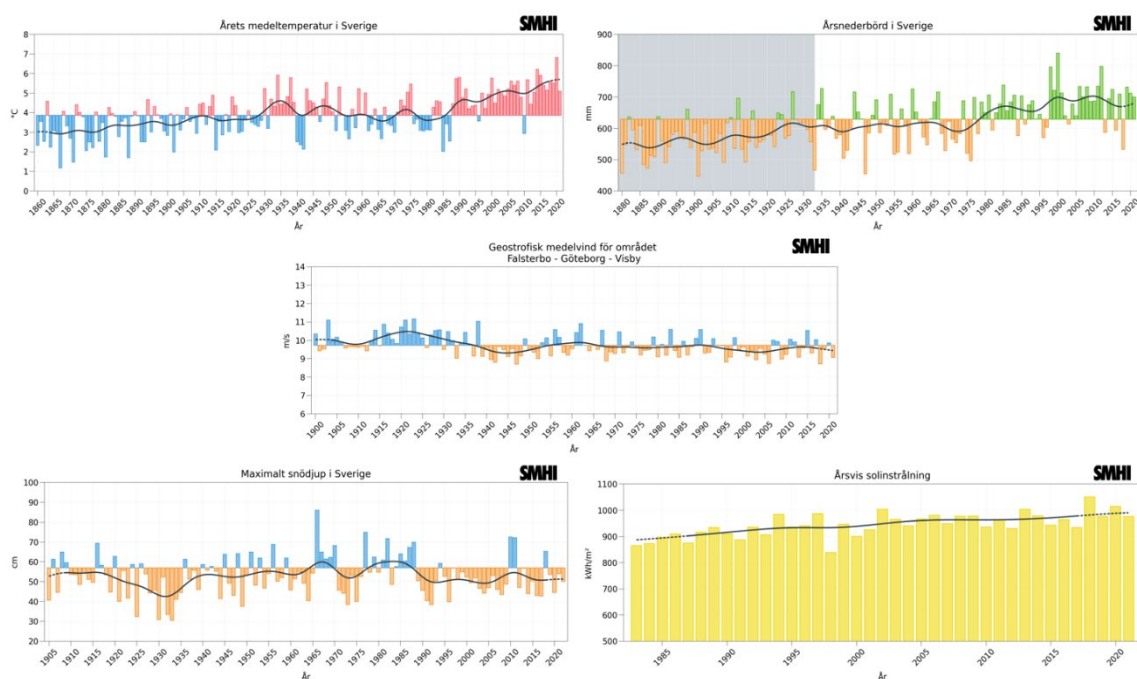


Semjon Schimanke, Magnus Joelsson, Sandra Andersson, Thomas Carlund, Lennart Wern, Sverker Hellström, Erik Kjellström

Observerad klimatförändring i Sverige 1860–2021



Pärbilden föreställer förändringar av årets medeltemperatur, årsnederbörd, geostrofisk medelvind, maximalt snödjup och årsvis solinstrålning.

ISSN: 1654-2258 © SMHI

KLIMATOLOGI Nr 69, 2022

Observerad klimatförändring i Sverige 1860–2021

Semjon Schimanke, Magnus Joelsson, Sandra Andersson, Thomas Carlund, Lennart Wern,
Sverker Hellström, Erik Kjellström

Granskad och Godkänd av: Gustav Strandberg

Funktion: Forskningsledare FoU

Denna sida är avsiktligt blank

Sammanfattning

Historiska observationer av temperatur, vegetationsperiodens längd, nederbörd, snö, globalstrålning och geostrofisk vind i Sverige har analyserats. Längden på de tillgängliga tidsserierna varierar mellan de olika variablerna. Det finns dagliga temperaturobservationer från Uppsala så långt tillbaka som 1722, medan startåret för de globalstrålningsmätningar från åtta svenska stationer som analyserats här är så sent som 1983. Klimatindikatorer som baseras på dessa observationer visar att:

- Sveriges årsmedeltemperatur har ökat med 1,9 °C jämfört med perioden 1861–1890.
- Sveriges årsnederbörd har ökat sedan 1930 från 600 mm/år till nästan 700 mm/år.
- Antalet dagar med snötäcke har minskat sedan 1950.
- Globalstrålningen har ökat med cirka 10 % sedan mitten av 1980-talet.
- Någon förändring av den geostrofiska vinden kan inte fastslås från 1940.

De ovan listade förändringarna syftar alla till årliga genomsnitt för hela Sverige. De är statistiskt signifikanta i de flesta fall. Bilden blir mer tvetydig då genomsnitt för olika landsdelar eller säsonger undersöks. Exempelvis är den ökade årsnederbörden mest ett resultat av ökad nederbörd under vinter och höst, medan det inte finns någon tydlig trend för sommar och vår. Det är också generellt sett svårare att fastslå förändringar i extremvärden. Exempelvis finns ingen signifikant trend vad gäller vinterns största snödjup, trots en tydlig minskning i antalet dagar med snötäcke.

Summary

Historical Swedish observations of temperature, length of vegetation period, precipitation, snow, global radiation, and geostrophic wind have been analysed. The length of available time series varies among these variables. Whereas there are temperature observations for Uppsala ranging back to 1722 continuous measurements of global radiation at eight Swedish stations start only in 1983. Climate indicators based on these observations show that:

- The annual mean temperature for Sweden has increased by 1.9 °C compared to the period 1861–1890.
- The amount of annual precipitation increased since 1930 from about 600 mm/year to almost 700 mm/year.
- The number of days with snow cover has reduced since 1950.
- The global radiation increased with circa 10 % since the mid-1980's.
- The geostrophic wind has no clear change pattern since 1940.

The listed changes are annual averages for Sweden. These are robust and statistically significant in most cases. The picture is getting more diverse when investigating smaller regions or different seasons instead of annual means. For instance, the increase of precipitation is mainly related to enhanced precipitation during autumn and winter whereas there are no obvious trends in spring and summer.

Moreover, changes in extremes are generally harder to identify. For instance, despite the clear negative trend in the number of days with snow cover there is no significant trend for the maximum snow depth.

Denna sida är avsiktligt blank

Innehållsförteckning

1	BAKGRUND	5
2	DATA OCH METOD	6
2.1	Dataunderlag	6
2.1.1	Homogenisering och kopplade tidsserier	6
2.1.2	Temperatur	7
2.1.3	Nederbörd	8
2.1.4	Snödjup	11
2.1.5	Solinstrålning	12
2.1.6	Geostrofisk vind	14
2.2	Normalperioder	16
2.3	Beräkningar av trender och t-test	17
2.3.1	Linjära trender	17
2.3.2	Students t-test	17
2.3.3	Standardiserad avvikelse	17
3	KLIMATETS FÖRÄNDRING I SVERIGE	18
3.1	Temperatur och vegetationsperiod	18
3.1.1	Genomsnittlig temperatur	18
3.1.2	Extremtemperatur	23
3.1.3	Vegetationsperiod	25
3.1.4	Sammanfattning temperatur och vegetationsperiod	27
3.2	Nederbörd	28
3.2.1	Genomsnittlig års- och säsongvis nederbörd	28
3.2.2	Extremer	31
3.2.3	Sammanfattning nederbörd	34
3.3	Snö	35
3.3.1	Maximalt snödjup	35
3.3.2	Antal dygn med snötäcke	36
3.3.3	Sammanfattning snö	37
3.4	Solinstrålning	38
3.4.1	Trender i solinstrålningen	38
3.4.2	Extremvärden för solinstrålning	40
3.4.3	Sammanfattning solinstrålning	41
3.5	Geostrofisk vind	42
3.5.1	Förändringar i medelvinden	42
3.5.2	Extrem vindhastighet	46
3.5.3	Vindenergipotential	47
3.5.4	Sammanfattning geostrofisk vind	48

4	SAMMANFATTNING OCH DISKUSSION	49
4.1	Tydlig uppvärmning.....	49
4.2	Mer nederbörd men mindre snö.....	51
4.3	Ökande solinstrålning under de senaste decennierna.....	52
4.4	Ingen tydlig ändring i vindklimatet	52
5	REFERENSER	54
	BILAGA I.....	57

1 Bakgrund

Den globala medeltemperaturen har idag nått ungefär 1,1°C över förindustriella förhållanden (WMO, 2022). Till följd av den ökade temperaturen påverkas också det hydrologiska kretsloppet med ändrade nederbördsförhållanden och därmed ändrad risk för torka. Uppvärmningen leder också till minskad utbredning av snö och is (Meier et al. 2022) vilket i sin tur förstärker uppvärmningen till följd av en rad olika förstärkningseffekter. Detta är en av anledningarna till att uppvärmningen i Sverige, och ännu mer i Arktis, är större än genomsnittet. Uppvärmningen leder också till stigande global havsnivå (IPCC, 2021). En rad olika väderrelaterade extremer har också påverkats med till exempel fler och mer intensiva värmeböljor, minskad grad av kalla extremer, mer intensiv nederbörd men också mer utbredda torrperioder. Klimatförändringarna har medfört en rad mestadels negativa effekter på både samhällen och naturmiljö över stora delar av jorden (IPCC, 2022).

Exakt hur stora förändringarna är skiljer sig mellan olika regioner, säsonger och variabler. Den naturliga variabiliteten i klimatet, med omväxlande varma eller kalla respektive nederbördsrika eller torra år och decennier, gör att eventuella klimatförändringssignaler är mer eller mindre lätta att upptäcka på olika platser. För svensk del handlar det till exempel om att vintrar som präglas av västvindar med mild luft som strömmar in från Atlanten är mycket varmare än vintrar som domineras av högtrycksväder och vindar från nordost. En ändring i frekvensen av dessa vädertyper kan få stora konsekvenser för vårt klimat. Tidigare studier har visat att förändringar i frekvensen av olika vädertyper inte kan räcka till för att förklara de förändringar i temperatur som vi observerat under de senaste decennierna. Istället är det tydligt att det har blivit varmare för de allra flesta vädersituationer, det vill säga såväl för de milda västvindsdominerade vintrarna som för de kalla nordostvindsdominerade högtryckssituationerna (Kjellström et al., 2021, 2022a).

Idag vet vi att den största delen av den globala uppvärmningen orsakats av människans klimatpåverkan, främst till följd av utsläpp av koldioxid (IPCC, 2021). Regionalt har, utöver naturliga vädervariationer, även ändrade halter av luftföroreningar — och då särskilt aerosolpartiklar — haft en påverkan på klimatets utveckling. Till exempel ledde ökande halter av luftföroreningar till minskad solinstrålning och därmed en dämpning av den globala uppvärmningen under flera decennier från omkring mitten av 1900-talet och framåt. Detta brukar kallas för "global dimming". För Europas, och även Nordamerikas del har åtgärder för att förbättra luftkvaliteten lett till att partikelhalterna sjunkit från omkring 1990 och framåt vilket bidragit till den kraftiga ökningen i temperatur under samma period. Även tidigare under 1900-talet har sådana effekter haft en påverkan på klimatet. För att kunna förklara temperaturutvecklingen under 1900-talets första hälft över Europa och Nordatlanten konstaterar till exempel Hegerl et al. (2018) att alla tre faktorerna behövs; dvs. ökad halt av växthusgaser, ändrade aerosolkoncentrationer och naturlig variabilitet.

Långa tidsserier av observationer utgör grunden för klimatologiska studier. Observationerna är nödvändiga både för att kunna följa och studera klimatförändringen i detalj, och för att kunna utvärdera de klimatmodeller som används för att ta fram klimatscenarier för framtiden. Här är det viktigt att observationerna är av hög kvalitet och har tillräckligt hög upplösning, både i tid och rum, för att kunna kartlägga klimatets variationer och förändring. Även ur ett klimatanpassningsperspektiv är det viktigt att kunna relatera till det historiska klimatet, till exempel för att kunna sätta dagens extremhändelser i ett historiskt perspektiv (Kjellström et al., 2022b). I ljuset av den

globala uppvärmningen är därför observationer som går längre tillbaka i tiden särskilt värdefulla. I Sverige har vi några av de allra längsta temperaturserierna i världen, med ett kort avbrott från 1722 i Uppsala och helt obruten från 1756 från Stockholm. Från mitten av 1800-talet finns ett mer utbrett observationsnät över Sverige och efterhand har fler variabler lagts till. Exempelvis så startades de första observationerna av globalstrålning 1922 i Stockholm, vilket gör detta till världens längsta kontinuerliga globalstrålningsserie.

I den här rapporten beskrivs klimatets utveckling i Sverige med start från 1860 för temperatur för vilken de längsta observationsserierna finns. Efter att fler variabler tillkommit tas också nederbörd, snöförhållanden, vind och solstrålning upp. Rapporten utgår från de klimatindikatorer som SMHI regelbundet följer upp och presenterar på smhi.se. Utöver att beskriva den långsiktiga klimatförändringen beskrivs också, när data tillåter, skillnaderna mellan de två senaste trettioåriga normalperioderna 1961–1990 och 1991–2020. Detta för att ge läsaren en bild av i vilken grad klimatet har förändrats i Sverige under de senaste decennierna.

2 Data och metod

I det här stycket presenteras underliggande data och metoder som använts i analyserna.

2.1 Dataunderlag

Data liksom figurer i den här rapporten är baserade på mätningar gjorda i SMHIs observationsnät.

Många av diagrammen som beskriver utvecklingen ingår i SMHIs klimatindikatorer (<https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikatorer-1.7050>).

2.1.1 Homogenisering och kopplade tidsserier

För att kunna studera förändringar i klimat behövs långa mätserier. Det ideala är att ha mätningar från samma plats, på samma klockslag, med samma utrustning och mätmetod under hela tidsperioden. Ett dataset med observationer innehåller dock så gott som alltid så kallade homogenitetsbrott, där en station har flyttat, utrustning bytts ut eller mätmetoden har förändrats. Även förändringar i omgivningen, exempelvis förändring i närbelägna växtlighet eller byggnader, kan orsaka homogenitetsbrott i en observationsserie.

En mängd så kallade homogeniseringsmetoder har utvecklats för att hitta och korrigera för dessa homogenitetsbrott. En homogeniserad tidsserie är alltså en uppskattning av hur en tidsserie med observationer skulle ha sett ut om mätningarna skett vid samma plats och med samma teknik under hela perioden. Ofta används relativa homogeniseringsmetoder där en tidsserie (kandidatserie) jämförs med andra tidsserier från närbelägna stationer (referensserier). Om kandidatserien har ett plötsligt skifte som inte finns i referensserierna kan det misstänkas att ett homogenitetsbrott upptäckts.

Vid SMHI har hittills månadsmedeltemperatur homogeniserats, se Joelsson et al. (2022a, 2022b) och Joelsson (2022). Dessutom pågår arbete att homogenisera fler variabler, till exempel vind (Zhou et al. 2022).

Det händer att mätstationer stängs ner och att nya startas upp. För att utnyttja så mycket av observationerna som möjligt och få så långa tidsserier som möjligt kan tidsserier konstrueras genom att data från flera olika stationer kopplas samman med

varandra. Dessa stationer måste ligga tillräckligt nära varandra. Sammankoppling av stationer bör göras med viss försiktighet och helst kombineras med homogenisering. I den här rapporten bygger analyserna av variablerna månadsmedeltemperatur, extrem dygnstemperatur, extrem nederbörd, snödjup och snötäcke på kopplade tidsserier.

2.1.2 Temperatur

Dagliga lufttemperaturobservationer har i någon form utförts i Sverige sedan 1722 (Bergström och Moberg, 2002) då mätserien i Uppsala startade, på initiativ av bland annat Anders Celsius. 1754 startades mätserien i Stockholm (Moberg et al. 2002), vilket är den längsta pågående mätserien utan betydande avbrott i Sverige. 1859–1860 installerades över 30 mätstationer av Kungliga Svenska Vetenskapsakademien., Förvaltningen övertogs senare av SMHI:s föregångare Statens Meteorologiska Centralanstalt. Stationsnätets omfattning ökade över de kommande 100 åren; 1962 fanns över 400 aktiva stationer som observerade temperatur. Sedan dess har antalet temperaturmätande stationer succesivt åter minskat till cirka 250 stationer 2021. Under dessa år har ofta stationer upphört eller behövt flytta. 1995 inleddes en omfattande automatisering av stationsnätet (Alexandersson, 2002).

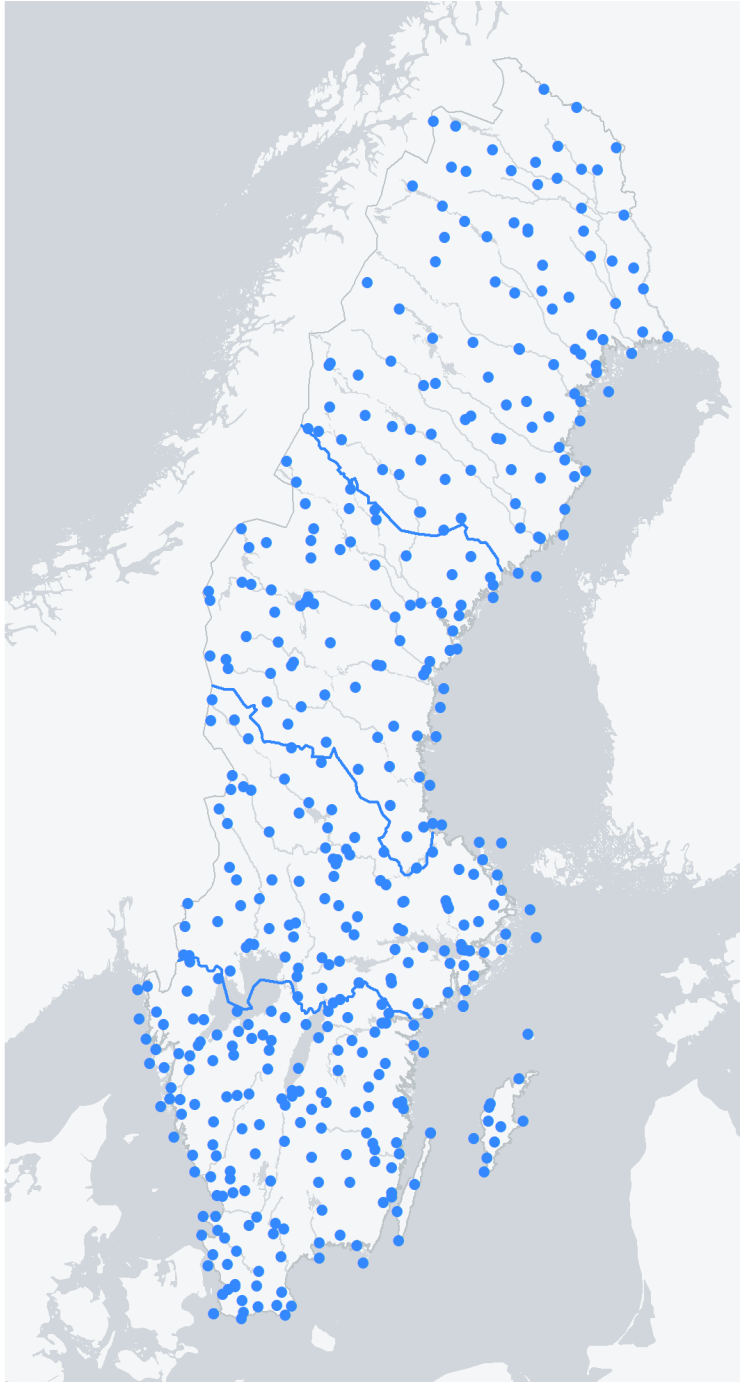
Mätningarna av lufttemperatur utförs om möjligt på en öppen plan plats där marken är täckt med kort gräs och på en höjd av 1,5–2 m över marken. Termometrarna är skyddade från solstrålning och nederbörd. Fram till automatiseringen användes kvicksilver- och sprittermometrar. En vanlig uppsättning av termometrar bestod av två termometrar som användes för att registrera dygnets högsta och lägsta temperatur samt en stationstermometer för avläsning vid fasta tidpunkter. Sedan automatiseringen mäts temperaturen varje minut med en elektronisk motståndstermometer (Pt-100).

Dygnets medeltemperatur (T_m) beräknas med Ekholm-Modéns formel, uppkallad efter sina konstruktörer meteorologerna Nils Ekholm (1848–1923) och Helge Modén (1904–1967), se MCA (1914). Formeln är beroende av observationstider. I sin nuvarande form bygger den på observationerna för dygnets högsta (T_x) och lägsta (T_n) temperatur samt avläsningarna vid 7 (T_{07}), 13 (T_{13}) och 19 (T_{19}) svensk normalt看 enligt:

$$T_m = (a T_{07} + b T_{13} + c T_{19} + d T_x + e T_n) / 100$$

där a – e är koefficienter vars värde beror på månad och longitud.

Årsmedeltemperaturen i Sverige beräknas utifrån ett homogeniserat dataset som består av 456 tidsserier, med data från totalt 836 stationer (se Figur 1). Enskilda tidsserier innehåller alltså data från ett antal närliggande sammankopplade stationer. Dessa sammankopplade tidsserier har olika start- och sluttider, många av dem innehåller luckor utan data. Som en del av homogeniseringsprocessen fylls dessa luckor ut med "ANOVA-korrektionsmodellen" (Caussinus och Mestre, 2004). ANOVA-korrektionsmodellen är en så kallad två-faktormodell där varje värde i serien approximeras som summan av en stationsterm (vilket är konstant i tid under en homogen period) och en klimatterm (gemensam för referensstationerna). ANOVA-korrektionsmodellen finns förklarad i mer detalj i Domonkos (2022).



Figur 1: Alla stationer som ingår i temperaturanalysen.

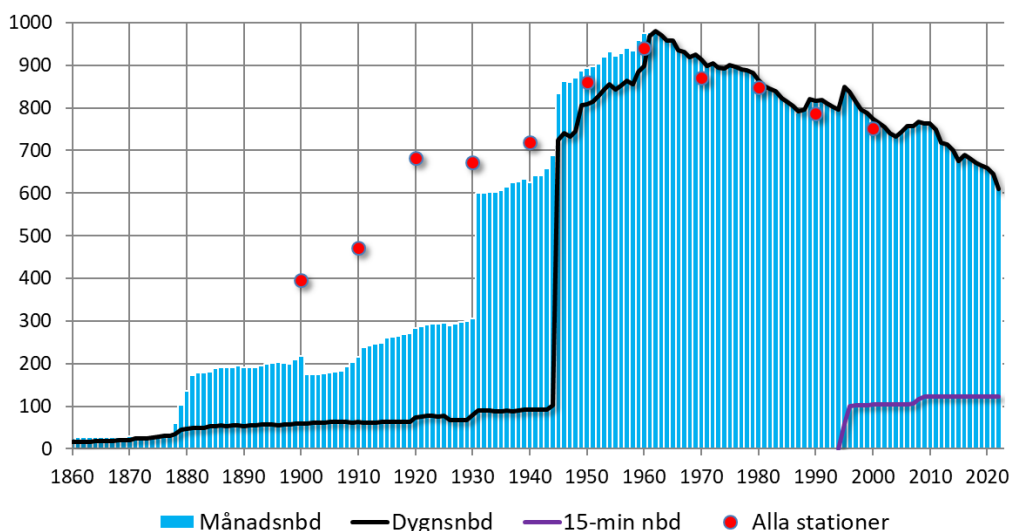
2.1.3 **Nederbörd**

De flesta metoder att mäta nederbörd bygger på principen att samla upp nederbörden i ett vattentätt kärl och sedan mäta hur mycket vätska som samlats där. SMHIs manuella mätningar görs med hjälp av en aluminiumkanna som är placerad på en stolpe på ungefär 1,5 meters höjd över marken. Runt kannan finns en vindskärm monterad. Sommartid finns även ett avdunstningsskydd placerat i kannan. Mätning görs genom att nederbörden hålls från kannan i ett mätglas och därefter avläses mängden i tiondels millimeter. Om nederbörden skulle vara i form av snö så smälts den före mätning.

Mätningen av dygnsnederbörd görs varje morgon kl 07 svensk normaltid (kl 08 svensk sommartid).

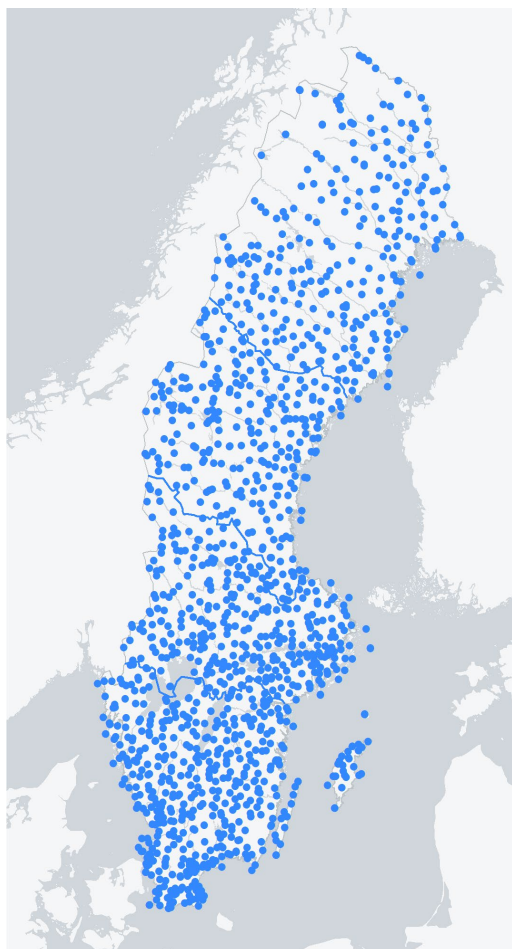
Vid SMHIs automatstationer används en vägande nederbördsräknare av märket Geonor. Även dessa stationer är utrustade med ett enklare vindskydd. Automatstationer installerades 1995/1996 och är idag runt 120 stycken.

Antal stationer som mätt nederbörd varje år har varierat under den studerade perioden 1860–2021, se Figur 2. Ett nät av nederbördsstationer i Sverige började ta form kring 1880 och år 1900 var antalet ungefär 400 stycken. Antalet stationer ökade till över 900 i början av 1960-talet. Därefter har det skett en minskning fram till idag då antalet stationer är drygt 600 (Figur 2). Från figuren ser vi att det före 1961 finns fler stationer med enbart månadsnederbörd än dygnsnederbörd i databasen. Den saknade dygnsnederbörden finns på pappersjournaler och väntar på att digitaliseras.



Figur 2. Antal stationer med nederbördsdata i SMHIs databas 2022-04-01. Röda prickar visar antal stationer som finns i SMHIs arkiv, det vill säga även stationer som inte finns digitalt i databasen.

För extrem nederbörd har 60 stationer valts med långa serier där de flesta startade 1860–1880. Fördelning av de 60 stationerna över Sverige visas i Figur 4.



Figur 3. Alla nederbördsstationer.



Figur 4. 60 stationer med långa serier som valts för klimatindikatorn extrem nederbörd.

Beräkning av årsnederbörd med principalkomponentanalys

För att kunna studera förändringar i nederbörd över tid krävs observationer från fler platser jämfört med många andra variabler. Detta eftersom nederbörd till sin natur är mycket variabel i såväl rum som i tid. SMHI (och dess föregångare) har därför genom åren haft fler stationer som mäter nederbörd (som mest över 900 stationer) än till exempel temperatur (som mest cirka 400 stationer). Nätverket av nederbördsstationer har genomgått många förändringar under de senaste 140 åren. Endast sju stationer har kompletta tidsserier från 1880.

Ett enklare alternativ till det omfattande och tidskrävande arbetet med kopplade tidsserier och homogenisering (kapitel 2.1.1.) är att göra statistiska beräkningar av års- och årstidsnederbörden med hjälp av principalkomponentanalys (PCA) (Björnsson och Venegas, 1997). Under antagandet att det geografiska mönstret av nederbörd, under en delperiod med relativt stor täckningsgrad av data (träningsperiod), är representativt för hela perioden 1880–2021, kan detta mönster uppskattas utifrån träningsperioden. De övergripande förändringarna i tid uppskattas utifrån observationer från hela perioden. Det geografiska mönstret projiceras sedan ut över hela perioden med hjälp av den

uppskattade övergripande förändringen i tid. Nederbördsmängden för hela nätverket kan på så sätt beskrivas för varje tidssteg.

Ett krav för denna metod är att serierna är kompletta under träningsperioden (1962–2020). Luckor under denna period utfylls med hjälp av interpolering i två steg. I datasetet PTHBV (Johansson, 2002) har nederbördsobservationer interpolerats för att uppskatta nederbörden i varje ruta i ett rutnät á 4x4 km över Sverige. Det tidsmässiga sambandet mellan punkter i datasetet PTHBV och observationsplatser fastställs och används för att fylla ut luckor i observationsserierna.

2.1.4 Snödjup

Det traditionella sättet att mäta snödjup är en manuell mätning med linjal, tumstock eller med fasta mätkäppar. Näst intill alla observationer av snödjup i SMHIs regi utförs på detta sätt. Snödjupet mäts dagligen klockan 07 (svensk normaltids) och mätningen utförs i möjligaste mån på en någorlunda slät markyta utan nämnvärd drivbildning. Avläsningen sker på en centimeter när, och det rapporterade snödjupet skall helst avse medelvärdet från minst fem mätpunkter med några meters avstånd.

Förutom snödjupet rapporteras även markens tillstånd, det vill säga hur stor del av marken som är täckt med snö. SMHI använder fyra olika kategorier för att ange detta.

S - Marken är helt eller nästan helt snötäckt

SB - Marken är mer än till hälften men inte helt snötäckt

BS - Marken är mer än till hälften men inte helt bar

B - Marken är helt eller nästan helt bar

I denna rapport har två olika mått använts för att studera hur snön har varierat historiskt:

- Maximalt snödjup, vinterns största snödjup
- Antal dygn med snötäcke

Vinterns största snödjup är helt enkelt det största snödjup som observerats under ett eller flera dygn under snösäsongen. Därefter beräknas medelvärdet för alla stationer. Snösäsongen sträcker sig i allmänhet från tidig höst till sen vår. Antal dagar med snötäcke definieras som antalet dagar då marken varit till minst hälften täckt med snö, det vill säga S eller SB.

För det första måttet har 43 sammankopplade stationer kunnat användas, se Figur 5. Dessa stationer började mäta snödjupet i början av 1900-talet. Alla stationer har rapporterat snödjupet regelbundet under vintrarna, dock inte dagligen. Att inte observationerna gjorts dagligen torde inte påverka resultatet. För det andra måttet har 37 sammankopplade stationer kunnat användas med start 1950, se Figur 6. Från dessa stationer finns daglig information om markens tillstånd under snösäsongen. När en station av någon anledning lagts ner har en närliggande station istället utnyttjats för att få en lång serie.



Figur 5. Stationer som använts för maximalt snödjup, 43 stycken.



Figur 6. Stationer som använts för antal dygn med snötäcke, 37 stycken.

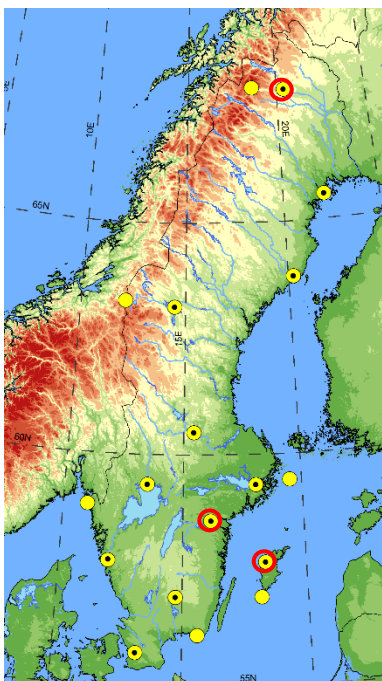
2.1.5 Solinstrålning

Solinstrålning, eller globalstrålningen som är den meteorologiska termen, definieras som den totala mängden energi från solen som infaller mot en horisontell yta från alla riktningar på himlen. Globalstrålningen kan delas upp i komponenter av den direkta strålningen som kommer direkt från solen, och diffus strålning som är den strålning som spridits av atmosfärens molekyler, partiklar och moln och därmed ändrat riktning. Båda komponenterna mäts över hela solens strålningsspektrum, ca 0,28–4 μm .

I vädresammanhang används kanske främst den så kallade solskenstiden, som ett mått på den tid då det varit molnfritt. Solskenstid är definierad som den tid då den direkta strålningen överstiger 120 W/m^2 . En annan viktig strålningskomponent för klimatsystemet är långvågsstrålning som motsvaras av våglängdsintervallet 4–100 μm . Det är den värmestrålning som avges från jorden och atmosfären.

SMHI utför idag mätningar av solstrålning på totalt 18 platser i Sverige, tolv av dessa mätstationer har funnits sedan 1980-talet (Figur 7). Solstrålningsmätningar kräver frekvent tillsyn och putsning för att mätningarna ska hålla god kvalitet. Detta tillsammans med att mätplatserna behöver i det närmaste fri horisont bidrar till att stationsnätet är relativt glest jämfört med många andra vädervariabler som mäts av

SMHI. Vid samtliga av mätstationerna för strålning mäts globalstrålning. Tre av platserna är utrustade med solföljare vilket dessutom möjliggör mätning av den direkta och diffusa strålningen. Samtliga platser är också utrustade med enklare så kallade solskentidsmätare, som möjliggör mätning av solskentiden utan att ha tillgång till direktstrålningsmätningar.



Figur 7: SMHIs stationer för mätning av solstrålning, utritade med gula punkter. 11 av de totalt 18 stationerna har varit i drift sedan 1983. Dessa, samt Borlänge som startade 1987, är markerade med svart punkt. Stationer markerade med en röd ring är utökade stationer med mätningar av global-, direkt-och diffusstrålning samt solskentid. Övriga stationer mäter idag globalstrålning och solskentid. Sedan 2007 görs också mätningar av långvågsstrålning vid några platser.

Under perioden 1983–2007 var 12 stationer för solstrålningsmätningar i drift. Unikt för strålningsnätet under denna period var att samtliga stationer var utrustade med solföljare och därför mätte direktstrålningen på samtliga platser. Av ekonomiska skäl fick antalet stationer med direktstrålningsmätningar reduceras kraftigt vid en modernisering av stationsnätet 2005–2007.

SMHI har också mätningar utförda innan 1983, men dessa är i allmänhet inte direkt jämförbara med dagens mätningar. Det går därför i nuläget inte att jämföra nivåerna som hittills observerats på 2000-talet med de som observerades under exempelvis 1960-talet. Det innebär att det idag inte finns tillräckligt långa mätserier för att beräkna strålningen under den föregående normalperioden 1961–1990, som jämförelse mot den rådande referensnormalperioden 1991–2020, vilket gjorts för andra klimatvariabler.

Solinstrålning har observerats under längst tid i Stockholm, sedan 1922, vilket gör den i år 100 åriga mätserien till världens längsta. Dock har mätplatsen flyttats vid flera tillfällen och instrumenten har bytts ut under åren. Relativt nyligen gjordes en första homogenisering av denna mätserie (Josefsson, 2019).

Klimatindikatorn solinstrålning baseras på observationer från åtta stationer. Stockholm ingår bland dessa stationer. De övriga sju är stationer där mätserierna har potential att förlängas tillbaka till 1961 eller något tidigare.

2.1.6 Geostrofisk vind

Direkta vindmätningar har gjorts på vissa stationer sedan 1800-talet. Under 1950-talet blev anemometrar (vindmätare) vanliga på flygplatser och kuststationer. Först 1996 fanns ett nät med 130 automatstationer med likadana vindutrustningar.

Anemometrarna, har således förändrats tekniskt över tiden och omgivande förändringar av vegetation och byggnation har mycket stor inverkan på vindhastigheten. Detta innebär att det finns bara ett fåtal långa homogena tidsserier av uppmätt vindhastighet (Zhou et al. 2022). För att ändå kunna göra analyser av vind, har en idealiserad genomsnittlig vindhastighets beräknats, utifrån lufttryckobservationer.

Lufttryckobservationer har gjorts med god kvalitet under lång tid. Eftersom den geostrofiska vinden beräknas med hjälp av lufttryckobservationer blir den geostrofiska vinden indirekt också en stabil variabel över tid. Den geostrofiska vinden har beräknats för nio trianglar över Sverige (se Figur 8). Lufttrycksmätningar finns för minst tre gånger per dygn sedan 1879 för sex stationer, bland annat för Falsterbo, Göteborg, Visby och Stockholm. Därmed har vi också en dataserie med geostrofisk vind för perioden från 1879 och framåt för två trianglar. Data före år 1900 har inte analyserats eftersom kvaliteten är tveksam. För övriga trianglar finns kvalitetskontrollerade data sedan 1939 eller 1940. Beräkningarna av geostrofisk vind bygger på tre lufttrycksmätningar per dag under hela perioden, vilket ger tre vindhastigheter och tre vindriktningar per dag.

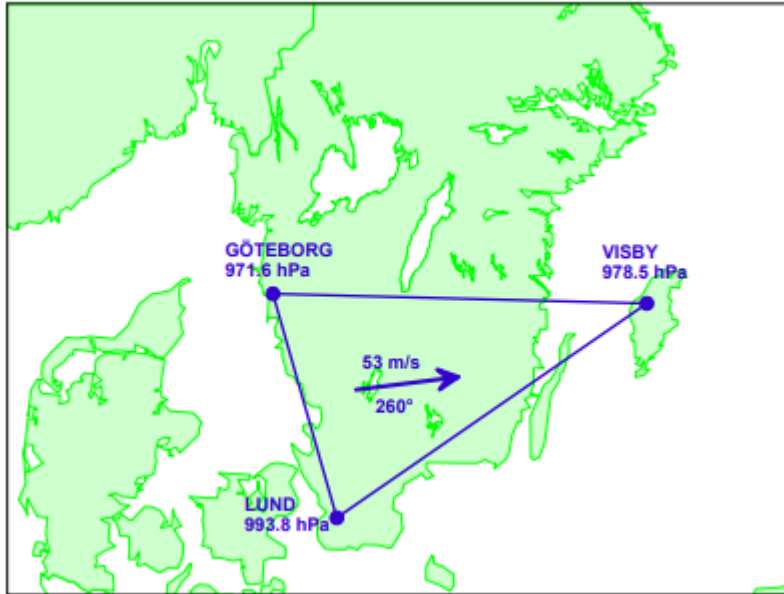


Figur 8: Trianglar som används för att beräkna geostrofisk vind.

Beräkning av geostrofisk vind:

Med hjälp av observationer av lufttryck i tre punkter, som bildar en ungefärligt liksidig triangel av lämplig storlek, kan man tillsammans med luftens densitet och latituden beräkna den geostrofiska vinden (Kristensen och Jensen, 1999; Höglund, 2002; Wern och Bärning, 2009, se Figur 9). Till skillnad från vindmätningar så är lufttrycksmätningar i stort sett oberoende av omgivningarna och därför i mindre grad behäftade med homogenitetsbrott.

Geostrofisk vind är den teoretiska vind som produceras av den så kallade geostrofiska balansen mellan Corioliskraften och tryckkraftsgradienten som verkar på en luftmassa och tvingar vinden att blåsa längs med isobarerna i atmosfären.



Figur 9: Lufttrycket 8 jan 2005 klockan 18UTC och den beräknade geostrofiska vinden enligt triangelmetoden. Figuren är en kopia av Figur 1 i Wern och Bärning (2009).

Den geostrofiska vinden i väst-östlig riktning (u_g) och i syd-nordlig riktning (v_g) beräknas enligt:

$$u_g = -\frac{1}{\rho f} \frac{\partial p}{\partial y}$$
$$v_g = \frac{1}{\rho f} \frac{\partial p}{\partial x}$$

Där

ρ = luftens densitet

p = lufttrycket

$f = 2\Omega \cdot \sin\phi$ (coriolisparametern), Ω är jordens rotationshastighet och ϕ är latituden

Den geostrofiska vindhastigheten beräknas sedan baserad på båda komponenterna enligt:

$$\text{vindhastighet} = \sqrt{u_g^2 + v_g^2}$$

Den beräknade geostrofiska vindhastigheten ska ses som ett regionalt medelvärde för den centrala delen av triangeln. Metoden tar inte hänsyn till isobarernas krökning vilket betyder att den geostrofiska vinden överskattas vid cyklonal krökning av isobarerna och underskattas vid anticyklonal krökning. Denna metod tar inte heller hänsyn till den generellt uppbromsande effekten av landskapets friktion och lokala hinder, vilket gör att den verkliga regionala marknära vindhastigheten överskattas. Detta kompenseras i viss mån av att den regionala geostrofiska vinden jämnar ut de småskaliga väderfenomen som hänger samman med de högsta vindhastigheterna på en specifik plats. Således kan det mycket väl vara högre vindhastigheter inom delar av triangeln än vad den beräknade geostrofiska vinden visar.

Ur den geostrofiska vindhastigheten har följande variabler härletts för att belysa olika aspekter av vindklimatets variationer.

- Årsmedelvärde av geostrofisk vindhastighet
- Årsvis högsta geostrofisk vindhastighet
- Antal tillfällen under året då den geostrofiska vindhastigheten överstiger 25 m/s
- Potentiell geostrofisk vindenergi

För varje observationstillfälle beräknats potentiell elproduktion E genom formeln:

$$E = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3$$

där ρ är luftens densitet i kg/m³ och v är vindhastigheten i m/s.

Medelvärdet av E för varje år har beräknats och därefter multiplicerats med 8 760 timmar för att få enheten Wh per kvadratmeter svept rotorarea. Det kallas i rapporten potentiell geostrofisk vindenergi. På detta sätt normaliseras även årsvärdet för saknade observationer.

En jämförelse av relativa ändringar under perioden 1991–2004 jämfört med perioden 1961–1990 för både direkta vindobservationer (mätningar) på 10m-nivån från 165 av SMHIs väderstationer över hela landet (Alexandersson, 2006) och beräknade geostrofisk vind för alla trianglar visar på god samstämmighet (Wern och Barring, 2009).

2.2 Normalperioder

Normalvärden beskriver det genomsnittliga (eller normala) klimatet för en viss plats och tidsperiod. Tidsperioden kallas då för normalperiod. För att beskriva det genomsnittliga klimatet behöver tillräckligt långa tidsperioder användas och världsmeteorologioorganisationen WMO har därför bestämt att en normalperiod ska vara 30 år.

En standardnormalperiod är definierad som en 30-årsperiod där första året slutar med siffran 1. Exempelvis 1971–2000, 1981–2010, 1991–2020 och så vidare.

För att beskriva det nuvarande klimatet används den senast fullbordade 30-års standardnormalperioden, vilken är 1991–2020. När klimatförändringen studeras används i första hand perioden 1961–1990 som referens, vilken då kallas referensnormalperiod enligt WMO:s riktlinjer (WMO, 2017). I den här rapporten jämförs därför perioden 1991–2020 med 1961–1990 för alla variablerna förutom strålning där homogena observationer inte finns tillgängliga ända tillbaka till 1961.

2.3 Beräkningar av trender och t-test

2.3.1 Linjära trender

Trender över tid beräknas baserad på enkel linjär regression enligt regressionsekvationen

$$y = a + bx$$

där y är observationer och x är tid i alla sammanhang av den här rapporten. a är skärningen med y -axeln och b är lutningen. Skärningen och lutningen beräknas så att felet jämfört med observerade data blir så litet som möjligt. Felet beräknas med minstakvadratmetoden.

För trenden i års- och årstidsmedeltemperatur (avsnitt 3.1.1.) beräknas regressionskoefficienten b samt dess konfidensintervall (angivet som två standardavvikelser, alltså 95 %-konfidensintervall) med standardfunktionen i statistikmjukvaruprogrammet R (Chambers, 1992, Wilkinson och Rogers, 1973).

2.3.2 Students t-test

För jämförelse av medelvärden mellan normalperioder använder vi Students t-test med noll-hypotesen att perioderna är lika. Testet returnerar graden av statistisk signifikans för om två medelvärden från underliggande populationer kan anses som lika.

Beräkningar genomfördes i Python med programvaran:

https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.stats.ttest_ind.html

2.3.3 Standardiserad avvikelse

Standardiserad avvikelse används i denna rapport för att undersöka hur en månadsmedeltemperatur för en särskild månad och en särskild plats förhåller sig till ett förväntat värde. Därmed kan avvikelser i månadsmedeltemperaturer från olika månader och olika mätstationer jämföras med varandra. Exempelvis kan en januarimånad i norra Norrland vara varmare än väntat och ge ett positivt värde för den standardiserade avvikelsen, medan en julimånad i Götaland kan vara kallare än väntat och då ge ett negativt värde för den standardiserade avvikelsen. På så sätt kan det undersökas hur ofta extrema månadsmedeltemperaturer (ovanligt kalla och ovanligt varma jämfört med genomsnittet under hela mätperioden) infallit under olika 30-årsperioder (normalperioder). Den standardiserade avvikelsen $x'_{i,j,k}$ för tidsserie i , månad j och år k definieras som:

$$x'_{i,j,k} = \frac{(x_{i,j,k} - \mu_{i,j})}{\sigma_{i,j}}$$

där $x_{i,j,k}$ är månadsmedeltemperaturen. Den förväntade månadsmedeltemperaturen $\mu_{i,j}$ definieras som:

$$\mu_{i,j} = \frac{1}{N} \sum_k x_{i,j,k}$$

där N är det totala antalet år. Standardavvikelsen $\sigma_{i,j}$ definieras som:

$$\sigma_{i,j} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_k (x_{i,j,k} - \mu_{i,j})^2} .$$

3 Klimatets förändring i Sverige

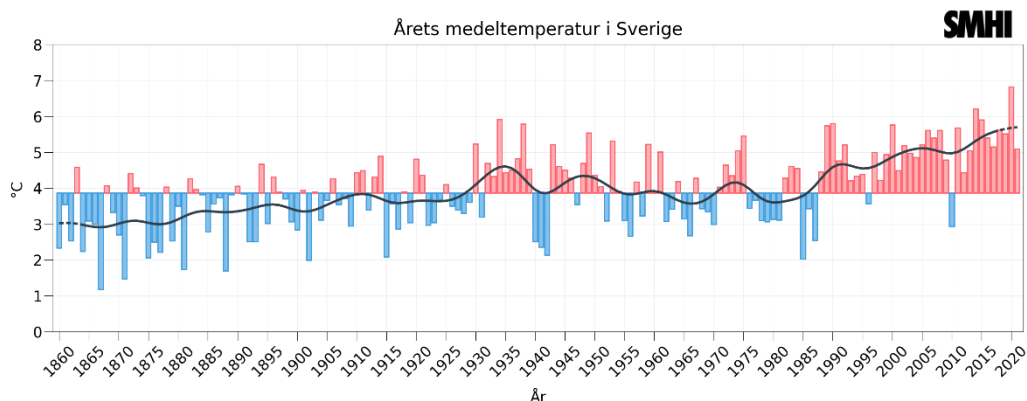
3.1 Temperatur och vegetationsperiod

Klimatet på jorden styrs av balansen mellan infallande solinstrålning och utflödet av värmestrålning. Den meteorologiska variabel som är närmast kopplad till denna strålningsbalans är temperaturen. Förändringar i medeltemperaturen över tid är därför ett användbart mått på klimatförändring. En förändrad temperatur påverkar dessutom de flesta andra meteorologiska variabler. Exempelvis är ett varmare klimat en viktig förutsättning för ökad nederbörd eftersom varma luftmassor kan hålla mer vattenånga än kalla luftmassor.

Högre temperaturer kan också få direkta konsekvenser för vårt samhälle. Under den ovanligt varma sommaren 2018 bedömde Folkhälsomyndigheten (2019) en överdödlighet på cirka 700 fall i Sverige. Den varma sommaren bidrog också, i kombination med ett ovanligt torrt väder, till omfattande skogsbränder i Sverige (SOU, 2019).

3.1.1 Genomsnittlig temperatur

Från den första tillgängliga normalperioden (1861–1890) till den senaste (1991–2020) har temperaturen ökat med 1,9 °C. Före 1860 finns för få kontinuerliga mätningar för att göra en tillförlitlig bedömning av medeltemperaturen för hela Sverige (för enstaka stationer finns vissa data för längre tidsperioder, se kapitel 4). Från 1860 fram till slutet av 1930-talet ökade medeltemperaturen med knappt 0,2 °C per decennium, varefter medeltemperaturen minskade med cirka 0,1 °C per decennium fram till 1980-talet. Från 1980-talet har medeltemperaturen åter ökat med i genomsnitt cirka 0,5 °C per decennium. Över hela perioden från 1860 till 2021 beräknas årsmedeltemperaturen ha ökat med i genomsnitt $(0,13 \pm 0,03)$ °C per decennium, se Figur 10. Den globala medeltemperaturen beräknas ha ökat med i genomsnitt $(0,07 \pm 0,01)$ °C per decennium för samma period (Joelsson et al. 2022b).



Figur 10: Genomsnittlig årsmedeltemperatur för 456 homogeniserade tidsserier 1860–2021. Staplarna i diagrammet visar medeltemperaturen per år. Röda staplar visar högre och blå visar lägre temperaturer än medelvärdet för normalperioden 1961–1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.

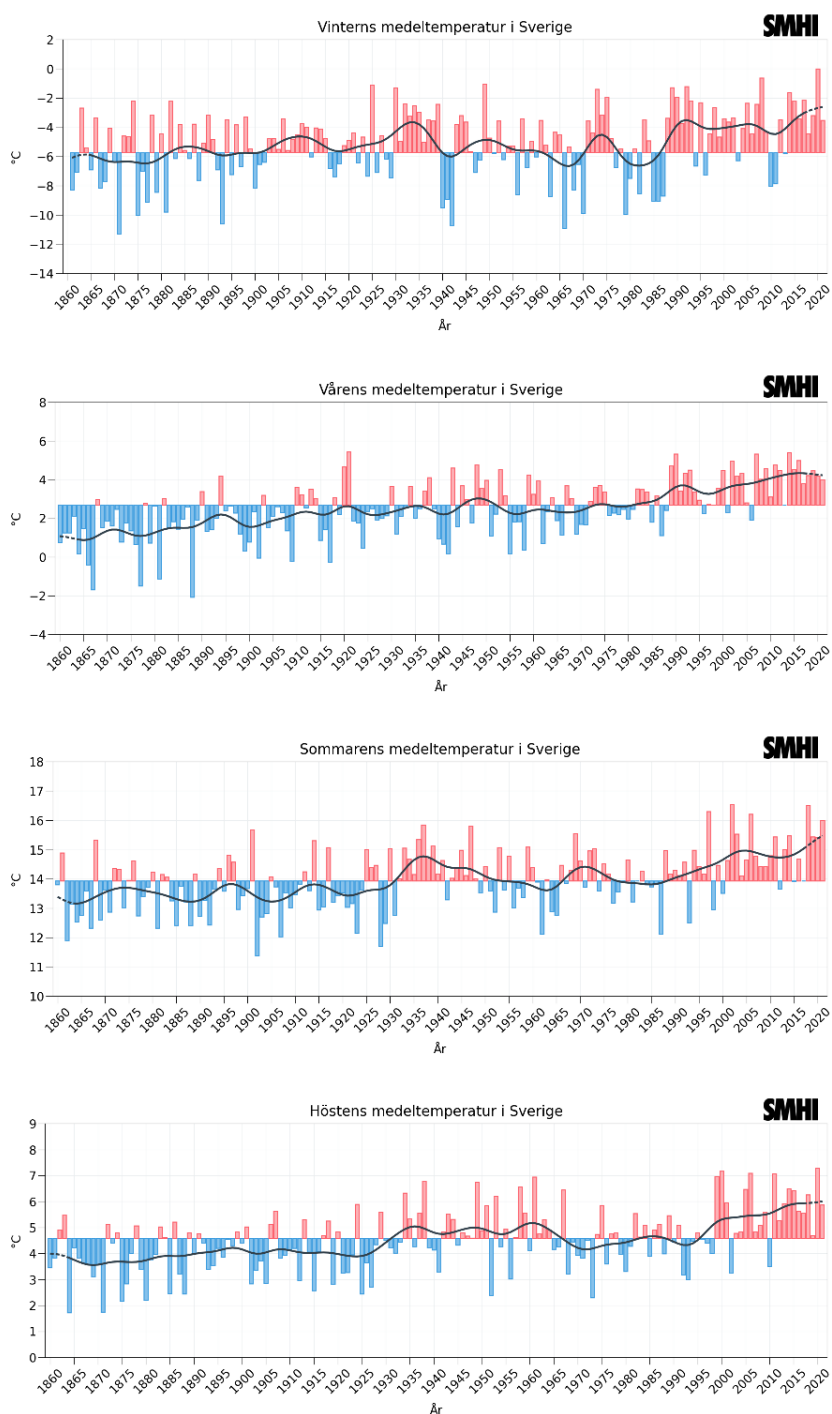
Skillnaden i medeltemperaturen för normalperioderna 1861–1890 och 1991–2020 varierar mellan årstiderna, se Figur 11. Medeltemperaturen har ökat mest för våren (mars, april och maj): 2,6 °C. Medeltemperaturen har ökat minst för sommaren (juni, juli och augusti): 1,3 °C.

Trenden i genomsnittliga års- och årstidsmedeltemperaturer varierar inte signifikant mellan landsdelarna på 95 %-nivån (Götaland, Svealand, södra Norrland och norra Norrland) (Joelsson et al. 2022b).

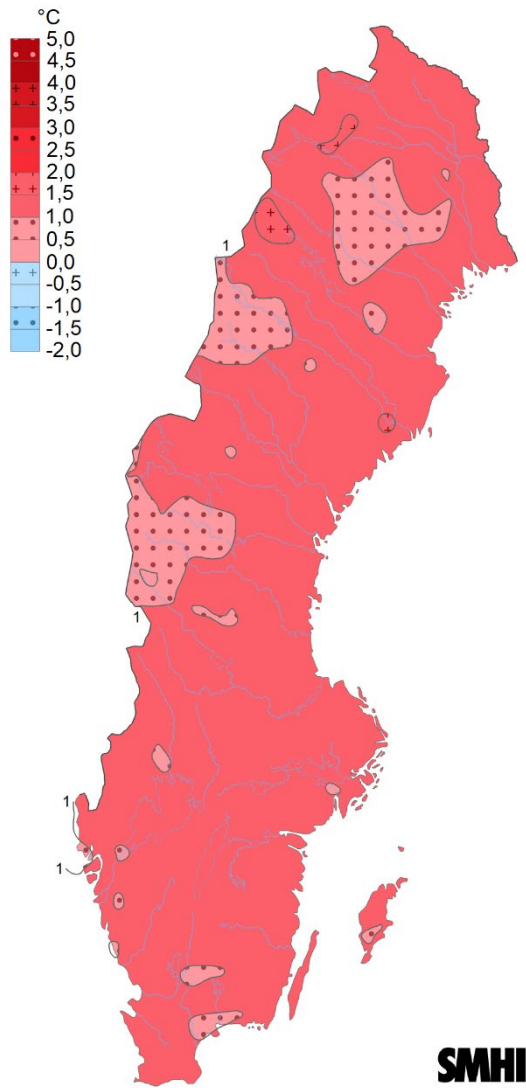
Den genomsnittliga differensen mellan årsmedeltemperaturerna för normalperioderna 1991–2020 och 1961–1990 är för Sverige som helhet +1,2 °C, se Tabell 1. Differensen finns också åskådliggjord som karta i Figur 12. Förändringar i årsmedeltemperatur har i stort skett jämnt över landet. De inre delarna av norra Norrland och södra Norrlands fjälltrakter har sett en något mindre förändring jämfört med övriga landet. Störst förändring ses i norra Norrlands fjälltrakter. Motsvarande differens vad gäller årstidsmedel presenteras i Tabell 1, Figur 11 och Figur 13. Störst skillnad mellan de två normalperioderna har skett under vintern (i genomsnitt +2,0 °C) och då särskilt norra Norrlands kustland och fjälltrakter. Minst är skillnaden på sommaren och hösten (+0,8 °C respektive +0,7 °C). För våren är den genomsnittliga differensen +1,2 °C.

Tabell 1: Differens 1991–2020 minus 1961–1990 respektive 1861–1890 i °C. Statistiskt signifikanta skillnader baserade på Students t-test är understruken och i fet stil.

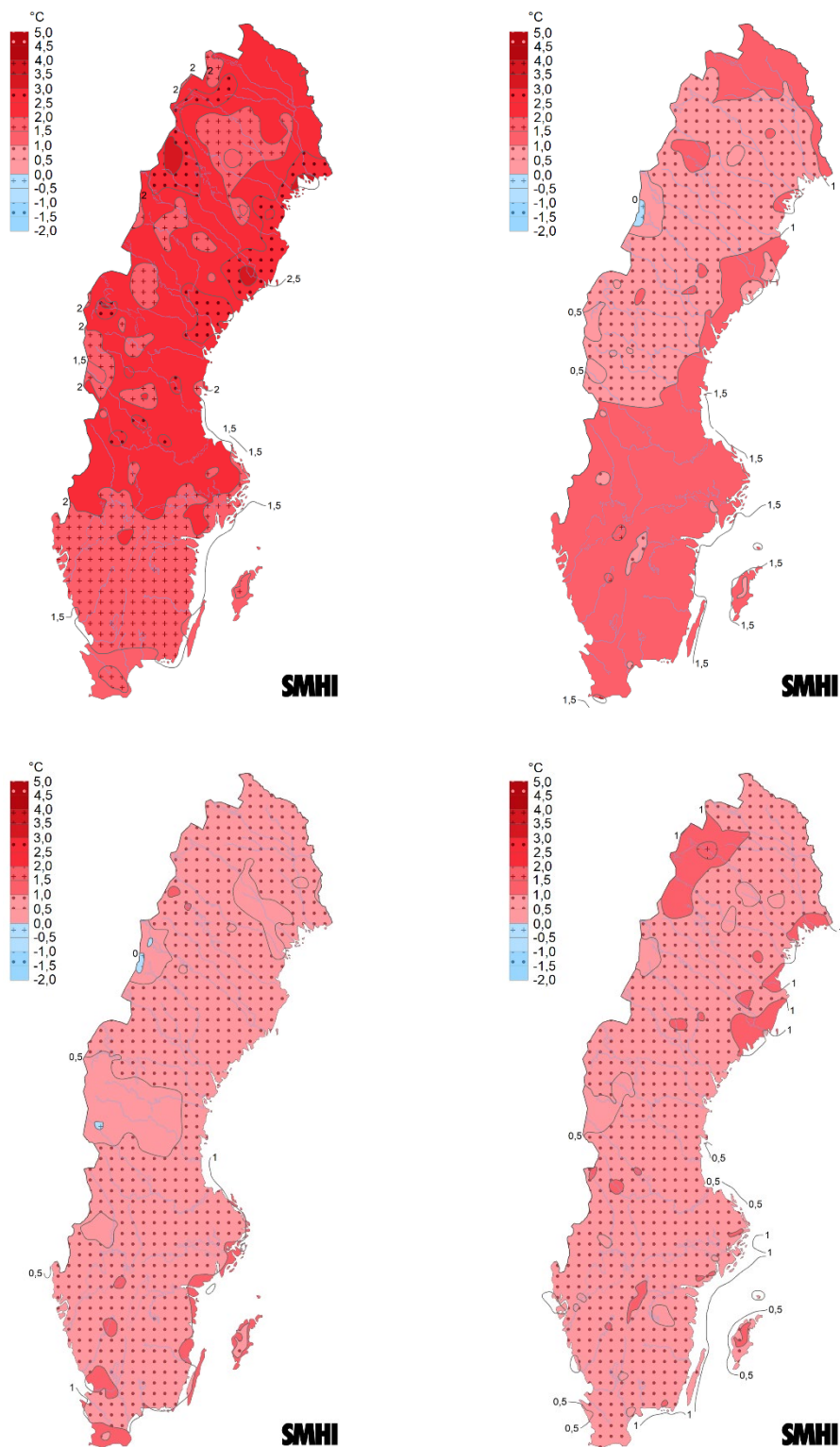
Temperaturökning [°C]	December-januari-februari	Mars-april-maj	Juni-juli-augusti	September-oktober-november	År
1961–1990, 1991–2020	<u>2,0</u>	<u>1,2</u>	<u>0,8</u>	<u>0,7</u>	<u>1,2</u>
1861–1890, 1991–2020	<u>2,3</u>	<u>2,6</u>	<u>1,3</u>	<u>1,5</u>	<u>1,9</u>



Figur 11. Genomsnittlig årstidsmedeltemperatur för 456 homogeniserade tidsserier 1860–2021. Staplarna i diagrammet visar säsongsmedeltemperaturen per år. Röda staplar visar högre och blå visar lägre temperaturer än medelvärdet för normalperioden 1961–1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde motsvarande ungefär tio år.



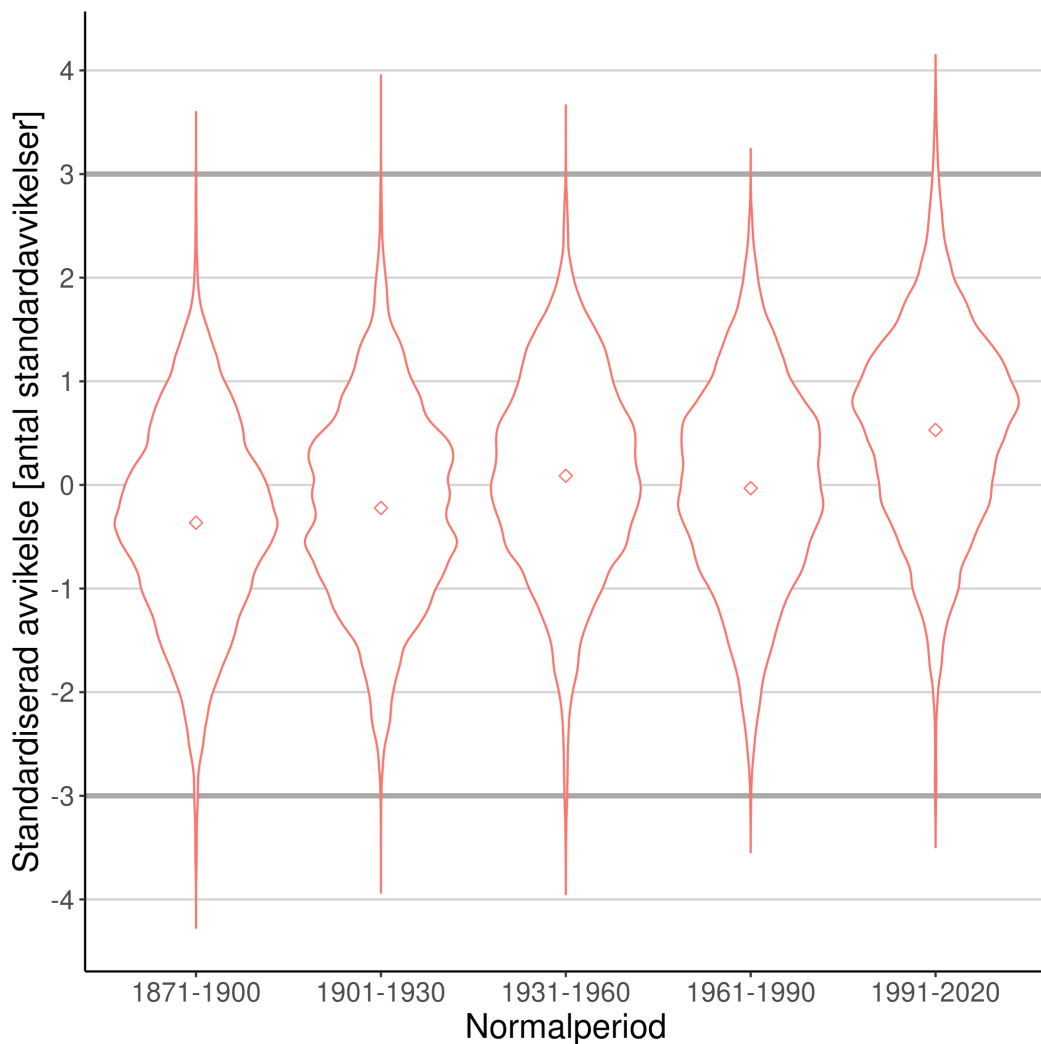
Figur 12. Differens i årsmedeltemperatur mellan normalperioderna 1991–2020 och 1961–1990.



Figur 13. Differens i årstidsmedeltemperatur mellan normalperioderna 1991–2020 och 1961–1990: december, januari och februari (övre, vänster), mars, april och maj (övre, höger), juni, juli och augusti (nedre, vänster) samt september, oktober och november (nedre, höger).

3.1.2 Extremtemperatur

Klimatförändringar påverkar inte bara de genomsnittliga temperaturerna utan även extrema värden. Extremt varma månader definieras här som de månader som är minst tre standardavvikelse varmare än medeltemperaturen för månaden sett över hela perioden 1860–2021, se kapitel 2.3.3. Extremt kalla månader definieras på motsvarande sätt som de månader som är minst tre standardavvikelse kallare än medeltemperaturen för månaden. Hela 90 % av de extremt varma månaderna inföll under den senaste normalperioden (1991–2020) och endast runt 1 % under normalperioden 1871–1900 (Joelsson et al. 2022b), se Figur 14. Drygt 5 % av de extremt kalla månaderna inföll under 1991–2020 jämfört med 50 % under 1871–1900. Beräkningarna baseras på det homogeniserade datasetet beskrivet i kapitel 2.1.2.

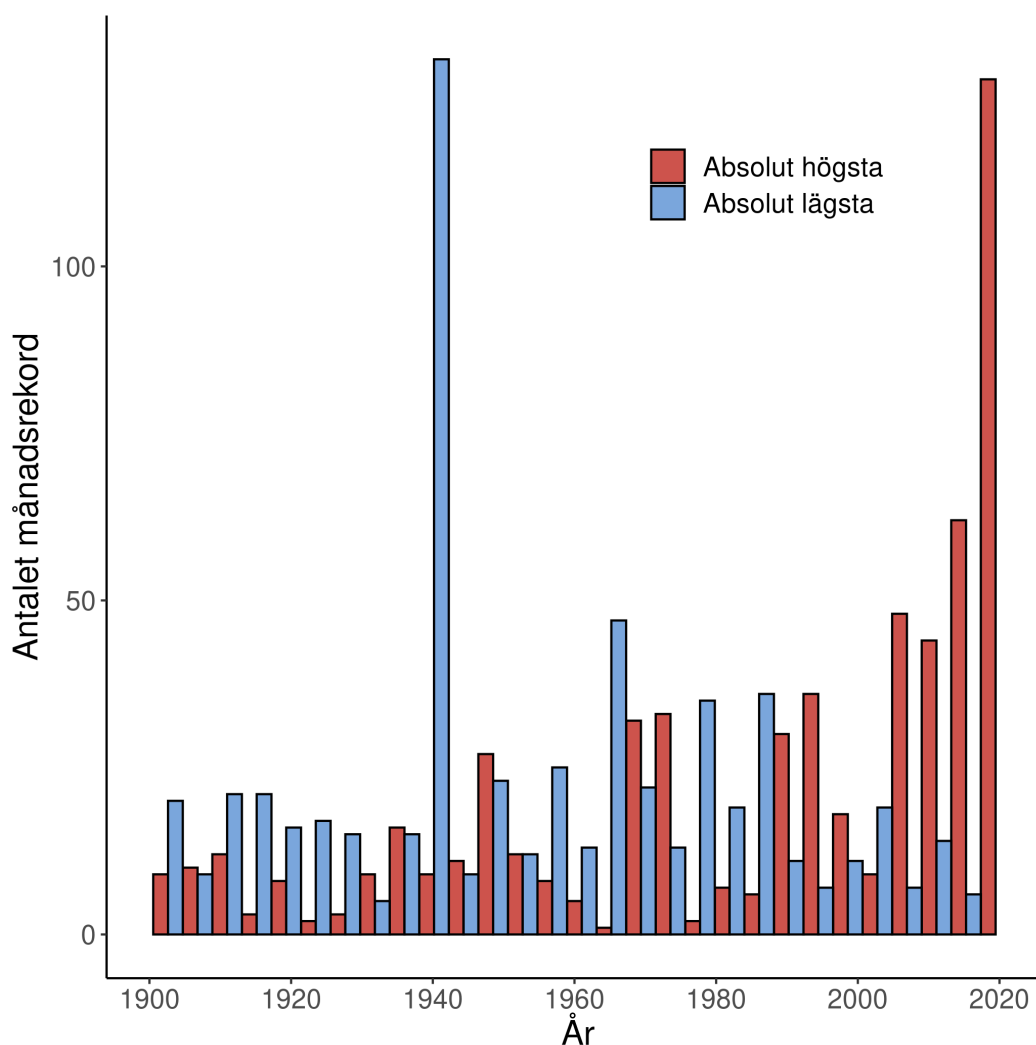


Figur 14. "Violinplot" över fördelningen av standardiserad avvikelse från månadsmedlet över hela tidsperioden. Violinernas vertikala utsträckning representerar spannet av observationer, bredden på violinerna indikerar antalet observationer med en viss avvikelse. Romberna representerar medelvärdet.

För att få en uppfattning också över hur dagliga extremtemperaturer varierat historiskt kan femtio särskilt utvalda stationer med observationer från 1901 (eller tidigare) användas. Dessa stationer ingår i underlaget till den månatliga redovisningen av vädret i Sverige, "Månadens väder och vatten". I vissa fall har observationer från flera

närliggande stationer kombinerats, se kapitel 2.1.1. För varje station finns månadsrekord sedan 1901 för de absolut högsta och lägsta temperaturerna. Exempelvis är den absolut kallaste januaritemperaturen i Gällivare (-43,3 grader) uppmätt 1971, medan den absolut varmaste januaritemperaturen (7,6 grader) på samma plats är uppmätt 1918.

Om man undersöker vilket år samtliga dessa månadsrekord för absolut lägsta temperaturerna inträffat finner man att 25 % inföll före 1940 (Figur 15). 50 % av månadsrekorden inföll efter 1950 och 25 % efter 1978. Undersöker man vilket år månadsrekorden för de absolut högsta temperaturerna inföll finner man att 25 % inföll före 1968. 50 % av månadsrekorden för de absolut högsta temperaturerna inföll efter 2000 och 25 % efter 2015. Skillnaden visar alltså att det varit vanligare med extremt låga temperaturer under början av perioden och vanligare med höga temperaturer under senare delen. Det är viktigt att poängtera att extremvärden i ett klimat till sin natur är mer slumpmässiga än medelvärden.



Figur 15: Antalet månadsrekord för dygnmaximum- (röda staplar) och dygnminimumtemperaturer (blåa staplar) för 50 kopplade tidserier med starttid som senast januari 1901, sorterade efter det år de inträffar. Varje stapel representerar det sammanlagda antalet rekord för fyra på varandra följande år.

3.1.3 Vegetationsperiod

Med vegetationsperiod menas den tid under året som är tillräckligt varm för att olika växter ska kunna växa. Detta skiljer sig mellan olika växtslag. Vegetationsperiodens start ett visst år har definierats som det första dygnet i en period om sex dygn då dygnmedeltemperaturen under alla sex dygnen är minst +5,0°C.

Vegetationsperiodens sista dag är dagen före den första perioden om sex dygn efter den 1 juli då alla sex dygn har en dygnmedeltemperatur under +5,0°C. Om ingen sådan period förekommer efter den 1 juli slutar vegetationsperioden den 31 december.

Vegetationsperiodens längd är antal dagar från vegetationsperiodens första dag till och med den sista.

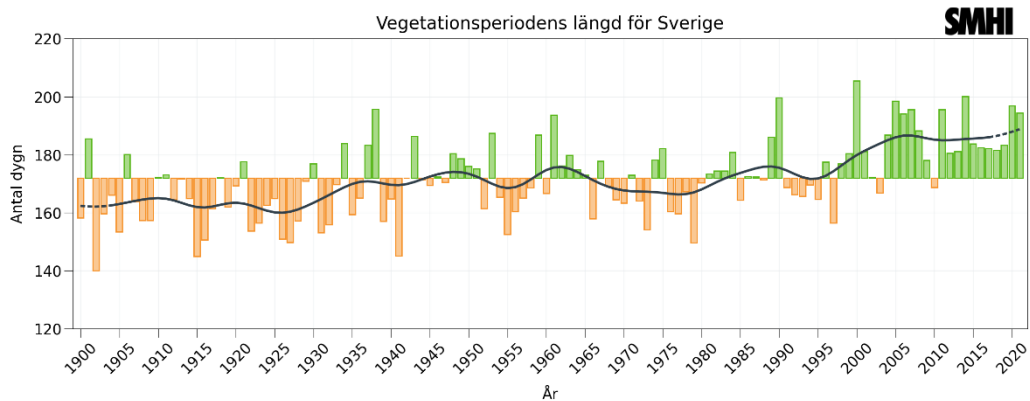
Trenden är att vegetationsperioden startar allt tidigare under året och slutar senare. Vegetationsperioden blir alltså längre, se Figur 16. Den observerade förlängningen av vegetationsperioden är något större på våren än på hösten.

Vegetationsperioden i Sverige som helhet är idag omkring tre veckor längre än den var i början av 1900-talet. I Götaland rör sig förlängningen om cirka fem veckor och i norra Norrland om cirka två veckor.

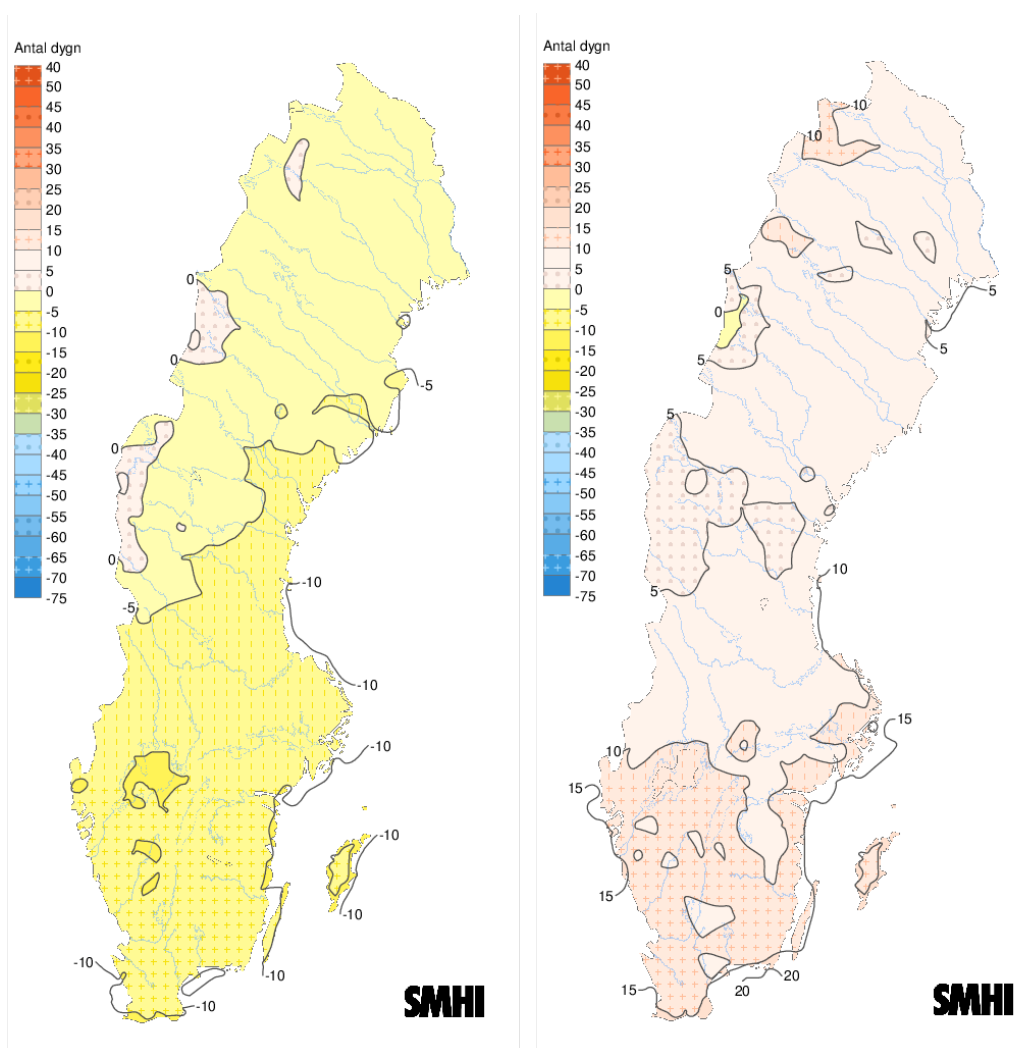
Förändringen av vegetationsperiodens normala längd och starttid mellan normalperioderna 1991–2020 och 1961–1990 presenteras i Tabell 2 och som kartor i Figur 9. Vegetationsperiodens längd har ökat mest i Götaland (14,6 dagar). Framst i Götaland har vegetationsperioden inletts tidigare under 1991–2020 jämfört med 1961–1990 (12,1 dagar tidigare). Förändringen i när vegetationsperioden slutar är inte statistiskt signifikant.

Tabell 2: *Differens 1991–2020 minus 1961–1990 i procent och absoluta värden. Signifikanta skillnader baserade på Students t-test är understruken och i fet stil.*

Vegetation	start [dagar]	slut [dagar]	längd [dagar]	längd [%]
Norra Norrland	<u>-4,2</u>	2,5	6,5	4,9
Södra Norrland	<u>-5,3</u>	0,8	6,0	3,8
Svealand	<u>-6,8</u>	2,1	8,9	4,8
Götaland	<u>-12,1</u>	2,5	14,6	6,9
Sverige	<u>-7,1</u>	2,0	9,0	5,2



Figur 16. Vegetationsperiodens längd. Staplarna i diagrammet visar uppmätt längd för vegetationsperioden i Sverige. 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.



Figur 17. Differensen för vegetationsperiodens start (vänster) och differensen för vegetationsperiodens längd (höger) mellan perioderna 1961–1990 och 1991–2020. Differenserna anges i antal dygn.

3.1.4 Sammanfattning temperatur och vegetationsperiod

Från den första tillgängliga normalperioden (1861–1890) till den senaste (1991–2020) har temperaturen ökat med 1,9 °C i Sverige. Ökningen har varit störst på våren. Extremt varma temperaturer har blivit vanligare under den senaste 30-årsperioden, medan extremt kalla temperaturer har blivit mindre vanliga.

Vegetationsperioden är väsentligt längre idag än i början av 1900-talet främst genom att vegetationsperioden startar tidigare då vårens temperatur stigit mer än temperaturen på sensommar och höst.

3.2 Nederbörd

Nederbörd har alltid betraktats som en av de allra viktigaste klimatologiska variablerna och nederbörd har observerats sedan lång tid tillbaka.

Stora nederbördsmängder under kort tid kan ge stora problem i form av översvämningar, jordskred och lerskred med mera. Om det kommer mycket nederbörd i form av snö kan det ge ytterligare problem. Nederbörden har även ett stort samhällsekonomiskt intresse för livsmedelproduktion, vattenkraft, industri, dricksvattenproduktion med mera.

Underskott av nederbörd under lång tid kan ge torka och stora problem för jordbruk, dricksvattenförsörjning med mera.

3.2.1 Genomsnittlig års- och säsongvis nederbörd

Utifrån de utjämnade värdena ser man att årsmedelnederbörden för Sverige låg omkring 600 millimeter fram till mitten av 1970-talet. Därefter har årsnederbörden ökat och ligger nu närmare 700 millimeter (Figur 18).

Figuren visar också att nederbörden varierar mycket mellan olika år. Till exempel var årsnederbörden 840 mm under 2000 som är det nederbördsrikaste året; medan det 1947, ett av de torraste åren, endast föll 455 mm. Ibland förekommer flera nederbördsrika eller nederbördsfattiga år direkt efter varandra och ibland är det istället stora skillnader från ett år till nästa.

En tydlig tendens är att fler av de allra nederbördsrikaste åren inträffat under de senaste decennierna liksom att det varit färre av de mest nederbördsfattiga åren på senare tid. Detta är i kontrast till tidigare perioder då det var mindre vanligt med nederbördsrika år och vanligare med nederbördsfattiga år. Under den senaste normalperioden 1991–2020 har tre år (1998, 2000 och 2012) legat mer än tre standardavvikelse över långtidsmedelvärdet 1880–2021. Under de tidigare normalperioderna finns inga år med en nederbörd som varit mer än tre standardavvikelse över långtidsmedelvärdet 1880–2021.

Vintermedelnederbörden har ökat från omkring 100 millimeter runt år 1890 till omkring 150 millimeter i under normalperioden 1991–2020, det vill säga i slutet av den studerade perioden. En stor del av den ökningen har skett mellan de två senaste normalperioderna, 1961–1990 respektive 1991–2020 (Tabell 3). Det finns även en tydlig ökning från 1880 till omkring 1930, men denna kan delvis vara betingad av mättekniska orsaker.

Diagram för de olika årstiderna finns i bilagan.

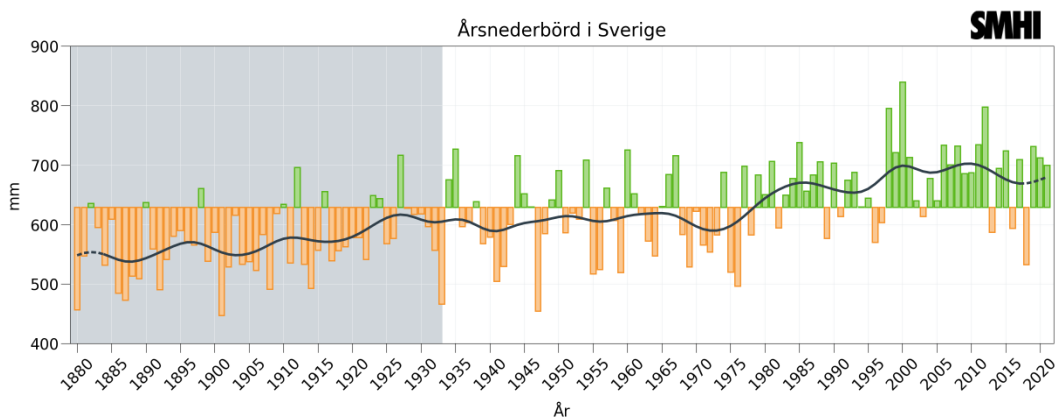
Medelnederbörden under våren och sommaren uppvisar en inte lika tydlig trend över hela analysperioden, men en svag ökning av vårnederbörden sedan 1960-talet kan skönjas. Likaså har det varit ett antal nederbördsrika somrar det här århundradet. Detta återspeglas i en signifikant ökning med 16% från 1961–1990 till 1991–2020 (Tabell 3).

Medelnederbörden under hösten har ökat från omkring 150 millimeter runt år 1900 till närmare 200 millimeter under den senaste normalperioden 1991–2020. Där har mycket av ökningen skett under den tidiga och mättekniskt något osäkra perioden. Mellan de två senaste normalperioderna finns ingen signifikant trend.

Mycket talar för att tidiga nederbördsobservationer underskattade nederbördsmängderna, i synnerhet vid snöfall. Den främsta orsaken är att äldre nederbördsmätare i allmänhet saknade vindskärmar. Det är dock svårt att uppskatta hur stor denna underskattning har varit. Inte minst på grund av införande av

vindskärmar för hela stationsnätet var en långt utdragen process från slutet av 1800-talet till långt in på 1900-talet. År 1930 hade ungefär hälften av mätstationerna försetts med vindskydd.

Dessutom var troligen granskningen med korrektion eller interpolation av misstänkta eller saknade nederbördsvärden inte lika omfattande som nu under 2000-talet. Av den anledningen är tiden fram till 1933 gråmarkerad i diagrammet och det bör iakttagas försiktighet vid eventuella klimatologiska slutsatser baserat på denna tidsperiod. Dokumentationen av granskningsprocesser under olika tidsperioder är inte alltför omfattande, men från och med februari 1933 skrivs i den periodiska publikationen "Nederbörden i Sverige" (del av SMHI:s årsbok) att tecknet i framför en siffra betecknar att man i brist på fullständiga iakttagelser insatt ett med hjälp av närliggande stationer beräknat värde.

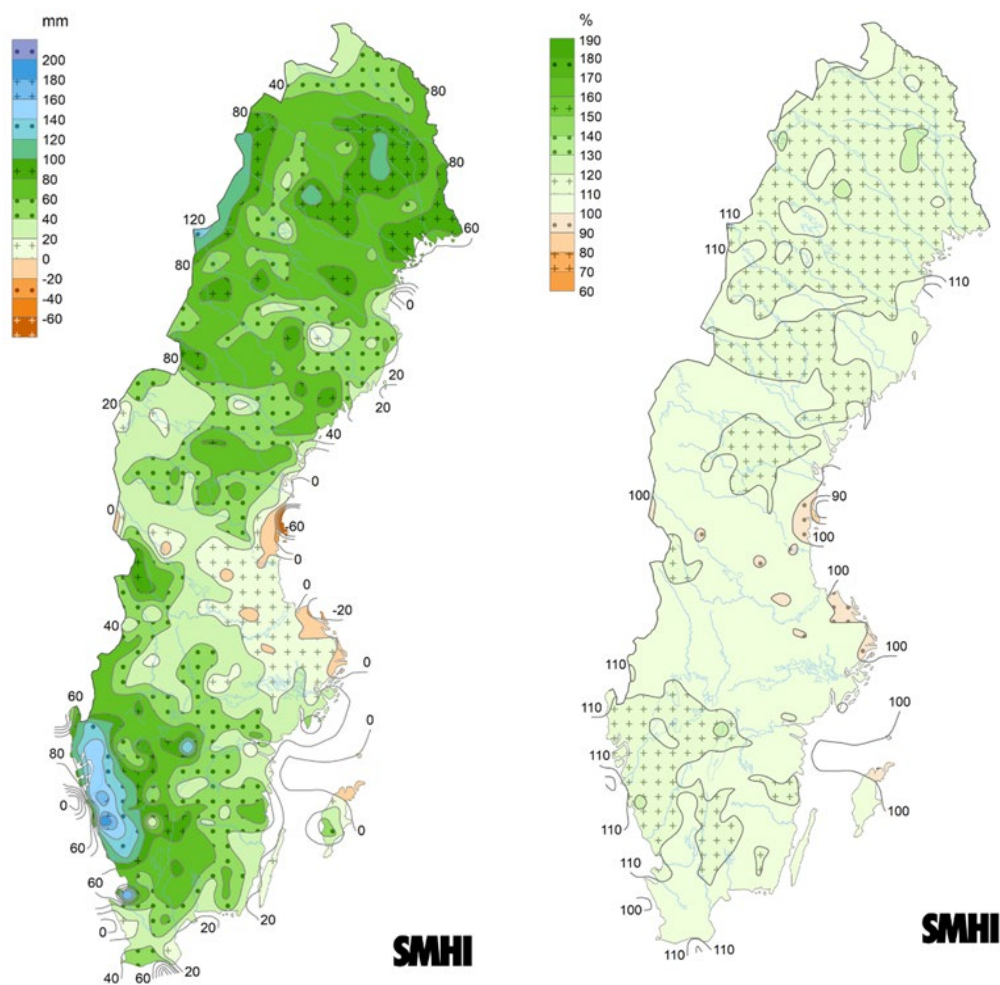


Figur 18: Staplarna i diagrammet visar summerad nederbörd per år. Gröna staplar visar högre och orangea visar lägre nederbörd än medelvärdet för normalperioden 1961–1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Observationer innan år 1933 anses ha lägre tillförlitlighet än senare observationer. Detta markeras med en grå skuggning i diagrammet. Det bör iakttagas försiktighet vid eventuella klimatologiska slutsatser baserat på denna tidsperiod.

Årsnederbörden är större i praktiskt taget hela landet under normalperioden 1991–2020 jämfört med 1961–1990, se Figur 19 och Tabell 3. Ökningen är störst i norra Norrland och västra Götaland där ökningen är mellan 10 och 20 %. I norra Norrland innebär det att årsnederbörden är 50–100 mm större under den senaste perioden. I de nederbördsrika områdena i Bohuslän, Västergötland och Halland är årsnederbörden drygt 140 mm större.

Tabell 3: Skillnad i nederbörd mellan 1991–2020 och 1961–1990. Statistiskt signifikanta skillnader baserade på Students t-test är understrukna och i fet stil.

	Relativ ändring [%]	Absolut ändring [mm]
December-januari-februari	14,6	19,0
Mars-april-maj	5,5	6,2
Juni-juli-augusti	<u>15,9</u>	<u>31,1</u>
September-oktober-november	-1,6	-3,0
År	<u>8,2</u>	<u>51,8</u>



Figur 19: Jämförelse av normal årsnederbörd mellan perioderna 1961–1990 och 1991–2020. Differensen i mm till vänster och årsnederbörden för 1991–2020 relativt 1961–1990 i procent till höger.

3.2.2 Extremer

Stora nederbördsmängder på kort tid kan orsaka stor skada i samhället till följd av översvämningar och jordskred. Varje år drabbas någon ort av stora nederbördsmängder.

Vi har valt att studera den extrema nederbörden genom tre olika mått:

- **Medel av största dygnsnederbörd i Sverige** – Medel av årets eller årstidens största dygnsnederbörd för 60 stationer spridda över Sverige
- **Dygnsnederbörd minst 40 mm i Sverige** – Medel av antal observationer per år med dygnsnederbörd på minst 40 millimeter för 60 stationer spridda över Sverige
- **Absolut största dygnsnederbörd i Sverige** - Årets största dygnsnederbörd i Sverige (baserat på samtliga stationer i hela Sverige)

I Figur 20 visas var årets största dygnsnederbörd inträffat under åren 1881 – 2021. Samtliga SMHI:s nederbördsstationer har utnyttjats för att ta fram denna information. Från figuren ser vi att sådana nederbördshändelser har inträffat i hela landet men att det är vanligare att de inträffat i Götaland eller Svealand än i Norrland.

Vi kan inte se att ”medel av största dygnsnederbörd i Sverige” har ökat sedan 1900, se Figur 21. Däremot antyder Figur 22 att denna extrema nederbörden ökat under vintern. Den till synes ökningen beror delvis på mindre nederbördsmängder före 1930. Orsaken kan vara att alla stationer då inte var utrustade med vindskydd så att den lätta snönederbörden inte fångades av nederbördsmätaren. En jämförelse av 1991–2020 och 1961–1990 visar att skillnader av extremnederbörd i vintrarna inte är statistiskt signifikant (Tabell 4). För övrigt är det svårt att se några entydiga trender för variationerna från år till år är stora.

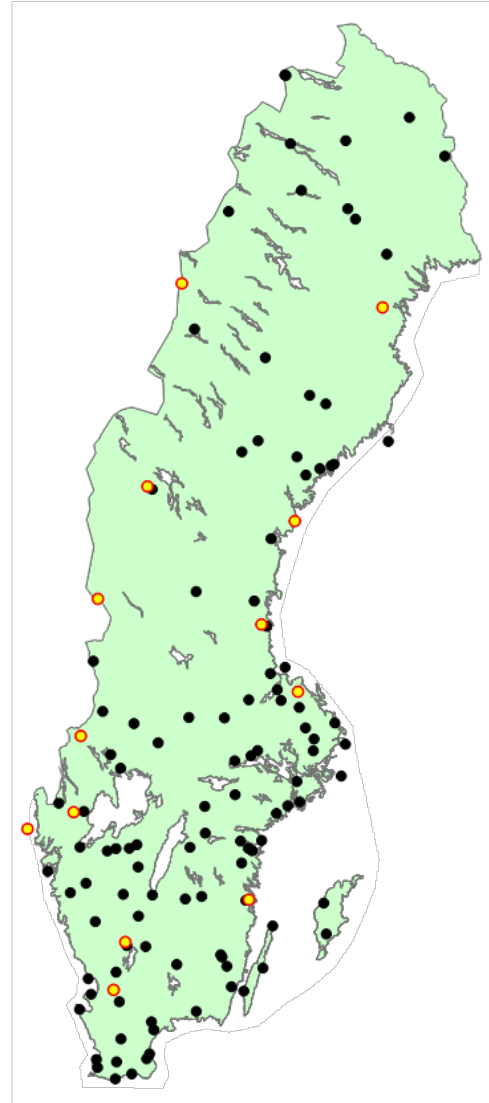
Tabell 4: Differens 1991–2020 minus 1961–1990 i procent och absoluta värden.
Signifikanta skillnader baserade på Students t-test är understruken och i fet stil

	MaxDygnsnbd [%] / [mm]	AbsMaxDygnsnbd [%] / [mm]	40mm [%] / [antal dygn]
December-januari- februari	4,8 (0,7)	2,3 (1,3)	8,0 (0,001)
Mars-april-maj	<u>8,5 (1,3)</u>	-1,9 (-1,1)	43,4 (0,004)
Juni-juli-augusti	<u>8,0 (2,2)</u>	9,1 (9,2)	9,0 (0,014)
September- oktober-november	0,0 (0,0)	-2,6 (-2,0)	14,0 (0,006)
År	4,3 (1,4)	8,2 (8,6)	9,1 (0,020)

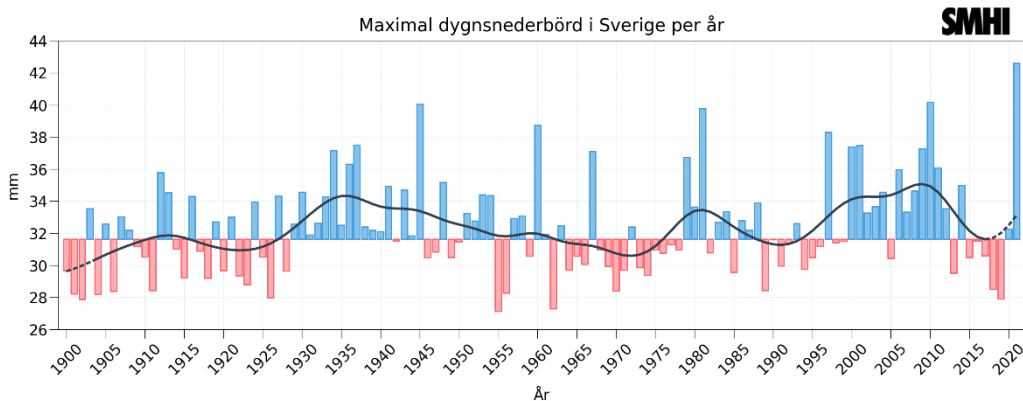
Inte heller för måttet "Dygnsnederbörd minst 40 mm i Sverige" kan man dra slutsatsen att den skulle ha ökat eller minskat, se Figur 23.

Vi kan även se att årets absolut största dygnsnederbörd i Sverige ser ut att ha en ökande trend, Figur 24. Det bör dock noteras att detta diagram bygger på alla SMHI:s stationer under varje år. Antalet stationer har varierat under perioden. År 1900 var antal stationer runt 400 stycken. Därefter ökade antalet stationer med toppen kring 1960 då det var ca 950 som rapporterade nederbörd dagligen. Därefter har en minskning skett och idag är det drygt 600 stationer kvar.

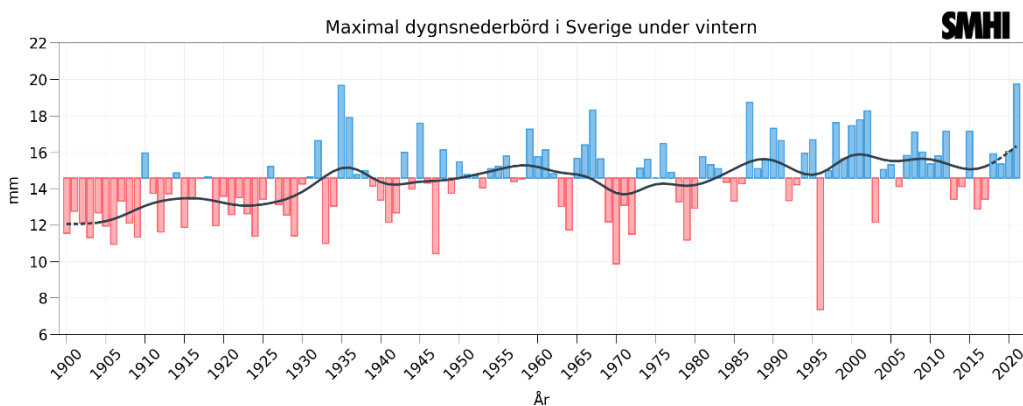
Trots att antalet stationer minskat sedan 1960-talet så ser den absolut största dygnsnederbörden i Sverige inte ut att ha minskat utan snarare ökat (se Figur 24 och Tabell 4). Det finns åtta fall då dygnsnederbörden varit minst 150 mm sedan 1881. Fem av dessa fall har inträffat de senaste 25 åren och bara tre fall de föregående drygt hundra åren.



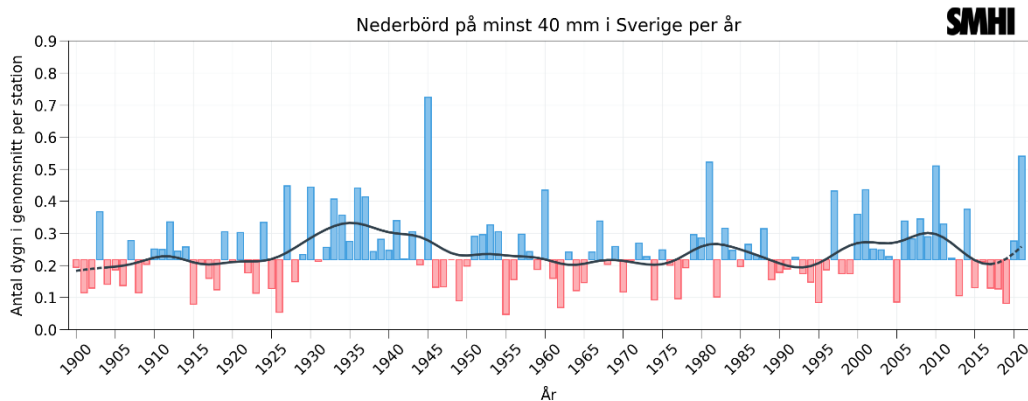
Figur 20: Stationer med årets största dygnsnederbörd under något av åren 1881–2021. Vid gula prickar har årets största dygnsnederbörd inträffat minst två gånger.



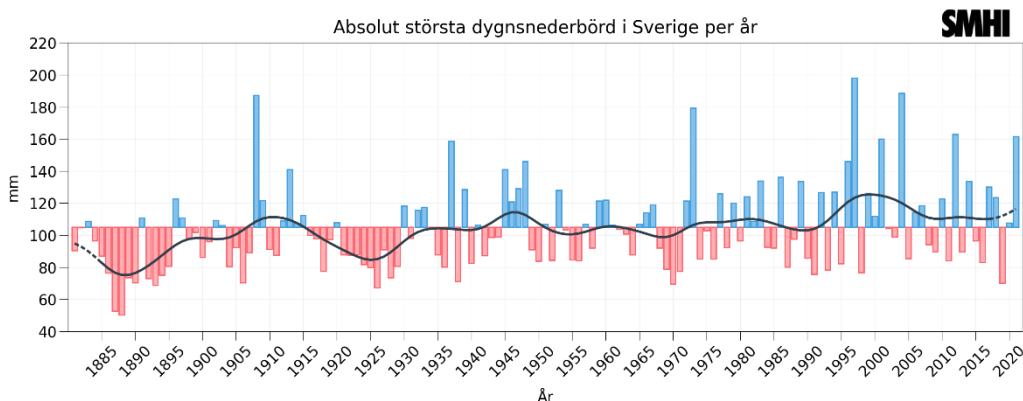
Figur 21: Staplarna i diagrammet visar maximal dygnsnederbörd i genomsnitt per station i Sverige per år. Blå staplar visar högre och röda visar lägre mängder än medelvärdet för normalperioden 1961–1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.



Figur 22: Staplarna i diagrammet visar största dygnsnederbörd i genomsnitt per station i Sverige för december (föregående år), januari och februari. 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.



Figur 23: Staplarna i diagrammet visar antal dygn med nederbörd på minst 40 mm i genomsnitt per station i Sverige 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.



Figur 24: Staplarna i diagrammet visar absolut största dygnsnederbörd i Sverige 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.

3.2.3 Sammanfattning nederbörd

Sammanfattningsvis kan man säga att årsnederbörden har ökat i Sverige åtminstone sedan 1930-talet. När det gäller förändringen av den extrema nederbörden, dygnsnederbörden, är det inte lika tydligt. Resultaten pekar dock på att den extrema nederbörden har ökat under vintern sedan år 1900 och att även den absolut största dygnsnederbörden i Sverige har ökat sedan 1881.

3.3 Snö

Extrema mängder snö under kort tid kan fullständigt lamslå ett samhälle. Kanske mer än något annat väderfenomen i Sverige.

Sådana riktigt extrema snöoväder är sällsynta och har historiskt sett inträffat någonstans i Sverige ungefär vart tionde eller tjugonde år. Som exempel på snöoväder som i det närmaste helt isolerat städer och tätbebyggda områden kan nämnas Gävle (december 1998), Oskarshamn (januari 1985) och Skåne (februari 1979). Detta sekel har vi hittills inte haft något snöoväder med fullt så långtgående konsekvenser.

Även snö som ackumuleras under en lång kall vinter kan ställa till bekymmer. Till exempel ledde långvarigt kallt väder och mycket snö under vintern 2009/2010 till att omkring 160 tak rasade in i Sverige (Boverket 2010).

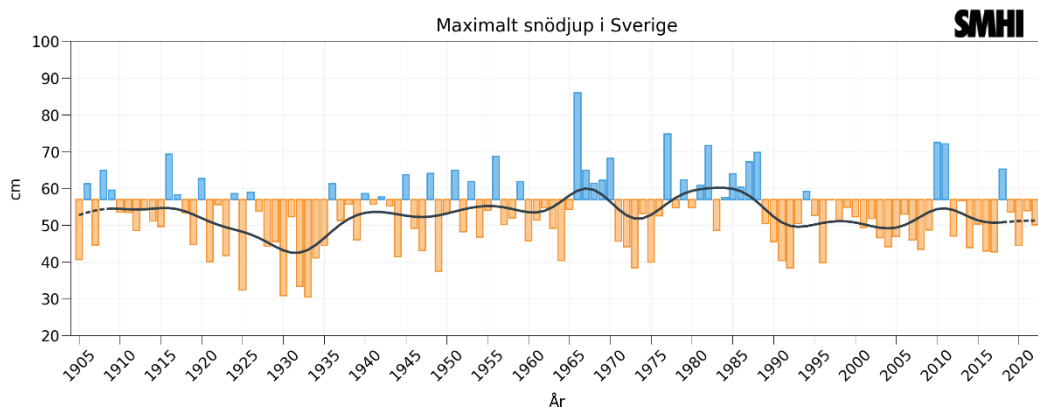
3.3.1 Maximalt snödjup

Den snörrikaste vintern i Sverige som helhet var 1965/66 då medelvärdet av vinterns största snödjup från 43 stationer var 86 centimeter. I relativt modern tid var vintrarna 2009/10 och 2010/11 snörika (se Figur 25).

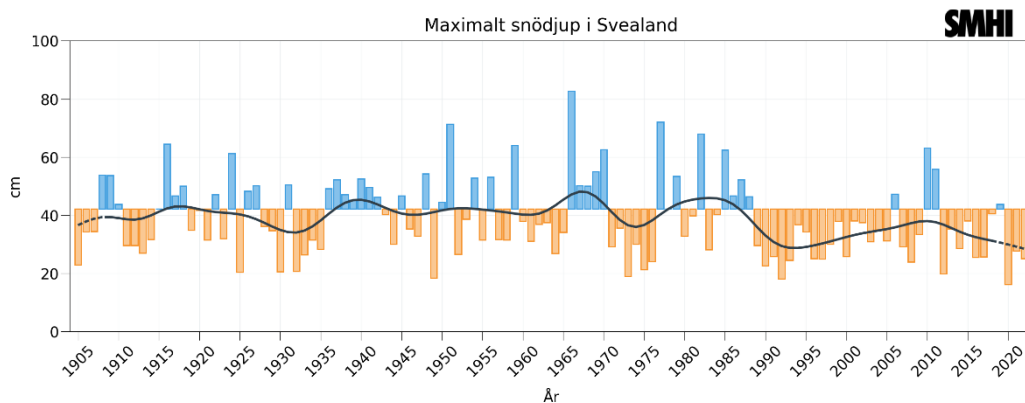
Ett stort maximalt snötäcke under vintern behöver inte nödvändigtvis innebära en lång snösäsong. Några dagars intensivt och kraftigt snöande kan snabbt bygga upp snödjupet till mycket höga nivåer, medan en efterföljande period med blidväder kan göra att snötäcket snabbt krymper.

I Figur 25 ser vi i början av 1930-talet en ansamling av vintrar med lågt maximalt snödjup. Som våra klimatindikatorer visar så var det under den perioden en kombination av både torra och milda vintrar.

Om vi ser till Sverige som helhet är det än så länge svårt att hitta någon bestämd trend vad gäller vinterns största snödjup. För Svealand ligger dock det maximala snödjupet från och med ungefär 1990 på en lägre nivå än tidigare, se Figur 26. Även i Götaland finns en sådan tendens.



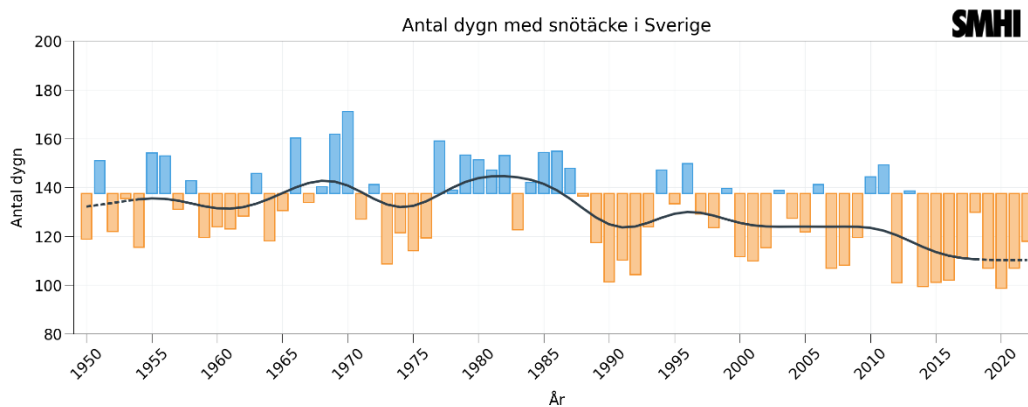
Figur 25: Staplarna i diagrammet visar maximalt snödjup i Sverige. Blå staplar visar högre och orangea visar lägre snödjup än medelvärdet för normalperioden 1961–1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Året som visas representerar det år då säsongen avslutas. Det vill säga, 2000 står för säsongen 1999/2000.



Figur 26. Staplarna i diagrammet visar maximalt snödjup i Svealand. Blå staplar visar högre och orangea visar lägre snödjup 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.

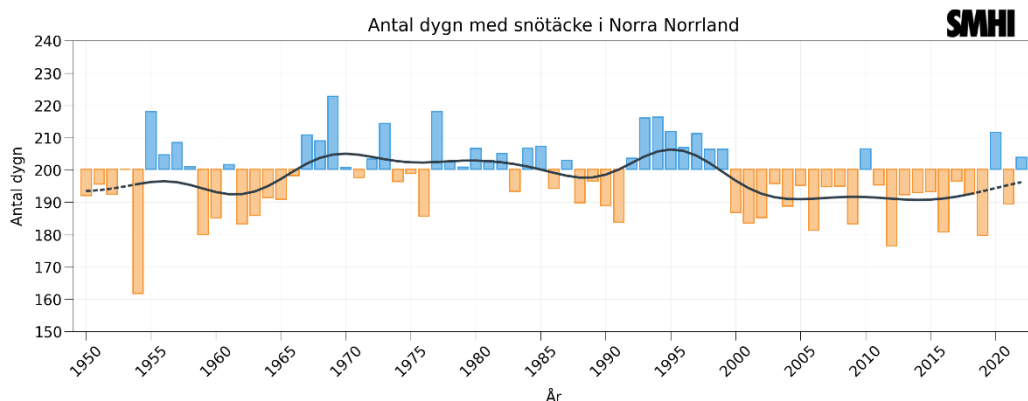
3.3.2 Antal dygn med snötäcke

Om vi ser på Sverige som helhet finns en tendens till minskad längd på snösäsongen sedan ungefär 1990 (se Figur 27).



Figur 27: Staplarna i diagrammet visar antal dygn med snötäcke i Sverige. 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.

Mönstret är inte helt enhetligt mellan olika landsdelar. Norra Norrland uppvisar bara en svagt sjunkande trend (se Figur 28), medan trenden i södra Norrland, Svealand och Götaland påminner om den för riket som helhet.



Figur 28: Staplarna i diagrammet visar antal dygn med snötäcke i norra Norrland. 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.

Tabell 5: Differens mellan 1991–2020 och 1961–1990. Statistiskt signifikanta skillnader baserade på Students t-test är understrukna och i fet stil.

Snö	antal dagar [dagar]	max [cm]
Norra Norrland:	-4,6	0,9
Södra Norrland:	<u>-14,2</u>	<u>-10,6</u>
Svealand:	<u>-22,0</u>	<u>-9,3</u>
Götaland:	<u>-23,4</u>	<u>-6,4</u>
Hela Sverige:	<u>-16,0</u>	<u>-6,4</u>

3.3.3 Sammanfattning snö

Sammanfattningsvis kan man säga att antal dagar med snötäcke generellt har legat på en lägre nivå i Sverige sedan cirka 1990. Förändringen av vinterns största snödjup är inte lika tydlig. Det har förekommit både snörika och snöfattiga vintrar under hela perioden. Således har det även på 2000-talet förekommit snörika vintrar. För Svealand ligger det maximala snödjupet från och med ungefär 1990 på en lägre nivå än tidigare. Även i Götaland finns en sådan tendens.

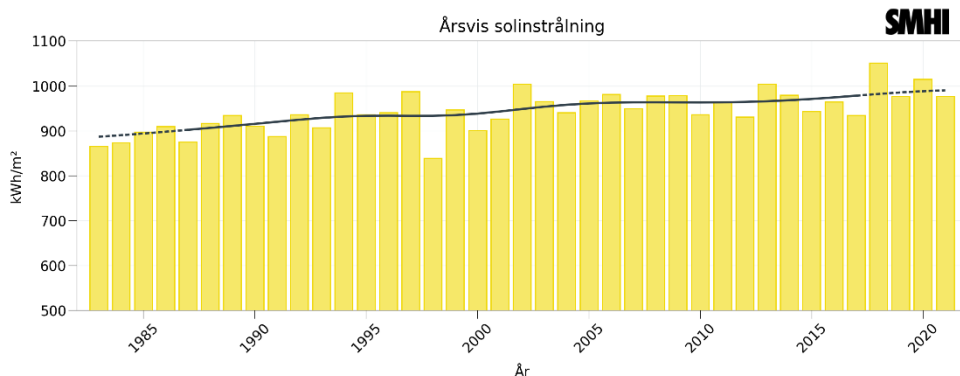
3.4 Solinstrålning

Solinstrålningen vid markytan har mycket stor betydelse för klimatsystemet, bland annat genom inverkan på lufttemperatur och avdunstning. Solinstrålningen uppvisar en tydlig årlig variation, som är kopplad till jordens bana runt solen. Som starkast är solinstrålningen vid molnfria förhållanden mitt på dagen kring sommarsolståndet, när solen står som högst på himlen. Variationen i strålning som infaller mot vår atmosfär är mycket liten på korta tidskalor. Exempelvis orsakar den 11-åriga cykeln för solaktivitet en variation i instrålad energi på endast ca 0,1%. Över längre tidsskalor, 10 000–100 000 år, har dock förändringar i jordbanans form och jordaxelns lutning gett upphov till variationer som haft betydelse för klimatet på jorden, i form av växlingar mellan istider och interglaciala perioder.

Solinstrålningen till jordytan är däremot en klimatvariabel som påverkas när strålningen passerar genom atmosfären. Det är främst molnighet men också mängden partiklar i luften, vattenånga och ozon, som leder till varierande reflektion, absorption och spridning av solljuset.

3.4.1 Trender i solinstrålningen

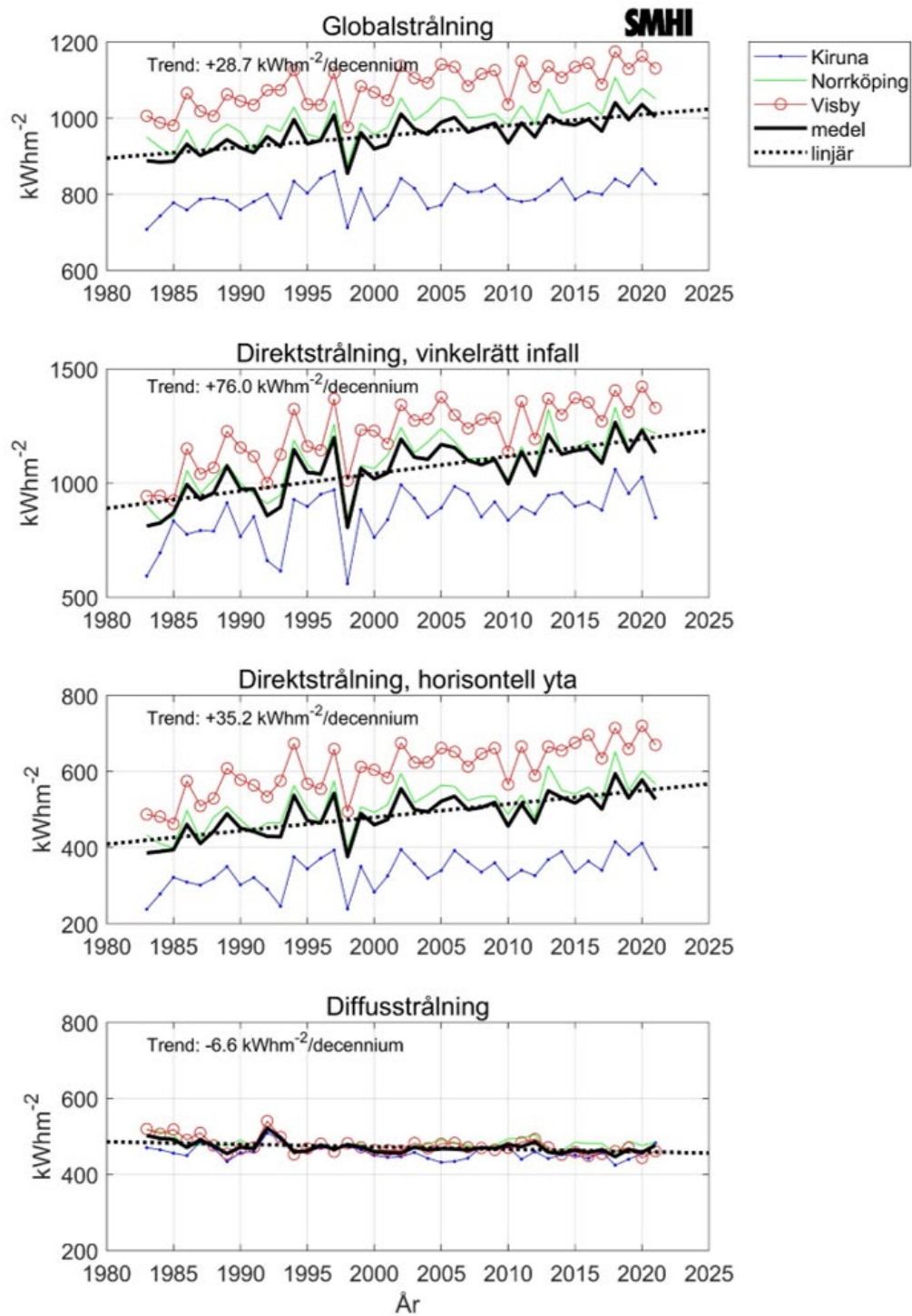
Solinstrålning i Sverige beskrivs här av ett genomsnitt av globalstrålningen uppmätt vid åtta stationer med mätserier sedan 1983, se Figur 29. Den årliga solinstrålningen uppvisar en ökande trend om totalt ca 10%. Uppgången var särskilt tydlig fram till de första åren på 2000-talet. Därefter sågs en antydning till utplaning, men på senare år har inte minst de soliga åren 2018 och 2020 varit viktiga bidrag till den fortsatta uppgången. Ökningen i årlig globalstrålning härstammar nästan helt från vår- och sommarmånaderna, vilka i hög grad bidrar till den årliga totalsumman.



Figur 29: Genomsnittlig årsvis solinstrålning (globalstrålning) sedan 1983 beräknat från åtta stationer. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.

Trenden som observeras i SMHIs strålningsdata kan inte förklaras av förändringar i solens utstrålning, som varit mycket små under den observerade perioden (Montillet et al. 2022, Kopp och Shapiro 2021). De måste därför förklaras av variationer i atmosfärens sammansättning och interaktion med solljuset. Troligen handlar det främst om en kombination av ändringar i mängden eller egenskaperna hos moln och luftburna partiklar i atmosfären (Quaas et al. 2022).

Att det rör sig om förändrad ljusspridning i atmosfären stöds också av att direktstrålningen har ökat ännu mer än globalstrålningen, medan andelen diffus strålning (spritt ljus) minskat, se Figur 30. Ljusspridning i atmosfären leder till att en del



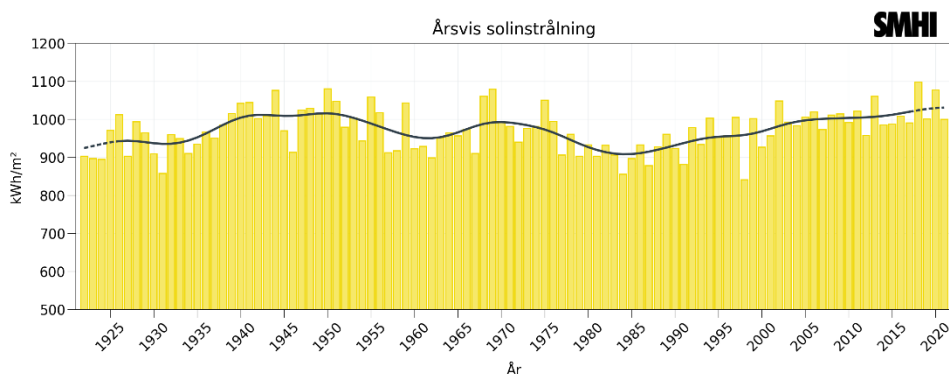
Figur 30: Global, direkt och diffus solstrålning uppmätt vid SMHI:s tre stationer utrustade med solföljare; Kiruna, Norrköping och Visby. Direktstrålningen visas både som uppmätt vinkelrätt mot solstrålarna, och den beräknade horisontella komponenten.

av den infallande strålningen reflekteras bort från jorden och atmosfären, medan en del av strålningen når jordytan men med ändrad riktning, som diffus strålning.

Direktstrålningen mäts i riktning mot solen. I Figur 30 visas också den horisontella komponenten ($I_{\text{horisontell}} = I \cdot \sin(h)$ där h är solhöjden), som utgör den andel som ingår i den observerade globalstrålningen tillsammans med den diffusa strålningen. Den horisontella komponenten av direktstrålningen har ökat med i genomsnitt $35,2 \text{ kWhm}^{-2}/\text{decennium}$, samtidigt som den diffusa strålningen har minskat med i genomsnitt $6,6 \text{ kWhm}^{-2}/\text{decennium}$. Detta stämmer relativt väl med den observerade ökningen på $28,7 \text{ kWhm}^{-2}/\text{decennium}$ för globalstrålningen.

Liknande tendenser för solinstrålningen ses i stora delar av Europa (Wild et al. 2021). Mätningar både i Sverige och på andra håll i Europa utförda före 1980-talet tyder på att solinstrålningen var högre under 1950- och 1960-talet än under 1980-talet. Specifika mätningar av de luftburna partiklarnas effekt på den inkommande solstrålningen (aerosolpartiklarnas optiska djup) görs både av SMHI och andra väderinstitut. Men för Sveriges del är dessa mätserier ännu för korta (startår 2007) för att tas upp här.

Det längre tidsperspektivet med perioder av ökad och minskad solinstrålning kan urskiljas i observationerna i Stockholm, som är världens längsta serie av globalstrålningsmätningar, Figur 31. I den tidigaste delen av serien ses en ökning av globalstrålningen fram till runt 1950, följt av en nedgång fram till mitten av 1980-talet, och därefter den fortfarande pågående ökningen.



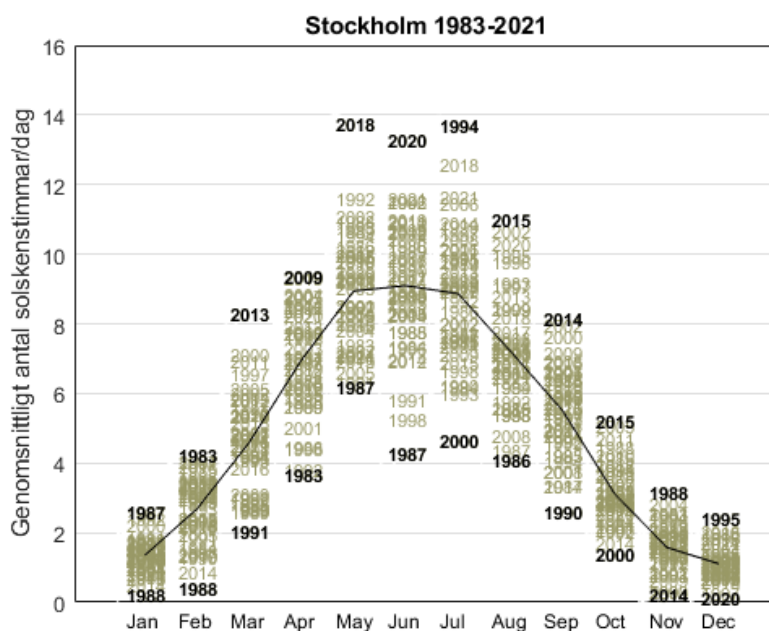
Figur 31: Årsviss solinstrålning (globalstrålning) i Stockholm 1922–2021. Den svarta linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.

3.4.2 Extremvärden för solinstrålning

För momentan solinstrålning talar man sällan om extremvärden. Strålningen varierar ofta mycket till följd av molnighet, men variationen vid molnfritt väder är generellt ganska liten jämfört med det klimatologiska genomsnittet. Summerat över längre perioder, exempelvis en månad eller ett år, gör variationen i främst molnigheten att det finns perioder som sticker ut i statistiken. Exempelvis var sommaren 1998 i hög grad präglad av mulet väder medan särskilt maj och juli år 2018 var mycket soliga i genomsnitt för Sverige (Figur 29). Eftersom den allra största delen av den årliga instrålningen erhålls under sen vår och sommar slår detta tydligt igenom på den årliga solinstrålningen för 1998 och 2018.

I Figur 32 visas som exempel månadsvis solskenstid för Stockholm under perioden 1983–2021. På månadsbasis var maj 2018, juni 2020 och juli 1994 mycket soliga till skillnad

från juni 1987 och juli 2000 som var ovanligt molniga. Spridningen under sommarmånaderna är stor, exempelvis skiljer det mellan juni 1987 och juni 2020 i genomsnitt drygt 9 timmar per dygn. Konsekvensen av "extrema" månader när det gäller solinstrålning kopplar kanske främst till brist på nederbörd och ökad avdunstning, som högtrycksbetonat väder samtidigt medför. Andra konsekvenser är en ökad exponering för UV-strålning vid mindre molnighet och större potential för generering av solenergi.



Figur 32: Genomsnittlig solskenstid per dag under varje månad, för perioden 1983–2021 för Stockholm. År med den högsta och minsta solskenstiden är markerade med svart årtal. Genomsnittet visas med svart linje.

3.4.3 Sammanfattning solinstrålning

Den årliga solinstrålningen (globalstrålningen) har ökat med cirka 10% sedan mitten av 1980-talet, baserat på mätningar vid åtta stationer i Sverige. Uppgången var särskilt tydlig fram till de första åren på 2000-talet. Under den här perioden har instrålningen mot atmosfären varit i stort sett konstant, och orsaken till ökningen är troligt en kombination av minskad molnighet och minskande partikelhalter i atmosfären. Extrema månader och år kan främst kopplas till variationer i molnigheten.

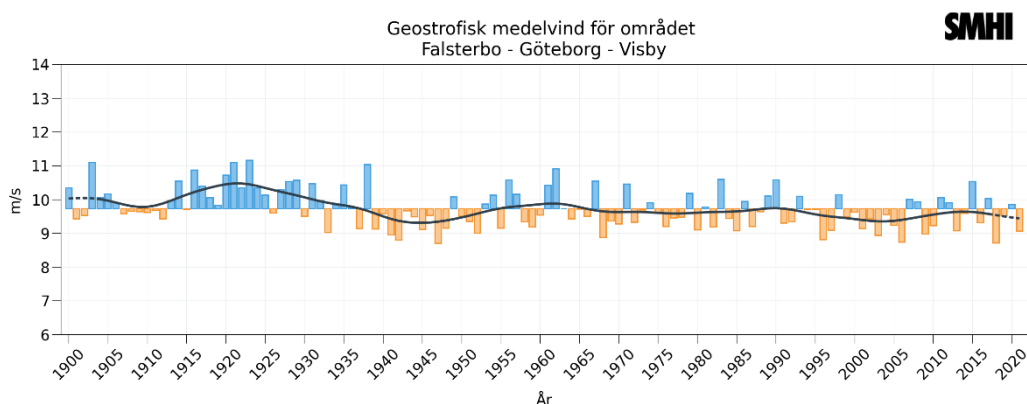
3.5 Geostrofisk vind

Vinden har i alla tider varit en naturkraft att ta hänsyn till, både som ett hot i form av starka vindar som kan medföra stor ödeläggelse och som en tillgång i form av vindenergi för till exempel segelsjöfarten och vindkraftverk. Analysen av trender och förändringar som görs i den här rapporten är baserad på geostrofisk vind som beräknas med hjälp av lufttryck. Den geostrofiska vinden har beräknats för nio trianglar över Sverige och metoden är beskriven i kapitel 2.1.6.

3.5.1 Förändringar i medelvinden

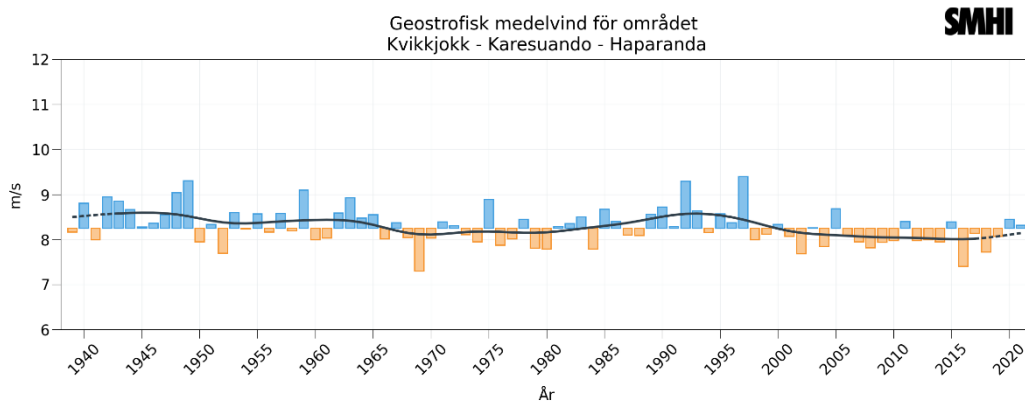
Figur 33 och Figur 34 visar årsmedelvärden av den geostrofiska vindhastigheten i den sydligaste och nordligaste triangeln. För båda trianglarna är variationerna från år till år små. För triangel Falsterbo-Göteborg-Visby är medelvinden typiskt i intervallet 9–11 m/s och för triangel Kvikkjokk-Karesuando-Haparanda i intervallet 8–9 m/s. Något större avvikelse förekommer under enstaka år.

I Figur 33 (triangel Falsterbo-Göteborg-Visby) ser vi en period med blåsigare förhållanden under 1920-talet. Mindre blåsigt var det under 1940-talet samt under 2000-talet. De långsiktiga trenderna är dock små och i de flesta fall inte statistiskt signifikanta. Som exempel ger linjär regression en minskning av medelvinden om cirka 0,05 m/s per decennium för 1900–2021 (se Tabell 6). Betraktar man bara perioden från 1940 och framåt så är trenden nära noll (se Tabell 6). Skillnaden mellan 30-årsperioderna 1991–2020 och 1961–1990 är en minskning med 0,2 m/s. Det motsvarar en minskning med 2,3 % jämfört med 1961–1990 (se Tabell 7). Inte heller denna ändring är statistiskt signifikant.



Figur 33: Staplarna i diagrammet visar geostrofisk medelvind för området Falsterbo - Göteborg - Visby per år. Blå staplar visar högre och orangea visar lägre geostrofisk medelvind än medelvärdet för normalperioden 1961–1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.

I Figur 34 (triangel Kvikkjokk-Karesuando-Haparanda) ser vi perioder med blåsigare förhållanden från 1940 tills början av 1960-talet samt under 1990-talet. Generellt mindre blåsigt var det efter millennieskiftet. För perioden 1940–2021 ger en linjär regression en minskning av medelvinden av cirka 0,05 m/s per decennium (se Tabell 6). Skillnaden mellan 30-årsperioderna 1991–2010 och 1961–1990 är en minskning med 0,05 m/s. Det motsvarar en minskning med 0,6 % jämfört med 1961–1990 (se Tabell 7). Ändringen är inte statistiskt signifikant.



Figur 34: Staplarna i diagrammet visar geostrofisk medelvind för området Kvikkjokk - Karesuando - Haparanda per år. Blå staplar visar högre och orangea visar lägre geostrofisk medelvind än medelvärdet för normalperioden 1961 – 1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.

I Tabell 6 och Tabell 7 ser vi hur medelvindhastigheten har förändrats i alla nio trianglar. För de två sydligaste trianglarna finns tillräckligt material för att studera trender över två tidsperioder 1900–2021 respektive 1940–2021. För övriga trianglar inskränker sig studien till perioden 1940–2021.

Linjära trender över hela tidsperioden - från 1900 eller från 1940 - visar negativa trender för medelvindhastigheten för alla trianglar utom triangel Göteborg-Stockholm-Visby för perioden 1940–2021. Notera dock att trenden för triangeln Göteborg-Stockholm-Visby för perioden från 1900 är svagt negativ. För Sverige som helhet (medelvärdet över alla trianglarna) är trenden svagt negativ. Den geostrofiska vinden i Sverige minskar enligt linjär regression i medel med 0,02 m/s per decennium.

En jämförelse av de två 30-årsperioderna (1961–1990 och 1991–2020) visas i Tabell 7. Tabellen visar att den geostrofiska vinden avtar för alla trianglar utom triangeln Göteborg-Malung-Stockholm. Största minskningen ser vi för triangeln Falsterbo-Göteborg-Visby med en procentuell ändring av -2,3%. Ingen ändring i medelvärdet mellan de två 30-årsperioderna är statistisk signifikant enligt t-testet.

Vi konstaterar att den geostrofiska vindhastigheten minskar för de flesta trianglarna. Positiva ändringar finns bara för en triangel (Göteborg-Stockholm-Visby) under perioden 1940–2021 och för en triangel (Göteborg-Malung-Stockholm) i jämförelse av 30-årsperioderna 1961–1990 och 1991–2020. För samma triangel men andra perioder ser vi dock en minskning av den geostrofiska medelvindhastigheten. Sammantaget verkar den geostrofiska medelvindhastigheten avta, men minskningen är så pass liten att ändringarna inte är statistiskt signifikanta i nuläget.

Förhärskande vindriktning

En analys av trender i förhärskande vindriktningar baserad på geostrofisk vind gjordes av Wern och Barring (2009). Analyserna fokuserade på de två sydligaste trianglarna. Resultaten visade att i triangel Göteborg-Stockholm-Visby har vindar från väst blivit vanligare. Det gäller däremot inte i triangel Göteborg-Visby-Lund. I båda trianglarna har vindar från nordväst blivit vanligare de senaste 30–40 åren fram till 2008.

I den här rapporten har vi inte undersökt om trenden till ökad frekvens av nordvästliga och västliga vindar har fortsatt efter 2008.

Tabell 6: Trend per decennium baserad på linjär regression.

Period	Triangel	Medelvindhastighet [m/s]	Max vindhastighet [m/s]	Antal > 25 m/s [antal observationer]	Vindenergi-potential [kWh/m ²]
1900 - 2021	Falsterbo-Göteborg-Visby	-0,05	-0,13	-0,67	-194
	Göteborg-Stockholm-Visby	-0,02	-0,37	-0,67	-125
1940 - 2021	Falsterbo-Göteborg-Visby	-0,00	0,23	-0,35	-36
	Göteborg-Stockholm-Visby	0,02	0,00	-0,09	33
	Göteborg-Malung-Stockholm	-0,02	-0,44	-0,32	-88
	Malung-Sundsvall-Stockholm	-0,02	-0,29	-0,06	-80
	Malung-Gäddede-Sundsvall	-0,03	-0,21	-0,14	-84
	Gäddede-Bjuröklubb-Sundsvall	-0,01	-0,03	-0,06	-6
	Gäddede-Kvikkjock-Bjuröklubb	-0,03	0,10	-0,35	-72
	Kvikkjock-Haparanda-Bjuröklubb	-0,04	-0,08	-0,15	-66
	Kvikkjock-Karesuando-Haparanda	-0,05	-0,21	-0,21	-101
	Medelvärde	-0,02	-0,10	-0,19	-56

Tabell 7: Differens 1991–2020 minus 1961–1990 i procent. Signifikanta skillnader baserade på student t-test är understruken och i fet stil.

Period	Triangel	Medelvindhastighet [m/s]	Max vindhastighet [m/s]	Antal > 25 m/s [antal observationer]	Vindenergi-potential [kWh/m ²]
1991 - 2020 minus 1961 - 1990	Falsterbo-Göteborg-Visby	-2,3	-1,4	<u>-20,8</u>	<u>-8,3</u>
	Göteborg-Stockholm-Visby	-0,2	-1,9	-10,5	-2,0
	Göteborg-Malung-Stockholm	1,0	-1,5	13,3	1,8
	Malung-Sundsvall-Stockholm	-1,1	-4,0	-11,3	-3,8
	Malung-Gäddede-Sundsvall	-1,2	-2,3	-2,0	-3,5
	Gäddede-Bjuroklubb-Sundsvall	-0,6	-2,3	0,5	-1,0
	Gäddede-Kvikkjock-Bjuroklubb	-0,3	1,5	16,2	1,2
	Kvikkjock-Haparanda-Bjuröklubb	-0,7	1,3	-8,4	-1,3
	Kvikkjock-Karesuando-Haparanda	-0,6	-2,9	-5,9	-0,5
	Medelvärde	-0,7	-1,5	-3,2	-1,9

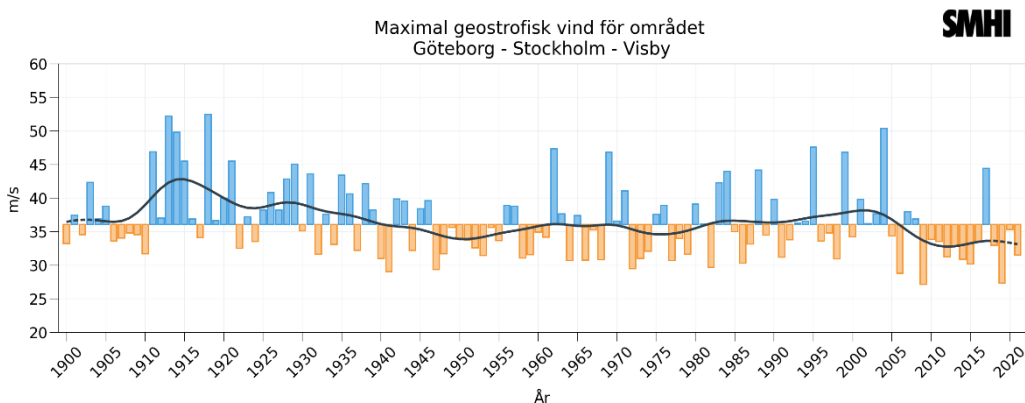
3.5.2 Extrem vindhastighet

Årets högsta geostrofiska vindhastighet

Årets högsta geostrofiska vindhastighet har undersökts för alla trianglarna. Som exempel visas triangel Göteborg-Stockholm-Visby i Figur 35. Figuren visar en topp i slutet av 1910-talet och därefter en minskning till 1950-talet. Därefter har de högsta geostrofiska vindarna ökat svagt fram till början av milleniet och efter det överväger år med en högsta vindhastighet som ligger under medelvärdet för normalperioden 1961–1990.

Figurerna för alla trianglar presenteras i bilagan. Statistik för alla trianglar visas i Tabell 6 och Tabell 7. För perioden 1940–2021 förekommer en ökande eller oförändrad trend i tre trianglar och en minskande trend i sex trianglar. Ökande trend finns i trianglar Falsterbo-Göteborg-Visby och Göteborg-Stockholm-Visby. För samma trianglar är dock trenden negativ om hela perioden 1900–2021 beaktas. Detta på grund av höga vindhastigheter i början av 1900-talet. Medeltrenden för alla trianglar är en minimal minskning.

En statistisk jämförelse av perioden 1961–1990 och 1991–2020 visar en ökning av högsta geostrofisk vindhastighet för trianglarna Gäddede-Kvikkjock-Bjuröklubb och Kvikkjock-Haparanda-Bjuröklubb och en minskning för alla resterande trianglar. Medelvärden för alla trianglar är en minskning med 1,5 %. Det är värt att notera att ingen skillnad mellan perioderna är statistiskt signifikant.



Figur 35: Staplarna i diagrammet visar maximal geostrofisk vind för området Göteborg - Stockholm - 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.

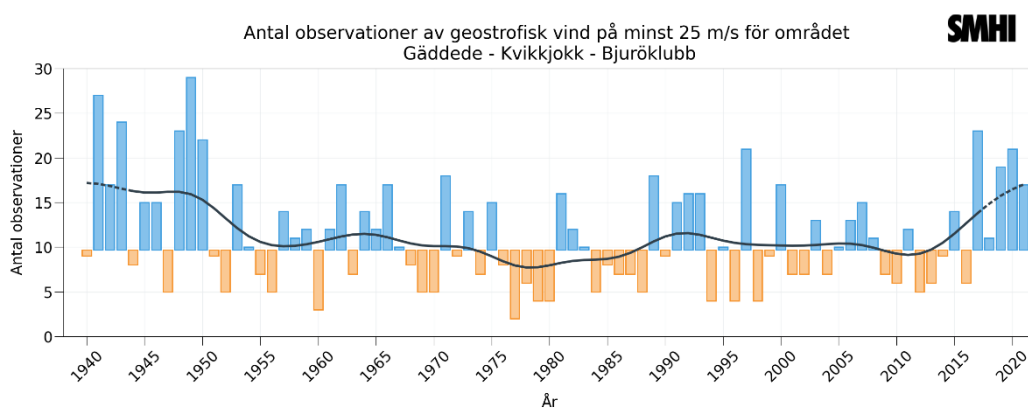
Antal stormtillfällen på minst 25 m/s

Figur 36 visar antal tillfällen per år då den geostrofiska vindhastigheten varit minst 25 m/s i triangeln Gäddede-Kvikkjock-Bjuröklubb. Vi ser att det är mycket stora variationer mellan olika år, från bara några få tillfällen till nästan 30 fall per år. Även andra trianglar visar stora variationer från år till år men det absoluta antalet observationer med minst 25 m/s är olika mellan trianglarna. Till exempel finns det år med fler än 40 tillfällen med minst 25 m/s i de båda sydligaste trianglarna.

För triangeln Gäddede-Kvikkjock-Bjuröklubb (Figur 36) hittar vi störst antal observationer med minst 25 m/s under 1940-talet samt i slutet av tidsserien. För perioden 1940–2021 visar trenden på en lätt minskning (Tabell 6). Det är konsistent med

alla andra trianglarna. Trenden är svagt negativt för de båda sydligaste trianglarna även för perioden 1900–2021.

Jämförelsen av perioderna 1961–1990 och 1991–2020 visar ett blandat resultat som motsvarar den höga variabiliteten i antal stormtillfällen. Sex trianglar visar en procentuell minskning medan antal stormtillfällen ökat i tre trianglar (Tabell 7). De procentuella ändringarna är rätt stora för den här variabeln och ligger mellan en minskning på drygt 20% (triangeln Falsterbo-Göteborg-Visby) och en ökning på mer än 16% (triangeln Gäddede-Kvikkjokk-Bjuröklubb). Notera att (förutom för triangeln Falsterbo-Göteborg-Visby) är inga skillnader statistiskt signifikanta, även om de procentuella ändringarna är stora. Det beror på stor variabilitet i antal stormtillfällen.

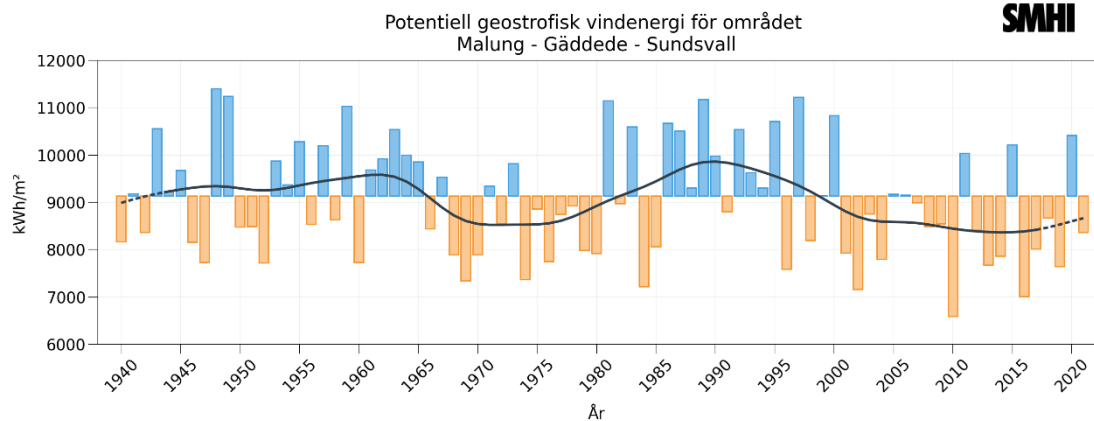


Figur 36: Staplarna i diagrammet visar antal observationer av geostrofisk vind på minst 25 m/s för området Gäddede - Kvikkjokk - Bjuröklubb per år. Blå staplar visar högre och orangea visar lägre antal observationer av geostrofisk vind på minst 25 m/s än medelvärdet för normalperioden 1961–1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.

3.5.3 Vindenergipotential

Den potentiella vindenergin för triangeln Malung-Gäddede-Sundsvall för perioden 1940–2021 visas i Figur 37. Variationerna är stora från år till år och de skiljer sig även för längre perioder. För triangeln Malung-Gäddede-Sundsvall var vindenergipotentialen hög under 1950-talet och in på 1960-talet samt runt 1990. Betydligt mindre potentiell vindenergi fanns det under perioden 1965–1980 och efter millennieskiftet. För hela perioden (1940–2021) är trenden svagt negativ (Tabell 7). Trenderna är också negativa för resterande trianglar med undantag av triangeln Göteborg-Stockholm-Visby som har en svagt positiv trend för perioden 1940–2021.

Skillnader mellan perioderna 1961–1990 och 1991–2020 sammanfattas i Tabell 7. För sju trianglar har vindpotentialen minskat medan den ökat för två trianglar. Den enda statistiskt signifikanta ändringen ser vi för triangeln Falsterbo-Göteborg-Visby. Där minskade vindenergipotentialen med 8,3%. För hela Sverige har vindpotentialen minskat med knappt 2% för perioden 1991–2020 jämfört med perioden 1961–1990.



Figur 37: Staplarna i diagrammet visar potentiell geostrofisk vindenergi för området Malung - Gäddede - Sundsvall per år. Blå staplar visar högre och orangea visar lägre potentiell geostrofisk vindenergi än medelvärdet för normalperioden 1961–1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.

3.5.4 Sammanfattning geostrofisk vind

Vi konstaterar att alla analyserade mått för geostrofisk vind visar på variation över tid. Både positiva och negativa trender förekommer beroende på triangel och period. De negativa trenderna dominerar och sammantaget verkar det finnas tendens till minskning av såväl medelvindhastighet som extrema vindhastigheter. Dock är trenderna över lag inte statistiskt sett signifikanta.

4 Sammanfattning och diskussion

I den här rapporten har vi undersökt klimatförändringarna i Sverige med hjälp av observationsdata som finns i SMHIs databas med fokus på SMHIs klimatindikatorer. Undersökta tidsperioder varierar och motsvarar tillgängliga och kvalitetsgranskade data för respektive variabel. Totalt undersökte vi fem variabler samt kopplade indikatorer: temperatur och vegetationsperiodens längd, nederbörd, snö, solinstrålning samt geostrofisk vind och vindenergipotential. I korthet visar resultaten att Sverige som helhet blivit varmare och mer nederbördsrikt men med mindre snö sen mätningarna började. För de senaste decennierna, när det finns mätningar, har solinstrålningen ökat. Observationerna visar inte på några systematiska ändringar i vindklimatet. För samtliga variabler finns stora variationer mellan år och decennier.

Här sammanfattas resultaten och de observerade klimatförändringarna för de olika variablerna sätts i ett större sammanhang genom att jämföras med utvecklingen i andra områden i Nordeuropa och när så är möjligt i ett längre tidsperspektiv. Vi pekar också på studier som tar upp möjliga förklaringar till de olika förändringarna.

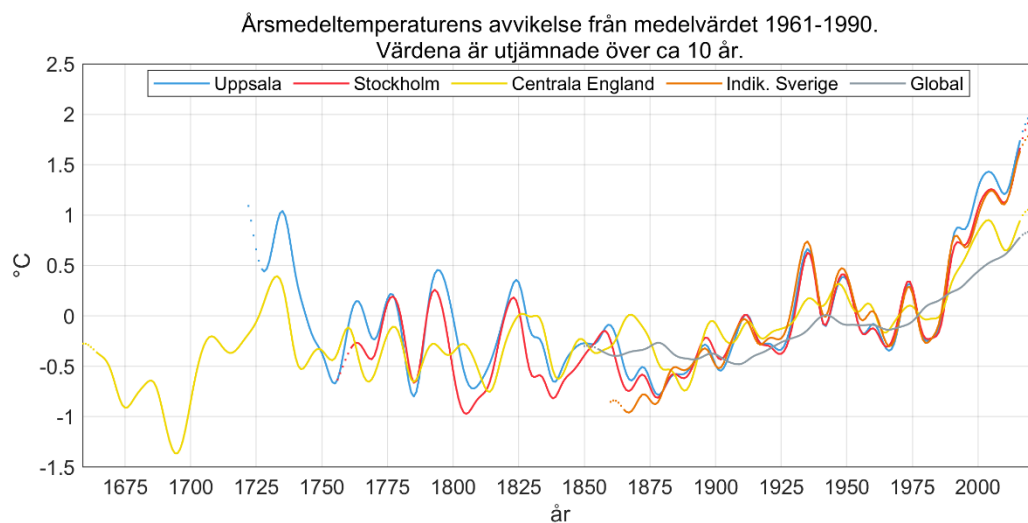
4.1 Tydlig uppvärmning

Den globala medeltemperaturen stiger till följd av ökade koncentrationer av växthusgaser i atmosfären (IPCC, 2021). Detta gör att vi ser en kraftig uppvärmning även i Sverige där ökningen av årsmedeltemperaturen mellan den senaste normalperioden 1991–2020 och referensnormalperioden 1961–1990 är närmare 1,2 grader. Skillnaden i temperatur är störst under vintern men alla årstider uppvisar en statistiskt signifikant ökning. Vi ser också att vegetationsperioden, som är ett mått på växtsäsongens längd för olika växter, blivit längre mellan de två trettioårsperioderna med omkring två veckor i Götaland och omkring en vecka i Norrland. Utöver den allmänna uppvärmningen som avspeglas i säsongsmedelvärden och vegetationsperiod framgår också tydligt att temperaturextremer ändras när klimatet blir varmare. Till exempel har extremt låga temperaturer och kalla månadsrekord blivit mindre vanliga medan extremt höga temperaturer och varma månadsrekord blivit vanligare under den senaste 30-årsperioden jämfört med tidigare perioder.

Temperaturökningen i Sverige från slutet av 1800-talet till de senaste årtiondena är i absoluta tal ungefär dubbelt så stor som det globala medelvärdet (se Figur 38). Sveriges årsmedeltemperatur har ökat från 1861–1890 till 1991–2020 med 1,9 °C medan den globala ökningen för identiska perioder är 0,9 °C. Jämfört med den globala uppvärmningen syns en högre uppvärmningstakt i många länder som ett resultat av generellt större uppvärmning över kontinenterna än över haven. För Sveriges del spelar också minskande utbredning av snö och is roll då det leder till förstärkt uppvärmning på höga breddgrader (se till exempel IPCC, 2021). Förbättrad luftkvalitet och mindre mängd aerosolpartiklar har också troligen bidragit till ökad solinstrålning och den starka uppvärmningen i Europa under de senaste decennierna (se vidare avsnitt 4.3 nedan).

Utöver den kraftigare ökningen i Sverige visar bilden också tydligt på större variationer mellan olika årtionden för Sverige jämfört med det globala medelvärdet. Detta speglar regionala och lokala variationer mellan olika år och decennier vilket delvis hänger samman med variabilitet i atmosfärens storskaliga cirkulation (storskaliga vädermönster). Den variationen handlar till exempel om att väderläget ibland är mer dominerat av västvindar medan andra perioder är dominerade av stabila högtryckslägen. En västvindsdominerad vinter (exempelvis vintern 2019–2020) med transport av luft från Atlanten är väsentligt mildare än en högtrycksdominerad vinter (exempelvis vintern 2010–2011) då mycket kalla luftmassor kan bildas och ligga kvar

över Skandinavien. Under sommaren är det tvärtom, då förknippas högtryckssituationer som regel med varmt väder medan västvindar för in svalare luft från Atlanten. För Sveriges del är den här typen av samband beskrivet av Kjellström et al. (2022a) för perioden 1961–2020. I studien visar de också att det blivit varmare oavsett årstid och väderläge vid en jämförelse av de två trettioårsperioderna 1961–1990 och 1991–2020. Dessutom visas att vintermånaderna december-februari var mycket varmare i den senare trettioårsperioden jämfört med den tidigare delvis på grund av större inslag av västvindsdominerade vintrar. På motsvarande sätt visas att avsaknaden av temperaturökning i juni månad i den senare trettioårsperioden delvis kan förklaras av skillnader i cirkulationsmönster jämfört med den tidigare perioden.



Figur 38: Rekonstruerad årsmedeltemperatur för Uppsala, Stockholm och Centrala England. Figuren visar också SMHIs klimatindikator samt den globala medeltemperaturen baserad på HadCRU. Linjerna visar ett utjämnat förlopp ungefär motsvarande 10-årsmedelvärden. De streckade linjerna i början och slutet av serierna markerar var värdena baseras på färre år.

Figur 38 ger också en möjlighet att gå ännu längre tillbaka i tiden med hjälp av observationsdata från Uppsala, Stockholm och England. Serien från centrala England är världens längsta serie av meteorologiska observationer med start redan 1659 (Parker et al., 1992). Serien visar tydligt att det varit kallare under hela perioden än vad det är idag och att temperaturen stigit kraftigt de senaste decennierna. Figuren visar också en stor variabilitet med omväxlande kalla och varma perioder i alla tre observationsserierna. Till exempel var det som allra kallast i slutet av 1600-talet medan 1730-talet var relativt varmt. Sveriges längsta serie, från Uppsala och med start 1722, visar på motsvarande utveckling. Uppsala-serien startar alltså då det enligt observationerna från centrala England var relativt varmt och visar sen på väsentligt lägre temperaturer ända fram till de senaste decennierna. Även här finns stora skillnader mellan olika decennier där till exempel 1870-talet sticker ut som kallt och 1930-talet som relativt varmt.

Serierna från Uppsala och Stockholm (med start 1756) uppvisar stor samstämmighet under de senaste 150 åren (Figur 38). Under tidigare decennier var skillnaderna tidvis större även om upp- och nedgångar i temperaturen även då sammanfaller relativt väl mellan de två stationerna. Vi noterar att kvaliteten i äldre temperaturdata är relativt osäker. Uppsala- och Stockholmsserierna har homogeniserats för att kompensera för förändringar i mätplats, mätteknik och lokal omgivning, såsom Uppsalas och Stockholms urbana värmeöar (Bergström and Moberg, 2002; Moberg et al., 2002). Vidare har luckor

i Uppsalaserien fyllts ut med hjälp av samtida observationer från andra platser. Förbättrad kvalitet och tillgång till fler stationer har gjort att SMHIs klimatindikator för temperatur därför börjar först 1860.

Jämförelsen mellan serierna visar tydligt att Sveriges medeltemperatur relativt väl representeras av årsmedeltemperaturerna för de enskilda observationsstationerna i Uppsala och Stockholm. Även jämfört med observationer från centrala England finns en relativt stor samvariation men här är det uppenbart att temperaturökningen och variationerna i Sverige är större än i England, och här är överensstämmelsen inte lika god för alla decennier. För temperaturklimatet betyder detta alltså att SMHIs klimatindikator börjar under en av de kallaste perioderna sen slutet av 1600-talet.

4.2 Mer nederbörd men mindre snö

Ett varmare klimat innebär en förstärkning av det hydrologiska kretsloppet eftersom varmare luft kan innehålla mer vattenånga än kall luft. Förstärkningen av det hydrologiska kretsloppet innebär att såväl avdunstning som nederbörd ökar. Regionalt styrs förändringarna av atmosfärens och underlagets egenskaper. Markytans vatteninnehåll påverkar i stor utsträckning avdunstningen över land, är marken torr blir avdunstningen liten och luften blir relativt torr. Är marken istället fuktig, eller om luften strömmar fram över öppet vatten kan den ta upp stora mängder fukt. Olika typer av vädersystem ger sen olika förutsättningar för nederbörd. För Sveriges del är högtrycksdominerat väder förknippat med små nederbördsmängder medan väderlägen förknippade med lågtryck och tillhörande fronter ger oss mycket nederbörd (Kjellström et al., 2022a).

IPCCs syntesrapport från 2021 visar att nederbörden över kontinenterna har ökat sen mitten av 1900-talet, med större ökning från omkring 1980. För havsområden är förändringarna mer osäkra till följd av avsaknad av direkta nederbördsmätningar och svårigheter att med hjälp av enbart satelliter uppskatta nederbördsmängderna. För Sveriges del visar SMHIs klimatindikator en ökning av årsnederbörden i Sverige, åtminstone sedan 1930-talet. Liksom för temperatur finns en rad osäkerhetsfaktorer när det gäller nederbördsmätningar. Bland annat har mätutrustning ändrats över tid i och med införande av avdunstningsskydd och vindskydd. Årsmedelnederbörden för Sverige låg omkring 600 millimeter fram till mitten av 1970-talet. Därefter har årsnederbörden ökat och är nu närmare 700 millimeter som ett medelvärde för hela landet. Ändringarna i nederbörd uppvisar variationer över tid. Till exempel är ökningen av nederbörden störst under hösten och vintern i det långa tidsperspektivet från början av 1900-talet. Mellan 1991–2020 och 1961–1990 var istället ökningen störst under sommarmånaderna och vintern.

Utöver ändringar i säsongsnederbörd visar SMHIs klimatindikatorer också på förändringar i extrem nederbörd. Resultaten är inte lika tydliga som för årsnederbörd men ett urval av observationsstationer med långa tidsserier visar på ökad extrem nederbörd under vintern sedan början av 1900-talet. Tittar man på samtliga nederbördsstationer noterar vi att även den absolut största dygnsnederbörden har ökat i Sverige sedan 1881. Detta är i samstämmighet med observationer från andra länder i regionen. Till exempel visar Dyrddal et al. (2021) att den årligt största dygnsnederbörden har ökat i den baltisk-nordiska regionen vilket också inkluderar en rad av de svenska stationerna som utgör underlag för SMHIs klimatindikatorer.

Trots ökningen av vinternederbörden ser vi en minskning av antalet dagar med snötäcke, vilket är kopplat till stigande temperaturer. Snösäsongens längd blir i medeltal kortare och det är också fler dagar under själva vintern då temperaturen når upp över

noll grader vilket leder till snösmältning och ökat inslag av helt snöfria dagar. Antalet dagar med snötäcke har generellt minskat sedan 1950-talet. För maximalt snödjup är inte förändringarna lika tydliga för landet som helhet. I södra Sverige finns dock tendenser mot mindre maximalt snödjup sen omkring 1990. Förändringarna är konsistenta med förändringar i ett större geografiskt perspektiv. IPCC (2021) pekar på att snösäsongen på hela norra halvklotet blivit kortare åtminstone sen 1978, främst till följd av tidigare snösmältning på våren. Sen början av 1980-talet noteras också en generell minskning i maximalt vatteninnehåll i snön innan vårens snösmältning kommer igång på norra halvklotet.

4.3 Ökande solinstrålning under de senaste decennierna

Klimatindikatorn för globalstrålning (solinstrålning) börjar först 1983 och visar på en ökning med ca 10% fram till idag. Liknande tendenser för solinstrålningen ses i stora delar av Europa (Wild et al. 2021). Mätningar både i Sverige och på andra håll i Europa utförda före 1980-talet tyder på att solinstrålningen var högre under 1950- och 1960-talet än under 1980-talet. Nedgången från 1950-talet till 1980-talet och den därpå följande ökningen in på början av 2000-talet benämns ofta inom den internationella klimatforskningen för "global dimming" och "global brightening". Namnet global syftar till observationerna av just globalstrålningen, och inte som man lätt leds att tro till att det är en global företeelse.

I Stockholm där globalstrålningen observerats sedan 1922 ses en ökning av globalstrålningen fram till runt 1950, följt av en nedgång under "global dimming" till mitten av 1980-talet, och därefter den fortfarande pågående perioden av "global brightening". Tack vare några riktigt soliga år i slutet av 1960-talet och mitten på 1970-talet var nedgången under global dimming inte lika jämn i Stockholm som exempelvis i Potsdam, Tyskland (Wild et al. 2021).

Det är ännu inte fastlagt i vilken utsträckning som moln eller aerosolpartiklar, eller en kombination av deras påverkan, bidragit till de långsiktiga förändringarna i solinstrålningen. Moln och partiklar i atmosfären är nära sammankopplade och det är därmed svårt att reda ut dess enskilda bidrag. Flera studier pekar på att aerosolerna (antropogena utsläpp av främst sot och svaveldioxid) borde vara den viktigaste faktorn från 1950-talet till 1980-talet på norra halvklotet (Wild et al. 2021). Därefter började partikelhalterna minska igen tack vare förbättrad rening och utsläppsbegränsningar. Dessa förändringar stämmer väldigt väl i tiden med faserna av "global dimming" och "global brightening". Andra studier indikerar att förändringar i molnigheten varit en viktig orsak till den fortsatta upplärningen över Skandinavien (Devasthale et al. 2021).

Moln och reflekterande partiklar i atmosfären påverkar strålningsförhållanden i atmosfären på två olika sätt. Dels kan de minska solinstrålningen till jordytan och därigenom verka kylande. Dels kan de istället absorbera värmestrålning från mark och atmosfär och därigenom verka uppvärmande. Vad nettoeffekten på energibalansen vid jordytan blir beror på när, var och hur molnigheten ändras liksom hur partikelhalter och partiklarnas egenskaper förändras.

4.4 Ingen tydlig ändring i vindklimatet

I motsats till de andra betraktade variablerna ser vi ingen tydlig långsiktig förändring för den beräknade geostrofiska vinden. Både positiva och negativa trender förekommer beroende på period och plats i Sverige. De negativa trenderna dominerar och sammanlagt finns en tendens till en minskning av medelvindhastigheten i Sverige (differensen mellan 1961–1990 och 1991–2020 är -0,7 %). Dock är reduceringen så liten

att den inte är statistiskt signifikant. Resultatet är jämförbart med Wern och Barring (2009) som kom fram till att medelvindhastigheten för Sverige har minskat med 4 % under perioden 1951–2008. Även i ett större geografiskt perspektiv har en viss minskning av vindhastigheten observerats sedan 1970-talet i många områden på jorden. Denna så kallade "global stilling" har avstannat något sen omkring 2010 då vindhastigheterna ökat något igen (IPCC, 2021).

Likadant som för geostrofisk medelvindhastighet finns en tendens till en minskning av antal tillfällen med geostrofisk vindhastighet över 25 m/s. Men även här är minskningen så liten att den inte är statistiskt signifikant och det går inte att säga att vare sig frekvens eller intensitet av stormar har ändrats i Sverige utifrån SMHIs klimatindikatorer för geostrofisk vind. Detta är konsistent med en analys för hela Östersjöområdet där Rutgersson et al. (2021) visar att den stora naturliga variabiliteten gör att det inte går att se någon trend.

5 Referenser

- Alexandersson, H., 2002. Temperatur och nederbörd i Sverige 1860–2001.
- Alexandersson, H., 2006. Vindstatistik för Sverige 1961–2004, SMHI serie METEOROLOGI Nr 121/2004, tillgänglig: <https://www.smhi.se/publikationer/vindstatistik-for-sverige-1961-2004-1.10007>
- Bergström, H. och Moberg, A., 2002. Daily air temperature and pressure series for Uppsala (1722–1998). In Improved Understanding of Past Climatic Variability from Early Daily European Instrumental Sources (s. 213-252). Springer, Dordrecht
- Björnsson, H. och Venegas, S. A. 1997. A manual for EOF and SVD analyses of climatic data. CCGCR Report 97. Centre for Climate and Global Change Research, McGill University, tillgänglig: <http://www.geog.mcgill.ca/gec3/wp-content/uploads/2009/03/Report-no.-1997-1.pdf>
- Boverket, 2010. Erfarenheter från takras i Sverige vintern 2009/2010, En delredovisning av Boverkets regeringsuppdrag M2010/2276/H, tillgänglig: <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2010/takras-i-sverige.pdf>
- Caussinus, H. och Mestre, O., 2004. Detection and correction of artificial shifts in climate series. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 53(3), s. 405-425
- Chambers, J. M., 1992. Linear models. Chapter 4 of *Statistical Models in S* eds J. M. Chambers and T. J. Hastie, Wadsworth & Brooks/Cole.
- Devasthale, A., Carlund, T., Karlsson, K.G., 2022. Recent trends in the agrometeorological climate variables over Scandinavia, *Agricultural and Forest Meteorology*, 316, 108849, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.108849>.
- Domonkos, P., 2022. ACMANT v.4: Scientific content and operation of the software
- Dyrddal, A.V., Olsson, J., Médus, E., Arnbjerg-Nielsen, K., Post, P., Aniskevica, S., Thorndahl, S., Førland, E, Wern, L, Maciulyte, V., Mäkelä, A., 2021. Observed changes in heavy daily precipitation over the Nordic-Baltic region: *Journal of Hydrology: Regional Studies* 38 (2021) 100965
- Hegerl, G.C., Brönnimann, S., Schurer, A. och Cowan, T., 2018. The early 20th century warming: Anomalies, causes, and consequences. *WIREs Clim Change*; 9:e522. <https://doi.org/10.1002/wcc.522>
- 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, och B. Zhou (red.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Storbritannien och New York, NY, USA, 2338 sid., doi:10.1017/9781009157896.
- IPCC, 2022. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösckke, V. Möller, A. Okem och B. Rama (red.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, Storbritannien och New York, NY, USA, 3056 sid., doi:10.1017/9781009325844.

- Joelsson, L. M. T., Sturm, C., Södling, J., Engström, E., och Kjellström, E., 2022a. Automation and evaluation of the interactive homogenization tool HOMER. *International Journal of Climatology*, 42(5), 2861–2880. <https://doi.org/10.1002/joc.7394>
- Joelsson, L. M. T., Engström, E. och Kjellström, E., 2022b. Homogenisation of Swedish mean monthly temperature series 1860–2021. *International Journal of Climatology*.
- Joelsson, L. M. T., 2022. Homogenisering av månadsmedeltemperatur 1860–2021, SMHI serie KLIMATOLOGI nr 59, under granskning.
- Johansson, B., 2002. Estimation of areal precipitation for hydrological modelling in Sweden. Doktorsavhandling nr. A76. Institutionen för geovetenskaper, Göteborgs universitet.
- Josefsson, W. 2019. Long-term global radiation in Stockholm, 1922–2018, SMHI serie METEOROLOGI Nr 165, tillgänglig: <https://www.smhi.se/publikationer/publikationer/long-term-global-radiation-in-stockholm-1922-2018-1.145705>
- Folkhälsomyndigheten, 2019. Folkhälsomyndighetens åiterrapportering av regeringsuppdrag om kunskapsstöd angående värmeböljor. Östersund: Folkhälsomyndigheten. 02846-2018-1.1.1.
- Kjellström, E., Hansen, F. och Belušić, D., 2021. Betydelsen av storskalig atmosfärisk cirkulation för Sveriges temperatur- och nederbörds klimat: En jämförelse av normalperioder. *Klimatologi* 61, SMHI, SE-60176 Norrköping. ISSN: 1654–2258, 36 sid.
- Kjellström, E., Hansen, F. and Belušić, D. (2022a): Contributions from changing large-scale atmospheric conditions to changes in Scandinavian temperature and precipitation between two climate normals. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 74, 204–221. DOI: <http://doi.org/10.16993/tellusa.49>
- Kjellström, E., Andersson, L., Arneborg, L., Berg, P., Capell, R., Fredriksson, S., Hieronymus, M., Jönsson, A., Lindström, L. och Strandberg, G. (2022b): Klimatinformation för samhällets klimatanpassningsarbete. *Klimatologi* 64, SMHI, SE-60176 Norrköping. ISSN: 1654-2258, 85 pp.
- Kopp, G. och Shapiro, A., 2021. Irradiance Variations of the Sun and Sun-Like Stars – Overview of Topical Collection. *Sol Phys* 296, 60. <https://doi.org/10.1007/s11207-021-01802-8>
- de Laat, A. T. J. och M. Crok, 2013. A Late 20th Century European Climate Shift: Fingerprint of Regional Brightening?, *Atmospheric and Climate Sciences*, Vol. 3, No. 3, p. 291-300, doi: 10.4236/acs.2013.33031
- Meier, H. E. M., Kniebusch, M., Dieterich, C., Gröger, M., Zorita, E., Elmgren, R., Myrberg, K., Ahola, M. P., Bartosova, A., Bonsdorff, E., Börgel, F., Capell, R., Carlén, I., Carlund, T., Carstensen, J., Christensen, O. B., Dierschke, V., Frauen, C., Frederiksen, M., Gaget, E., Galatius, A., Haapala, J. J., Halkka, A., Hugelius, G., Hünicke, B., Jaagus, J., Jüssi, M., Käyhkö, J., Kirchner, N., Kjellström, E., Kulinski, K., Lehmann, A., Lindström, G., May, W., Miller, P. A., Mohrholz, V., Müller-Karulis, B., Pavón-Jordán, D., Quante, M., Reckermann, M., Rutgersson, A., Savchuk, O. P., Stendel, M., Tuomi, L., Viitasalo, M., Weisse, R., and Zhang, W., 2022: Climate change in the Baltic Sea region: a summary, *Earth Syst. Dynam.*, 13, 457–593, <https://doi.org/10.5194/esd-13-457-2022>

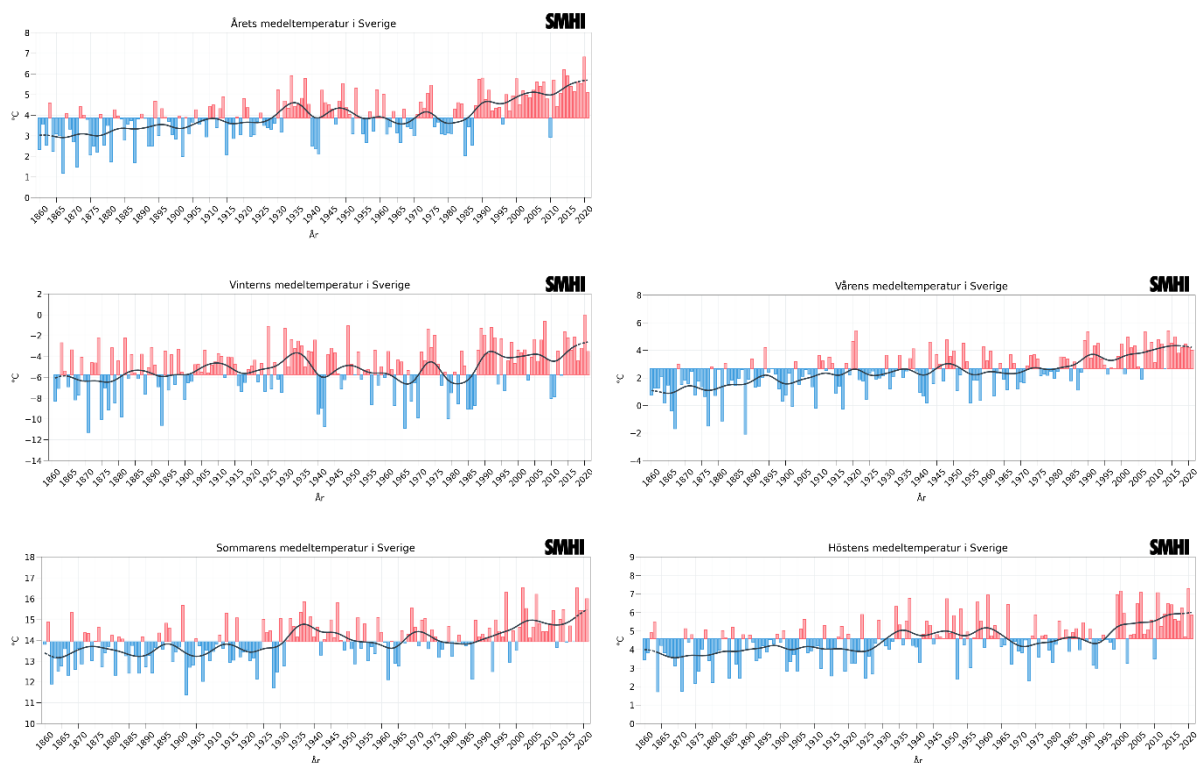
- Meteorologiska Centralanstalten (MCA), 1914. Bihang till Meteorologiska iakttagelser i Sverige: beräkningar av luftens månadsmedeltemperatur vid de svenska meteorologiska stationerna. Band 56, 2:ndra serien band 42. Almqvist & Wiksell boktryckeri AB, Stockholm
- Moberg, A., Bergström, H., Krigsman, J.R. och Svanered, O., 2002. Daily air temperature and pressure series for Stockholm (1756–1998). In Improved understanding of past climatic variability from early daily European instrumental sources (s. 171-212). Springer, Dordrecht.
<https://doi.org/10.1023/A:1014966724670>
- Montillet, J.-P., Finsterle, W., Kermarrec, G., Sikonja, R., Haberreiter, M., Schmutz, W., och Dudok de Wit, T., 2022. Data fusion of total solar irradiance composite time series using 41 years of satellite measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 127, e2021JD036146. <https://doi.org/10.1029/2021JD036146>
- Quaas, J., Jia, H., Smith, C., Albright, A. L., Aas, W., Bellouin, N., Boucher, O., Doutriaux-Boucher, M., Forster, P. M., Grosvenor, D., Jenkins, S., Klimont, Z., Loeb, N. G., Ma, X., Naik, V., Paulot, F., Stier, P., Wild, M., Myhre, G., och Schulz, M., 2022. Robust evidence for reversal in the aerosol effective climate forcing trend, *Atmos. Chem. Phys. Discuss*, <https://doi.org/10.5194/acp-2022-295>, under granskning.
- SOU 2019:7. Skogsbränderna sommaren 2018.
- Wern, L. och L. Bärring, 2009. Sveriges vindklimat 1901–2008; Analys av förändring i geostrofisk vind, SMHI serie METEOROLOGI Nr 138/2009, tillgänglig:
<https://www.smhi.se/publikationer/sveriges-vindklimat-1901-2008-analys-av-trend-i-geostrofisk-vind-1.7845>
- Wild, M., Wacker, S., Yang, S., Sanchez-Lorenzo, A., 2021. Evidence for clear-sky dimming and brightening in central Europe. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL092216. <https://doi.org/10.1029/2020GL092216>
- Wilkinson, G. N. och Rogers, C. E., 1973. Symbolic descriptions of factorial models for analysis of variance. *Applied Statistics*, 22, 392--399. Doi:10.2307/2346786.
- WMO, 2017. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals, WMO-No. 1203, ISBN: 978-92-63-11203-3,
https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=20130#.Yr7fWHZByUI
- WMO, 2022. State of the Global Climate 2021, WMO-No. 1290, ISBN: 978-92-63-11203-3,
https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=22080#.Y24NM3bMluU
- Zhou, C., Azorin-Molina, C., Engström, E., Minola, L., Wern, L., Hellström, S., Lönn, J., och Chen, D., 2022. HomogWS-se: a century-long homogenized dataset of near-surface wind speed observations since 1925 rescued in Sweden, *Earth Syst. Sci. Data*, 14, 2167–2177, <https://doi.org/10.5194/essd-14-2167-2022>.

Bilaga I

I den här bilagan sammanställs alla bilder för klimatindikatorerna temperatur, vegetationsperiodens längd, nederbörd, extrem nederbörd, snö, solinstrålning och geostrofisk vind. Bilderna hämtades den 23 september 2022 från klimatindikatorsidan: <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikatorer-1.7050>

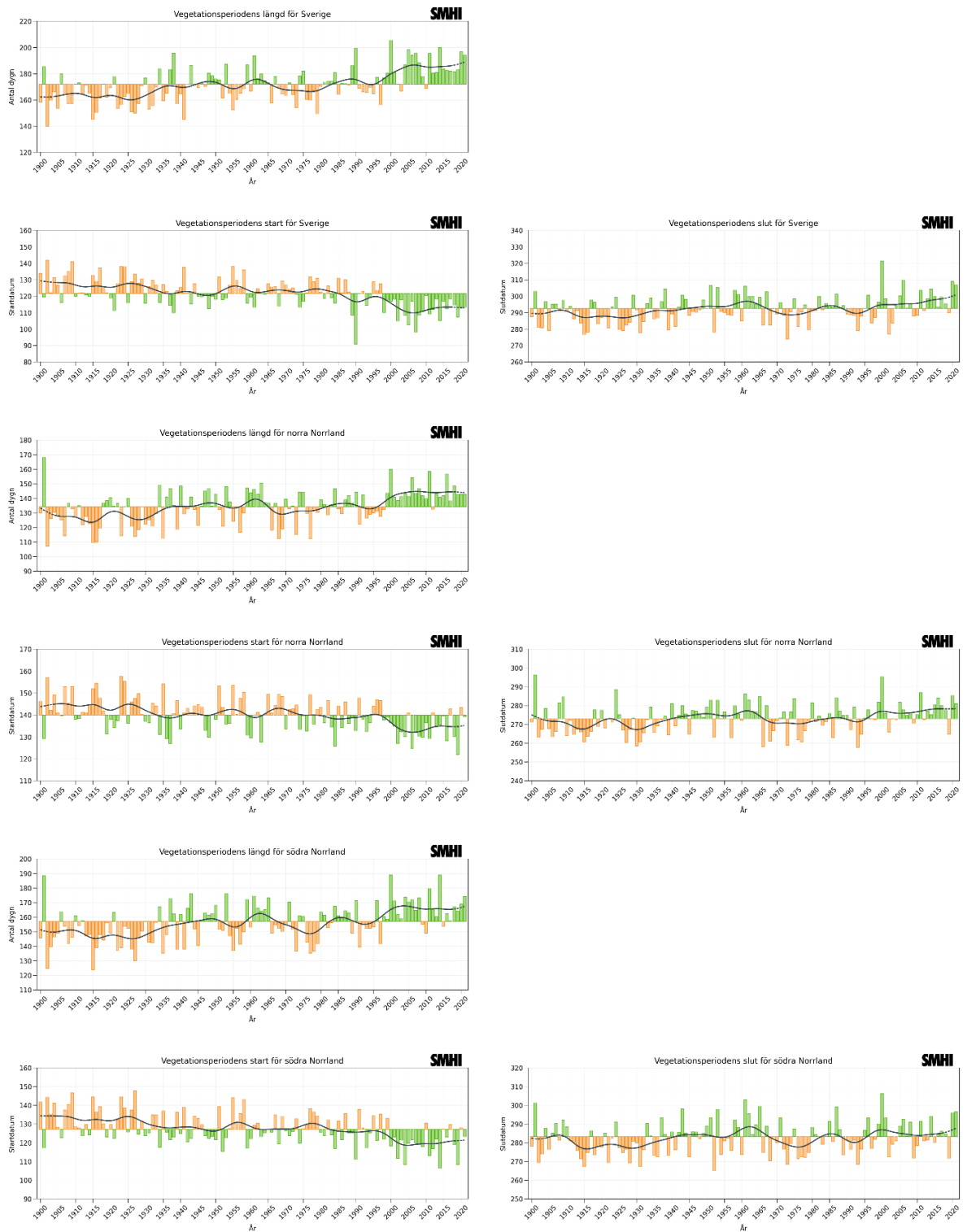
Temperatur och vegetationsperiod

Temperatur



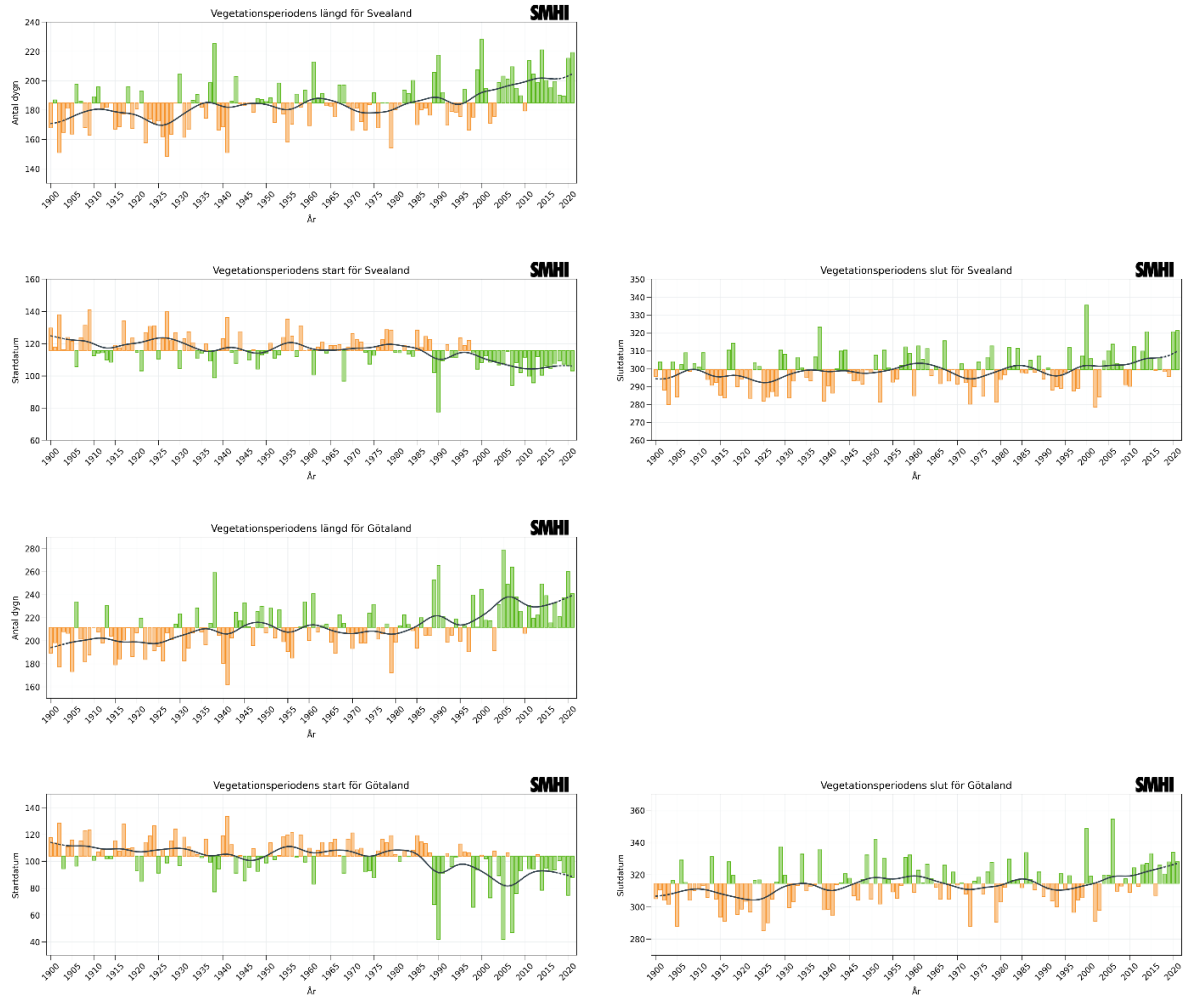
Figur 1: Genomsnittlig medeltemperatur för 456 homogeniserade tidsserier 1860–2021. Staplarna i diagrammen visar medeltemperaturen per år respektive årstid. Röda staplar visar högre och blå visar lägre temperaturer än medelvärdet för normalperioden 1961–1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.

Vegetationsperiodens längd



Figur 2: Staplarna i diagrammen visar uppmätt längd, start och slut för vegetationsperioden i Sverige samt för norra och södra Norrland. För vegetationsperiodens längd visar gröna staplar fler och orangea färre antal dygn för vegetationsperioden än medelvärdet för normalperioden 1961–1990. För vegetations-periodens start betyder gröna staplar en tidigare och orangea staplar en senare start. För vegetationsperiodens slut betyder gröna staplar ett senare och orangea staplar ett tidigare slut av vegetationsperioden än

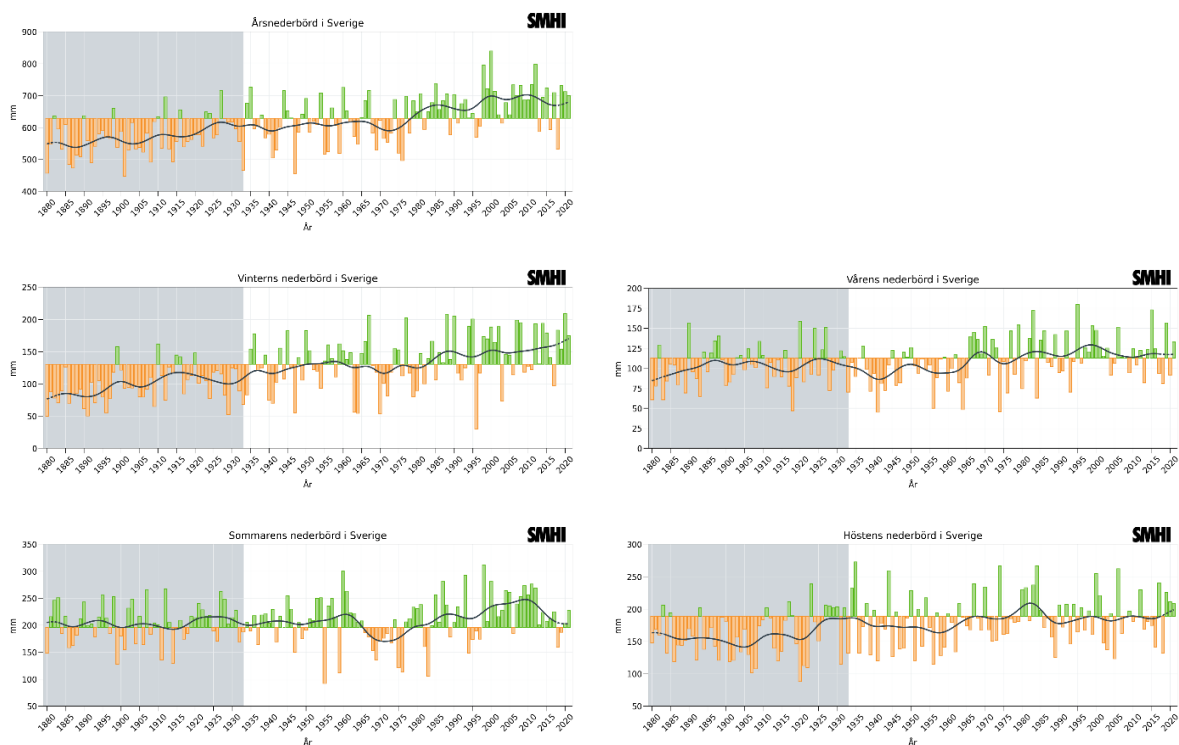
medelvärde för normalperioden 1961–1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.



Figur 3: Samma som typ av bilder som i Figur 40 men för Svealand och Götaland.

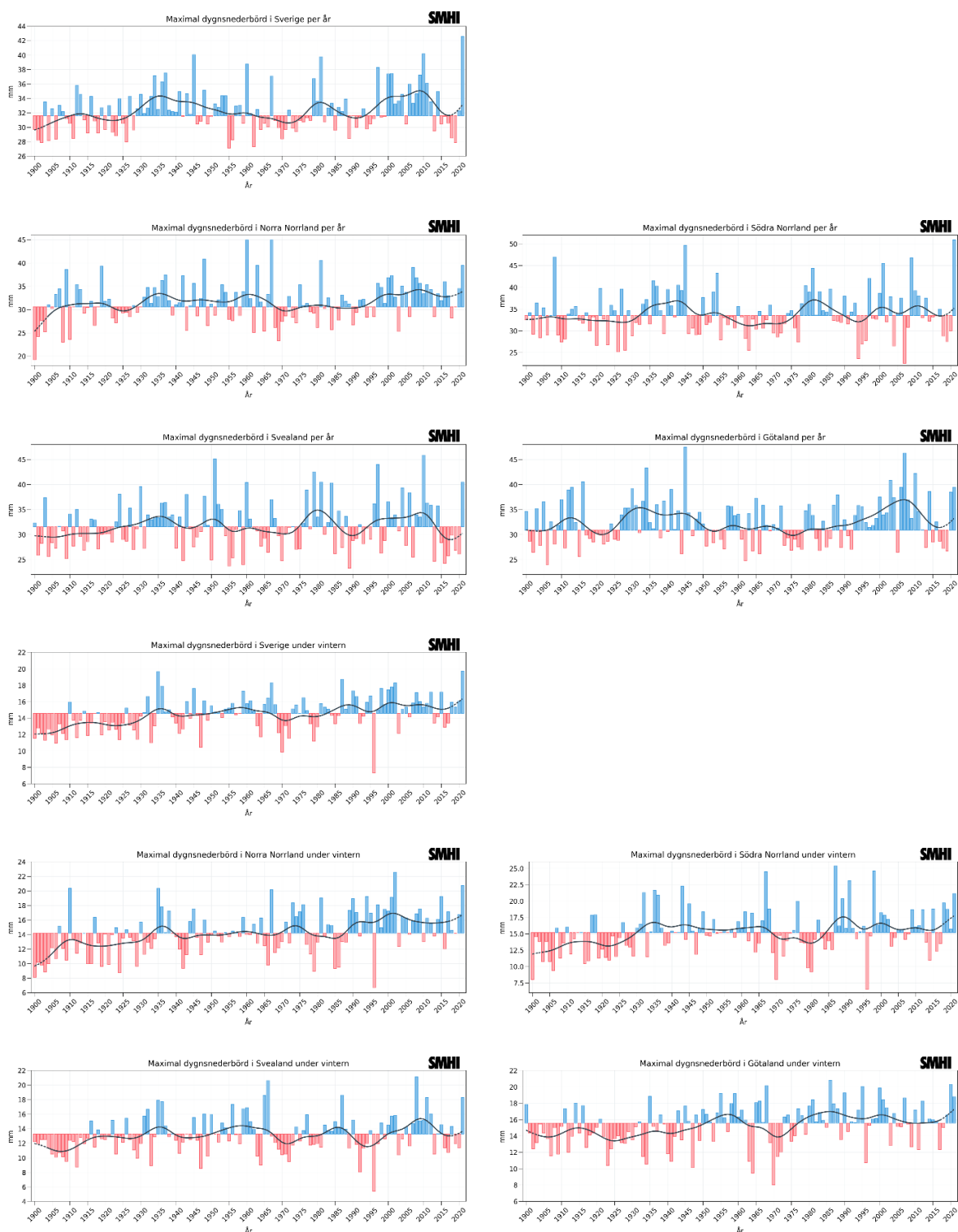
Nederbörd

Genomsnittlig års- och säsongvis nederbörd

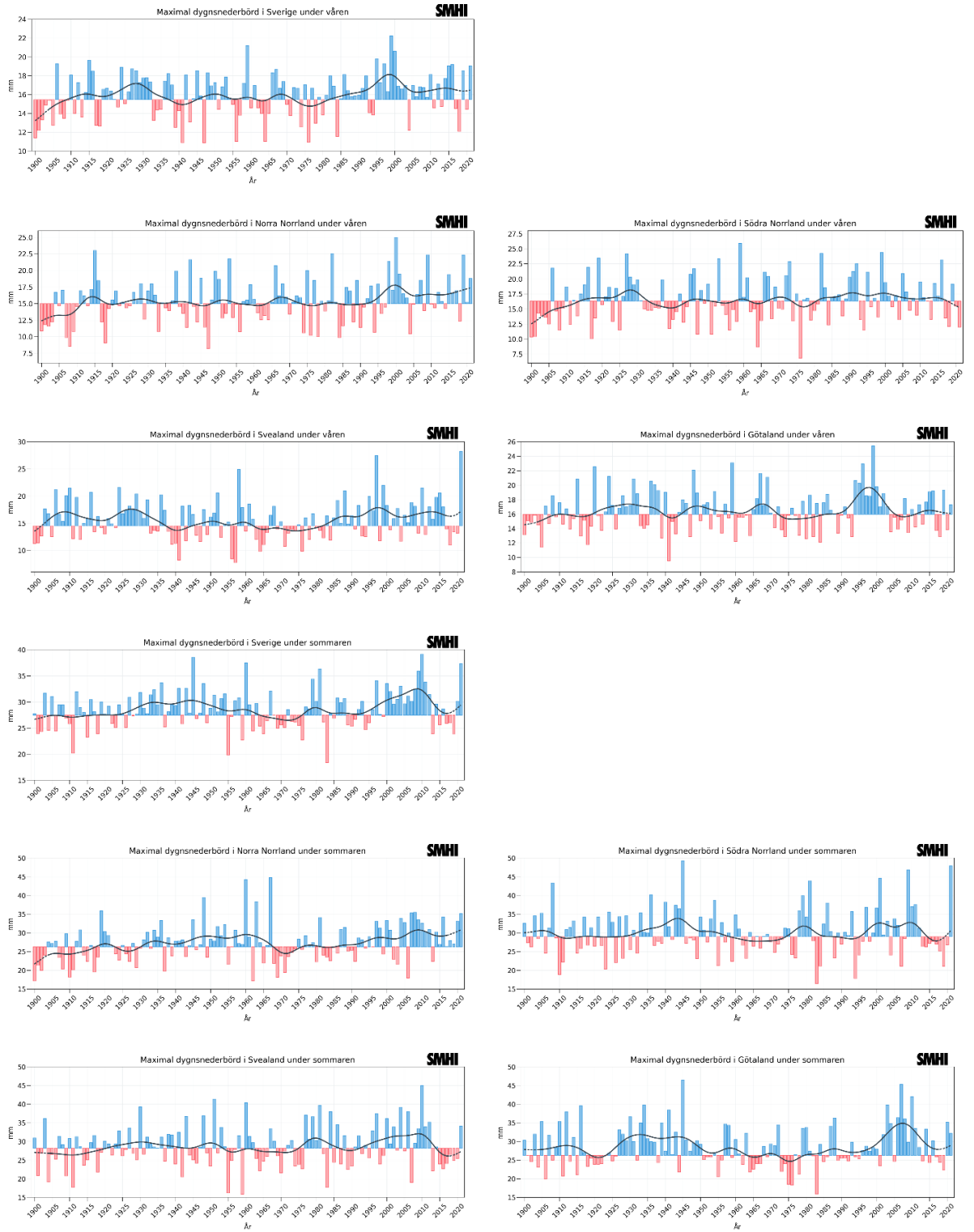


Figur 4: Staplarna i diagrammen visar summerad nederbörd per år respektive årstid för Sverige. Gröna staplar visar högre och orangea visar lägre nederbörd än medelvärdet för normalperioden 1961–1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Observationer innan år 1933 anses ha lägre tillförlitlighet än senare observationer. Detta markeras med en grå skuggning i diagrammet. Det bör iakttagas försiktighet vid eventuella klimatologiska slutsatser baserat på denna tidsperiod.

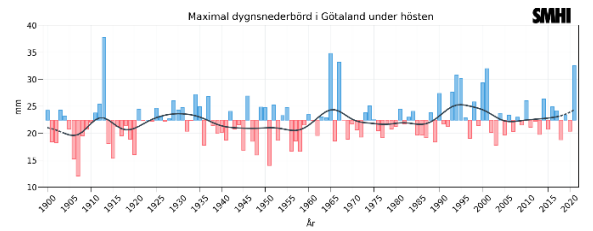
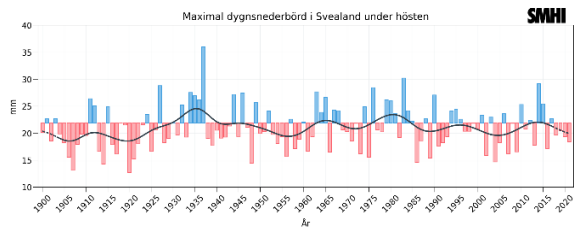
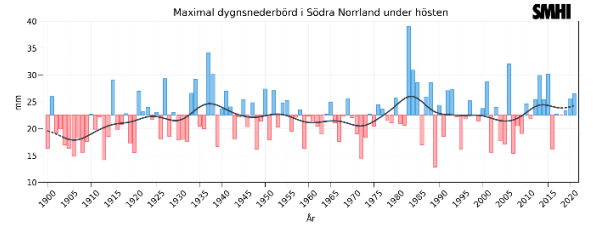
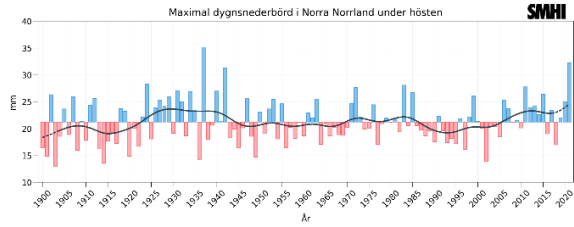
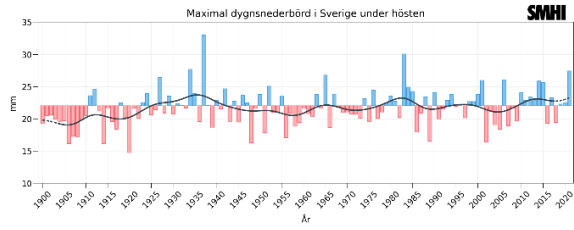
Medel av största dygnsnederbörd i Sverige



Figur 5: Staplarna i diagrammen visar maximal dygnsnederbörd i genomsnitt per station och per år samt under vintern i Sverige och i respektive landsdel enligt bildtiteln. 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.

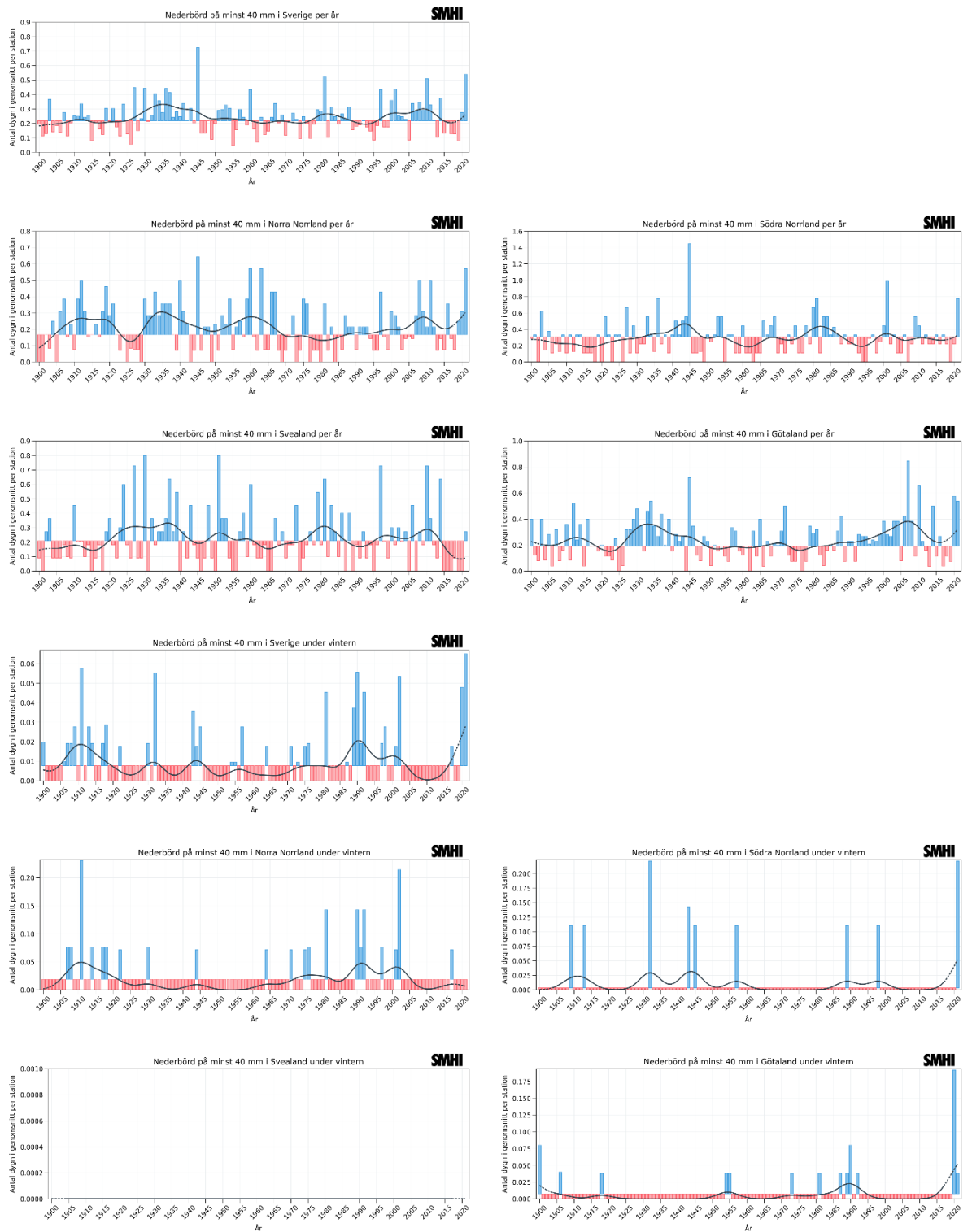


Figur 6: Samma som typ av bilder som i Figur 43 men för våren och sommaren.

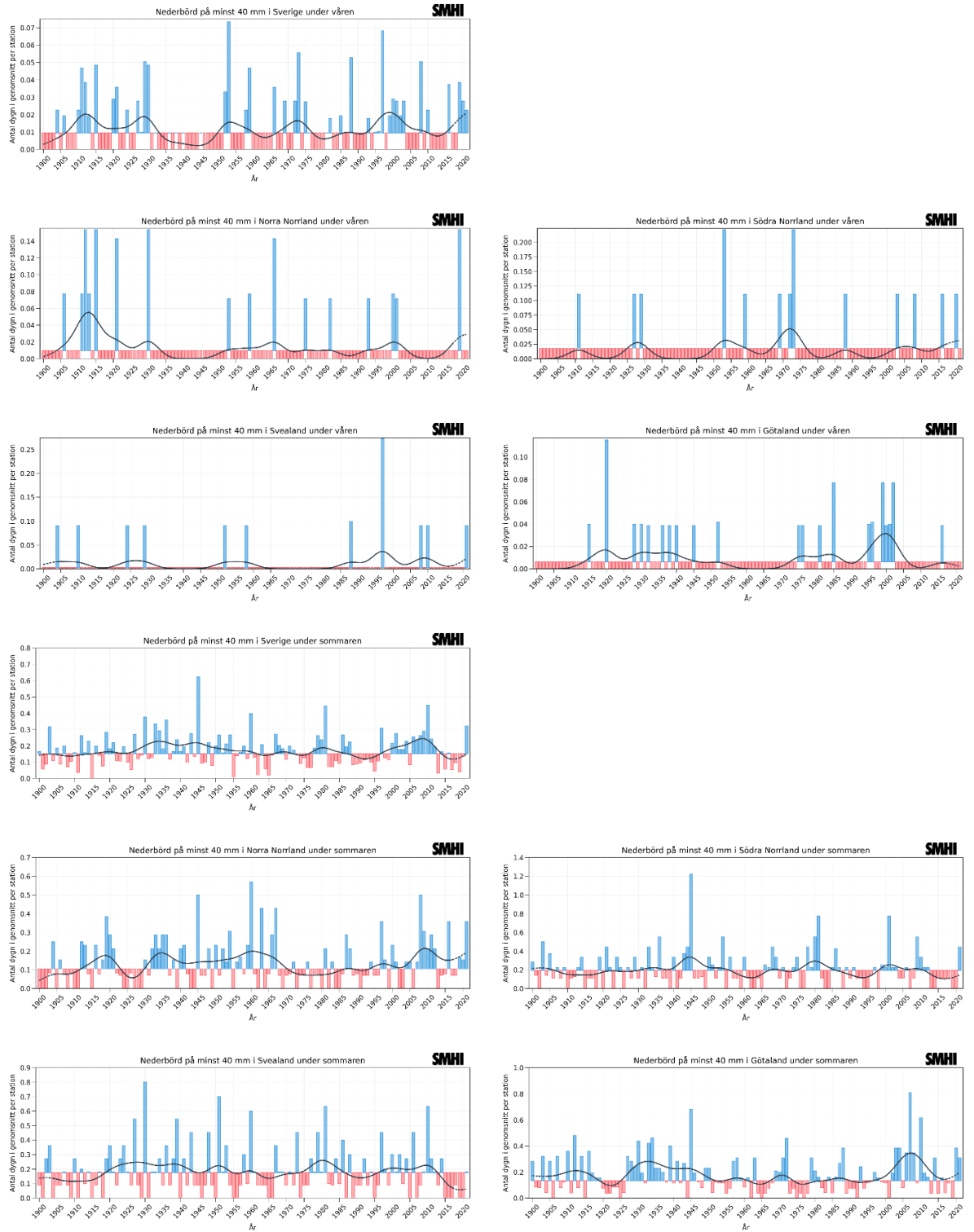


Figur 7: Samma som typ av bilder som i Figur 43 men för hösten.

Dygnsnederbörd minst 40mm i Sverige



Figur 8: Staplarna i diagrammen visar antal dygn med nederbörd på minst 40 mm i genomsnitt per station per år och under vintern i Sverige samt respektive landsdel enligt bildtiteln. 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.

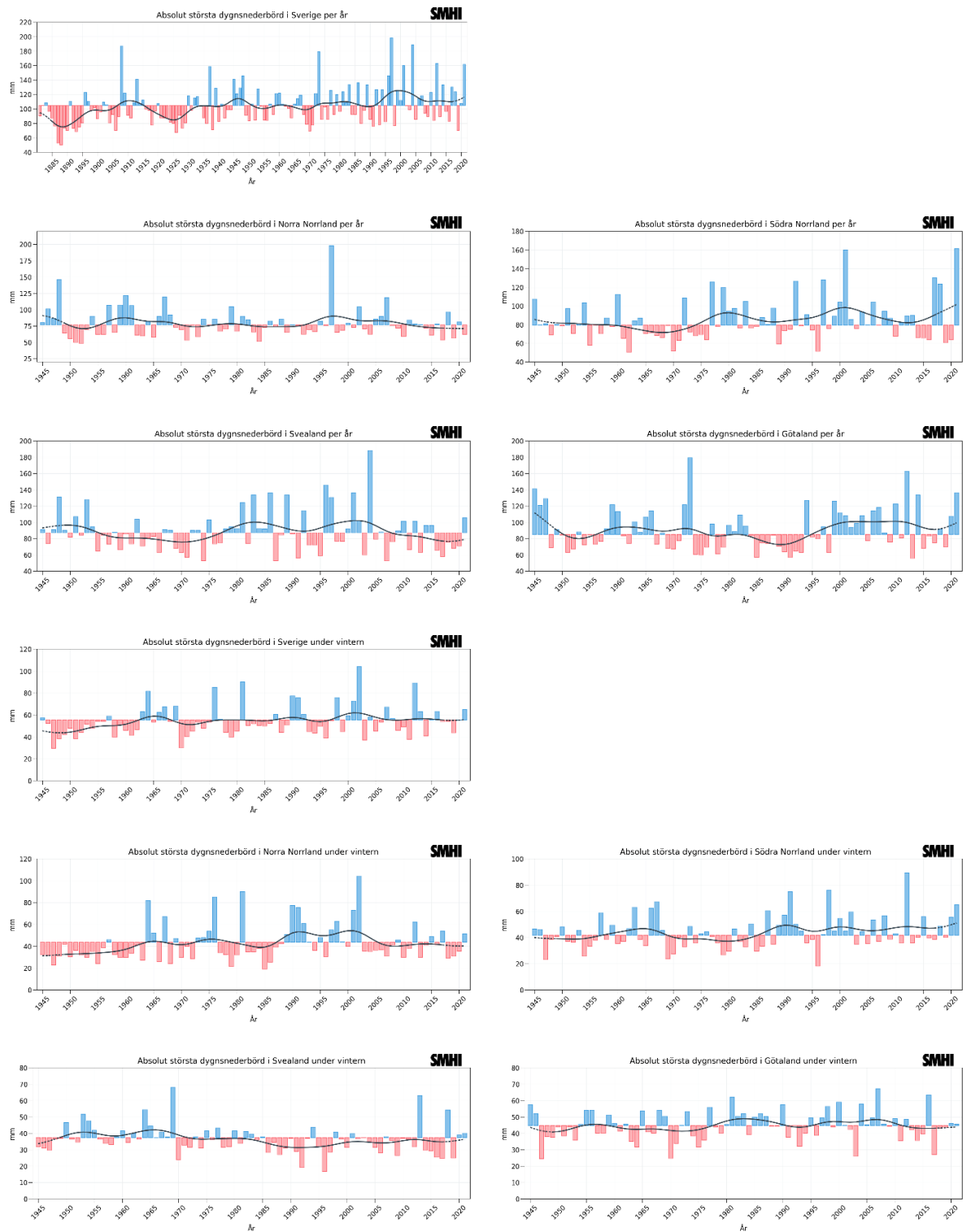


Figur 9: Samma som typ av bilder som i Figur 46 men för våren och sommaren.



Figur 10: Samma som typ av bilder som i Figur 46 men för hösten.

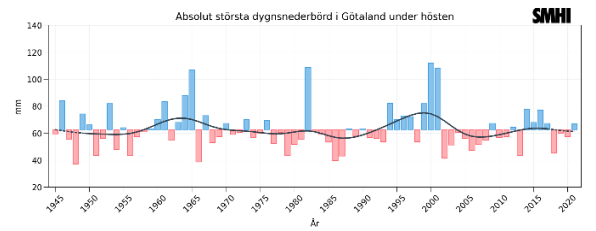
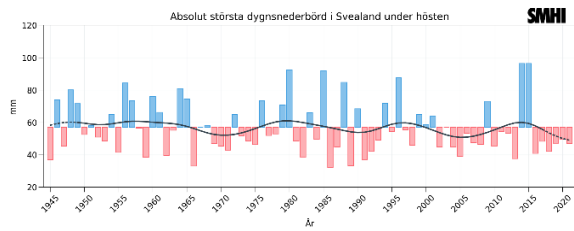
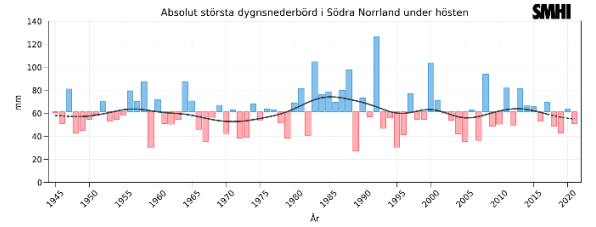
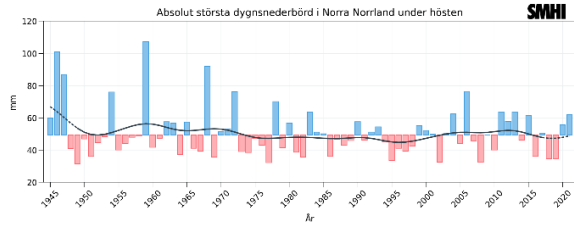
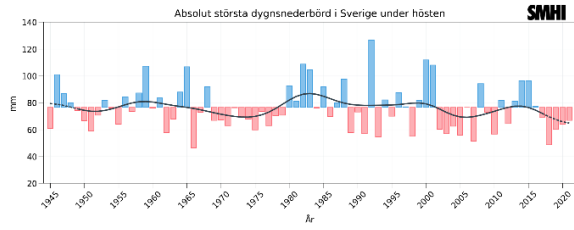
Absolut största dygnsnederbörd i Sverige



Figur 11: Staplarna i diagrammen visar absolut största dygnsnederbörd per år och under vintern i Sverige samt i respektive landsdel enligt bildtiteln. 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.

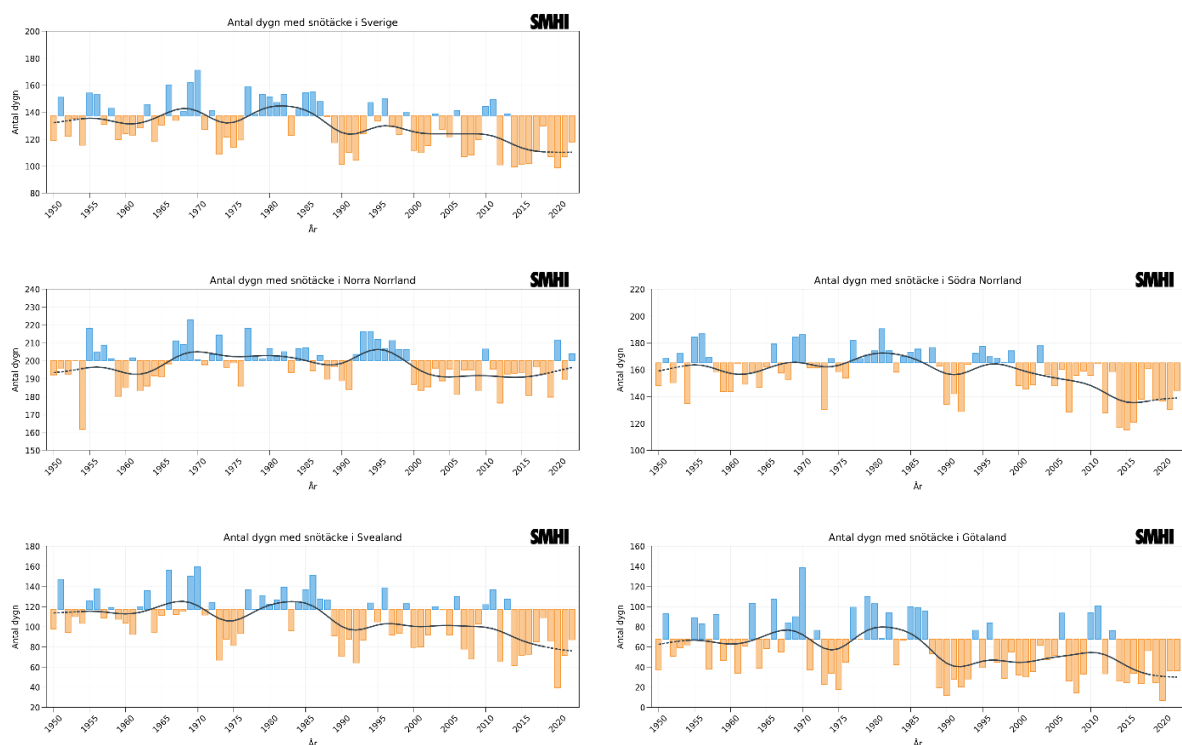


Figur 12: Samma som typ av bilder som i Figur 49 men för våren och sommaren.

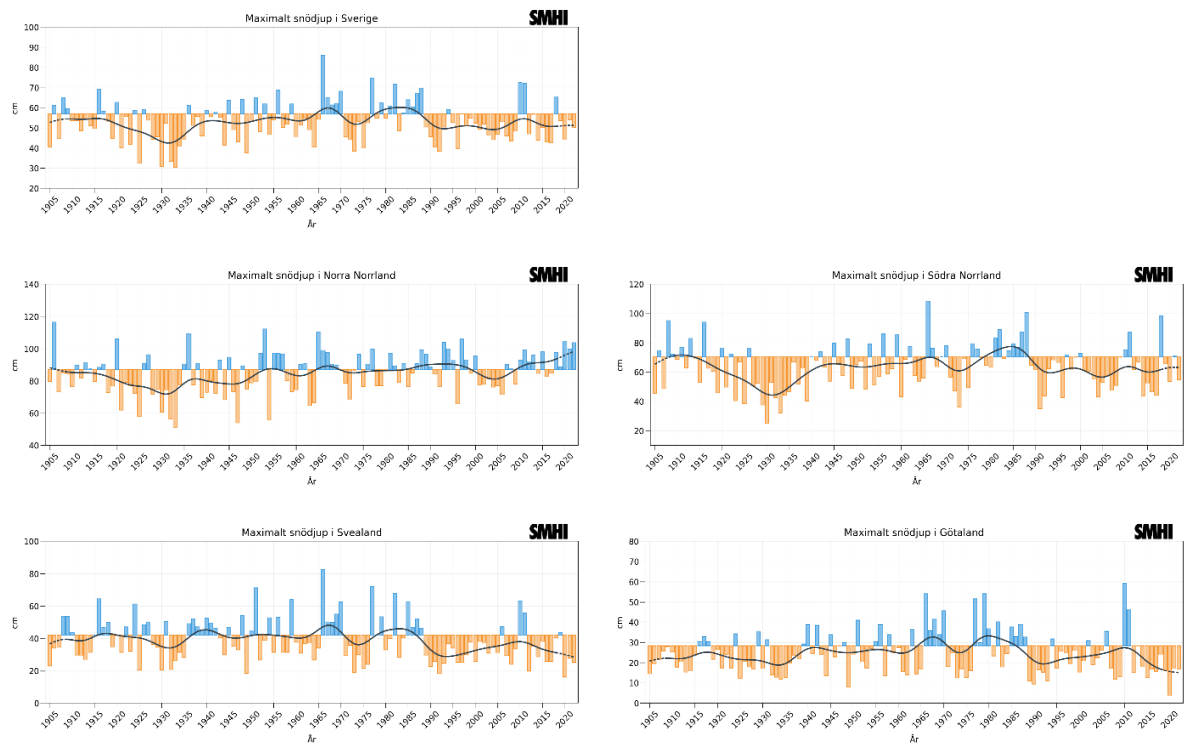


Figur 13: Samma som typ av bilder som i Figur 49 men för hösten.

Snö

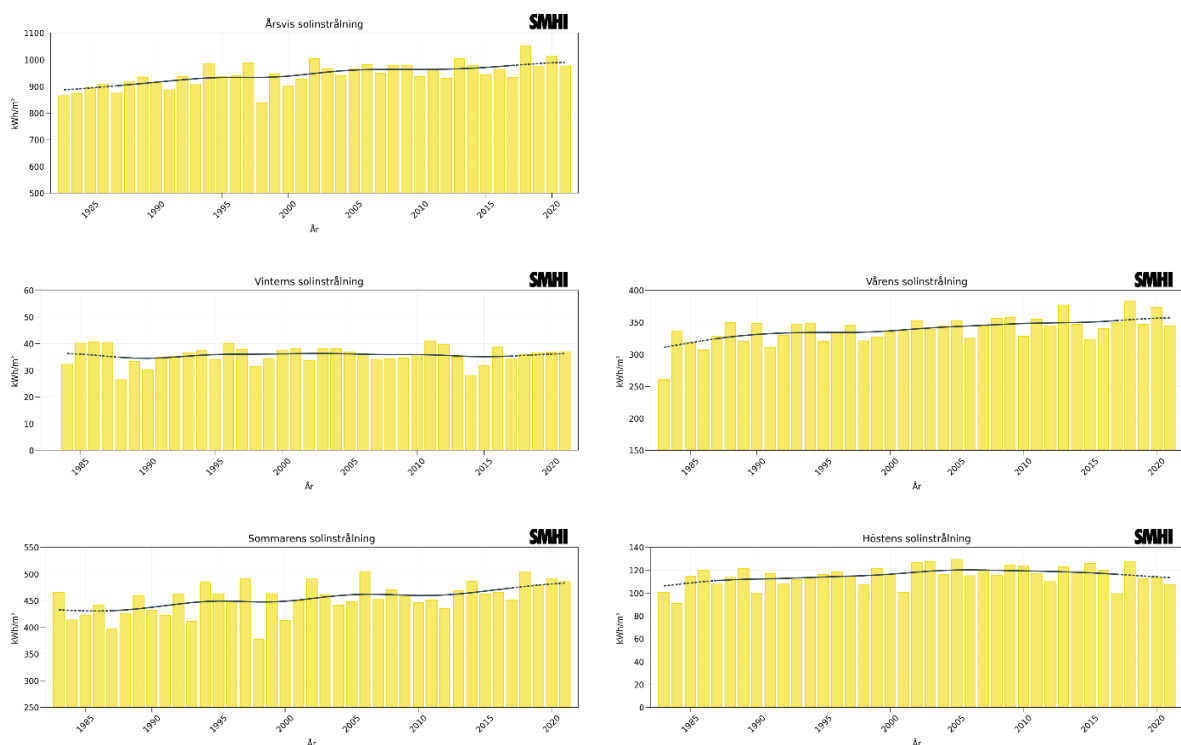


Figur 14: Staplarna i diagrammet visar antal dygn med snötäcke i Sverige samt i respektive landsdel enligt bildtiteln. Blå staplar visar fler och orangea visar färre dygn än medelvärdet för normalperioden 1961–1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Året som visas representerar det år då säsongen avslutas. Det vill säga, 2000 står för säsongen 1999/2000.

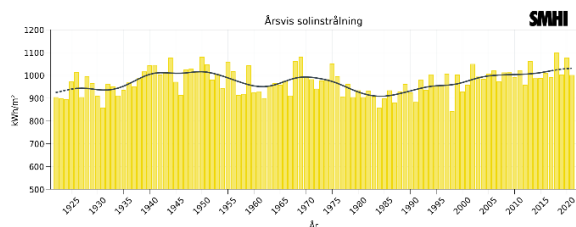


Figur 15: Staplarna i diagrammet visar maximalt snödjup i Sverige samt i respektive landsdel enligt bildtiteln. Blå staplar visar högre och orangea visar lägre snödjup än medelvärdet för normalperioden 1961–1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Året som visas representerar det år då säsongen avslutas. Det vill säga, 2000 står för säsongen 1999/2000.

Solinstrålning



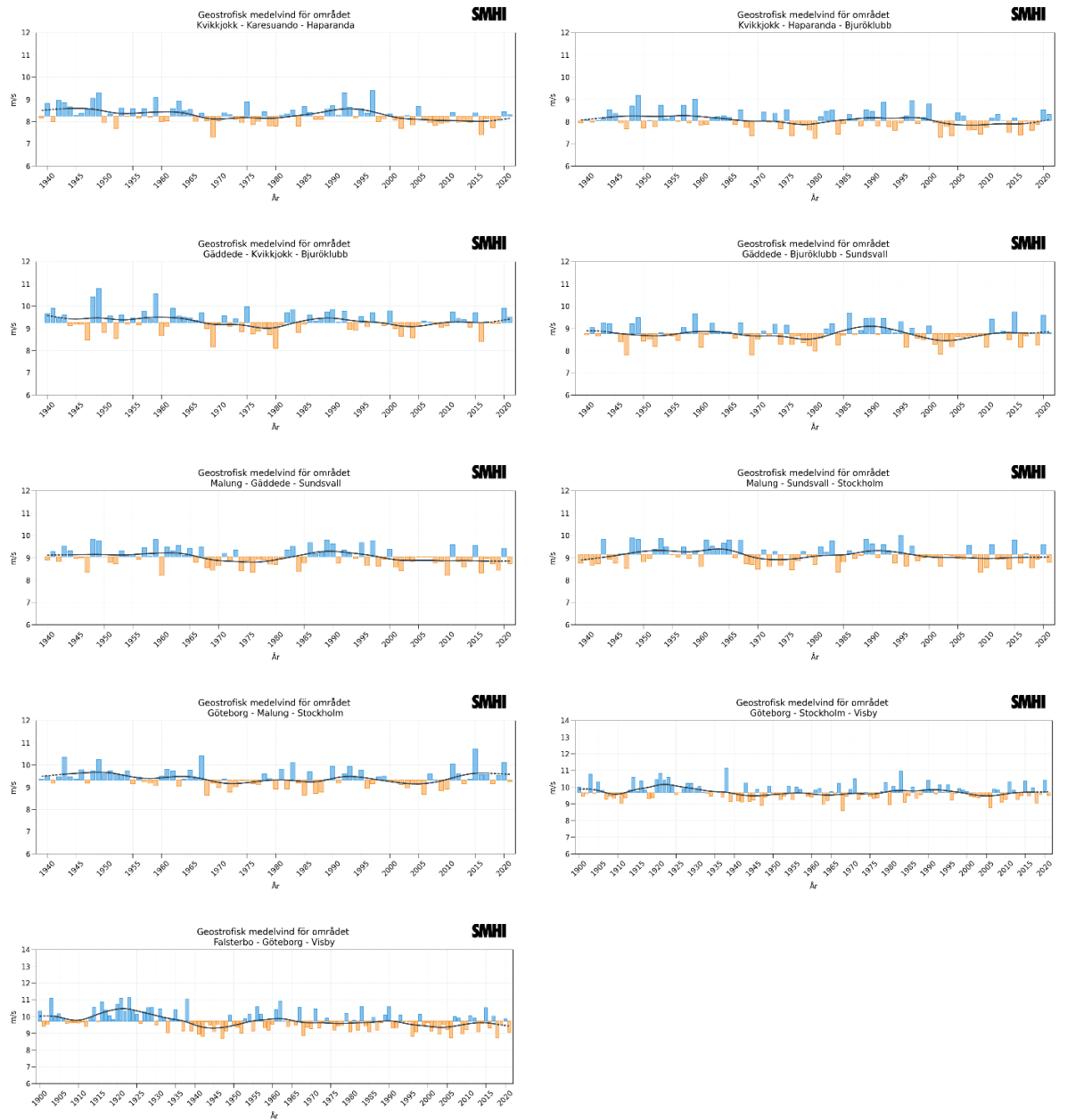
Figur 16: Genomsnittlig årsvis respektive årstidsvis solinstrålning (globalstrålning) sedan 1983 beräknat från åtta stationer. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.



Figur 17: Genomsnittlig årsvis solinstrålning (globalstrålning) för Stockholm sedan 1922. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.

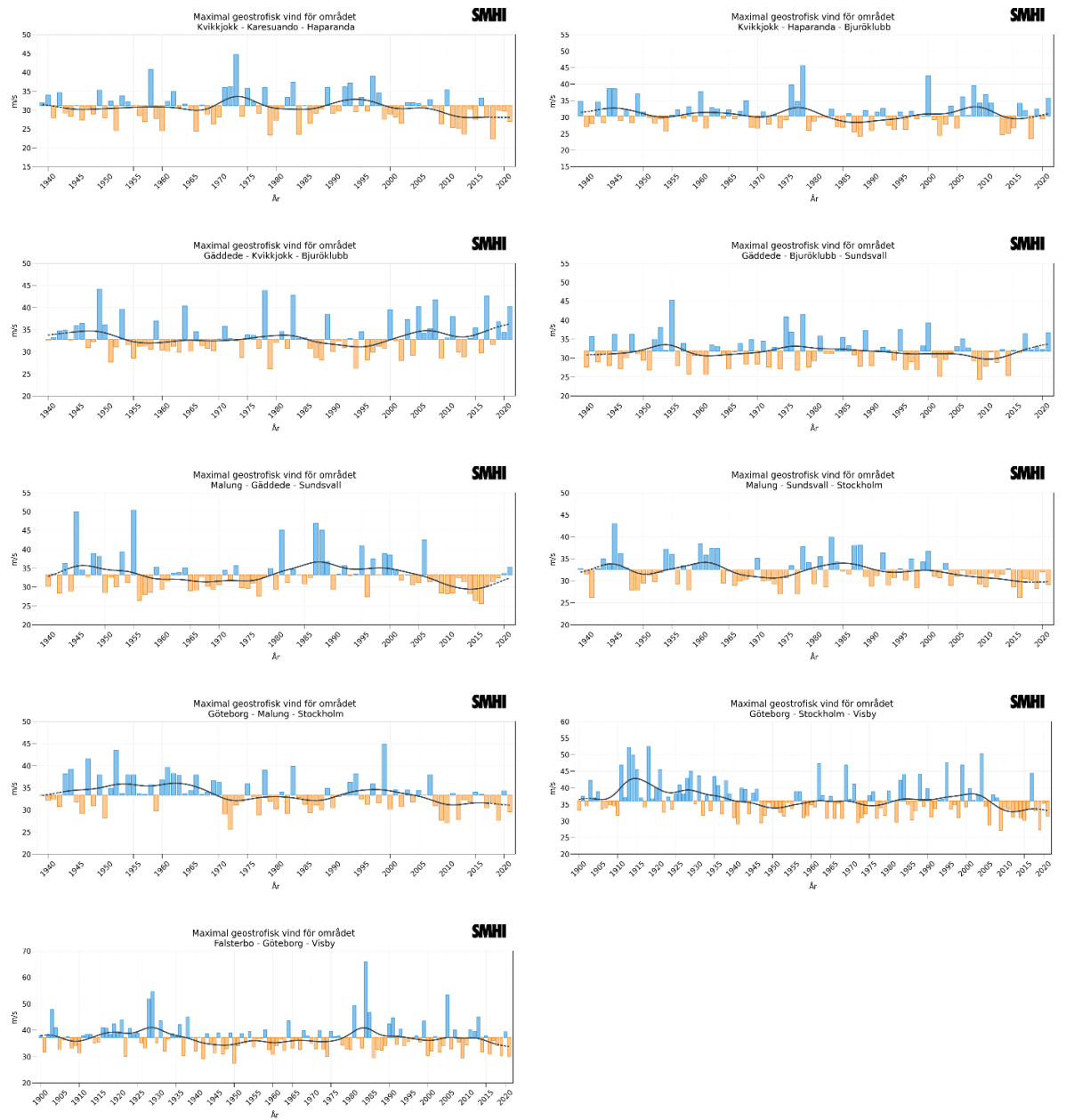
Geostrofisk vind

Medelvind



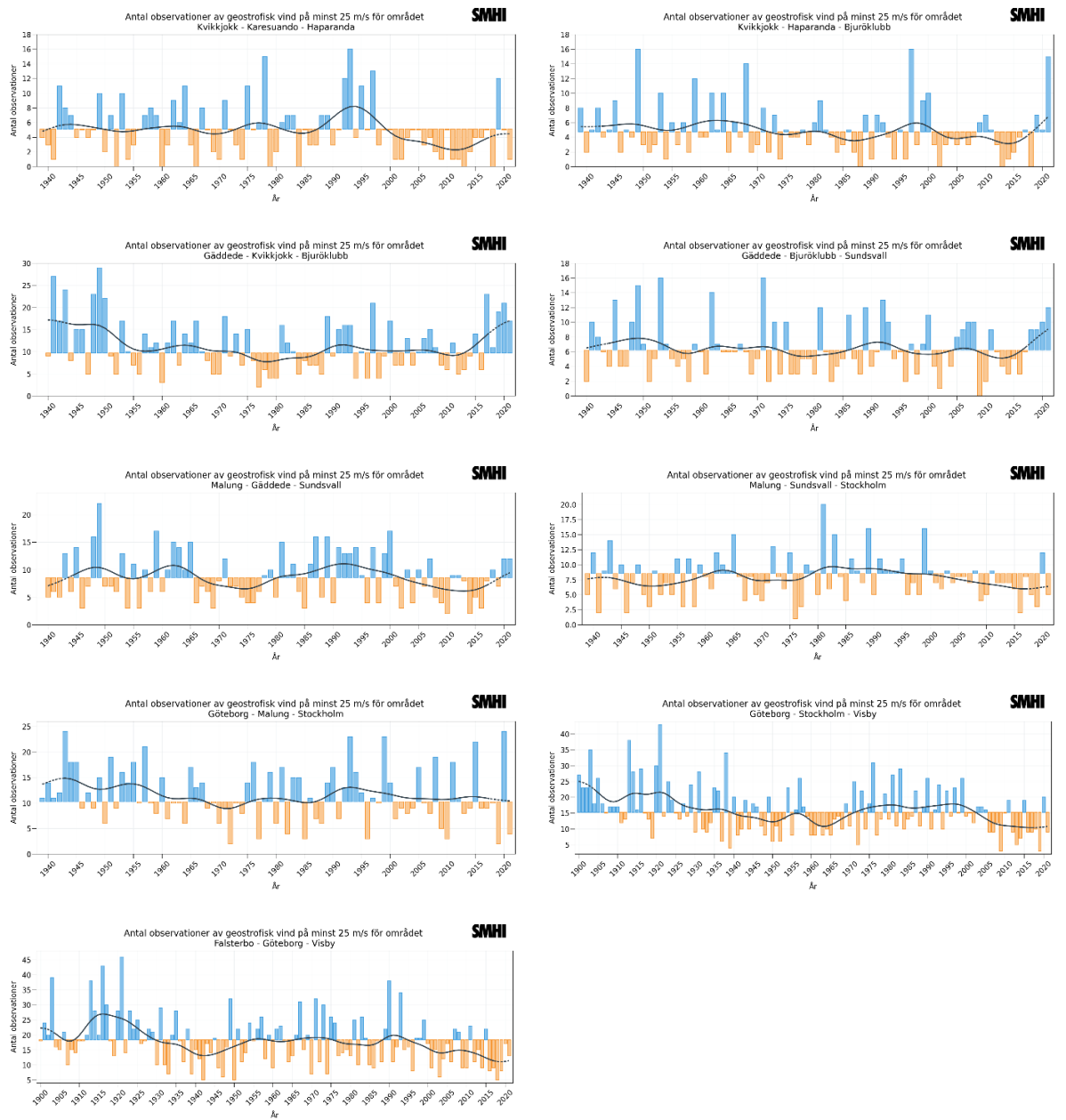
Figur 18: Staplarna i diagrammen visar geostrofisk medelvind per år för de definierade nio områdena. Blå staplar visar högre och orangea visar lägre geostrofisk medelvind än medelvärdet för normalperioden 1961–1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.

Maximal geostrofisk vind



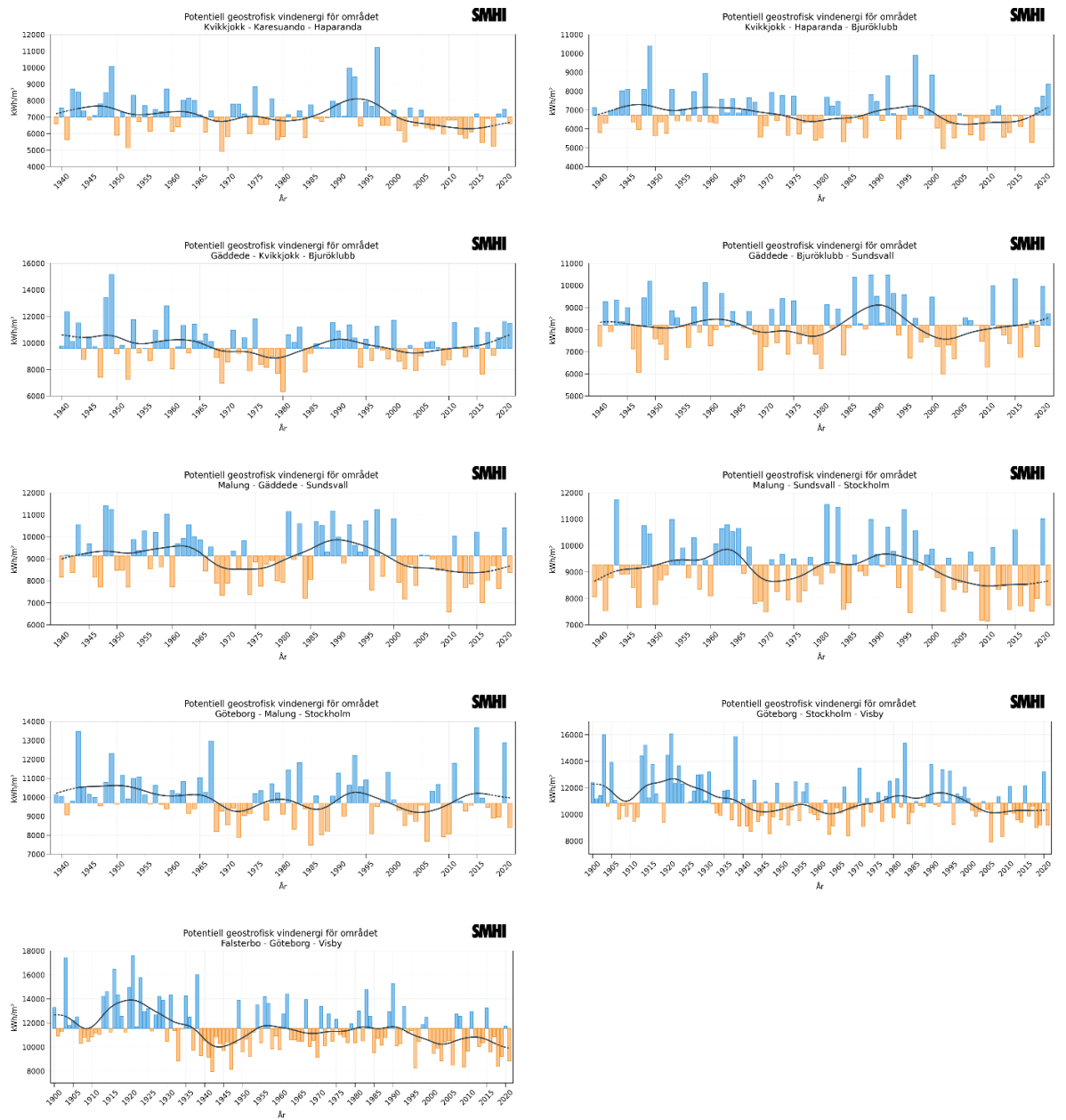
Figur 19: Staplarna i diagrammen visar maximal geostrofisk vind per år för de definierade nio områdena. Blå staplar visar högre och orangea visar lägre geostrofisk medelvind än medelvärdet för normalperioden 1961–1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.

Antal stormtilfällen på minst 25 m/s



Figur 20: Staplarna i diagrammen visar antal observationer per år av geostrofisk vind på minst 25 m/s för de definierade nio områdena. Blå staplar visar högre och orangea visar lägre geostrofisk medelvind än medelvärdet för normalperioden 1961–1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.

Vindenergipotential



Figur 21: Staplarna i diagrammen visar potentiell geostrofisk vindenergi per år för de definierade nio områdena. Blå staplar visar högre och orangea visar lägre geostrofisk medelvind än medelvärdet för normalperioden 1961–1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.

SMHIs publiceringar

SMHI publicerar sju rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationella läsare och skrivs oftast på Engelska. I de övriga serierna används oftast Svenska men även Engelska.

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

I serien KLIMATOLOGI har tidigare utgivits:

1. Lotta Andersson, Julie Wilk, Phil Graham, Michele Warburton (University KwaZulu Natal) (2009)
Local Assessment of Vulnerability to Climate Change Impacts on Water Resources in the Upper Thukela River Basin, South Africa – Recommendations for Adaptation
2. Gunn Persson, Markku Rummukainen (2010)
Klimatförändringarnas effekter på svenskt miljömålsarbete
3. Jonas Olsson, Joel Dahné, Jonas German, Bo Westergren, Mathias von Scherling, Lena Kjellson, Fredrik Ohls, Alf Olsson (2010)
En studie av framtida flödesbelastning på Stockholms huvudavloppssystem
4. Markku Rummukainen, Daniel J. A. Johansson, Christian Azar, Joakim Langner, Ralf Doescher, Henrik Smith (2011)
Uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet. En översyn av natur-vetenskapliga aspekter
5. Sten Bergström (2012)
Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv – kunskapssammanställning 2012
6. Jonas Olsson och Kean Foster (2013)
Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige
7. FNs klimatpanel – Sammanfattning för beslutsfattare. Effekter, anpassning och sårbarhet. Bidrag från arbetsgrupp 2 (WG 2) till den femte utvärderingen (AR 5) från Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2014)
8. Att begränsa klimatförändringar. FNs klimatpanel – Sammanfattning för beslutsfattare. Bidrag från arbetsgrupp 3 (WG 3) till den femte utvärderingen (AR 5) från Intergovernmental Panel on Climate Change (2015)
9. Erik Kjellström SMHI. Reino Abrahamsson, Pelle Boberg. Eva Jernbäcker Naturvårdsverket. Marie Karlberg, Julien Morel Energimyndigheten och Åsa Sjöström SMHI (2014)
Uppdatering av det klimatvetenskapliga kunskapsläget
10. Risker och konsekvenser för samhället av förändrat klimat – en kunskapsöversikt (2014)
11. Gunn Persson (2015)
Vägledning för användande av klimatscenarier
12. Lotta Andersson, Anna Bohman, Lisa van Well, Anna Jonsson, Gunn Persson och Johanna Farelus (2015) Underlag till kontrollstation 2015 för anpassning till ett förändrat klimat
13. Gunn Persson (2015)
Sveriges klimat 1860-2014. Underlag till Dricksvattenutredningen

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

27. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Kronobergs län – Enligt RCP-scenarier
28. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Hallands län – enligt RCP-scenarier
29. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Skåne län – enligt RCP-scenarier
30. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Blekinge län – enligt RCP-scenarier.
31. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Gotlands län – enligt RCP-scenarier
32. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Norrbottens län – enligt RCP-scenarier
33. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Västerbottens län – enligt RCP-scenarier
34. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Jämtlands län – enligt RCP-scenarier
35. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Västernorrlands län – enligt RCP-scenarier
36. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Gävleborgs län – enligt RCP-scenarier
37. Jonas Olsson, Weine Josefsson (red.) (2015) Skyfallsuppdraget - ett regeringsuppdrag till SMHI
38. Gunn Persson, Linda Nylén, Steve Berggreen-Clausen, Peter Berg, David Rayner och Elin Sjökvist (2015)
Från utsläppsscenarioer till lokal nederbörd och översvämningrisker
39. Anna Eklund, Jenny Axén Mårtensson, Sten Bergström och Elin Sjökvist. (2015)
Framtidens vattentillgång i Mälaren, Göta älv, Bolmen, Vombsjön och Gavleån. Underlag till Dricksvattenutredningen
40. Anna Bohman (Centrum för klimatpolitisk forskning, C SPR) vid Linköpings universitet, Lotta Andersson, SMHI och C SPR, Linköpings universitet samt Åsa Sjöström, SMHI. (2016)
Förslag till en metod för uppföljning av det nationella klimatanpassningsarbetet. Redovisning av ett regeringsuppdrag December 2016

41. (2017)
Karttjänst för framtida medelvattenstånd längs Sveriges kust
42. Anna Eklund, Linda Tofeldt, Johanna Tengdelius-Brunell, Anna Johnell, Jonas German, Elin Sjökvist, Maria Rasmusson, Elinor Andersson (2017)
Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Vättern
Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden
43. Anna Eklund, Anna Johnell, Linda Tofeldt, Johanna Tengdelius-Brunell, Maria Andersson, Cajsa-Lisa Ivarsson, Jonas German, Elin Sjökvist och Elinor Andersson (2017)
Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Hjälmarén Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden
44. Anna Eklund, Linda Tofeldt, Anna Johnell, Maria Andersson, Johanna Tengdelius-Brunell, Jonas German, Elin Sjökvist, Maria Rasmusson, Ulrika Harbman, Elinor Andersson (2017)
Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Vänern Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden
45. Sofie Schöld, Cajsa-Lisa Ivarsson, Signild Nerheim och Johan Södling (2017)
Beräkning av högsta vattenstånd längs Sveriges kust
46. Katarina Stensen, Johanna Tengdelius-Brunell, Elin Sjökvist, Elinor Andersson, Anna Eklund (2017)
Vattentemperaturer och is i Mälaren
Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden
47. Jonas Olsson, Peter Berg, Lennart Wern, Johan Södling, Lennart Simonsson, Wei Yang, Anna Eronn (2017)
Extremregn i nuvarande och framtida klimat – Analyser av observationer och framtidsscenarier.
48. Signild Nerheim, Sofie Schöld, Gunn Persson och Åsa Sjöström (2017)
Framtida havsnivåer i Sverige
49. Anna Eklund, Katarina Stensen, Ghasem Alavi, Karin Jacobsson, Diala Abdoush (2018)
Sveriges stora sjöar idag och i framtiden. Klimatets påverkan på Vänern, Vättern, Mälaren och Hjälmarén.
Kunskapsammanställning januari 2018
50. Gunn Persson, Christina Wikberger, Jorge Amorim (2018)
Klimatanpassa städer med grönska
51. Katarina Losjö, Lennart Wern, Johan Södling (2019)
Uppföljning av riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden
52. Sjökvist, Elin (2019)
Sommaren 2018 – en glimt av framtiden?
53. Översättning av Summary for Policymakers (2019)
FN:s klimatpanel – Sammanfattning för beslutsfattare
Global uppvärmning på 1,5°C
54. Karin Hjerpe, Therése Sjöberg, Karin Lundgren Kownacki, Lotta Andersson, Åsa Sjöström (2020)
Myndigheters arbete med klimatanpassning 2019
55. Therése Sjöberg, Karin Hjerpe, Karin Lundgren Kownacki, Lotta Andersson (2020)
Kommunernas arbete med klimatanpassning 2019 - Analys av statusrapportering till SMHI
56. Klimatförändringar och biologisk mångfald – Slutsatser från IPCC och IPBES i ett svenskt perspektiv (2020)
57. FN:s klimatpanel IPCC – Sammanfattning för beslutsfattare (2020) Specialrapport om Klimatförändringar och marken
58. FN:s klimatpanel IPCC – Sammanfattning för beslutsfattare (2020) Specialrapport om Havet och kryosfären i ett förändrat klimat
59. Erik Engström
(ej publicerad)

60. Karin Hjerpe, Åsa Sjöström (2020)
Förslag på system för uppföljning och
utvärdering av det nationella arbetet med
klimatanpassning
61. Erik Kjellström (2021)
Betydelsen av storskalig atmosfärisk
cirkulation för Sveriges temperatur- och
nederbörds klimat
En jämförelse av normalperioder
62. Karin Hjerpe, Therése Sjöberg, Bodil
Englund, Anna Jonsson (2021)
Myndigheters arbete med
klimatanpassning 2020
63. Peter Berg (2021)
MIdAS version 0.1
framtagande och utvärdering av ett nytt
verktyg för biasjustering
64. Erik Kjellström (2022) Klimatinformation
som stöd för klimatanpassningsarbetet
65. Översättning av Summary for Policymakers
(2022)
FN:s klimatpanel IPCC – Sammanfattning
för beslutsfattare
Klimat i förändring 2021 Den
naturvetenskapliga grunden
66. Karin Lundgren Kownacki, Bodil Englund,
Aino Krunegård, Pontus Wallin (2022)
Myndigheters arbete med klimatanpassning
67. FN:s klimatpanel IPCC – Sammanfattning
för beslutsfattare (2022)
Klimat i förändring 2022 Effekter,
anpassning och sårbarhet
68. FN:s klimatpanel IPCC – Sammanfattning
för beslutsfattare (2022)
Klimat i förändring 2022 Att begränsa
klimatförändringen
(Ej publicerad)

Denna sida är avsiktligt blank

SMHI

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

ISSN 1654-2258

