1800-talet:

> *Det är otvetydigt att mänsklig påverkan har värmt upp klimatsystemet. Omfattande och snabba förändringar […] har skett.*
>
> *Omfattningen av den senaste tidens förändringar i klimatsystemet […] saknar motstycke många århundraden till många årtusenden tillbaka i tiden.*

Så länge människan fortsätter att släppa ut växthusgaser så kommer uppvärmningen att fortsätta. Globalt sett kommer detta innebära mer extremväder i form av fler värmeböljor och mer intensivt regn. Havsnivån stiger vilket ger en ökad risk för översvämning från havet. Figur 2 visar förändringen hos värmeextremer och extrem nederbörd beroende på hur många grader jorden värms upp.

Till vänster beskrivs en värmehändelse, exempelvis värmebölja, som i genomsnitt inträffade en gång på 50 år under andra halvan av 1800-talet. Vid 1 grads uppvärmning, vilket jorden redan passerat, inträffar samma värmebölja 4,8 gånger på 50 år. Om jorden värms upp med 4 grader kommer samma värmebölja inträffa i genomsnitt nästan varje år (39,2 gånger på 50 år).

Extrem nederbörd som i genomsnitt inträffade en gång på 10 år i slutet av 1800-talet kommer inträffa 2,7 gånger oftare om jorden värms upp med 4 grader. En 10-årshändelse i det nya klimatet kommer vara 30 % blötare.

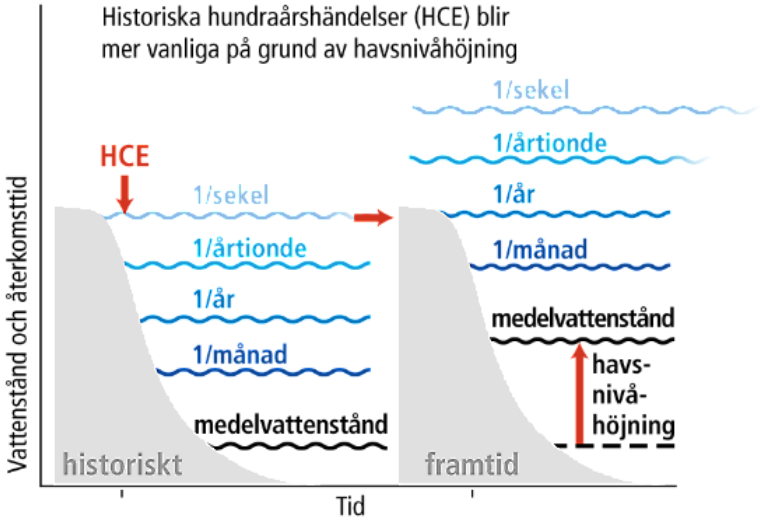


Figur 2. Beräknade förändringar i intensitet och frekvens av värmeextremer på land (50-årshändelse) och extrem nederbörd (10-årshändelse). Från SMHI, 2021.

Globalt sett kan översvämningar från havet bli vanligare i framtiden. I ett varmare klimat expanderar havsvattnet och isen på land smälter och rinner ut i havet, och havsnivån stiger. När ett lågtryck passerar en kuststräcka kan vattenståndet stiga och förbli högt under ett antal timmar eller upp till något dygn. En så kallad högvattenhändelse inträffar. Hur högt vattenståndet blir avgörs bland annat av hur mycket vatten som finns i området innan händelsen, vindens styrka och riktning samt lufttrycket. Under vissa förhållanden stiger vattenståndet till mycket höga nivåer och orsakar översvämningar.

När medelvattenståndet stiger på grund av den pågående klimatförändringen höjs utgångsläget för en högvattenhändelse, vilket gör att den tillfälliga höjningen når ännu längre upp på land än idag vid samma väderhändelse. Med ett högre utgångsläge krävs ett mindre bidrag från vädret för att nå samma nivåer som vid dagens högvattenhändelser. Detta gör att nivåer som uppnås ganska sällan idag, kommer att uppnås betydligt oftare.

Figur 3 illustrerar förhållandena i ett historiskt och framtida klimat, med ett antal högvattenhändelser. Högvattenhändelserna anges med återkomsttiderna månad, år, årtionde och sekel.



Figur 3. Skiss för hur regional havsnivåhöjning påverkar beräknade extrema högvattenhändelser. Extrema högvattenhändelser visas med deras genomsnittliga återkomsttid historiskt och i framtiden (inte skalenlig). Som en konsekvens av den genomsnittliga höjningen av havsnivån beräknas lokala havsnivåer som historiskt inträffat en gång per sekel (HCE - Historical Centennial Events) återkomma oftare i framtiden. (SMHI, 2020).

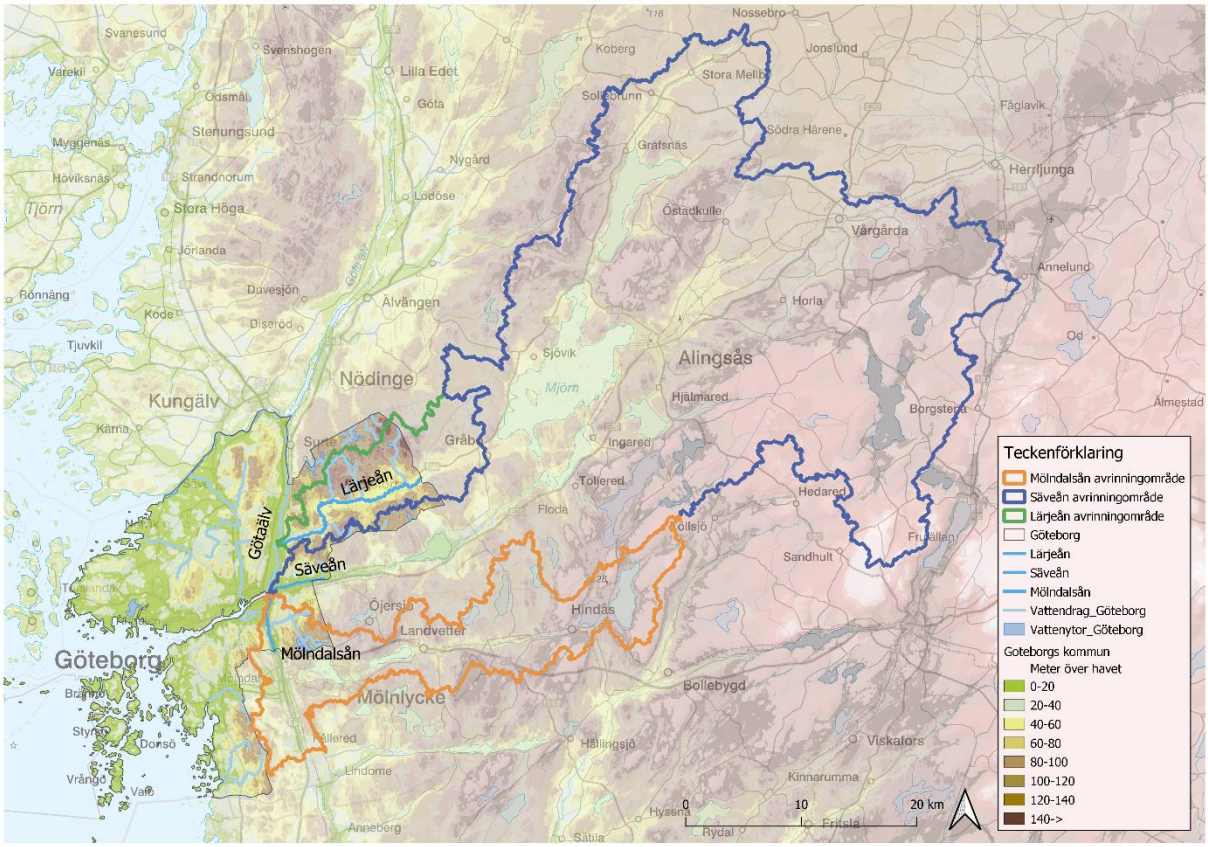
2.3 Klimatförändringen i Göteborg fram till idag

Klimatet i Göteborg påverkas i hög grad av havet. De flesta vädersystem med regn, snö och blåst bildas på Atlanten och förs in över Sverige med västvindar. Då Göteborg ligger oskyddat mot havet får staden ta en stor del av vinden och nederbörden i dessa vädersystem. Förutom nederbörd och vind bidrar havet med att dämpa temperaturvariationer. Det innebär något mildare väder på vintern och svalare väder på sommaren, jämfört med platser längre in över land.

Denna skillnad märks även inom Göteborgs stad, då skärgården är mer väderutsatt jämfört med exempelvis Angered i östra Göteborg. Centrala Göteborg som har mycket hårdgjorda ytor är mer utsatt för värme, då luften lättare blir stillastående och värme reflekteras från mark och fasader. Det innebär att det vid en värmebölja kan vara flera grader varmare i innerstaden än i skärgården eller i skogsområden i utkanten av staden.

Inom kommunen finns en nederbördsgradient, som följer topografin. När nederbörd i samband med lågtryck från Atlanten når land hävs den, det vill säga trycks uppåt i atmosfären. Ju mer hävning, desto mer intensifieras nederbörden. Det innebär att mer nederbörd faller i kommunens östra del än i den västra.

De största vattendragen i Göteborg är Göta älv, Lärjeån, Säveån och Mölndalsån. Vattendragen samlar vatten från stora områden utanför staden. Figur 4 visar Göteborgs stad samt avrinningsområdena för Lärjeån, Säveån och Mölndalsån. Göta älvs avrinningsområde ryms inte inom kartan då det sträcker sig norr om Värmland. Färgerna i bakgrundskartan anger höjden över havet.

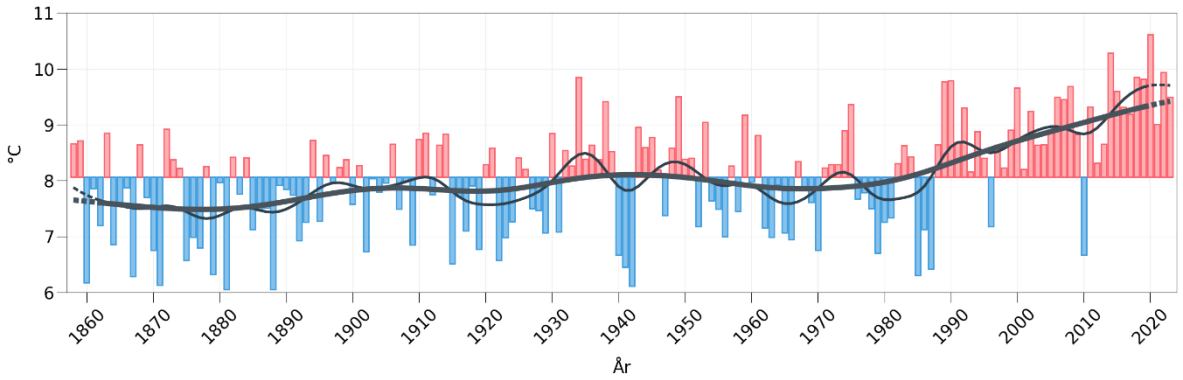


Figur 4. Karta över Göteborgs stad (grå linje) med vattendrag aktuella i klimatanalysen. Grön, blå och orange linje visar vattendragens avrinningsområden. Kartans färger visar höjd över havet.

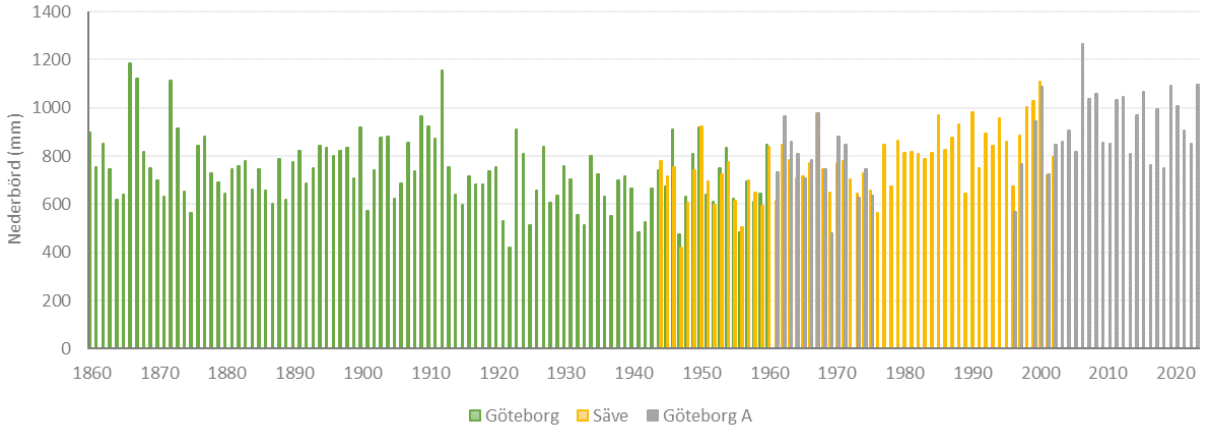
Figur 5 visar tidsutvecklingen av årsmedeltemperatur i centrala Göteborg sedan 1858. Staplarna visar årsvärden i avvikelse från medeltemperaturen för hela perioden. Tidsserien baseras på flera mätstationer som sammanställts av SMHI. Linjerna visar ett 10-årigt och ett 30-årigt löpande medelvärde. Det är tydligt att det skett en uppvärmning sedan 1800-talet. Uppvärmningen är framförallt tydlig de senaste decennierna, medeltemperaturen för perioden 1991-2020 har ökat med 1,5 grader jämfört med perioden 1861-1890. Motsvarande siffra för hela Sverige är 1,9 grader. Sedan 1988 har alla år utom 1996 och 2010 varit varmare än medelvärdet för den föregående 30-årsperioden 1961-1990. Den främsta orsaken till uppvärmningen beror på människans utsläpp av växthusgaser.

Figur 6 visar årsnederbörden i Göteborg sedan 1860 baserat på tre mätstationer. Mätningar innan 1933 har lägre tillförlitlighet pga dåvarande mätutrustning. Nederbörden har ökat något i Göteborg de senaste decennierna.

I Bilaga 14.1 finns historiska klimatindikatorer på extrem nederbörd; genomsnittlig maximal dygnsnederbörd, absolut största dygnsnederbörd och antal dygn med minst 40 mm nederbörd. Indikatorerna är baserade på mätningar över hela Götaland. Historiskt har den extrema nederbörden varierat mellan perioder med stora dygnsmängder och perioder med mindre nederbörd. Någon tydlig långsiktig trend är svår att identifiera.

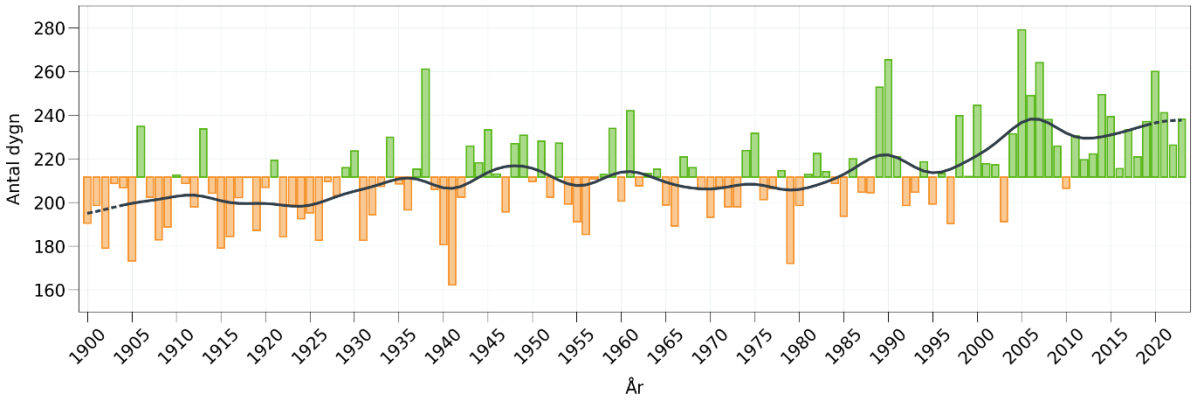


Figur 5. Årsmedeltemperatur i centrala Göteborg 1858-2023. Staplarna visar avvikelse från medelvärdet för hela tidsperioden. Data kommer från flera mätstationer som har homogeniserats. Den tunna linjen visar ett 10-årigt löpande medelvärde och den tjocka linjen visar ett 30-årigt löpande medelvärde. Från SMHIs klimatindikatorer (2024).



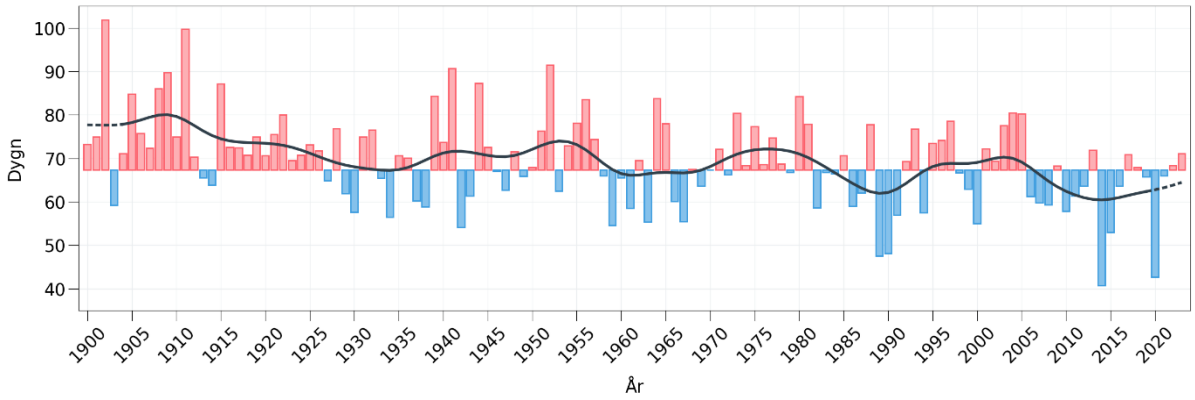
Figur 6.Summerad årsnederbörd från tre mätstationer i Göteborg; Göteborg i Vasastaden (1860-1960), Säve (1944-2002) och Göteborg A vid Olskroksmotet (1961-2023, dock saknas data 1972, 1976-1995 och 1998). Observationer före 1933 har lägre tillförlitlighet.

Vegetationsperioden förlängs i ett varmare klimat. Figur 7 visar vegetationsperiodens längd i Götaland. Vegetationsperioden är här definierad som skillnaden mellan det första dygnet i en period om sex dygn då dygnmedelstemperaturen under alla sex dygnen är minst +5,0°C, och dagen före den första perioden om sex dygn efter den 1 juli då alla sex dygn har en dygnsmedeltemperatur under +5,0°C. Vegetationsperiodens längd har ökat i Götaland under de senaste decennierna.



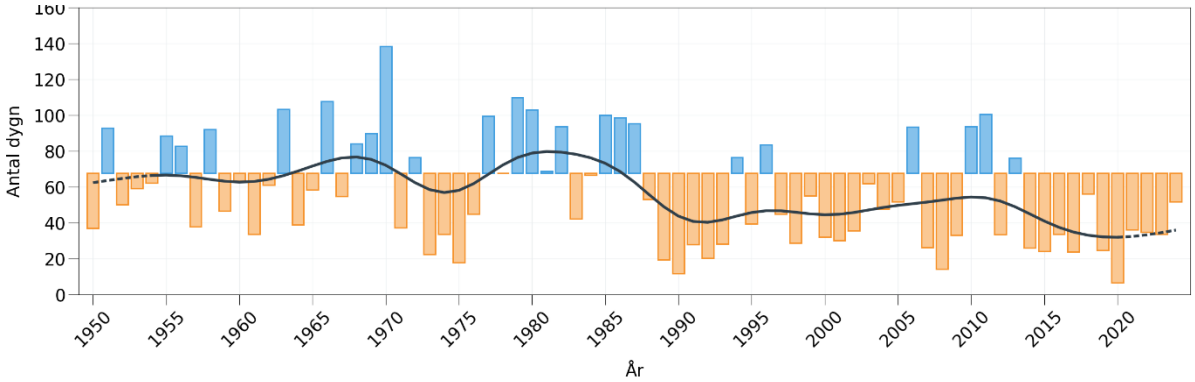
Figur 7. Vegetationsperiodens längd i Götaland. Gröna staplar visar fler och orangea visar färre antal dygn för vegetationsperioden än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Från SMHIs klimatindikatorer (2024).

Figur 8 visar antal dygn med nollgenomgångar i Götaland. Ett dygn med en nollgenomgång definieras som ett dygn där den högsta temperaturen överstiger 0 °C och den lägsta temperaturen understiger 0 °C. Antalet nollgenomgångar har minskar i Götaland de senaste decennierna, då dygn med enbart plusgrader blir vanligare.



Figur 8. Antal dygn med nollgenomgångar i Götaland per år. Röda staplar visar fler och blå staplar visar färre antal dygn med nollgenomgångar än medelvärdet för normalperioden 1961–1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Från SMHIs klimatindikatorer (2024).

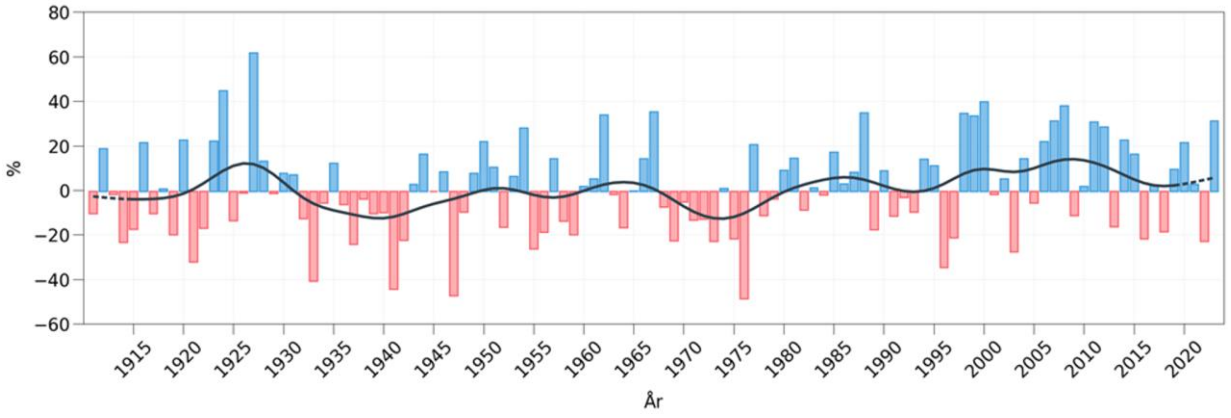
När klimatet blir varmare kommer allt mer nederbörd som regn i stället för snö. Figur 9 visar antal dygn med snötäcke i Götaland. Antalet dagar med snö har minskat i Götaland de senaste decennierna.



Figur 9. Antal dygn med snötäcke i Götaland. Blå staplar visar fler och orangea visar färre dygn än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Året som visas representerar det år då säsongen avslutas. Det vill säga, 2000 står för säsongen 1999/2000. Från SMHIs klimatindikatorer (2024).

När temperaturen ökar blir vattnets kretslopp mer intensivt och både nederbörden och avdunstningen har ökat över Sverige, vilka båda påverkar flödena i vattendragen. I Västerhavets vattendistrikt, som innefattar bl a Hallands, Västra Götalands och Värmlands län, har nederbördsökningen och den ökade avdunstningen tagit ut varandra, så i medeltal syns ingen tydlig förändring av flödena (Figur 10).

Däremot har vattenflödets variation under året förändrats. Vintertid har medelvattenflödet ökat sedan början av 1990-talet på grund av en ökad nederbörd och mildare vintrar som leder till avsmältning av snötäcket. Detta gäller både små och stora vattendrag i Västerhavets vattendistrikt. I denna del av landet har vårfloden minskat och uteblir allt oftare. Sommartid syns en viss minskning av vattenflödena i de sydvästra delarna av landet, på grund av den ökade avdunstningen.



Figur 10. Medelflöde i Västerhavets vattendistrikt 1911–2023. Staplarna visar genomsnittlig avvikelse i medelvattenflöde för mätstationer i Västerhavets vattendistrikt per år. Blå staplar visar högre och röda lägre värden än medelvärdet för normalperioden 1961–1990. Den grå linjen visar ett löpande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Från SMHIs klimatindikatorer (2024).

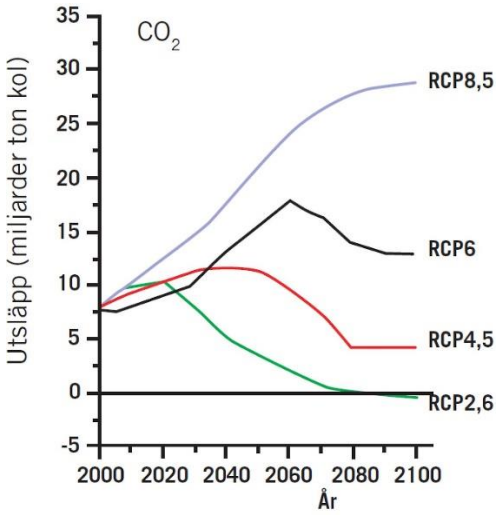
Till följd av den pågående klimatförändringen ökar havsnivån i Göteborg, och låglänta delar av staden drabbas redan idag av översvämningar från havet. Havsnivåhöjningen motverkas till viss del av landhöjningen som pågått sedan den senaste istiden. Sedan slutet av 1970-talet har havet i medeltal stigit cirka 15 cm i Göteborg på grund av klimatförändringen, då effekten av landhöjningen har tagits bort (SMHI - Klimatindikator - havsnivå, 2024).

3 Metod och presentation

I rapporten beskrivs det historiska och framtida klimatet i Göteborg utifrån observerat klimat och beräknat framtida klimat. I följande stycken beskrivs utgångspunkter och antaganden som ligger till grund för analyserna.

3.1 Beräkning av framtida klimat

Klimatets utveckling i framtiden beror på hur atmosfärens innehåll av växthusgaser förändras. För att kunna studera framtidens klimat behövs därför antaganden om hur utsläppen av växthusgaser kommer att bli. I IPCCs femte sammanställning (IPCC, 2013) introducerades RCP-scenarierna (Representative Concentration Pathways) som beskriver ett antal olika utsläppsbanor fram till år 2100 (Figur 11). Utsläppen av växthusgaser påverkar växthuseffekten. Ett mått på hur växthuseffekten förändras i framtiden är strålningsdrivning, som mäts i effekt per kvadratmeter (W/m^2). Ju mer utsläpp av växthusgaser desto mer strålningsdrivning. RCP-scenarierna får sina namn från strålningsdrivningen vid år 2100.

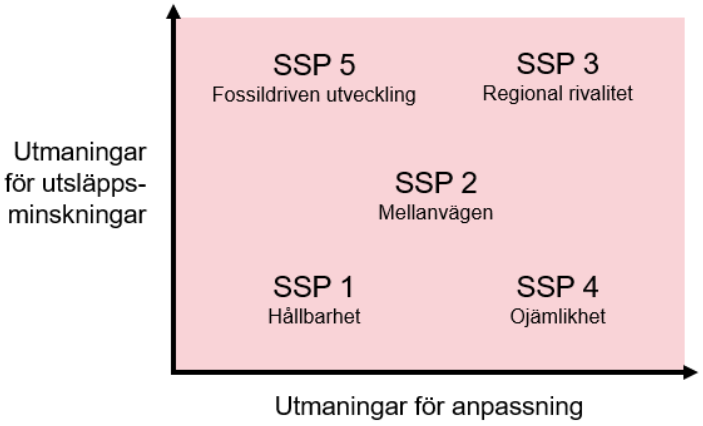


Figur 11. Utsläpp av koldioxid vid olika RCP-scenarier angivet som miljarder ton kol.

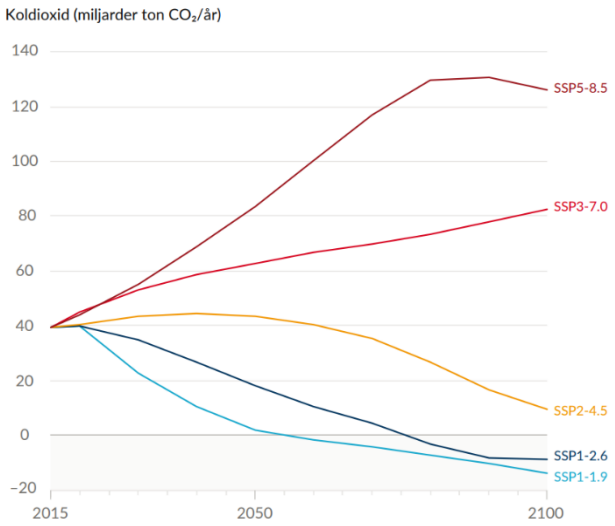
RCP8.5 beskriver en framtid med fortsatt kraftig ökning av växthusgasutsläpp. RCP6.0 och RCP4.5 innebär att utsläppen ökar ungefär fram till dryga mitten, respektive knappa mitten, av seklet och minskar därefter. RCP2.6 beskriver att vi från år 2020 minskar utsläppen, vilket innebär att detta scenario ligger närmast målen för Parisavtalet. Scenarierna är utvecklade för att ge en bild av olika tänkbara utvecklingar. Vilket utsläppsscenario som kommer närmast verkligheten beror på dagens och framtidens utsläpp av växthusgaser.

I IPCCs sjätte sammanställning (IPCC, 2021) introducerades SSP-scenarier. SSP står för Shared Socioeconomic Pathways och beskriver fem möjliga samhällsutvecklingar in i framtiden utifrån hur väl vi lyckas minska utsläppen och klimatanpassa samhället. SSP2 beskriver en framtid som följer den historiska utvecklingen, medan de andra går i fyra olika riktningar, se Figur 12. Samtliga innehåller beskrivningar om befolkningsmängd, ekonomisk tillväxt, utbildning, urbanisering och teknisk utveckling. Antaganden om samhällsutveckling kan kombineras med antaganden om strålningsdrivning. Ett exempel är ”SSP2-4.5” där ”2” anger samhällsutveckling och 4.5 anger strålningsdrivningen år 2100. Se Figur 13 för exempel där SSP-scenarier kombinerats med en strålningsdrivning.

Varken IPCC eller SMHI gör någon bedömning av vilket SSP-scenario som är mest sannolikt. Snarare kan världen utvecklas på flera olika sätt beroende på politiska beslut inom en rad olika områden, där olika vägval är möjliga.



Figur 12. De fem SSP-scenarierna beskrivs utifrån utmaningar för utsläppsminskningar och klimatanpassning.



Figur 13. Utsläppskurvor för SSP-scenarier med angiven strålningsdrivning. Från SMHI, 2021.

Klimatindikatorerna som presenteras i denna rapport baseras främst på scenarierna RCP4.5 och RCP8.5, då de täcker in en stor variationsbredd avseende framtidens koncentrationer av växthusgaser i atmosfären. Båda scenarier resulterar dock i högre uppvärmning än vad Parisavtalet anger. Vid framtagandet av denna rapport finns endast SSP-scenarier tillgängliga för klimatindikatorn framtida havsnivåhöjning.

För att göra beräkningar av det framtida klimatet krävs klimatmodeller, de är matematiskt formulerade beskrivningar av de fysikaliska processerna i klimatsystemet. Det är mycket omfattande beräkningar som sker i flera steg på superdatorer. En beräkningskedja består ofta av både en global klimatmodell, en regional klimatmodell och ett RCP-scenario. Ett sådant resultat kallas för *klimatscenario*.

Vid analyser av framtida klimat används alltid så många klimatscenarier som möjligt. De grupperas efter utsläppsscenario, eller RCP-scenario i så kallade *ensembler*. Genom att studera ensembler ges det mest robusta resultatet. Underlaget i denna rapport är baserat på SMHI:s scenariotjänst som innehåller över 100 klimatscenarier där flera globala och regionala klimatmodeller inkluderas.

För analyser av flöden i vattendrag och snö krävs ytterligare modellering med hjälp av en hydrologisk modell. Modellen använder temperatur och nederbörd från klimatscenarierna för att beräkna framtida hydrologiska förhållanden i mark och vattendrag.

För beräkningar av havsvattenstånd används både klimatmodeller och modeller som beskriver avsmältningen från Antarktis, Grönland och glaciärer på land. Beräkningar för havsnivån anpassas till Sveriges kust och Göteborg genom att ta hänsyn till den lokala landhöjningen.

3.2 Osäkerheter och säkerheter

Information om framtida klimat bygger på avancerade modeller med olika antaganden om klimatprocesser och olika sätt att implementera dessa. Det innebär flera källor till osäkerheter, varav de främsta gäller klimatets naturliga variationer, fysikaliska beskrivningar av klimatsystemet och framtida utsläpp av växthusgaser.

Den naturliga variationen innebär att klimatet varierar naturligt från år till år. Beroende på hur stor trenden i klimatförändringen är jämfört med storleken på den naturliga variationen, kan det vara svårt att urskilja klimatförändringen från den naturliga variationen i klimatet. Denna osäkerhet påverkar mest klimatscenarier för en nära framtid, eftersom klimatet inte hunnit förändras så mycket.

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 sammanvägs resultaten från flera olika modeller i ensembler. Spridningen inom ensembeln ger en bild av modellosäkerheterna.

En stor del av osäkerheterna för framtiden beror dock på framtida utsläpp av växthusgaser. De olika utsläppsscenarierna ger mycket lika resultat de närmsta årtiondena. Mot mitten på seklet börjar de skilja sig åt och mot slutet av seklet är mängden växthusgaser i atmosfären avgörande för resultaten. Resultaten från de olika utsläppsscenarierna beskrivs därför separat. Bredden av utsläppsscenarier bör beaktas vid planering för framtiden.

Beräkningar av framtida klimat kommer alltid vara behäftade med osäkerheter. Trots det finns det också mycket som är säkert (MSB, 2020):

- Halterna av växthusgaser ökar, med det följer klimatförändring.
- Ökade halter av växthusgaser gör att temperaturen stiger, framför allt över landområden och i Arktis.
- Även nederbörden förändras, men på olika sätt på olika platser.
- I ett varmare klimat smälter havsisar och landisar. Haven stiger på grund av värmeexpansion och smältande landisar.
- Klimatförändringen påverkar hela jorden och alla delar av samhället.
- Utsläppsminskningar krävs för att bromsa klimatförändringen.

3.3 Uppdatering av underlag

Genom åren har flera klimatunderlag tagits fram för Göteborgs stad. En av de första sammanfattande analyserna var Klimatanalys för Västra Götalands län som SMHI utförde på uppdrag av Länsstyrelsen 2011. Rapporten baseras på en äldre generation klimatscenarier (”SRES”). I IPCC AR5 (2013) presenterades RCP-scenarierna (se föregående avsnitt), och SMHI fick i uppdrag av regeringen att ta fram länsvisa klimatanalyser. ”Framtidsklimat i Västra Götalands län” publicerades 2015 (SMHI, 2015), vilken inkluderade ett antal meteorologiska och hydrologiska analyser.

2021 publicerade SMHI klimatscenariotjänsten (SMHI, 2024), med avsikten att tillgängliggöra den senaste klimatforskningen på en plattform som kontinuerligt kan uppdateras i samband med att nya klimatscenarier tas fram. Vid framtagandet av denna rapport baseras meteorologiska och hydrologiska klimatindikatorer i klimatscenariotjänsten på IPCC AR5 (2013), dock med högre modellupplösning och större ensembler jämfört med länsanalysen från 2015. Se mer i jämförelsen mellan länsanalyserna och scenariotjänsten (SMHI, 2023). Meteorologiska och hydrologiska analyser i föreliggande rapport är baserade på underlaget i scenariotjänsten, om inget annat anges.

Nya klimatscenarier baserade på SSP-scenarier, är publicerade i IPCCs senaste kunskapssammanställning AR6 (IPCC, 2021). Framtida havsnivåer från AR6 är anpassade för Sverige och presenteras för Göteborg i denna rapport. Klimatindikatorer för meteorologi och hydrologi kräver mer omfattade efterbearbetningar och beräkningar för att anpassas till Sverige. Detta i kombination med aktuella forskningsprojekt och finansiering avgör hur snabbt SMHI kan presentera nya indikatorer. I framtagandet av denna rapport är tidshorisonten för nya meteorologiska och hydrologiska klimatindikatorer är något år fram i tiden. Så fort nya klimatindikatorer finns framtagna kommer de att presenteras på klimatscenariotjänsten.

4 Temperatur

I detta kapitel redovisas analyser av temperaturförhållandena i Göteborgs framtida klimat baserat på flertalet klimatindikatorer. Graferna visar staplar med medelvärden över 30-årsperioder för respektive klimatindikator. Perioden 1971-2000 används som referensperiod (grå stapel), observationer är hämtade från databasen GridClim (SMHI, 2021b). Perioden har valts utifrån tillgängligt dataunderlag. Klimatscenarier har tagits fram för tre framtida perioder; 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100 (blå stapel står för RCP4.5 och röd för RCP8.5). Klimatscenarierna baseras på Scenariotjänsten (SMHI, 2024).

Perioderna möjliggör analyser av klimat genom att frångå den naturliga variabiliteten i vädret. Det betyder att inom respektive 30-årsperiod, från år till år, kan indikatorn variera.

Som beskrivs i avsnitt 3.1 används flertalet klimatmodeller för att beräkna klimatindikatorerna. På staplarna som visar RCP-scenarier visas även en klammer, denna beskriver spridningen mellan de underliggande klimatmodellerna. Spridningen ger en bild av osäkerheten i resultaten, men även variationen mellan åren. Spridningen motsvarar en standardavvikelse från medelvärdet av alla klimatmodeller. Hos vissa grafer visas ingen standardavvikelse, det beror på att de inte togs fram i samband med beräkningen av indikatorn. Se förklaring till standardavvikelse i Bilaga 14.2.

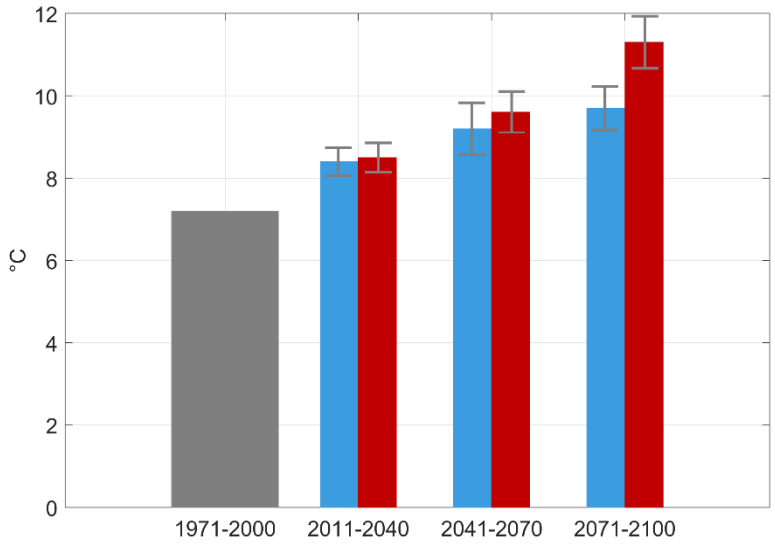
Då klimatmodeller inte är tillräckligt detaljerade för att beskriva skillnader inom Göteborgs stad som nämns i avsnitt 2.3, representerar resultaten kommunen som helhet, om inget annat anges.

4.1 Årsmedeltemperatur

Årsmedeltemperatur är ett medelvärde av ett helt års dygnsmedeltemperaturer. Det beskriver klimatet övergripande på en plats och förändringar kan jämföras med förändringar hos den globala medeltemperaturen. Som beskrivet i avsnitt 2.3 har Göteborg redan värmts upp med 1,5 grader sedan slutet av 1800-talet.

Figur 14 visar årsmedeltemperaturen i Göteborg för en historisk och tre framtida tidsperioder. Under perioden 1971-2000 var årsmedeltemperaturen i Göteborg 7,2°C. Temperaturen ökar successivt i framtiden och trenden att det blir varmare är tydlig i både RCP4.5 (blåa staplar) och RCP8.5 (röda staplar). I slutet av seklet blir årsmedeltemperaturen 9,7°C enligt RCP4.5 och 11,3°C enligt RCP8.5. Det motsvarar ungefär ett temperaturklimat som under referensperioden fanns i Nederländerna respektive centrala Frankrike. Ökningen enligt RCP4.5 är 2.1 grader och enligt RCP8.5 är 4,1 grader.

Fram till mitten av seklet överlappar scenariernas standardavvikelse, vilket betyder att resultaten för de två RCP-scenarierna är lika. Standardavvikelsen ökar till slutet av seklet, vilket innebär att osäkerheten i resultaten är större här. I slutet av seklet är dock skillnaderna mellan scenarierna större än standardavvikelsen, vilket betyder att den största osäkerheten för temperaturen i slutet av seklet ligger i mängden utsläpp av växthusgaser (RCP-scenario).



Figur 14. Årsmedeltemperatur i Göteborg, observerat för perioden 1971-2000 och beräknat för perioderna 2011-2040, 2041-2070 och 2071-2100 enligt RCP4.5 (blåa staplar) och RCP8.5 (röda staplar). Standardavvikelsen hos klimatscenarierna visas som klamrar runt stapelns värde.

4.2 Medeltemperatur säsonger

Medeltemperaturen i Göteborg har här beräknats över fyra säsonger; vinter (december, januari, februari), vår (mars, april, maj), sommar (juni, juli, augusti) och höst (september, oktober, november) samt fyra tidsperioder, se Tabell 1 och Figur 15.

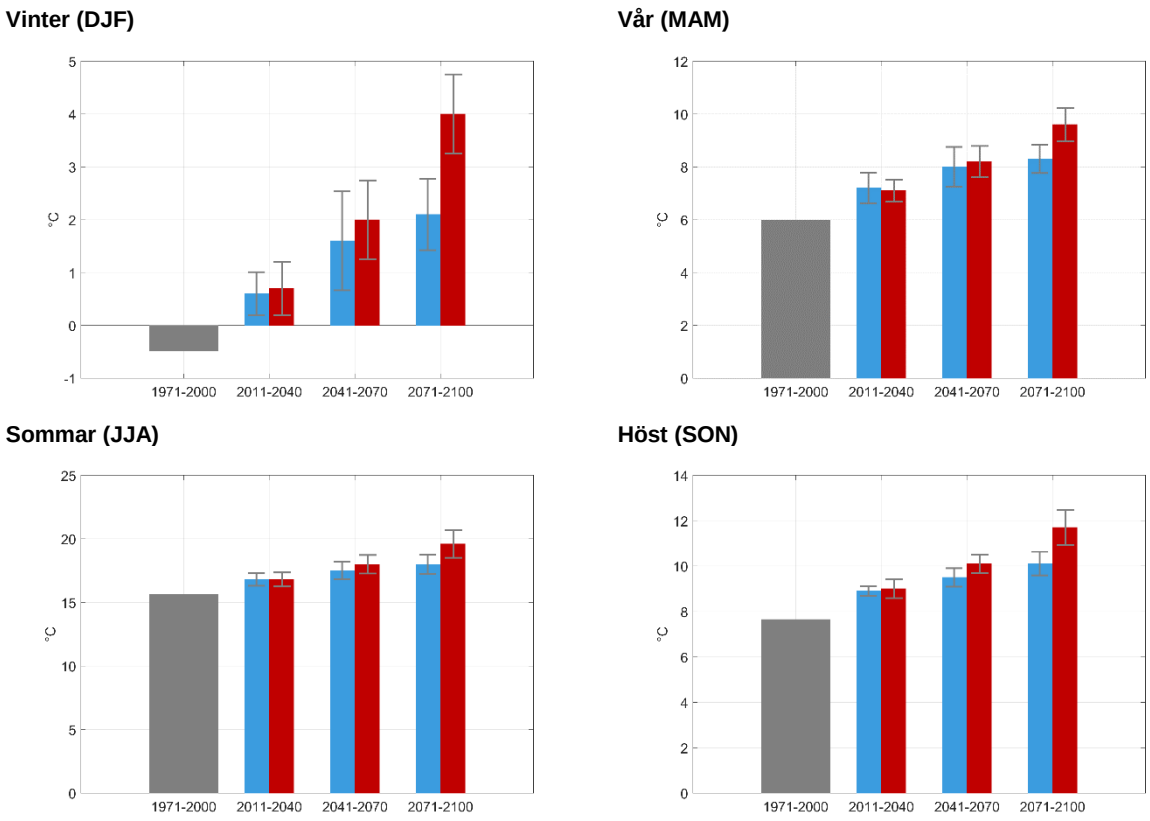
I dagens klimat (1971-2000) ligger temperaturen i genomsnitt kring noll grader på vintern i Göteborg (-0,5°C), medan det under resten av året råder plusgrader. Staplarna i Figur 15 visar att temperaturen ökar successivt i framtiden.

Vintertemperaturen förändras mest och värms upp mer än året som helhet. Redan under perioden 2011-2040 ligger vintertemperaturen i genomsnitt väl över noll grader, och i slutet av seklet är temperaturen 2,1°C enligt RCP4.5 och 4,0°C enligt RCP8.5. Det betyder att vintertemperaturen ökar 4,5 grader jämfört med referensperioden enligt RCP8.5.

Den minsta förändringen ses under våren med en uppvärmning på 3,6 grader till slutet av seklet. Sommaren har störst standardavvikelse (över 1°C enligt RCP8.5) i framtidsberäkningarna, dvs störst spridning i resultaten.

Tabell 1. Medeltemperaturer (°C) för de fyra säsongerna vinter (december, januari, februari), vår (mars, april, maj), sommar (juni, juli, augusti) och höst (september, oktober, november). Observerat för perioden 1971-2000 samt beräknat för RCP4.5 och RCP8.5 i slutet av seklet.

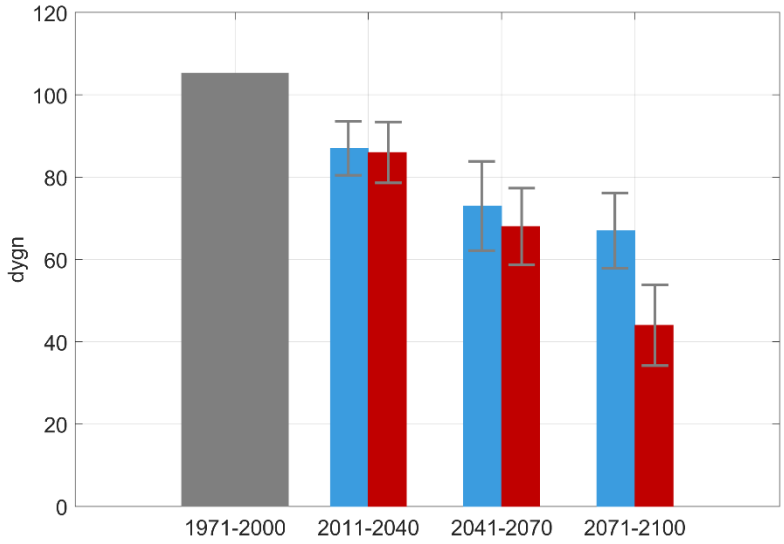
	Vinter	Vår	Sommar	Höst
Observerat 1971-2000	-0,5	6,0	15,6	7,7
Beräknat RCP4,5 2071-2100	2,1	8,3	18,0	10,1
Beräknat RCP8,5 2071-2100	4,0	9,6	19,6	11,7



Figur 15. Säsongsmedeltemperatur i Göteborg för vinter (december, januari, februari), vår (mars, april, maj), sommar (juni, juli, augusti) och höst (september, oktober, november). Observerat för perioden 1971-2000 och beräknat för perioderna 2011-2040, 2041-2070 och 2071-2100 enligt RCP4.5 (blåa staplar) och RCP8.5 (röda staplar). Standardavvikelsen hos klimatscenarierna visas som klamrar runt stapelns värde.

4.3 Antal frostdygn

Frostdygn är antalet dygn då den lägsta temperaturen under dygnet understiger 0 °C per år eller säsong, d v s dygn som under någon tidpunkt har minusgrader. Figur 16 visar att det under referensperioden förekom drygt 100 frostdygn per år i Göteborg. I takt med att klimatet blir varmare minskar antalet frostdygn. Mest minskar de enligt RCP8.5, där knappt hälften av frostdygnen återstår i slutet av seklet.

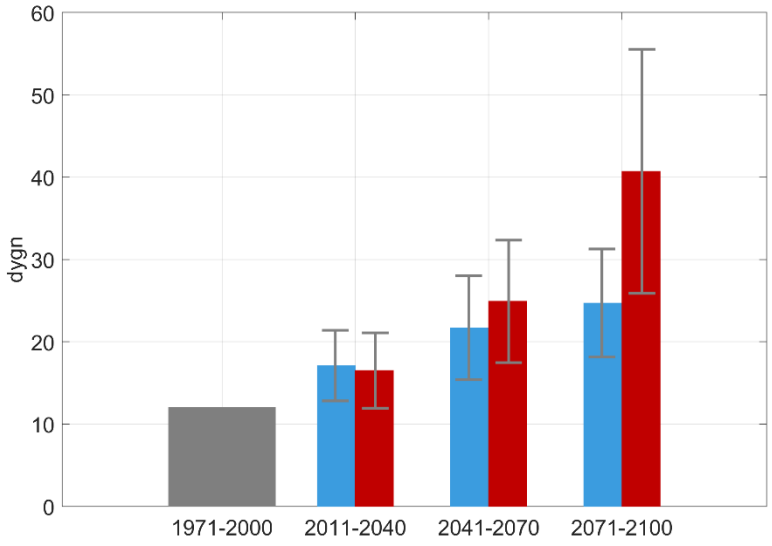


Figur 16. Frostdygn i Göteborg, observerat för perioden 1971-2000 och beräknat för perioderna 2011-2040, 2041-2070 och 2071-2100 enligt RCP4.5 (blåa staplar) och RCP8.5 (röda staplar). Standardavvikelsen hos klimatscenarierna visas som klamrar runt stapelns värde.

4.4 Högsommardygn

Figur 17 antal högsommardygn per år, vilket är dygn då den högsta temperaturen överstigit 25°C. Det indikerar behovet av anpassning till höga temperaturer, framförallt i vård- och omsorgssektorn.

Under referensperioden (1971-2000) förekom ca 12 högsommardygn per år i Göteborg. I takt med ett varmare klimat blir högsommardygn mer frekventa, i slutet av seklet förekommer dubbelt så många högsommardygn enligt RCP4.5 och tre gånger så många enligt RCP8.5. Spridningen i resultaten är stor, men ökningen är tydlig. Vissa år kan det förekomma betydligt fler dygn och vissa år betydligt färre.

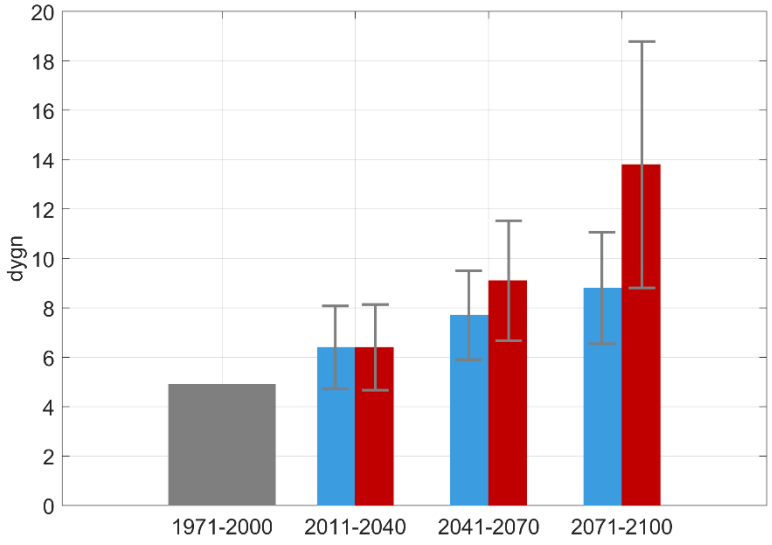


Figur 17. Antal högsommardygn per år, då dygnets maxtemperatur är över 25℃ i Göteborg, observerat för perioden 1971-2000 och beräknat för perioderna 2011-2040, 2041-2070 och 2071-2100 enligt RCP4.5 (blåa staplar) och RCP8.5 (röda staplar). Standardavvikelsen hos klimatscenarierna visas som klamrar runt stapelns värde.

4.5 Längsta period med högsommardygn

Figur 18 visar årets längsta period med högsommardygn, vilket är den längsta sammanhängande period per år då dygnets högsta temperatur överstigit 25°C. Det är ett mått på värmebölja. Det indikerar behovet av anpassning till höga temperaturer, framförallt i vård- och omsorgssektorn.

Under referensperioden (1971-2000) var den längsta perioden med högsommardygn per år ca 5 dygn. I takt med ett varmare klimat blir perioden successivt längre i framtiden, och slutet av seklet är den i genomsnitt ca 9 dygn lång enligt RCP4.5 och nära 14 dygn enligt RCP8.5. I slutet av seklet har längsta period med högsommardygn enligt RCP8.5 mer än fördubblats. Spridningen i resultaten är stor, och vissa år kan det förekomma ännu längre perioder och vissa år betydligt kortare perioder.

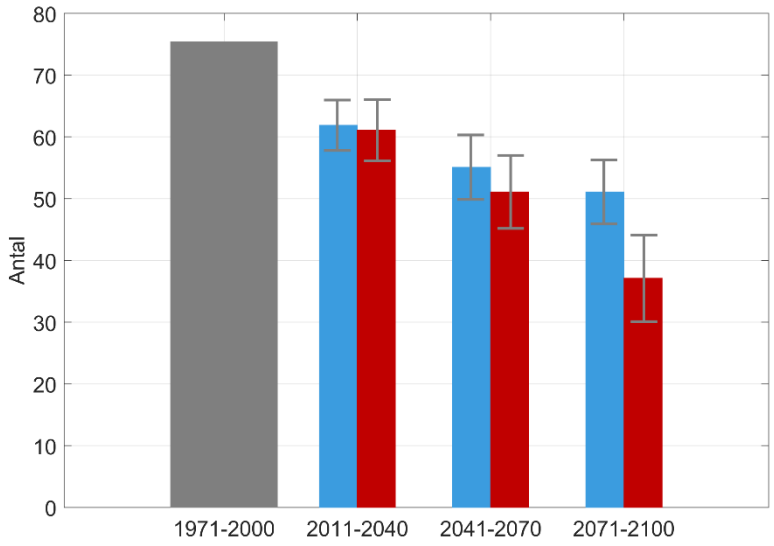


Figur 18. Längsta period per år då dygnets maxtemperatur är över 25℃ i Göteborg, observerat för perioden 1971-2000 och beräknat för perioderna 2011-2040, 2041-2070 och 2071-2100 enligt RCP4.5 (blåa staplar) och RCP8.5 (röda staplar). Standardavvikelsen hos klimatscenarierna visas som klamrar runt stapelns värde.

4.6 Antal dagar med nollgenomgångar

Antal dagar med nollgenomgångar beskriver dygn där temperaturen varit både på plus- och minussidan. Det leder till omväxlande töväder och påfrysning, vilket till exempel kan skapa sättningar i marken och hala förhållanden. Figur 8 i kapitel 2.3 visar att nollgenomgångarna historiskt har minskat i Götaland.

Figur 19 visar förändringen av nollgenomgångar och att antal nollgenomgångar minskar successivt i framtiden. I dagens klimat (1971-2000) har Göteborg i genomsnitt 75 nollgenomgångar per år. I slutet av seklet har antalet nollgenomgångar minskat till ca 50 enligt RCP4.5 och ca 35 enligt RCP8.5, vilket innebär att antalet nollgenomgångar enligt RCP8.5 halveras till slutet av seklet.

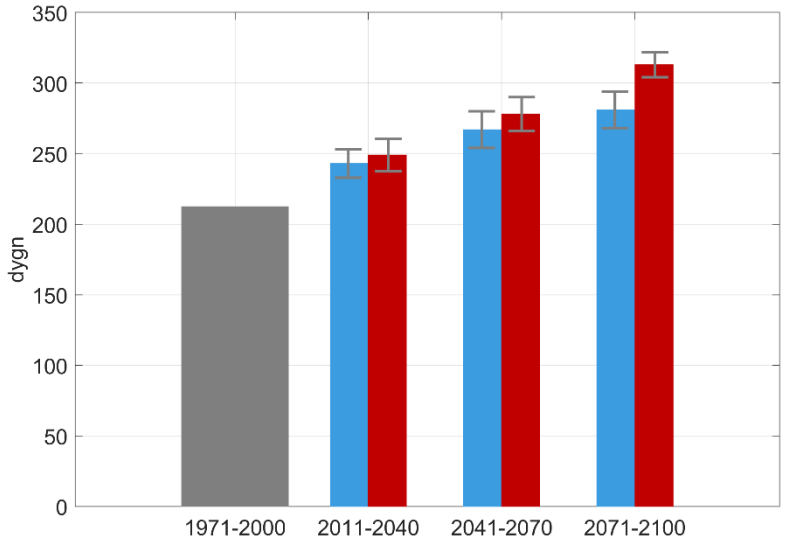


Figur 19. Antal dagar per år med nollgenomgångar i Göteborg. Observerat för perioden 1971-2000 och beräknat för perioderna 2011-2040, 2041-2070 och 2071-2100 enligt RCP4.5 (blåa staplar) och RCP8.5 (röda staplar). Standardavvikelsen hos klimatscenarierna visas som klamrar runt stapelns värde.

4.7 Vegetationsperiodens längd

Vegetationsperioden förlängs när klimatet blir varmare. Här har vegetationsperiodens längd beräknats, vilket motsvarar antal dagar från vegetationsperiodens första dag till och med den sista. Vegetationsperiodens start är det första dygnet i en sammanhängande period om sex dygn då dygnsmedeltemperaturen under alla sex dygnen är över 5 °C. Vegetationsperiodens sista dag är dagen före den första sammanhängande perioden om sex dygn efter den 1 juli då alla sex dygn har en dygnsmedeltemperatur under 5 °C. Beräkningarna baseras enbart på beräkningar med temperatur och tar inte hänsyn till solinstrålning. Figur 7 i kapitel 2.3 visar att vegetationsperioden har blivit länge i Götaland.

Figur 20 visar vegetationsperiodens längd i Göteborg. Under referensperioden var vegetationsperioden i genomsnitt något fler än 200 dagar. I slutet av seklet har den ökat till ca 280 dagar enligt RCP4.5 och ca 310 dagar enligt RCP8.5.

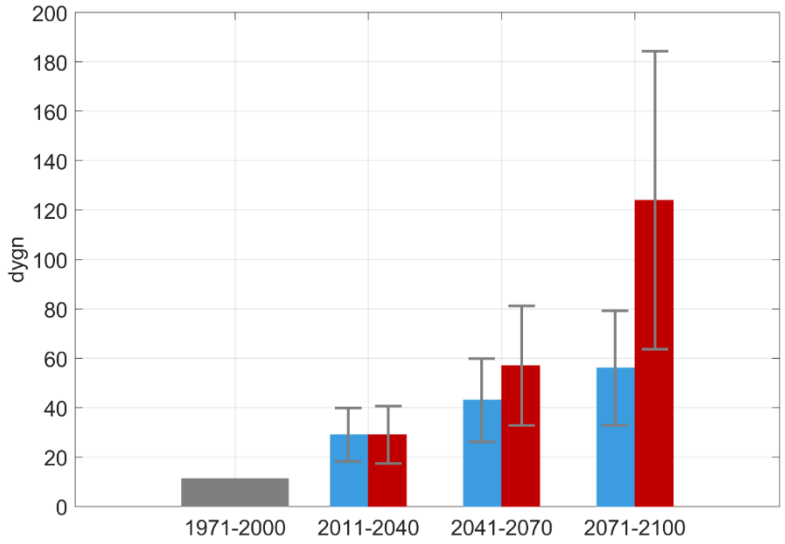


Figur 20. Vegetationsperiodens längd i Göteborg, observerat för perioden 1971-2000 och beräknat för perioderna 2011-2040, 2041-2070 och 2071-2100 enligt RCP4.5 (blåa staplar) och RCP8.5 (röda staplar). Standardavvikelsen hos klimatscenarierna visas som klamrar runt stapelns värde.

4.8 Kylgraddagar

Kylgraddagar, eller graddagar för kylning är ett mått som kan användas för att uppskatta behovet av kyla i byggnader. Det avser summan av hela årets dygnsmedeltemperatur över 20 °C. En dygnsmedeltemperatur på 22 °C bidrar exempelvis med 2 grader till årssumman.

Figur 21 visar att i dagens klimat (1971-2000) är behovet av kylning litet (ca 10 graddagar per år), men i framtiden ökar antalet graddagar successivt. I slutet av seklet har antalet graddagar för kylning ökat till knappt 60 enligt RCP4.5 och ca 120 för RCP8.5. Spridningen i resultaten är mycket stor, och vissa år kan det förekomma ännu fler och vissa år betydligt färre graddagar.

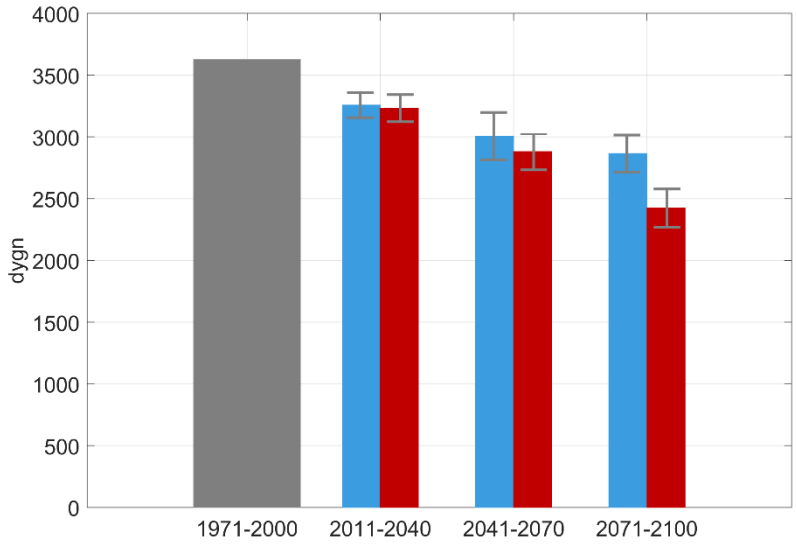


Figur 21. Graddagar för kylning i Göteborg, observerat för perioden 1971-2000 och beräknat för perioderna 2011-2040, 2041-2070 och 2071-2100 enligt RCP4.5 (blåa staplar) och RCP8.5 (röda staplar). Standardavvikelsen hos klimatscenarierna visas som klamrar runt stapelns värde.

4.9 Graddagar för uppvärmning

Graddagar för uppvärmning är ett mått för att uppskatta behovet av uppvärmning i bostäder. Det visar skillnaden mellan dygnsmedeltemperaturen och tröskelvärdet 17 °C summerat på ett år. En dygnsmedeltemperatur på 12 °C bidrar exempelvis med 5 grader till årssumman. Dygnsmedeltemperaturer över 17 °C ger inget bidrag.

Figur 22 visar att antalet graddagar i dagens klimat (1971-2000) är ca 3500 per år i Göteborg. Behovet av uppvärmning minskar successivt i framtiden i takt med ett varmare klimat. I slutet av seklet är antalet graddagar för uppvärmning knappt 3000 enligt RCP4.5 och nära 2500 enligt RCP8.5. Behovet av uppvärmning minskar mer än vad behovet av kylning ökar.



Figur 22. Graddagar för uppvärmning i Göteborg, observerat för perioden 1971-2000 och beräknat för perioderna 2011-2040, 2041-2070 och 2071-2100 enligt RCP4.5 (blåa staplar) och RCP8.5 (röda staplar). Standardavvikelsen hos klimatscenarierna visas som klamrar runt stapelns värde.

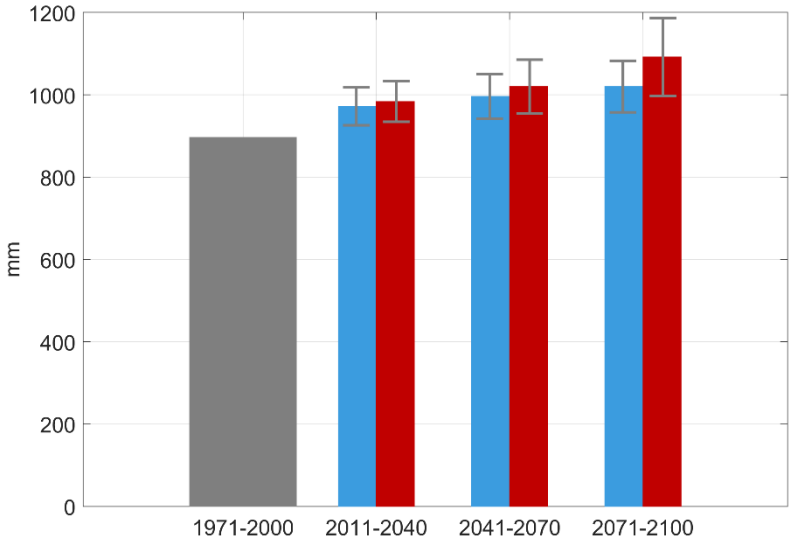
5 Nederbörd

I detta kapitel redovisas analyser av nederbörd i Göteborgs framtida klimat baserat på flertalet klimatindikatorer. Graferna visar staplar med medelvärden över 30-årsperioder för respektive klimatindikator. Perioden 1971-2000 används som referensperiod (grå stapel), observationer är hämtade från databasen GridClim (SMHI, 2021b). Perioden har valts utifrån tillgängligt dataunderlag. Klimatscenarier har tagits fram för tre framtida perioder; 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100 (blå stapel står för RCP4.5 och röd för RCP8.5). Klimatscenarierna baseras på Scenariotjänsten (SMHI, 2024). Perioderna möjliggör analyser av klimat genom att frångå den naturliga variabiliteten i vädret. Det betyder att inom respektive 30-årsperiod, från år till år, kan indikatorn variera. För ytterligare beskrivning av graferna, se inledningen av kapitel 4 Temperatur.

5.1 Årsmedelnederbörd

Årsmedelnederbörd är ett mått som används för att studera förändringar i nederbördsmängder under långa tidsperioder. Det avser den summerade nederbörden under ett år, både regn och snö, som presenteras som medelvärden över längre tidsperioder.

Göteborg ligger i en nederbördsrik del av Sverige. Figur 6 i kapitel 2.3 visar att nederbörden har ökat de senaste decennierna. Figur 23 visar årsmedelnederbörden i Göteborg i framtiden. Under perioden 1971-2000 var medelnederbörden 896 mm per år. I slutet av seklet har nederbörden ökat, ca 15 % enligt RCP4.5 och ca 20 % enligt RCP8.5. Klamrarna i grafen indikerar att majoriteten av de underliggande beräkningarna bekräftar en ökning av nederbörden.



Figur 23. Årsmedelnederbörd i Göteborg, observerat för perioden 1971-2000 och beräknat för perioderna 2011-2040, 2041-2070 och 2071-2100 enligt RCP4.5 (blåa staplar) och RCP8.5 (röda staplar). Standardavvikelsen hos klimatscenarierna visas som klamrar runt stapelns värde.

5.2 Medelnederbörd säsong

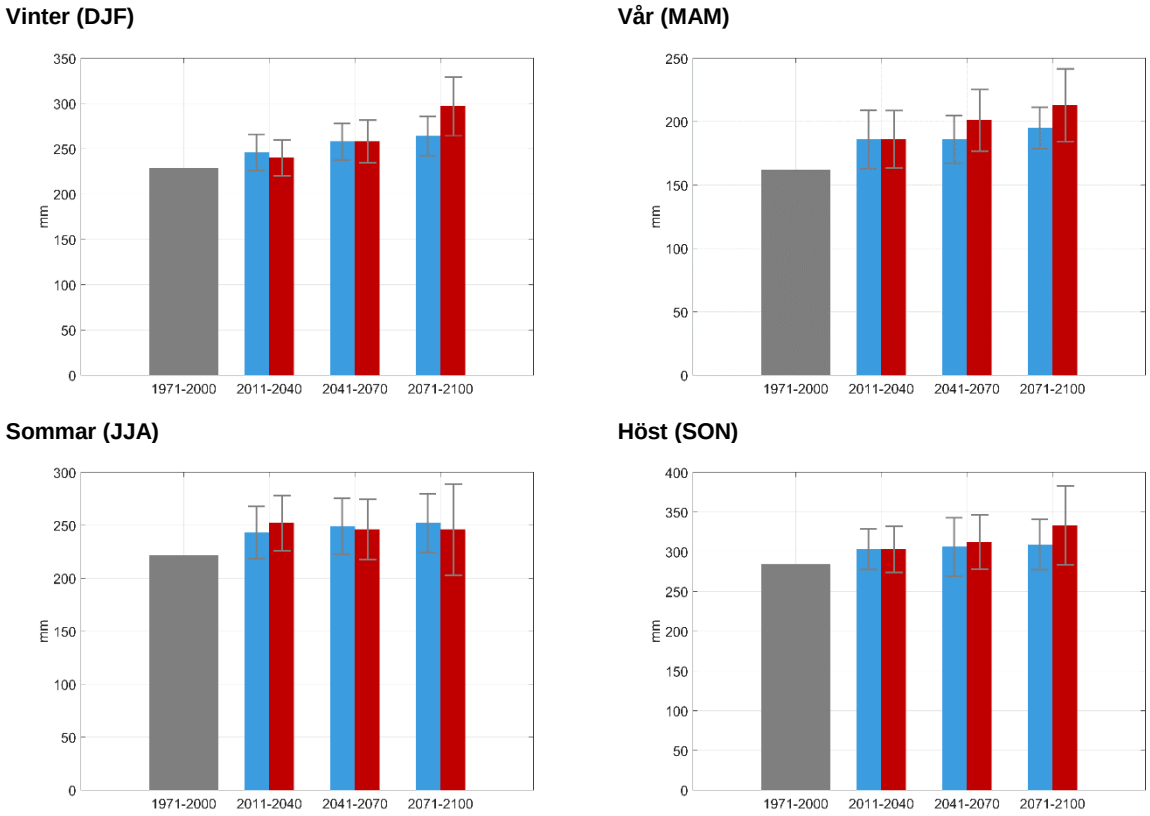
Medelnederbörden i Göteborg har här beräknats över fyra säsonger; vinter (december, januari, februari), vår (mars, april, maj), sommar (juni, juli, augusti) och höst (september, oktober, november) samt fyra tidsperioder, se Tabell 2 och Figur 24.

I dagens klimat (1971-2000) har hösten störst nederbördsmängder i Göteborg, 284 mm. Samtliga säsonger uppvisar en ökning av nederbörden i framtiden. Både vintern och våren uppvisar stora förändringar till slutet av seklet, 15 respektive 20 % enligt RCP4.5 och 30 respektive 32 % enligt RCP8.5.

För sommaren visar RCP8.5 en mindre nederbördsökning än RCP4.5 i slutet av seklet. Här är också standardavvikelsen stor, vissa resultat pekar på en minskning av nederbörden jämfört med referensperioden. Även hösten har stor standardavvikelse, framförallt hos resultaten för RCP8.5.

Tabell 2. Medelnederbörd (mm) för de fyra säsongerna vinter (december, januari, februari), vår (mars, april, maj), sommar (juni, juli, augusti) och höst (september, oktober, november). Observerat för perioden 1971-2000 samt beräknad procentuell förändring (%) för RCP4.5 och RCP8.5 till slutet av seklet.

	Vinter	Vår	Sommar	Höst
Observerat (mm) 1971-2000	229	162	222	284
Förändring (%) RCP4.5 2071-2100	+15	+20	+14	+9
Förändring (%) RCP8.5 2071-2100	+30	+32	+11	+17



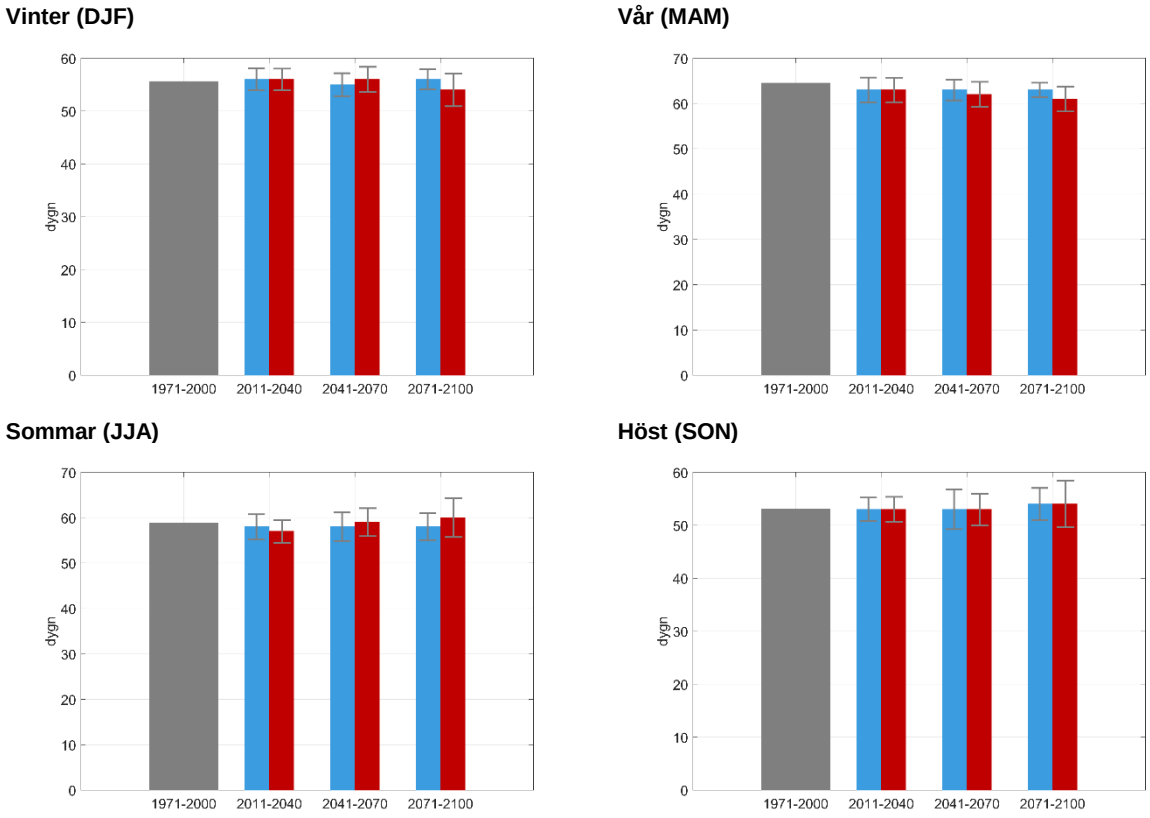
Figur 24. Medelnederbörd i Göteborg för vinter (december, januari, februari), vår (mars, april, maj), sommar (juni, juli, augusti) och höst (september, oktober, november). Observerat för perioden 1971-2000 och beräknat för perioderna 2011-2040, 2041-2070 och 2071-2100 enligt RCP4.5 (blåa staplar) och RCP8.5 (röda staplar). Standardavvikelsen hos klimatscenarierna visas som klamrar runt stapelns värde.

5.3 Antal torra dygn

Antal torra dygn innebär dygn med uppehållsväder. Det är inte givet att marken också är torr, men förutsättningarna för marktorka ökar.

Figur 25 visar antal torra dygn för de fyra säsongerna. Vinter och vår förändras inte nämnvärt i ett framtida klimat, antal dagar med uppehållsväder förblir ungefär detsamma med en antydan till en minskning i slutet av seklet enligt RCP8.5. På sommaren och hösten ökar antalet torra dygn något.

Antal dygn med nederbörd, eller antal blöta dygn, förändras på motsatt sätt; försumbar förändring på vintern och våren och en liten minskning på sommaren och hösten.

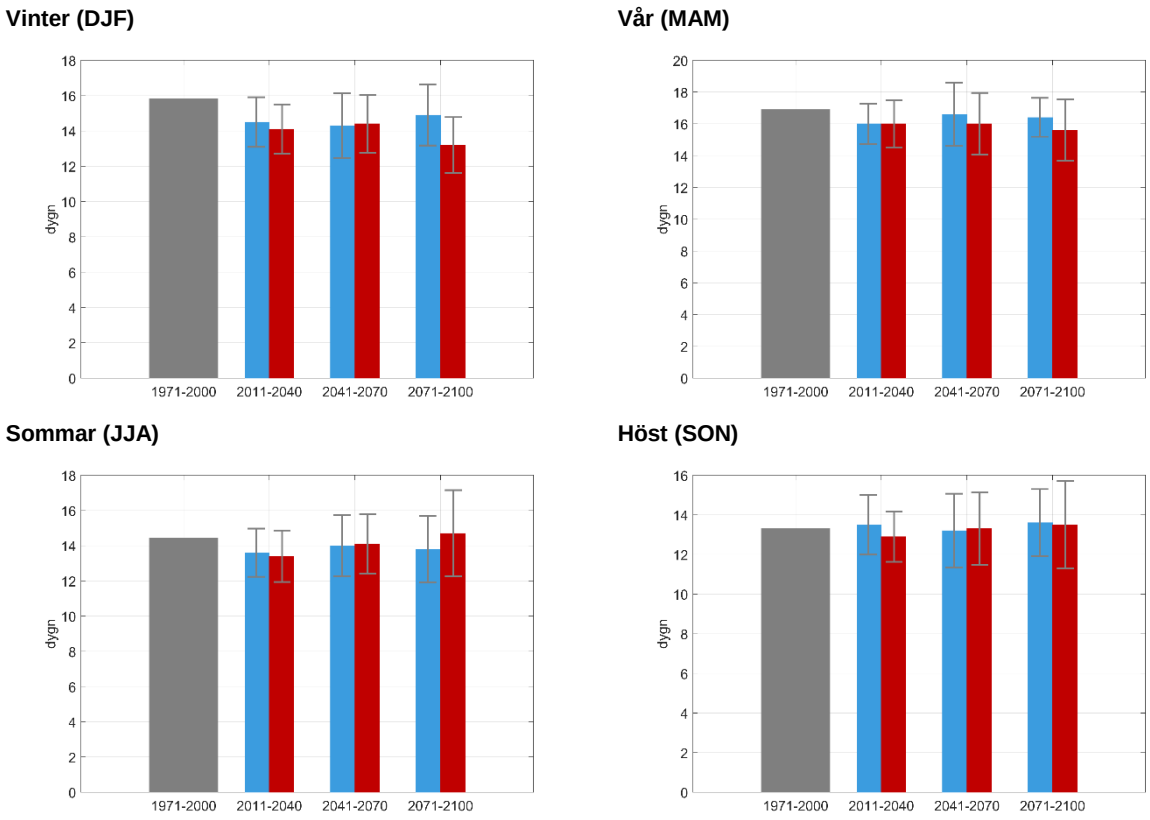


Figur 25. Antal torra dygn i Göteborg för vinter (december, januari, februari), vår (mars, april, maj), sommar (juni, juli, augusti) och höst (september, oktober, november). Observerat för perioden 1971-2000 och beräknat för perioderna 2011-2040, 2041-2070 och 2071-2100 enligt RCP4.5 (blåa staplar) och RCP8.5 (röda staplar). Standardavvikelsen hos klimatscenarierna visas som klamrar runt stapelns värde.

5.4 Längsta period med torra dygn

Längsta period med torra dygn innebär den längsta perioden med uppehållsväder. Det är inte givet att marken också är torr, men förutsättningarna för marktorka ökar.

Figur 26 visar längsta period med torra dygn för de fyra säsongerna. Grafen visar medelvärden av 30-årsperioderna. Höst förändras inte nämnvärt i ett framtida klimat, perioder med uppehållsväder förblir ungefär detsamma. Vår och sommar finns en antydan till kortare torrperioder, förändringen är dock inte är större än spridningen i resultaten. Vintern ger en tydligare signal om kortare av torrperioder i framtiden.



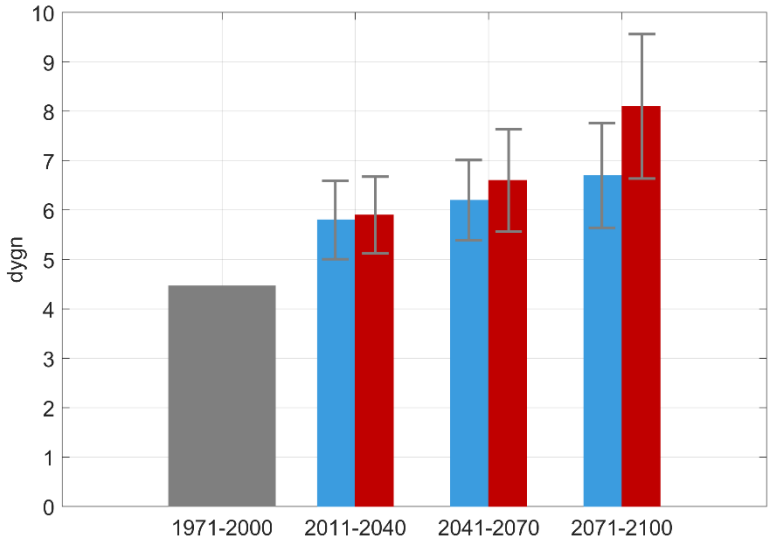
Figur 26. Längsta period med torra dygn i Göteborg för vinter (december, januari, februari), vår (mars, april, maj), sommar (juni, juli, augusti) och höst (september, oktober, november). Observerat för perioden 1971-2000 och beräknat för perioderna 2011-2040, 2041-2070 och 2071-2100 enligt RCP4.5 (blåa staplar) och RCP8.5 (röda staplar). Standardavvikelsen hos klimatscenarierna visas som klamrar runt stapelns värde.

5.5 Antal dygn med extrem nederbörd (20 mm)

Den stora variabiliteten (både i rum och tid) när det gäller nederbörd gör att det är svårt att säkerställa om nederbörden har förändrats över tid. Trender kan döljas genom de stora slumpmässiga variationerna från år till år. Figurerna i Bilaga 14.1 visar att den extrema nederbörden varierat i Götaland mellan perioder med stora dygnsmängder och perioder med mindre nederbörd. Någon tydlig långsiktig trend är svår att identifiera.

Vid beräkningar av framtida nederbörd med klimatmodeller (se Kapitel 2) finns en begränsning detaljrikedomen. Beräkningarna ger nederbördsmängder jämt fördelat över en större yta (här drygt 1 kvadratmil). 20 mm nederbörd över en sådan yta kan alltså innebära en betydligt större lokal regnmängd. Denna klimatindikator kan därför användas för att beskriva trenden hos extrem nederbörd, även om mängden 20 mm i vanliga fall inte definieras som extrem.

Figur 27 visar antal dygn per år med extrem nederbörd. Under referensperioden (1971-2000) förekommer det i genomsnitt ca 4-5 dygn per år. Antal tillfällen med extrem nederbörd ökar dock med ett varmare klimat, i slutet av seklet kan det vara dubbelt så många dagar per år med extrem nederbörd enligt RCP8.5. Ökningen är enligt dataunderlaget jämnt fördelad över säsongerna.



Figur 27. Dygn med extrem nederbörd (20 mm) i Göteborg, observerat för perioden 1971-2000 och beräknat för perioderna 2011-2040, 2041-2070 och 2071-2100 enligt RCP4.5 (blåa staplar) och RCP8.5 (röda staplar). Standardavvikelsen hos klimatscenarierna visas som klamrar runt stapelns värde.

5.6 Skyfall

Med skyfall avses intensivt regn, det vill säga stora regnmängder under en kortare tid. SMHI definierar skyfall som ”minst 50 mm nederbörd på en timme eller minst 1 mm på en minut”. Men även mindre regnmängder kan få konsekvenser förknippade med skyfall. Statistik för skyfall kan beräknas utifrån regnmängder med olika varaktigheter, nämligen hur stor nederbördsmängd som faller under olika definierade tidsperioder. Eftersom att definitionen av skyfall är ett kortvarigt regn är det varaktigheter upp till 12 timmar som är av störst intresse. Även återkomsttid är intressant då det säger något om hur vanligt eller ovanligt ett skyfall är. En återkomsttid på 100 år innebär att en viss regnmängd med en viss varaktighet inträffar i genomsnitt en gång på 100 år.

I rapporten Extremregn i nuvarande och framtida klimat (SMHI, 2018) analyserades intensiv nederbörd i Sverige. Utifrån historisk nederbördsfördelning delades landet in i fyra regioner, där Göteborg tillhör region sydväst (SV). Region SV uppvisade störst nederbördsmängder, här är förekomsten av varma och fuktiga luftmassor större, vilket ger ökade förutsättningar för intensiv nederbörd. I Tabell 3 illustreras nederbörd i mm för varaktigheterna 15 min, 1 timme och 3 timmar och återkomsttider 10 och 100 år för region SV.

Tabell 3. Skyfallsstatistik baserat på observationer från SMHIs automatstationer från starten av vardera station under 1996 och fram till september 2017 för region SV, där Göteborg ingår. Värdena avser regnvolymer för tre olika varaktigheter och två olika återkomsttider. Varaktigheterna 1 tim och 3 tim baseras på summerad 15 min nederbörd. Från SMHI, 2018.

	Region SV	
	10 år	100 år
15 min	18.0 ±1.1	35.1 ±6.1
1 tim	24.5 ±1.4	45.2 ±7.9
3 tim	34.1 ±2.0	60.2 ±10.5

Klimatförändringen leder till mer intensiva och/eller frekventare skyfall. Med hjälp av klimatmodeller har förändringen av skyfall beräknats för olika scenarier och tidsperioder. Förändringen beskrivs med en klimatfaktor, den används tillsammans med observationer för att kvantifiera framtida skyfall med en viss varaktighet och återkomsttid på en specifik plats.

I Tabell 4 redovisas klimatfaktorer som tagits fram för tre olika framtidsperioder. Faktorn beskriver den procentuella förändringen för respektive framtidsperiod jämfört med perioden 1971–2000. Resultaten visar inga större skillnader för de olika regionerna och har därför sammanställts för hela Sverige på nedersta raden. ”Medel” avser RCP4.5 och ”Hög” avser RCP8.5. Faktorerna gäller för alla återkomsttider.

Tabell 4. Klimatfaktorer (procentuell förändring) för skyfall, medelvärden för hela Sverige. Värden för tre olika tidsperioder jämfört med perioden 1971-2000. Bedömningen avser ett sammanfattat värde för samtliga återkomsttider och varaktigheter. ”Medel” avser RCP4.5 och ”hög” avser RCP8.5. Från SMHI 2018.

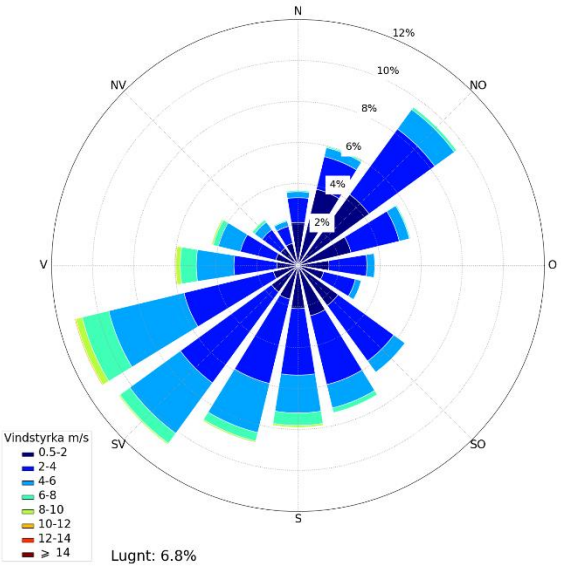
Varaktighet	2011-2040 (%)		2041-2070 (%)		2071-2100 (%)	
(timmar)	Medel	Hög	Medel	Hög	Medel	Hög
1	9	11	14	20	21	36
2	9	11	15	20	22	38
3	9	11	17	20	21	40
6	7	12	17	21	19	41
12	9	10	15	20	18	38
Bedömning	10	10	15	20	20	40

Inom perioden 2011–2040 väntas en ökning av skyfallsvolymen med cirka 10% jämfört med perioden 1971-2000, oavsett scenario. Runt mitten av seklet, 2041–2070 är ökningen ca 15% enligt RCP4.5 och ca 20% enligt RCP8.5. I slutet av seklet, 2071-2100 är ökningen cirka 20% enligt RCP4.5 och dubbelt så stor, cirka 40% enligt RCP8.5.

En uppdatering av klimatfaktorerna i Tabell 4 utfördes av SMHI på uppdrag av MSB under 2023 (MSB, 2023), där nya klimatscenarier inkluderades. Inga signifikanta skillnader mot tidigare slutsatser noterades. Den historiska nederbördsstatistiken med regionala klimatfaktorer finns på SMHIs skyfallstjänst (SMHI, 2024b) och uppdateras kontinuerligt i samband med publicering av nya underlag.

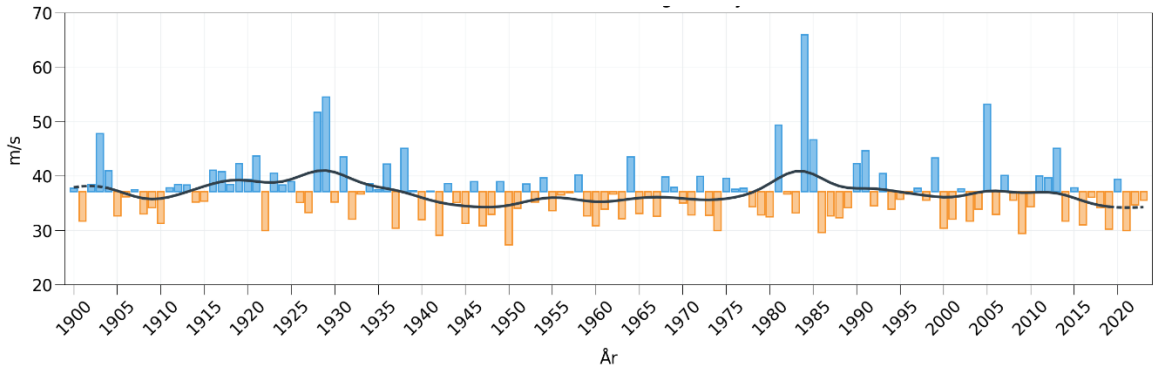
6 Vind

Figur 28 visar en vindros från baserat på mätningar i centrala Göteborg. Tårtbitarnas storlek visar förekomsten av olika vindriktningar. Färgerna avser förekomsten av olika vindhastigheter och anges i procent (%) av tid. Det är tydligt att vindar från väst-sydväst är vanligast. Det beror på vädersystemen som vanligen kommer från Atlanten, men också på att denna vindriktning främjas i Göteborg på grund av Göta älv. Den nordostliga komponenten påverkas också av riktningen på Göta älv.



Figur 28. Vindros från mätstationen Göteborg A, vid Olskroksmotet.

Vid analyser av trender i vind innebär vindmätningar ofta stora osäkerheter. Mätstationerna påverkas mycket av den omgivande terrängen och utrustningen kan i värsta fall gå sönder när det blåser mycket. En mer pålitlig vindindikator är den geostrofiska vinden, som är en beräknad vind en bit upp i atmosfären där vinden inte påverkas av friktionen från marken. Den beräknas med hjälp av observerat lufttryck. Figur 29 visar beräknad maximal geostrofisk vind inom området Falsterbo – Göteborg – Visby, från SMHIs Klimatindikatorer (2024).



Figur 29. Staplarna i diagrammet visar maximal geostrofisk vind för området Falsterbo - Göteborg - Visby per år. Blå staplar visar högre och orangea visar lägre maximal geostrofisk vind än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.

I figuren syns bland annat stormen Gudrun 2005 som en relativt hög blå stapel. Vinden har varierat från år till år, och det finns ingen tydlig trend. Sedan stormen Gudrun har den maximala vinden minskat något.

Klimatscenarier ger inga tydliga svar på hur vinden kan komma att förändras i ett framtida klimat på våra breddgrader. En varmare havsyta och mer vattenånga i atmosfären gynnar utvecklingen av stormar. Samtidigt kan uppvärmningen leda till minskade skillnader mellan varma och kalla luftmassor, vilka spelar en viktig roll i utvecklingen av intensiva stormar. Det kan i sin tur motverka uppvärmningens förstärkande inverkan på stormarnas utveckling.

De lågtryckssystem som kan utvecklas till stormar förväntas generellt minska i antal på norra halvklotet i ett varmare klimat samtidigt som stormbanorna förväntas flytta något närmare polerna. Men förändringen är liten i förhållande till den naturliga variationen i klimatet.

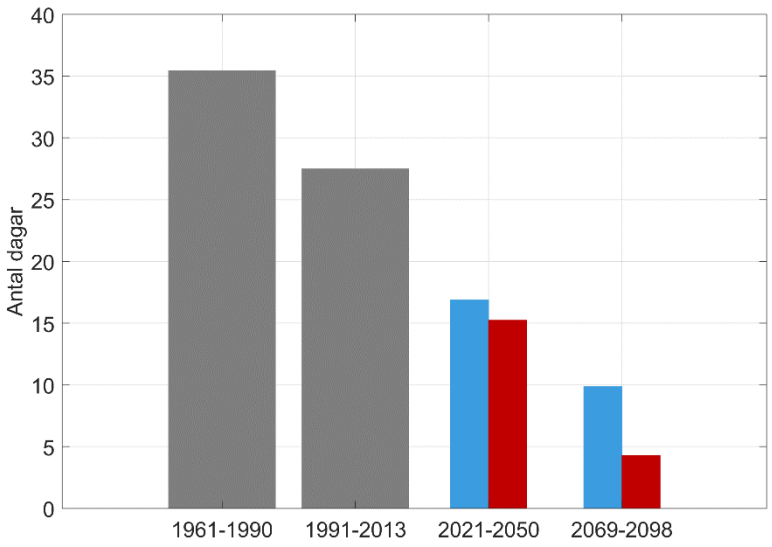
Det betyder att det även i framtiden kommer att finnas mer eller mindre stormrika år eller årtionden, och att de troligen inte kommer att skilja sig väsentligt från hur det förhåller sig redan i dagens klimat.

7 Snö och is

7.1 Antal dagar med snö

När klimatet blir varmare kommer allt mer nederbörd som regn i stället för snö. Figur 9 i kapitel 2.3 visar att antalet dagar med snö har minskat i Götaland de senaste decennierna.

Figur 30 visar antal dagar med snö i Göteborg för två historiska och två framtida tidsperioder, beräknat med klimatscenarier och hydrologisk modellering. Villkoret är att snön ska innehålla minst 5 mm vatten, vilket innebär ett ca 5 cm tjockt snötäcke. Historiskt har Göteborg haft i genomsnitt en månad med snö per år och antalet snödagar har minskat i takt med uppvärmningen. I mitten av seklet har antalet snödagar halverats enligt de två scenarierna. I slutet av seklet är det endast ett fåtal dagar per år med snö. Underlaget är hämtat från Framtidsklimat i Västra Götalands län (SMHI, 2015).

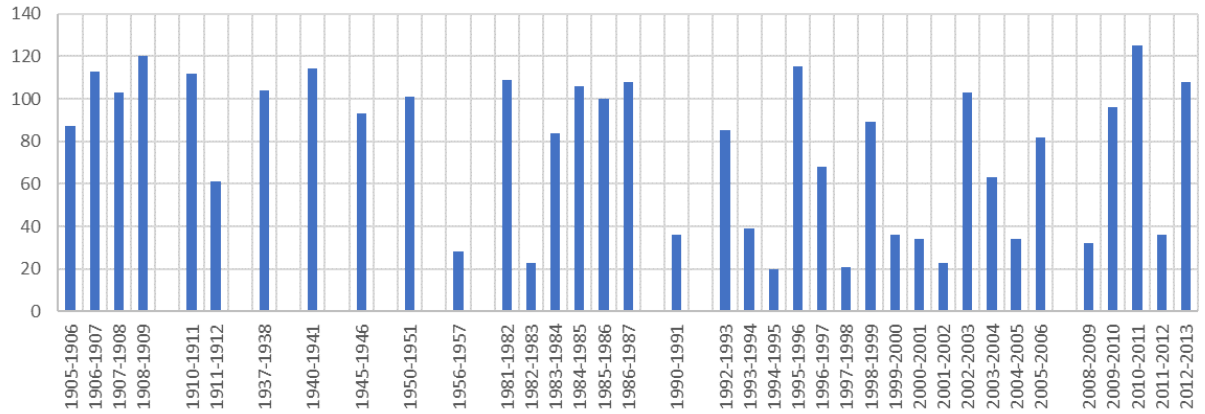


Figur 30. Antal dagar med snö per år (minst 5 mm vatteninnehåll), medelvärde för referensperioden 1961–1990 samt 1991-2013, 2021-2050 och 2069-2098 enligt RCP4.5 och RCP8.5.

7.2 Isperiod

I södra Sverige finns få platser där isläggning och islossning på sjöar fortfarande registreras. Stensjön utanför Kungsbacka söder om Göteborg har en relativt lång och färsk tidsserie. Isläggning och islossning har registrerats sedan 1905 fram till 2013, dock med flertalet luckor i data.

Figur 31 visar isperioden för Stensjön, dvs antalet dagar mellan isläggning och islossning för de vintrar där isen registrerats. Kalla vintrar har normalt haft en isperiod på runt 100 dagar. Den längsta isperioden på 125 dagar inträffade vintern 2010-2011, vilken var ovanligt kall. Det syns i diagrammet att det har blivit vanligare med korta isperioder under andra halvan av 1900-talet.



Figur 31. Isperiodens längd i antal dagar för Stensjön. Vintrarna 1987/88, 1988/89, 1989/90, 2006/07 och 2007/08 var isfria, övriga vintrar utan data saknar observationer.

Att beräkna isläggning och islossning i ett framtida klimat är komplicerat, eftersom isen påverkas av flera olika faktorer så som lufttemperatur, vattentemperatur, vind och molnighet. Det finns idag ingen självklar metodik. I Klimatsammanställningen för fjällkedjan (Eklund, 2011) togs ett samband mellan temperatur och isförhållanden fram som användes för att beräkna framtida isperioder utifrån temperatur i klimatscenarierna. Denna metodik är en förenkling av verkligheten då den inte tar hänsyn till övriga påverkansfaktorer.

Is på sjöar bedöms kunna förekomma ett antal decennier framöver, men isperioden förkortas succesivt i takt med uppvärmningen och isfria vintrar kommer bli allt vanligare.

7.3 Tjäle

Vid låga temperaturer fryser det vatten som finns i marken till is och marken blir tjälad. Hur djupt tjälen når beror på flera faktorer. Om den kalla perioden är kort når tjälen bara någon decimeter ner, men under vintrar med långa köldperioder kan tjälen nå betydligt större djup. Hur djupt tjälen når beror också på markens egenskaper (jordart, markvegetation med mera) och på eventuellt snödjup. Snön fungerar som ett isolerande skikt och tjälbildningen går långsammare vid ett stort snötäcke.

Tjälen kan skapa problem eftersom vatten expanderar när det fryser. Detta kan förstöra vägar och skapa sättningar i byggnader och vatten- och avloppsledningar. Bristen på tjäle kan också orsaka problem då träd lättare fälls vid en storm och marken inte är lika stabil, vilket kan påverka skogsarbetet.

Mildare och blötare vintrar blir vanligare i ett framtida klimat. Ett minskat snötäcke kan leda till djupare tjäle. Men i Göteborg kommer minusgrader bli allt mer ovanliga och därmed kommer även förekomsten av tjäle minska efterhand.

8 Vattenföring

Analyser av vattenföring har gjorts av vattendragen Säveån uppströms Gullbergsåns mynning, Mölndalsån vid Gårda dämme (innan förgreningen i Fattighusån och Gullbergsån) samt Lärjeån vid mynningen i Göta älv. Se karta på avrinningsområdena i Figur 4 i avsnitt 2.3. Göta älv kan förväntas bete sig helt annorlunda än dessa åar då den dels förgrenas i Nordre älv och Göta älv, men främst för att den har ett avsevärt större avrinningsområde och att flödet till mycket stor del beror på Vänerns reglering. Göta älv beskrivs därför i ett separat stycke nedan.

Samtliga analyser för Lärjeån, Säveån, och Mölndalsån är gjorda för oreglerade förhållanden. Det innebär att eventuella regleringar för vattenkraft inte är med i beräkningarna. I modellen är de istället ersatta med naturliga sjöutlopp. Detta för att ge en korrekt bild av klimatförändringens påverkan på flöden och inte hur eventuella regleringar kan styra flöden. Det ger också möjligheter att jämföra de tre vattendragen med varandra utan att en eventuell reglering skulle påverka resultaten. Lärjeån är

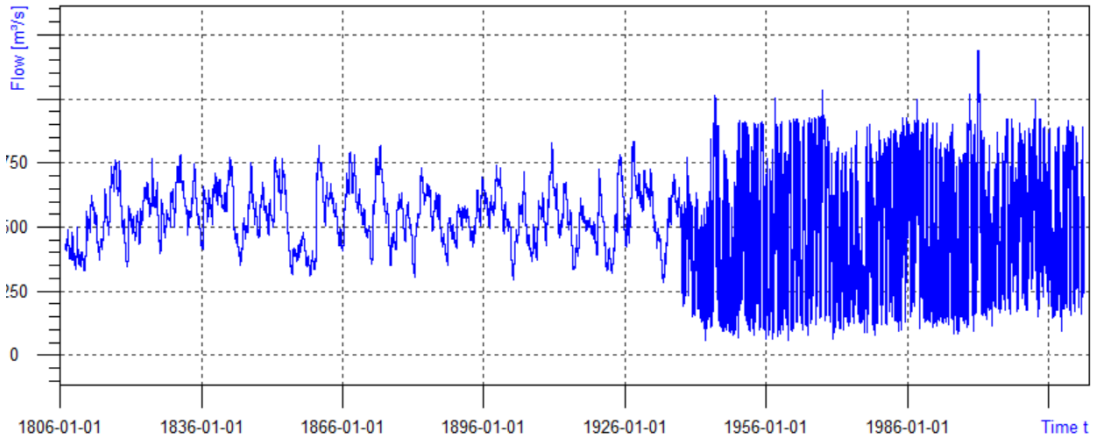
oreglerad och resultaten hade inte påverkats av regleringsbeskrivningen. Säveån har flera vattenkraftverk och reglerade sjöar, men regleringsgraden är relativt liten. Mölndalsån har nyligen fått förnyade vattendomar där regleringen i de nedre delarna syftar till att minska risken för översvämningar i nedströms delar av ån (detta finns inte implementerat i den här använda generella modellen).

Ytterligare ett argument för att redovisa resultat för oreglerade flöden är att andra processer kan påverka flöden i större utsträckning är klimatförändringen (beroende på regleringens syfte och storlek). Det kan vara t.ex. en förändrad elmarknad som potentiellt kan förändra vattenkraftens regleringsbehov. Den nationella omprövningen av vattenkraften (NAP) kan också ge nya krav på regleringar i vattendrag reglerade för vattenkraftsändamål, då bl.a. mintappningar ses över under omprövningar, vilket kan ha betydande påverkan på framtida lågflöden.

Vid analyserna för Lärjeån, Säveån, och Mölndalsån har resultat från den generella hydrologiska modellen S-HYPE (Lindström m. fl. 2010) version 2016e använts för analyser, vilket är samma som i klimatscenariotjänsten (SMHI 2024). Analyser på oreglerade flöden kommer publiceras under 2025 på scenariotjänsten.

8.1 Göta älv

Flödet i Lilla Edet bestäms till allra största delen av tappningen från Vänern (vid Vargön). Efter Vänerns reglering 1938 har flödeförhållanden förändrats kraftigt, med högre högflöden och lägre lågflöden, vilket syns tydligt i Figur 32. Vänerns vattendom är oförändrad sedan regleringen påbörjades, men avtal om tillämpningen har ingåtts (som ryms inom domens vattenhushållnings-bestämmelser) mellan Vattenfall och länsstyrelserna samt mellan Vattenfall och Sjöfartsverket.



Figur 32. Flöden från Vänern vid Vargön sedan 1806.

När det gäller höga flöden får det tappas max 1000 m^3/s med viss felmarginal (upp till 1030) vid Vargön. Denna maxtappning har nåtts 8 gånger sedan regleringen, d.v.s. med en frekvens av i storleksordningen 1/10. Under översvämningarna runt Vänern 2000–2001 frångicks vattendomen och det tappades som mest 1190 m^3/s. Flöden i Lilla Edet (dvs innan förgreningen) har som mest varit 1270 m^3/s (när Vänerns vattendom frångicks år 2000). Även vid andra högflödestillfällen beror i storleks-ordningen 90% av flödet i älven innan förgreningen på tappningen från Vänern. Tillrinningen mellan Vargön och Lilla Edet kan nog antas förändras på liknande sätt som i Säveån och Lärjeån, men förändringar av Vänerns reglering kan då snabbt överskugga detta och klimatförändringen i sig har mindre betydelse för flödet.

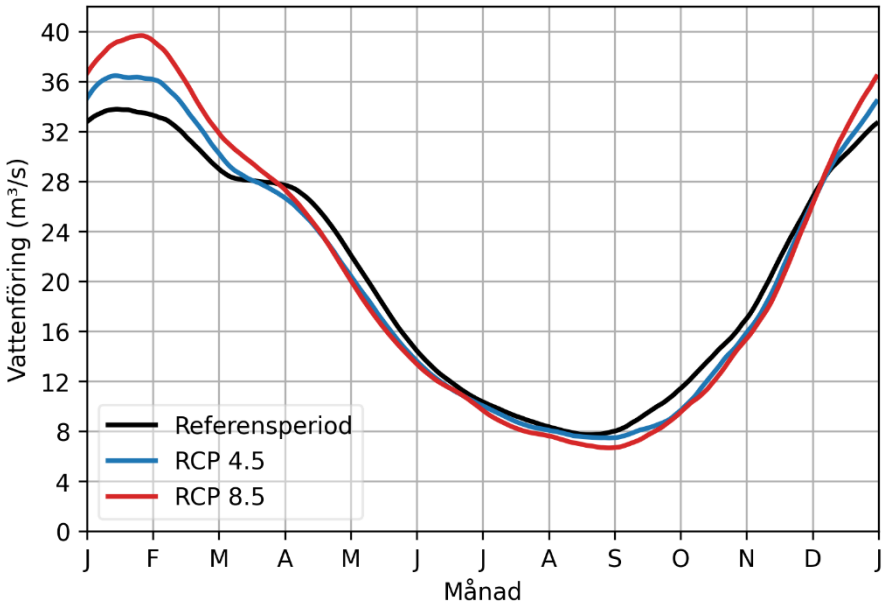
Med en oförändrad vattendom kan förväntas att maxflödet i älven blir likartat även i ett förändrat klimat (eftersom det är begränsat från Vänern), men att frekvensen och varaktigheten för tillfällen med maxtappningar ökar. De lägsta flödena kan också förväntas öka i frekvens och varaktighet. För utförligare diskussioner om Vänern och Göta älv i ett förändrat klimat hänvisas till Eklund m.fl. (2017).

8.2 Årsdynamik vattenföring

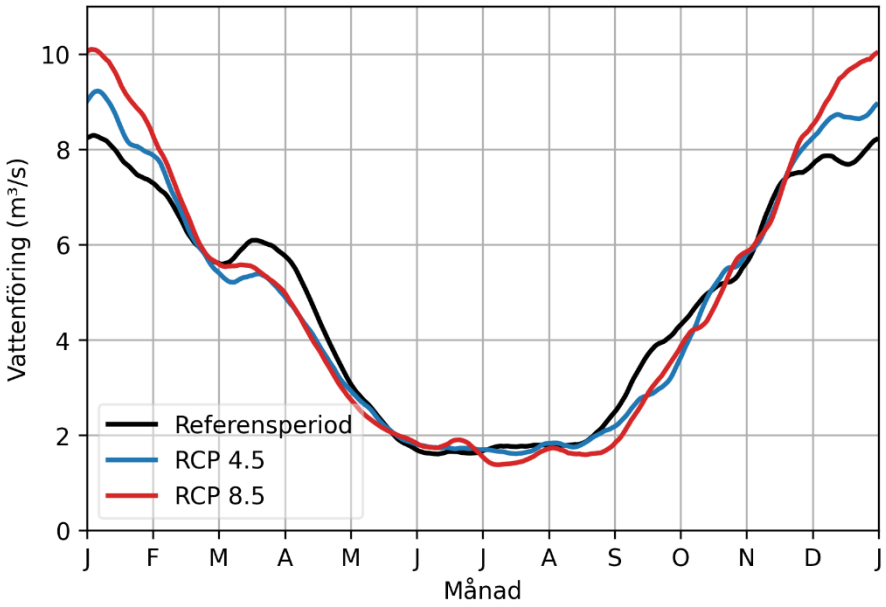
Genom att studera årsdynamiken i ett vattendrag i historiskt och framtida klimat ges en bild av hur flödena förändras över året. Flödena i vattendragen styrs av nederbördsmängden inom respektive avrinningsområde, snöförhållandena samt avdunstningen. Nederbörden ökar i Göteborg i framtiden (se avsnitt 5 och 5.2), men en del av ökningen kompenseras av ökad avdunstning.

Figur 33, Figur 34 och Figur 35 visar årsdynamiken i Säveån, Mölndalsån och Lärjeån. Den svarta kurvan visar medelvärden för referensperioden 1971-2000. Den blå och röda kurvan visar scenarierna RCP4.5 respektive RCP8.5 i slutet av seklet, 2071-2100. Beräkningarna är baserade på oreglerade flöden, d v s så som vattnet beter sig utan reglering av sjöar.

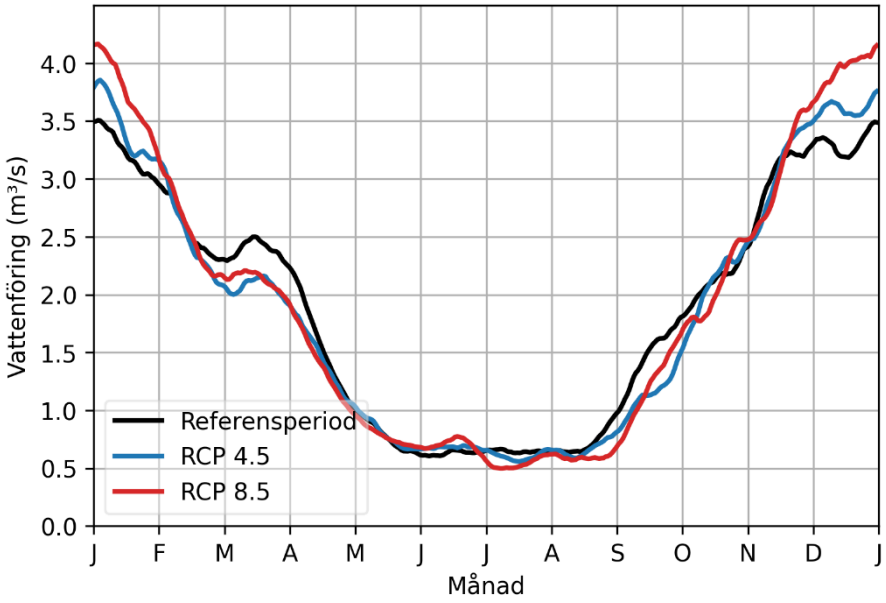
Förändringarna i vattendragen är relativt små. Samtliga vattendrag uppvisar något ökade vinterflöden i framtiden, sannolikt p g a mindre snömagasin och ökad vinternederbörd. På våren är flödena något lägre än idag. Även på sommaren finns en tendens till något lägre flöden, men skillnaderna är marginella. På hösten är flödena något lägre i framtiden i samtliga vattendrag. Generellt finns den största förändringen hos RCP8.5.



Figur 33. Årsdynamik för vattenföring i Säveån. Svart linje visar medelvärden för referensperioden 1971-2000, blå och röd kurva visar medelvärden av klimatscenarierna RCP4.5 respektive RCP8.5 i slutet av seklet.



Figur 34. Årsdynamik för vattenföring i Mölndalsån. Svart linje visar medelvärden för referensperioden 1971-2000, blå och röd kurva visar medelvärden av klimatscenarierna RCP4.5 respektive RCP8.5 i slutet av seklet.



Figur 35. Årsdynamik för vattenföring i Lärjeån. Svart linje visar medelvärden för referensperioden 1971-2000, blå och röd kurva visar medelvärden av klimatscenarierna RCP4.5 respektive RCP8.5 i slutet av seklet.

8.3 Höga flöden

Föregående avsnitt om vattenföringens årsdynamik beskrev medelflöden över ett genomsnittligt år för olika tidsperioder. Här beskrivs hur de höga flödena förändras i ett framtida klimat, vilket är viktigt för planering av åtgärder och bebyggelse i närheten av vattendrag. Höga flöden anges här med återkomsttiderna 10, 100 och 200 år. En återkomsttid på 100 år innebär att flödet inträffar i genomsnitt en gång på 100 år.

I Tabell 5, Tabell 6 och Tabell 7 redovisas resultaten för Mölndalsån, Lärjeån respektive Säveån. Resultaten presenteras i procentuell förändring för tidsperioden 2071 - 2100 jämfört med

referensperioden 1971 – 2000, för scenarierna RCP4,5 och RCP8,5. Median anger det mest sannolika värdet. Som komplement redovisas även percentil 75 av resultaten från ensemblen, vilket innebär att 75 % av de underliggande beräkningarna ger ett lägre värde. Förändringen är avrundad till närmaste 5-tal.

De höga flödena ökar för samtliga vattendag och samtliga återkomsttider. Enligt medianvärdena ökar de höga flödena med mellan 5-15 % enligt RCP4,5 och mellan 15-30 % enligt RCP8,5.

Tabell 5. Beräknad flödesförändring (%) i framtida klimat (2071 – 2100 relativt referensperioden 1971–2000) för Mölndalsån uppströms Gårda dämme, oreglerade förhållanden.

	RCP4,5		RCP8,5	
	Median	Percentil 75	Median	Percentil 75
HQ-10	10	30	25	30
HQ-100	10	40	30	35
HQ-200	10	40	30	40

Tabell 6. Beräknad flödesförändring (%) i framtida klimat (2071 – 2100 relativt referensperioden 1971–2000) för Lärjeån vid mynningen i Göta älv, oreglerade förhållanden.

	RCP4,5		RCP8,5	
	Median	Percentil 75	Median	Percentil 75
HQ-10	10	20	30	30
HQ-100	15	30	30	40
HQ-200	15	30	30	45

Tabell 7. Beräknad flödesförändring (%) i framtida klimat (2071 – 2100 relativt referensperioden 1971–2000) för Säveån uppströms Gullbergsåns mynning oreglerade förhållanden.

	RCP4,5		RCP8,5	
	Median	Percentil 75	Median	Percentil 75
HQ-10	10	15	15	30
HQ-100	5	20	15	35
HQ-200	5	20	15	35

8.4 Beräknat högsta flöde (BHF eller Metod I flöde)

Det som i samband med fysisk planering brukar benämnas beräknat högsta flöde (BHF) beräknas enligt Metod i ”Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar” (Svenska Kraftnät m.fl., 2022). Riktlinjerna rekommenderar att BHFs känslighet för förändrat klimat analyseras. Metodiken togs först fram av Andréasson m.fl. (2011) och har därefter tillämpats i olika sammanhang. Det har varit svårt att göra generella uppföljningar över regionala förändringar eftersom metodiken tar hänsyn till vattendragens olika karaktär (regleringsgrad, regleringsstrategier, naturliga sjöars dämpningsförmåga etc). I Svenska Kraftnäts rapportering kring klimatförändringens påverkan på dammsäkerheten (Svenska Kraftnät, 2023) finns dock en sådan generaliserad sammanställning som pekar mot ökande BHF. För Götaland beräknas en ökning av BHF med 15-20% i mitten av seklet och 20-40% mot slutet av seklet enligt RCP8.5.

För vattendrag i Göteborgs närhet där klimatkänslighetsanalyser gjorts så faller de in i den generella bild som redovisas av Svenska Kraftnät (2023). Mölndalsån, räknad med den tidigare regleringen och med en äldre uppsättning klimatscenarier ger genomsnittlig ökning på ca 15% både i mitten och slutet av seklet. Säveån (tillrinning till Aspen) med ett senare scenarieurval pekar på medianökningar 25% (RCP 4,5) till 35% (RCP 8,5) mot slutet av seklet och motsvarande 10-25% i mitten av seklet.

För mer detaljerad och platsspecifik information rekommenderas att beräkning och klimatkänslighet vid behov görs för BHF för relevanta punkter i aktuella vattendrag.

8.5 Antal dagar med lågflöden

Lågflöde definieras här som ett flöde under medelvärdet av varje års lägsta flöde (MLQ) för referensperioden 1971-2000. I Tabell 8 visas förändringen av antalet dagar per normalår med lågflöde vid slutet av seklet (2071-2100) jämfört med referensperioden (1971-2000). Observera att det är mått på förändringen för ett genomsnittligt år. Median anger det mest sannolika värdet. Som komplement redovisas även percentil 75 av resultaten från ensemblen, vilket innebär att 75 % av de underliggande beräkningarna ger ett lägre värde.

Det är entydigt att det blir fler dagar med låga flöden och förändringarna är större för RCP8,5 än för RCP4,5. Anledningen till att antalet dagar med lågflöde blir fler i framtiden är att avdunstningen ökar i ett varmare klimat.

Tabell 8 Förändring av antalet dagar per normalår med flöden under referensperiodens MLQ (2071-2100) för aktuella vattendrag.

	RCP4,5		RCP8,5	
	Median	Percentil 75	Median	Percentil 75
Säveån	17	24	21	36
Lärjeån	7	10	11	18
Mölndalsån	9	13	13	21

9 Vattentillgång

I Göteborgs stad är Göta älv den huvudsakliga dricksvattentäkten. Tillgången på vatten i Göta älv är tillräcklig, men periodvis är vattenkvaliteten ett problem. Dricksvattenförsörjningen är beroende av ett relativt högt vattenflöde i Göta älv för att inte salt havsvatten ska tränga in till dricksvattenintaget och bestämmelser kring detta finns i vattendomen. Dels finns den så kallade Ormoskärmen, som kan styra över vatten från Nordre älv till Göteborgsgrenen vid tillfällen med låga vattenflöden. Dels finns bestämmelser i vattendomen som säger att tappningen från Lilla Edet ska vara tillräckligt hög vid dessa tillfällen. Risken för saltvatteninträngning är också större vid tillfällen med hög vattennivå i havet.

I ett varmare klimat stiger havsnivån (se kapitel 11) och det kan bli vanligare med låga flöden i Göta älv (se avsnitt 8.1). Båda dessa faktorer kan medföra en ökad saltvatteninträngning. Vid tillfällen med kraftig nederbörd kan föroreningar spolas ut i älven. I framtiden beräknas det bli vanligare med kraftig nederbörd (se avsnitt 5.6), vilket kan leda till en sämre vattenkvalitet.

I mindre vattendrag i Göteborgsområdet väntas det i framtiden blir vanligare med låga vattenflöden (se avsnitt 8.5). Det väntas också bli vanligare med låga vattennivåer i sjöar i området, vilket också kan antas gälla de sjöar som är dricksvattentäkter.

En mindre del av dricksvattenförsörjningen kommer från grundvatten. Sveriges geologiska undersökning (SGU) har tagit fram klimatindikatorer för grundvatten (SGU, 2024). Rapporten omfattar så kallade små grundvattenmagasin, vilka exempelvis kan beröra enskild vattenförsörjning, jordbruk, infrastruktur och undermarksanläggningar. Små grundvattenmagasin förekommer i praktiskt taget hela landet.

Beräkningar av grundvattenbildning visar att den minskar i framtiden i Göteborgsområdet. Ett annat mått är grundvattentorka, som i rapporten definieras som årets längsta period då den ackumulerade potentiella grundvattenbildningen summeras till mindre än 10 mm under de senaste 30 dygnen. I Göteborgsområdet förlängs perioderna med grundvattentorka. RCP4,5 och RCP8,5 visar samma geografiska mönster och förändringen förstärks med högre utsläpp av växthusgaser. Dessutom kan en ökad havsnivå (se kapitel 11) leda till en större risk för saltvatteninträngning i havsnära brunnar.

10 Brandrisk

SMHI tog på uppdrag av MSB fram analyser på brandrisk i framtida klimat baserade på beräkningar med FWI-modellen (MSB, 2024). FWI-modellen används operationellt för prognoser och varningar för uttorkning och spridningsrisk.

Perioder med hög brandrisk studeras genom klimatindikatorer, här presenteras högrisksäsongens längd och förekomst av högriskperioder. En högriskperiod beskriver två eller fler dagar i följd med hög eller mycket hög brandrisk (här enligt ett s.k. brandriskindex HRP456). Högrisksäsongens längd startar med första högriskperioden på året och slutar med den sista.

Under referensperioden 1971–2000 var högrisksäsongens längd 20-30 dagar i Göteborg. I ett varmare klimat förlängs högrisksäsongen. I slutet av seklet blir den 1-2 veckor längre, enligt båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5.

Förekomsten av högriskperioder blir vanligare. Under referensperioden 1971-2000 förekom högriskperioder i genomsnitt knappt vartannat år (50 % av åren) i Göteborg. I ett varmare klimat blir de vanligare, 50-60 % av åren enligt RCP4.5 och upp till 70 % av åren enligt RCP8.5 i slutet av seklet.

11 Havsnivåer

11.1 Observationer av havsvattenstånd

Observationer av vattenstånd i Göteborgsområdet har skett och sker på flera platser, se Figur 36. Flera av mätserierna är för korta för att utgöra ett bra underlag statistiskt sett. De mätserier av havsvattenstånd som används inom föreliggande utredning är mätserierna vid Göteborg-Torshamnen och Göteborg-Krossholmen.

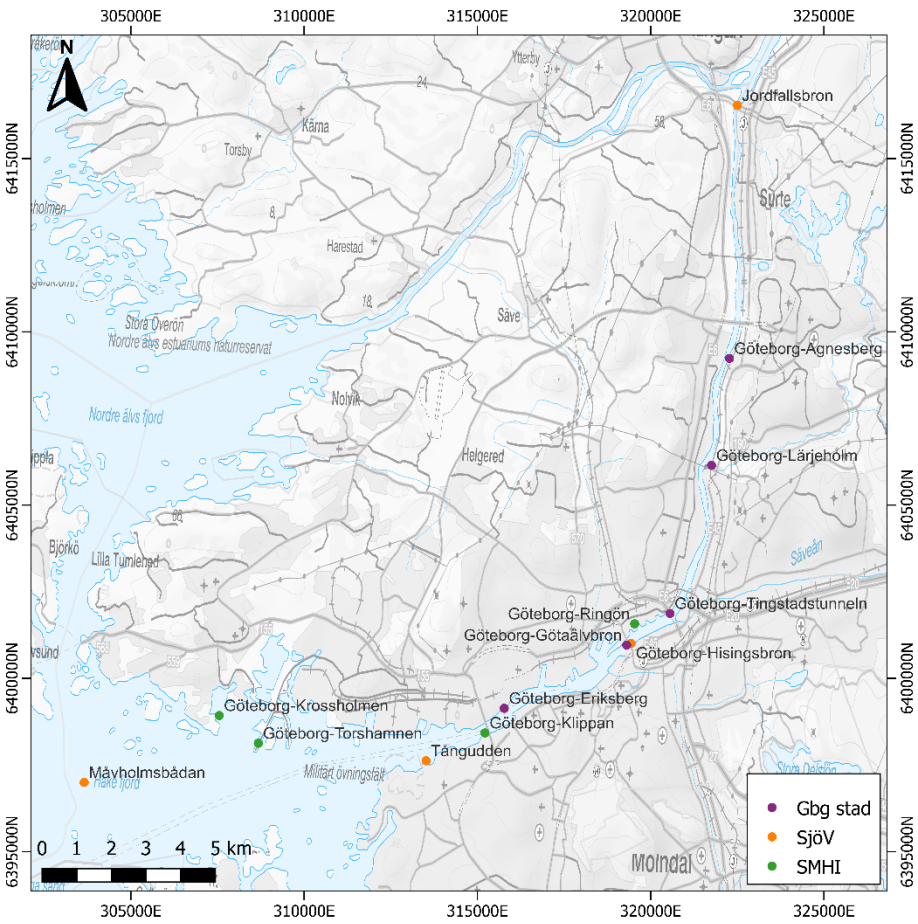
Mätningarna vid Göteborg-Torshamnen påbörjades i november 1967 och avslutades i januari 2023, och mätningarna vid Göteborg-Krossholmen påbörjades i augusti 2021 och pågår idag och har ersatt mätstationen vid Torshamnen. En jämförelse av observationer för den överlappande mätperioden mellan de båda stationerna har utförts och visar att en sammanslagning av mätserierna är rimlig.

Uppgifter om havsnivåer som redovisas, såväl höga som låga, är gällande för yttre delen av Göteborgsområdet väster om Älvsborgsbron, där älven mynnar i Rivö fjord. Längre in mot stadens centrum är vattennivåerna vanligen högre jämfört med nivåerna utanför Älvsborgsbron och ökar gradvis vidare uppströms, särskilt vid tillfälliga högvattenhändelser. Även vid normalt vattenstånd är nivåerna vanligen gradvis något högre längre uppströms, vilket beror på den snedställning av vattenytan som flödet från Göta älv medför. Det finns olika mått på tillägg för att få representativa/rimliga höga vattennivåer in mot centrala staden och vidare uppströms, och även olika mått på den snedställning som sker uppströms älven, se exempelvis Johansson, 2018.

Analyser av vattennivåer baseras på den sammanslagna mätserien Göteborg-Torshamnen/Krossholmen med en tidsupplösning på 1 timme och i höjdsystemet RH 2000. Tidsupplösningen på mätningar har justerats över tid, till en början mättes vattenståndet vid Göteborg-Torshamnen varje timme men ökades i modernare tid och i dagsläget finns mätvärden upp till minutbasis. Valet att endast använda timvärden har gjorts för att basera analyser på en homogen serie avseende tidsupplösning. Tidsupplösningen gör att uppgifter om exempelvis högsta och lägsta observationer skiljer sig från de uppgifter som baseras på högre tidsupplösning än 1 timme.

För att låg- och högvattenhändelser ska vara jämförbara över tid har den sammanslagna vattenståndsserien avtrendats linjärt. På så vis tas långsiktiga trender i vattenståndsserien bort, såsom landhöjning och havsnivåhöjning.

Om en stor del av data saknas under året ökar osäkerheten i beräkningarna. För att undvika för stora osäkerheter ska det vara minst 80 % datatäckning varje år. Den sammanslagna mätserien Göteborg-Torshamnen/Krossholmen (timvärden) har en datatäckning på totalt 99,9 % från november 1967 till oktober 2024.



Figur 36. Platser med mätningar av vattenstånd i Göteborgsområdet, Göteborgs stad (lila), Sjöfartsverket (orange), och SMHI (grön).

Utifrån en enkel jämförelse av vattenståndet från de olika mätstationerna under ett tiotal högvattenhändelser från 2013 och framåt noteras att vattenståndet vid Lärjeholm och Agnesberg varit uppemot cirka 25-30 cm högre än vid Torshamnen/Krossholmen. Vid dessa högvattenhändelser var vattenståndet vid Agnesberg ungefär detsamma eller något lägre än vid Lärjeholm. Det syns alltså ingen ytterligare höjning av vattenståndet från Lärjeholm och vidare uppströms till Agnesberg. Vattenståndet vid stationerna mellan Torshamnen/Krossholmen och Lärjeholm var succesivt högre från älvmynningen och uppströms vid dessa högvattenhändelser. Den högsta händelsen vid Torshamnen som ingått i jämförelsen inträffade under stormen Urd i december 2016 och nådde upp till cirka 139 cm i relativt medelvattenståndet och motsvarar en återkomstperiod på lite drygt 20 år (se avsnitt 11.8).

Även vid normalt vattenstånd ligger nivån vid Lärjeholm och Agnesberg vanligen något högre än vid övriga stationer, cirka 10 cm högre än vid Torshamnen/Krossholmen. Däremellan är vattenståndet gradvis högre. Vattenståndet vid Jordfallsbron har ej ingått i jämförelsen eftersom data ej är tillgängliga. En djupare analys av tilläggseffekter in mot centrala staden ryms inte inom detta uppdrag.

11.2 Medelvattenstånd i dagens klimat

Vid samhällsplanering behövs vanligen uppgifter om havsnivåer relateras till ett givet höjdsystem, exempelvis rikets höjdsystem RH 2000, vilket är Sveriges nationella höjdsystem som blev officiellt år 2005.

Det finns olika metoder för att bestämma medelvattenståndet i ett visst höjdsystem för ett givet år eller period. Ett tillvägagångssätt är att använda linjär regression över en längre tidsperiod för att få ett statistiskt stabilt mått, exempelvis hela mätseriens längd (SMHI - Årets medelvattenstånd, 2024). För

Göteborg-Torshamnen ger denna metod ett beräknat medelvattenstånd på 2 cm i RH 2000 för år 2024 (SMHI och Sjöfartsverket, 2024). Nackdelen med denna metod är att den inte fångar eventuellt förändrad hastighet i havsnivåförändring den senare delen av tidsperioden.

Ett annat tillvägagångssätt att bestämma medelvattenståndet i RH 2000 är att beräkna medelvärdet av observationer över en längre tidsperiod, exempelvis 20 år, i det önskade höjdsystemet RH 2000. I föreliggande rapport har medelvattenståndet i RH 2000 i dagens klimat beräknats som medelvärdet av observationer, timvärden i RH 2000, från den sammanslagna mätserien Göteborg-Torshamnen/Krossholmen för den senaste 20-årsperioden från januari 2005 till oktober 2024. Detta tillvägagångssätt ger ett mer representativt mått på medelvattenståndet i närtid. Det vore önskvärt att även observationer från november och december 2024, men beräkningen utfördes i november 2024 innan dessa data var tillgängliga. Medelvattenståndet för Göteborg-Torshamnen/Krossholmen för perioden från 2005 till 2024 har beräknats till cirka 8 cm i RH 2000, och används som mått på medelvattenståndet i dagens klimat.

11.3 Global havsnivåhöjning

Till följd av högre temperaturer i atmosfären stiger medelvattenståndet i havet globalt sett. Det är framförallt två faktorer som bidrar till att havsnivån höjs, att havet tar mer plats när det värms upp, termisk expansion, och att inlandsisar och glaciärer smälter, vilket ökar mängden vatten i havet. Havet stiger redan idag och kommer att fortsätta stiga i hundratals till tusentals år framöver. Detta gäller även om den globala uppvärmningen skulle begränsas till 1,5 eller 2°C eftersom havet reagerar mycket långsammare än atmosfären.

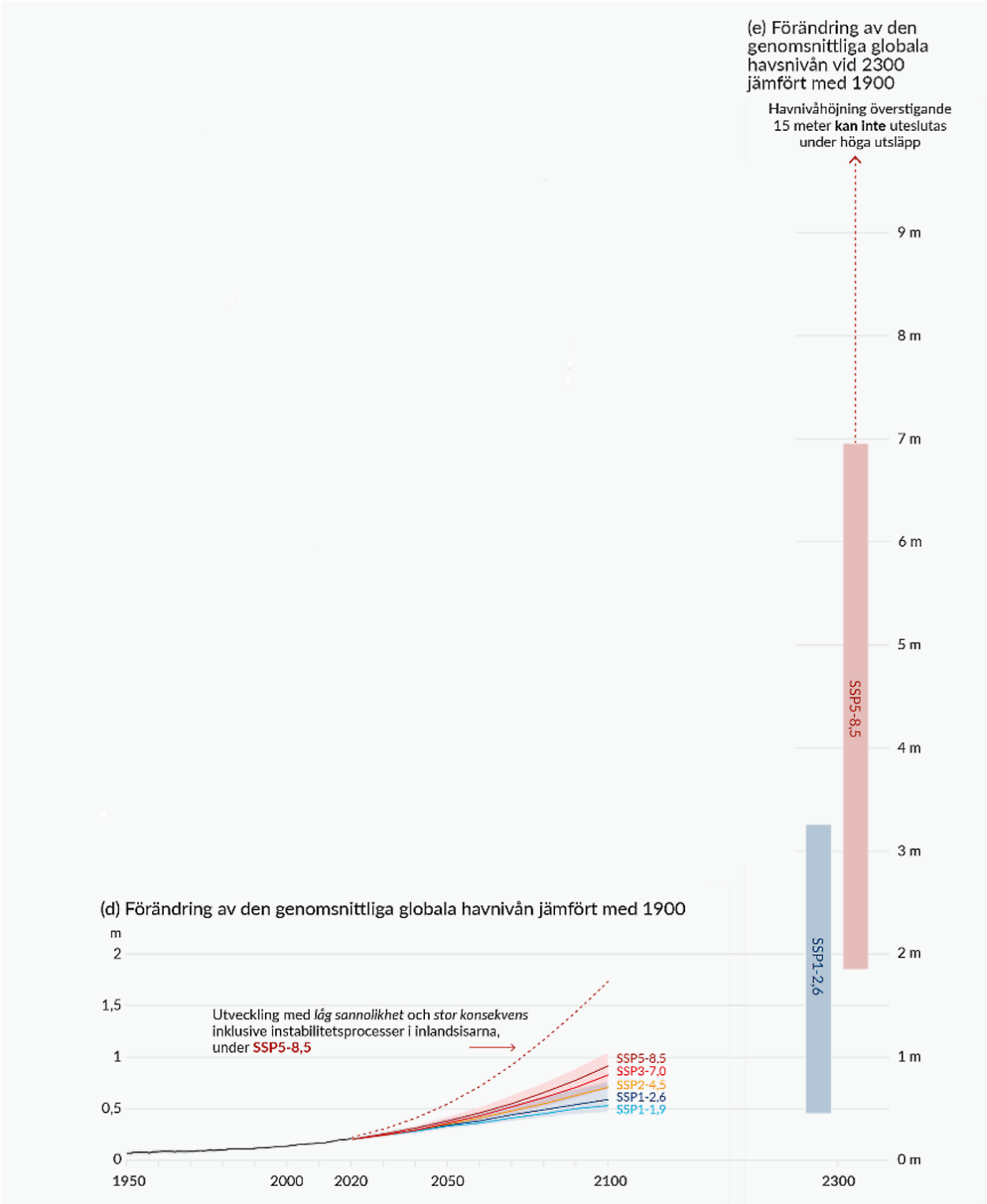
Historiskt sett har den genomsnittliga globala havsnivån stigit med cirka 0,20 meter mellan åren 1901 och 2018. Den genomsnittliga takten på havsnivåhöjningen var cirka 1,3 mm/år mellan 1901 och 1971, för att därefter öka till cirka 1,9 mm/år mellan 1971 och 2006, och ytterligare öka till cirka 3,7 mm/år mellan 2006 och 2018.

I IPCC:s sammanställning AR6 Delrapport 1 - *Den naturvetenskapliga grunden* (IPCC, 2021) har SSP-scenarierna kombinerats med strålningsdrivning från RCP-scenarierna för att studera klimatförändringar, relaterade klimateffekter, sårbarheten inför dessa och möjliga åtgärder. Rapporten utvärderar klimatresponsen utifrån fem scenarier över ett spann av möjlig framtida utveckling av mänsklig klimatpåverkan, SSP1-1,9, SSP1-2,6, SSP2-4,5, SSP3-7,0 och SSP5-8,5.

Den genomsnittliga förändringen av den globala havsnivån utifrån de fem olika scenarierna (medianvärden) relativt år 1900 fram till 2100, visas i Figur 37 (d). För de låga respektive höga utsläppsscenarierna, SSP1-2,6 och SSP3-7,0, visas även tillhörande *sannolikt* intervall. Med *sannolikt* intervall avses det intervall i vilket värdet ligger med en sannolikhet på 66 %. Detta innebär att det är 34 % sannolikhet att värdet ligger utanför det sannolika intervallet.

Den streckade linjen i Figur 37 (d) visar den 83:e percentilen av beräkningar under det mycket höga scenariot SSP5-8,5 där särskilda processer i inlandsisarna har inkluderats. Konfidensnivån är låg för beräkningar av dessa processer, och har bedömts som *mindre troliga* av IPCC, men effekterna av dessa processer skulle bli stora och kan inte uteslutas.

I Figur 37 (e) visas globala medianvärden och *sannolika* intervall för havsnivåhöjningen fram till år 2300 för två scenarier. Det framgår att om samhällsutvecklingen följer det lägre utsläppsscenariot SSP1-2,6 kan havsnivåerna år 2300 bli flera meter lägre än för det mycket högre utsläppsscenariot SSP5-8,5. Den streckade pilen illustrerar den 83:e percentilen i beräkningar under SSP5-8,5 där mindre troliga processer i inlandsisarna har inkluderats.



Figur 37. Förändring av det globala medelvattenståndet (i meter, relativt år 1900) fram till år 2100 (d) respektive år 2300 (e). Historiska förändringar är från mätningar. I d) visas troliga beräkningar för fem olika utsläppsscenarier (medianvärden) och sannolika intervall för SSP1-2,6 och SSP3-7,0. Den streckade linjen visar den 83:e percentilen av beräkningar under SSP5-8,5 där särskilda processer i inlandsisarna har inkluderats. Konfidensnivån är låg för beräkningar av dessa processer men effekterna av dessa processer skulle bli stora och kan inte uteslutas. I e) visas beräkningar för år 2300 under scenarierna SSP1-2,6 samt SSP5-8,5 där den 17:e – 83:e percentilen visas med skuggning. Att övriga scenarier inte visas beror på att antalet beräkningar där är för få för att ge ett robust resultat. Den streckade pilen illustrerar den 83:e percentilen i beräkningar under SSP5-8,5 där mindre troliga processer i inlandsisarna har inkluderats. Figuren och figurtexten är ett utsnitt från Figur SPM.8 (Masson-Delmotte, o.a., 2021).

För att beräkna global havsnivåhöjning krävs information om hur mycket landbaserad is som smälter och hur mycket värme som absorberas av haven. För att göra regionala prognoser behövs även data om var smältningen sker och var haven värms upp. Detta beror på att havsnivåhöjningen inte är jämnt fördelad över jorden på grund av stora regionala variationer.

Till exempel varierar den värmeökning som orsakar den termiska expansionen av havsvattnet mellan olika regioner. På samma sätt påverkar smältningen av inlandsisarna havsnivån olika mycket beroende på plats. När inlandsisarna smälter stiger havsnivån generellt, men ökningen är inte lika stor överallt. Detta beror på att smältningen minskar ismassans tyngd och därmed dess gravitationskraft, vilket får havsvattnet att omfördela sig. Nära inlandsisen sjunker havsnivån, medan den stiger mer i områden längre bort. För Sveriges del innebär detta att smältning på Grönland medför en sänkning av havsnivån, medan smältning på Antarktis höjer nivån.

Vid ett förändrat medelvattenstånd i havet, till följd av ett förändrat klimat, förändras utgångsläget för tillfälliga hög- och lågvattenhändelser. Ett förhöjt medelvattenstånd ger ett högre utgångsläge vilket gör att en tillfällig högvattenhändelse kan nå ännu längre upp på land än idag vid samma väder.

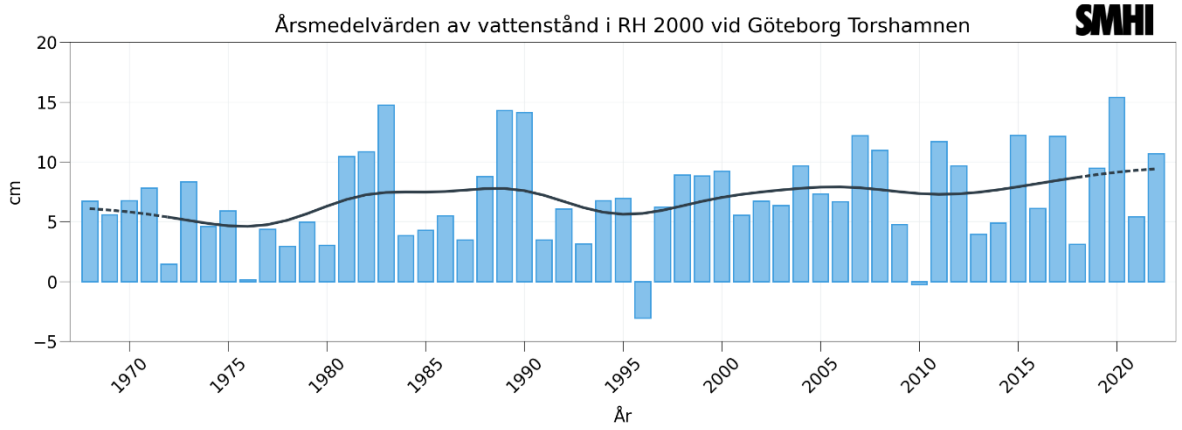
Med ett högre utgångsläge krävs ett mindre bidrag från vädret för att nå samma nivåer som vid dagens högvattenhändelser. Detta gör att nivåer som uppnås ganska sällan idag, kommer att uppnås betydligt oftare på de platser där medelvattenståndet blir högre i framtiden. En händelse som i genomsnitt överträffas en gång under en 100-års period historiskt sett kan komma att överträffas varje år i framtida klimat, beroende på hur mycket medelvattenståndet höjs, se Figur 3.

11.4 Historisk havsnivåhöjning

Till följd av den pågående klimatförändringen förändras havsnivån över tid. Havsnivåhöjningen motverkas till viss del av landhöjningen och gör att havsnivåhöjningen döljs. Sedan slutet av 1800-talet har den klimatdrivna havsnivåförändringen längs Sveriges kust gjort att havet i medeltal stigit cirka 15 cm (SMHI - Klimatindikator - havsnivå, 2024). Detta indikerar hur stor havsnivåhöjningen har varit då effekten av landhöjningen har tagits bort.

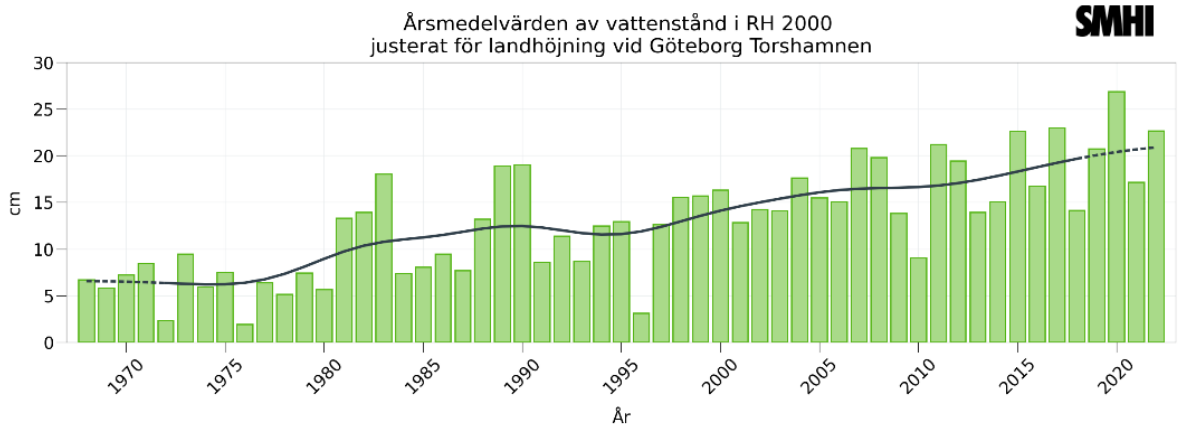
I Figur 38 visas årsmedelvärden av vattenståndet i RH 2000 vid Göteborg-Torshamnen och Figur 39 visas detsamma men justerat för landhöjningen. Årsmedelvärdena varierar mycket från år till år, därför visas även ett glidande medelvärde som indikerar den långsiktiga trenden.

Utifrån figurerna kan utläsas att havsnivåförändringen döljs i princip helt av landhöjningen, se Figur 38. Då effekten av landhöjningen tagits bort syns däremot en trend med stigande havsnivå, och från 1970 till 2020 har havsnivån stigit med cirka 15 cm vid Göteborg-Torshamnen, se Figur 39. Detta motsvarar en havsnivåhöjning på cirka 3 mm/år.



Staplarna visar årsmedelvärden av vattenståndet vid Göteborg Torshamnen i RH 2000. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Den streckade delen av linjen indikerar att medelvärdet är beräknat över färre antal år.

Figur 38. Årsmedelvärden av vattenståndet i RH 2000 vid Göteborg-Torshamnen (blåa staplar), och ett glidande medelvärde beräknat över ungefär 10 år (grå linje). Den streckade delen av linjen indikerar att medelvärdet är beräknat över färre antal år.



Staplarna visar årsmedelvärden av vattenståndet i RH 2000 justerat för landhöjning vid Göteborg Torshamnen. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Den streckade delen av linjen indikerar att medelvärdet är beräknat över färre antal år.

Figur 39. Årsmedelvärden av vattenståndet i RH 2000 justerat för landhöjning vid Göteborg-Torshamnen (gröna staplar) och ett glidande medelvärde beräknat över ungefär 10 år (grå linje). Den streckade delen av den grå linjen indikerar att medelvärdet har beräknats över färre antal år.

11.5 Medelvattenstånd i framtida klimat

Framtida medelvattenstånd i Göteborgs kommun redovisas i cm i höjdsystemet RH 2000 utifrån medianvärde och sannolikt intervall, från ett mycket lågt utsläppsscenario (SSP1-1,9) till ett mycket högt utsläppsscenario (SSP5-8,5) för årtiondena 2070, 2100 och 2150 i Tabell 9. Det sannolika intervallet begränsas av den 17:e och den 83:e percentilen, och utgör således varken en nedre eller en övre gräns för medelvattenståndets möjliga nivåer de valda årtiondena.

Därtill redovisas uppgifter om framtida medelvattenstånd för scenarierna SSP1-2,6 och SSP5-8,5 med låg konfidens (mindre troliga), för samma årtionden som övriga scenarier, se Tabell 10. Dessa beräkningar bedöms av IPCC som mindre troliga då de inkluderar processer förknippade med djup osäkerhet relaterade till inlandsisarnas instabilitet. Uppgifter för de mindre troliga scenarierna redovisas för samma percentiler som för övriga scenarier men intervallet bedöms ej som sannolikt av IPCC. Alla beräkningarna tar hänsyn till storskaliga regionala variationer i havsnivåhöjning på grund av att havet inte stiger lika mycket överallt på jorden (Hieronymus & Kalén, 2020), och har justerats för den lokala landhöjningen.

Uppgifter om framtida medelvattenstånd för Göteborgs kommun har hämtats från SMHI:s beräkningar, vilka redovisas för Sveriges kustkommuner för varje årtionde från 2030 till 2150 på SMHI:s hemsida om framtida medelvattenstånd (SMHI - Framtida medelvattenstånd, 2024). Uppgifterna baseras på

IPCC:s sammanställning AR6 Delrapport 1 – Den naturvetenskapliga grunden som publicerades 2021 (IPCC, 2021).

Beräkningar av medelvattenståndet i framtida klimat beskrivs utifrån en referensperiod. I IPCC AR6 används referensperioden 1995-2014 för havsnivåer. Medelvattenståndet under referensperioden i Göteborgs kommun har beräknats till 7 cm i RH 2000. Den totala landhöjningen i kommunen är 0,288 cm/år. Den totala landhöjningen beror av den långsiktiga landhöjningen till följd av det minskade trycket på jordskorpan då inlandsisen från den senaste istiden smälte bort för cirka 10 000 år sedan. Den långsiktiga landhöjningens hastighet antas vara konstant fram till år 2150. Den totala landhöjningen innehåller även en s k elastisk komponent (0,068 cm/år) som beror av dagens avsmältning från Grönland och större glaciärer.

Nivåerna anges i höjdsystemet RH 2000. Om förändringen av medelvattenståndet jämfört med referensperioden önskas istället, subtraheras medelvattenståndet för perioden 1995-2014 från medelvattenståndet det valda slutåret. Kortfattad beskrivning av metodik av framtida medelvattenstånd finns i Bilaga 14.3.1.

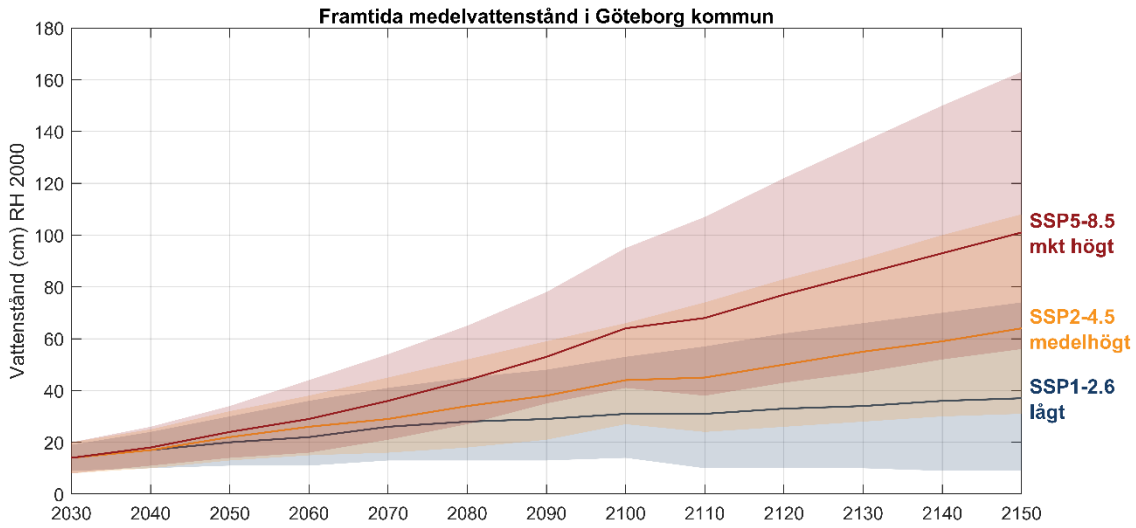
Tabell 9. Beräknade framtida medelvattenstånd i Göteborg kommun (cm i RH 2000) för valda år, median och sannolikt intervall. Det sannolika intervallet begränsas av den 17:e och 83:e percentilen.

Scenario	År 2070 median (sannolikt intervall)	År 2100 median (sannolikt intervall)	År 2150 median (sannolikt intervall)
SSP1-1,9 (Mycket lågt)	22 (6 till 40)	26 (3 till 53)	33 (-5 till 78)
SSP1-2,6 (Lågt)	26 (13 till 41)	31 (14 till 53)	37 (9 till 74)
SSP2-4,5 (Medelhögt)	29 (16 till 45)	44 (27 till 66)	64 (31 till 108)
SSP3-7,0 (Högt)	32 (19 till 49)	53 (31 till 81)	83 (42 till 137)
SSP5-8,5 (Mycket högt)	36 (21 till 54)	64 (41 till 95)	101 (56 till 163)

Tabell 10. Beräknade framtida medelvattenstånd i Göteborg kommun (cm i RH 2000) för valda år för ett lågt respektive mycket högt utsläppsscenario.

Scenario	År 2070 median (17:e till 83:e perc.)	År 2100 median (17:e till 83:e perc.)	År 2150 median (17:e till 83:e perc.)
SSP1-2,6 mindre troligt (Lågt)	25 (13 till 41)	30 (12 till 53)	39 (9 till 77)
SSP5-8,5 mindre troligt (Mycket högt)	37 (21 till 62)	73 (41 till 115)	165 (56 till 467)

Medelvattenståndets utveckling i Göteborgs kommun över tid, från år 2030 till år 2150, illustreras i Figur 40 för tre scenarier, från ett lågt (SSP1-2,6) till ett mycket högt (SSP5-8,5). Illustrationen visar att det inte skiljer särskilt mycket mellan de olika scenarierna på kort sikt, fram till cirka 2050. På längre sikt skiljer det mer mellan de olika scenarierna, särskilt bortom år 2100, och särskilt då osäkerheterna beaktas.



Figur 40. Framtida medelvattenstånd i Göteborgs kommun från år 2030 fram till år 2150 för scenarierna SSP1-2,6 (lågt), SSP2-4,5 (medelhögt) och SSP5-8,5 (mycket högt), medianvärde (heldragna linjer) och sannolikt intervall (skuggade områden).

11.6 Karakteristiska havsnivåer

Vanligt förekommande mått på havsnivåer är så kallade karakteristiska nivåer. Med karakteristiska havsnivåer avses, utöver medelvattenståndet (MV), följande;

- Högsta högvattenstånd (HHV) är det högsta av årens högsta uppmätta vattenstånd
- Medelhögvattenstånd (MHV) är medelvärdet av årens högsta uppmätta vattenstånd
- Lägsta högvattenstånd (LHV) är det lägsta av årens högsta uppmätta vattenstånd
- Högsta lågvattenstånd (HLV) är det högsta av årens lägsta uppmätta vattenstånd
- Medellågvattenstånd (MLV) är medelvärdet av årens lägsta uppmätta vattenstånd
- Lägsta lågvattenstånd (LLV) är det lägsta av årens lägsta uppmätta vattenstånd

Karakteristiska havsnivåer redovisas dels relativt medelvattenståndet och dels i höjdsystemet RH 2000 i Tabell 11. Uppgifterna inom parentes för MHV och MLV avser tillhörande konfidensintervall på 90 %.

Nivåerna har beräknats utifrån en sammanslagning av mätserierna vid Göteborg-Torshamnen och Göteborg-Krossholmen. Analysen baseras på timvärden, vilket gör att exempelvis högsta och lägsta noterade vattenstånd kan skilja sig något mot andra uppgifter som baseras på mer högupplöst data.

För att undvika urval av årshögsta observationer som inträffat tätt i följd men på var sida av ett årsskifte har brutet år från juli till juni använts istället för kalenderår. Data som ingår i analysen sträcker sig från juli 1968 till juni 2024. Därtill har kriteriet att det ska vara minst 80 % datatäckning från september till april varje brutet år använts för att årshögsta respektive årslägsta ska inkluderas i analysen.

Det högsta vattenståndet noterades i november 1985 och uppmättes till 149 cm relativt medelvattenståndet, vilket motsvarar 157 cm i RH 2000 i dagens klimat (2005-2024). Det lägsta vattenståndet vid Torshamnen/Krossholmen noterades i mars 1976 och uppmättes till -107 cm relativt medelvattenytan, vilket motsvarar -99 cm i RH 2000 i dagens klimat (2005-2024).

Tabell 11. Karakteristiska vattennivåer relativt medelvattenståndet (MV) och i höjdsystemet RH 2000 utifrån observationer vid Göteborg-Torshamnen/Krossholmen. Siffrorna inom parentes utgör ett konfidensintervall på 90%.

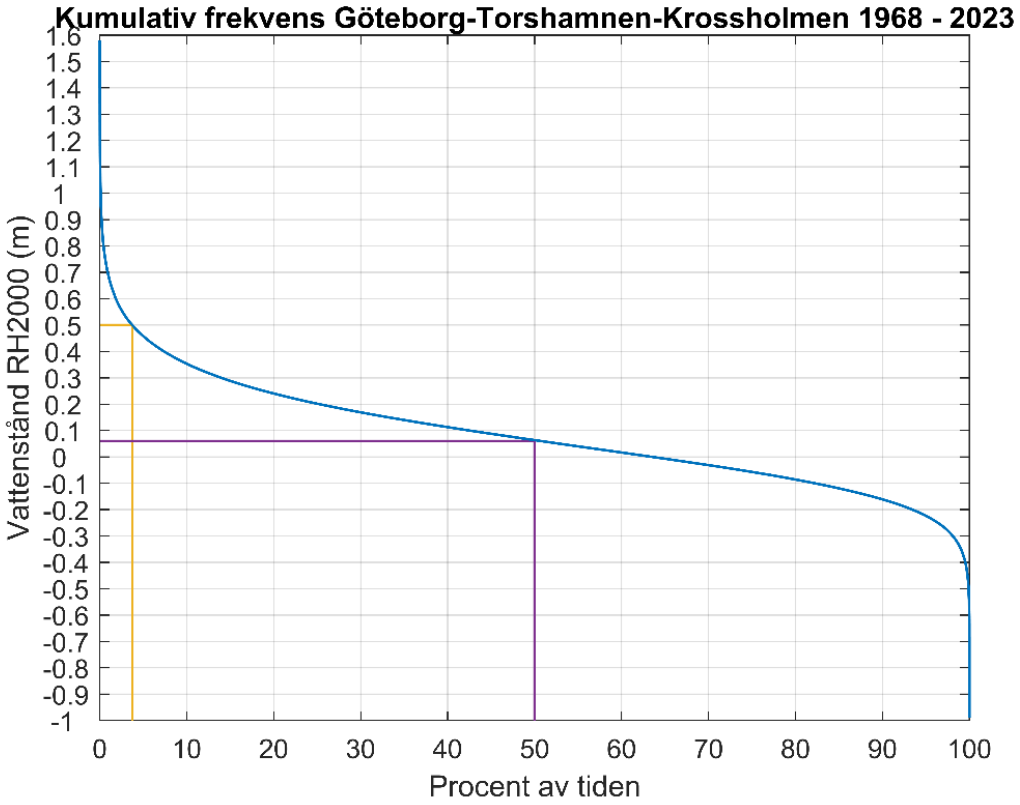
	Vattenstånd rel. MV (cm)	Vattenstånd RH 2000 (cm)
HHV	149	157
MHV	100 (95 till 105)	108 (103 till 113)
LHV	65	73
MV	0	8
HLV	-41	-33
MLV	-62 (-64 till -59)	-54 (-56 till -51)
LLV	-107	-99

11.7 Vanligt förekommande havsnivåer

11.7.1 Dagens klimat

Kumulativ fördelning av observerat havsvattenstånd vid Göteborg-Torshamnen/Krossholmen som andel av tiden i procent då vattenståndet varit över en given nivå visas i Figur 41. Exempelvis kan utläsas att vattenståndet varit 50 cm eller högre under cirka 4 % av tiden (orange linje i figuren), och att under 50 % av tiden har vattenståndet varit cirka 6 cm eller högre (lila linje i figuren). Nästan hela variationen av havsvattenståndet ligger inom -30 till +50 cm i RH 2000, cirka 96 % av tiden.

I Tabell 12 listas andel av tiden i procent då ett givet vattenstånd inträffat eller överskridits, dels månadsvis och dels helår. Utifrån tabellen kan en viss årsvariation utläsas med högre vattennivåer under höst och vinter, och lägre vattennivåer under vår och sommar. Vidare kan exempelvis utläsas att vattennivån varit 50 cm eller högre under cirka 9 % av tiden i januari men endast under cirka 0,1 % i maj.



Figur 41. Kumulativ frekvens av vattenståndet vid Göteborg-Torshamnen/Krossholmen som visar andel av tiden i procent som vattenståndet varit över givna nivåer. Används ej för små eller stora procent.

Tabell 12. Kumulativ frekvens av vattenståndet vid Göteborg-Torshamnen/Krossholmen som visar andel av tiden i procent ett givet vattenstånd inträffat eller överskridits på månadsbasis och på helårsbasis. Nivåerna anges i RH 2000 i cm i intervall om 10 cm. Inget värde anges med streck, nollor anger att händelser förekommit men under mycket liten andel av tiden. Högsta högvattenståndet på 157 cm i RH 2000 noterades i november. Händelsen var kortvarig och utgör därför mycket liten andel av tiden (cirka 0,01%).

VST (cm) RH 2000	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	HELÅR
160	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
140	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
130	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
120	0.1	0	-	-	-	-	-	-	-	0	0.1	0.1	0
110	0.2	0.1	0	-	-	-	-	-	0	0	0.1	0.1	0
100	0.4	0.2	0	-	-	-	-	-	0	0.1	0.2	0.2	0.1
90	0.9	0.3	0.1	-	-	-	-	-	0.1	0.2	0.3	0.4	0.2
80	1.6	0.7	0.2	0	-	-	-	0	0.3	0.5	0.9	0.8	0.4
70	3.0	1.4	0.5	0	-	-	0	0.1	0.6	1.3	2.0	2.0	0.9
60	5.1	2.7	1.2	0.1	0	0	0.1	0.2	1.5	3.0	4.1	4.1	1.8
50	8.7	5.1	2.5	0.4	0.1	0.2	0.4	0.8	3.6	6.6	8.3	8.2	3.7
40	14.8	9.2	5.0	1.2	0.5	0.9	1.5	2.7	8.6	12.8	15.6	15.9	7.4
30	23.8	15.9	9.7	3.2	1.8	3.6	6.2	8.9	17.9	23.0	26.8	26.8	14.0
20	35.2	25.3	17.9	8.0	6.7	12.2	20.9	24.0	32.7	38.1	41.8	40.0	25.2
10	49.0	37.7	30.0	17.9	18.5	32.5	47.1	50.8	54.1	57.0	58.9	55.8	42.5
0	65.4	52.6	46.4	36.4	41.8	62.3	76.9	79.8	76.6	74.9	75.7	72.6	63.5
-10	80.6	69.1	65.5	63.3	71.0	88.0	95.4	96.5	92.2	88.9	89.0	86.3	82.2
-20	90.9	84.2	82.8	86.9	91.6	98.4	99.7	99.8	98.6	96.5	96.6	94.6	93.4
-30	96.3	93.9	93.6	97.4	98.8	99.9	100	100	99.8	99.3	99.4	98.3	98.1
-40	98.9	98.3	98.2	99.6	99.9	100	100	100	100	99.9	99.8	99.6	99.5
-50	99.7	99.6	99.7	100	100	100	100	100	100	100	100	99.9	99.9
-60	100	99.9	99.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

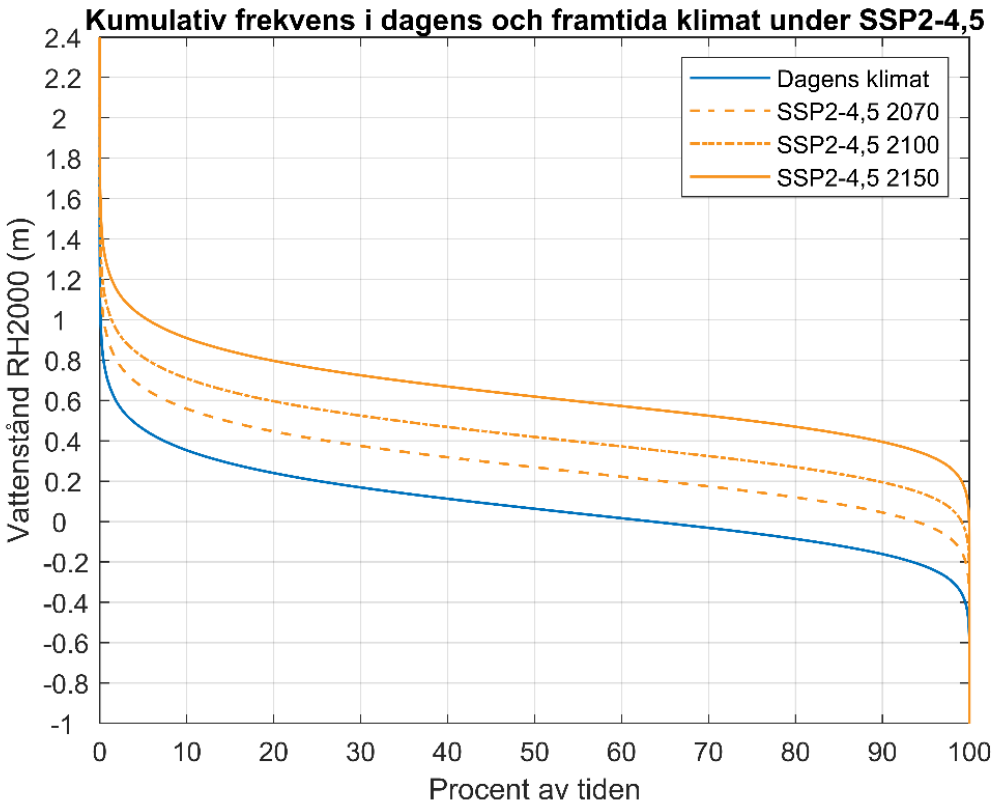
11.7.2 Framtida klimat

Kumulativ frekvens i dagens och framtida klimat under SSP2-4,5 respektive SSP5-8,5 visas i Figur 42 respektive Figur 43. Val av scenarier och årtionden har gjorts av Göteborgs stad. Med ett förhöjt medelvattenstånd i framtida klimat blir det allt vanligare med högre vattennivåer.

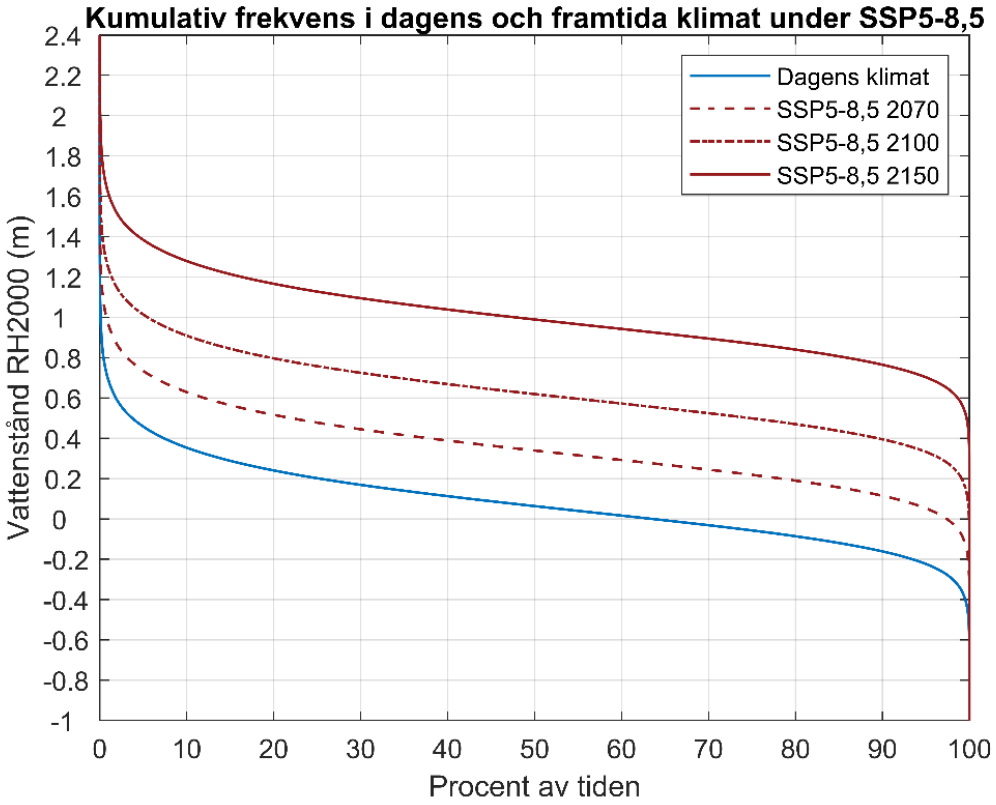
Exempelvis så har en vattennivå på 50 cm i RH 2000 eller högre förekommit cirka 4 % av tiden i dagens klimat. Under det medelhöga scenariot SSP2-4,5 (median) kommer vattenståndet kunna bli 50 cm eller högre cirka 15 % av tiden år 2070, cirka 34 % av tiden år 2100, och cirka 75 % av tiden år 2150. Motsvarande under det mycket höga scenariot SSP5-8,5 kommer vattenståndet kunna bli 50 cm eller högre cirka 22 % år 2070, cirka 75 % år 2100 och år 2150 kommer vattennivån vara 50 cm eller högre i princip hela tiden.

Nivån som motsvarar medelhögvattenstånd i dagens klimat (108 cm i RH 2000) har överträffats under en låg andel av tiden historiskt sett. Men i ett framtida klimat kommer detta medelhögvattenstånd bli allt vanligare, år 2100 överskrids det historiska medelhögvattenståndet cirka 3 % av tiden under det mycket höga scenariot och nära 30 % av tiden år 2150.

Vidare kan utläsas att i dagens klimat har vattennivån varit cirka 6 cm eller högre under 50 % av tiden. I framtida klimat kan vattennivån bli 42 cm eller högre under 50 % av tiden år 2100 under SSP2-4,5 och 62 cm eller högre under SSP5-8,5.



Figur 42. Kumulativ frekvens av vattenståndet vid Göteborg-Torshamnen/Krossholmen som visar andel av tiden i procent som vattenståndet varit över givna nivåer, dels i dagens klimat (blå) och dels med förändrat medelvattenstånd under SSP2-4,5 (median) för åren 2070, 2100 och 2150 (gul).



Figur 43. Kumulativ frekvens av vattenståndet vid Göteborg-Torshamnen/Krossholmen som visar andel av tiden i procent som vattenståndet varit över givna nivåer, dels i dagens klimat (blå) och dels med förändrat medelvattenstånd under SSP5-8,5 (median) för åren 2070, 2100 och 2150 (röd).

Kumulativa frekvenser av vattenståndet som andel av tiden i procent då ett givet vattenstånd inträffat eller överskridits, dels månadsvis och dels helår, i framtida klimat under SSP2-4,5 och SSP5-8,5 listas i Tabell 20-Tabell 25 i Bilaga 14.3.5 Frekvenstabeller av havsvattenstånd.

11.8 Extremnivåer i dagens klimat

Tillfälliga hög- och lågvattenhändelser, orsakade av vädret, kan medföra problem redan i dagens klimat med exempelvis översvämningar eller att vattendjupet är för lågt för säker sjöfart. Hur ofta förekomsten av extrema naturliga händelser, såsom hög- och lågvattenhändelser, kan förväntas beskrivs vanligen genom återkomstperiod.

Vilken återkomstperiod som är lämplig att använda vid fortsatta analyser eller planering av nya objekt kan variera och beror exempelvis på vad som planeras, objektets livslängd, vilken risk som bedöms vara acceptabel samt eventuell möjlighet att senare anpassa till högre nivåer.

För mer information om metod av beräknade extremnivåer hänvisas till Bilaga 14.3.2 Metodik extremnivåer.

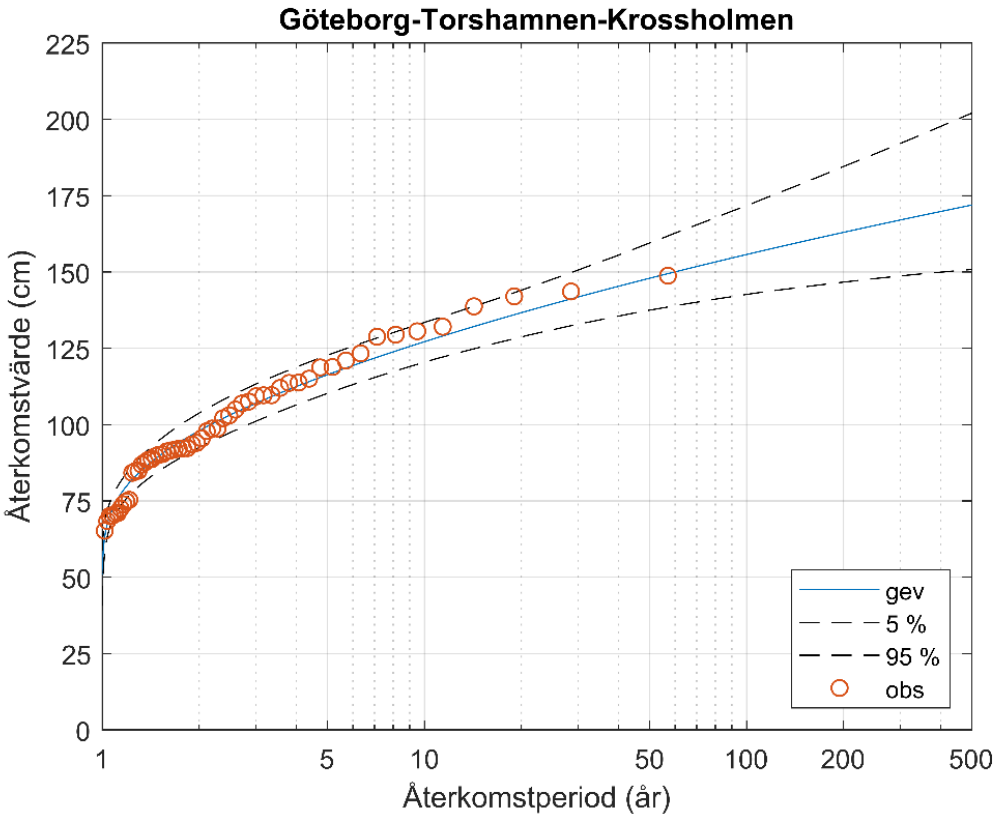
11.8.1 Höga extremnivåer

Beräknade återkomstnivåer upp till 500-års återkomstperiod för höga havsnivåer i dagens klimat visas i Figur 44. Exempelvis kan utläsas att återkomstnivån med 100 års återkomsttid har beräknats till 156 cm relativt medelvattenståndet, vilket motsvarar 164 cm i RH 2000 i dagens klimat.

Från figuren kan utläsas att medelhögvattenståndet, som beräknats till 100 cm relativt medelvattenståndet, har en återkomstperiod på lite drygt 2 år. Det högsta högvattenståndet som har noterats till cirka 150 cm relativt medelvattenståndet har en återkomstperiod på ungefär 60 år.

Beräknade återkomstnivåer i dagens klimat från 1 till 500 års återkomstperiod listas i Tabell 13, dels relativt medelvattenståndet och dels i RH 2000. Siffrorna inom parentes anger tillhörande konfidensintervall på 90 %.

Återkomstnivån med 200 års återkomstperiod har beräknats till 171 cm i RH 2000 i dagens klimat (2005-2024). Återkomstnivåerna med högre återkomstperioder skiljer sig inte signifikant från varandra, konfidensintervallen överlappar.



Figur 44. Beräknade återkomstnivåer för höga havsnivåer relativt medelvattenståndet mot återkomstperiod i dagens klimat för Göteborg-Torshamnen/Krossholmen utifrån en GEV-fördelning.

Tabell 13. Beräknade återkomstnivåer för höga havsnivåer i cm för Göteborg-Torshamnen/Krossholmen relativt medelvattenståndet och i höjdsystemet RH 2000. Siffrorna inom parentes anger ett tillhörande konfidensintervall på 90 %.

Återkomstperiod	Återkomstnivå rel. MV (cm)	Återkomstnivå RH 2000 (cm)
1 år	51 (41 till 60)	59 (49 till 68)
2 år	98 (92 till 104)	106 (100 till 112)
5 år	116 (110 till 123)	124 (118 till 131)
10 år	127 (121 till 134)	135 (129 till 142)
20 år	137 (129 till 145)	145 (137 till 153)
30 år	142 (133 till 151)	150 (141 till 159)
50 år	148 (136 till 159)	156 (144 till 167)
100 år	156 (140 till 171)	164 (148 till 179)
200 år	163 (142 till 184)	171 (150 till 192)
500 år	172 (143 till 201)	180 (151 till 209)

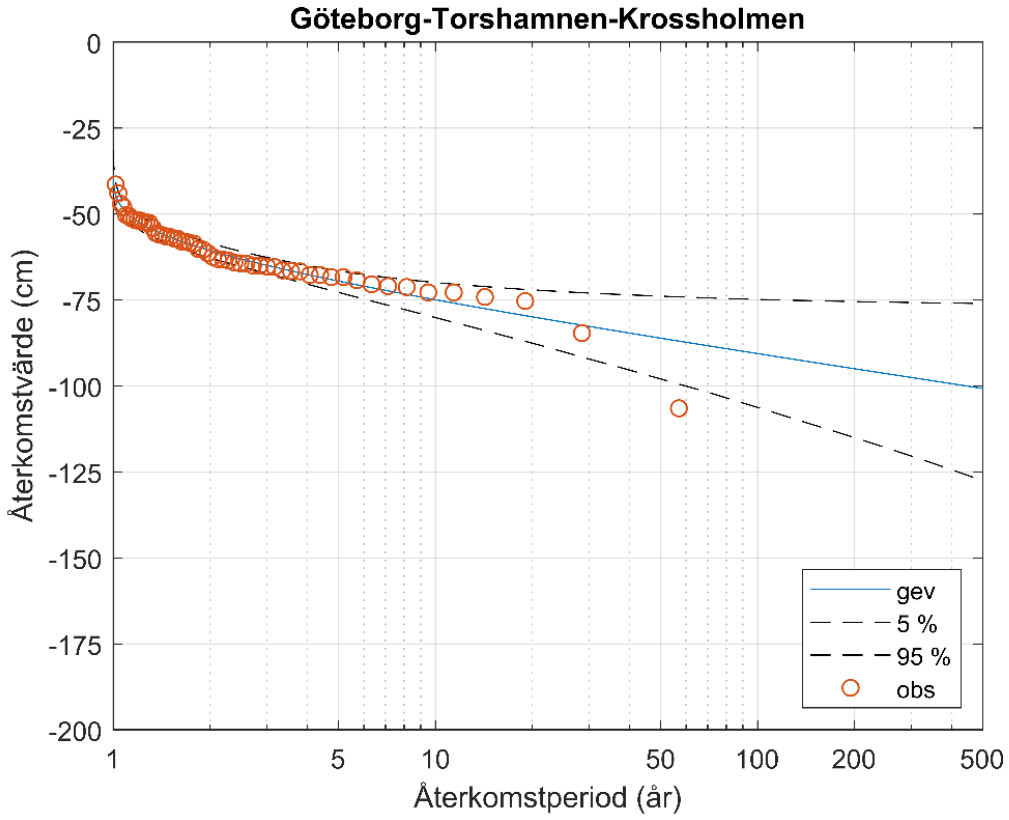
11.8.2 Låga extremnivåer

I Figur 45 visas beräknade återkomstnivåer upp till 500-års återkomstperiod för låga havsnivåer i dagens klimat. Utifrån figuren kan utläsas att återkomstnivån med 100 års återkomsttid har beräknats till -91 cm relativt medelvattenståndet, vilket motsvarar -83 cm i RH 2000 i dagens klimat.

Från figuren kan även utläsas att medellågvattenståndet, som beräknats till -62 cm relativt medelvattenståndet, har en återkomstperiod på lite drygt 2 år. Den lägsta noteringen på -107 cm relativt medelvattenståndet hamnar utanför konfidensintervallet, och indikerar att de beräknade återkomstnivåerna kan vara underskattade. Olika fördelningsfunktioner har testats och ingen av de övriga testade fördelningsfunktionerna fångade lägsta lågvattnet bättre än GEV-fördelningen.

Beräknade återkomstnivåer för låga havsnivåer i dagens klimat från 1 till 500 års återkomstperiod listas i Tabell 14, dels relativt medelvattenståndet och dels i RH 2000. Siffrorna inom parentes anger tillhörande konfidensintervall på 90 %.

Återkomstnivån med 200 års återkomstperiod har beräknats till -87 cm i RH 2000 i dagens klimat. Det är mycket små skillnader mellan beräknade återkomstnivåer för de längre återkomstperioderna, exempelvis skiljer det inte mer än 6 cm mellan 200- och 500-årsnivån. Återkomstnivåerna för de längre återkomstperioderna skiljer inte signifikant från varandra, konfidensintervallen överlappar.



Figur 45. Beräknad återkomstnivå för låga havsnivåer relativt medelvattenståndet mot återkomstperiod i dagens klimat för Göteborg-Torshamnen/Krossholmen utifrån en GEV-fördelning.

Tabell 14. Beräknade återkomstnivåer för låga havsnivåer i cm för Göteborg-Torshamnen/Krossholmen relativt medelvattenståndet och i höjdsystemet RH 2000. Siffrorna inom parentes anger ett tillhörande konfidensintervall på 90%.

Återkomstperiod	Återkomstnivå rel. MV (cm)	Återkomstnivå RH 2000 (cm)
1 år	-39 (-32 till -45)	-31 (-24 till -37)
2 år	-61 (-58 till -63)	-53 (-50 till -55)
5 år	-69 (-66 till -73)	-61 (-58 till -65)
10 år	-75 (-70 till -80)	-67 (-62 till -72)
20 år	-80 (-72 till -88)	-72 (-64 till -80)
30 år	-83 (-73 till -93)	-75 (-65 till -85)
50 år	-86 (-74 till -99)	-78 (-66 till -91)
100 år	-91 (-74 till -107)	-83 (-66 till -99)
200 år	-95 (-74 till -116)	-87 (-66 till -108)
500 år	-101 (-73 till -129)	-93 (-65 till -121)

11.9 Extremnivåer i framtida klimat

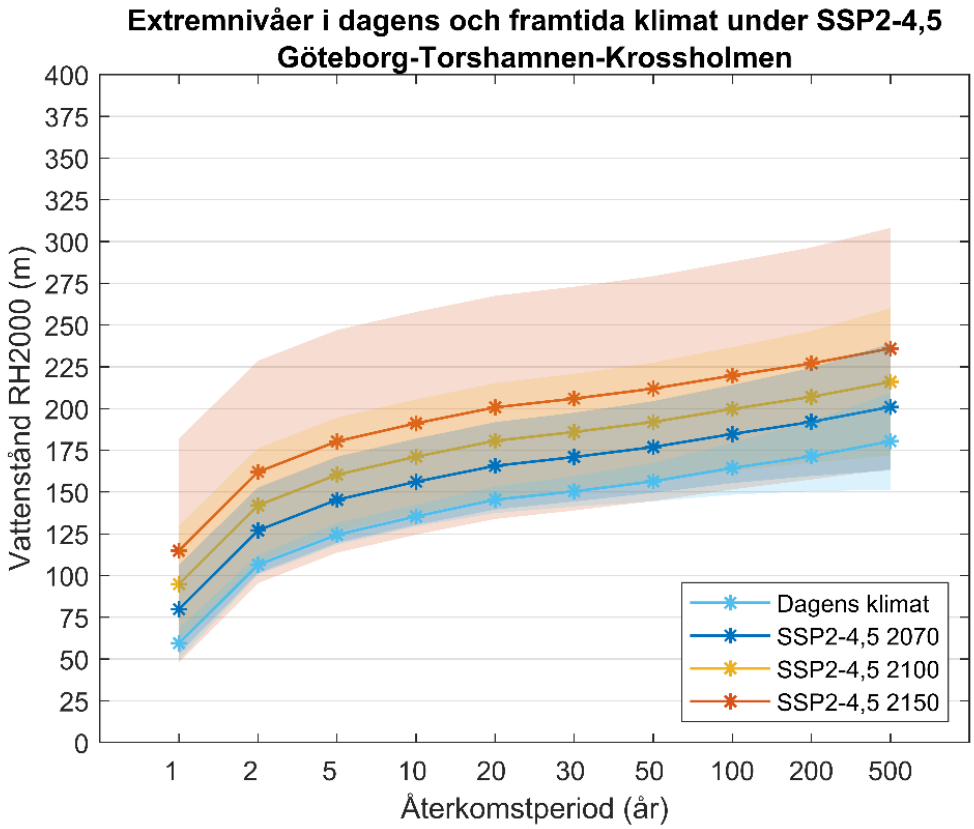
Vid ett förändrat medelvattenstånd i havet, till följd av ett förändrat klimat, förändras utgångsläget för tillfälliga hög- och lågvattenhändelser. Ett förhöjt medelvattenstånd ger ett högre utgångsläge vilket gör att en tillfällig högvattenhändelse kan nå ännu längre upp på land än idag vid samma väder. Med ett högre utgångsläge krävs mindre bidrag från vädret för att nå samma nivåer som vid dagens högvattenhändelser. Detta gör att nivåer som uppnås relativt sällan idag, kommer att uppnås oftare då medelvattenståndet blir högre i framtiden.

För att beräkna extremnivåer i framtida klimat görs ett antal antaganden, vilket innebär osäkerheter. Dessa beskrivs i Bilaga 14.3.6: Antaganden, osäkerheter och konfidensintervall.

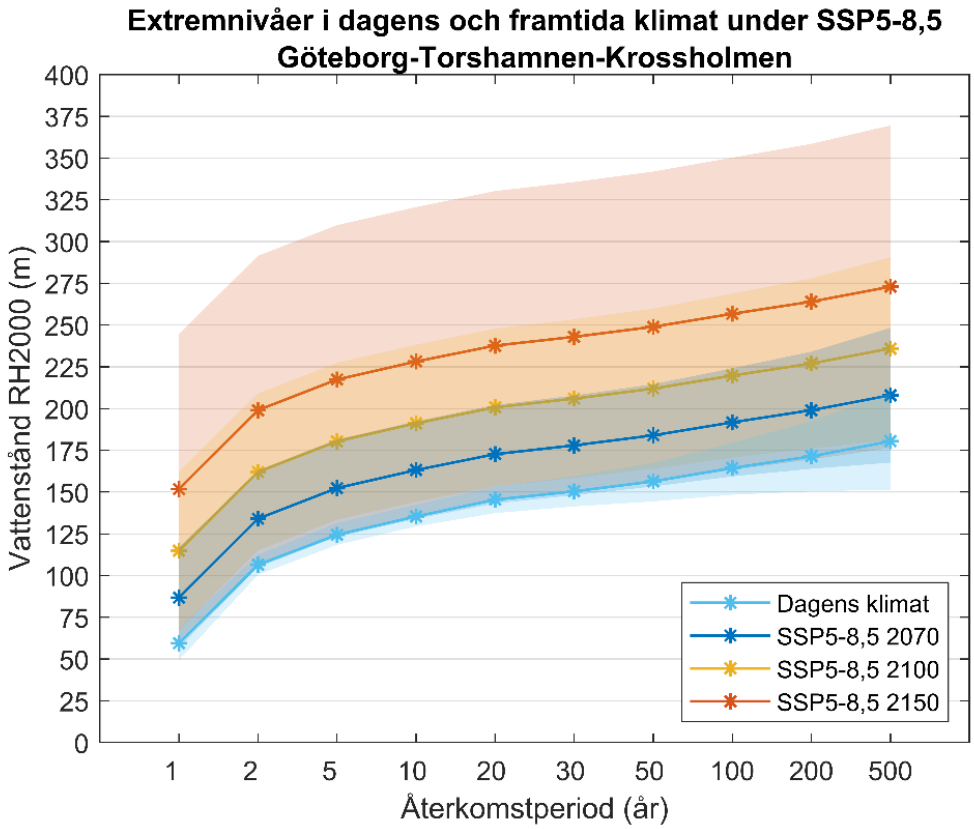
11.9.1 Höga extremnivåer

Beräknade återkomstnivåer upp till 500 års återkomstperiod för höga havsvattenstånd i framtida klimat för åren 2070, 2100 och 2150 illustreras i Figur 46 för det medelhöga scenariot SSP2-4,5 och i Figur 47 för det mycket höga scenariot SSP5-8,5. Som jämförelse visas även beräknade återkomstnivåer i dagens klimat i figurerna. Val av scenarier och årtionden har gjorts av Göteborgs stad. Beräknade höga återkomstnivåer i framtida klimat listas i tabellform i Bilaga 14.3.3: Höga extremnivåer i framtida klimat.

Figurerna visar att ett allt högre medelvattenstånd gör att en tillfällig höjning blir ännu högre jämfört med idag vid samma händelse. En högvattenhändelse som i dagens klimat har en återkomstperiod på 200 år, motsvarar en återkomstperiod på 30 år under SSP2-4,5 år 2070, en återkomstperiod på 10 år 2100 och en återkomstperiod på cirka 3 år 2150.



Figur 46. Beräknade höga återkomstnivåer för Göteborg-Torshamnen/Krossholmen i dagens (ljusblått) och framtida klimat under SSP2-4.5, år 2070 (mörkblå), år 2100 (orange) och år 2150 (röd). Linjerna visar skattade extremnivåer och skuggade fält visar tillhörande konfidensintervall på 90 %.



Figur 47. Beräknade höga återkomstnivåer för Göteborg-Torshamnen/Krossholmen i dagens (ljusblått) och framtida klimat under SSP5-8.5, år 2070 (mörkblå), år 2100 (orange) och år 2150 (röd). Linjerna visar skattade extremnivåer och skuggade fält visar tillhörande konfidensintervall på 90 %.

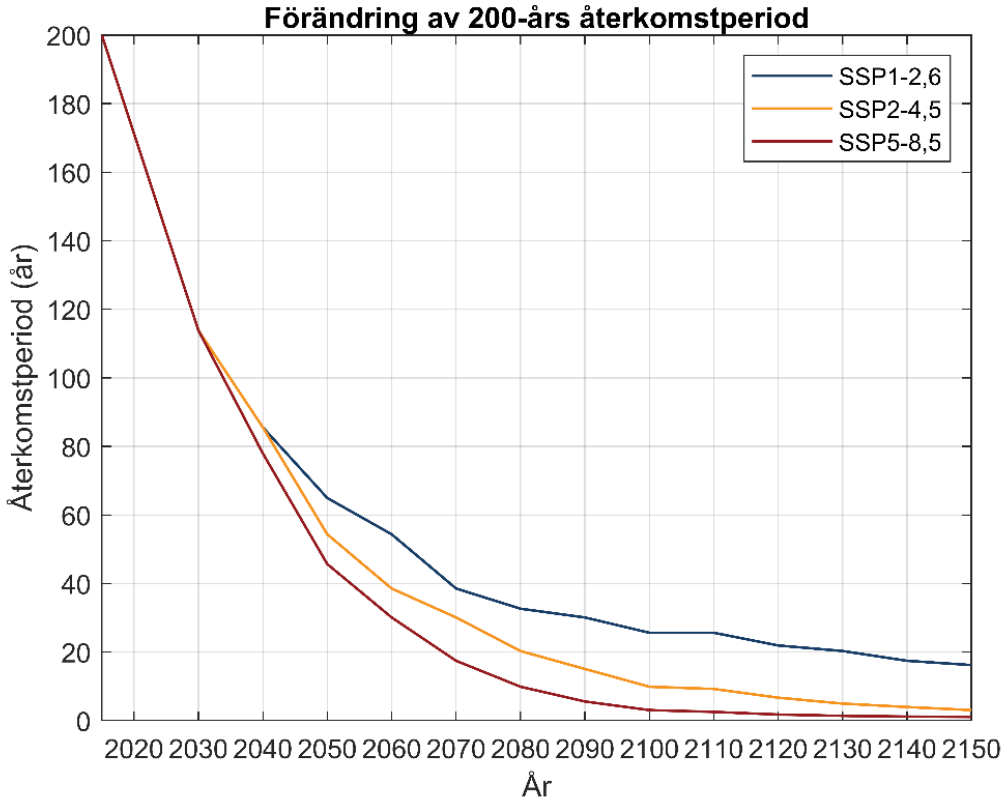
I Figur 48 respektive Figur 49 illustreras förändringen i tiden i framtida klimat av 200- respektive 500-års återkomstperiod under tre olika klimatscenarier, utifrån medianvärden, från ett lågt (SSP1-2,6) till ett mycket högt (SSP5-8,5) scenario.

Figurerna visar att återkomstperioderna avtar relativt snabbt, redan år 2050 kan återkomstnivån som i dagens klimat har en återkomstperiod på 200 år motsvara en återkomstperiod mindre än 70 år oavsett klimatscenario.

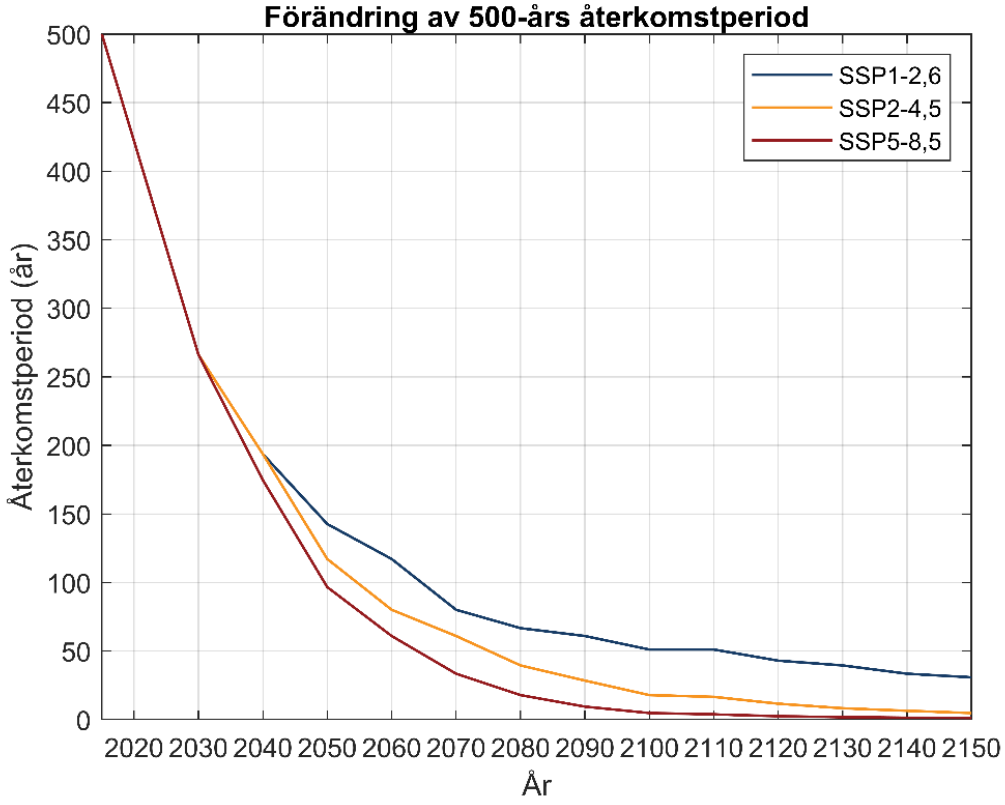
Återkomstnivån som har en återkomstperiod på 500 år i dagens klimat motsvarar ungefär en 5-årshändelse år 2100 under det mycket höga scenariot, och en återkomstperiod på strax under 20 år under det medelhöga scenariot.

På lång sikt, år 2150, motsvarar dagens 200- och 500-års händelser en återkomstperiod på 1 år under det mycket höga scenariot, och en återkomstperiod något kortare än 5 år under det medelhöga scenariot.

Förändringen av de givna återkomstperioderna i framtida klimat visas från år 2015, som är det år som ligger ungefär i mitten av den tidsperiod (2005-2024) som använts för att beräkna medelvattenståndet i dagens klimat.



Figur 48. Förändring av 200-års återkomstperiod för Göteborg-Torshamnen/Krossholmen i framtida klimat under ett mycket lågt scenario (SSP1-2,6), ett medelhögt scenario (SSP2-4,5) och ett mycket högt scenario (SSP5-8,5) utifrån medianvärden.



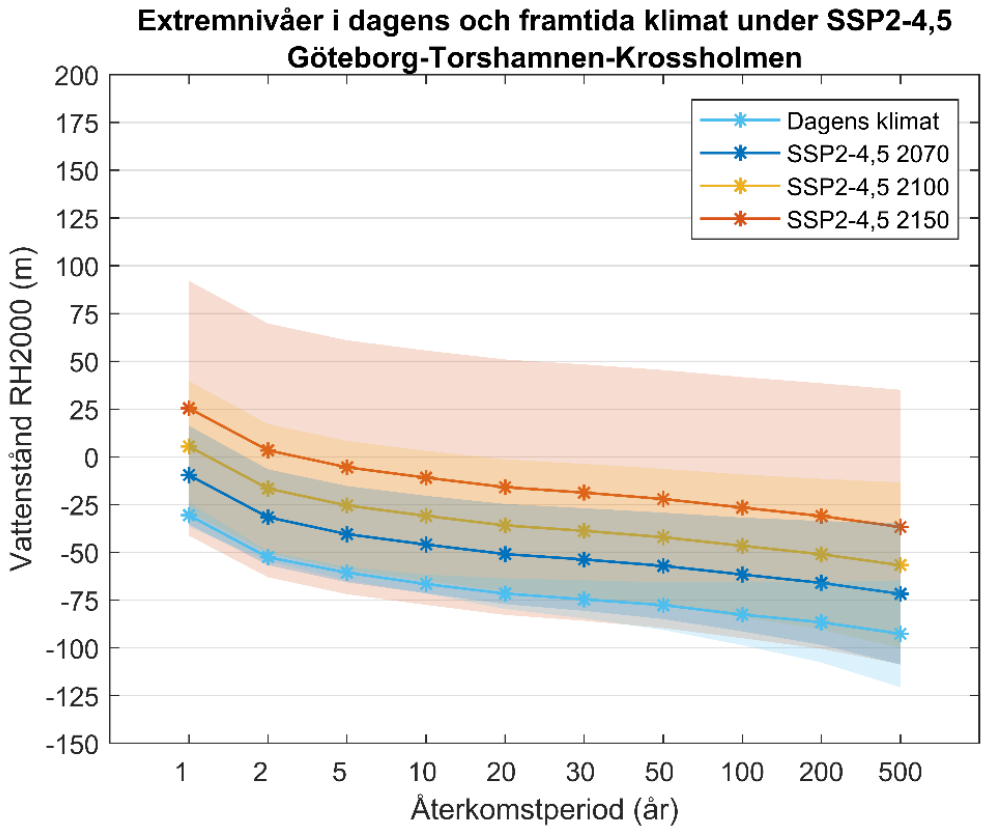
Figur 49. Förändring av 500-års återkomstperiod för Göteborg-Torshamnen/Krossholmen i framtida klimat under ett mycket lågt scenario (SSP1-2,6), ett medelhögt scenario (SSP2-4,5) och ett mycket högt scenario (SSP5-8,5) utifrån medianvärden.

11.9.2 Låga extremnivåer

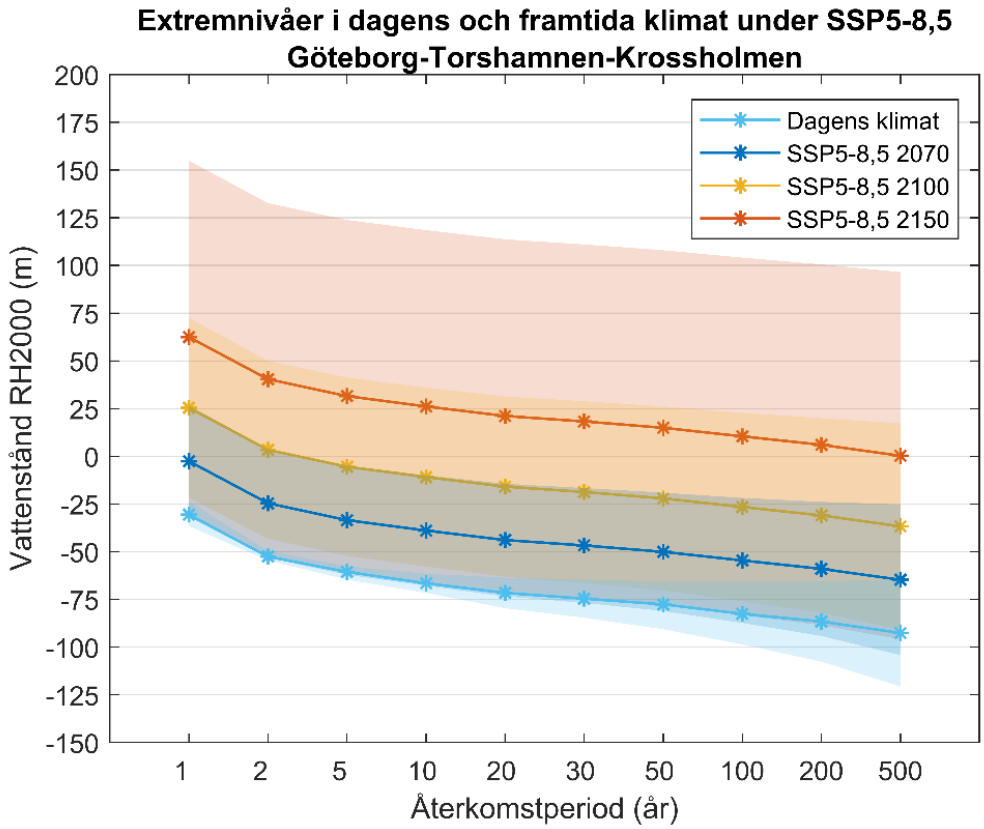
Beräknade återkomstnivåer upp till 500 års återkomstperiod för låga havsnivåer i framtida klimat för åren 2070, 2100 och 2150 illustreras i Figur 50 för det medelhöga scenariot SSP2-4,5 och i Figur 51 för det mycket höga scenariot SSP5-8,5. Som jämförelse visas även beräknade återkomstnivåer i dagens klimat i figurerna. Val av scenarier och årtionden har gjorts av Göteborgs stad. Beräknade låga återkomstnivåer i framtida klimat listas i tabellform i Bilaga 14.3.4: Låga extremnivåer i framtida klimat.

Både det medelhöga och det mycket höga klimatscenariot medför högre medelvattenstånd i framtida klimat i Göteborgs kommun jämfört med dagens. Detta leder till att utgångsläget för en tillfällig lågvattenhändelse blir högre, vilket i sin tur leder till att lågvattenhändelser som sker ganska sällan i dagens klimat blir än mindre vanligt förekommande i framtida klimat.

En lågvattenhändelse som i dagens klimat har en återkomstperiod på 200 år (-87 cm i RH 2000), motsvarar en återkomstperiod längre än 500 år under båda scenarier och tidshorisonter. Återkomstnivån som har en återkomstperiod på 10 år i dagens klimat (-67 cm i RH 2000) motsvarar en återkomstperiod på cirka 200 år under SSP2-4,5 år 2070 och cirka 500 år under SSP5-8,5 år 2070. Längre fram i tiden blir lågvattenhändelser som är relativt vanliga i dagens klimat mer och mer ovanliga.



Figur 50. Beräknade låga återkomstnivåer för Göteborg-Torshamnen/Krossholmen i dagens (ljusblått) och framtida klimat under SSP2-4.5, år 2070 (mörkblå), år 2100 (orange) och år 2150 (röd). Linjerna visar skattade extremnivåer och skuggade fält visar tillhörande konfidensintervall på 90 %.



Figur 51. Beräknade låga återkomstnivåer för Göteborg-Torshamnen/Krossholmen i dagens (ljusblått) och framtida klimat under SSP5-8.5, år 2070 (mörkblå), år 2100 (orange) och år 2150 (röd). Linjerna visar skattade extremnivåer och skuggade fält visar tillhörande konfidensintervall på 90 %.

11.10 Säkerheter och osäkerheter i beräkningar av framtida havsnivå

Havsnivåhöjning är ett av de mest långsiktiga hoten mot kustsamhällen, men osäkerheterna kring hur snabbt och hur mycket havet kommer att stiga är fortfarande betydande. Förutom att det är svårt att förutspå hur väl samhället kommer lyckas med att bromsa utsläppen av växthusgaser så finns osäkerheter i hur modellerna beräknar den framtida höjningen. Av de två huvudfaktorerna som driver havsnivåhöjningen, termisk expansion och smältande glaciärer, är osäkerheten störst för den smältande isen. Främst gäller detta för inlandsisarna på Grönland och Antarktis. Smältningen av inlandsisarna kan pågå i tusentals år, och den mängd is som kan bidra till havsnivåhöjningen är enorm, motsvarande 7 och 58 meters global havsnivåhöjning för Grönland respektive Antarktis.

En av de mest robusta slutsatserna ifrån havsnivåforskningen är att den globala havsnivån kommer att fortsätta att stiga under hela detta århundrade och därefter. Detta är ett direkt resultat av processer som är relativt väl förstådda och modellerade, som termisk expansion och smältningen av bergsglaciärer. Dessa processer har redan bidragit till en acceleration av havsnivåhöjningen under det senaste århundradet, trenden är entydig och det är praktiskt taget säkert att den kommer fortsätta. Den beräknade höjningen av havsnivån fram till år 2050 är särskilt robust. IPCC anger att oavsett utsläppsscenario kommer den globala havsnivån sannolikt att stiga med mellan 0,15 och 0,29 meter fram till 2050. Denna säkerhet bygger på det faktum att de mest pålitliga processerna, termisk expansion och glaciärsmältning, redan pågår och kommer att fortsätta oberoende av framtida utsläppsminskningar. Även om utsläppen skulle minskas drastiskt, är effekterna av tidigare ackumulerade växthusgaser tillräckliga för att driva en fortsatt höjning under detta tidsspann. Efter 2050 ökar osäkerheterna och skillnaden mellan olika utsläppsscenarier blir större.

För inlandsisarna gäller att när en omfattande avsmältning väl har startat är den i praktiken omöjlig att helt stoppa. För att förhindra en betydande förlust av is krävs sannolikt att vi följer de lägre utsläppsscenarierna. På Grönland påverkas massbalansen av både ytprocesser och smältning orsakad av

havet, medan det på Antarktis främst är havets värme som spelar en avgörande roll. När en isshelf, som är en flytande del av inlandsisen, smälts underifrån av relativt varmt bottenvatten sker även interna förändringar i istäcket. Dessa förändringar påverkar bland annat hastigheten med vilken isen flödar ut mot havet. Till skillnad från ytprocesserna är dessa dynamiska förändringar svårare att beräkna. Eftersom istäcket på Antarktis har betydligt fler områden där havsvattnet kan nå in under isshelfar än på Grönland, är osäkerheterna kring avsmältningen där mycket större.

Till skillnad från till exempel framtida atmosfärstemperatur kan inte havsnivåhöjningen beräknas enbart med globala klimatmodeller. På grund av de stora kraven på rumslig upplösning och antal fysiska processer som inkluderas måste separata ismodeller användas. Men det finns fortfarande betydande svårigheter. Smältning av isshelfer i framförallt Västantarktis kan leda till en självförstärkande process kallad "marine ice sheet instability", vilket kan resultera i snabb och oåterkallelig havsnivåhöjning. Modellerna har svårt att fånga dessa dynamiska processer, vilket bidrar till osäkerhet. Det saknas tillräckliga mätningar från vissa kritiska områden, särskilt runt Antarktis.

En studie av Bradley & Hewitt lyfter fram flera viktiga skäl till varför nuvarande ismodeller ofta underskattar havsnivåhöjningen (Bradley & Hewitt, 2024). Modellerna saknar tillräcklig representation av hur varmt havsvatten kan tränga in långa sträckor under glaciärer vid deras grundlinje (övergången mellan flytande och fast is). Detta inträngande vatten levererar värme som ökar smältningen och påskyndar dess dynamik. Smältning vid grundzoner påverkar isens form och flödesmönster, vilket i sin tur förstärker smältprocesserna. Vid en kritisk temperatur kan inträngandet av varmt vatten leda till en tippningspunkt där smältprocesserna accelererar exponentiellt. Denna typ av instabilitet, som kan ske även vid flacka eller sluttande bottnar, är inte inkluderad i många befintliga ismodeller. Till sist har många modeller svårt att reproducera havsnivåhöjningar under tidigare varma perioder, exempelvis under Pliocen (en geologisk epok för 3 miljoner år sedan), då havsnivån var 6-40 meter högre än idag. För att matcha dessa nivåer måste modellerna inkludera känslighetsförstärkande mekanismer som ofta saknas.

11.11 Ny forskning sedan IPCC:s rapport AR6 2021

SMHI förlitar sig på vetenskapliga slutsatser och data från IPCC:s stora utvärderingsrapporter. Men under tiden mellan rapporterna hinner forskningsfronten förflyttas. Detta gäller särskilt kunskapen kring inlandsisarnas påverkan på havsnivåhöjningen, där utvecklingen går snabbt framåt. Det dröjer sannolikt tills 2028 när nästa IPPC-rapport släpps innan SMHI gör nya havsnivåberäkningar för Sverige och uppdaterar kunskapsläget om havsnivåer. Detta avsnitt kan ses som en första orientering kring den nya forskningen i ämnet.

State of the Cryosphere-rapporten ges ut varje år av International Cryosphere Climate Initiative inför FN:s årliga klimatkonferens COP (Conference of the Parties). Den sammanställer ny forskning om planetens frusna områden, granskad av klimatforskare. 2024 års rapport ger en omfattande bild av accelererande isförlust från Grönland och Antarktis (ICCI, 2024). Den visar att den globala havsnivåhöjningen har fördubblats de senaste 30 åren och förväntas nå en takt på drygt 6 mm/år till 2050 om nuvarande trend håller i sig. Västantarktis står inför kritiska tippningspunkter. Varmt havsvatten destabiliserar isshelfer, vilket riskerar att utlösa självförstärkande smältning och exponentiell havsnivåhöjning. Grönland förlorar enorma mängder is, vilket gör det till den största bidragsgivaren till nuvarande havsnivåhöjning. Paleoklimatiska data indikerar att stora historiska isförluster skulle kunna ske även vid dagens koldioxidnivåer.

Under 2024 släppte FN en teknisk rapport, Surging Seas in a warming world, författad av generalsekreterare Guterres Climate Action team, och granskad av klimatforskare (UN Technical Brief, 2024). Rapporten sammanfattar ny vetenskap om dagens effekter och framtida beräkningar av havsnivåhöjningen, det refereras till 21 nya studier. Slutsatser är att nya beräkningar sedan AR6-rapporten visar att vi står inför större osäkerhet och potentiellt allvarligare effekter än tidigare antagits. Nya insikter om isdynamik och tippningspunkter pekar på potentiellt mycket snabbare havsnivåhöjning. Långvarig uppvärmning över 1,5°C kommer sannolikt att leda till irreversibla förändringar, inklusive kollaps av Grönlands och Västantarktis isshelfer.

Men FN-rapporten har mött kritik, både för sina slutsatser och sin metodik. I ett inlägg från 2024 ifrågasätter ledande havsnivåforskare och IPCC-författare många av rapportens slutsatser (Kopp, o.a., 2024). Den största invändningen kan nog sägas vara det faktum att rapporten har frångått IPCC:s rigorösa och öppna process för att sammanställa vetenskaplig konsensus. Istället har FN-rapporten lyft fram vissa studier utan att fullt ut väga dem mot en bredare vetenskaplig bas. Detta riskerar att skapa osäkerhet bland beslutsfattare och undergräva förtroendet för FN, trots att de grundläggande slutsatserna om allvarliga risker är korrekta. Fyra av de 21 studierna från FN-rapporten anses inte kunna bidra till rapportens slutsatser enligt kritikerna. Vidare kritiseras rapportens 1,5°C gräns som tippningspunkt för inlandsisarna på Grönland och Västantarktis. Detta är i själva verket den centrala uppskattningen i två breda osäkerhetsintervall, 0,8-3,0°C för Grönland och 1,0-3,0°C Västantarktis (Armstrong McKay, o.a., 2022).

Den internationella forskningssatsningen International Thwaites Glacier Collaboration (ITGC) är det största oceanografiska forskningsprojektet någonsin. Sedan 2018 har Thwaitesglaciären i Västantarktis undersökts, detta anses vara den mest kritiska glaciären som vid kollaps ensam kan höja den globala havsnivån med 65 cm. Dess roll som knutpunkt för Västantarktis innebär att kollapsen skulle trigga ytterligare isförlust som höjer nivån med cirka 3 meter.

En ny stor modellstudie, baserad på ISMIP6-modellprojektet, släpptes under 2024 (Seroussi, o.a., 2024). Detta är sannolikt den just nu mest avancerade globala studien över flerhundraårig tidsskala. Ismodellerna har bättre kontinuerlig drivning fram till 2300 från klimatmodeller jämfört med tidigare ISMIP studier. Resultaten visar att de värsta tänkbara scenarierna, det som AR6-rapporten uttrycker som ”2 meters global havsnivåhöjning vid 2100 inte helt kan uteslutas”, har lägre risk att inträffa än vad tidigare beräkningar indikerat. Men den pågående smältningen kommer öka i hastighet oavsett utsläppsscenario och för längre tidsskalor ser prognosen mycket dålig ut. För höga utsläppsscenarion väntas Thwaites och närliggande glaciärer kollapsa vid år 2300, med mer än 4 meters global höjning som följd. Studien understryker isshelfernas avgörande roll som stabilisatorer, deras kollaps skulle leda till exponentiell ökning av isförlusten. Studien framhäver också att även glaciärer på Östantarktis, som länge har betraktats som stabila, kan bli sårbara i vissa regioner, som Wilkes- och Aurora-bassängerna, under långsiktig uppvärmning. Dessa bassänger innehåller tillräckligt med is för att höja havsnivån med flera meter om deras stabilitet bryts.

För kommuner som planerar för framtida havsnivåhöjningar innebär dessa forskningsframsteg att osäkerheten är stor, men riskerna potentiellt mycket allvarliga, speciellt över lite längre tidsperspektiv. I planeringen för anpassning bör hänsyn tas till högre scenarier, särskilt för låglänta områden. Investeringar i adaptiva lösningar och flexibel infrastruktur är avgörande. Det står klart att forskningen kring havsnivåhöjning är under snabb utveckling. Framsteg i modellering och observationer förbättrar beräkningarna, men osäkerheterna kräver att beslutsfattare tar till sig den senaste kunskapen. Genom att agera proaktivt går det att minska riskerna och skydda både människor och miljö i ett förändrat klimat.

12 Havsis

12.1 Observationer av havsis

Observationer av havsis finns i form av farledsobservationer kodade enligt den så kallade Östersjökoden (SMHI - Östersjökoden för havsis, 2021). Östersjökoden används för att kortfattat kunna beskriva isförhållandena i farleder, hamnområden och för sjöfarten viktiga passager. Isobservationerna utgörs av en kombination av manuella observationer utförda av isobservatörer och högupplöst satellitdata kompletterat med observationer från isbrytare. Observationerna inkluderar istjocklek, iskoncentration (hur isen är ordnad), isens form (topografi) samt navigationsförhållanden. Inom föreliggande rapport har isobservationer från farlederna Göta älv nedanför Lilla Edet och Göteborgs hamnar analyserats. Data finns digitaliserat och fritt tillgängligt sedan vintern 1987/1988 till 2023/2024. Dataunderlaget innehar vissa osäkerheter och en viss förändring vid bedömning över tid från olika observatörer kan ha skett. Underlaget ger en indikation på isförhållandena i området. I kommande avsnitt om havsis redovisas resultat från farleden Göta älv nedanför Lilla Edet. För motsvarande tabeller och figurer för farleden Göteborgs hamnar hänvisas till Bilaga 14.4 Havsis.

12.2 Issäsong

I Tabell 15 listas första respektive sista dag med is, issäsongens längd, antal dygn med is för varje vinter från 1987/1988 till 2023/2024 längs farleden Göta älv nedanför Lilla Edet. I samma tabell listas även den maximala isutbredningen över Östersjön och Kattegatt.

I Figur 52 visas underlaget från Tabell 15 i figurform, samt isvintrarna enligt klassningarna ”lindrig”, ”normal” och ”svår” i olika färger. De olika klassningarna av isvintrar baseras på maximal isutbredning i Östersjön och Kattegatt och definieras enligt följande:

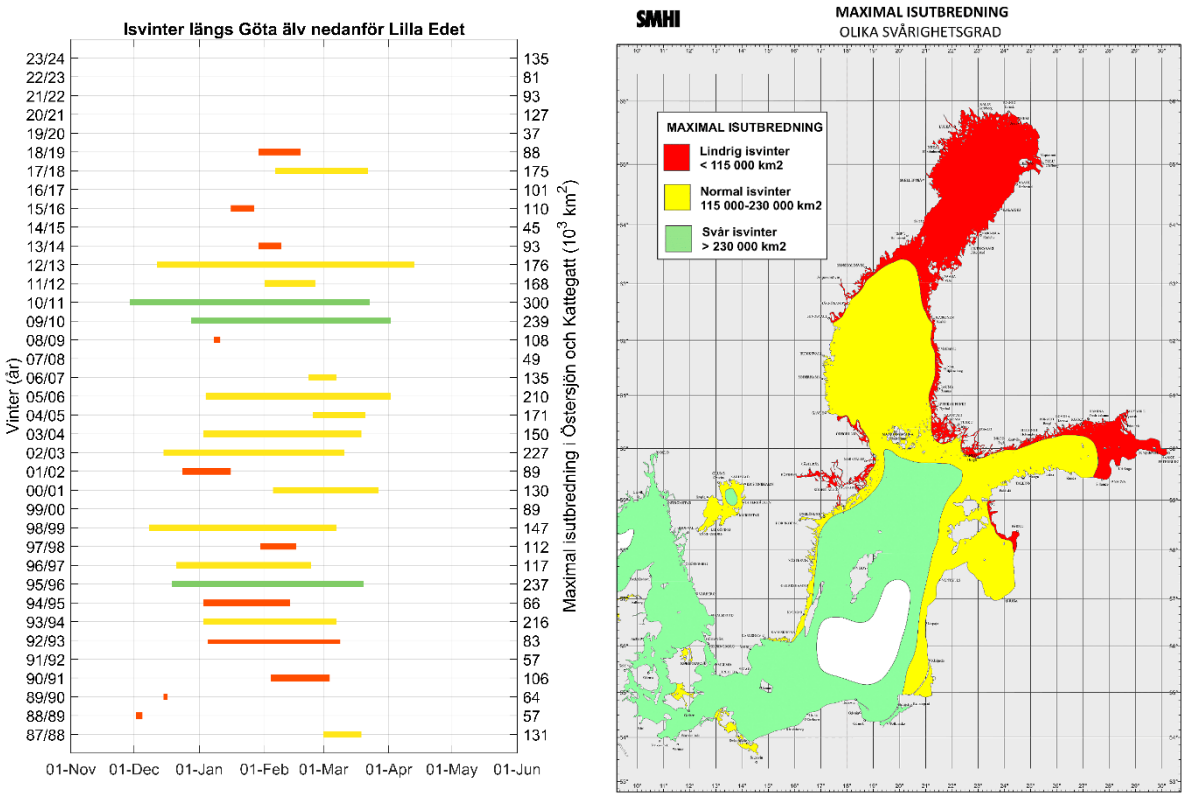
- Lindrig isvinter mindre än 115 000 km^2
- Normal isvinter mellan 115 000 och 230 000 km^2
- Svår isvinter större än 230 000 km^2

Den procentuella fördelningen av isvinterklassningen från vintern 1987/1988 till 2023/2024 visas i Figur 53. Utifrån tabellen och figurerna kan följande utläsas:

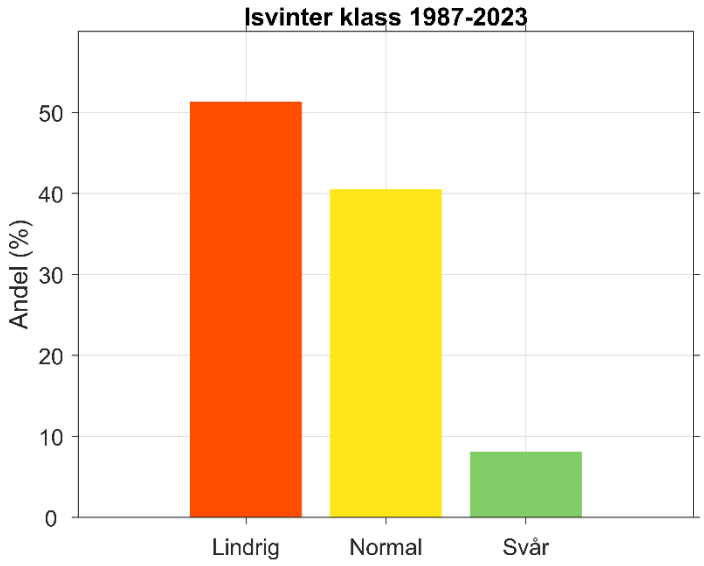
- Längs den aktuella farleden har is förekommit de flesta av vintrarna, 27 av 37, medan 10 vintrar sedan 1987/1988 har varit isfria.
- I medel förekommer is från 10 januari till 27 februari men variationen från vinter till vinter är stora.
- Cirka 51 % av vintrarna har klassats som lindriga, 41 % som normala och endast 8 % som svåra.
- Normala och svåra isvintrar innebär i regel en tidsmässigt längre issäsong, mer än 100 dygn, medan lindriga vintrar kan ha både kortare som längre varaktighet
- Under vintern 2010/2011, vilken klassas som svår, förekom is under 115 dygn, medan det förekom is under 123 dygn vintern 2012/2013, vilken klassas som en normal vinter.

Tabell 15. Isläggning och islossning per vinter, issäsongens längd, antal dygn med is längs farleden Göta älv nedanför Lilla Edet, samt maximal isutbredning i tusentals km² över Östersjön och Kattegatt.

Vinter	Första dag med is	Sista dag med is	Issäsong längd	Antal dygn med is	Is-utbredning
1987/1988	01-Mar-1988	19-Mar-1988	19	17	131
1988/1989	02-Dec-1988	05-Dec-1988	4	4	57
1989/1990	15-Dec-1989	17-Dec-1989	3	3	64
1990/1991	04-Feb-1991	04-Mar-1991	29	29	106
1991/1992	Ingen is	Ingen is	0	0	57
1992/1993	05-Jan-1993	09-Mar-1993	64	22	83
1993/1994	03-Jan-1994	07-Mar-1994	64	47	216
1994/1995	03-Jan-1995	13-Feb-1995	42	10	66
1995/1996	19-Dec-1995	20-Mar-1996	93	93	237
1996/1997	21-Dec-1996	23-Feb-1997	65	65	117
1997/1998	30-Jan-1998	16-Feb-1998	18	18	112
1998/1999	08-Dec-1998	07-Mar-1999	90	46	147
1999/2000	Ingen is	Ingen is	0	0	89
2000/2001	05-Feb-2001	27-Mar-2001	51	38	130
2001/2002	24-Dec-2001	16-Jan-2002	24	24	89
2002/2003	15-Dec-2002	11-Mar-2003	87	74	227
2003/2004	03-Jan-2004	19-Mar-2004	77	67	150
2004/2005	24-Feb-2005	21-Mar-2005	26	26	171
2005/2006	04-Jan-2006	02-Apr-2006	89	81	210
2006/2007	22-Feb-2007	07-Mar-2007	14	14	135
2007/2008	Ingen is	Ingen is	0	0	49
2008/2009	08-Jan-2009	11-Jan-2009	4	4	108
2009/2010	28-Dec-2009	02-Apr-2010	96	95	239
2010/2011	29-Nov-2010	23-Mar-2011	115	115	300
2011/2012	01-Feb-2012	25-Feb-2012	25	25	168
2012/2013	12-Dec-2012	13-Apr-2013	123	123	176
2013/2014	29-Jan-2014	09-Feb-2014	12	12	93
2014/2015	Ingen is	Ingen is	0	0	45
2015/2016	16-Jan-2016	27-Jan-2016	2	12	110
2016/2017	Ingen is	Ingen is	0	0	101
2017/2018	06-Feb-2018	22-Mar-2018	45	21	175
2018/2019	29-Jan-2019	18-Feb-2019	21	21	88
2019/2020	Ingen is	Ingen is	0	0	37
2020/2021	Ingen is	Ingen is	0	0	127
2021/2022	Ingen is	Ingen is	0	0	93
2022/2023	Ingen is	Ingen is	0	0	81
2023/2024	Ingen is	Ingen is	0	0	135
Medel	10-Jan	27-Feb	35	30	128



Figur 52. Vinterns längd längs farleden Göta älv nedanför Lilla Edet, dess klassning samt den maximala isutbredningen över Östersjön och Kattegatt (vänster). Ungefärlig isutbredning vid lindrig (röd), normal (gul) och svår (grön) vinter (höger).



Figur 53. Procentuell fördelning av lindrig (röd), normal (gul) respektive svår (grön) vinter från vintern 1987/1988 till 2023/2024.

12.3 Istjocklek och iskoncentration

Fördelningen av antal dygn per vinter för varje istjocklek från 1987/1988 till 2023/2024 för farleden Göta älv nedanför Lilla Edet, samt den procentuella fördelningen av istjocklek över hela observationsperioden visas i Figur 54.

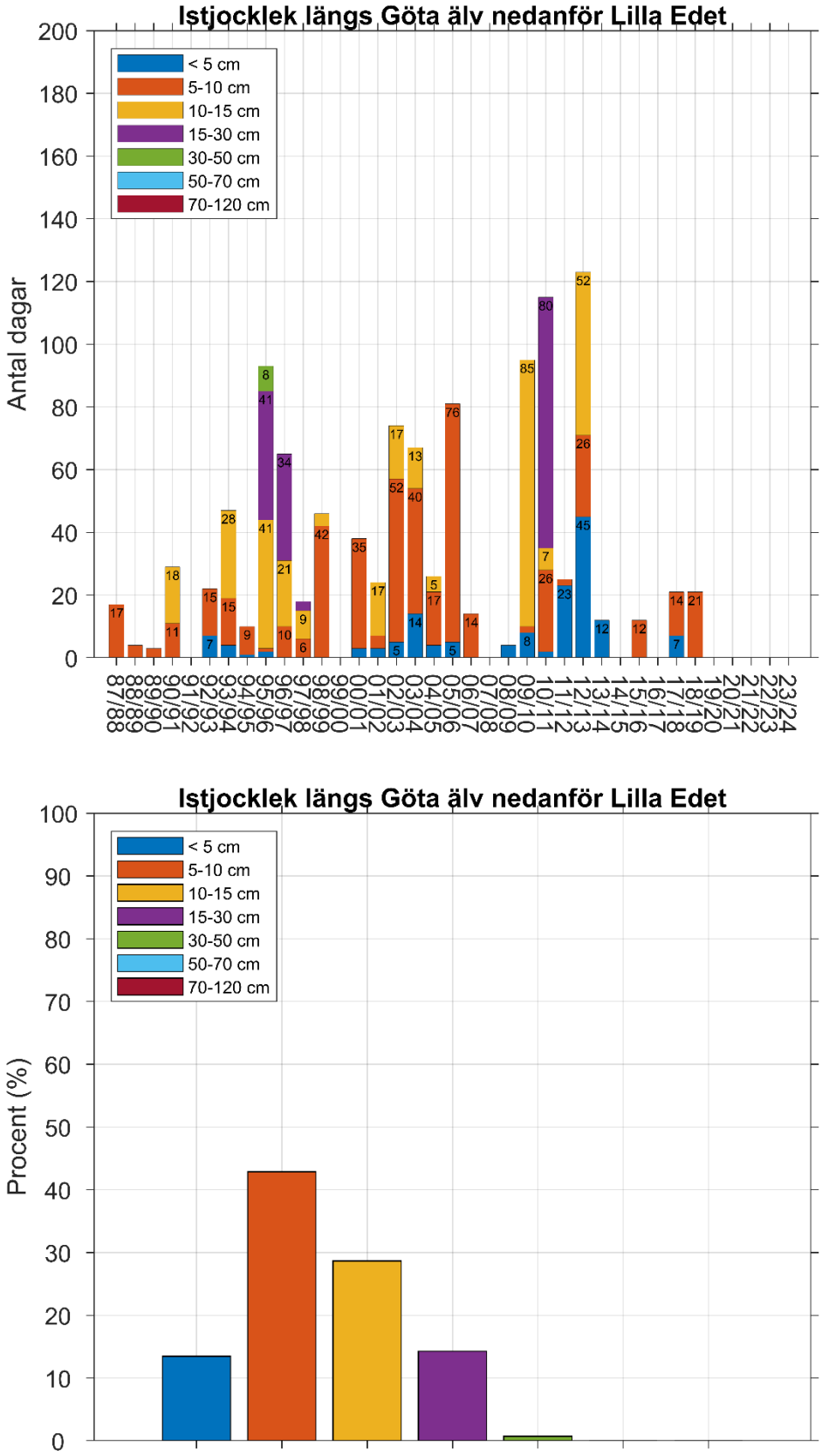
Det kan noteras att den årliga variationen är stor men att istjockleken varit minst 5-10 cm de flesta vintrar med is. Detta tjockleksintervall är också det vanligast förekommande och har noterats under totalt cirka 43 % av alla dygn med is.

Tjockleksintervallet 10-15 cm har också varit relativt vanligt förekommande och har observerats under totalt 13 av 37 vintrar, totalt cirka 29 % av alla dygn med is.

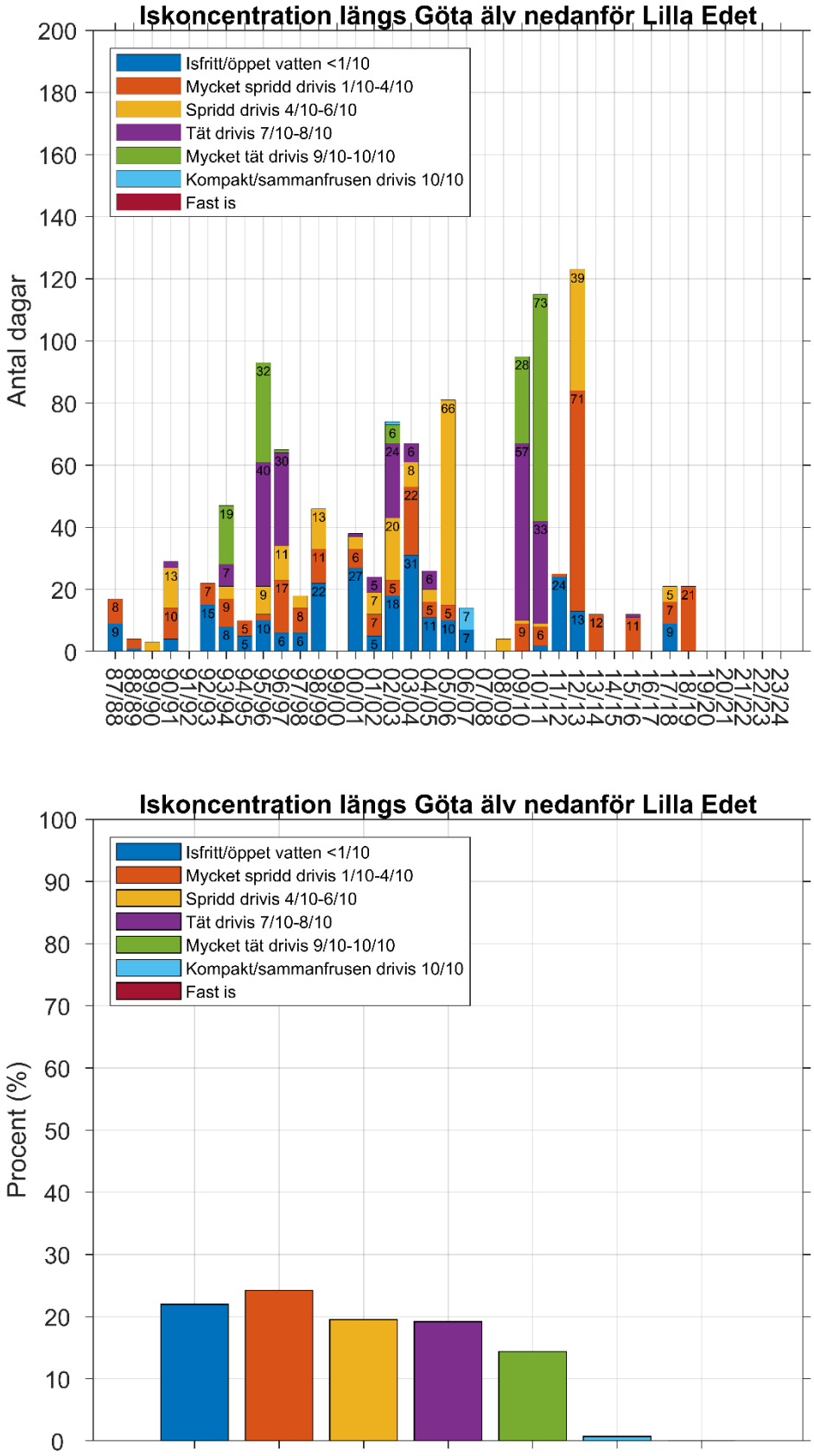
Längre perioder (längre än 25 dygn) med istjockleken 15-30 cm har endast förekommit under 3 vintrar, senast under den svåra vintern 2010/2011, totalt cirka 14 % av alla dygn med is.

I Figur 55 visas fördelningen av antal dygn per vinter för olika iskoncentrationer, dvs. hur isen är ordnad, från 1987/1988 till 2023/2024 för farleden Göta älv nedanför Lilla Edet, samt den procentuella fördelningen av iskoncentrationer över hela observationsperioden. Observationerna visar att drivis av olika koncentrationer har förekommit i princip varje vinter med is, totalt cirka 76 % av alla dygn med is.

Den vanligast förekommande iskoncentrationen är mycket spridd drivis, vilken förekommit nästan varje vinter då det varit is, totalt 24 % av alla dygn med is. Spridd respektive tät drivis är relativt vanligt och har förekommit under cirka 19 % av tiden vardera. Mycket tät drivis har förekommit under 6 av 37 vintrar, senast under den svåra vintern 2010/2011, totalt cirka 14 % av alla dygn med is. Vidare visar observationerna att det är mycket ovanligt med kompakt, sammanfrusen drivis, och fast is har inte förekommit under tidsperioden som analyserats.



Figur 54. Fördelning av antal dygn för olika istjocklekar per vinter (övre), och procentuell fördelning av istjocklek från vintern 1987/1988 till 2023/2024 längs farleden Göta älv nedanför Lilla Edet (undre).

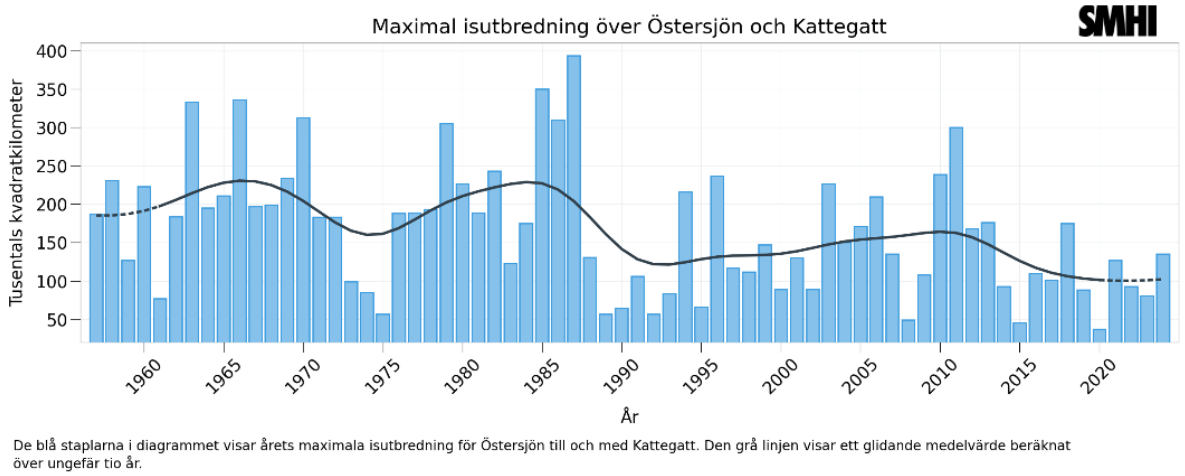


Figur 55. Fördelning av antal dygn per isvinter för olika iskoncentrationer (övre), och procentuell fördelning av iskoncentration från vintern 1987/1988 till 2023/2024 längs farleden Göta älv nedanför Lilla Edet (undre).

12.4 Historisk förändring av isutbredning

Kartläggning av havsisen har gjorts under en längre tid och är kopplad till sjöfarten. Från 1970-talet har det funnits en ambition att kunna hålla fartygstrafik igång till alla viktiga hamnar längs den svenska kusten hela året och behovet av noggrann kartläggning av isläget ökade därmed. Hur den maximala isutbredningen över Östersjön och Kattegatt förändrats historiskt ger en indikation på effekten av ett varmare klimat.

Den maximala isutbredningen över Östersjön och Kattegatt från slutet av 1950-talet till vintern 2023/2024 visas i Figur 56. Det är svårt att se någon tydlig kontinuerlig trend i isutbredningen då det är stor årlig variation, men från omkring år 1990 är trenden att det blir allt mindre is på våra hav. Fortsätter klimatet att bli varmare, blir den genomsnittliga maximala isutbredningen ännu mindre (SMHI - Klimatindikator - maximal isutbredning, 2022).



Figur 56. Årets maximala isutbredning (blå staplar) över Östersjön och Kattegatt, och ett glidande medelvärde beräknat över ungefär 10 år (grå linje).

13 Referenser

Andréasson, J., Bergström, S., Gardelin, M., German, J., Gustavsson, H., Hallberg, K., & Rosberg, J. (2011). Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - metodutveckling och scenarier. Elforsk rapport 11:25

Armstrong McKay, D., Staal, A., Abrams, J., Winkelmann, R., Sakschewski, B., Loriani, S., . . . Lenton, T. (2022). Exceeding 1.5°C global warming could trigger multiple climate tipping points. *Science, 377*(6611). doi:10.1126/science.abn7950

Arns, A., Wahl, T., Haigh, I., Jensen, J., & Pattiaratchi, C. (2013, November). Estimating extreme water level probabilities: A comparison of the direct methods and recommendations for best practise. *Coastal Engineering, 81*, pp. 51-66. doi:https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2013.07.003

Blom, G., Enger, J., Englund, G., Grandell, J., & Holst, L. (2005). *Sannolikhetsteori och statistikteori med tillämpningar* (1 ed.). Lund: Studentlitteratur AB.

Bradley, A. T., & Hewitt, I. J. (2024). Tipping point in ice-sheet grounding-zone melting due to ocean water intrusion. *Nature Geoscience, 17*, 631-637. doi:https://doi.org/10.1038/s41561-024-01465-7

Coles, S. (2001). *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values.* Berlin: Springer Verlag. doi:http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4471-3675-0

Eklund, A., Tofeldt, L., Johnell, A., Andersson, M., Tengdelius-Brunell, J., German, J., Sjökvist, E., Rasmusson, M., Harbman, U., Andersson E. (2017) *Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Vänern. Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden.* SMHI Klimatologi nr 44.

Eklund, D. (2011) *Klimatanalys för fjällkedjan.* SMHI rapport nr 2011-40.

Hieronymus, M., & Kalén, O. (2020). Sea-level rise projections for Sweden based on the new IPCC special report: The ocean and cryosphere in a changing climate. *Ambio, 49*, 1587-1600. doi:10.1007/s13280-019-01313-8

ICCI. (2024). *State of the Cryosphere 2024 - Lost Ice, Global Damage.* International Cryosphere Climate Initiative (ICCI), Stockholm, Sweden. 72 pp. Published: 12 november 2024.

IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.

IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896

IPCC. (n.d.). *IPCC approves outlines of the first two reports in the seventh assessment cycle*. Retrieved november 25, 2024, from https://www.ipcc.ch/2024/08/02/ipcc-approves-outlines-of-the-first-two-reports-in-the-seventh-assessment-cycle/

Johansson, Lasse (2018) *Extremvattenstånd i Göteborg*, SMHI https://www.msb.se/siteassets/dokument/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/naturolyckor-och-klimat/oversvamning/oversvamningskartering-kust/goteborg.pdf

Kierulf, H. P., Steffen, H., Barletta, V. R., Lidberg, M., Johansson, J., Kristiansen, O., & Tarasov, L. (2021). A GNSS velocity field for geophysical applications in Fennoscandia. *Journal of Geodynamics, 146*, 101845. doi:10.1016/j.jog.2021.101845

Kopp, R. E., Drijfhout, S. S., Edwards, T., Fox-Kemper, B., Garner, G., Golledge, N., . . . Xiao, C. (2024). UN sea-level report misinterprets already-stark IPCC assessment. doi:10.22541/essoar.172736421.16194278/v1

Lantmäteriet. (n.d.). *Landhöjning*. Retrieved from Landhöjning: https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/gps-geodesi-och-swepos/Referenssystem/Landhojning/

Lindström, G., Pers, C.P., Rosberg, R., Strömqvist, J., and Arheimer, B. (2010): *Development and test of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) model – A water quality model for different spatial scales.* Hydrology Research 41.3-4:295-319.

Länsstyrelsen Västra Götaland (2011) *Klimatanalys för Västra Götalands län.* Rapport nr 2011:84 ISSN: 1403-168X. (SMHI rapport nr 2011-45).

Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S., Péan, C., Berger, S., . . . Leitzell. (2021). *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report* . Cambridge University Press: IPCC.

MSB (2020) *Säkert och osäkert i klimatscenarierna*. MSB1677

MSB (2023) *Metod för skyfallskartering av tätorter*. MSB2257.

MSB (2024) *Framtida brandrisk – förändringar i perioder av hög brandrisk enligt FWI-modellen*. MSB2301.

Seneviratne, S., Zhang, X., Adnan, M., Badi, W., Dereczynski, C., Luca, A. D., . . . Zhou., a. B. (2021). *Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In Climate Change 2021: The*

Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, chapter 11. IPCC, Cambridge University Press.

Seroussi, H., Pelle, T., Lipscomb, W., Abe-Ouchi, A., Albrecht, T., Alvarez-Solas, J., . . . Zwinger, T. (2024). Evolution of the Antarctic Ice Sheet Over the Next Three Centuries From an ISMIP6 Model Ensemble. *Earth´s Future, 12*(9). doi: https://doi.org/10.1029/2024EF004561

SGU (2024) *Klimatmodellering av grundvatten – grundläggande analys.* SGU-rapport 2024:04.

Simpson, M., Nilsen, J., Ravndal, O., Breili, K., Sande, H., Kierulf, H., . . . Vestøl, O. (2015). *Sea Level Change for Norway - Past and Present Observations and Projections to 2100.* NCCS report no. 1/2015.

SMHI - Framtida medelvattenstånd. (2024, januari 19). *Framtida medelvattenstånd*. Retrieved from https://www.smhi.se/klimat/stigande-havsnivaer/framtida-medelvattenstand-1.165493

SMHIs Klimatindikatorer (2024). https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/

SMHI - Klimatindikator - havsnivå. (2024, september 16). *Klimatindikator - havsnivå*. Retrieved from https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-havsniva-1.2260

SMHI - Klimatindikator - maximal isutbredning. (2022, maj 10). *Klimatindikator - maximal isutbredning*. Retrieved from https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-maximal-isutbredning-1.20049

SMHI - Årets medelvattenstånd. (2024, januari 3). *Årets medelvattenstånd*. Retrieved from https://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/vattenstand-i-havet/arets-medelvattenstand-1.10047

SMHI - Östersjökoden för havsis. (2021, december 16). *Östersjökoden för havsis*. Retrieved from https://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/is-till-havs/ostersjokoden-for-havsis-1.8952

SMHI (2015) *Framtidsklimat i Västra Götalands län.* SMHI Klimatologi nr 24.

SMHI (2018) *Extremregn i nuvarande och framtida klimat - Analyser av observationer och framtidsscenarier*. Klimatologi nr 47.

SMHI. (2020). *FN:s klimatpanel IPCC – Sammanfattning för beslutsfattare, Specialrapport om Havet och kryosfären i ett förändrat klimat.* SMHI Klimatologi Nr 58. Retrieved from https://www.smhi.se/klimat/ipcc/ipcc-resultat/ar6-specialrapport-om-klimatforandringar-haven-och-kryosfaren-1.142660

SMHI (2021) *Klimat i förändring 2021. Den naturvetenskapliga grunden.* SMHI Klimatologi nr 65.

SMHI (2021b) *SMHI Gridded Climatology*. SMHI RMK 118.

Författare: Sandra Andersson, Lars Bärring, Tomas Landelius, Patrick Samuelsson, Semjon Schimanke

Publicerad: november 2021

SMHI (2023) *Jämförelse länsanalyser och scenariotjänst.* SMHI Klimatologi nr 70.

SMHI (2024) *Fördjupad klimatscenariotjänst*, https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/.

SMHI (2024b) *Skyfallsstatistik: Regional statistik för extrema korttidsregn* https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/skyfallsstatistik-regional-statistik-for-extrema-korttidsregn

SMHI och Sjöfartsverket. (2024, januari 1). *Havsvattenstånd - Beräknat medelvattenstånd.* Retrieved 11 20, 2024, from Beräknat medelvattenstånd för 2024 i olika höjdsystem: https://www.smhi.se/data/oceanografi/havsvattenstand

Svenska kraftnät, Energiföretagen Sverige och SveMin (2022) *Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar - Utgåva 2022.*

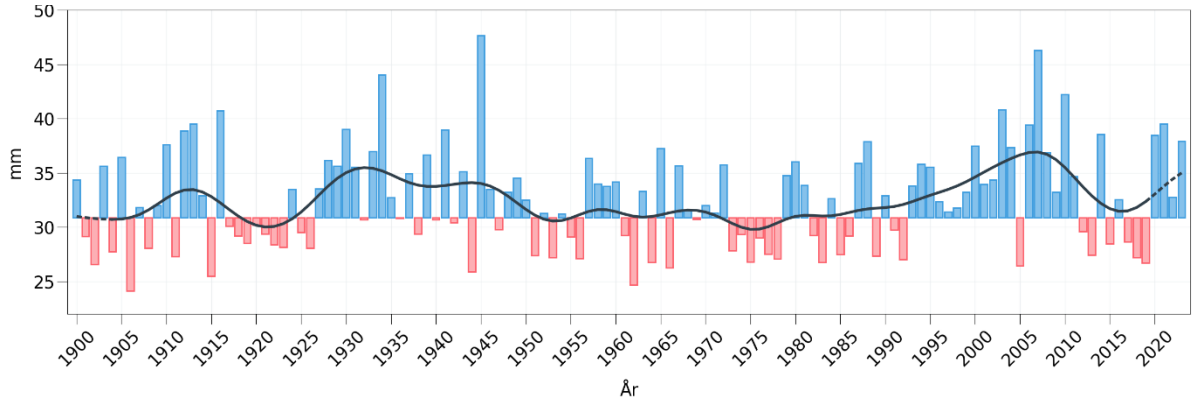
Svenska Kraftnät (2023) *Klimatförändringars påverkan på dammsäkerhet*. Svenska Kraftnät ärende nr: 2022/820

UN Technical Brief. (2024). *Surging seas in a warming world.* Retrieved from https://www.un.org/en/climatechange/reports/sea-level-rise

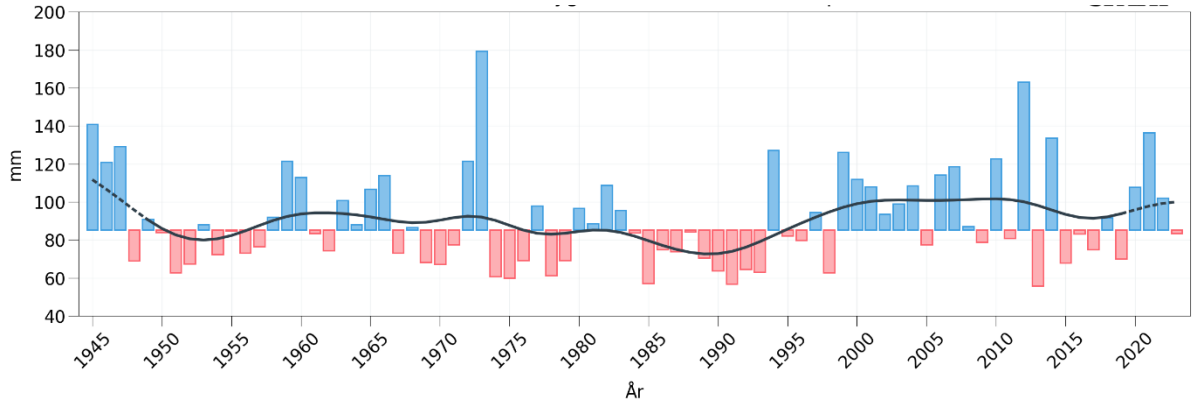
Vestøl, O., Ågren, J., Steffen, H., Kierulf, H., & Tarasov, L. (2019). NKG2016LU: a new land uplift model for Fennoscandia and the Baltic Region. *Journal of Geodesy, 93*(9), 1759-1779. doi:10.1007/s00190-019-01280-8

14 Bilaga

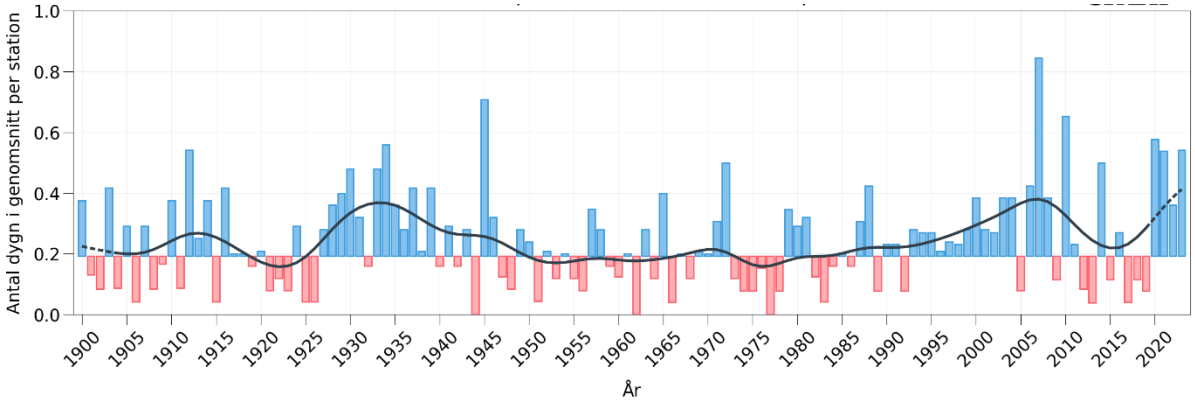
14.1 Klimatindikatorer extrem nederbörd



Figur 57. Maximal dygnsnederbörd i genomsnitt per station i Götaland per år. Blå staplar visar högre och röda visar lägre mängder än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Från SMHIs klimatindikatorer (2024).



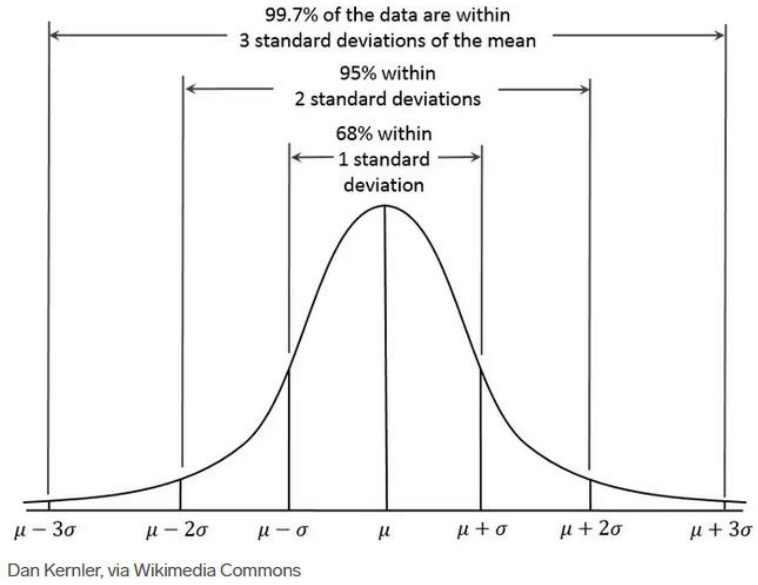
Figur 58. Absolut största uppmätta dygnsnederbörd i Götaland per år. Blå staplar visar högre och röda visar lägre mängder än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Från SMHIs klimatindikatorer (2024).



Figur 59. Antal dygn med nederbörd på minst 40 mm i genomsnitt per station i Götaland per år. Blå staplar visar fler och röda visar färre dygn än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Från SMHIs klimatindikatorer (2024).

14.2 Standardavvikelse

Standardavvikelse används i rapporten för att beskriva spridningen i resultat mellan olika klimatmodeller. Standardavvikelse utifrån en normalfördelning visas Figur 60. För varje tidsperiod beräknas ett medelvärde från alla klimatmodeller, som i figuren representeras av μ. Värden inom en standardavvikelse σ kan vara både större ($\mu+\sigma$) och mindre (μ-σ) än medelvärdet. Inom detta spann ryms 68 % av resultaten från alla klimatmodeller. Det innebär att 16 % ger ännu högre värden, och 16 % ger ännu lägre värden. Det mest robusta resultatet ges dock av medelvärdet μ, vilket alla siffror i rapporten baseras på.



Figur 60. Illustration av normalfördelad kurva och standardavvikelser.

14.3 Havsnivåer

14.3.1 Metodik framtida medelvattenstånd

Framtida medelvattenstånd för en kustkommun ett visst år, $MV_{år}$, har beräknats enligt följande ekvation:

$$MV_{år} = MV_{ref} + \Delta MV_{SSP}(år) - LH \times (år - 2005)$$

Där MV_{ref} är medelvattenståndet under referensperioden 1995-2014 och ΔMV_{SSP} är förändringen av medelvattenståndet relativt referensperioden för ett visst SSP-scenario. *LH* är landhöjningens hastighet (avvägd minus elastisk landhöjning), 2005 är det årtal som utgör referensperiodens mitt och *år* är det årtal som det framtida medelvattenståndet ska beräknas för, exempelvis år 2100. Den avvägda landhöjningens hastighet antas vara konstant fram till år 2150. Referensperioden är densamma som används i IPCC AR6.

Uppgifter om den totala landhöjningen har hämtats från modellen NKG2016LU (Vestøl, Ågren, Steffen, Kierulf, & Tarasov, 2019) som finns att tillgå från Lantmäteriet (Lantmäteriet, u.d.). Denna landhöjningsinformation är mer högupplöst än den som används i IPCC:s sammanställning. Den elastiska komponenten av landhöjningen kommer från en senare studie om landhöjning (Kierulf, o.a., 2021). För mer detaljer kring beräkningarna hänvisas till SMHIs hemsida om framtida medelvattenstånd (SMHI - Framtida medelvattenstånd, 2024).

14.3.2 Metodik extremnivåer

Extremnivåer har beräknats genom extremvärdesanalys baserat på observationer vid Göteborg-Torshamnen/Krossholmen. Det finns olika metoder och olika urval från dataunderlaget som kan ha stor betydelse för utfallet, eftersom skattade återkomstnivåer kan skilja sig väsentligt beroende på vilken analysmetod som används samt på de val som görs i analyskedjan (Arns, Wahl, Haigh, Jensen, & Pattiaratchi, 2013).

I föreliggande rapport baseras beräknade extremvärden för havsnivåer på den så kallade Blockmaximum-metoden och hög- respektive lågvattenhändelser har extraherats som årsmaxima respektive årsminima från dataunderlaget. För att undvika att två maximum respektive minimum inträffar tätt i följd men på var sida av årsskiftet har brutet år använts (juli till juni) istället för kalenderår.

Det finns ett flertal sannolikhetsfördelningar som är vanligt förekommande vid extremvärdesanalys inom vetenskaplig litteratur. Extremvärdessatsen ger stöd åt *Generalized Extreme Value*, GEV, men även andra fördelningar kan vara aktuella (Coles, 2001). Det är viktigt att verifiera att den valda sannolikhetsfördelningen passar till dataunderlaget. För att avgöra detta kan ett så kallat goodness-of-fit-test utföras, som ger ett numeriskt mått på hur väl sannolikhetsfördelningen passar till data. Om testet underkänner fördelningen bör man inte använda den i analysen. Ofta kan flera fördelningar passa till samma dataunderlag, men ge olika återkomstvärden.

I denna utredning har flera sannolikhetsfördelningar utvärderats, men bara resultat från den fördelningsfunktion som bedömts passa bäst till dataunderlaget redovisas, vilken är GEV-fördelningen. För vidare fördjupning se vidare (Blom, Enger, Englund, Grandell, & Holst, 2005) eller (Coles, 2001).

Genom extremvärdesanalysen kan återkomstnivåer för händelser med längre återkomstperiod än mätseriens längd skattas. En begränsning vid beräkning av återkomstvärden utifrån statistisk analys av observationer är att endast händelser som har observerats under mätperioden påverkar de beräknade återkomstvärdena. Mätperioden för serien Göteborg-Torshamnen/Krossholmen är relativt kort, endast 56 år. Sannolikheten att en ovanlig händelse ska ha överträffats under mätperioden är väldigt liten. Beräknade återkomsvärden med mycket låg sannolikhet, dvs. långa återkomstperioder, medför stora osäkerheter och bör användas med försiktighet.

14.3.3 Höga extremnivåer i framtida klimat

Beräknade återkomstnivåer upp till 500 års återkomstperiod för höga havsvattenstånd i framtida klimat för åren 2070, 2100 och 2150 redovisas i Tabell 16 för det medelhöga scenariot SSP2-4,5 och i Tabell 17 för det mycket höga scenariot SSP5-8,5.

Tabell 16. Beräknade höga återkomstnivåer år 2070, 2100 och 2150 under scenariot SSP2-4,5 vid Göteborg-Torshamnen/Krossholmen. Nivåerna anges i cm i höjdsystemet RH 2000. Siffrorna inom parentes anger ett tillhörande konfidensintervall på 90 %.

Återkomst-period	Återkomstnivå År 2070 SSP2-4,5 RH 2000 (cm)	Återkomstnivå År 2100 SSP2-4,5 RH 2000 (cm)	Återkomstnivå År 2150 SSP2-4,5 RH 2000 (cm)
1 år	80 (53 till 106)	95 (60 till 130)	115 (48 till 182)
2 år	127 (101 till 153)	142 (108 till 176)	162 (95 till 229)
5 år	145 (120 till 171)	160 (126 till 195)	180 (114 till 247)
10 år	156 (130 till 182)	171 (137 till 205)	191 (124 till 258)
20 år	166 (140 till 192)	181 (146 till 215)	201 (134 till 267)
30 år	171 (144 till 198)	186 (151 till 221)	206 (139 till 273)
50 år	177 (150 till 204)	192 (156 till 227)	212 (145 till 279)
100 år	185 (155 till 214)	200 (163 till 237)	220 (152 till 288)
200 år	192 (160 till 224)	207 (168 till 246)	227 (158 till 296)
500 år	201 (163 till 239)	216 (172 till 260)	236 (164 till 308)

Tabell 17. Beräknade höga återkomstnivåer år 2070, 2100 och 2150 under scenariot SSP5-8,5 vid Göteborg-Torshamnen/Krossholmen. Nivåerna anges i cm i höjdsystemet RH 2000. Siffrorna inom parentes anger ett tillhörande konfidensintervall på 90 %.

Återkomst-period	Återkomstnivå År 2070 SSP5-8,5 RH 2000 (cm)	Återkomstnivå År 2100 SSP5-8,5 RH 2000 (cm)	Återkomstnivå År 2150 SSP5-8,5 RH 2000 (cm)
1 år	87 (57 till 117)	115 (67 till 162)	152 (59 till 244)
2 år	134 (105 till 163)	162 (115 till 209)	199 (107 till 291)
5 år	152 (123 till 181)	180 (133 till 227)	217 (125 till 310)
10 år	163 (134 till 192)	191 (144 till 238)	228 (136 till 321)
20 år	173 (143 till 202)	201 (154 till 248)	238 (145 till 330)
30 år	178 (148 till 208)	206 (159 till 253)	243 (150 till 336)
50 år	184 (153 till 215)	212 (164 till 260)	249 (156 till 342)
100 år	192 (159 till 224)	220 (171 till 269)	257 (163 till 350)
200 år	199 (164 till 234)	227 (176 till 278)	264 (170 till 358)
500 år	208 (168 till 248)	236 (181 till 291)	273 (176 till 370)

14.3.4 Låga extremnivåer i framtida klimat

Beräknade återkomstnivåer upp till 500 års återkomstperiod för låga havsnivåer i framtida klimat för åren 2070, 2100 och 2150 redovisas i Tabell 18 för det medelhöga scenariot SSP2-4,5 och i Tabell 19 för det mycket höga scenariot SSP5-8,5.

Tabell 18. Beräknade låga återkomstnivåer år 2070, 2100 och 2150 under scenariot SSP2-4,5 vid Göteborg-Torshamnen/Krossholmen. Nivåerna anges i cm i höjdsystemet RH 2000. Siffrorna inom parentes anger ett tillhörande konfidensintervall på 90 %.

Återkomst-period	Återkomstnivå År 2070 SSP2-4,5 RH 2000 (cm)	Återkomstnivå År 2100 SSP2-4,5 RH 2000 (cm)	Återkomstnivå År 2150 SSP2-4,5 RH 2000 (cm)
1 år	-10 (16 till -35)	5 (40 till -29)	25 (92 till -41)
2 år	-32 (-7 till -57)	-17 (17 till -50)	3 (70 till -63)
5 år	-40 (-15 till -66)	-25 (8 till -59)	-5 (61 till -72)
10 år	-46 (-20 till -71)	-31 (3 till -65)	-11 (56 till -77)
20 år	-51 (-25 till -77)	-36 (-1 till -70)	-16 (51 till -83)
30 år	-54 (-27 till -81)	-39 (-4 till -74)	-19 (48 till -86)
50 år	-57 (-29 till -85)	-42 (-6 till -78)	-22 (45 till -90)
100 år	-62 (-32 till -91)	-47 (-9 till -84)	-27 (42 till -95)
200 år	-66 (-34 till -98)	-51 (-12 till -90)	-31 (39 till -100)
500 år	-72 (-35 till -109)	-57 (-13 till -100)	-37 (35 till -109)

Tabell 19. Beräknade låga återkomstnivåer år 2070, 2100 och 2150 under scenariot SSP5-8,5 vid Göteborg-Torshamnen/Krossholmen. Nivåerna anges i cm i höjdsystemet RH 2000. Siffrorna inom parentes anger ett tillhörande konfidensintervall på 90 %.

Återkomst-period	Återkomstnivå År 2070 SSP5-8,5 RH 2000 (cm)	Återkomstnivå År 2100 SSP5-8,5 RH 2000 (cm)	Återkomstnivå År 2150 SSP5-8,5 RH 2000 (cm)
1 år	-3 (27 till -32)	25 (72 till -22)	62 (155 till -30)
2 år	-25 (4 till -53)	3 (50 till -43)	40 (133 till -52)
5 år	-33 (-5 till -62)	-5 (41 till -52)	32 (124 till -61)
10 år	-39 (-10 till -68)	-11 (36 till -58)	26 (118 till -66)
20 år	-44 (-14 till -73)	-16 (31 till -63)	21 (114 till -71)
30 år	-47 (-17 till -77)	-19 (29 till -66)	18 (111 till -74)
50 år	-50 (-19 till -81)	-22 (26 till -70)	15 (108 till -78)
100 år	-55 (-22 till -87)	-27 (23 till -76)	10 (104 till -83)
200 år	-59 (-24 till -94)	-31 (20 till -82)	6 (101 till -88)
500 år	-65 (-25 till -104)	-37 (17 till -91)	0 (96 till -96)

14.3.5 Frekvenstabeller av havsvattenstånd

Tabell 20. Kumulativ frekvens av vattenståndet vid Göteborg-Torshamnen/Krossholmen i framtida klimat under SSP2-4,5 (median) år 2070 som visar andel av tiden i procent ett givet vattenstånd inträffat eller överskridits på månadsbasis och på helårsbasis. Nivåerna anges i RH 2000 i cm i intervall om 10 cm. Inget värde anges med streck, nollor anger att händelser förekommit men under mycket liten andel av tiden.

VST (cm) RH 2000	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	HELÅR
180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
170	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
160	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
150	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
140	0.1	0	-	-	-	-	-	-	-	0	0.1	0.1	0
130	0.2	0.1	0	-	-	-	-	-	0	0	0.1	0.1	0
120	0.4	0.2	0	-	-	-	-	-	0	0.1	0.2	0.2	0.1
110	0.9	0.3	0.1	-	-	-	-	-	0.1	0.2	0.4	0.5	0.2
100	1.7	0.7	0.2	0	-	-	0	0	0.3	0.6	0.9	0.9	0.4
90	3.1	1.5	0.6	0	-	-	0	0.1	0.6	1.4	2.1	2.1	1.0
80	5.2	2.7	1.2	0.1	0	0	0.1	0.2	1.6	3.1	4.3	4.3	1.9
70	9.0	5.3	2.6	0.5	0.1	0.2	0.5	0.8	3.8	6.9	8.6	8.5	3.9
60	15.2	9.5	5.2	1.2	0.5	0.9	1.6	2.9	9.0	13.2	16.2	16.5	7.7
50	24.4	16.3	10.1	3.4	2.0	3.9	6.7	9.5	18.7	23.7	27.5	27.4	14.5
40	36.0	25.9	18.6	8.4	7.1	13.0	22.1	25.4	33.9	39.1	42.8	40.9	26.1
30	49.9	38.3	30.9	18.5	19.5	34.1	48.9	52.5	55.5	58.1	59.9	56.7	43.6
20	66.3	53.5	47.5	37.7	43.4	64.1	78.4	81.1	77.7	75.9	76.5	73.4	64.7
10	81.2	70.1	66.6	64.8	72.6	89.1	95.9	97.0	92.8	89.6	89.6	86.8	83.1
0	91.3	84.8	83.6	87.9	92.5	98.6	99.8	99.9	98.8	96.8	96.8	94.9	93.9
-10	96.5	94.4	94.0	97.7	98.9	100	100	100	99.9	99.4	99.4	98.4	98.2
-20	99.0	98.4	98.4	99.7	99.9	100	100	100	100	99.9	99.8	99.6	99.6
-30	99.8	99.6	99.7	100	100	100	100	100	100	100	100	99.9	99.9
-40	100	99.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabell 21. Kumulativ frekvens av vattenståndet vid Göteborg-Torshamnen/Krossholmen i framtida klimat under SSP2-4,5 (median) år 2100 som visar andel av tiden i procent ett givet vattenstånd inträffat eller överskridits på månadsbasis och på helårsbasis. Nivåerna anges i RH 2000 i cm i intervall om 10 cm. Inget värde anges med streck, nollor anger att händelser förekommit men under mycket liten andel av tiden.

VST (cm) RH 2000	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	HELÅR
200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
190	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0
180	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
170	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
160	0	0	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.1	0
150	0.1	0	0	-	-	-	-	-	-	0	0.1	0.1	0
140	0.3	0.2	0	-	-	-	-	-	0	0.1	0.1	0.2	0.1
130	0.6	0.3	0.1	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.3	0.3	0.1
120	1.2	0.5	0.1	-	-	-	-	0	0.2	0.3	0.6	0.6	0.3
110	2.3	1.0	0.4	0	-	-	0	0.1	0.4	0.9	1.4	1.4	0.7
100	4.1	2.0	0.9	0.1	-	0	0.1	0.2	1.0	2.1	3.0	3.0	1.4
90	6.8	3.8	1.8	0.3	0	0.1	0.3	0.5	2.5	4.7	6.1	6.1	2.7
80	11.8	7.1	3.7	0.8	0.3	0.5	0.8	1.5	5.9	9.6	12.0	12.1	5.5
70	19.5	12.7	7.3	2.0	1.0	1.9	3.3	5.4	13.3	17.8	21.3	21.6	10.6
60	29.9	20.6	13.8	5.5	3.9	7.2	12.7	15.9	25.5	30.8	34.9	33.9	19.6
50	42.8	31.8	24.1	12.7	11.8	21.8	34.3	37.9	44.0	48.5	51.5	48.7	34.2
40	58.0	45.5	38.7	26.9	30.0	48.6	64.3	67.8	67.0	67.4	68.6	65.1	54.1
30	74.1	61.7	57.1	51.1	58.2	78.2	89.3	91.1	86.7	83.6	83.7	80.8	74.7
20	86.8	77.8	75.6	77.8	84.4	95.6	98.8	99.4	96.7	94.0	93.9	91.7	89.5
10	94.5	90.4	89.7	94.4	96.9	99.7	100	100	99.6	98.4	98.6	97.0	96.6
0	97.8	97.0	96.8	99.1	99.7	100	100	100	100	99.8	99.7	99.2	99.1
-10	99.5	99.2	99.2	99.9	100	100	100	100	100	100	99.9	99.8	99.8
-20	99.9	99.8	99.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-40	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabell 22. Kumulativ frekvens av vattenståndet vid Göteborg-Torshamnen/Krossholmen i framtida klimat under SSP2-4,5 (median) år 2150 som visar andel av tiden i procent ett givet vattenstånd inträffat eller överskridits på månadsbasis och på helårsbasis. Nivåerna anges i RH 2000 i cm i intervall om 10 cm. Inget värde anges med streck, nollor anger att händelser förekommit men under mycket liten andel av tiden.

VST (cm) RH 2000	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	HELÅR
220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0
200	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
190	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
180	0	0	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.1	0
170	0.1	0	0	-	-	-	-	-	-	0	0.1	0.1	0
160	0.3	0.2	0	-	-	-	-	-	0	0.1	0.1	0.2	0.1
150	0.6	0.3	0.1	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.3	0.3	0.1
140	1.2	0.5	0.1	-	-	-	-	0	0.2	0.3	0.6	0.6	0.3
130	2.3	1.0	0.4	0	-	-	0	0.1	0.4	0.9	1.4	1.4	0.7
120	4.1	2.0	0.9	0.1	-	0	0.1	0.2	1.0	2.1	3.0	3.0	1.4
110	6.8	3.8	1.8	0.3	0	0.1	0.3	0.5	2.5	4.7	6.1	6.1	2.7
100	11.8	7.1	3.7	0.8	0.3	0.5	0.8	1.5	5.9	9.6	12.0	12.1	5.5
90	19.5	12.7	7.3	2.0	1.0	1.9	3.3	5.4	13.3	17.8	21.3	21.6	10.6
80	29.9	20.6	13.8	5.5	3.9	7.2	12.7	15.9	25.5	30.8	34.9	33.9	19.6
70	42.8	31.8	24.1	12.7	11.8	21.8	34.3	37.9	44.0	48.5	51.5	48.7	34.2
60	58.0	45.5	38.7	26.9	30.0	48.6	64.3	67.8	67.0	67.4	68.6	65.1	54.1
50	74.1	61.7	57.1	51.1	58.2	78.2	89.3	91.1	86.7	83.6	83.7	80.8	74.7
40	86.8	77.8	75.6	77.8	84.4	95.6	98.8	99.4	96.7	94.0	93.9	91.7	89.5
30	94.5	90.4	89.7	94.4	96.9	99.7	100	100	99.6	98.4	98.6	97.0	96.6
20	97.8	97.0	96.8	99.1	99.7	100	100	100	100	99.8	99.7	99.2	99.1
10	99.5	99.2	99.2	99.9	100	100	100	100	100	100	99.9	99.8	99.8
0	99.9	99.8	99.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-40	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabell 23. Kumulativ frekvens av vattenståndet vid Göteborg-Torshamnen/Krossholmen i framtida klimat under SSP5-8,5 (median) år 2070 som visar andel av tiden i procent ett givet vattenstånd inträffat eller överskridits på månadsbasis och på helårsbasis. Nivåerna anges i RH 2000 i cm i intervall om 10 cm. Inget värde anges med streck, nollor anger att händelser förekommit men under mycket liten andel av tiden.

VST (cm) RH 2000	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	HELÅR
190	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0
170	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
160	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
150	0.1	0	-	-	-	-	-	-	-	0	0.1	0.1	0
140	0.1	0.1	0	-	-	-	-	-	0	0	0.1	0.1	0
130	0.3	0.2	0	-	-	-	-	-	0	0.1	0.1	0.2	0.1
120	0.7	0.3	0.1	-	-	-	-	-	0.1	0.2	0.3	0.4	0.2
110	1.4	0.6	0.2	-	-	-	-	0	0.2	0.4	0.7	0.7	0.4
100	2.6	1.2	0.4	0	-	-	0	0.1	0.5	1.1	1.6	1.6	0.8
90	4.5	2.3	1.0	0.1	0	0	0.1	0.2	1.2	2.4	3.5	3.5	1.6
80	7.6	4.3	2.1	0.3	0.1	0.1	0.3	0.6	2.9	5.5	7.0	6.9	3.1
70	13.1	8.1	4.2	0.9	0.3	0.6	1.1	2.0	7.0	11.0	13.4	13.7	6.3
60	21.3	14.1	8.3	2.5	1.3	2.5	4.3	6.8	15.4	19.9	23.7	23.9	12.0
50	32.1	22.7	15.6	6.6	5.0	9.2	16.0	19.3	28.6	33.9	38.0	36.7	22.0
40	45.6	34.3	26.7	14.9	14.7	26.2	39.8	43.6	48.4	52.4	54.9	51.8	37.8
30	61.3	48.6	42.1	30.9	35.1	54.8	70.2	73.6	71.4	70.9	71.9	68.5	58.4
20	77.1	65.1	60.9	56.5	64.2	83.1	92.5	94.0	89.5	86.2	86.3	83.5	78.3
10	88.8	80.7	79.0	82.4	88.1	97.2	99.4	99.7	97.7	95.3	95.2	93.1	91.4
0	95.4	92.2	91.7	96.0	98.0	99.8	100	100	99.8	98.9	99.0	97.7	97.4
-10	98.2	97.7	97.5	99.4	99.8	100	100	100	100	99.9	99.8	99.4	99.3
-20	99.6	99.4	99.5	99.9	100	100	100	100	100	100	99.9	99.9	99.9
-30	99.9	99.9	99.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-40	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-60	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-70	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabell 24. Kumulativ frekvens av vattenståndet vid Göteborg-Torshamnen/Krossholmen i framtida klimat under SSP5-8,5 (median) år 2100 som visar andel av tiden i procent ett givet vattenstånd inträffat eller överskridits på månadsbasis och på helårsbasis. Nivåerna anges i RH 2000 i cm i intervall om 10 cm. Inget värde anges med streck, nollor anger att händelser förekommit men under mycket liten andel av tiden.

VST (cm) RH 2000	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	HELÅR
220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0
200	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
190	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
180	0	0	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.1	0
170	0.1	0	0	-	-	-	-	-	-	0	0.1	0.1	0
160	0.3	0.2	0	-	-	-	-	-	0	0.1	0.1	0.2	0.1
150	0.6	0.3	0.1	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.3	0.3	0.1
140	1.2	0.5	0.1	-	-	-	-	0	0.2	0.3	0.6	0.6	0.3
130	2.3	1.0	0.4	0	-	-	0	0.1	0.4	0.9	1.4	1.4	0.7
120	4.1	2.0	0.9	0.1	-	0	0.1	0.2	1.0	2.1	3.0	3.0	1.4
110	6.8	3.8	1.8	0.3	0	0.1	0.3	0.5	2.5	4.7	6.1	6.1	2.7
100	11.8	7.1	3.7	0.8	0.3	0.5	0.8	1.5	5.9	9.6	12.0	12.1	5.5
90	19.5	12.7	7.3	2.0	1.0	1.9	3.3	5.4	13.3	17.8	21.3	21.6	10.6
80	29.9	20.6	13.8	5.5	3.9	7.2	12.7	15.9	25.5	30.8	34.9	33.9	19.6
70	42.8	31.8	24.1	12.7	11.8	21.8	34.3	37.9	44.0	48.5	51.5	48.7	34.2
60	58.0	45.5	38.7	26.9	30.0	48.6	64.3	67.8	67.0	67.4	68.6	65.1	54.1
50	74.1	61.7	57.1	51.1	58.2	78.2	89.3	91.1	86.7	83.6	83.7	80.8	74.7
40	86.8	77.8	75.6	77.8	84.4	95.6	98.8	99.4	96.7	94.0	93.9	91.7	89.5
30	94.5	90.4	89.7	94.4	96.9	99.7	100	100	99.6	98.4	98.6	97.0	96.6
20	97.8	97.0	96.8	99.1	99.7	100	100	100	100	99.8	99.7	99.2	99.1
10	99.5	99.2	99.2	99.9	100	100	100	100	100	100	99.9	99.8	99.8
0	99.9	99.8	99.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-40	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabell 25. Kumulativ frekvens av vattenståndet vid Göteborg-Torshamnen/Krossholmen i framtida klimat under SSP5-8,5 (median) år 2150 som visar andel av tiden i procent ett givet vattenstånd inträffat eller överskridits på månadsbasis och på helårsbasis. Nivåerna anges i RH 2000 i cm i intervall om 10 cm. Inget värde anges med streck, nollor anger att händelser förekommit men under mycket liten andel av tiden.

VST (cm) RH 2000	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	HELÅR
250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
240	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
230	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
220	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
210	0.1	0	0	-	-	-	-	-	-	0	0.1	0.1	0
200	0.2	0.1	0	-	-	-	-	-	0	0	0.1	0.1	0.1
190	0.5	0.2	0	-	-	-	-	-	0	0.1	0.2	0.2	0.1
180	1.0	0.4	0.1	-	-	-	-	0	0.2	0.2	0.5	0.5	0.2
170	2.0	0.8	0.3	0	-	-	0	0	0.3	0.7	1.1	1.1	0.5
160	3.4	1.7	0.7	0	-	-	0	0.1	0.7	1.6	2.4	2.4	1.1
150	5.8	3.1	1.4	0.2	0	0	0.2	0.3	1.9	3.7	4.9	4.9	2.2
140	10.1	5.9	3.0	0.6	0.2	0.3	0.6	1.0	4.5	7.9	9.9	9.9	4.5
130	16.9	10.6	6.0	1.5	0.7	1.2	2.1	3.8	10.6	15.1	18.0	18.4	8.7
120	26.6	18.1	11.4	4.1	2.6	5.0	8.8	11.8	21.2	26.4	30.3	29.9	16.3
110	38.6	28.2	20.6	10.0	8.7	16.0	26.6	30.1	37.8	42.7	46.1	43.7	29.1
100	53.2	41.2	33.9	21.7	23.4	39.8	55.1	58.6	60.2	61.7	63.3	60.1	47.7
90	69.6	56.6	51.3	42.9	49.3	70.2	83.3	85.5	81.6	79.2	79.4	76.5	68.9
80	83.7	73.1	70.3	70.2	77.6	92.1	97.4	98.4	94.7	91.5	91.5	88.9	85.9
70	92.8	87.4	86.3	91.1	94.6	99.3	99.9	99.9	99.2	97.5	97.7	95.9	95.2
60	97.0	95.6	95.3	98.4	99.4	100	100	100	99.9	99.6	99.6	98.7	98.6
50	99.2	98.8	98.8	99.8	100	100	100	100	100	100	99.9	99.7	99.7
40	99.8	99.7	99.8	100	100	100	100	100	100	100	100	99.9	99.9
30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

14.3.6 Antaganden, osäkerheter och konfidensintervall

Extrema havsvattenstånd i framtida klimat har beräknats genom att kombinera beräknade extremvärden med uppgifter om framtida medelvattenstånd för respektive scenario och årtionde. Detta har gjorts genom att anta att extremnivåerna, beräknade utifrån historiska mätdata, överlagras framtida medelvattenstånd för valda utsläppsscenarier och tidshorisonter. Tillvägagångssättet ligger i linje med hur andra länder beräknar extremvärden i ett framtida klimat (Simpson, o.a., 2015).

Därtill antas att fördelningen av extrema vattenstånd är densamma idag som i framtiden. Det är liktydigt med att anta att vädret som orsakar låg- och högvattenhändelser, kommer att ha samma statistiska egenskaper som idag. Det vill säga hög- och lågtryckens styrkor, banor och utveckling antas vara liknande som idag. Klimatscenarierna utvisar inte någon tydlig trend för våra breddgrader vad gäller exempelvis stormarnas frekvens, banor, utbredning och vindstyrkor (Seneviratne, o.a., 2021).

Både beräknade extremvärden och framtida medelvattenstånd är behäftade med osäkerheter. För att kunna ange ett konfidensintervall för extrema havsvattenstånd i framtida klimat skattas den kombinerade osäkerheten. Den kombinerade osäkerheten består av osäkerheten i extremvärdet och osäkerheten i klimatscenariot. Den kombinerade osäkerheten beräknas utifrån de olika bidragens standardavvikelser.

Klimatscenariernas standardavvikelse har beräknats genom att anta att det framtida medelvattenståndet följer en normalfördelad sannolikhetsfördelning och att medianvärdet är väntevärdet. Detta är en förenkling. Sannolikhetsfördelningen för framtida medelvattenstånd har en viss skevhet mot högre havsnivåhöjning. Denna skevhet indikerar att högre havsnivåhöjningar är mer sannolika än lägre havsnivåhöjningar. Detta kan medföra att den övre konfidensgränsen av den kombinerade osäkerheten är underskattad.

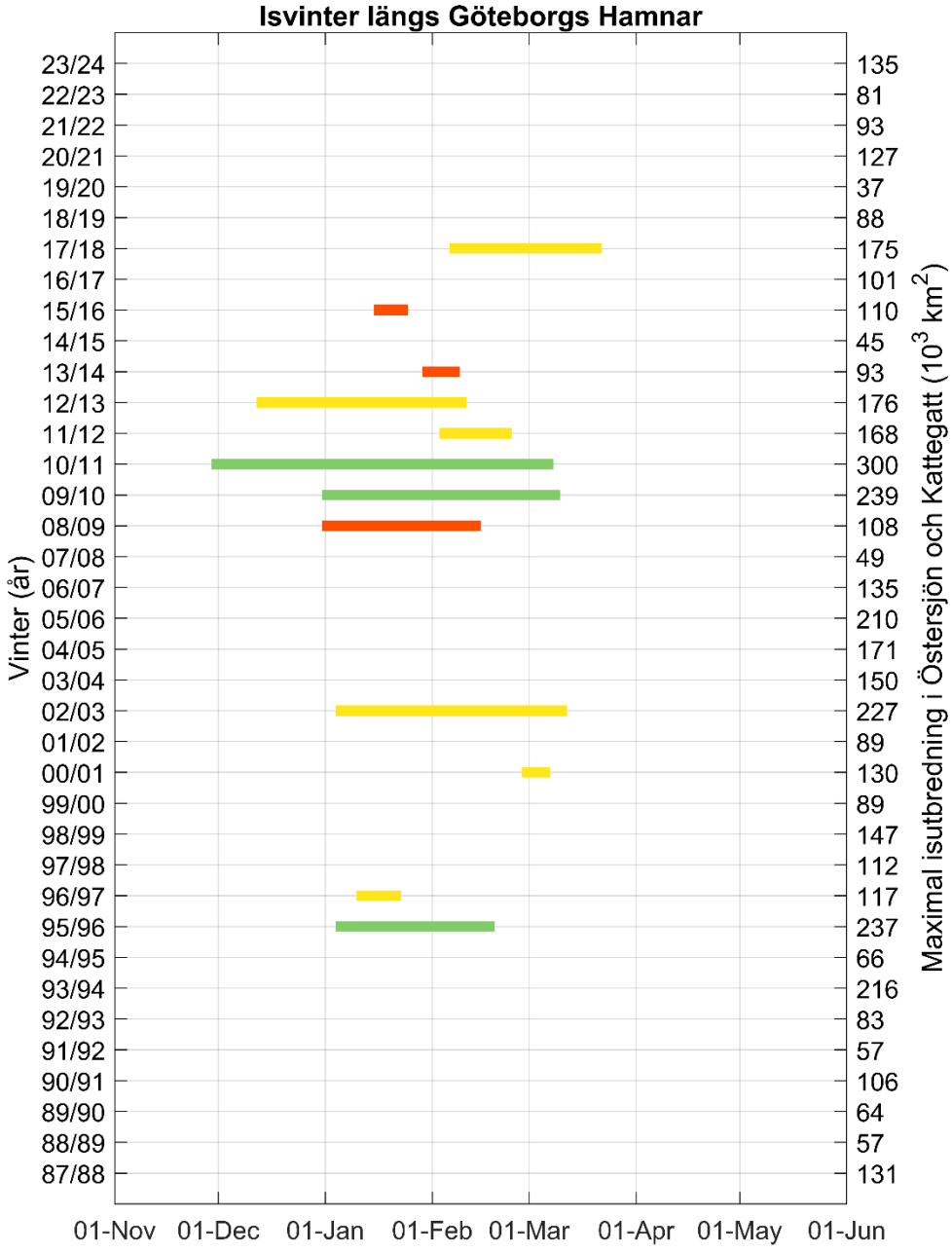
De uppgifter om framtida havsnivåer som anges i denna rapport kommer att behöva uppdateras i takt med att ny kunskap etableras och tillgängliggörs. IPCC:s nästa utvärderingsrapport AR7 planeras att släppas år 2029 (IPCC, u.d.), och delrapporten från Working Group 1, The Physical Science Basis, publiceras sannolikt 2028.

14.4 Havsis

14.4.1 Issäsong

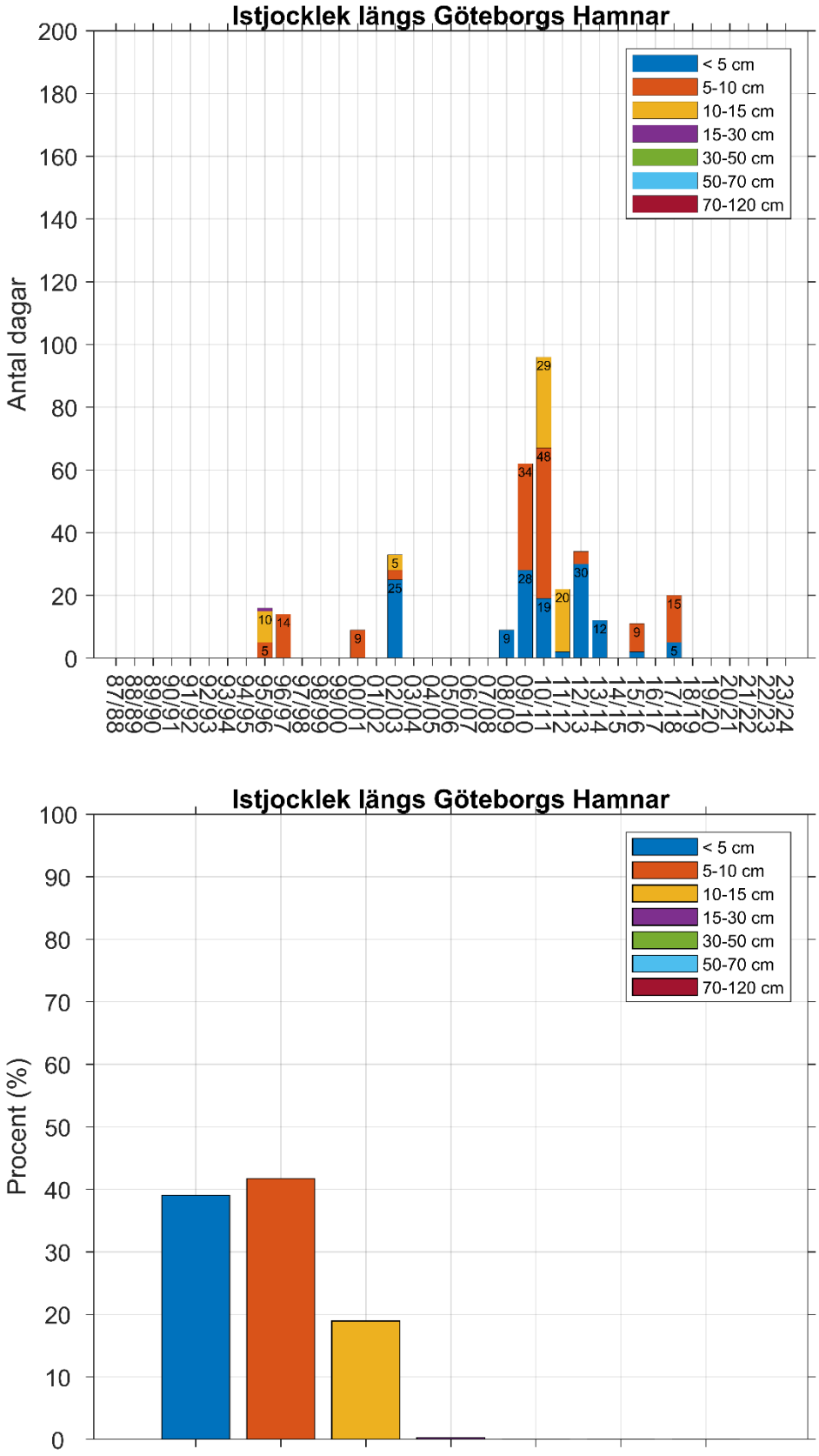
Tabell 26. Isläggning och islossning per vinter, issäsongens längd, antal dygn med is längs farleden Göteborgs hamnar, samt maximal isutbredning i tusentals km² över Östersjön och Kattegatt.

Vinter	Första dag med is	Sista dag med is	Issäsong längd	Antal dygn med is	Is-utbredning
1987/1988	Ingen is	Ingen is	0	0	131
1988/1989	Ingen is	Ingen is	0	0	57
1989/1990	Ingen is	Ingen is	0	0	64
1990/1991	Ingen is	Ingen is	0	0	106
1991/1992	Ingen is	Ingen is	0	0	57
1992/1993	Ingen is	Ingen is	0	0	83
1993/1994	Ingen is	Ingen is	0	0	216
1994/1995	Ingen is	Ingen is	0	0	66
1995/1996	04-Jan-1996	19-Feb-1996	47	16	237
1996/1997	10-Jan-1997	23-Jan-1997	14	14	117
1997/1998	Ingen is	Ingen is	0	0	112
1998/1999	Ingen is	Ingen is	0	0	147
1999/2000	Ingen is	Ingen is	0	0	89
2000/2001	27-Feb-2001	07-Mar-2001	9	9	130
2001/2002	Ingen is	Ingen is	0	0	89
2002/2003	04-Jan-2003	12-Mar-2003	68	33	227
2003/2004	Ingen is	Ingen is	0	0	150
2004/2005	Ingen is	Ingen is	0	0	171
2005/2006	Ingen is	Ingen is	0	0	210
2006/2007	Ingen is	Ingen is	0	0	135
2007/2008	Ingen is	Ingen is	0	0	49
2008/2009	31-Dec-2008	15-Feb-2009	47	9	108
2009/2010	31-Dec-2009	10-Mar-2010	70	62	239
2010/2011	29-Nov-2010	08-Mar-2011	100	96	300
2011/2012	03-Feb-2012	24-Feb-2012	22	22	168
2012/2013	12-Dec-2012	11-Feb-2013	62	34	176
2013/2014	29-Jan-2014	09-Feb-2014	12	12	93
2014/2015	Ingen is	Ingen is	0	0	45
2015/2016	15-Jan-2016	25-Jan-2016	11	11	110
2016/2017	Ingen is	Ingen is	0	0	101
2017/2018	06-Feb-2018	22-Mar-2018	45	20	175
2018/2019	Ingen is	Ingen is	0	0	88
2019/2020	Ingen is	Ingen is	0	0	37
2020/2021	Ingen is	Ingen is	0	0	127
2021/2022	Ingen is	Ingen is	0	0	93
2022/2023	Ingen is	Ingen is	0	0	81
2023/2024	Ingen is	Ingen is	0	0	135
Medel	12-Jan	22-Feb	14	9	128

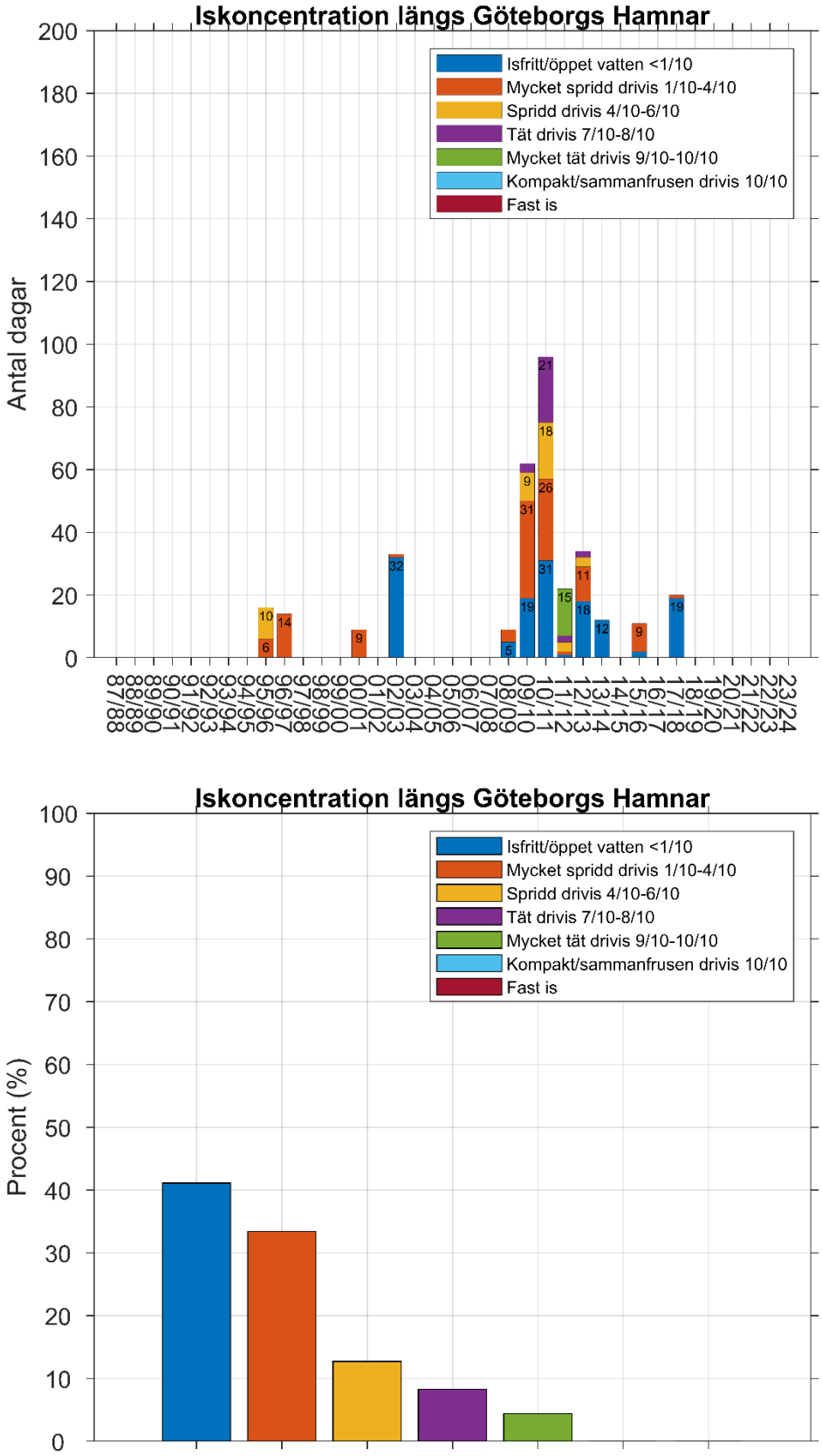


Figur 61. Vinterns längd längs farleden Göteborgs Hamnar, dess klassning samt den maximala isutbredningen över Östersjön och Kattegatt.

14.4.2 Istjocklek och iskoncentration



Figur 62. Fördelning av antal dygn för olika istjocklekar per vinter (övre), och procentuell fördelning av istjocklek från vintern 1987/1988 till 2023/2024 längs farleden Göteborgs Hamnar (undre).



Figur 63. Fördelning av antal dygn per isvinter för olika iskoncentrationer (övre), och procentuell fördelning av iskoncentration från vintern 1987/1988 till 2023/2024 längs farleden Göteborgs Hamnar (undre).

SMHI har en livsviktig roll som pålitlig expertmyndighet. Genom vår gedigna kunskap om väder, vatten och klimat bidrar vi till att öka hela samhällets hållbarhet.

Vi samlar in mängder av data som vi bearbetar, modellerar och visualiserar utifrån olika scenarier. Vi följer omvärldens utveckling och genom vår egen forskning utvecklar och sprider vi kunskap och tjänster som bygger på vetenskaplig grund. Vi utvärderar, analyserar, prognostiserar och följer upp. Varje dag, dygnet runt, året om.

Därför vågar vi lova dig ständigt aktuella beslutsunderlag som gör det lättare att planera på både kort och lång sikt – allt från din utflykt till framtidens infrastruktur. Våra underlag hjälper samhället att nå de nationella miljökvalitetsmålen och hantera morgondagens globala utmaningar.

SMHI omsätter 916 miljoner kronor och har cirka 670 medarbetare. Huvudkontoret finns i Norrköping. SMHI har också kontor i Göteborg och Uppsala.

SMHI. Alltid de bästa underlagen för dina beslut.

SMHI

SMHI – SVERIGES METEOROLOGISKA OCH HYDROLOGISKA INSTITUT

601 76 Norrköping ▪ Besöksadress Folkborgsvägen 17 ▪ Telefon 011-495 80 00 ▪ E-Post smhi@smhi.se ▪ www.smhi.se